



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

SINCRONIZADOR DE SALIDAS DE CAMIONES: HERRAMIENTA PARA GESTIÓN
ÓPTIMA DE DESPACHOS DESDE LOS CENTROS DE DISTRIBUCIÓN A LAS
TIENDAS PARA UNA EMPRESA DE RETAIL

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL

FERDINANDO ANIELLO GARGIULO VELÁSQUEZ

PROFESOR GUÍA:
RODOLFO ANDRÉS URRUTIA URIBE

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
PATRICIO MARIO CONCA KEHL
DENNIS SEBASTIAN FUENZALIDA ROJAS

SANTIAGO DE CHILE
2020

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR
AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL
POR: FERDINANDO ANIELLO GARGIULO VELÁSQUEZ
FECHA: 2020
PROF. GUÍA: RODOLFO ANDRÉS URRUTIA URIBE

SINCRONIZADOR DE SALIDAS DE CAMIONES: HERRAMIENTA PARA GESTIÓN ÓPTIMA DE DESPACHOS DESDE LOS CENTROS DE DISTRIBUCIÓN A LAS TIENDAS PARA UNA EMPRESA DE RETAIL

La empresa de Retail en la que se desarrolla este proyecto ha sido líder en la venta al por menor tanto mundialmente como en Chile. Esta empresa cuenta con casi 400 tiendas en todo Chile.

El abastecimiento de estas tiendas cumple un rol crucial en la calidad de servicio que la empresa pretende entregar a sus clientes. Para ello, cuenta con 3 centros de distribución en la Región Metropolitana. Estos centros representan el esquema vertebral de la cadena de abastecimiento, siendo un eje central para abastecer a sus tiendas y poder mantener un servicio continuo a sus clientes.

Sin embargo, los 3 centros de distribución, no poseen una mirada centralizada que permita coordinar los diferentes despachos que ejecutan para enviar los camiones a las tiendas, es decir, operan de forma independiente entre sí.

Como consecuencia de esto, se tiene que cada camión despachado al momento de visitar las diferentes tiendas, debe esperar en las afueras de estas para poder comenzar su proceso de descarga, esto debido a que otro camión se encuentra en la misma tienda, generando un efecto que se denomina colisión. En promedio, el 29 % de carros despachados colisiona.

En particular, en el primer Centro, un camión pasa el 10 % de su tiempo en ruta esperando en ser atendido. En el caso del segundo, es el 18.2 % y, para el tercero, el 21.6 %. Este tiempo de espera impacta directamente en costos operacionales con un valor aproximado de \$ 760.000 USD anuales.

El objetivo de este proyecto se formuló en base a la creación de una herramienta que permita gestionar una asignación óptima de las salidas desde los centros de distribución hacia las tiendas de la empresa de Retail en la Región Metropolitana, con foco en disminuir los tiempos de espera en tienda y aumentar la rotación de los tráileres.

La implementación de esta herramienta significó una disminución de un 16.7 % del tiempo de espera para un despacho realizado desde el primer Centro, un 32.7 % para el segundo y un 11.8 % para el tercero. En promedio, se logró disminuir el tiempo de espera para cada despacho en 0.195 horas, es decir, aproximadamente 11 minutos por despacho.

Este trabajo sienta un precedente para futuros proyectos operacionales al interior de la organización, generando oportunidades de mejora a través de procesos de digitalización y modelos de optimización que permiten mejorar las decisiones que se toman día a día.

A Victor, por ser un gran líder y todo su apoyo en esto proceso de aprendizaje y divergencia.

A SimpliRoute y toda su gente, por ser un espacio de crecimiento profesional, humano y de aprendizaje.

A Varinia y Mabel, por el trabajo en equipo y empuje para sacar adelante este proyecto.

A Nachito, por ser mi cable a tierra en todo momento y un tremendo amigo.

A toda mi familia, Anna, Nello y Marlen, por su apoyo incondicional y ser un pilar fundamental en toda mi vida.

A Catalina, por su cariño y apoyo, sobretodo cuando el tiempo era escaso.

A mis amigos y amigas de toda la vida, por su apoyo incondicional en todo momento.

A mis amigos de la Universidad, porque sin ellos todo hubiese sido más complejo.

Tabla de Contenido

Índice de Tablas	vii
Índice de Ilustraciones	ix
Introducción	1
1. Antecedentes Generales	4
1.1. Contexto empresa	4
1.2. Red de Distribución	5
1.2.1. Centro de distribución	5
1.2.2. Chasis: Carros de arrastre	7
1.2.3. Tiendas	8
2. Problema a abordar y justificación	10
2.1. Descripción del problema	10
2.1.1. Área de Supply Chain	10
2.1.2. Cantidad Despachos	12
2.1.3. Colisiones	13
2.2. Justificación y cuantificación	16
2.2.1. Árbol de problemas: Causas y efectos	17
2.2.2. Cuantificación	19
3. Objetivo y alcances	21
3.1. Objetivo general	21
3.2. Objetivos Específicos	21
3.3. Alcances	22
4. Metodología	23
4.1. Metodología	23
4.2. Desarrollo solución	24
5. Marco Teórico	26
5.1. Test de Kolmogorov-Smirnov	26
5.2. Distribución Weibull	27
5.2.1. Máxima verosimilitud	28
5.3. MAPE y RSEM	29
5.4. Modelamiento de problemas lineales: MIP	29

5.5. Otros trabajos relacionados	30
6. Reglas de negocio	31
6.1. Regla de negocio: Fixed-planning	31
6.2. Regla de negocio: Banderas Blancas	34
6.3. Regla de negocio: Ventanas Horarias	35
7. Planteamiento Modelo: MIP	39
7.1. Conjuntos	40
7.2. Parámetros	40
7.3. Variables de decisión	40
7.4. Restricciones	41
7.5. Función Objetivo	42
8. Tiempos de viaje y servicio	43
8.1. Análisis tiempos de viaje	44
8.1.1. Estimación tiempos de viaje	44
8.2. Tiempos de servicio	46
8.2.1. Estimación Tiempo Servicio	48
9. MIP: Contraste teórico v/s realidad	50
9.1. Descripción del día 16/05/2019	51
9.2. Resultados simulaciones: Detección de colisiones	53
9.3. Calibración modelo: Detección de colisiones	55
9.4. Incorporación variabilidad: tiempos de servicio y tiempos de viaje	58
9.5. Oportunidades de mejora sobre rotaciones de tráileres y tiempo en cola	60
10. Herramienta gestión de despachos	65
10.1. Diseños Arquitecturas de software	65
10.2. Interfaz	66
10.3. API REST	72
11. Resultados y discusión	74
11.1. Resultados: Tiempo en cola	75
11.2. Resultados: Tiempo efectivo en ruta /Rotaciones	77
11.3. Discusión resultados	79
11.4. Discusión resultados: Análisis cualitativo	80
Conclusión	83
Bibliografía	85
A. Viajes, colisiones y tiempo en cola	86
B. Tiempo Servicio	89
C. Simulaciones	90
D. Vistas Interfaz	97

Índice de Tablas

6.1. Ejemplo Fixed planning para una semana, Centro de distribución 1 (6009), considerando solo algunas tiendas de ejemplo. La unidades de despacho hacen referencia a la cantidad tráiler que puede recibir durante un día.	32
8.1. Resultados Regresión lineal para estimación de tiempos de servicio	48
8.2. Resultado Data Set validación (30%) para tiempos de Servicio	48
9.1. Tabla resultado simulaciones mediante la aplicación del modelo calibrado (Solo despachos entre las 7 am y 12 am).	57
9.2. Ejemplo Scheduling Patente YT7443 Simulación 16/04/2019	61
9.3. Resultados simulación forzada para la fecha 16/05/2019 ordenada por orden de llegada a tienda. Caso Tienda 32.	62
9.4. Resumen resultados para simulaciones comparando los resultados obtenidos para el tiempo en cola y cumplimiento de ventanas horarias. Contraste generando entre simulaciones con modelo final y GPS que entregan los resultados reales.	63
11.1. Definición período control y test sobre el uso de la herramienta para comparar los resultados en la implementación. Notar que sobre estos días fueron eliminados los días domingos, ya que no hubo despachos.	75
11.2. Resultados periodo con/sin herramienta para cantidad total de viaje en ambos periodos	75
11.3. Resultados implementación de la herramienta con tiempo de espera promedio y desviación estándar para ambos períodos	76
11.4. Resultados implementación herramienta medida para tiempo en cola. Herramienta1 corresponde a si la herramienta fue implementada o no, con caso base la no implementación. Día de la semana va desde el 1 al 6, con caso base 1, donde 1 es Lunes y 6 es Sábado. Domingo (0) no fue incluido dentro de los análisis ya que en la mayoría de los días no se generan despachos.	78
11.5. Resultados período con/sin herramienta para tiempo efectivo en ruta y tiempo rotación de tráileres agregados sobre los 4 centros de distribución.	79
A.1. Cálculos promedios diarios de cantidad de viajes, colisiones y tiempo en cola para cada viajes	86
C.1. Simulación forzada sin ventana horaria 16/04/2019	93

C.2. Resultados Simulación forzada fecha 16/05/2019 ordenada por orden de llegada a tienda	96
--	----

Índice de Ilustraciones

1.1. Foto área Centro de distribución 1.	6
1.2. Porcentajes despachos realizando según tipo de carro. Fuente propia elaborada a partir de datos de GPS 03/2019-08/2019	7
1.3. Ejemplo chasis o carro de arrastre.	7
1.4. Ilustración modalidad de descarga en tienda.	8
1.5. Imagen proceso de descarga en patio de descarga.	9
1.6. Imagen mercadería en patios de descarga.	9
2.1. Flujo Asociado al despacho de tráileres	11
2.2. Promedio de viajes diarios periodo 03/2019-08/2019, agrupado por día de la semana y centro de distribución. 0 corresponde Domingo, 1 a Lunes, así hasta 6 Sábado. Datos fueron ponderados para efectos de confidencialidad.	13
2.3. Tiempo en cola promedio diario V/s Tiempo en cola promedio diario por despacho. Cálculo realizado en base a dato de GPS en el periodo 03/2019-08/2019	14
2.4. Tiempo en ruta definido como tiempo de viaje más tiempo servicio, no considera tiempo en cola o espera.	15
2.5. Flujo Asociado al despacho de tráileres vinculado a la problemática.	16
2.6. Árbol de Problemas.	17
4.1. Metodología CRISP-DM	23
6.1. Porcentaje de despachos en Fixed Planning por día de la semana para el Centro de distribución 1 (6009), semana 29/09/2019.	32
6.2. Flujo ejecución Fixed planning integrado con Web Service. Proceso asociados al pre-procesamiento de información previo a la ejecución del modelo de optimización.	33
6.3. Flujo ejecución Bandera blancas que permite determina si un tráiler cargado puede ser despachado o no.	35
6.4. Distribución ventana horarias inicio (izquierda) y término (derecha). La ventana de inicio corresponde al horario de apertura de la tienda y la ventana de término corresponde al horario de cierre de la tienda.	36
6.5. Cumplimiento ventana horaria para viajes realizados en Junio de 2019.	36
6.6. Cumplimiento Ventana horaria cierre/apertura para viajes realizados en Junio de 2019.	37

8.1.	Comparación tiempo de viaje OSRM V/S GPS. Fecha entre los periodos 03/03/2019-/17/09/2019. Gráfica considera los mismo desplazamiento de punto a punto.	45
8.2.	Comparación tiempos de viajes OSRM original con datos de OSRM ajustado mediante regresión lineal para base de datos Test.	46
9.1.	Cantidad de despachos para el día 16/05/2019, agrupados por los 3 centros de distribución, calculado en base a los de datos reportados por los GPS.	51
9.2.	Distribución tiempo servicio y tiempo de viaje para el día 16/05/2019.	52
9.3.	Comparativa entre Hora de atención GPS (real) en contraste con Hora atención predicha por modelo, desagrupada en base a si el tráiler colisionó o no en realidad. Fecha 16/05/2019.	54
9.4.	Comparativa modelo con restricción de calibración entre Hora de atención GPS (real) en contraste con hora de atención predicha por el modelo, desagrupada en base a si el tráiler colisionó o no en realidad, Fecha 16/05/2019.	57
9.5.	Comparación entre simulación realizada para el modelo con restricción forzada para la hora de salida desde el centro de distribución con tiempos de viaje y servicio observados en comparación con estimados. Fechas simulación 06/05/2019.	58
9.6.	Histograma diferencia hora llegada entre hora observada y hora estimada por el modelo.	59
9.7.	Distribución horas de llegas a tiendas caso real v/s teórico 16/05/2019.Tiempos en cola real fue de 19.6 horas y el tiempo en cola teórico esperado fue de 3.8 Horas.	62
10.1.	Componentes del Software para diseño de la herramienta de despachos.	66
10.2.	Vista Login Interfaz.	67
10.3.	Vista Login Interfaz.	68
10.4.	Vista resultados optimización: Proceso de gestión.	68
10.5.	Esquema del flujo completo asociado al optimizador integrando la interacción usuario-interfaz-api-base de datos.	72
11.1.	Resultados implementación herramienta: Cálculo del tiempo de espera por tráiler, desglose por centro de distribución y cuando la herramienta fue o no utilizada. Elaboración propia a partir de datos de GPS	76
A.1.	Cantidad de viajes periodo 03/2019-08/2019	87
A.2.	Cantidad de viajes por día de la semana periodo 03/2019-08/2019	87
A.3.	Cantidad de viajes por día de la semana periodo 03/2019-08/2019	87
A.4.	Colisiones desglosadas por centro de distribución	88
B.1.	BoxPlot Formato para Tiempo Servicio	89
B.2.	BoxPlot Origen para Tiempo Servicio	89
B.3.	BoxPlot Pies para Tiempo Servicio	89
B.4.	BoxPlot Tipo Carro para Tiempo Servicio	89
B.5.	BoxPlot Formato para Tiempo Servicio	89
B.6.	BoxPlot Origen para Tiempo Servicio	89
D.1.	Vista de carga optimizador.	97

D.2. Vista Fixed planning.	97
D.3. Vista Bandera blancas.	97
D.4. Vista Tiendas.	97
E.1. Esquema protocolos de comunicación HTTP.	98
E.2. Benchmark framework en velocidad de respuesta para diseño de API REST.	98
E.3. Diseño arquitectura para deployment de API REST mediante el uso de Google Cloud platform.	99

Introducción

La empresa en la cual será abordado el problema se denomina Retail Store ¹ Retail Store Chile se ha posicionado en el país como el principal minorista manteniendo un alto porcentaje de mercado en el País. Sus diferentes formatos de tienda le han permitido llegar a una variedad de segmentos de la población bajo la misma propuesta de valor: precios bajos. Apostar a diferentes formatos de tiendas implica generar la capacidad de abastecerlas según las diferentes combinaciones de productos que estas requieran. Para ello, y como es conocido mundialmente, la empresa ha desarrollado un modelo logístico de excelencia, basado en centros de acopio, también llamados centros de distribución.

Los centros de distribución forman parte del esquema vertebral de la empresa, los cuales cumplen funciones tales como organizar la mercadería, definir rutas, preparar los tráileres para sus despachos, asociar las salidas a contratos con transportistas, entre otros. Dentro de estas funciones, existe una decisión en particular que puede afectar de diversas maneras a la organización, la que se basa principalmente en determinar cuál tráiler (o camión) debe ser despachado primero, lo que implica, definir que tiendas deben ser abastecidas en diferentes momentos del día.

Dicha decisión es tomada por los jefes de cada centro de distribución, los cuales en cada momento del día deben establecer qué conjunto de tiendas (ruta) deben abastecer. El problema nace desde este contexto, donde hoy no existen herramientas que permitan coordinar a los centros de distribución (en la Región Metropolitana son tres) para ejecutar salidas simultáneas, produciendo que se abastezcan tiendas que ya se encuentran con tráileres en proceso de descarga.

El fenómeno antes mencionado se denomina colisión. Una colisión se produce cuando un tráiler en particular arriba a una tienda y este no puede ejecutar su proceso de descarga debido a que existe otro al interior de la tienda que está siendo descargado, generando un tiempo de espera (o tiempo en cola) entre el momento que este arriba a la tienda y comienza su proceso de descarga.

Para entender la complejidad asociada a esta decisión es necesario comprender que existen múltiples aristas para despachar un tráiler. Por un lado, se tienen 160 tiendas aproximadamente para la Región Metropolitana, cada una de ellas tiene una ventana horaria asociada (160 ventanas horarias diferentes), las tiendas no reciben tráileres en caso de que estos arriben

¹Para efectos de confidencialidad no será nombrada la empresa, manteniendo este nombre durante todo el desarrollo del presente documento.

fuera de la ventana horaria. Cada tráiler que se despacha, debe tener en consideración que debe arribar dentro de las ventanas horarias.

Por otro lado, cada centro de distribución despacha entre 50 a 60 camiones diarios (promedio), concentrando la mayoría de los despachados en bloques AM. Cada despacho puede tener múltiples puntos a visitar (Rutas), por lo que, si una persona que ejecuta el despacho, quisiera generar un despacho a tiendas que se encuentren disponibles para recibir un tráiler, es decir libre y por ende no generar una colisión, deberían tener en consideración las rutas que los otros centros de distribución van a despachar y cuales ya se encuentran en camino a las diferentes tiendas.

Preguntas como: ¿Cuánto demoraría en llegar un tráiler de otro centro de distribución a la una misma tienda que se quiere abastecer? En efecto, esta pregunta no es compleja de responder si se quisiera despachar 1 tráiler diario con una 1 tienda, pero considerando que existen 50 despachos promedios diarios, con 160 ventanas horarias diferentes para cada tienda, cada una con diferentes capacidades diaria, hace que responder a estas preguntas no sea complejo, sobre todo cuando se quiere generar acciones conjuntas entre los centros de distribución.

Sobre este conjunto de variables, es lógico pensar que se genere una deficiencia de asignación de salidas al momento de ejecutar los despachos, generando efectos adversos tanto sobre los costos operacionales como en el abastecimiento de las tiendas. Las colisiones son una consecuencia de una deficiencia de asignación de salidas desde los centros de distribución hacia las tiendas: de cada 100 viajes realizados en un día normal, 29 colisionan, lo cual genera 73 horas de espera en tiendas (promedio diario) para poder ejecutar la descarga del tráiler.

Para definir de manera más detallada la problemática, se puede medir el tiempo efectivo en ruta y el tiempo de espera de tráiler sobre todo el tiempo que demora el realizar su ruta. Para los despachos realizados desde el Centro 1, un camión pasa el 10 % de su tiempo en ruta esperando ser atendido. En el caso del Centro 2 es el 18.2 % y para el Centro 3 es de 21.6 %.

Esta problemática genera, principalmente, tres consecuencias:

- Disminución de tiempos efectivos de viaje en el tiempo de ruta: Como existen tiempos de espera entonces los tráiler aumentan su tiempo en ruta, ya que no todo el tiempo en ruta corresponde exclusivamente al tiempo de traslado y de descarga.
- Aumento devoluciones: Una devolución se define como el rechazo de un trailer por parte de una tienda. Las colisiones pueden prolongar el tiempo de recepción por parte de la tienda, entonces, si se generan múltiples llegadas, esta podría colapsar. Se estima que un 5 % de los viajes diarios son devuelto en un día normal, lo que conlleva a costo logísticos directos asociados a estas problemáticas.
- Oportunidad de abastecimiento: Despachar un tráiler que tiene alta probabilidad de colisionar, implica la posibilidad de perder la oportunidad de abastecer otras tiendas que se encontraban libres a la misma hora.

Dichas consecuencias impactan directamente al aumentar los costos logísticos aproximadamente en 760,000 USD anuales, considerando los 3 efectos mencionados anteriormente. De este modo se busca abordar la problemática desde un enfoque matemático, pensando en

generar modelos que permitan coordinar las salidas y, por otra parte, buscar re-diseñar y/o integrar herramientas que permitan a los jefes de los centros de distribución poder tomar mejores decisiones en los despachos que ejecutan en el día a día.

La solución se define en base a tres componentes principales, que tiene como propósito poder hacerse cargo de las consecuencias que genera esta problemática.

La primera se asocia a poder generar un modelo que permite definir el scheduling de los tráileres, definiendo una hora de salida para cada tráiler en particular considerando que existen rutas pre-establecidas que deben ser cumplidas, es decir, utilizando las tiendas a visitar (rutas) como parámetros.

La segunda componente se basa en poder realizar estimaciones asociadas a las diferentes variabilidades que existen en los tiempos de descargar y tiempo de viaje. El foco de este desarrollo es poder asumir ciertas acciones que el modelo planteado no puede hacerse cargado debido a su naturaleza determinista.

La tercera componente, se basa en el desarrollo propiamente tal de la herramienta, incorporando los dos primeros punto mencionados anteriormente. Esto se basa en la construcción de diferentes interfaces que permiten a los usuarios poder realizar los despachos a través de una herramienta sencilla.

Capítulo 1

Antecedentes Generales

El presente capítulo busca describir 2 elementos importantes de la empresa. El primero se enfoca en el contexto y creación de esta, basado principalmente en su historia.

El segundo elemento consiste en describir de la mejor forma las componentes de la red de distribución que tiene la empresa en búsqueda de poder detallar el área y sus principales elementos, que son cruciales para comprender donde se sitúa la problemática y sus diferentes actores y elementos involucrados.

1.1. Contexto empresa

La empresa en la que será abordado el problema se denomina Retail Store ¹.

La misión de la empresa consiste en generar ahorros a los consumidores en base a una política de precios, tal como declaran en su memoria: *Ahorrarles dinero a nuestros clientes, para que puedan vivir mejor*. Para poder cumplir esta promesa, la empresa ha desarrollado diferentes formatos de tiendas, las que tienen como enfoque abarcar a diversos segmentos de la población (mercados objetivos), teniendo en cuenta la misma misión, pero a partir de las necesidades de cada segmento objetivo.

En el caso de Retail Store, la empresa cuenta con 5 formatos de tiendas diferentes. Estos formatos son los siguientes.

- **Formato 1:** Hipermercado económico que responde al concepto Todo en un solo lugar. Contiene categorías de productos como textiles, electrodomésticos, ferretería y juguetes, además de las líneas tradicionales.
- **Formato 2:** Formato que ofrece la solución más rápida con foco en categorías alimenticias.
- **Formato 3:** Formato que responde a las necesidades de compra de segmentos de la población con menores ingresos.

¹Para efectos de confidencialidad tanto el nombre de la empresa como sus componente serán denominados de un forma diferente a realidad

- **Formato 4:** Responde al concepto de supermercado de proximidad, enfocado a la alimentación en áreas densamente pobladas.
- **Formato 5:** Centrado en la venta al por mayor, dirigido a pequeños comerciantes.

Aproximadamente el 50% de las tiendas pertenecen a los formatos de Tipo 1 y 2. Luego los siguen los formatos 3, 4, 5. Por su parte, para la Región Metropolitana, zona foco que será definida como alcance del problema, donde existen 194 tiendas disponibles.

Para poder generar el surtido y mix de productos necesarios para cada tienda, Retail Store cuenta con dos modalidades de distribución y despacho de productos. La primera se basa en los despachos directos a tiendas, los que se coordinan directamente con los proveedores. La segunda es el despacho mediante el uso de centros de distribución. Esta modalidad permite a las tiendas enviar sus productos y surtidos directamente a ciertos centros de distribución para, posteriormente, generar los despachos a las tiendas.

Al día de hoy, la empresa cuenta con ocho centros de distribución a lo largo del país, de los cuales tres de ellos abastecen a la Región Metropolitana. Estos centros son: Centro 1, Centro 2 y Centro 3.²

Dependiendo del centro de distribución se pueden manejar tres tipos de mercaderías genéricas, las cuales pueden ser Seco (mercadería manejada por los 3 centros), productos Fríos o Congelados, que solo los maneja el Centro 1. Así, a partir de esta modalidad de logística, la empresa es capaz de entregar diferentes productos a lo largo de todo el país manteniendo una cadena de abastecimiento continuo.

1.2. Red de Distribución

Para comprender de mejor manera las componentes que existen dentro de la red de distribución, posición donde se encuentra el problema asociado, es necesario poder definir ciertos aspectos claves que serán utilizados como parte de la nomenclatura del desarrollo de la solución.

La tres componentes que se asocian a las red de distribución se basan en los centros, las tiendas y las modalidades de despachos que existen a estas, el propósito es poder explicar cada una de manera detallada.

1.2.1. Centro de distribución

La empresa cuenta con dos modalidades de despachos. La primera es mediante el uso de centros de distribución (o acopio) y la segunda modalidad es mediante despacho directo por parte de los proveedores hacia las tiendas, es decir, sin pasar por el centro de distribución.

Hoy la empresa cuenta con un 80%³ de despachos mediante la primera modalidad, es decir, mediante el uso de centro de distribución. Debido al alto porcentaje que existe para

²Para efectos de confidencialidad el nombre de los centros de distribución ha sido denominados de esta manera

³Esta cifra fue entregada por la propia operación del área de Supply Chain y Logística.

esta modalidad, el problema será abordado solo entorno al uso de centros de distribución, dejando fuera de los análisis el despacho directo de proveedores a tiendas.

Al integrar a los proveedores dentro de los análisis podría ser una limitante en el desarrollo de la solución considerando los tiempos que se tienen para desarrollarla. Esto se debe a que la información asociada a los despachos directos no se encuentra centralizada de la misma manera que los despachos que pasan por el centro de distribución, por lo tanto, se procede a enfocar los análisis en la primera modalidad mencionada anteriormente.



Figura 1.1: Foto área Centro de distribución 1.

En la Imagen 1.1 se puede observar el patio de traslado de un centro de distribución. A modo general, a la izquierda de la imagen, se encuentra la primera componente clave del problema, los tráileres. Estos corresponden básicamente solo al contenedor al cual se le pueden incorporar las mercaderías, es decir, estos no consideran ninguna componente motorizada y solo se remiten a poder almacenar la carga necesaria a su interior.

Estos contenedores pueden estar adaptados para trasladar diferentes tipos de mercaderías, por ejemplo, para el caso de productos que requieren refrigeración, existen tráileres que pueden trasladar este tipo de mercadería en particular ya que tienen la capacidad de mantener las cadenas de frío dentro del propio contenedor. Los tráileres tienen 3 formatos asociados que permiten medir su capacidad de carga, estos son los siguientes.

- Carro Corto: Capacidad de 35 pies
- Carro Mediano: Capacidad de 48 pies
- Carro Largo: Capacidad de 53 pies

A partir de la siguiente gráfica se puede evidenciar cual es el tipo de carro que más se utiliza para generar despachos.

El mayor porcentaje de despachos se realizan a través de Carros Largo (58.8%). Es necesario mencionar que la mayoría de estos Carros son propiedad de la empresa, solo en algunas oportunidades se decide arrendar a externos, principalmente pensado para fechas de alta demanda.

Cada carro es cargado en un centro de distribución según su tipo de mercadería, para el

Porcentaje de despachos según tipo de carro RM

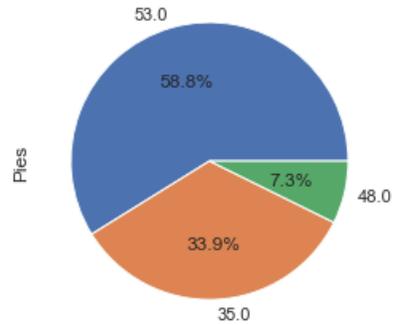


Figura 1.2: Porcentajes despachos realizando según tipo de carro. Fuente propia elaborada a partir de datos de GPS 03/2019-08/2019

caso del Centro 2, se manejan tanto productos que requieren de cadenas de Frío como Secos, en cambio, el Centro 1 y Centro 3, manejan tipos de mercadería exclusivamente Secas, es decir, no necesitan trailers que que mantengan la cadena de Frío.

1.2.2. Chasis: Carros de arrastre

Los tres centros de distribución requieren de una componente clave para poder mover a los diferentes carros con mercadería, a estos se les denomina carros de arrastre.



Figura 1.3: Ejemplo chasis o carro de arrastre.

A partir de la Figura 1.3 se puede visualizar un ejemplo de estos carros. Estos permiten acoplarse a los contenedores (tráileres) y ejecutar el transporte de estos.

La empresa cuenta con una modalidad externalizada, donde los proveedores de estos carros, denominados transportistas, proveen tanto del carro como del chofer para poder ejecutar los despachos. La modalidad tarifaria (para el pago al proveedor) se basa en un precio fijo por ejecutar el despacho más un variable por cada punto (tienda) visitada. Por efectos de confidencialidad, estos datos no pueden ser expuestos, pero se declaran como un promedio por despacho en la Sección de cuantificación del problema (Sección 2.2.2).

Este intermedio es clave ya que, como se puede imaginar, existe una instancia en el proceso de despachos en el que se genera una asignación transportista-contenedor, es decir, al momento en cual se le asigna una ruta a un transportista, es cuando se comienza a definir la problemática.

Para efectos de simplicidad, durante el desarrollo de este documento, se utilizará el término tráiler, haciendo referencia al carro ya integrado a un transportista determinado que debe cumplir una ruta establecida.

1.2.3. Tiendas

El último elemento clave en la descripción de los elementos de la red de distribución son las tiendas.

En las Sección 1.1 ya se explicó que existen diferentes formatos de tiendas que tienen como foco poder abarcar diferentes necesidades de cada segmento de la población. El objetivo de esta Sección es poder detallar los elementos claves que competen a las tiendas entorno al problema de las colisiones.

En la siguiente ilustración se puede observar como se ha diseñado la modalidad de descarga para un tráiler que arriba a una tienda.



Figura 1.4: Ilustración modalidad de descarga en tienda.

A partir de la Figura 1.4 se puede observar la modalidad de descarga que tienen la mayoría de las tiendas. La idea es poder acoplar directamente un tráiler desde su parte trasera para poder comenzar el proceso de descarga. Las tiendas pueden contar con más de un espacio para ejecutar la descarga a la vez. La problemática no viene dada principalmente por la falta de espacio de acople, si no más bien, por la consecuencia que se tiene al descargar dos tráileres de manera simultánea al interior de la tienda. Con esto, se hace referencia a los colapsos que pueden existir al descargar una alta cantidad de mercadería simultánea. Por lo mismo, las tiendas que tienen más de un espacio de descarga, prefieren descargar un tráiler a la vez.

Posteriormente, al acoplar el tráiler en la zona de descarga, la mercadería se comienza a descargar en los patios de descarga.

En la Imagen 1.5 se puede observar un ejemplo de como se comienza a ejecutar el proceso de descarga.

Como los tráiler deben ser descargados lo mas rápido posible, entonces, el proceso de



Figura 1.5: Imagen proceso de descarga en patio de descarga.

descarga deriva en dejar la mercadería en los patios de descarga o maniobra.

El problema comienza a surgir en este proceso en particular. Al ejecutar descargas simultáneas, los patios de maniobra se comienzan a colapsar ya que no se tiene el tiempo para poder ordenar las mercaderías. Esto genera un desorden al interior de las tiendas que repercute, posteriormente, en el abastecimiento continuo de góndolas donde se exponen los productos.



Figura 1.6: Imagen mercadería en patios de descarga.

La imagen 1.6 puede evidenciar como, en una tienda en particular, se dejan las mercaderías en un espacio determinado para poder ejecutar el proceso de descarga.

La tienda, si bien, puede acceder a recibir dos tráileres simultáneos (dependiendo de cuanto espacio tiene disponible para generar el acople con el tráiler), en la mayoría de los casos, optan por descargar un tráiler a la vez, esto, debido al caso mencionado anteriormente. La descarga, por lo general, no deja de ser un proceso simple, que requiere una cantidad de personal que permite no solo ejecutar el proceso mismo de descarga, si no también, ordenar esta mercadería donde corresponde y asignarla a los lugares que permiten posteriormente llevar estos productos a las góndolas.

Capítulo 2

Problema a abordar y justificación

En el presente capítulo se busca poder cuantificar y definir el problema de manera robusta para así justificar el porqué del desarrollo de una solución integral.

La primera Sección (2.1) detalla 3 aspectos relevantes para el problema. Primero, definir los procesos y actores que circundan al problema de manera específica. En segunda instancia, cuantificar y describir como se comportan los despachos para cada centro de distribución. Finalmente, la Sección 2.1.3, ilustra el comportamiento del fenómeno de las colisiones, que en conjunto con la cantidad de despachos, permite entregar una dimensión de la problemática.

Sobre la primera fase de descripción del problema, lo más relevante a tener en consideración, es que, un tráiler despachado, puede pasar en promedio un 16.6%, del tiempo que demora en completar su ruta, solo en tiempo de espera para comenzar su descarga. Esta situación se señala como la problemática que asume importancia a los fines de ser estudiada y sistematizada en la operación global de la empresa.

Una vez dimensionado el problema es necesario definir las posible causas y efectos que lo involucran (Sección 2.2) para comenzar a definir las posibles soluciones que se asocian a una causa determinada.

Finalmente, ya una vez definidas todas las aristas del problema, se procede a estimar el impacto de la solución enfatizando la existencia de una oportunidad de mejora si es que se logra resolver el problema, considerando diferentes escenarios posibles.

2.1. Descripción del problema

2.1.1. Área de Supply Chain

Para comprender dónde se sitúa el problema al interior de la organización, es necesario determinar los procesos asociados al área de Supply Chain Logística de la empresa.

Si bien los consumidores se encuentran acostumbrados a encontrar y visualizar los productos en las góndolas de los supermercados, surge la interrogante asociada a cómo llegan

estos productos para mantener cada día el surtido y mix de manera estable en el tiempo. He aquí la principal función del área de Supply Chain Logística: mantener abastecidas las tiendas con un servicio 24 horas al día, 7 días a la semana.

Para esto, como se mencionó anteriormente, existen dos modalidades para generar la llegada del producto a las tiendas. La primera, mediante centros de acopio (centros de distribución), y la segunda realizada a través de despachos directos por parte de los proveedores a las tiendas. Como bien se sabe, el enfoque del problema se centra en la primera modalidad; mediante despachos intermediados por un centro de distribución. De este modo, lo primero que se necesita comprender es cómo se ejecuta el proceso al interior de cada centro, desde la llegada de un producto, el almacenaje de este, la configuración de las rutas, el cargado del tráiler con la mercadería que corresponde, hasta el despacho a la tienda.

Los procesos mencionados anteriormente no responden a una demanda directa de las tiendas, sino más bien, a una planificación que se realiza a partir de pronósticos de demanda que se crean la semana previa, a este pronóstico se le denomina Rolling.

Rolling¹ viene a ser un área de la empresa transversal a todos los centro de distribución que define cuantas cajas se ha de despachar a cada centro de distribución con determinados productos para cada tienda, con un horizonte de tiempo de una semana.

Una vez determinado este pronóstico, el área de transporte debe velar por cumplir estos niveles de entrega, desencadenando una serie de acciones que permitan organizar y planificar flotas de camiones (también denominados tráileres), planificación de rutas y transportistas, entre otros procesos.

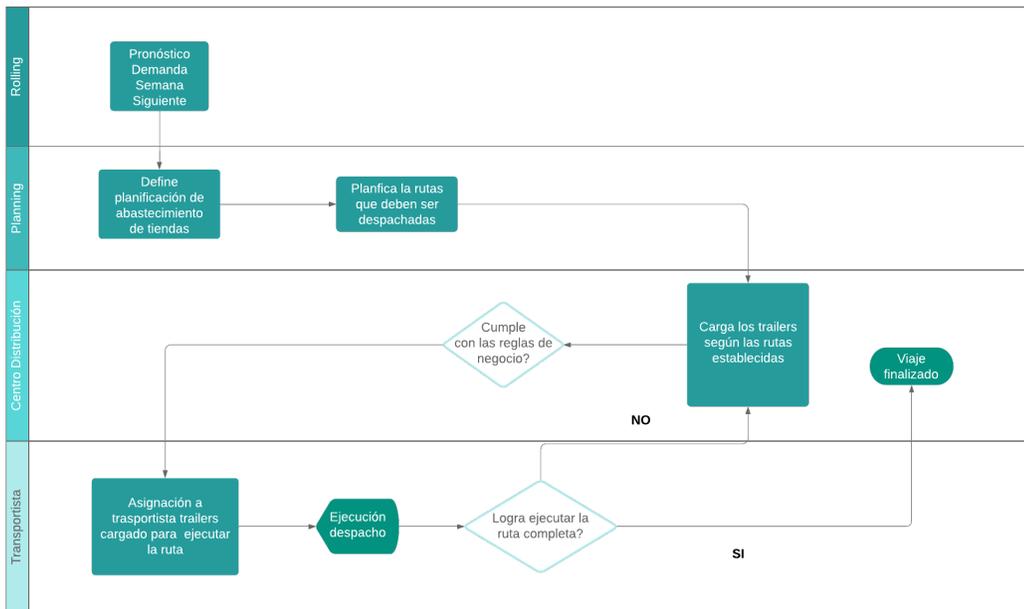


Figura 2.1: Flujo Asociado al despacho de tráileres

¹Por Rolling se comprende tanto al área que define este pronóstico y también al pronóstico en si mismo.

A partir de la Figura 2.1, se pueden evidenciar los diferentes actores que se encuentran asociados a los despachos en el proceso al interior del área de Transporte.

A partir de Rolling, el área de Planning decide ejecutar una planificación táctica que permita dividir los despachos durante los diferentes días de la semana. Una vez definida esta planificación, esta misma área se encarga de definir las diferentes reglas asociadas a la generación de rutas, esto, con el objetivo de poder alcanzar la meta que se les ha impuesto mediante el Rolling, definiendo a su vez metas semanales de abastecimiento. Estas metas se definen como un número de cajas diarias que deben ser despachadas por cada centro de distribución (con horizonte de planificación de una semana).

Ya establecido el plan táctico, es decir, una planificación semanal, en el plano operativo se comienzan a ejecutar las planificaciones diarias, las cuales involucran los procesos de carga de tráileres según la ruta que corresponda. Para la construcción de las rutas se utiliza principalmente un software de optimización de rutas diseñado a la medida de la empresa.

En la construcción de las rutas se asigna un tráiler con determinada capacidad (los que son propiedad de Retail Store) al cual se le incorpora mercadería y ejecuta el proceso de descarga. Este se carga con mercadería según el orden de la ruta (el último punto de la ruta se carga al inicio y el primer punto al final) con el fin de facilitar el proceso de descarga en tienda.

A modo general, considerando el promedio entre Marzo y Octubre de 2019, el 54 % de las rutas generadas contiene solo una tienda a visitar, el otro 37 % contiene 2 tiendas a visitar y solo el 9 % contiene más de dos tiendas a visitar, por lo que, el foco de la planificación, es poder cargar tráileres lo más llenos posibles con un punto a visitar.

Una vez cargado el tráiler; el centro de distribución, en particular los jefes de cada centro, deben velar por la ejecución de estos despachos, definiendo qué ruta será despachada y, al mismo tiempo, generando la asignación a los transportistas (quienes son externos a la empresa), los cuales se encargan de realizar la ruta designada. La problemática se define, de este modo, en torno a la decisión que toma el jefe del centro de distribución.

En este punto, el despacho debe considerar las reglas de negocios asociadas al despacho, estas reglas básicamente hacen referencia a si una tienda puede o no recibir un tráiler (o cuantos puede recibir) y que horarios están disponibles para aceptar el tráiler y poder ejecutar su descarga.

2.1.2. Cantidad Despachos

Para comprender la razón del porqué podría "ser un problema" la decisión asociado a qué tráiler es próximo a despachar y, por ende, qué tiendas abastecer, es necesario dimensionar la cantidad de despachos que se realizan por centro de distribución.

Las tiendas de la Región Metropolitana son abastecidas por tres centros de distribución: Centro de distribución 1, Centro de distribución 2 y Centro de distribución 3. Próximamente se incorporará el cuarto centro denominado.

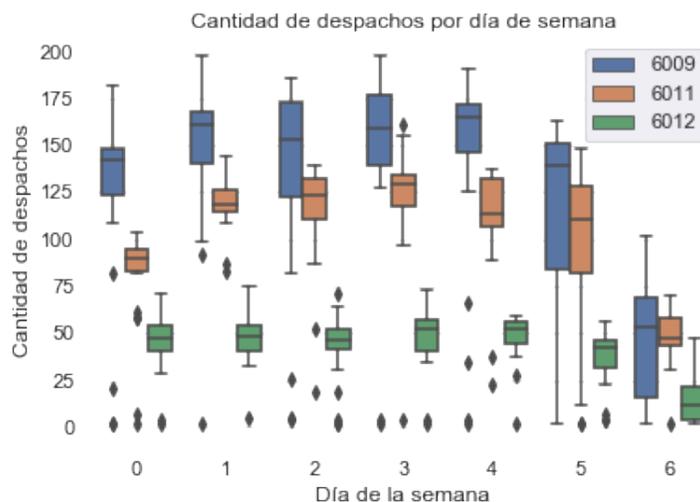


Figura 2.2: Promedio de viajes diarios periodo 03/2019-08/2019, agrupado por día de la semana y centro de distribución. 0 corresponde Domingo, 1 a Lunes, así hasta 6 Sábado. Datos fueron ponderados para efectos de confidencialidad.

A partir de la Figura 2.2, se puede inferir que el centro de distribución con menor cantidad de despachos es Centro de distribución 3 (6012).

Este centro cuenta con un promedio de 27 tráileres despachados al día y con una desviación de 10 de ellos (Apéndice A). En el caso contrario se encuentra el Centro de distribución 1 (6009), el cual despacha en promedio 96 tráileres con una desviación de 32 unidades. El caso de Centro de distribución 2 (6011) es similar a 6009, donde el promedio de despachos es de 99 tráileres con una desviación de 32.

Por su parte, para los días de la semana, se puede evidenciar que la cantidad principal de despachos se realiza entre los días Miércoles y Jueves (3 y 4 en Gráfica 2.2). Opuesto a ello se encuentra el día domingo (0 en Gráfica 2.2), con una cantidad de despachos cercana a 50 para cada centro de distribución.

El domingo, teóricamente, es un día que la empresa no tiene planificado abastecer a las tiendas pero, dadas las contingencias que ocurren, se requiere generar estos despachos.

Así, evidenciando el comportamiento de cada centro de distribución, se puede decir que solo en la región Metropolitana la cantidad de tráileres promedio del orden de 200 despachos entre los 3 centro de distribución.

2.1.3. Colisiones

Los centros de distribución operan de manera independiente entre sí; si bien existe un ente denominado tráfico que administra las problemáticas asociadas a cada uno, no existe una entidad que coordine los despachos que ejecuta cada centro. Dado esto, al momento de generar un despacho, los centros de distribución no consideran qué salida está gestionando otro centro de distribución o qué tienda ya se encuentra con un tráiler, ya sea siendo descargado o próximo a su arribo, generando que se envíen tráileres simultáneos a las mismas tiendas.

A este efecto se le denomina colisión, es decir, el momento en el cual un tráiler arriba a una determinada tienda y no puede comenzar su proceso de descarga debido a que otro tráiler se encuentra en el patio de descarga.

El actor principal encargado de ejecutar este proceso es el Jefe del centro de distribución. Este actor procura visualizar las diferentes reglas de negocio asociadas a la ruta que se debe cumplir, para luego generar la asignación tráiler-transportista.

El fenómeno descrito anteriormente, es decir, las colisiones que se generan, no representan un porcentaje menor respecto a la cantidad de despachos que se realizan (Apéndice A). De los viajes que se despachan de el Centro 1, el 22 % colisiona con una desviación del 8 %, mientras que en el Centro 2 la media aumenta a un 36 %, y el Centro 3 oscila con una media de 42 %. Finalmente, el efecto colisión se debe traducir en lo que se denomina tiempo en cola, es decir, el tiempo que demora en ser atendido un tráiler en una determinada tienda.

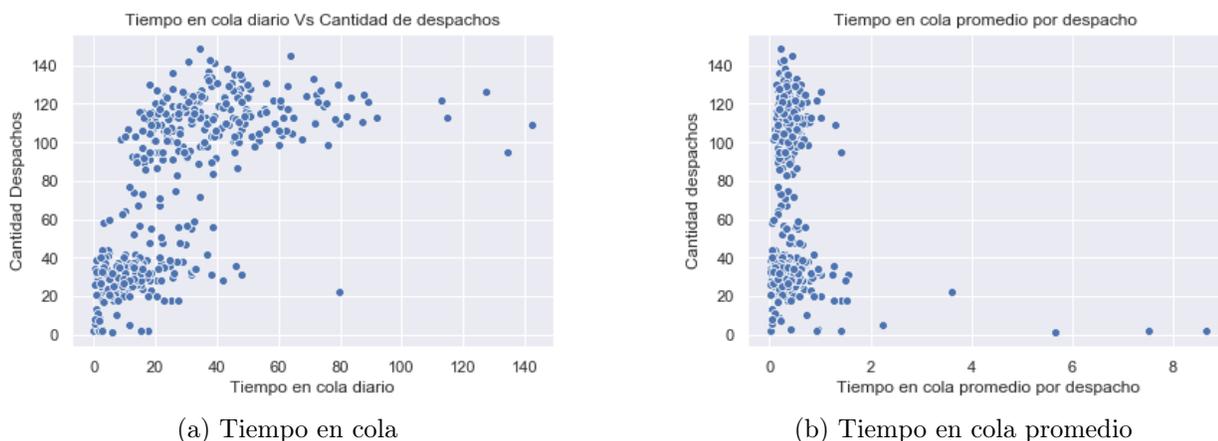


Figura 2.3: Tiempo en cola promedio diario V/s Tiempo en cola promedio diario por despacho. Cálculo realizado en base a dato de GPS en el periodo 03/2019-08/2019

La Figura 2.3a representa sobre el eje X, el tiempo en cola total que hubo para un día en particular en relación a la cantidad total de despachos que se realizaron para ese mismo día (eje Y). Se puede decir que el tiempo en cola se encuentra altamente correlacionado con la cantidad de viajes: la correlación es de un 63 % entre ambas variables. La tendencia entre ambas variables es creciente.

Para poder generar un indicador que permita cuantificar la magnitud del fenómeno, se procede a normalizar la variable asociada a las horas de colisiones de un día sobre la cantidad de viajes totales que se generaron ese mismo día, es decir, el promedio del tiempo de espera por cada tráiler despachado.

En la Figura 2.3b, se puede evidenciar cómo esta normalización permite eliminar esta correlación, para entregar finalmente, el indicador relevante que permite desglosar el problema, que es el tiempo en cola de un día en particular sobre la cantidad total de viaje despachados ese mismo día, es decir, el tiempo en cola promedio para cada tráiler.

Los despachos del Centro 1 pasan 0.27 horas de espera en promedio, en el Centro 2 0.43

horas y en el Centro 3 0.51 horas. Para poder definir la magnitud asociada al indicador, es necesario definir cuánto es el tiempo promedio que pasa un tráiler en ruta, es decir, tiempo de viaje efectivo y tiempo de servicio.

Para determinar este comportamiento se plantea el siguiente histograma que se basa en el cálculo del tiempo en ruta de un tráiler. Por tiempo en ruta se hace referencia tanto al tiempo de viaje como al tiempo de servicio del tráiler, considerando todos los puntos (tiendas) que incorpora en su ruta.

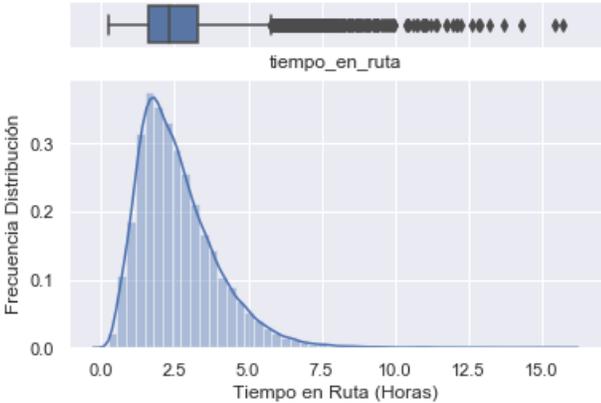


Figura 2.4: Tiempo en ruta definido como tiempo de viaje más tiempo servicio, no considera tiempo en cola o espera.

En promedio, una ruta en la Región Metropolitana tiene una duración de tiempo en ruta efectiva de 2.6 horas, con una varianza de 2.36 horas. Si se considera el tiempo en cola calculado previamente, el tráiler despachado pasa, en el caso del Centro 1, el 10 % de su tiempo de ruta esperando ser atendido. En el caso de Centro 2 es el 18.2 % y para el Centro 3 el 21.6 %.

En efectos, es importante comprender que estas cifras representan una parte importante del trayecto que realiza cada tráiler al ser despachado.

Otro foco importante a mencionar dentro de la problemática, se basa en la idea del cuanto holgura existe en las mismas tiendas para poder recibir más tráileres. En efectos las colisiones representa un problemática, pero si no existe holgura para que las tiendas no puedan recibir mas despachos, entonces, el espacio de mejora es acotado.

Las tiendas, en promedio, puede recibir tráileres durante una duración de 8 horas al día. Considerando que reciben un promedio del orden de 2 tráileres y con un tiempo de servicio de 1.4 horas por cada descarga ²(Se considera tiempo servicio desde que el tráiler comienza su proceso de descarga hasta que sale de la tienda), entonces sobre el total del tiempo de descarga, lo cual implica un porcentaje de utilización de los tiempos de descarga del 30 %, es decir, en la media general, aun existe capacidad para enviar mas tráileres a las tiendas. Si bien, existen algunas tiendas con mayor capacidad porcentaje de utilización respecto a otras, en la red en general existe una oportunidad para aumentar la capacidad de despacho,

²(

es decir, existe una holgura asociado y oportunidad de mejora, lo que se relaciona con la idea que la problemática se centra en la toma de decisiones.

La situación actual plantea un contexto donde la ejecución de los despachos realizados por los jefes de cada centro de distribución no considera una mirada centralizada sobre el estado actual en curso, tanto en las tiendas como en los otros centros. Dicho esto, el problema se define de la siguiente manera: en el área de Supply Chain y logística de Retail Store, existe una deficiente asignación en las salidas de los tráileres por parte de los jefes de los centros de distribución.

Par ejemplificar que existen mejores alternativas de despachos, se puede tomar el día 16/05/2019. A las 7:36 am se ejecutó un despacho a la tienda 161, lo que provocó 0.9 horas de colisión en esta tienda. A la misma hora, existían, por lo menos, 9 tráileres cargados que si se hubiesen despachados a esa misma hora, no hubiesen colisionado. Este ejemplo da a entender que cabe la posibilidad de que exista una mejor decisión sobre que tienda se podría abastecer para ese día en particular.

Si se replantea el flujo de la Figura 2.1, la problemática se enmarca en el siguiente contexto.

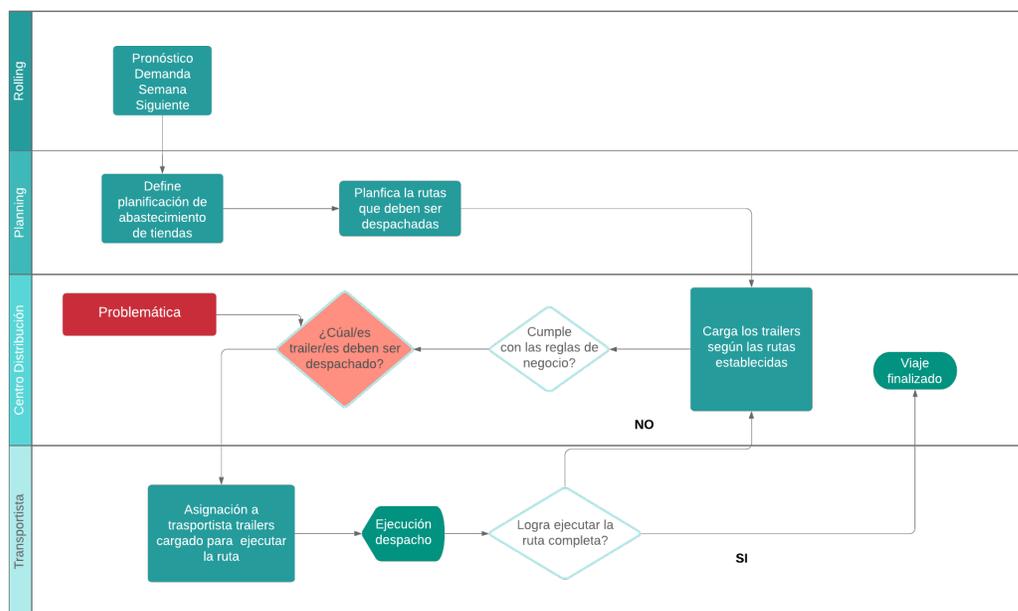


Figura 2.5: Flujo Asociado al despacho de tráileres vinculado a la problemática.

A partir de la Figura 2.5, se puede evidenciar que la problemática se enmarca en un contexto altamente operacional, es decir, la decisión asociada a ejecutar un despacho determinado considerando tanto la reglas de negocio como el plan de la tiendas una vez ya disponibles los tráileres con sus respectivas mercaderías y rutas en el centro de distribución.

2.2. Justificación y cuantificación

Para comprender los impactos que tiene esta problemática se deben utilizar dos enfoques: el primero de ellos asociado a la rotación de los tráileres. Para este primer enfoque es necesario

considerar que la cantidad de tráileres disponibles es fija, ya que se deben preparar con antelación. El segundo, se basa en el impacto que tiene el tiempo de espera en tienda y/o el ejecutar un despacho que no cumple con las reglas de negocio.

Las horas de espera en tienda tienen repercusiones directas en los gastos operacionales; puede implicar devoluciones (que la tienda rechace al tráiler por colapso en los patios de descarga o llegadas fuera de ventanas horarias).

Por su parte, otro impacto relevante se asocia al hecho de aumentar la rotaciones de los tráileres, basándose en la idea de transformar los tiempos de espera en tiempos efectivos en ruta. Esto quiere decir, en términos prácticos, despachar un tráiler con una ruta en la cual las tiendas se encuentran libres o, en su defecto, que al momento en que el tráiler llegue a la tienda en cuestión, esta esté disponible para poder generar su descarga.

2.2.1. Árbol de problemas: Causas y efectos

Para comprender las diferentes causas y efectos asociadas al problema central, se crea el siguiente árbol de problemas.

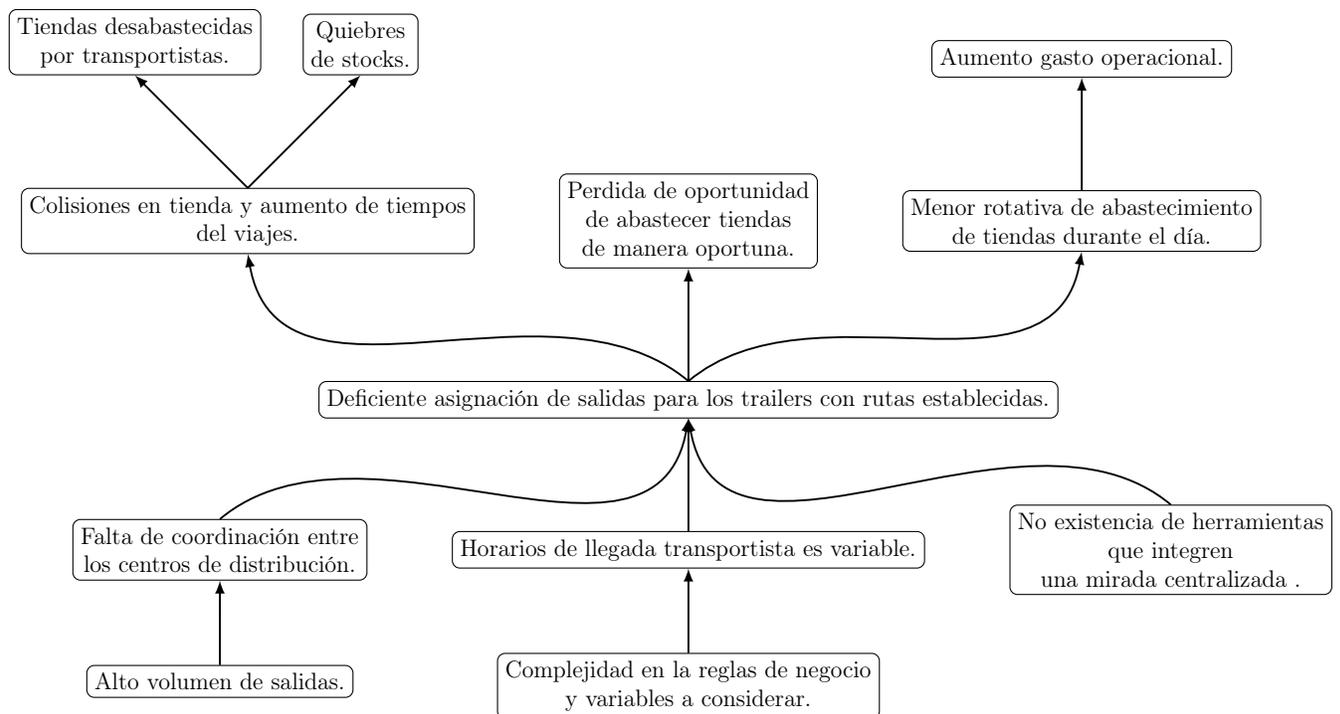


Figura 2.6: Árbol de Problemas.

Primeramente, la falta de coordinación entre los centros de distribución considera un nuevo actor relevante vinculado directamente al problema. El área en cuestión se denomina Tráfico, la que cumple el rol de gestionar las salidas desde los centros de distribución y llegadas a las tiendas desde un aspecto táctico y operativo. Es decir, manejan las contingencias diarias y se comunican directamente con los coordinadores de los centros para manejar las problemáticas asociadas al día a día.

De igual manera, otro actor directo que se vincula al problema y segunda causa observable,

son los transportistas. El modelo de contrato que existe actualmente permite que exista variabilidad en sus llegadas; el pago se realiza por viaje realizado según el tiempo en ruta y destinos que han llegado. Hoy, Retail Store es propietario del tráiler en cuestión (80 % aproximadamente) y los transportistas son aquellos que utilizan el motor de la máquina para acoplar el tráiler y transportar este según la ruta que sea requerida.

La variabilidad de los transportistas durante el día implica que exista un recurso limitado al momento de accionar, ya que sin transportistas no se pueden gestionar las salidas. Dado el modelo de contrato que existe con los transportistas, estos tienen ciertas preferencias al elegir rutas que tengan menos complejidad. Entiéndase complejidad con las variables asociadas al tráfico, tiempo de servicio en la tienda, entre otras. Así, dependiendo de los transportistas, pueden existir preferencias para abastecer ciertas tiendas, implicando un factor que afecta directamente la asignación de tráileres que deben ser despachados.

La tercera causa asociada al problema se vincula con una falta de herramientas que permitan gestionar e integrar las salidas de los tráileres, coordinando los diferentes centros de distribución. No existen plataformas que integren las diferentes reglas de negocio que rijan las salidas de un tráiler hacia las tiendas, además de considerar factibilidades tales como ventanas horarias y prioridades de salidas.

Estas tres causas son la que generan una deficiente asignación de las salidas en el día a día de la operación de la empresa, lo que conlleva a diferentes efectos y repercusiones en la organización. Las consecuencias asociadas a esta problemática tienen dos aspectos relevantes a mencionar: el primero es el fenómeno de las colisiones y/o tiempo en cola descrito en la sección anterior. A modo resumen, existe un porcentaje de colisiones de 33 %, y un tiempo de espera promedio para ser atendido de 0.40 horas, lo que corresponde al 15 % del tiempo efectivo en ruta de cada tráiler.

En sí mismo, el tiempo de espera puede tener diferentes consecuencias: por un lado, si una tienda con un alto flujo de llegadas presenta altos tiempos de espera, es probable que los transportistas eviten estas rutas, lo cual repercute en el desabastecimiento de tiendas y quiebre de stock. Si el tiempo de espera es prolongado, se podría generar el efecto devolución, es decir, cuando el transportista es rechazado en la tienda y debe volver al centro de distribución ya que no pudo ser atendido. En este contexto, es necesario señalar que las tienda tiene ventanas horarias; posterior al cierre de la tienda pueden decidir si atender o no un tráiler. Por ejemplo, si una llegada ocurre dentro de la ventana horaria pero el tráiler en cuestión no puede ser atendido debido a que la tienda se encuentra siendo abastecida, si la ventana horaria de cierre ya ha pasado, entonces esta tienda podrá rechazar la descarga, generando una devolución. Las devoluciones representan un 5 % de viajes totales del día³.

La segunda consecuencia, relevante a mencionar, se asocia a la rotativa de los tráileres. Como la base de tráileres en un día es fija, si estos son capaces de generar segundas o terceras vueltas (rotaciones), la capacidad de abastecimiento aumenta.

En la situación actual, los tráileres tienen rotaciones, promedio al día, de 1.64 viajes, con una varianza de 0.99. Estas rotaciones también están sujetas al largo de la ruta. Considerando

³La devoluciones no existen dentro de la base de datos de la organización, esta cifra fue entregada por personal de tráfico, pero no puede ser cuantificadas mediante el uso de los GPS

que el 16.6 % (promedio de los 3 centro de distribución) del tiempo en ruta efectivo lo utilizan en esperar para ser atendidos, se presume que al disminuir estos tiempo de espera en tiempo en ruta, se podría aumentar las rotaciones, ya que el tráiler podría volver antes al centro de distribución y ser cargado para una nueva ruta.

Considerando los efectos mencionados anteriormente, se puede resumir que la deficiente asignación de salidas repercute en la rotación de los tráileres, impacto en tienda y generación de devoluciones.

2.2.2. Cuantificación

Para determinar el impacto asociado al problema, en primer lugar, se debe definir cuánto costaría aumentar el tiempo efectivo en ruta, bajo el supuesto de que la única forma de realizarlo es aumentando la base de tráileres y realizando una inversión anual para la compra de estos.

Para efectos de confidencialidad, solo se presentará un resumen de costos asociados por cada efecto que genera la problemática.⁴

Para aumentar los tiempo en ruta efectivos y, por ende, la capacidad de abastecimientos por parte de los centro de distribución hacia las tiendas, un aumento de un 5 % implica un costo del orden de \$ 700.000 USD. Este cálculo se realiza considerando las variables que hoy se podrían modificar, esta es, la base de tráileres que dispone la compañía.

Por otro lado, las devoluciones fluctúan en un 5 % promedio al día (dato entregado por área de tráfico), implican un costo del orden de \$ 300,000 USD, es decir, si se logra un caso ideal donde todos los despachos que se realizan fuesen recibidos por las tiendas, se tendría un ahorro en costos directos operacionales.

Las devoluciones son costos directos asociados a la problemática junto a las rotaciones de tráileres (o aumento de tiempo efectivo en ruta), por lo que se plantean como una derivada del problema asociada a la idea de poder transformar los tiempos en cola en tiempo de viaje, es decir, que al despachar un determinado tráiler este sea enviado a tiendas que se encuentran libres. Esto permitiría disminuir los tiempo en cola, aumentando las rotaciones y, por ende, los tiempos efectivos de viaje (tiempo servicios más tiempo de viaje).

A partir de esto, se presentan algunas oportunidades de mejora. Considerando que los tráileres pasan el 15 % de su tiempo de viaje efectivo esperando para ser atendidos, existe la oportunidad de transformar estos tiempos de espera en tiempo de viajes efectivos. Dado que la empresa genera 554 horas promedio de viajes efectivos al día, se podría aumentar esta cantidad en 83 horas (hora de espera) promedio de viajes, todo esto bajo un escenario ideal donde ningún tráiler colisione.

Un aumento de un 15 % en los tiempos en ruta efectivos tiene un costo anual de inversión del orden de \$2,000,000.00 USD, esto quiere decir que, para alcanzar la misma productividad en traducir los tiempos de espera a tiempo en ruta, debe implicarse este nivel de inversión.

⁴Las tablas asociadas a los costos mencionados no fueron incluidas en el informe por motivos de confidencialidad.

Dicho esto, la empresa cuenta con una oportunidad de mejora tanto en su productividad (aumentar la capacidad de distribución) como en la reducción de costos por las devoluciones que se generan.

Esto alcanza una valorización total del de \$3,000,000.00 USD, bajo el supuesto del mejor escenario posible. Finalmente, se concluye que la problemática tiene un impacto relevante para la organización en términos monetarios.

Para la organización, no solo son relevantes estos impactos, sino también el diseño de una solución que integre las diferentes variables asociadas a las reglas de negocios y permita generar una mirada centralizada tanto de los despachos que se realizan como del estado actual de tráileres en los mismos centros. Responder preguntas como cuántos de los tráileres cargados están disponibles para salir por reglas de negocio y cuántos no, genera un valor importante para la empresa, como también casos que produzcan conexiones en tiempo real entre las decisiones que toma tráfico y como las ejecuta la operación. Esto prepara a la operación para una transformación digital y tiempos de respuesta real que permite accionar diferentes mecanismos de acciones antes contingencias.

Capítulo 3

Objetivo y alcances

3.1. Objetivo general

Creación de una herramienta que permita gestionar una asignación óptima de las salidas desde los centros de distribución hacia las tiendas de Retail Store Chile en la Región Metropolitana, con foco en disminuir los tiempos de espera en tienda y aumentar las rotaciones de los tráileres.

3.2. Objetivos Específicos

- Desarrollar un MIP que considere parámetros tales como las rutas, ventanas de tiempo, tiempos de viaje y tiempo de servicio, considerando variables de decisión asociadas a las horas de partida de los tráileres.
- Estimar tiempos de servicio con variabilidad suficiente para generar predicciones sobre los tiempos de estadía en tienda.
- Generar una automatización del modelo mediante una interfaz que permite tanto llamar a los resultados de este, como manejar los diferentes parámetros, considerando las diferentes reglas asociadas.
- Desarrollar una API Rest¹ que permita manejar tanto las bases de datos que hoy no son digitales, como llamar al optimizador y generar una respuesta, entregando una conexión en tiempo real entre las decisiones de tráfico y los centros de distribución.

Los criterios de éxito asociados al proyecto se basan en tres KPI principales. Por un lado, el porcentaje de colisiones y cantidad de horas en colisiones por viajes permiten medir (promedio tiempo espera por viaje) la evolución del tiempo de espera en tienda y, por otro lado, la rotación de los tráileres medidos en tiempo de viaje efectivo. El último indicador es el porcentaje de devoluciones que se genera diariamente.

¹ *Application Programming Interfaces*, en sus siglas en inglés, viene a ser un conjunto de reglas que permite comunicar aplicaciones entre sí, mediante determinados protocolos que se encuentran establecidos.

3.3. Alcances

Los alcances de este proyecto se definen en diferentes ámbitos, sin embargo, la herramienta propuesta solo será la de despachos para las tiendas de la Región Metropolitana. Si bien tanto en Regiones como en Zona 0 (Zona 0 se denomina a las tiendas que se encuentran fuera de la Región Metropolitana pero a una distancia máxima de 250 km, como Rancagua) se encuentran con problemáticas similares, las reglas de negocio que se aplican difieren de La Región Metropolitana, lo que podría desviar los esfuerzos. La propuesta del modelo que genera un espacio de soluciones debe ser agnóstica a la Zona, lo que permitirá en futuros trabajos poder integrar estas zonas en la herramienta.

Por otro lado, un alcance necesario a definir es que, dentro de los parámetros a utilizar, se consideran las rutas ya establecidas como fijas, es decir, que estas no serán casos de estudio ni se evaluará su calidad (de las rutas). Esto debido a que estas configuraciones dependen principalmente de la matriz de Retail Store en su País de origen.

Finalmente, tampoco será competencia de este trabajo analizar lo que se encuentra al interior de un tráiler, es decir, el detalle de cada mercadería, ya que este análisis pertenece a otras áreas que no están vinculadas al proyecto, por lo que solo se trabajará con categorías de Frío, Seco y Congelado, variables que serán incorporadas dentro de los análisis.

Capítulo 4

Metodología

4.1. Metodología

La metodología propuesta para el desarrollo de la solución se denomina CRISP-DM.

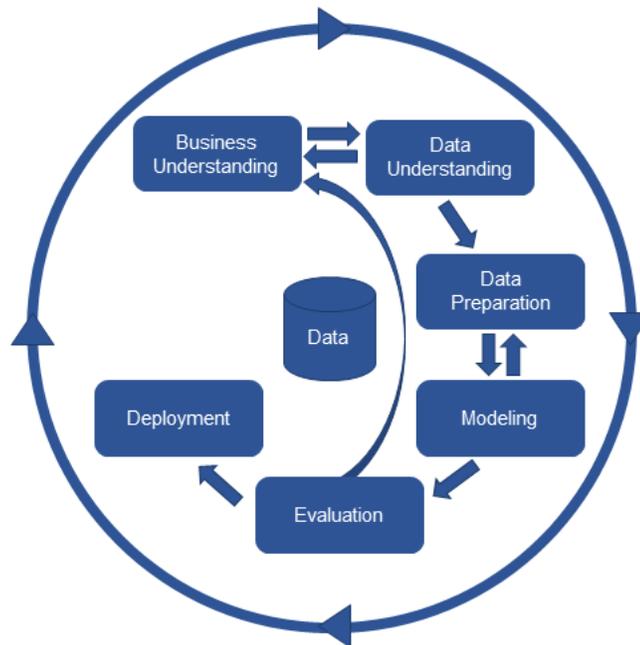


Figura 4.1: Metodología CRISP-DM

Dicha metodología consta de diferentes etapas iterativas que permiten entregar un resultado factible considerando las variables intrínsecas al negocio [Wirth, 2014]. En una primera etapa se considera el levantamiento de información, lo que permite comprender el negocio y su forma de operar. Para este problema en particular, es necesario considerar información asociada a las diferentes fuentes que proveen los datos, tanto para realizar las salidas como para generar el tracking.

A su vez, al considerar tanto las fuentes de información disponibles como las diferentes

reglas asociadas, es necesario comprender cómo se manejan estos datos, vale decir, comprender la data: definir qué procesos se encuentran digitalizados y los otros datos que se manejan manualmente (mediante traspaso de Excel por ejemplo).

Con el propósito de configurar la preparación de los datos, es necesario disponer estos para la creación de un modelo. En principio, bajo la idea de desarrollar un MVP (Producto Mínimo Viable), la preparación de la data deber ser interactiva en torno al modelo, buscando construir este de menos a más. Una vez definido el modelo factible, se debe evaluar su capacidad de mejora y desempeño, a partir de cuyos resultados se debe construir un ciclo iterativo para preparar el modelo y estimar sus potenciales mejoras.

Una vez ya definidas las reglas de negocio y un modelo calibrado se procede a incorporar estas soluciones en un software que va a generar la herramienta de despacho como tal. Este diseño se configura a partir de ciclos iterativos que responden a la usabilidad y necesidad de los usuarios que utilizarán la plataforma. Respondiendo a la necesidad de un desarrollo ágil e iterativo, el desarrollo de la plataforma será integrado de manera gradual al interior de la operación, buscando levantar los diferentes feedbacks por parte de ellos y poder ajustar tanto la interfaz de la plataforma web como una nueva calibración para el modelo utilizado. Con este diseño de metodología se busca entregar un producto que tenga impacto y responda a la necesidad de las empresas, las que evitarán generar desarrollos que aporten valor o pérdida y se enfoquen en los objetivos que se han propuesto.

4.2. Desarrollo solución

Los siguiente capítulos que siguen a continuación hacen referencia a todos los procesos involucrados en el desarrollo de la solución.

En parte, cada capítulo se encuentra ligado a las problemáticas planteadas, las necesidades que requiere la solución, los objetivos planteados y el desarrollo en sí mismo de las diferentes componentes que esta requiere.

El desarrollo se plantea desde lo más general a los más particular, buscando que se pueda comprender como se arriba a un producto final que es útil para poder coordinar los despachos desde cada centro de distribución.

El primero paso se basa en definir el Marco teórico asociado a la solución, detallando cada componente teórica y en que parte del desarrollo de solución será utilizada.

El segundo paso se basa en definir de manera específica la diferentes reglas de negocios (Capítulo 6), tales como Fixed Planning, Banderas blancas y las ventanas horarias que se deben incorporar.

Posterior a definir esta reglas, se procede a definir el MIP (Capitulo 7), planteando tanto los parámetros del modelo, las variables de decisión, considerando las diferentes restricciones que definen el problema y, finalmente, la función objetivo, que tiene como foco poder disminuir el tiempo de espera en tienda, como se ha propuesto en los objetivos.

Debido a que el MIP asume un comportamiento determinista para los tiempos de viaje

y tiempos de servicio, entonces, se incorpora un Capítulo que permite analizar las variabilidades y desarrollar modelos que permiten generar predicciones razonables para estos dos parámetros.

Una vez ya definido el modelo y las estimaciones, en el Capítulo 9, se procede a evaluar y calibrar el modelo, definiendo las oportunidades de mejora teóricas que existen en contraste con la realidad y el comportamiento de las estimaciones, considerando los tiempos de servicio y tiempo de viaje estimados en capítulos previos.

Finalmente, el Capítulo 10, presenta el diseño completo de la aplicación que se desarrolló, dando ejemplo de la interfaz que se creó, como se incorporan las diferentes lógicas tales como las reglas del negocio y el modelo, llegando a la solución final definida como una herramienta de gestión de despachados.

Capítulo 5

Marco Teórico

El siguiente Marco teórico busca definir la herramientas que fueron utilizadas en todo el desarrollo de la solución considerando las necesidad que fueron surgiendo para realizar diferentes estimaciones.

Los primeros modelos, tales como el test Kolmogorov-Smirnov, Distribución Weibul y Máxima verosimilitud, asumieron relevancia en el desarrollo de la solución y en las estimaciones que se asocian a explicar las variabilidades que existen tanto en los tiempos de traslados como los de descarga (tiempo de viaje y tiempo servicio, respectivamente).

Para poder evaluar la calidad de las predicciones se utilizaron métricas tales como el MAPE (Error absoluto medio) y RSEM (Error cuadrático medio); permitieron determinar el error de las predicciones que se realizaron.

Finalmente, la utilización de un MIP, es parte de esta componente teórica debido a que fue la herramienta clave para modelar, simular y generar una mejor toma decisiones, en relación al contexto de la problemática. Por decirlo de alguna manera, este modelo es quien permiten coordinar a los 3 centros de distribución y agregar inteligencia.^a la ejecución de los despachos.

5.1. Test de Kolmogorov-Smirnov

Este primer test se utiliza al momento de comparar diferentes distribuciones de tiempo de servicio. Es decir que, para diferentes categorías se busca evaluar si existen diferencias entre los tiempos según categorías, particularmente entre los centro de distribución.

El test de Kolmogorov-Smirnov es una prueba no paramétrica que permite determinar la bondad de ajuste entre dos distribuciones de probabilidad entre sí. Este test permite comparar dos distribuciones de probabilidad y poder evaluar si distribuyen de igual manera.

Conceptualmente este test consiste en cuantificar distancias entre una función empírica de probabilidad y una función de distribución de referencia, entre dos funciones empíricas.

Para esto, se define una función empírica de probabilidad F_n , donde dada una cantidad

de n de observaciones para una variable X_i se tiene que.

$$F_n(X) = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n I_{X_i \leq x} \quad (5.1)$$

De la ecuación 5.1, $I_{X_i \leq x}$ viene a ser una función indicatriz, donde se asumen los valores de 1 si $X_i \leq x$, del caso contrario se asume el valor de 0.

A partir de la función distribución $F_n(X)$, se define el estadístico D_n de la siguiente manera.

$$\sup_x |F_n(x) - F(x)| \quad (5.2)$$

Donde \sup_x denota al supremo del conjunto de la distancias entre ambas distribuciones. Cuando se quiere testar si dos distribuciones de probabilidad unidimensionales difieren, entonces el estadístico debe ser planteado de la siguiente manera.

$$\sup_x |F_{1n}(x) - F_{2n'}(x)| \quad (5.3)$$

De la ecuación 5.3, $F_{1n}(x)$ y $F_{2n'}(x)$ son la funciones de distribución tanto de la primera muestra como de la segunda, respectivamente.

Para rechazar un hipótesis nula se debe cumplir lo siguiente.

$$D_{nn'} > c(\alpha) \sqrt{\frac{n+n'}{nn'}} \quad (5.4)$$

Esta prueba permite, de manera sencilla, comparar distribuciones de probabilidad empíricas para evaluar si existe diferencias entre distintos grupos. Su implementación fue utilizada en los tiempos de servicio.

5.2. Distribución Weibull

Esta distribución será utilizada para modelar los tiempos de servicio según diferentes variables.

Una distribución Weibull es una distribución continua de probabilidad que permite ajustarse a diferentes valores según su comportamiento. [Nielsen, 2011]

Sea X una variables aleatoria de distribución Weibull, su función de densidad es la siguiente.

$$f(x; \beta, \gamma) = \frac{\gamma}{\beta^\gamma} x^{\gamma-1} \exp\left(-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\gamma\right) \quad (5.5)$$

El parámetro β se denomina escala (scale) y el parámetro γ se denomina forma (shape en inglés). La forma nos permite identificar como varían en el tiempo las tasas de fallo. Para $\gamma > 1$, la tasa de fallos crece en el tiempo, para $\gamma = 1$, es constante en el tiempo y para $\gamma < 1$ esta decrece en el tiempo.

El valor esperando de una distribución Weibull, con parámetros γ y β ya determinados, es el siguiente.

$$E(X) = \beta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\gamma}\right) \quad (5.6)$$

La varianza, a su vez, se plantea de la siguiente manera:

$$VAR(X) = \beta^2 \left(\Gamma\left(1 + \frac{2}{\gamma}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{\gamma}\right) \right) \quad (5.7)$$

Así, las ecuaciones 5.6 y 5.7, solo requieren de los parámetros β y λ para poder estimar y aproximar valores esperados e intervalos de confianza.

5.2.1. Máxima verosimilitud

Para poder estimar los parámetros de un distribución Weibull, existen diferentes métodos, uno de los más utilizados es por máxima verosimilitud. [Nielsen, 2011]

Dada la función de densidad $f(x; \beta, \gamma)$, planteamos la función de verosimilitud, $L(\beta, \gamma|x_i)$.

$$L(\beta, \gamma|x_i) = \prod_{i=0}^n f(x_i|\beta, \gamma) \quad (5.8)$$

Reemplazando los valores de la función de densidad, se obtiene lo siguiente.

$$L(\beta, \gamma|x_i) = \prod_{i=0}^n \left[\frac{\gamma}{\beta^\gamma} x^{\gamma-1} \exp\left(-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\gamma\right) \right] \quad (5.9)$$

A partir de la ecuación 5.9, se plantea la log verosimilitud de la siguiente forma.

$$\log(L(\beta, \gamma|x_i)) = \prod_{i=0}^n \log \left[\frac{\gamma}{\beta^\gamma} x^{\gamma-1} \exp\left(-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\gamma\right) \right] \quad (5.10)$$

Realizando las operaciones sobre la función verosimilitud, se obtienen el siguiente resultado.

$$\begin{aligned} \log(L(\beta, \gamma|x_i)) &= n \log(\gamma) - n\gamma \log(\beta) \\ &+ (\gamma - 1) \sum_{i=1}^n \log(x_i) - \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i}{\beta}\right)^\gamma \end{aligned} \quad (5.11)$$

Finalmente, para obtener los parámetros β y γ , se debe optimizar buscando el mínimo valor posible, es decir, resolviendo el sistema de ecuaciones que viene dado por las condición de primera orden, $\frac{\partial l(\beta, \gamma|x_i)}{\partial x_i} = 0$.

5.3. MAPE y RSEM

Para estimar los errores de la estimaciones realizadas se toman en considerando dos métricas altamente utilizadas, el MAPE (Error absoluto medio) y RMSE (Error cuadrático medio).

El MAPE mide el error absoluto medio en términos porcentuales. Sea A_t el valor real y F_t la estimación realizada. El MAPE se define de la siguiente manera.

$$MAPE = \frac{\sum_{i=0}^n \frac{|A_t - F_t|}{|A_t|}}{n} \quad (5.12)$$

El RMSE, por su parte, se define de la siguiente manera:

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=0}^n \frac{(\hat{y}_i - y_i)^2}{n}} \quad (5.13)$$

5.4. Modelamiento de problemas lineales: MIP

El modelamiento de problemas lineales se basa en la construcción de variables y restricciones sobre estas variables, en conjunto con una función objetivo. La resolución de estos problemas se basa en la toma de decisiones en búsqueda de un valor óptimo de la función objetivo. Un MIP (Programación entera Mixta) se define de la siguiente manera. [Dantzig, 1998]

Este tipo de modelo es el que permitirá modelar de manera concreta la idea de la colisiones, es decir, será un eje central en el desarrollo de la solución.

$$\begin{aligned}
& \underset{x,y}{\text{minimizar}} && c^T x + d^T y \\
& \text{sujeto a} && Ax + By = b \\
& && x, y \geq 0 \\
& && x \in \mathbb{Z}^n, y \in \mathbb{R}^l \\
& && c \in \mathbb{R}^n, d \in \mathbb{R}^l \\
& && A \in \mathbb{R}^{n \times m}, B \in \mathbb{R}^{m \times l}, b \in \mathbb{R}^m
\end{aligned} \tag{5.14}$$

5.5. Otros trabajos relacionados

El presente problema que se quiere abordar especifica dos aspectos relevantes: el primero trata de las reglas de negocio y el segundo del modelamiento asociado a coordinar salidas con múltiples centros de distribución. Los trabajos relacionados al segundo ámbito, es decir, el modelamiento de este tipo de sistemas, se vincula con trabajos asociados a planificación aérea, donde el enfoque que se utiliza es mediante teoría de colas [Balakrishnan and Chandran, 2007]. Este trabajo tiene el foco de poder generar una planificación para cada aeroplano fijando la hora de partida para cada uno de ellos.

El enfoque utilizando en este tipo de trabajos supone una planificación establecida, es decir, que se cumplirá durante un período de tiempo determinado. Dadas las características del problema y la solución que se diseñará para el caso de la empresa, se descarta una teoría de colas debido a la naturaleza propia del problema.

Capítulo 6

Reglas de negocio

El primer punto que se abordará en la problemática se relaciona a las diferentes reglas de negocio asociadas a los despachos y abastecimiento de las tiendas. Cada regla de negocio cuenta con un actor asociado que es quien debe velar por la creación y divulgación de las mismas para poder abastecer a las tiendas durante el día. Dichas reglas, por lo general, funcionan tanto en planos tácticos como operacionales, dependiendo de su propósito.

Parte de la solución propuesta no solo tiene un foco en disminuir las colisiones en tienda y aumentar la rotación de los tráileres, sino también, se espera que estas reglas de negocio puedan ser cumplidas según corresponda, y así poder ordenar y hacer visibles las diferentes falencias que hoy se tienen en el cumplimiento de las reglas.

Las siguientes reglas hacen referencias a 3 aspectos principales de la operación. El primero, Fixed Planning, se asocia a la planificación de la tiendas asociadas, respondiendo a la pregunta ¿Cuántos despachos (tráileres) puedo realizar a una tienda en un determinado día de la semana?.

La segunda regla, Banderas blancas, hace referencia a que existen tiendas que por diferentes motivos no pueden recibir tráileres durante el día. Inclusive si los centro de distribución tiene carros cargados listos para ser despachados, si la tienda decide posicionarse con una bandera blanca, entonces, no puede ser despachado el tráiler.

La tercera regla se basa en el cumplimiento de las ventanas horarias, es decir, responde a la pregunta ¿En qué horarios una tienda se encuentra disponible para recibir un tráiler?

Si bien, este documento expone 3 reglas de negocio indicándose como las principales y mas importantes, existen otra 3 reglas que la operación utiliza para poder generar despachos; no distan mucho de las presentes. Por simplicidad solo se presentarán la tres más importantes.

6.1. Regla de negocio: Fixed-planning

La primera regla de negocio asociada se denomina Fixed-planning, o planificación de recepción de tiendas. Para comprender de qué se trata, es necesario entender un proceso

previo que gatilla toda la planificación semanal. Para poder preparar los despachos, la empresa cuenta con un proceso denominado Rolling. El Rolling es la estimación de demanda, a nivel de cajas, que deben ser despachadas por centro de distribución. Esta estimación se realiza semanalmente, lo que permite que cada centro pueda definir sus flotas respectivas para hacerse cargo de ese nivel de despachos.

A partir de Rolling el área encargada de crear una planificación semanal de abastecimiento de tiendas (Planning) define lo que se denomina el Fixed planning, una planificación diaria sobre qué centros de distribución pueden abastecer a determinadas tiendas. Un ejemplo del Fixed Planning es el siguiente:

Local	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Tipo Mercadería	Centro Distribución
1	1	1	1	1	1	1	0	Ambient	6009
2	1	0	1	0	0	1	0	Ambient	6009
4	1	1	1	1	1	1	0	Ambient	6009
11	1	0	1	1	1	0	0	Ambient	6009
15	1	1	1	1	1	1	0	Ambient	6009
16	1	1	2	1	1	1	0	Ambient	6009
18	1	1	1	1	1	1	0	Ambient	6009
34	1	0	1	0	1	0	0	Ambient	6009
37	1	0	1	1	0	1	0	Ambient	6009

Tabla 6.1: Ejemplo Fixed planning para una semana, Centro de distribución 1 (6009), considerando solo algunas tiendas de ejemplo. La unidades de despacho hacen referencia a la cantidad tráiler que puede recibir durante un día.

En la Figura 6.1 se puede evidenciar que, dependiendo del día, una tienda puede o no recibir tráileres. Por ejemplo, la tienda 2 no recibe los días Martes, Jueves y Viernes desde el centro de distribución 1 (6009). Esto puede deberse a diferentes motivos, por ejemplo, que no tenga el personal disponible para realizar las descargas.

Para comprender de mejor manera cómo se anticipa la planificación semanal se puede observar la siguiente gráfica:

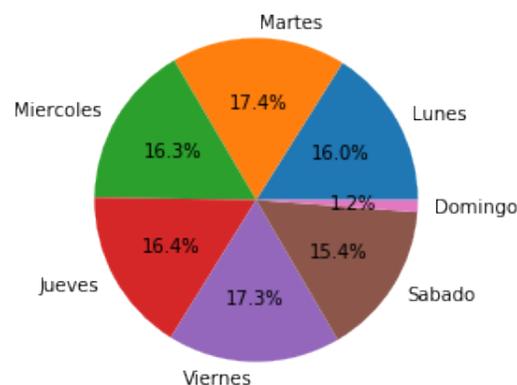


Figura 6.1: Porcentaje de despachos en Fixed Planning por día de la semana para el Centro de distribución 1 (6009), semana 29/09/2019.

A partir de la Figura 6.1 se puede constatar que la planificación para cada día es similar para cada tienda. En general, el día lunes se planifica el 16 % de los despachos semanales, y el día viernes, el 17.3 %, siendo este el día con mayor cantidad de despachos, dada la preparación para el fin de semana, que es donde mayor demanda existe. En los días domingos, por su parte, no aplica la planificación semanal, ya que ese día en particular no se deberían ejecutar despachos.

Proceso de ejecución Fixed Planning

Para poder incorporar esta regla de negocio en la ejecución de despachados, se define el concepto de **La bolsa**. La bolsa es la base de tráileres cargados que se encuentran disponibles en algún centro de distribución que cumplen las reglas de negocio.

Una de las problemáticas que circunda en torno a la planificación de las tiendas, es que pueden existir tráileres en los cuales sus rutas contienen tiendas que no deben ser despachadas ese día, es decir, existen tráileres cargados que no se encuentran en La bolsa. Así, para poder definir si un tráiler asociado a una ruta determinada puede o no salir, se plantea el siguiente flujo asociado a las reglas de negocio.

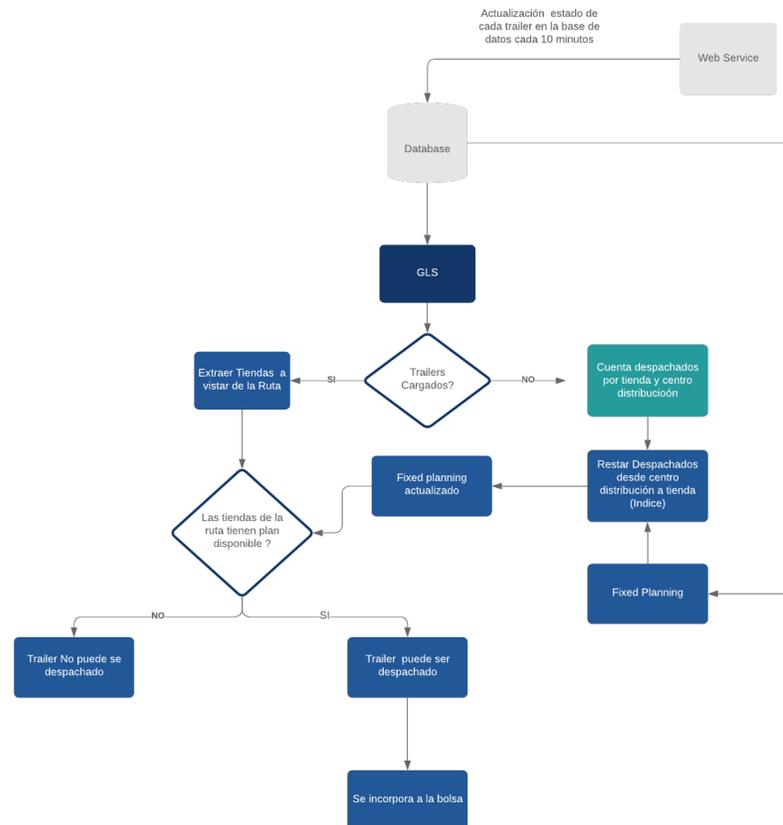


Figura 6.2: Flujo ejecución Fixed planning integrado con Web Service. Proceso asociados al pre-procesamiento de información previo a la ejecución del modelo de optimización.

Para comprender de mejor manera cómo se ejecuta el flujo de esta regla de negocio, se plantea el Diagrama 6.2. Por su parte, para poder incorporar el dinamismo que requiere la solución, se generó un Web Service al cual se la inyectan cada 10 minutos los diferentes estados que puede tener un tráiler: estos son Cargado y Despachado. El estado Cargado hace referencia a que el tráiler se encuentra disponible en el centro de distribución para ser despachado, en cambio, el estado Despachado hace referencia a que el tráiler ya fue enviado a recorrer su ruta. La tabla que contiene la última actualización de su estado respectivo (en el Anexo se puede ver el ejemplo de una inyección y sus respectivas columnas) se denomina GLS.

A partir de GLS se ejecuta el flujo diferenciando tanto Cargados como Despachados; mediante los tráileres despachados se genera una actualización del Fixed planning ya que, si se ha despachado un tráiler a una tienda determinada desde un centro de distribución y el plan de la tienda es 1, entonces esta ya ha cumplido con su plan. Por lo tanto, el plan actualizado pasaría a ser 0.

Una vez actualizado el plan, se procede a revisar si los elementos (visitas) de la ruta establecida para un tráiler determinado tiene o no plan; en caso de no tenerlo, el tráiler no puede ser despachado, mientras que en el caso contrario este si puede serlo. Por otro lado, en caso de existir más de un tráiler para una tienda en estado Cargado, se procede a incluir en el output la cantidad requerida por el plan, eligiendo los tráileres que lleven más tiempo cargados. Por ejemplo, si la tienda 32 tiene 4 tráileres cargados, su plan es 2 y no tiene despachados aún, entonces pueden entrar a la bolsa los 2 tráileres que lleven más tiempo cargados en el centro de distribución.

6.2. Regla de negocio: Banderas Blancas

Como se mencionó anteriormente, el Rolling o pronóstico de demanda semanal, es el que permite planificar la cantidad de envíos de tráileres con mercadería de las tiendas. Existen casos en los que estos pronósticos no se cumplen del todo, lo que repercute en que, para el caso de una sobredemanda, existan quiebres de stock o, del caso contrario, al existir una menor demanda de la pronosticada, las tiendas se queden con mercadería en su interior generando un colapso al interior de las bodegas. Para estos casos existe la distinción de banderas blancas. Una bandera blanca es la declaración de una tienda que se encuentra con colapso de mercadería, por lo tanto, la tienda ya no puede recibir más tráileres durante el día. Esto implica que si existe algún tráiler con una ruta de más de un punto, y alguno de ellos se encuentra con bandera blanca, el tráiler no puede ser despachado.

La ejecución del pre-procesamiento incorporando banderas blancas se explica en el siguiente diagrama:

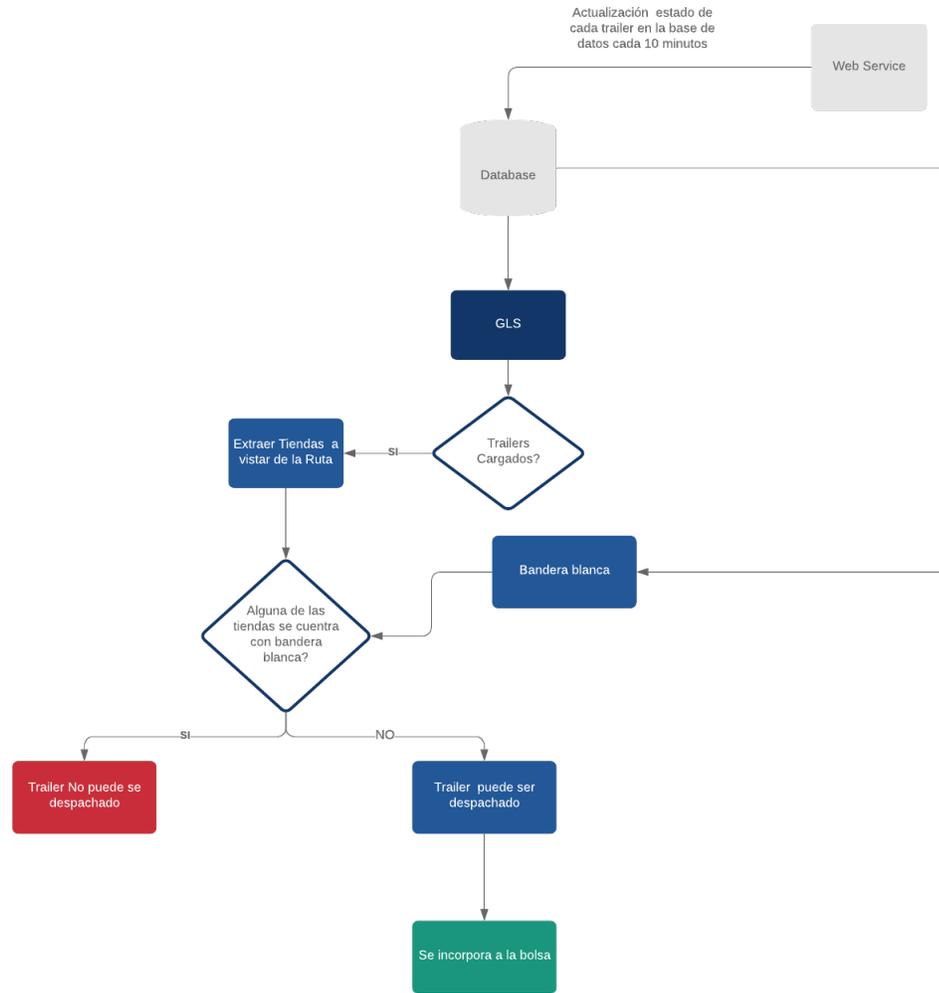


Figura 6.3: Flujo ejecución Bandera blancas que permite determina si un tráiler cargado puede ser despachado o no.

6.3. Regla de negocio: Ventanas Horarias

La siguiente regla de negocio se asocia a la ventana horaria de las tiendas. Esta ventana se manejan por centro de distribución, es decir, una tienda puede aceptar o recibir un tráiler desde un centro en particular con diferentes ventanas (entre los centros).

A partir de la Figura 6.4, se puede notar que la distribución de la ventana de inicio, es decir, apertura de las tiendas, se concentra principalmente entre las 6 am y 10 am (Figura 6.4a). Otras tiendas concentran sus despachos hasta las 15 pm; a este tipo de tiendas se les denomina de tarde. Por lo general, preparan su personal para realizar las descargas durante estos horarios por lo que, al llegar antes, el tráiler deberá esperar a la salida de la tienda para ser atendido.

Por otro lado, también se puede evidenciar que existen horarios de apertura a las 20:00 pm; a este tipo de tiendas se les denomina nocturnas, las que generalmente tienen horarios de atención entre las 20:00 pm y las 23:59 pm. Para constatar el caso de cierre de las nocturnas,

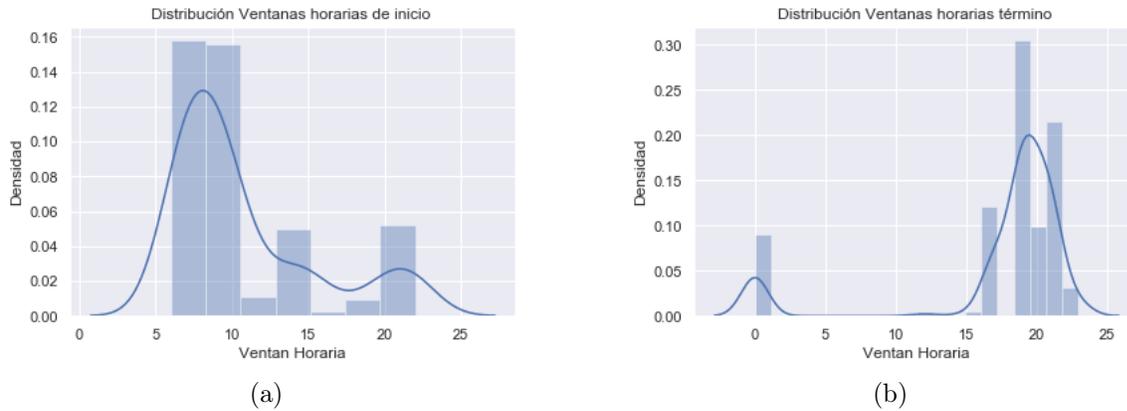


Figura 6.4: Distribución ventana horarias inicio (izquierda) y término (derecha). La ventana de inicio corresponde al horario de apertura de la tienda y la ventana de término corresponde al horario de cierre de la tienda.

se puede visualizar en la Figura 6.4b, existen horarios de cierre que alcanzan las 23:59 pm. Estas ventanas serán incorporadas dentro del modelo planteado, es decir, no son parte del pre-procesamiento asociado a las reglas de negocio.

Cumplimiento de Ventanas horarias

Una de las problemáticas que hoy conlleva la operación, se basa en el cumplimiento de estas ventanas. Para poder revelar cuales son los principales indicadores, se buscará cuantificar cuanto es el cumplimiento hoy que se asocia a las ventanas horarias, en términos de las cantidad de despachos realizados. Los cumplimientos para los datos asociados a los viajes realizando en Junio de 2019 se puede reflejar en la siguiente gráfica.

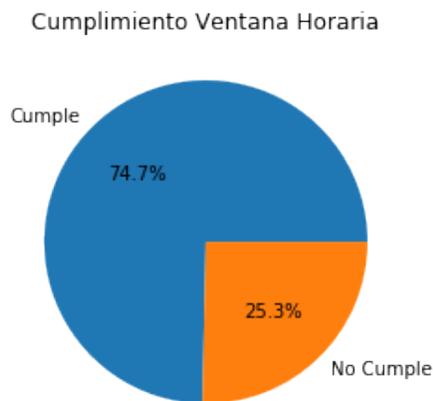


Figura 6.5: Cumplimiento ventana horaria para viajes realizados en Junio de 2019.

Como se puede observar a partir de gráfica 6.5, el porcentaje de cumplimiento del total de viajes realizados durante Junio es de un 74.7%. En promedio, 1 de cada 4 viajes no respeta la ventana horaria de la tienda (Entiéndase como no respeta cuando llega a un hora que no se encuentra entre el horario de la ventana de inicio y término). Las implicancias de un no cumplimiento de la la ventana asume dos riesgos principales e impacto en los indicadores.

El primero se asocia a romper la ventana horaria de inicio. Si se rompe esta ventana de inicio, es decir, se genera una llegada anticipada, el tráiler deberá esperar a que la tienda abra sus patios de maniobra para recibirlo, lo que genera un mayor tiempo de espera para ser atendido. Si bien, este fenómeno no se denomina un colisión, por que se no se debe a interacción entre dos tráileres, de todas formas genera un efecto por incumplimiento de ventanas horarias, que se desglosa de esta manera como una causa más del problema.

El segundo caso se asocia a romper la ventana horaria de término o cierre de la tienda, es decir, que el tráiler llegue posterior al cierre de esta. Este problema genera directamente una devolución (problema explicado en la Sección de justificación), generando que el tráiler se devuelva directamente al centro de distribución.

Para desglosar la problemática, se puede observar como la siguiente gráfica se comporta con respecto al cumplimiento de las ventanas horarias, según la hora de apertura y cierre de las tiendas.



Figura 6.6: Cumplimiento Ventana horaria cierre/apertura para viajes realizados en Junio de 2019.

A partir de la Figura 6.6a se puede observar el porcentaje de no cumplimiento para la ventana de inicio es de 19.6 %, en contraste con la Figura 6.6b, donde el porcentaje de no cumplimiento de la ventana de cierre es de 5.9 %.

La razón asociada a romper ventanas de inicio radica en lo siguiente; por un lado, los centro de distribución buscan generar la mayor cantidad de despachos durante las primeras horas del día. Como el proceso de despacho es manual, entonces no se tiende a revisar de manera estricta las base de datos (que actualmente es un Excel enviado mediante e-mail) de las ventanas de apertura, por lo que, en este proceso, los centro de distribución generan adelantos respecto al envío de las diferentes tráileres asociados a un tienda. Hay que agregar el factor vinculado al tiempo de viaje, es decir, a que hora debe salir un tráiler considerando que llegue dentro de la ventana horaria y el tiempo de traslado desde un punto a otro.

Respecto a la ventanas de cierre, se puede argumentar de manera similar que, el proceso de despachos, al ser manual, no considera los diferentes factores asociados a la llegada a una tienda en particular. Por ejemplo, si un tráiler debe visitar 4 tiendas en toda su ruta, pero, los actores (Jefes de centro de distribución) encargados de despachar, no tienen la visibilidad asociada, por ejemplo, para estimar que en el punto 3 de la ruta este tráiler colisionará

y deberá espera un tiempo determinado para ser atendido retrasando su llegada al último punto de la ruta, es posible que las última tienda a visitar ya haya cerrado sus puertas debido al factor de la ventana horaria, generando una devolución. Así, como se mencionó en el ejemplo, pueden existir muchos factores a considerar; que para una sola persona es complejo de visualizar y estimar, sobre todo cuando en simultáneo y se están generando 5 o 6 despachos a la vez.

Lo mencionado anteriormente concluye en que existen problemáticas en lo que respecta a la ventanas horaria, donde, con un mejoramiento en los cumplimientos de estas, deberían disminuir tanto los tiempos de espera para ser atendidos como las devoluciones generadas, dos KPI foco en el desarrollo de este proyecto.

Capítulo 7

Planteamiento Modelo: MIP

El siguiente modelo busca recrear de manera determinista una situación en la cual existen determinados tráileres cargados en los centros de distribución que deben ser despachados con sus respectivas rutas asociadas. Recordando los objetivos vinculados a la problemática principal, el foco de esta solución se centra en poder disminuir los tiempos de espera asociados a las colisiones que se generan entre los tráileres que llegan simultáneamente.

Para modelar estos casos, el foco del problema será el tiempo de espera en una tienda, que se contempla como la función objetivo del modelo. Intuitivamente, esta noción permite conceptualizar el hecho que este tiempo se da por la diferencia horaria entre la llegada a un punto determinado y la atención al mismo punto, es decir, cuando realmente comienza su período de descarga.

A partir de lo mencionado anteriormente, el modelo propuesto, busca poder realizar un Scheduling de salidas (hora de salida desde el centro de distribución), perfilando las horas de llegada y atención de las diferentes tiendas. Es necesario recalcar que este modelo es determinista, por lo que, como sería lógico, para poder definir las horas de llegada y atención en las tiendas, los tiempos de servicio y viaje cumplen un rol fundamental. Para efectos del modelo, estos serán considerado como parámetros dados, dejando espacio para el próximo Capítulo en donde se podrá determinar la forma de estimar estos parámetros de las mejor forma posible.

Las definiciones de los parámetros del modelo serán representados con Letra inicial Mayúscula y el resto minúscula, en cambio, las variables de decisión solo mayúsculas, esto con el propósito de poder ilustrar de manera sencilla la lectura del modelo en particular.

7.1. Conjuntos

$c \in \mathbb{C}$: *Conjunto Tráileres Cargados*

$i \in \mathbb{I}$: *Conjunto de Tiendas*

$p \in \mathbb{P}$: *Conjunto de Centro de Distribucin*

7.2. Parámetros

$$Tiempo_{ij} = \text{Tiempo para ir desde la tienda } i \text{ a la tienda } j \quad \forall (i, j) \in \mathbb{I} \quad (7.1)$$

$$Serv_{ci} = \text{Tiempo servicio tráiler } c \text{ en tienda } i \quad \forall c \in \mathbb{C} \quad \forall i \in \mathbb{I} \quad (7.2)$$

$$Ruta_{cij} = \begin{cases} 1 & \text{Si el tráiler } c \text{ viaja desde } i \text{ a } j \quad \forall (i, j) \in \mathbb{I} \quad c \in \mathbb{C} \\ 0 & \text{Si no} \end{cases} \quad (7.3)$$

Los siguientes parámetros son la ventana horaria que corresponden a una ventana para cada centro de distribución. Esto debido a que en reglas de negocio se pudo evidenciar como la ventanas funcionaban diferentes para cada centro de distribución, por ende deben ser definidas de la misma manera. Notar que la ventana horaria se desglosa en una ventana de inicio (Horario apertura tienda) y ventana de término (Horario cierre de la tienda).

$$Ventana_{ip}^a = \text{Horario apertura recepción tienda } i \text{ desde centro de distribución } p \quad \forall (i, j) \in \mathbb{I} \quad (7.4)$$

$$Ventana_{ip}^f = \text{Horario de cierre tienda } i \text{ desde centro de distribución } p \quad \forall i \in \mathbb{I} \quad \forall c \in \mathbb{C} \quad (7.5)$$

7.3. Variables de decisión

Las siguientes definiciones vienen a ser las variables de decisión del problema, las cuales buscan modelar 3 efectos en particular. Primero, la hora de llegada de un tráiler a cada tienda; segundo, la hora en la cual será atendida la tienda y tercero, definir qué tráiler será servido respecto a otros tráileres en una misma tienda, es decir, el orden de llegada.

$$LLEG_{ci} = \text{Horario de llegada del tráiler } c \text{ en la tienda } i \quad \forall c \in \mathbb{C} \quad \forall i \in \mathbb{I} \quad (7.6)$$

$$ATEN_{ci} = \text{Horario de atención tráiler } c \text{ en la tienda } i \quad \forall c \in \mathbb{C} \quad \forall i \in \mathbb{I} \quad (7.7)$$

$$ORDEN_{ick} = \begin{cases} 1 & \text{Si el tráiler } c \text{ llega antes que el tráiler } k \text{ a la tienda } i \\ 0 & \text{Si no} \end{cases} \quad (7.8)$$

7.4. Restricciones

- **Hora atención**

Esta primera restricción responde a modelar la hora de atención para dos tráileres que llegan a la misma tienda. En efecto, si un tráiler llega posterior a otro tráiler, entonces, su horario de atención (del posterior), debe ser la hora de atención del anterior más el tiempo de servicio (Se modela mediante gran M para solo activar la restricción en este caso).

$$ATEN_{ci} \geq ATEN_{ki} + Serv_{ki} - M * ORDEN_{kci} \quad \forall ((c, k), i) \in (\mathbb{C}, \mathbb{I}) \quad M \gg 1 \quad (7.9)$$

- **Flujo**

La restricción de flujo permite generar una secuencia respecto al orden de la ruta para un mismo tráiler. Si un tráiler se desplaza desde un tienda i a otra tienda j , entonces, la hora de llegada debe ser mayor que la hora de atención de visita previa, más el tiempo de servicio de esta tienda, más el tiempo de viaje desde el punto previo al actual.

$$LLEG_{ci} \geq ATEN_{cj} + Serv_{cj} + Tiempo_{ji} - M * (1 - Ruta_{cij})c, j, i \quad M \gg 1 \quad (7.10)$$

- **Ventana Horaria**

Se define una variable auxiliar V^{aux} que permite determinar la Ventana Horaria del tráiler c en la tienda i a partir de su ruta. Se debe notar que en el modelamiento, el conjunto de centros de distribución, es un subconjunto de las tiendas ya que son modelados como una tienda más.

$$\begin{aligned} Ventana_{ci}^{auxA} &= \sum_p Ventana_{ip}^a (1 - \sum_{p,j} Ruta_{cpj}) \\ Ventana_{ci}^{auxF} &= \sum_p Ventana_{ip}^f (1 - \sum_{p,j} Ruta_{cpj}) \end{aligned} \quad (7.11)$$

Así, la ventana horaria tanto inicial como final se define según el tráiler.

$$\begin{aligned} LLEG_{ci} &\geq Ventana_{ci}^{auxA} \\ LLEG_{ci} &\leq Ventana_{ci}^{auxF} \end{aligned} \quad (7.12)$$

- **Tráiler C llega después de Tráiler K**

Esta restricción permite generar definiciones para poder determinar la secuencia de llegada entre un tráiler a una misma tienda. Si un tráiler c , llega después que un tráiler k a la misma tienda, entonces, la hora de llegada del tráiler c debe ser mayor a la hora del tráiler k .

$$LLEG_{ci} - LLEG_{ki} \geq M * (1 - ORDEN_{cki}) \quad \forall k, i, c \quad M \gg 1 \quad (7.13)$$

- **Hora de atención mayor a hora llegada**

Esta restricción se impone solo para asegurar el cumplimiento de condiciones de borde. Cuando un tráiler llega a una tienda, su hora de atención debe ser mayor o igual a la hora de llegada.

$$ATEN_{ci} \geq LLEG_{ci} \quad \forall c, i \quad (7.14)$$

7.5. Función Objetivo

La función objetivo propuesta se basa en disminuir el tiempo de espera en tienda junto con buscar el valor mínimo posible, es decir, minimizar la diferencia entre la hora de llegada a una tienda y la hora de atención.

$$\text{Min}_{LLEG, ATEN, ORDEN} \sum_c \sum_i (LLEG_{ic} - ATEN_{ic}) \quad (7.15)$$

Capítulo 8

Tiempos de viaje y servicio

Dado que el modelo planteando asume como parámetros los tiempos de viaje (traslado) y tiempos de descarga (servicio), entonces, se deben realizar estimaciones que permitan poder entregar al modelo valores que tengan cierta cercanía con realidad, considerando que existe variabilidad e incertidumbre para estos parámetros, lo cual inducirá a un porcentaje de error en las diferentes estimaciones que realice el modelo.

Uno de los parámetros del modelo que se deben estimar son los tiempos de viaje entre los diferentes puntos que conforman el conjunto de tiendas y centros de distribución de la red de tiendas de la empresa. Para abordar esta estimación existen dos fuentes de datos importantes que permiten verificar que una matriz de tiempos pueda asegurar una estimación lo suficientemente certera para poder incorporarla al modelo. Por un lado, se calcularán los datos de tiempos de viaje históricos a partir de los GPS, utilizando una base de datos desde Enero de 2019 hasta Agosto de 2019.

La base de datos de los GPS permite entregar los valores de los tiempos de viajes entre las diferentes tiendas donde se han realizados viajes. Teniendo en consideración que las rutas pueden cambiar y podría no existir un tiempo en esta matriz, es necesario considerar otras herramientas que permitan modelar genéricamente los tiempos de cualquier punto, utilizado solo las geo-referencias (latitud y longitud) de las tiendas.

Para la problemática en cuestión se utiliza la Herramienta OpenStreetMap. Esta herramienta es un proyecto colaborativo que permite realizar la creación de mapas editables y libres. Una de sus ventajas es que no tiene costo y permite consultar tiempos de viaje de manera gratuita.

Para abordar el problema se analizarán tanto los datos de los GPS (tiempo reales) como los tiempos asociados a OSRM para los mismos viajes además de buscar la forma de calibrar los datos de OpenStreetMap con los datos reales que entregan los GPS.

Este último punto (calibración) hace referencia a la siguiente idea. Con la latitudes y longitudes de todas las tiendas, mediante el uso de OSRM se puede obtener un matriz de tiempos del total de la red, el problema radica en que, a partir OSRM, se estima tiempos en

base a desplazamiento de un auto y no de un tráiler, por lo que, es probable que el valor se encuentre sub-estimado. Para encontrar esta diferencia se busca ajustar, mediante el uso de un factor o multiplicador, los datos de OSRM a los datos asociados a los GPS, que vendría a ser los valores reales que demoraron en desplazarse los camiones de un punto a otro.

Para el caso de los tiempos de servicio se procede de manera análoga a calcular los tiempo que demora un tráiler en ser descargado. Esto, a partir de los datos de los GPS. Es necesario recalcar que para estos tiempos fue restado el tiempo en cola, es decir, solo se consideran las horas desde que se comenzó a realizar la descarga hasta el momento en el que sale de la tienda, sin considerar el tiempo que demoró en ser atendido.

La estimación de los tiempos de servicio corresponde a un análisis que existe a partir de los atributos asociados a los tráileres y las respectivas rutas; esto, con foco en poder generar estimaciones que intenten explicar la variabilidad relacionada a estos tiempos.

8.1. Análisis tiempos de viaje

OSRM como servicio puede ser utilizado cada vez se requiera, este ya incorpora las variables de tráfico y permite estimar tiempos de traslado razonables de un punto a otro, solo con la información de latitud y longitud de un punto.

La problemática de utilizar directamente los tiempos de viaje asociados a los GPS, es que no se tiene una cantidad de datos suficiente para realizar estimaciones certeras. Por ejemplo, durante un periodo de un año se tiene solo dos desplazamientos de la tienda de 32 a 54, es decir, solo dos datos. Con estos dos datos, por ejemplo, calcular un promedio podría introducir un sesgo en las estimaciones, por lo que, se prefiere utilizar OSRM para generar esta matriz de tiempos.

Del mismo modo, si bien OSRM permite tener estimaciones más certeras, la problemática de utilizar este servicio es que, podría estar subestimando los tiempos de traslado, esto debido a que utiliza como input los desplazamientos de auto o no de tráileres.

Para poder corregir esta información el foco es el siguiente; se utilizarán los datos de los GPS que al menos tengas 20 viajes realizados, es decir, por ejemplo si de la tienda 32 a la 54 existen mas de 20 datos asociados, entonces se procede a calcular el promedio de estos datos.

Luego, una vez calculados estos tiempos a partir de los GPS, se llamará a OSRM para que estime un valor para ese mismo desplazamiento de punto a punto.

Finalmente, se buscará calibrar los tiempos de OSRM, utilizando un factor, para intentar ajustar este valor a los tiempos de GPS, intentando corregir la posible subestación que existe por parte de OSRM.

8.1.1. Estimación tiempos de viaje

El proceso de construcción del modelo desde los datos de OSRM hacia los tiempo de los GPS, se plantea a través de la siguiente regresión lineal.

$$y_{ij} = \alpha + \beta_1 OSRM_{ij} + \varepsilon \quad (8.1)$$

Donde y_{ij} vendría a ser los tiempos de viaje de los GPS, para desplazarse desde un punto i (tienda en este caso a particular) a un punto j .

Se puede decir que β_1 representa ese factor asociado a una ponderación que permite calibrar los resultados de OSRM respecto a los datos que reportan los GPS, es decir, la diferencia asociada al tiempo de desplazamiento entre un auto normal y un tráiler.

En primera instancia comparamos tanto los datos de OSRM con los tiempo de viajes de los GPS.

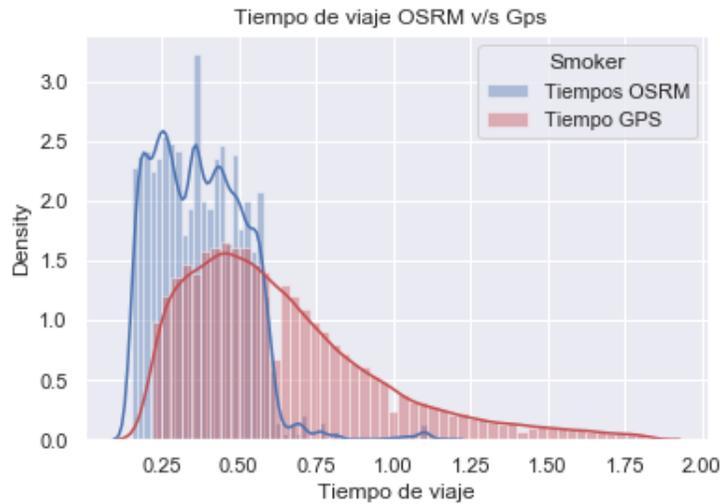


Figura 8.1: Comparación tiempo de viaje OSRM V/S GPS. Fecha entre los periodos 03/03/2019- /17/09/2019. Gráfica considera los mismo desplazamiento de punto a punto.

A partir de la Figura 8.1 se puede notar que los tiempos de OSRM subestiman los datos calculados a partir de los GPS, por lo mismo. El MAPE asociado a esta estimación es de un 95 %, donde los errores más altos en las predicciones se presentan en los tiempos más altos de viaje. Es necesario considerar que OSRM no considera los desplazamientos en vehículos comunes (No Camiones), los cuales tienen incorporados restricciones tales como: rutas que los camiones no pueden abordar, velocidad máxima, entre otros motivos; es razonable encontrar una subestimación.

Finalmente, para definir un modelo y validar los resultados y capacidad predictiva, se generará una base de entrenamiento con un 70 % de los datos y base de pruebas con el 30 % de ellos. La variación en los cambios de estimación se puede evidenciar en las siguientes gráficas.

A partir de la Figura 8.2 se puede notar cómo el modelo (Figura 8.2b) se desliza amplificando los valores, como consecuencia de que el coeficiente de la regresión lineal β_1 es 1.7 horas. Esto nos indica que: cada valor de un desplazamiento promedio de un tráiler es 1.7 horas sobre el valor entregado por OSRM. Este punto coincide con lo mencionado anteriormente,

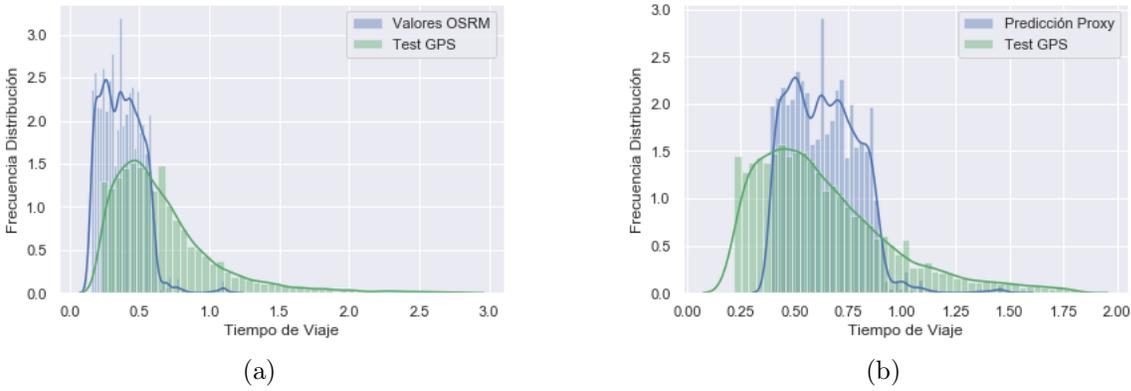


Figura 8.2: Comparación tiempos de viajes OSRM original con datos de OSRM ajustado mediante regresión lineal para base de datos Test.

donde se espera que los camiones tengan tiempo de viajes más largos que un vehículo tipo auto. Respecto al MAPE, este disminuye a un 35 % respecto al 95 % que se tenía inicialmente, lo cual nos indica que el modelo planteado es capaz de mejorar la capacidad predictiva.

8.2. Tiempos de servicio

El siguiente parámetro que debe ser estimado para poder ejecutar el modelo, son los tiempos de servicio, los cuales hacen referencia a cuánto tiempo se encontrará un tráiler en estado de descarga en una determinada tienda. Para poder estimar esta variable, se estima el tiempo a partir de la base de datos de los GPS y los tiempos que demoran en ser servidos los tráileres, es decir, desde que los atienden hasta que salen de la tienda (sin considerar tiempo en cola). Por su parte, para ilustrar cómo distribuyen estos tiempos, se puede observar la siguiente gráfica que detalla la distribución de los tiempos categorizadas por el centro de distribución que fueron despachados.

El tiempo de servicio en general para la Región Metropolitana tiene una media de 1.23 horas con una varianza de 0.73 horas. Si bien este valor representa el promedio de los casos en general.

Este tiempo puede variar según el centro de distribución, así el Centro 1 genera medias de tiempo de 1.43 horas en comparación con Centro 2, que genera una media de 1.08 horas. Para comprender esta diferencia es necesario considerar los tipos de mercadería que se despachan a cada centro de distribución. Para este caso en particular, como el Centro 2 despacha productos Fríos, tiene sentido que el tiempo en descargar la mercadería sea menor respecto a Centro 1, que solo despacha productos Secos.

Este análisis permite identificar que existen diferentes variabilidades según los atributos que se asocian a un despacho. Para poder realizar una estimación lo más cercana a la realidad, se consideran los siguientes atributos en los análisis:

- **Centro Distribución:** Variable que indica desde que centro de distribución fue despachado el tráiler.

- **Formato Tienda:** Formato de tienda asociado a la ruta.
- **Largo:** Largo del tráiler, definido como 38, 45 o 55 Pies.
- **Tipo Carro:** Característica de Carro, definido como Corto o Largo.
- **Tipo Mercadería:** Si transporta Frío, Seco o Congelado.

La razón por la que no se pueden incorporar otras variables se debe a que estas son las que se encuentran presentes en las bases de datos actuales que permiten, a partir de los GPS, poder generar estimaciones. Incorporar variables externas a las que se manejan podría mejorar las estimaciones, pero en la solución no podrían ser integradas para realizar estimaciones en tiempo real.

La primera eliminación de variables se realiza entre las variables Pies y Tipo Carro, como ambas categorías son identificadas para un mismo carro, entonces solo se estudiará la variable Pies. Para poder comparar los tiempos de servicio entre las diferentes categorías, se realiza un análisis de visualización preliminar a partir de diagramas de caja (Apéndice B), que muestra que, tanto para los centros de distribución como para los formatos de tienda, existen variaciones en los tiempos de servicio, no así para el Largo del carro.

$$y_i = \alpha + \sum_j \beta_j Origen_{ij} + \sum_k \beta_k Pies_{ik} + \sum_c \beta_c Tipo_{ci} + \sum_l \beta_l Formato_{li} + \varepsilon \quad (8.2)$$

El modelo planteado en 8.2, considera y_i como el tiempo de servicio para la observación i . Donde $j \in (6009, 6011, 6012)$, $k \in (35, 48, 53)$, $c \in (\text{Seco}, \text{Refrigerado}, \text{Congelado})$ y $l \in (\text{Formato 1}, \text{Formato 2}, \text{Formato 3}, \text{Formato 4})$. Los resultados se pueden observar en la siguiente Tabla:

En los modelos planteados de (1) al (4), se puede observar que el origen que presenta el despacho genera diferencias significativas en los tiempos de servicio. Del modelo (4), se puede inferir que si un despacho se realiza de 6011, entonces el promedio del tiempo servicio será 0.465 horas menos que si se realizara de 6009 (que queda como caso base para esta categoría).

Para el caso del Formato, en (4) se puede evidenciar que considerando a Club Mayorista como base, Híper Líder presenta 0.09 horas más que el Club Mayorista, lo que indica que no presentan grandes diferencias, mientras que en el caso de Express el tiempo disminuye en 0.102 horas.

Finalmente, para las variables asociadas al tipo de mercadería, a partir del modelo (4) se puede notar que ninguna presenta una alta significancia respecto a los casos Congelados. Para la mercadería Secas se encuentra al borde de la significancia, porque tampoco se puede asegurar del todo que esta variable sea representativa. Esto se debe a que el centro de distribución captura el tipo de mercadería. En el modelo (5), al eliminar el centro de distribución, la variable Seco presenta un coeficiente positivo de 0.266 horas versus el modelo (4) que presenta un coeficiente de -0.014, al borde de la significancia. Por lo mismo, se concluye que al incluir el centro de distribución, no es necesario considerar las variables asociadas al tipo de Mercadería.

<i>Dependent variable:</i>					
tiempo_servicio					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
ORIGEN6011	-0.349*** (0.009)	-0.350*** (0.009)	-0.447*** (0.081)	-0.481*** (0.080)	
ORIGEN6012	-0.267*** (0.013)	-0.268*** (0.013)	-0.268*** (0.013)	-0.282*** (0.012)	
Pies48		0.069*** (0.016)	0.069*** (0.016)	-0.026 (0.017)	-0.035** (0.017)
Pies53		-0.016* (0.008)	-0.016* (0.008)	-0.071*** (0.009)	-0.075*** (0.009)
TIPOREFRIGERADO			0.001 (0.285)	0.053 (0.283)	0.054 (0.286)
TIPOSECO			-0.098 (0.081)	-0.141* (0.080)	0.266*** (0.008)
FormatoExpress				-0.066*** (0.022)	-0.071*** (0.022)
FormatoLider				0.131*** (0.021)	0.115*** (0.021)
FormatoSBA				0.028 (0.022)	0.017 (0.022)
Constant	1.437*** (0.006)	1.442*** (0.008)	1.540*** (0.081)	1.569*** (0.083)	1.102*** (0.022)
Observations	31,550	31,531	31,531	31,531	31,531
R ²	0.052	0.053	0.053	0.065	0.049
Adjusted R ²	0.052	0.053	0.053	0.065	0.049
Residual Std. Error	0.699 (df = 31547)	0.698 (df = 31526)	0.698 (df = 31524)	0.694 (df = 31521)	0.700 (df = 31523)
F Statistic	863.403*** (df = 2; 31547)	439.195*** (df = 4; 31526)	293.037*** (df = 6; 31524)	243.918*** (df = 9; 31521)	232.858*** (df = 7; 31523)

Note: *p<0.1; **p<0.05; ***p<0.01

Tabla 8.1: Resultados Regresión lineal para estimación de tiempos de servicio

A partir de este análisis se concluye que los factores que influyen en los cambios en tiempo de servicio son el Centro de distribución de Origen, si el carro es o no de 53 Pies y si las tiendas en las cuales se va a generar la descarga es Express o Híper Líder.

8.2.1. Estimación Tiempo Servicio

Dados los atributos establecidos anteriormente, se pretende generar un modelo que permita estimar y ajustar los tiempos de servicio de la mejor forma posible. Los dos modelos planteados para estimar los tiempos son el ajuste mediante regresión planteado en 8.2 y el segundo modelo se basa en utilizar el valor esperado de una distribución Weibull.

Modelo	RMSE
Regresión Lineal	0.6959
Esperanza Weibull	0.72

Tabla 8.2: Resultado Data Set validación (30%) para tiempos de Servicio

A partir de la Tabla 8.2 se puede evidenciar que la regresión lineal ajusta un MAPE de un 69.5%, en cambio, para la esperanza de la Weibull este error aumenta aproximadamente en un 72%. En definitiva, el ajuste mediante regresión lineal presenta una mejora en la disminución del error, siendo este el modelo final que será utilizado para poder incorporar los tiempos de servicio al MIP planteando en la sección previa.

Dados estos resultados, es necesario acotar, que la falta de variables genera este alto

porcentaje de error; variables como disponibilidad de personal en las tiendas, cantidad de patios de descarga u otras asociadas al contexto del día a día, las cuales podrían mejorar estas estimaciones. Por el momento, se asume el error pertinente, pero con miras a proponer mejoras respecto a la estimación de estos tiempos. Debido al foco del proyecto y a los objetivos propuestos, se asume como riesgo el uso de este error y debe ser considerando como parte de los desarrollos futuros de nuevas iteraciones de la solución.

Capítulo 9

MIP: Contraste teórico v/s realidad

En esta Capítulo, la idea central se basa en poder determinar si el modelo planteado está en condiciones de recrear una situación real que permita pronosticar los tiempos de espera (colisiones) dependiendo tanto de la hora de llegada como de la hora de atención (variable de decisión del modelo) de los diferentes tráileres que podrían visitar una tienda en particular.

Para ello se propone generar un contraste entre las diferentes horas de llegada que se exhiben, a partir del comportamiento de los datos asociados a los GPS, contra las diferentes simulaciones que se realizan en los mismos periodos de tiempo. No está de más recalcar que el objetivo de este capítulo es poder comparar el modelo teórico planteado respecto a la realidad.

En primera instancia se busca responder la siguiente pregunta: ¿El modelo es capaz de predecir y/o generar tiempos de espera?. En otras palabras, lo que se busca comprender es si el modelo es capaz de recrear el fenómeno causado por los tiempos de espera, denominado colisiones.

Para poder responder a esta pregunta, la Sección 9.2 hace referencia a probar el modelo con las horas de llegada que ocurrieron realmente a partir de los datos de los GPS, es decir, la realidad. Lo que se espera es que este sea capaz de generar las mismas o similares horas de tiempo de espera que se obtuvieron en ese período.

La Sección 9.3 se hace cargo de las problemáticas detectadas en la Sección 9.2, generando un proceso de calibración para la restricciones, con miras a generar un ajuste para lograr el objetivo principal del modelo, el cual es disminuir el tiempo en cola.

Las Secciones 9.3 y 9.2 utilizan los tiempos de servicio y tiempos de viaje que realmente ocurrieron a partir de los datos entregados por los GPS. Se induce entonces, la condición denominada *Ceterisparibus*, para focalizar las simulaciones sobre la pregunta que se quiere responder, en caso, poder evaluar si el modelo es capaz o no de detectar colisiones.

Una vez ya calibrado el modelo, en la Sección 9.4 se procede e incorporar los tiempos de viajes y tiempos servicio estimados, con el propósito de poder comparar y determinar el error que existe en las estimaciones, utilizando los parámetros que serán implementados en

la solución real.

Finalmente, en la Sección 9.5, se procede a cuantificar, mediante simulaciones, cuánto sería un esperable teórico de mejora, es decir, la oportunidad que existe tanto para disminuir los tiempos de espera como para aumentar la rotación de los tráileres.

9.1. Descripción del día 16/05/2019

Previo a desarrollar los objetivos del capítulo, se prefiere elegir un día determinado, para este caso el día 16/05/2019. Con este modo se podrán centrar los análisis y las simulaciones en un momento particular.

Si bien, las simulaciones de la próximas Secciones presentarán resultados resumidos para otros días, el objetivo de centrar el análisis en un día se basa en mostrar de forma más sencilla y facilitar las sucesivas respuestas a los objetivos planteados. Para poder asegurar que este día pueda ser usado como un pilar central en los análisis, se esperaría, al menos, que este tenga comportamientos similares respecto al comportamiento genérico tanto para la cantidad de despachos como los tiempos de espera y de viaje. En fin, se busca asegurar que este día no sea un outlier respecto al comportamiento genérico, lo que será argumentado en los siguientes pasos.

A partir de los datos de los GPS, se seleccionó el día 16/05/2019 como se dijo anteriormente. Además, se seleccionaron los despachos realizados entre las 7:00 am y las 12:00 am. Esta selección de horario responde solo al hecho de poder aislar otras variables como las segundas vueltas que realiza un tráiler. Vale decir, se busca solo obtener los primeros despachos del día y sus principales indicadores.

En la siguiente gráfica se puede observar la cantidad de despachos que se realizaron según el horario de salidas desde los 3 centros de distribución.

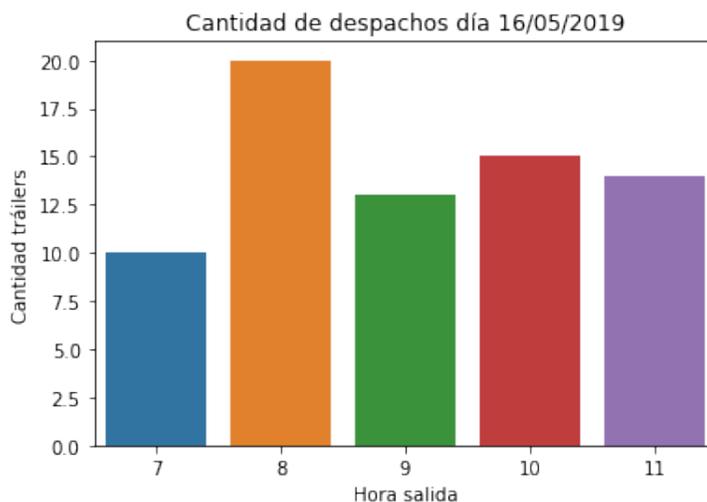


Figura 9.1: Cantidad de despachos para el día 16/05/2019, agrupados por los 3 centros de distribución, calculado en base a los de datos reportados por los GPS.

Como se puede observar, en la Figura 9.1, los despachos seleccionados corresponden solo a horarios de salida que se realizaron entre las 7 am y 12 am. En total, en esa ventana de tiempo, se despacharon 72 tráileres y, entre las 7am y las 8 am, se puede observar el peak de despachados realizados. Esto coincide con la operación, ya que se busca generar la mayor cantidad de despachos durante las primeras horas de día.

Otras características que describe esta instancia son los tiempos de viaje y servicio, donde su comportamiento se puede apreciar en la siguiente imagen.

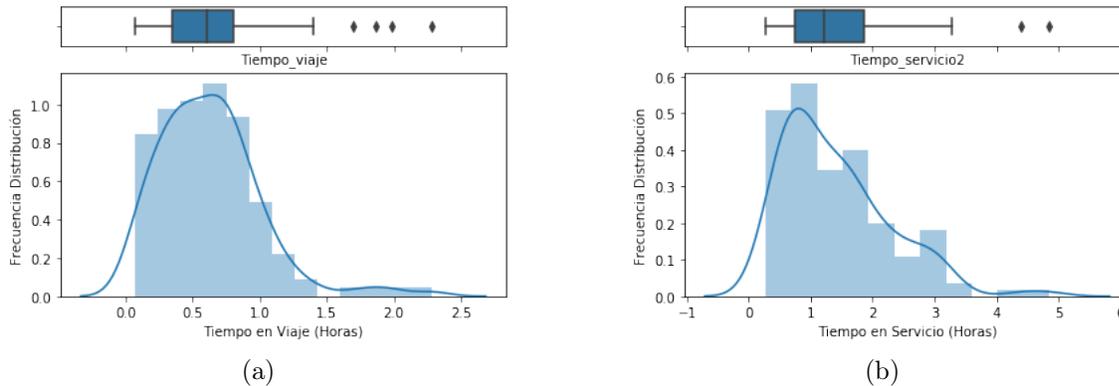


Figura 9.2: Distribución tiempo servicio y tiempo de viaje para el día 16/05/2019.

Respecto a la Figura 9.2a se puede evidenciar el comportamiento de los tiempos de viaje, con una media de 0.62 horas y una desviación de 0.38 horas. Esto indica que el comportamiento de este día en particular responde al promedio del comportamiento general de los tiempo de viaje. Recordando, en la Sección 8, la desviación de estos tiempos era de 0.2 horas. Si bien, existen diferencias, es esperable que un día en particular presente una mayor varianza respecto a los datos agregados sobre un período de tiempo más largo.

Respecto al tiempo de servicio (Figura 9.2b), se puede notar que, con una media de 1.4 horas, se tiene un comportamiento similar a la tendencia genérica. En la Sección 8.2, la media del tiempo servicio calculada es de 1.23 horas.

Respecto a los outliers, existen 2 descargas (tiempo de servicio) que sobrepasan el tiempo promedio de manera sustancial, con un tiempo de 4.85 horas. En base a lo señalado por el personal de la empresa, los valores no deberían superar las 3.5 horas. La existencia de una sobre estadía podría ocurrir por dos motivos; el primero, un error de los GPS, marcando la hora de salida más tarde de la hora real en la que salió de la tienda. El segundo se asocia al hecho que el tráiler tuvo, por factores externos, permanecer en la tienda de manera excepcional. Debido a estos motivos, se procede a eliminar los outliers para poder realizar las simulaciones de la manera más certera posible.

A partir de lo señalado anteriormente, se puede decir que el día 16/05 presenta un comportamiento similar a la media, en base a los tiempos de servicio, tiempos de viaje y cantidad de despachos.

Respecto a las colisiones de ese día, la suma del tiempo de espera entre la hora de llegada a una tienda y la hora de atención de todos los camiones, fue de 19.6 horas, dónde 21 tráileres

colisionaron, es decir el 29% de ellos tuvo que esperar para ser servido.

9.2. Resultados simulaciones: Detección de colisiones

El objetivo de esta primera simulación representa una oportunidad para asegurar que el modelo planteado permite detectar colisiones y, en parte, poder recrear un día determinado. Como es de esperar, la simulación fue realizada en base al día 16/05. Se debe definir si el modelo es capaz o no de detectar colisiones, considerando el factor donde pueden llegar múltiples tráileres a una tienda.

Para poder contrastar el modelo con la realidad, se intentará fijar un variable determinada que responda al comportamiento sobre la hora de llegada que tuvo cada tráiler en cada visita que realizó durante el día, esto, en base a los datos asociados a los GPS. Esta variable sería la hora de llegada a una tienda. Es válido preguntarse ¿Por qué fijar esta variable podría ayudar a comparar el planteamiento matemático con lo realmente ocurrido u observado?. La idea es la siguiente; si se fija la hora de llegada como un parámetro, lo que se debería esperar, como hipótesis, es que tanto la hora de atención (variable libre dentro de planteamiento) como el tiempo de espera para ser atendido en una tienda, deberían ser idénticas o al menos similares a las reportadas por la base de datos de los GPS, es decir, respecto a la realidad.

De manera más formal, el planteamiento implica incorporar la siguiente restricción al modelo.

Sea $LLeg_{ci}^{GPS}$ la hora de llegada del tráiler c a la tienda i , considerando la variable $LLEG_{ci}$.

$$LLEG_{ci} == LLeg_{ci}^{GPS} \quad \forall c \in \mathbb{C} \quad \forall i \in \mathbb{I} \quad (9.1)$$

La ecuación 9.1 representa el propósito de forzar el modelo a entregar un resultado que se asimile a la realidad. Fijando la hora de llegada a una tienda como parámetro, se espera que el tiempo de espera del modelo sea similar al tiempo de espera calculado en la realidad. Esto implicaría que el fenómeno de la colisión se configure correctamente en el planteamiento asociado a las diferentes restricciones.¹

Para poder comprender de mejor manera el por qué fijar la hora de llegada permite saber si el comportamiento del modelo es esperable, es necesario analizar la función objetivo.

$$\text{Min} \quad \sum_c \sum_i (Lleg_{ic}^{GPS} - ATEN_{ic})$$

↓
↓
 Parámetro fijo Variable libre

¹La ejecución del modelo se efectuó mediante el uso de Solver CBC (Coin-or branch and cut), esta herramienta es OpenSource y se pudo implementar mediante el uso del lenguaje Python.

A partir de la Figura anterior se puede observar como se propone fijar el parámetro dentro de la función objetivo, lo que se espera que ocurra es que $ATEN_{ic} \approx Aten_{ic}^{GPS}$, es decir, la variable de la hora de atención real (observada) sea semejante a la hora de atención que el modelo estima como variable de decisión.

Una vez ya ejecutada la primera simulación, el solver arrojó una solución óptima con un valor de **0 horas de tiempo en cola**. Esto es contraproducente debido a que, lo esperable, es que el tiempo fuese cercano al tiempo en cola que ocurrió en la realidad, el cual fue de 19.6 horas.

Para detectar donde surgió la problemática, se plantea la siguiente gráfica que permite visualizar como se comporta la hora de atención que entrega el modelo a un determinado tráiler en una determinada tienda en contraste con las horas que entregan los GPS, es decir, la hora de atención observada.

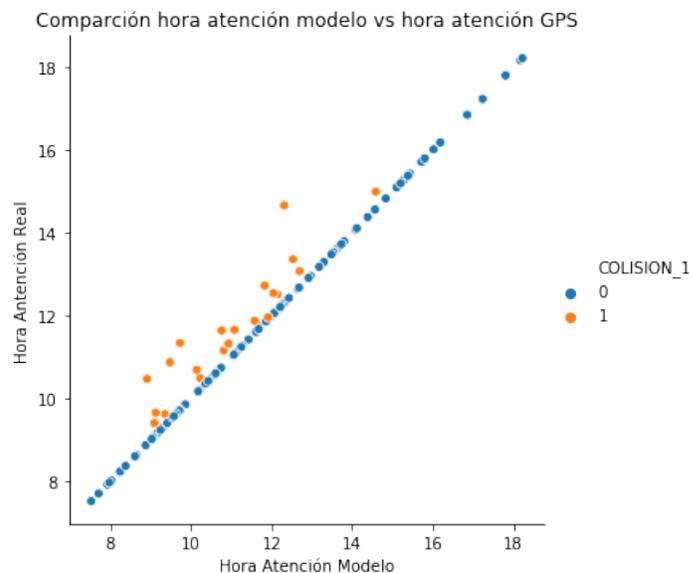


Figura 9.3: Comparativa entre Hora de atención GPS (real) en contraste con Hora atención predicha por modelo, desagrupada en base a si el tráiler colisionó o no en realidad. Fecha 16/05/2019.

La Figura 9.3 representa la hora de atención de cada tráiler en la diferentes tiendas que les tocan visitar. El eje Y representa la hora de atención que realmente ocurrió, es decir, la hora que entrega los GPS. Por otra parte, el eje X representa la hora de atención según el modelo.

La tercera variable ($COLISION_1$) que se incorporara, es aquella que indica si existió o no una colisión en el arribo de una tráiler a una tienda. Esto, de acuerdo solo a lo ocurrido en la realidad, donde se representa en la gráfica en aquellos puntos que se encuentran en amarillo que representan las visitas de un tráiler, a una determinada tienda, que ha colisionado. Sin embargo, los punto en azul representan aquellas visitas en las que no hubo colisión.

Lo que se infiere de la Gráfica 9.3 es que, la diferencia entre la hora de atención entre el modelo y la hora de atención real, presenta diferencia solo para los casos que existen colisiones.

Esto implica que el modelo no es capaz de formular el fenómeno asociado al tiempo de espera.

Para precisar, existen 14 horas de diferencia entre la hora de atención real y la hora de atención teórica; este desfase corresponde en un 100 % a viajes que colisionaron, lo que significa que el modelo planteado no es capaz de identificar colisiones, cosa que se complementa con el resultado de la función objetivo, donde el valor es 0 horas en tiempo espera, en contraste con las 19.6 horas de tiempo de espera que se presentaron en la realidad.

Los resultados obtenidos obligan a generar un fase de calibración con foco en poder mejorar las condiciones en la cuales se presentó la primera formulación teórica de modelo.

9.3. Calibración modelo: Detección de colisiones

La problemática asociada a las detección de las colisiones subyace en un variable en particular, $ORDEN_{ick}$, recordando que esta variable se define como: **Si el tráiler c, llega antes que el tráiler k a la tienda i.**

La causa del problema se basa en que esta restricción (Ecuación 7.9) no se está activando, por lo tanto, para solucionar el problema, se debe forzar a la variable $ORDEN_{ick}$ a tomar ciertos valores dependiendo de la interacción entre las rutas de dos tráileres, de esta manera se podrían generar colisiones entre tráileres que visitan una misma tienda.

Para ello se plantea construir un parámetro auxiliar que indique, si es que existe, algún viaje para el tráiler c a la tienda i, es decir, si un $Trailer_c$ visita una $Tienda_i$. Este parámetro se construye a partir del parámetro $Ruta_{cij}$, que indica si una tráiler c realiza un viaje desde la tienda i a la tienda j. El parámetro se denominará $TrailerVisTienda_{ci}$ (Tráiler visita Tienda), definiéndolo de la siguiente manera:

$$TrailerVisTienda_{ci} = \sum_{j=0}^n Ruta_{cij} \quad \forall c, i \quad (9.2)$$

Dada la Ecuación 9.2 se puede desprender que el parámetro $TrailerVisTienda_{ci}$ tome un valor igual a 1, en el caso de que el tráiler c visite la tienda i. De manera contraria tomará un valor igual a 0, dado que no existe ningún viaje asociado.

Dado el problema, se plantea ir forzando a la variable $ORDEN_{ick}$ a que tome diferentes valores dependiendo de los posibles casos que se podrían dar. Para cumplir este cometido, se propone la siguiente idea; si los tráileres comparten una determinada tienda entre sus rutas, se debe forzar a la variable $ORDEN_{ick}$ a que solo pueda tomar el valor 1 para un determinado tráiler y, del caso contrario, modificar el caso simétrico para la variable, es decir, que $ORDEN_{ikc}$ deba tomar un valor igual a 0.

En sencillas palabras lo que se busca es que el modelo permita que una tráiler c llegue antes que el tráiler k a la tienda i, entonces, valga la redundancia, que el tráiler k no llegue antes que tráiler c. Para modelar esta situación, se plantea la siguiente restricción:

$$ORDEN_{ick} + ORDEN_{ikc} == TrailerVisTienda_{ci} * TrailerVisTienda_{ki} \quad \forall c, k, i \quad (9.3)$$

Para comprender la Ecuación 9.3 (la cual denominaremos como *Restricción de calibración*) se muestra el siguiente ejemplo.

Un tráiler con patente PA y otro tráiler con patente PO; ambos visitan la tienda 2. La variable auxiliar será $TrailerVisTienda_{(PA)(2)} = 1$, de manera análoga para la patente PO, $TrailerVisTienda_{(PO)(2)} = 1$. En este caso, la restricción quedaría de la siguiente manera.

$$ORDEN_{(2)(PA)(PO)} + ORDEN_{(2)(PO)(PA)} == 1 \quad (9.4)$$

Es decir, a partir de la Ecuación 9.4, tan solo una de la variables podrá ser 1, obligando a la otra a ser 0. Lo que a los efectos prácticos, significa que el tráiler que tiene la variable de orden igual a 0, está obligado a que su hora de atención sea mayor o igual a la hora de salida (hora atención más tiempo de servicio) del tráiler que llegó antes que él.

Para los casos donde no existe ninguna visita asociada a la tienda en particular, por ejemplo un tienda i cualquiera, ocurriría lo siguiente; si el tráiler PO o el tráiler PA , no visitan la tienda 2, entonces, el parámetro $TrailerVisTienda_{ic}$ tomaría el valor 0, $TrailerVisTienda_{(PO)(2)} = 0$ o $TrailerVisTienda_{(PO)(1)} = 0$. En caso que alguno sea 0, entonces se tiene lo siguiente.

$$ORDEN_{(2)(PA)(PO)} + ORDEN_{(2)(PO)(PA)} == 0 \quad (9.5)$$

Como se puede corroborar a partir de la Ecuación 9.5, ambas variables estarán obligadas a tomar el valor 0.

Para confirmar si está nueva restricción es capaz o no de mejorar la problemática planteada, se propone realizar la misma simulación de la Sección 9.2 para determinar si realmente esta nueva restricción de calibración es capaz de generar los resultados esperados para los tiempos de espera. El tiempo de ejecución aumentó en 15 segundos respecto al la simulación sin la restricción de calibración, pasando de 2 segundos a 17 segundos. Si bien el tiempo de ejecución sigue siendo bastante bajo, el aumento es considerable. Esto se debe a la activación de la restricción que hace más compleja la resolución del problema.

Sobre el tiempo en cola, el valor de la función objetivo alcanza un total de 19.3 horas, es decir, prácticamente el mismo valor asociado a la realidad. Así, planteamos la siguiente gráfica que ilustra como se comportan las horas de atención teóricas y reales.

A partir de la Figura 9.4, se puede evidenciar que el modelo es capaz de predecir las horas de atención de manera muy certera. Solo para un caso en particular no logró tener una exactitud del 100 %.

Esto indica que el modelo calibrado a partir del ajuste con la nueva restricción, es capaz de recrear la situación real asociada al día determinado.

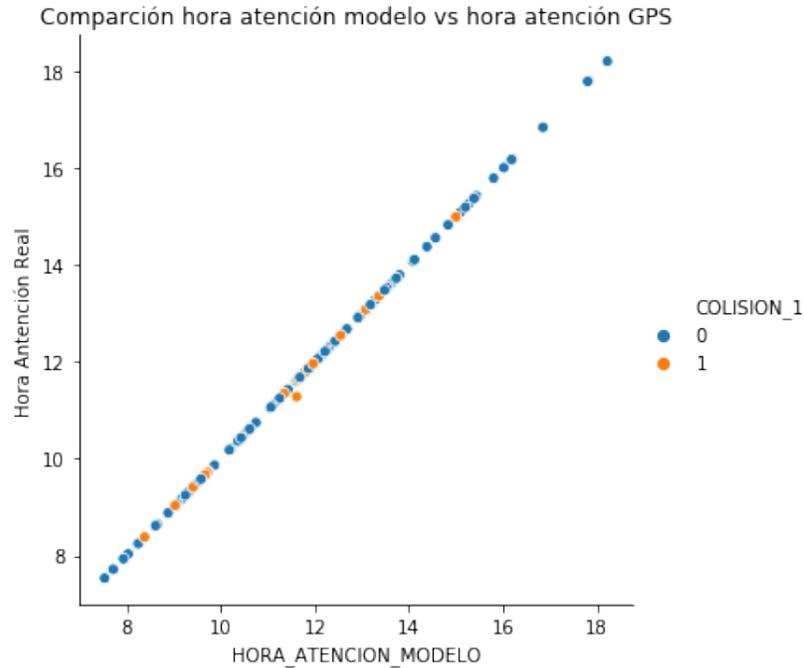


Figura 9.4: Comparativa modelo con restricción de calibración entre Hora de atención GPS (real) en contraste con hora de atención predicha por el modelo, desagrupada en base a si el tráiler colisionó o no en realidad, Fecha 16/05/2019.

Como el análisis se ha hecho para un día específico, se plantea desarrollar las mismas simulaciones para 4 días durante el mismo mes, y así resumir los resultados para poder asegurar que el patrón presentando no es una coincidencia.

A modo general, considerando los diferentes resultados de la Tabla 9.1, se puede observar que el modelo es capaz de predecir sin errores prácticamente, las colisiones que se generaron en la fecha de la simulación. Los tiempos de ejecución suelen ser similares y varían según la cantidad de tráileres que configuran una instancia determinada.

A partir de los resultados y los análisis generados, se puede concluir que el modelo ajustado con la restricción de calibración, modela el fenómeno denominado colisión, siendo este un paso crucial que se asocia a los objetivos propuestos. Es necesario recordar que el objetivo de esta

Fecha simulación	Número de tráileres despachados	Tiempo ejecución (Segundos)	Tiempo cola modelo (Hora)	Tiempo cola real (Hora)	Error % estimación
14/05/2019	56	12	8.71	8.71	0.0 %
19/05/2019	55	9	9.7	9.7	0.0 %
21/05/2019	70	21	14.01	14.01	0.0 %
23/05/2019	66	17	18.86	18.86	0.0 %

Tabla 9.1: Tabla resultado simulaciones mediante la aplicación del modelo calibrado (Solo despachos entre las 7 am y 12 am).

Sección solo se vincula al hecho de poder asegurar que el modelo planteado es capaz de detectar colisiones y, análogamente, sea capaz de recrear un día en particular.

En ese sentido, si bien el error de la simulación presenta un 0%, se le atribuye a la condición que se ha impuesto de *Ceteris Paribus* respecto al tiempo de servicio y tiempo de viaje, utilizando los valores que realmente ocurrieron en la realidad, por tanto se debe proceder a incorporar estos parámetros dentro del modelo.

9.4. Incorporación variabilidad: tiempos de servicio y tiempos de viaje

Como la simulación anterior se ha planteado utilizando los mismos tiempos de viaje y servicio que reportan los GPS, ahora se debe incorporar los tiempos de viajes y servicio estimados en las Secciones 8 y 8.2. Considerando que existe un MAPE de un 35% para los tiempos de viaje y para los tiempos de servicio un MAPE de un 69%, entonces, al incorporar estas estimaciones en las simulaciones, los errores deberían comenzar a aumentar.

La simulación anterior fue un ejemplo donde se forzaba la hora de llegada a la tienda con la hora de llegada original reportada por los GPS, con el propósito de poder revelar si el modelo estaba detectando colisiones y así poder ajustarlo para asegurar que esta considerando el objetivo central del problema, el tiempo de espera.

La presente simulación pretende utilizar el modelo ya calibrado que detecta colisiones, pero, incorporando los tiempos de servicio y tiempos de viaje estimados en las Secciones 8 y 8.2. Lo que se espera de esta es que la diferencia entre la hora de llegada para los datos originales (GPS) y la hora de llegada estimada, debería aumentar, debido a que existen diferentes estimaciones para los tiempos de viaje y servicio.

Los simulación se realizó para el día 16/05/2019, el cual que ha sido estudiado en profundidad. Los resultados se pueden evidenciar en las siguientes imágenes.

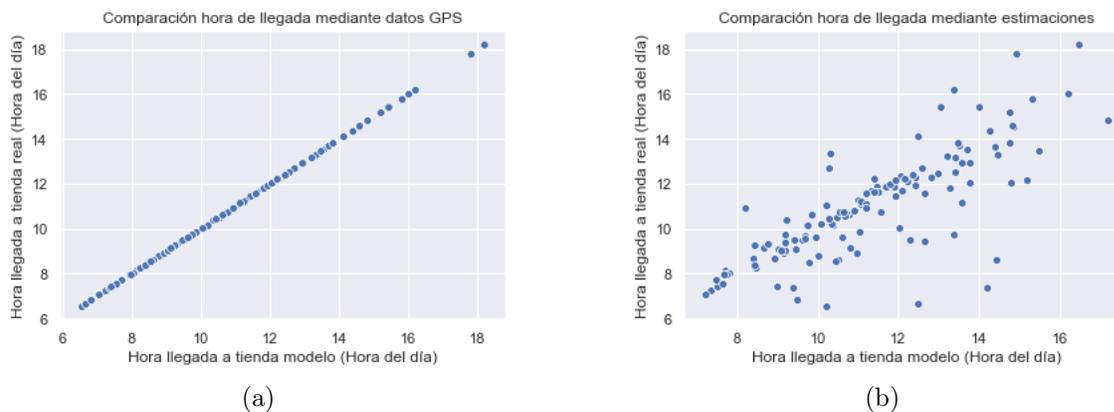


Figura 9.5: Comparación entre simulación realizada para el modelo con restricción forzada para la hora de salida desde el centro de distribución con tiempos de viaje y servicio observados en comparación con estimados. Fechas simulación 06/05/2019.

La Figuras 9.5a representan las estimaciones realizadas para el modelo calibrado incorporando una restricción que fuerza la hora de salida desde el centro de distribución considerando los mismos tiempo de servicio y tiempos de viaje que se observaron en la realidad (a partir de los GPS). Como puede ser lógico, el modelo es capaz de reconstruir el scheduling realizado por cada tráiler en sus diferentes puntos a visitar de manera exacta, esto, debido a que se están utilizado los tiempos observados.

En contraste, la Figura 9.5b, representa la inclusión de los tiempo de servicio y tiempo de viaje mediante los modelos planteados. Como se puede observar, existen diferencias entre las estimaciones y las horas observadas.

Para entrar en mayor detalle, la media de la diferencia entre la hora de llegada real y aquella que estima el modelo es 0.9 horas, esto quiere decir, que existe, en promedio, 0.9 horas de diferencia entre la estimaciones de la hora de llegada que realmente ocurrió y la hora que estima el modelo. Por ejemplo, si un tráiler arriba a las 11 am en realidad, entonces el modelo, probablemente, hubiese estimado que el mismo tráiler hubiese llegado a las 11.9 am (11:55 am).

Para verificar cómo se comporta esta diferencia, entonces, se presenta el siguiente histograma sobre la diferencia entre la hora observada y la hora estimada (ambas son las horas de llegada del tráiler a una tienda en particular).



Figura 9.6: Histograma diferencia hora llegada entre hora observada y hora estimada por el modelo.

A partir de la figura 9.6 se puede evidenciar que existen tanto sobre estimaciones en las horas de llegada como sub estimaciones. Esta gráfica induce a la siguiente idea; si se sobre estimaran tanto los tiempo de viaje como los tiempos de servicio, entonces, la cantidad de sub-estimaciones aumentarían, manteniendo de igual manera un error considerable en las estimaciones sobre las horas de llegada a cada tienda.

Dicho lo anterior, se presume la idea de que se requiere precisión sobre las estimaciones de los tiempos de servicio y tiempos de viaje. Si bien se han planteado modelos para mejorar el ajuste, con la información y variables disponibles que se tienen, es complejo disminuir el error debido a que existen otros factores que influyen el tiempo de servicio y tiempo de viaje. Por ejemplo, para el tiempo de servicio: saber cuánto personal está disponible para ejecutar

la descarga, la cantidad de maquinaria disponible u otro factor de este estilo que no puede ser incorporado en esta esta versión de la solución, pero si puede ser parte de posibles desarrollos futuros que permitirían tener una oportunidad de mejora.

Esta sección representa en gran parte unos de los grandes problemas que pueden hacer generar que la solución no sea del todo eficiente; La variabilidad.

El hecho de ocupar modelos deterministas para generar la solución, no se alinea con la idea de que existen diferentes variabilidades que pueden provocar cambios en las diferentes estimaciones a partir de múltiples factores.

Si bien, esto puede señalar una problemática asociada al diseño de la solución desde sus componentes teóricas, al mismo tiempo se considera que esta solución es una primera versión que busca abordar diferentes aristas de problemática.

En futuros desarrollos se podrían integrar otras formas de modelamiento estocásticos que suponen determinadas distribuciones para lo tiempos y permiten entregar soluciones considerando los diferentes escenarios, las cuales puede alcanzar mayor niveles exactitud.

Por el momento se prefiere mantener esta versión de la solución, utilizando valores estimados para tiempos de viajes asociados a OSRM y los tiempos de servicio estimados en secciones previas. Esto tiene como propósito poder testear una primera versión de modelo, considerando que existen oportunidades de mejora importantes respecto a la situación actual, esta versión debería ser capaz de generar una mejora respecto a la forma en la que se realizan los despachos en la actualidad.

9.5. Oportunidades de mejora sobre rotaciones de tráileres y tiempo en cola

Una vez ya definido el modelo y asumido que este es capaz de detectar colisiones y modelar el problema, es necesario cuantificar cual sería la oportunidad de mejora que existe al utilizarlo, es decir, cuánto se podría ganar respecto a la situación actual. Las preguntas que se buscan responder son las siguientes. 1. ¿Es el modelo capaz de mejorar, teóricamente, la situación actual bajo un escenario ideal? 2. ¿Existe una mejora en cumplimiento de la ventanas horarias, entre la realidad y el modelo planteado?

Para poder estimar si existen oportunidades de mejora sin considerar las fricciones y variabilidades asociadas a los tiempo de servicio y de viaje, se mantendrá el foco de la simulación basado en el día 16/04/2019, ya que ha sido estudiado en profundidad.

Los horarios que serán utilizado en la simulaciones serán solo despachos realizados entre las 6 am y las 12 am, esto, para poder enfocar el análisis en los despachos realizados durante las primeras horas de día, recordando que, para este día se había ejecutado una cantidad de despachos del orden de 76 tráileres con un total de 19.6 horas de colisión.

Para identificar si existe una oportunidad de mejora entre la teoría y la realidad, se buscará forzar a ejecutar la misma cantidad de despachos realizados durante las 6 am y 12 am con

solo una ventana de tiempo de dos horas, es decir, entre las 6 am y las 8 am (mediante una restricción que limita la hora de salida desde el centro de distribución).

El propósito de limitar las horas de salida se basa en la siguiente idea; si se puede despachar la misma cantidad de tráileres durante un período de tiempo acotado y además las horas de espera en tienda disminuyen, entonces, se estaría obteniendo un óptimo global con menor espectro de acción, con respecto a las decisiones que se tomaron en la realidad. Esto significaría que existiría una oportunidad de mejora respecto a las decisiones que toman actualmente sobre los tiempos de espera y rotaciones.

Previo a simular esta idea, se presentará una muestra de como se visualiza el output del modelo y su respectiva solución para la hora de salida de cada tráiler. Para ello, se presenta el siguiente Scheduling de salidas para una patente en particular. (Tabla completa resultados en Figura C.1)

Patente	Tienda	Hora salida CD	Hora Llegada tienda	Hora Atención Tienda	Tiempo Espera
YT7433	656	6.767	7.633	7.633	0
YT7433	490	6.767	8.117	8.117	0
YT7433	167	6.767	10.200	10.200	0
YT7433	539	6.767	10.450	10.450	0
YT7433	748	6.767	10.867	10.867	0

Tabla 9.2: Ejemplo Scheduling Patente YT7443 Simulación 16/04/2019

A partir de la Tabla 9.2 se puede observar como el modelo entrega un Scheduling completo con la hora de salida desde el centro de distribución para la patente *YT7433*. Esta patente sale desde el centro de distribución (6011) a las 6.7 AM, luego, procede a llegar al primer punto de su ruta a las 7.6 AM, a la tienda 656. Posteriormente, procede a seguir su ruta hacia la tienda 490, donde arriba a las 8.1 AM, para luego seguir con la ruta completa visitando los puntos 167, 539 y 748. Este ejemplo permite ilustrar una idea de como se genera el Scheduling de un tráiler en particular en esta simulación.

Una vez ya comprendido como se comporta el modelo en términos del flujo asociado a su ruta (para un tráiler), se comienza a realizar la comparación con los resultados en la realidad. Las siguientes Figuras pueden evidenciar como se comportan la horas de llegada para cada visita que realiza un tráiler a un tienda.

Para comenzar la comparación, se puede apreciar que en la Figura 9.7b la concentración de las horas de llegada a las tiendas se ejecuta durante la mañana, siendo al arribo mas tardío cercano a las 12 am. Por el otro lado, las horas de llegada a las tiendas para la Figura 9.7a, se concentran durante todo el día. Recordando, esta simulación forzó las salidas para el caso teórico entre las 6 AM y las 8 AM, siendo que en la realidad estos despachos se realizaron entre las 6 AM y las 12 AM.

La oportunidad radica en lo siguiente; si bien el modelo teórico tenía menos tiempo para ejecutar los despachos, el valor de la función objetivo alcanza un total de 3.8 horas de tiempo

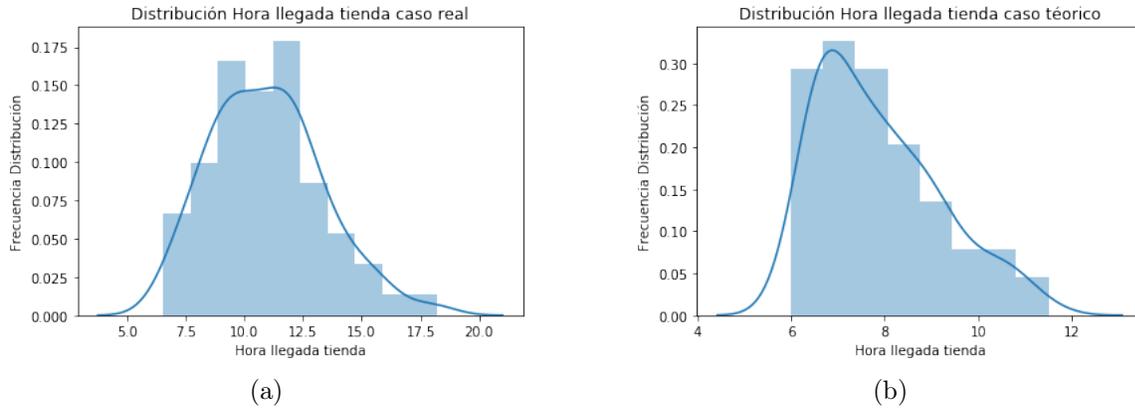


Figura 9.7: Distribución horas de llegas a tiendas caso real v/s teórico 16/05/2019. Tiempos en cola real fue de 19.6 horas y el tiempo en cola teórico esperado fue de 3.8 Horas.

en cola. Al comparar con el caso real, donde el valor del tiempo en cola fue de 19.6 horas, entonces, teóricamente, se puede reducir el tiempo de espera en tienda en 80.6%, lo que significa una gran oportunidad de mejora respecto a la situación actual.

Es necesario recalcar que esta simulación solo ilustra el óptimo de los casos, es decir, en la medida que se conozcan los tiempos de servicio y de viaje como se presentaron en realidad, de igual manera, el presente resultado permite advertir una mejora sustancial sobre la capacidad de despachos que actualmente tiene la empresa.

Para dar un ejemplo más de como se estiman las llegadas de los diferentes tráileres a una tienda en particular, se presenta la siguiente Tabla que refleja una simulación de la llegada a la tienda 32. (Resultados completos Tabla C.2).

Patente	Tienda	Hora salida CD	Hora Llegada Tienda	Hora Atención Tienda	Ruta	Tiempo en Cola
HXDK15	32	6.0000	6.42	6.42	[6011, 32, 776, 610]	0
HXDK36	32	7.0500	7.55	7.55	[6012, 32]	0
JD9574	32	8.0000	8.67	10.00	[6009, 32]	1.3333333

Tabla 9.3: Resultados simulación forzada para la fecha 16/05/2019 ordenada por orden de llegada a tienda. Caso Tienda 32.

A partir de la Tabla 9.3 se puede observar como se ejecutan las llegadas a la tienda 32 para los tres tráileres que visitan esta tienda.

Por un lado, el tráiler de patente HXDK15, ejecuta su salida desde el centro de distribución 6011 a las 6.0 AM para luego arribar a las 6.42 AM. Posteriormente, desde el centro de distribución 6012 se despacha el tráiler HXDK26 a las 7.05 horas, generando un arribo a las 7.55 AM. Como se ha impuesto la restricción de que todos los despachos deben ser ejecutados entre las 6 AM y las 8 AM, entonces el tráiler con patente JD9574 es despachado a las 8.0

AM (la última hora disponible para salir) generando un arribo a la tienda 32 a las 8.67 AM. Debido a que el trailer HXDK36 llegó a las 7.55, considerando que tuvo un tiempo de servicio de 2.45 horas, entonces este recién podrá salir a las 9.5 AM, forzando al tráiler despachado desde 6009 a esperar 1.3 horas para poder ser servido (tiempo de espera).

Este ejemplo es capaz de ilustrar que, de acuerdo a diferentes restricciones, el modelo planteado es capaz de encontrar un óptimo global que permite considerar una mirada centralizada y coordinadora de los 3 centros de distribución, generando horas de salidas para cada despacho de manera coherente considerando la realidad de cada centro de distribución.

Para poder cuantificar de mejor manera la oportunidad de mejora que existe, se plantea la siguiente Tabla que contiene las oportunidades de mejora asociadas a diferentes simulaciones.

Fecha simulación	Tráileres despachados	Tiempo espera Real (H)	% Cumplimiento Ventana Horaria Real	% Cumplimiento Ventana Horaria teórico	Tiempo en cola Teórico (Horas)	% Mejora
14/05/2019	56	8.71	95 %	100 %	0.4	95.4 %
19/05/2019	55	9.7	93 %	100 %	0.3	96.9 %
21/05/2019	70	14.01	87 %	100 %	2.9	79.3 %
23/05/2019	66	18.86	90 %	100 %	2.3	87.8 %

Tabla 9.4: Resumen resultados para simulaciones comparando los resultados obtenidos para el tiempo en cola y cumplimiento de ventanas horarias. Contraste generando entre simulaciones con modelo final y GPS que entregan los resultados reales.

A modo resumen, la Tabla 9.4 evidencia que para las diferentes simulaciones los resultados suelen tener la misma consistencia. Existe oportunidad de mejora, en promedio, de un 89.8 % sobre lo realmente ocurrido y la solución que plantea el modelo para los tiempos en cola. Recordando que, esta simulaciones contiene el modelo final, sin ninguna restricción que fuerza la horas de llegada, si no más bien, que deja libre la posibilidad de decidir un cambio el Scheduling de salidas.

De manera análoga, se puede observar que el cumplimiento de la ventanas horarias (medido como una variable binaria si el tráiler llega o no dentro de su ventana horaria) aumenta, en el planteamiento teórico a un 100 %, esto sería de esperar debido a que el MIP no puede entregar soluciones que violen restricciones (a menos que sean implementadas mediante relajaciones lagrangianas).

A partir de lo resultados expuestos se puede responde a la primera pregunta plateada de esta Sección de manera certera. Existe una oportunidad de mejora respecto a las decisiones que hoy se toman en la operaciones de los centros de distribución, con posibilidad de aumentar la rotación de tráileres y disminución en los tiempos de espera en tienda.

Es necesario advertir que existe fricción entre la realidad y las simulaciones, así como diferentes situaciones que podrían vivir lo tráileres al momento de ser despachados; accidentes,

problemas en las descargas, entre otros, que podrían influir y disminuir esta brecha de mejora que se presenta. La idea central es poder asegurar que existe una mejor forma de despachar los tráileres además de oportunidades de mejora respecto a la situación actual, ya sea tanto en disminuir el tiempo de espera en tienda como aumentar la rotación de los tráileres.

Respecto a la segunda pregunta que se refiere a la mejora asociada al cumplimiento de las ventanas horarias, como se observa en la Tabla 9.4, el porcentaje de cumplimiento teórico pasa a ser un 100 %, sobre el 90 % de cumplimiento que tenía, es decir, el modelo es capaz de ejecutar salidas respetando las diferentes reglas asociadas a las ventanas horarias.

Como riesgo, es necesario advertir que, de un MIP sería esperable que el cumplimiento fuese un 100 %, ya que esta restricción es estricta y no se encuentra implementada mediante relajaciones. Esto, podría derivar en posibles infactibilidades, por ejemplo, si se le integra al modelo un ventana horaria de tan solo 2 horas (diferencia entre la ventana de hora de inicio y término), el modelo tendría poco espacio de acción para poder ejecutar la salidas dentro de este horario.

Supongamos un ruta con dos tiendas, por ejemplo, [2,3], es decir el tráiler debe visitar estos dos puntos. Si la ventana de inicio de de la tienda 3 es las 9 am y cierre a las 11 am, pero la tienda 2 tiene ventana de inicio a las 15 pm y cierre a las 16 pm, entonces, sería imposible que un tráiler pueda cumplir esta ruta. Si cumple la ventana horaria de la primera tienda (2), entonces, ya no podría llegar a la tienda 3 (por que esta ya habría cerrado).

Para poder mitigar este riesgo, entonces, de manera previa a ejecutar el modelo, se chequean casos de este estilo, es decir, infactibilidades de ventanas horarias. En el caso de que una ruta en particular no cumpla esta condición, se procede a eliminar esta patente de la ejecución del modelo.

En conversación con la operación, estos casos, en teoría, no deberían ocurrir, ya que existe una planificación de ruta y, además, un ruteador que permite generar rutas factibles. A modo de conclusión, se pueden resumir tres puntos claves respecto al modelo:

- Las simulaciones permiten asegurar que el modelo es capaz de detectar colisiones y recrear situaciones que se presentan en la realidad.
- Las oportunidades de mejoras son amplias respecto a los objetivos de este proyecto, donde, por un lado, se pueden disminuir las colisiones de manera sustancial y al mismo tiempo, aumentar la rotación (medida en cantidad de despachos) de los tráileres.
- Los incumplimientos de ventanas horarias se pueden disminuir ya que existe un oportunidad de mejora teórica.

Capítulo 10

Herramienta gestión de despachos

Recordando el objetivo principal asociado al desarrollo de este proyecto, la solución planteada se configura a partir de la implementación de una herramienta que permita gestionar los despachos, con foco en poder generar una mirada centralizada sobre los 3 centros de distribución.

Por un lado, ya se han definido las diferentes reglas de negocio, tales como planificación de tiendas, contingencias y bloqueo (Bandera blancas), y las ventanas horarias que se deben incorporar a través del modelo planteando. Para poder comenzar a desarrollar la herramienta, se requiere de diferentes recursos tecnológicos que van a permitir a los usuarios finales (los despachadores de cada centro de distribución) poder generar los despachos óptimos de acuerdo a sus necesidades del día a día.

Para poder desarrollar la herramienta se procede de lo más general a lo más particular. En primera instancia, se deben definir las herramientas que serán utilizadas para construir el software en cuestión, luego, se irá definiendo los detalles de cada una de las componentes, como la interfaz que permitirá a los usuarios realizar las diferentes acciones. En segunda instancia la API REST, que le entrega a la interfaz la información necesaria además de ejecutar los procesos asociados a las optimizaciones y cargas de reglas de negocio.

10.1. Diseños Arquitecturas de software

El primer paso para poder ir construyendo las componentes, se refiere a definir las Arquitecturas que van a sostener la aplicación, para ello se plantea el siguiente esquema genérico sobre el diseño propuesto:

A partir de la Figura 10.1 se pueden evidenciar las tres componentes que constituyen la herramienta de gestión de despachos. La primera es la interfaz, que permite a los usuarios poder interactuar con una plataforma que sea sencilla para poder ejecutar los diferentes procesos. La segunda componente, que se comunica directo con la Interfaz, es la API REST, que será explicada en mayor detalle en la siguiente sección. De manera sencilla, esta provee de información a la interfaz para desplegar los diferentes datos asociados que se encuentran almacenados en una base de datos.



Figura 10.1: Componentes del Software para diseño de la herramienta de despachos.

En la API REST, es donde se integra el modelo de optimización planteado en el Capítulo 7. Esta componente es la que permite entregar dinamismo e inteligencia a la aplicación, ejecutando tanto las reglas de negocio como las de optimización para derivar los resultados en soluciones óptimas.

Finalmente, la base de datos a utilizar es una base de datos Postgres que permite almacenar toda la información necesaria junto con proveer a la API con esta información de manera ordenada y estructurada.

10.2. Interfaz

Para comenzar a entrar en detalle, es necesario presentar las diferentes vistas que constituyen la interfaz. Se explicará en específico cada vista asociada y como la solución permite generar un ente coordinador para los 3 centros de distribución. Las componentes principales son las siguientes:

- **Login:** Vista de entrada para autenticar al usuario. Esta vista permite conocer de que centro de distribución es el usuario y sus credenciales asociadas.
- **Optimizador:** Vista de optimización que permite ejecutar el proceso incorporando las diferentes reglas de negocio, entregando resultados óptimos vinculados a cada requerimiento.
- **Fixed-planning:** Vista asociada a la regla de negocio de planificación, la cual permite modificar el Fixed planning de las tiendas por día de la semana.
- **Banderas blancas:** Vista asociada a la regla de negocio de planificación, la cual permite modificar el Fixed planning de las tiendas por día de la semana.
- **Tienda:** Vista que permite manejar la diferente información de las tiendas, tal como las ventanas horarias, formatos de la tienda, zonas de la tienda, entre otras.

Login

La vista del login se muestra en la siguiente imagen.



Figura 10.2: Vista Login Interfaz.

Lo importante de la vista Login, es que permite, además de cumplir políticas de Seguridad, autenticar al usuario que está entrando a la plataforma, lo que permite definir diferentes roles asociados a cada centro de distribución. Quiere decir, por ejemplo, que al ejecutar un proceso de optimización, se puede saber desde que centro de distribución se está ejecutando el proceso. Esto se puede realizar gracias a que cada usuario tiene una cuenta determinada donde se identifica a que centro de distribución pertenece.

Optimizador

La vista del optimizador, es probablemente, la más importante dentro de todos los desarrollos de la plataforma, ya que permite ejecutar los despachos asociados de manera óptima y sencilla, de manera que cada despachador de los distintos centros pueda hacerlo.

El proceso de optimización consta de dos etapas principalmente. La primera, se basa en generar la optimización con parámetros requeridos. La segunda, es elegir los tráileres a despachar, lo cual se denomina proceso de gestión, que permite cubrir diferentes casos bordes asociados a procesos que la solución no puede integrar.

Respecto al primer paso, es decir, ejecutar el proceso de optimización, se puede observar como se visualiza en la imagen 10.3.

Como se puede observar en la imagen 10.3 existen tres parámetros relevantes para el proceso de optimización. Lo primero, es definir la cantidad de vehículos a despachar, donde existe una variabilidad en la cantidad de despachos que se ejecutan a diferentes horas del día, debido a que este parámetro puede variar según las necesidades de cada centro de distribución. Por ende, se libera este parámetro para poder mostrar la cantidad de tráileres que se requieren despachar en el momento en que se decide ejecutar el proceso de optimización.

El segundo parámetro es la zona. Debido a los alcances de este proyecto solo se abordaron los despachos en la Región Metropolitana (RM), por que lo que solo se puede generar despa-

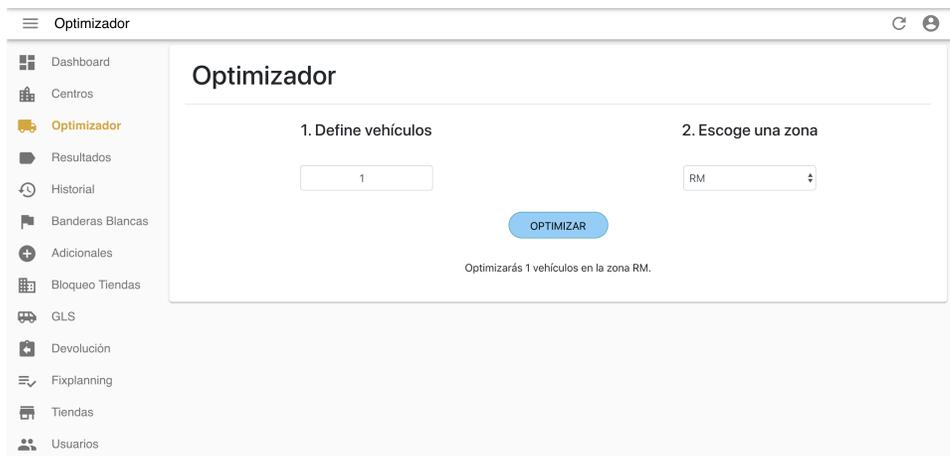


Figura 10.3: Vista Login Interfaz.

chos utilizando el proyecto en esta zona. En fases posteriores (extensión de este proyecto) se debería incorporar el parámetro de otras zonas, como regiones por ejemplo.

Finalmente, al apretar el botón optimizar, se comienza a ejecutar el proceso, que demora entre 30-90 segundos dependiendo de las dimensiones del problema (la barra de carga se puede evidenciar en Apéndice D.1). Una vez finalizado el proceso, el usuario podrá visualizar los resultados asociados a la ejecución del proceso en la vista de resultados, la cual se puede apreciar en la siguiente imagen.

Estas son nuestras sugerencias de los resultados de optimización.					
1	2	3	4	5	
Patente	CD	Hora de Gestión	Hora de Salida	Ruta	
<input checked="" type="checkbox"/> JB4435	6009	7:58	8:28	[77]	
<input checked="" type="checkbox"/> GRUY42	6009	8:51	9:21	[62]	
<input checked="" type="checkbox"/> JN7776	6009	9:02	9:32	[46]	
Resultados alternativos					
6	Patente	CD	Hora de Gestión	Hora de Salida	Ruta
<input type="checkbox"/>	Grd80	6009	9:04	9:34	[75]
<input type="checkbox"/>	JN7767	6009	11:01	11:31	[72]
<input type="checkbox"/>	HXDK27	6009	11:04	11:34	[45]

Figura 10.4: Vista resultados optimización: Proceso de gestión.

A partir de la Imagen 10.4 se puede observar que existen diferentes variables asociadas a la respuesta del proceso de optimización.

La primera variable que se entrega es la Patente (1) del tráiler, la segunda de ellas es el centro de distribución (2) de aquella Patente (este como forma de validación, ya que todas las patentes entregadas corresponden al centro de distribución del usuario que está optimizando).

La tercera variable corresponde al horario asociado al inicio de gestión del despacho (3). Cabe mencionar que la hora de salida de un tráiler del centro de distribución corresponde

a al menos 30 minutos más que la hora de gestión; esto, considerando que en la realidad la hora de gestión no actúa de forma simultánea con la de salida, por tanto se deja una brecha de tiempo que responda a las necesidades de un tráiler desde que es despachado, hasta que logra salir del centro de distribución. La variable (4) corresponde a la hora entregada por el modelo, es decir, la hora que el tráiler en cuestión debería estar saliendo del centro de distribución.

Finalmente la variable (5) corresponde a los puntos a visitar (ruta) de los tráileres, que si bien es un parámetro conocido para los despachadores, la visualización de esta información complementa y facilita la ejecución de un despacho.

Por ultimo, el punto (6), hace referencia al poder entregar otras alternativas de despechos. La vista del optimizador solo entrega 3 alternativas extras que se ordenan según la hora de salida del modelo. El propósito de esta alternativa es poder entregar un espacio a la operación para que el despachador pueda elegir que tráiler es más conveniente para despachar. Estas alternativas nacen de la idea que puede existir contingencia vinculada a un tráiler que no se puede visualizar a niveles de base de datos, como por ejemplo, que la rueda de un tráiler cargado este pinchada. Si el tráiler fue cargado y luego sufrió un percance, entonces, a nivel sintomático, este figura como posible tráiler para ser despachado, cuando en realidad no puede salir.

Una vez ya seleccionados los tráileres, el despachador solo debe ejecutar el proceso de 'Gestionar', que permite guardar los resultados asociado a la optimizaciones y así, ellos solo deben proceder con ejecutar los despachos que el optimizador entrega.

Fixed Planning, Bandera Blancas y Tiendas.

La vista asociada al Fixed Planning, se basa en que los usuarios de tráfico puedan incorporar los elementos que requiere esta regla. La idea, de manera sencilla, se basa en que se puedan almacenar, mediante bases de datos, esta regla de negocio y poder modificar los diferentes campos asociados. Posteriormente, esta tabla en particular, es incorporada en el procesamiento de reglas de negocio dentro del optimizador, que ejecuta la regla según la base de datos que se encuentra almacenada.

La vista (Imagen D.2) contiene elementos tales como carga masiva de datos, para que puedan ser incorporados mediante Excel, cargas individuales de datos, eliminación de datos y finalmente la edición de cada campo. Con estos elementos la operación es capaz de manejar todas la variables asociadas a la planificación de sus tiendas.

Los parámetros que se pueden modificar en el Fixed Planning son los siguientes.

- **Centro Distribución:** código centro distribución
- **Tienda:** código tienda
- **Lunes:** Cantidad de tráileres que la tienda puede recibir desde el centro de distribución para el día lunes.
- **Martes:** Cantidad de tráileres que la tienda puede recibir desde el centro de distribución para el día martes.

- **Miércoles:** Cantidad de tráileres que la tienda puede recibir desde el centro de distribución para el día miércoles.
- **Jueves:** Cantidad de tráileres que la tienda puede recibir desde el centro de distribución para el día jueves.
- **Viernes:** Cantidad de tráileres que la tienda puede recibir desde el centro de distribución para el día viernes.
- **Sábado:** Cantidad de tráileres que la tienda puede recibir desde el centro de distribución para el día sábado.
- **Domingo:** Cantidad de tráileres que la tienda puede recibir desde el centro de distribución para el día domingo.

Estos parámetros son los requeridos para poder incluir la regla de negocio. La actualización de la bases de datos es responsabilidad del área de Tráfico, la cual deberá mantener estos datos actualizados semana a semana para que la carga sea completa.

De manera análoga, se construye la vista para Bandera Blancas (Imagen en Anexo D.3) que permite generar el bloqueo de salidas de tráileres que contengan determinadas tiendas. Este bloqueo se puede realizar a nivel de centro de distribución y tipo de mercadería, por ejemplo, si una tienda en particular no quiere recibir mercadería Fría durante un día completo desde un centro de distribuciones en particular, entonces, se puede realizar el bloqueo asociado a este centro, dejando la oportunidad de generar despachos desde los otros centros de distribución.

Nuevamente la responsabilidad de mantener actualizada esta bases de datos recae sobre el área de Tráfico, quien debe comunicarse con las tiendas y procurar que no se ejecuten despachos en caso de que una tienda se encuentre con bandera blanca.

Finalmente, la última información necesaria que requiere el modelo para incorporar la reglas de negocio, es la información asociada a cada tienda, en la cual se incluyen las ventanas horarias. Esta vista (Imagen D.4) permite manejar las fuentes de información sobre la que se pueden ejecutar los despachos. Los principales campos de esta Vista son los siguientes:

- **Id tienda:** Id asociado a la tienda.
- **Centro distribución:** Centro de distribución asociado a la información de la tienda.
- **Zona:** Zona a la cual pertenece la tienda.
- **Formato:** Formato de la tienda.
- **Horario Inicio 1:** Primera opción de ventana horaria de inicio de la tienda.
- **Horario Término 1:** Primera opción de ventana horaria de término de la tienda.
- **Horario Inicio 2:** Segunda opción de ventana horaria de inicio de la tienda.
- **Horario Término 2:** Segunda opción de ventana horaria de término de la tienda.

En general, esta Vista permite manejar las ventanas horarias para cada centro de distribución y, en segunda instancia, manejar dobles ventanas horarias. Por ejemplo, una tienda para un centro de distribución, podría tener horarios de recepción entre las 5am y las 9 am y posteriormente, en un mismo día, recibir entre la 15 pm y las 20 pm. Esta modalidad permite a la operación poder tener más flexibilidad en el desarrollo de la ventanas horarias además de adecuarse correctamente a las necesidades de la empresa.

A modo general, esta vista representa las principales reglas de negocio, las cuales fueron explicadas en el Capítulo 6. Las otras reglas son básicamente extensiones de estas, por ejemplo, generar bloqueos de tiendas por rangos horarios (una bandera blanca pero con fecha de inicio y de término) u otra que permita a un determinado tráiler ser incorporado dentro de la optimización sin que respete las reglas de Fixed Planning (es decir, que sea despachado de igual manera en el caso que se haya cumplido las cuotas de despacho para un tienda en particular). La razón por lo que no fueron incorporadas en detalle es porque, básicamente, son extensiones de las reglas definidas previamente.

10.3. API REST

El tema central de esta sección se basa en poder explicar como se provee de información a la interfaz, integrando los procesos explicados en secciones previas, en los que sería una aplicación en base a la modalidad API REST.

Una API REST (*Application Programming Interfaces*, en sus siglas en inglés), viene a ser un conjunto de reglas que permiten comunicar aplicaciones entre sí, mediante determinados protocolos que se encuentran establecidos (HTTP). Para efectos del desarrollo de esta herramienta, lo que se busca es comunicar la interfaz con la base de los datos, integrando los procesamientos de las reglas del negocio y el optimizador dentro de la API.

Mediante el uso de protocolos HTTP¹. Se pueden formular 4 métodos sobre las bases de datos que permiten ejecutar diferentes procesos. Estos son el POST (Crear), GET (Leer y consultar), PATCH (Editar) y DELETE (borrar), es decir, ejecutar diferentes procesos asociados al procesamiento de información, permitiendo comunicar la base de datos con una interfaz de manera sencilla. ².

Esta aplicación fue desarrollada mediante el uso del lenguaje Python y el uso del Framework Falcon. Este último fue elegido debido a su velocidad de respuesta respecto a otro Framework y por su simplicidad y facilidad para generar el desarrollo (se puede observar el benchmark entre Frameworks en la Imagen E.2).

El siguiente esquema permite resumir y tener una idea de como se ejecutan todos los procedimientos al detonar un proceso de optimización, dando énfasis a la importancia que tiene en API REST el poder comunicar de manera sencilla todas las aristas del proyecto.

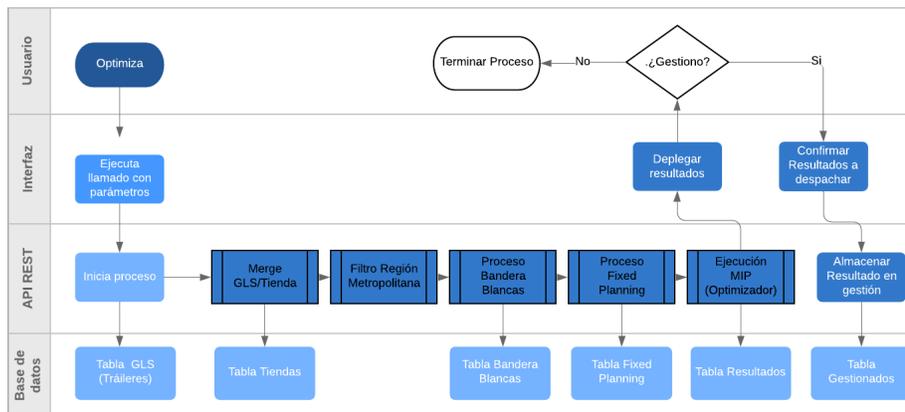


Figura 10.5: Esquema del flujo completo asociado al optimizador integrando la interacción usuario-interfaz-api-base de datos.

¹En sus siglas en inglés *Hypertext Transfer Protocol*. Nombre que hace referencia a un protocolo que permite realizar peticiones de datos, siendo la base entre la comunicación de un Servicio Web y protocolo cliente-servidor. Para evidenciar el comportamiento de la comunicación véase Esquema E.1

²Para poder observar como se crearon estos diferentes métodos, se puede revisar la documentación de la API en el siguiente link <https://app.apiary.io/walmartapi3/editor>

El esquema 10.5 permite tener una idea de como se integran todas las etapas sobre el proceso completo de optimización. En primera instancia, un Usuario ejecuta el proceso de Optimización mediante los parámetros que se definen desde la interfaz. Esta entrega los parámetros a la API y esta comienza a ejecutar los diferentes procesos asociados.

Primero, define a partir de la base de datos de GLS, el total de tráileres que están disponibles para ser despachados. Luego, en la base de datos se integra la información asociada a las tiendas, como las ventanas horarias y Zona de despacho de cada tienda.

Posteriormente, se filtran solo los despachos para Región Metropolitana para continuar con el procesamiento de las banderas blancas (mediante el uso de la tablas que están en la base de datos) para luego definir que tráileres pueden salir en base al Fixed Planning. Así es como estas dos reglas funcionan como filtro definiendo un base de tráileres que pueden ser despachados.

Finalmente, se ejecuta el proceso de optimización con el conjunto de tráileres que cumplen las reglas de negocio para ser despachados. Es necesario mencionar que en este punto se incorpora una restricción al modelo donde la hora de salida de un tráiler debe ser mayor a la hora actual, parámetro que se define al momento de ejecutar el optimizador, lo que permite entregar soluciones en base a la hora actual que ejecuta el modelo.

Una vez ya finalizado el proceso de optimización, se despliegan los resultados en la interfaz, donde el Usuario debe seleccionar, considerando las alternativas que se le entregan, los tráileres que va a despachar. Una vez que decide gestionar (en la práctica aprieta el botón gestionar) se almacenan en la tabla de gestionados todos los tráileres que decidió gestionar y puede comenzar a realizar el proceso de despacho y la asignación al transportista del tráiler.

Como se puede observar, todos los procesos definidos y estudiados durante el desarrollo de la solución son integrados mediante el uso de la API REST que permite ejecutar todos los procesos de manera secuencial integrando todas las aristas del proyecto.

Por último, esta aplicación será ubicada (o hosteada) mediante el uso de Google Cloud Plataform, la razón es principalmente por la simplicidad que existe para posicionar en un ambiente de producción este tipo de servicios. ³.

³Mediante el uso de diferentes balanceadores de carga, se diseñó una arquitectura basada en múltiples servidores, el Esquema E.3 puede ilustrar la forma en la que la aplicación se encuentra sostenida por múltiples servidores.

Capítulo 11

Resultados y discusión

El presente Capítulo pretende presentar los resultados que se obtuvieron en la fase de implementación de la plataforma. Es necesario recalcar que la implementación se realizó de manera gradual, donde se dio la oportunidad de ajustar detalles de la herramienta completa mediante el feedback de la operación en lo largo de un período de tiempo.

Una de las problemáticas que se presentó durante el período de la implementación completa, fue el acontecimiento de la crisis social que se vivió en Chile el día 18 de Octubre [Tercera, 2019]. El estallido social limitó el funcionamiento normal de la ciudad, donde la empresa se vio afectada de tal manera que tuvo que cerrar entre un 5% a un 10% de sus tiendas, debido a los daños que sufrieron por las manifestaciones.

El efecto de este suceso retrasó la implementación de la plataforma en su versión final. Si bien, durante el período de Septiembre a Octubre se desarrollaron las fases piloto, estas no pretendían medir indicadores, si no más bien, iterar con el foco en la gestión del cambio al interior de la operación.

Esta fase de implementación se realiza en relación a que los colaboradores de los centros de distribución debían adaptarse al uso de la herramienta y sus diferentes funciones, ya que si bien esta fue diseñada para que el usuario debiese realizar la menor cantidad de acciones posibles, simplificando todo su proceso al ejecutar una optimización, requiere de un proceso de adaptación y transición en el uso de esta herramienta.

La implementación completa de la plataforma u herramienta de gestión de despachos, se implementó desde el primer día hábil de Diciembre, esta etapa ya considera que los usuarios tienen conocimiento de las diferentes funcionalidades de la herramienta.

Durante Noviembre la operación retomó su normalidad debido a las contingencias que ocurrieron en Chile y se pudo generar despachos a la tiendas que se encontraban hábiles, lo que permitió comparar dos períodos donde la diferencia más radical es el uso de la plataforma. Para ellos, se definen los siguientes períodos para medir y comparar los efectos de la implementación de esta herramienta.

En la tabla 11.1 se pueden visualizar los dos períodos a contrastar, el primero en rela-

Período	Herramienta
5/11/2019 - 30/11/2019	No implementada
01/12/2019 - 26/12/2019	Implementada

Tabla 11.1: Definición período control y test sobre el uso de la herramienta para comparar los resultados en la implementación. Notar que sobre estos días fueron eliminados los días domingos, ya que no hubo despachos.

ción a Noviembre con la herramienta no implementada y el segundo, con la herramienta implementada durante el período de Diciembre de 2019.

Un punto que se debe tener en consideración, es que, si bien existen cifras de colisiones y tiempos de espera calculadas en el Capítulo 2, el análisis de los resultados se centrará solo en comparar los dos períodos de la Tabla 11.1. Esto se debe a que la contingencia cambió las cifras y la información de las tiendas que se tenían anteriormente y, además, se debe considerar como factor el hecho que se incorporó el cuarto centro de distribución. Durante el mes de Octubre este nuevo centro comenzó a funcionar operativamente, y ya en el período de Noviembre este estaba realizando despachos con normalidad. La razón por que este centro no fue mencionado anteriormente se debe a que no existen datos para los periodos de tiempos estudiados de este centro en particular. Sin embargo, tanto para el modelo de optimización planteado como el desarrollo de la plataforma fue diseñado en función de N centro de distribución, facilitando la incorporación de este centro en la etapa de implementación. Para el caso los tiempo de servicio se homologó el comportamiento en base a al Centro de distribución 2, debido a que se espera un comportamiento similar ya que son los 2 centros más tecnológicos y operan de la misma manera.

11.1. Resultados: Tiempo en cola

En primera instancia, se deben compara en ambos periodos cuanto fue la cantidad de viajes realizados, esto solo para corroborar que la cantidad de despachos sea similar en ambos periodos.

Herramienta	Total viajes
0	2415
1	2320

Tabla 11.2: Resultados periodo con/sin herramienta para cantidad total de viaje en ambos periodos

Como se puede observar a partir de la tabla 11.2, la cantidad de viajes realizados para ambos periodos (con y sin herramienta) son similares, solo existe una disminución del 3.9% de viajes durante el periodo de implementación. Por lo mismo, se debe tener en consideración este porcentaje como parte de los análisis, pero todas formas no se observa una diferencia significativa entre ambos periodos.

El primer indicador a medir en ambos períodos es el tiempo en cola o tiempo de espera en tienda, esto incluye también el porcentaje de colisiones. Recordando los códigos de cada

centro, 6009 corresponde a Centro 1, 6011 al Centro 2, 6012 al Centro 3 y 6020 al Centro 4.

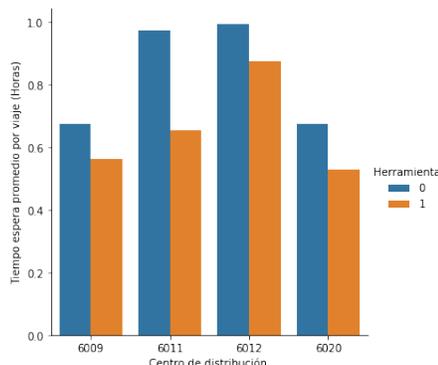


Figura 11.1: Resultados implementación herramienta: Cálculo del tiempo de espera por tráiler, desglose por centro de distribución y cuando la herramienta fue o no utilizada. Elaboración propia a partir de datos de GPS

A partir de la Figura 11.1 se puede observar que cada centro de distribución sufrió una disminución del tiempo de espera para cada tráiler en el período de implementación de la herramienta con respecto al período en el que no se utilizaba. Para evidenciar de mejor manera el detalle de estas variaciones, se puede observar la siguiente tabla.

CD	Herramienta	% Colisiones		Tiempo en cola promedio (Horas)	
		Promedio	Desviación	Promedio	Desviación
6009	0	35.60	6.42	0.68	0.25
	1	34.19	8.52	0.56	0.14
Variación porcentual		-4.0 %	32.6 %	-16.7 %	-43.1 %
6011	0	51.85	13.94	0.97	0.35
	1	40.45	8.38	0.66	0.25
Variación porcentual		-22.0 %	-39.9 %	-32.7 %	-28.5 %
6012	0	54.81	7.14	0.99	0.12
	1	45.71	6.45	0.88	0.10
Variación porcentual		-16.6 %	-9.7 %	-11.8 %	-20.6 %
6020	0	32.27	9.40	0.67	0.24
	1	30.06	9.58	0.53	0.23
Variación porcentual		-6.8 %	2.0 %	-21.3 %	-6.9 %

Tabla 11.3: Resultados implementación de la herramienta con tiempo de espera promedio y desviación estándar para ambos períodos

En la tabla 11.3 se puede evidencia el promedio del tiempo en cola para cada tráiler y el porcentaje de colisiones respectivo.

Para el caso del centro de distribución 6009, se puede observar una disminución de un 4.0% para las colisiones con la utilización de la herramienta. Respecto al tiempo en cola promedio, existe una disminución de un 16.7% para el mismo centro de distribución con el uso de la herramienta, pasando de 0.68 horas de tiempo de espera promedio, ha 0.56 horas de espera promedio por tráiler. De la misma manera la desviación estándar de la hora de espera promedio, disminuye en 43.1%.

Para el caso del centro 6011, la disminución del tiempo en cola es más considerable, con una variación porcentual del 32.7 %, donde se logró disminuir el tiempo en cola de 0.97 horas a 0.66 horas con la herramienta. De manera análoga, si se revisa la variación de la desviación estándar, esta disminuye en un 28.5 %.

Para el centro 6012 se repite una disminución de las colisiones y tiempo en cola con el uso de la herramienta, bajando un 16.6 % el porcentaje de colisiones y un 11.8 % el tiempo promedio de espera. Respecto a la desviación de este último, esta disminuyó en un 20.6 %.

Por último, el centro de distribución 6020, logró disminuir sus tiempos de espera en un 21.3 % para cada tráiler y su desviación estándar en 6.9 % con la herramienta.

A primera vista, al revisar estos resultados, se puede notar que existe una mejora significativa para cada centro de distribución en los tiempos de espera de cada tráiler al momento de implementar la herramienta. Si bien, el porcentaje de colisiones disminuye, la mejora principal se ve en los tiempo de espera promedio para cada tráiler.

Lo interesante es que también se logró disminuir las desviaciones estándar de los tiempos de espera. Esto quiere decir, que entre un día y otro, las variaciones entre los tiempos de espera deberían fluctuar, respecto al caso sin herramienta, en una menor medida, disminuyendo los niveles de incertidumbre.

Si bien, estos resultados parecen demostrar una mayor significativa, es necesario controlar por otros efectos para evaluar si el uso de la herramienta impacta de forma estadísticamente significativa el tiempo de espera en tienda.

Para poder evaluar el efecto estadístico de la herramienta, se presenta la siguiente regresión lineal.

A partir de los resultados de la Tabla 11.4, se puede evidenciar que el coeficiente asociado a la herramienta es de -0.195 horas (Modelo (3)), lo cual indica que el uso de la herramienta disminuye en 0.195 horas el tiempo de espera por tráiler, equivalente a 11.7 minutos por cada tráiler despachado.

Respecto a la variable de control, es necesario recordar que si bien la cantidad (como suma) de horas del tiempo de espera es directamente proporcional a la cantidad de despachos que se realizan, como la variable dependiente (tiempo en cola promedio) es el total del tiempo en cola de una día sobre la cantidad total de viajes realizados, entonces, tiene sentido que ninguna de las variables de control asociadas a los días de la semana sean significativas.

De manera estadística, se puede concluir, al 95 % de confianza, que el impacto de la herramienta es capaz de disminuir los tiempos en cola en 0.195 horas, es decir, 11.7 minutos menos respecto al no usarla, para cada tráiler despachado.

11.2. Resultados: Tiempo efectivo en ruta /Rotaciones

Otro indicador relevante que permite medir el impacto de la solución y, en parte, los objetivo planteados, es el tiempo efectivo en ruta. Si bien, se evidencia una mejora significativa

	<i>Dependent variable:</i>		
	tiempo_en_cola_promedio		
	(1)	(2)	(3)
Herramienta1	-0.223*** (0.056)	-0.213*** (0.055)	-0.195*** (0.051)
DiaSemana2		-0.022 (0.086)	-0.031 (0.079)
DiaSemana3		-0.107 (0.082)	-0.098 (0.075)
DiaSemana4		0.018 (0.082)	0.027 (0.075)
DiaSemana5		-0.132 (0.098)	-0.138 (0.090)
DiaSemana6		-0.355** (0.144)	-0.429*** (0.133)
ORIGEN6011			0.217*** (0.058)
ORIGEN6012			0.246** (0.118)
ORIGEN6020			-0.033 (0.068)
Constant	0.820*** (0.040)	0.869*** (0.064)	0.772*** (0.069)
Observations	93	93	93
R ²	0.148	0.233	0.391
Adjusted R ²	0.139	0.180	0.325
Residual Std. Error	0.270 (df = 91)	0.263 (df = 86)	0.239 (df = 83)
F Statistic	15.825*** (df = 1; 91)	4.363*** (df = 6; 86)	5.919*** (df = 9; 83)

Note: *p<0.1; **p<0.05; ***p<0.01

Tabla 11.4: Resultados implementación herramienta medida para tiempo en cola. Herramienta1 corresponde a si la herramienta fue implementada o no, con caso base la no implementación. Día de la semana va desde el 1 al 6, con caso base 1, donde 1 es Lunes y 6 es Sábado. Domingo (0) no fue incluido dentro de los análisis ya que en la mayoría de los días no se generan despachos.

respecto al tiempo en cola entre el período sin/con herramienta, parte del impacto que se busca es poder aumentar el tiempo efectivo en ruta, es decir, el tiempo de servicio más el tiempo de viaje. Esto permitiría poder asegurar que existe una transformación en la disminución de los tiempos de espera a tiempos efectivos en ruta, lo cual debería traducirse en una mayor rotación de tráileres.

Para recordar, la idea es planteada de la siguiente manera: Si el tiempo en cola se puede traducir en tiempo de viaje efectivo, es decir, tiempo de traslado más tiempo servicio, implica que, los tráileres lograron convertir sus tiempos de espera en tiempo efectivo en ruta, generando una oportunidad de mejora en la cadena de abastecimiento que impacta directamente en la productividad.

Para poder comparar los análisis, se presenta la siguiente tabla, que compara los tiempos de servicio, tiempos de viaje, tiempos efectivos en ruta y tiempos en cola para ambos períodos.

Herramienta	Tiempo en ruta (hrs)	Rotación tráileres
0	2.41	1.12
1	2.38	1.11
Variación	-1.2%	-0.9%

Tabla 11.5: Resultados período con/sin herramienta para tiempo efectivo en ruta y tiempo rotación de tráileres agregados sobre los 4 centros de distribución.

A partir de la Tabla 11.5 se puede decir que, en ambos períodos, existe una disminución tanto del tiempo en ruta como de la rotación de los tráileres, con una disminución porcentual del 0.9%.

Estos resultados se contraponen al efecto esperado. Este era aumentar los tiempos efectivos en ruta y por ende la rotación de los tráileres.

La principal problemática es que los cambios que vivió la operación en la incorporación de su nuevo centro de distribución con el cierre de algunas tiendas, no permiten concluir sobre estos indicadores, para mayor detalle en la Sección de Discusión se evaluarán estos resultados.

Además, se vislumbra una leve disminución en la rotación de los tráileres, efecto contrario al esperado. En la Sección de Discusión se discutirán estos resultados y los posibles factores que pueden afectar los resultados y el por qué no se pueden concluir efectos significativos en estos indicadores.

El último indicador relevante son las devoluciones. Sobre estas no se pueden obtener resultados concluyentes tanto en la fase sin herramienta como en la fase con herramienta. Esto, debido a que dada la contingencia, muchas tiendas (durante el período de Noviembre y Diciembre), debían adaptarse a diferentes circunstancias y cerraban sus puertas en horarios fuera de lo habitual, lo que, en muchas ocasiones, generó devoluciones, provocando el aumento de estos indicadores de un 5% a un 10% (dato obtenido a partir del área de tráfico) durante el período de fines de Noviembre a Diciembre, por lo que, dado el contexto, no se pueden obtener resultados concluyentes.

11.3. Discusión resultados

En primera instancia es necesario tomar en consideración el estallido social ocurrido en Chile el 18 de Octubre del 2019. Este suceso generó que la empresa cerrará diferentes tiendas, en particular, en la Región Metropolitana, lo que por un lado, retrasó la implementación de la herramienta de despachos y, por el otro, cambió las condiciones que tenía la empresa, al menos, en este último año. Esto obliga a observar solo un período de tiempo determinado y contrastar estos dos períodos, perdiendo la posibilidad de comparar, por ejemplo, la implementación de un mismo mes en diferentes años.

Dicho esto, es necesario considerar el hecho de que existen variaciones, por ejemplo, en los

análisis expuestos en las primeras secciones de este informe, en contraste con la implementación, donde se incorporó el Peñón en esta fase. Por lo mismo, es clave comparar solo dos períodos de tiempo, donde se parte del supuesto de que las condiciones (entre Noviembre y Diciembre) no cambiaron drásticamente.

Respecto a este punto, lo ideal habría sido que la relación entre ambos períodos fuese estable, es decir, que el único cambio que se observa al contrastarlos, es la implementación de la herramienta. Pero, como se supone, para el caso de la inclusión de Peñón, es que hay una alta probabilidad de que este se encuentre absorbiendo la demanda de otros centros durante ambos períodos, lo que induce a introducir sesgos en los resultados, sobretodo para la rotación de los tráileres.

El propósito de la creación del Peñón nace, por un lado, en crear otro centro de distribución que despache el tipo de mercadería Fría, supliendo una parte de la demanda en Quilicura. Además, busca poder equilibrar a los centros de distribución, absorbiendo parte de la demanda de Puerto Santiago y Lo Aguirre.

Dado el hecho de que el nuevo centro de distribución permita aliviar la demanda del resto, sería consecuente esperar que estos eviten la necesidad de aumentar sus rotaciones, al menos, en el corto plazo. Esto, sumado a la contingencia que generó el cierre de 17 tiendas en la Región Metropolitana, por parte de la empresa, indica que no cabe la necesidad de aumentar las rotaciones tanto en el período en donde no se utilizó la herramienta, como en el período donde se implementó.

Entonces, al analizar la Tabla 11.5, no se puede atribuir un efecto claro al uso de la herramienta sobre las rotaciones de los tráileres. Por un lado, podría ser el efecto del Peñón que disminuye la necesidad de generar una mayor cantidad de vueltas por tráiler, lo que eventualmente podría contrarrestar el efecto deseado en la implementación de la herramienta.

Para las rotaciones y el tiempo efectivo en ruta, no se pueden extraer conclusiones estadísticamente significativas debido a que estos parámetros podrían estar sesgados en consecuencia de la inclusión de otros factores externos asociados a la contingencia del país y a la incorporación del nuevo centro de distribución. Sobre el tiempo de espera, se reconoce una mejora sustancial comparando ambos períodos, una disminución de 0.195 horas por tráiler despachado. Si bien, los factores externos podrían influir en los resultados, dado que esta variable se mide por despacho realizado, el efecto de la demanda (la cual afecta a la cantidad de tráileres a despachar) no debería estar sesgado por el coeficiente, permitiendo concluir que existe una diferencia significativa en la implementación de la herramienta.

11.4. Discusión resultados: Análisis cualitativo

Hasta el momento se han presentado los resultados asociados a la parte cuantitativa del proyecto. Se observan mejoras sustanciales en los principales indicadores del proyecto, sin embargo, es necesario analizar de la misma manera los aspectos cualitativos de la implementación y uso de la herramienta de gestión de despachos. Una primera pregunta clave que se debe responder es la siguiente: ¿Qué diferencias, en términos operacionales, existen entre el período con y sin herramienta? Se debe recordar que previo a la implementación el despacho

asociado se realizaba de forma manual, no existía un cálculo que integrara tanto las reglas de negocios como un mecanismo que diera la oportunidad de ejecutar despachos hacia tiendas que estuviesen disponibles para realizar las descargas. Este punto marca una diferencia en términos operacionales, hoy la operación de cada centro cuenta con una herramienta que permite tomar decisiones considerando que acciones están realizando los otros centros de distribución, siempre de forma continua. Previo a la implementación, no existía ningún proceso asociado que incorporara las acciones y decisiones de todos los centros.

Comparando ambos periodos, se notó que previo a la implementación las acciones se tomaban de forma independiente y manual para cada centro de distribución, donde no se observaba el estado de los tráileres, sus posiciones ni posibles arribos a tiendas asociados a sus rutas; lo cual describe un proceso reactivo. Por el otro lado se tiene un nuevo proceso que si considera las variables, anteriormente mencionadas, al momento de las decisiones; se considera como un sistema proactivo, lo que permite mejorar la calidad de decisiones tomadas en el día a día de la operación. Cada uno de los puntos mencionados genera aspectos positivos en la implementación. Hasta este punto solo se ha hablado del momento en cual la herramienta ya fue implementada y no sobre sus procesos de implementación e incorporación dentro de la operación. Con esto, en gran parte, se hace referencia a la gestión de cambio al interior de la organización para incorporar el nuevo uso de la herramienta de gestión de despachos.

El primer aspecto relevante asociado a la gestión de cambio se basa en una simple idea: Confiar. Al imaginar un contexto donde los empleados llevan varios años ejecutando este tipo despachos, introducir una herramienta de este tipo y solicitar al personal que ejecuten los despachos según el orden y horario que entrega la herramienta, genera cierta resistencia interna. Se irrumpen sus métodos de trabajo para trabajar con algo completamente distinto y desconocido, por tanto, en este contexto, la confianza juega un rol clave para su correcta implementación y ejecución.

Para abordar el punto de la confianza, solo existe una forma de generar sinergia y penetración de la herramienta en el ambiente laboral: resolver dudas y explicar el caso a caso. Cuando el sistema tomaba alguna decisión, fue necesario resolver las dudas y exponer en cada caso el porqué de esta para así poner en evidencia que esta decisión era mejor a la que se estaba tomando previo a la implementación de la herramienta. Cuando el personal entiende un poco mejor la herramienta la aprueban y la incorporan de mejor manera, es por esto que este proceso generó, en cada jefe de un centro, comenzar a confiar en las soluciones que entregaba la herramienta junto con validar que estas soluciones tuviesen sentido en términos operacionales. El proceso, finalmente, culminó como un proceso iterativo en el que se pudo obtener feedback por parte del personal que generaba la operación para así ajustar detalles que permitieran generar una solución robusta y, además, entregarle la confianza a la operación de que la herramienta permitiría mejorar la calidad de los despachos asociados a los diferentes indicadores claves, haciéndolos también parte del proceso.

La validación por parte de la operación permite asegurar que las soluciones entregadas por el modelo, al menos, les hacía sentido a ellos. Ellos mismos aseguran que utilizar esta herramienta permite mejorar la toma de decisiones, simplificando los procesos de comunicación con entidades coordinadoras como tráfico, quien solo debe cargar la información respectiva en la herramienta. El resto del proceso será ejecutando por el mismo sistema, sin necesidad

de enviar correos y/o llamar a la operación para indicar que hubo algún cambio en las reglas de negocio.

A esto, también se le denomina, desde una perspectiva más estratégica, transformación digital. Este proyecto permite digitalizar y automatizar procesos que, previo a la implementación, eran procesos que se ejecutaban vía e-mail, con envíos de archivos de Excel, lo que generaba problemas de coordinación entre los diferentes actores asociados al problema. Aquí es donde la transformación digital entra para mejorar un proceso que contaba con variados problemas.

Conclusión

Las conclusiones de este trabajo, se abordarán desde dos aristas: la primera, sobre los objetivos propuestos como foco para el desarrollo de una solución integral y la segunda, en base a las externalidades que genera esta solución.

1. Sobre el **objetivo general**, se puede decir que la implementación de esta solución logra disminuir los tiempos de espera en 0.195 horas por cada tráiler despachado, con una disminución promedio del 20 % sobre este indicador. Respecto a las rotaciones de los tráileres no se pueden obtener conclusiones concretas, debido a los cambios que existieron tanto con la incorporación de un nuevo centro de distribución (Peñon) como el cierre de algunas tiendas que existió debido a las contingencias que se vivieron en Chile entre Octubre y Noviembre de 2019.
2. En relación **al modelo formulado**, este demostró su efectividad, mejorando, mediante simulaciones, la situación actual. Además este demuestra que existen oportunidades de mejora considerables.

Por otro lado, las estimaciones de tiempos de servicio y tiempos de viaje, presentaron un alto porcentaje de error respecto a la realidad, con un MAPE del 65 % para los tiempos de servicio y 30 % para los tiempos de viaje. Se concluye que estas estimaciones presentan una oportunidad de mejora, lo que se puede concretar al nutrir el modelo con parámetros más eficaces y por ende, esto permite que el modelo entregue soluciones más próximas a la realidad.

3. Sobre la **herramienta de gestión de despachos**, esta se presenta como una solución robusta e integral que está diseñada para las necesidades de la empresa. Oficialmente esta herramienta fue declarada por Retail Store Chile como el Software que decide y permite optimizar los despachos y abastecimientos de las tiendas en la Región Metropolitana.
4. Respecto a las **Reglas de negocio** se puede concluir lo siguiente: por un lado, mediante el uso de esta herramienta, las reglas como Fixed Planning, Banderas Blancas y ventanas horarias permiten mejorar el cumplimiento de estas respecto a la situación actual (sin herramienta). Esto quiere decir, valga la redundancia, que los tráileres que deben ser despachados, son despachados y, aquellos que no deben, no lo serán.

A modo de cierre; la implementación de esta solución fue capaz de cumplir gran parte de los objetivos. Mediante el uso de herramientas tecnológicas y modelos matemáticos, se logró mejorar la calidad de las decisiones que se toman día a día. Sin embargo, las oportunidades de mejora siguen siendo un espacio de trabajo para la implementación de nuevos proyectos.

La solución dada aborda una primera versión asociada a un proceso de cambio al interior de la operación. Considerando que se debió crear la herramienta como un Software SaaS, implementarla y lidiar con las variables asociadas a la gestión del cambio, el tiempo asociado a desarrollar cada componente fue limitado, lo que indica que existen oportunidades de mejora sobre todo en las diferentes aristas desarrolladas.

La primera de ellas se basa en la formulación y diseño del modelo. Como se utilizó un modelo determinista y se sabiendo que existe variabilidad asociada a los tiempos de servicio y tiempos de viaje, entonces, este punto debe ser abordado como una posible mejora para nuevas iteraciones de la solución.

Como propuesta para trabajos futuros se plantea la siguiente idea: Para los tiempos de viajes y servicios se debe ajustar determinadas distribuciones asociadas a los tiempos. Con estas distribuciones formar el sistema mediante modelación estocástica, ya sea utilizando teoría de colas o mediante el uso de simulaciones. Con esto se pueden generar diferentes escenarios que permiten elegir el más probable, y por ende, obtener una solución más exacta.

Respecto a las reglas de negocio, se debe realizar una revisión aguda respecto a la formulación de las planificaciones de recepción de la tienda. Si bien, esto se orienta a un plano más táctico, la planificación semanal de las tiendas (Fixed planning) está pensado en distribuir de manera correcta el envío de mercadería durante la semana. Al final, existe un punto clave que se revela en torno a este aspecto; ¿Por qué existen tráileres cargados cuando no pueden salir por reglas de negocio y/u otro factor que pudo ser previsto? Es decir, existen errores en las planificaciones que deben ser revisados, lo que se genera a través de un plano táctico, asociado a las áreas de planificación de cada centro de distribución.

Bibliografía

- [Balakrishnan and Chandran, 2007] Balakrishnan, H. and Chandran, B. (2007). Efficient and equitable departure scheduling in real-time: New approaches to old problems. pages 243–252.
- [Dantzig, 1998] Dantzig, G. B. (1998). *Linear Programming and extensions*, volume 3. Princeton University Press.
- [Nielsen, 2011] Nielsen, M. A. (2011). Parameter estimation for the two-parameter weibull distribution. *Department of Statistics, BYU*.
- [Tercera, 2019] Tercera, L. (2019). Veinticuatro horas que cambiaron chile.
- [Wirth, 2014] Wirth, R. (2014). Crisp-dm: Towards a standard process model for data mining. *DaimlerChrysler Research & Technology FT3/KL*.

Apéndice A

Viajes, colisiones y tiempo en cola

	6009			
	Cantidad Viajes	Cantidad Colisiones	Tiempo en cola (H)	% Colisiones
Media	96.6	21.7	25.7	22 %
Desviación	32.0	10.2	16.5	8 %
Minímo	5.0	1.0	0.3	3 %
25 %	90.0	16.3	16.0	17 %
50 %	107.0	23.0	23.2	22 %
75 %	117.0	28.8	33.9	26 %
max	141.0	47.0	87.7	80 %
	6011			
Media	99.2	36.4	43.3	36 %
Desviación	32.9	15.8	26.3	11 %
Minímo	1.0	1.0	0.5	3 %
25 %	95.0	28.5	29.9	29 %
50 %	110.0	39.0	40.4	36 %
75 %	121.0	47.0	55.7	43 %
max	149.0	67.0	142.3	100 %
	6012			
Media	28.3	11.7	14.7	42 %
Desviación	10.6	5.6	10.6	16 %
Minímo	2.0	1.0	0.0	7 %
25 %	23.3	9.0	8.6	34 %
50 %	29.0	12.5	13.0	42 %
75 %	35.0	15.0	17.9	50 %
max	57.0	24.0	79.6	100 %

Tabla A.1: Cálculos promedios diarios de cantidad de viajes, colisiones y tiempo en cola para cada viajes

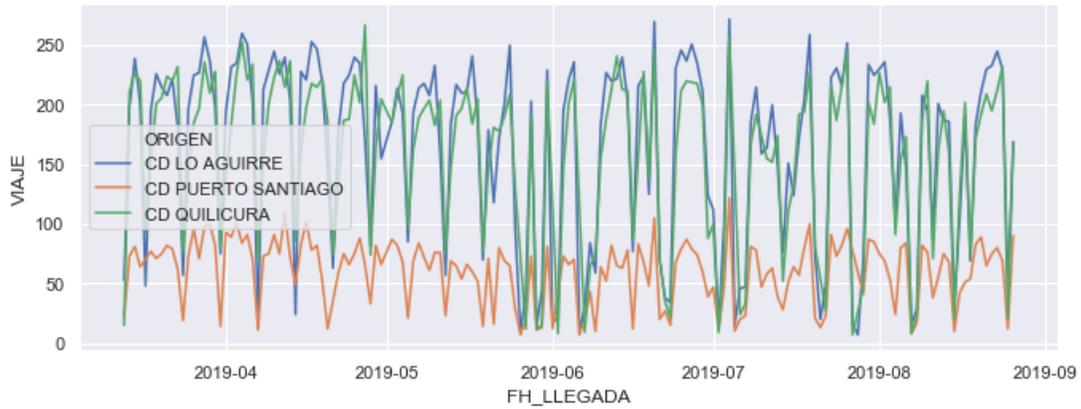


Figura A.1: Cantidad de viajes periodo 03/2019-08/2019

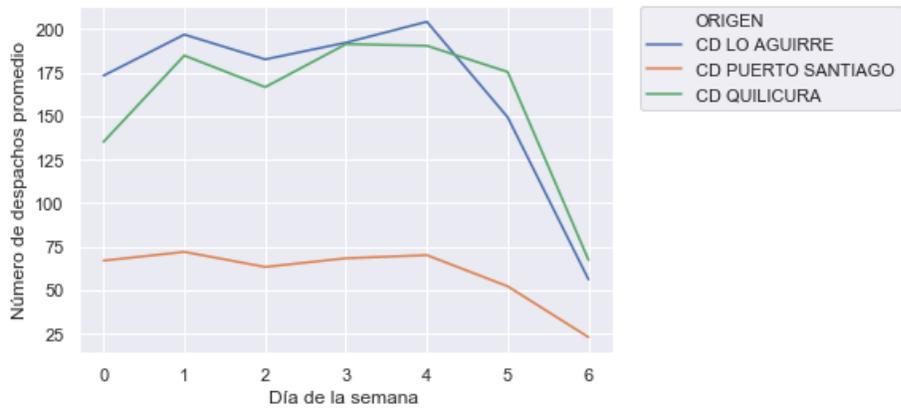


Figura A.2: Cantidad de viajes por día de la semana periodo 03/2019-08/2019

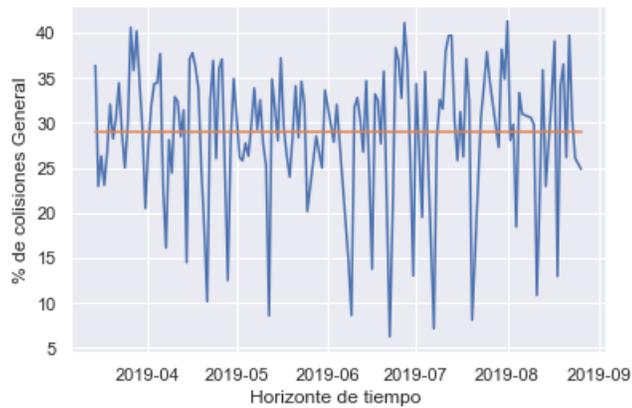
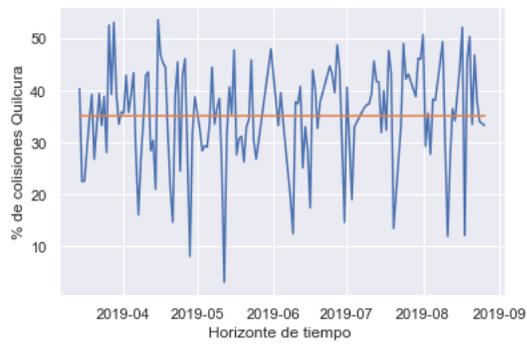
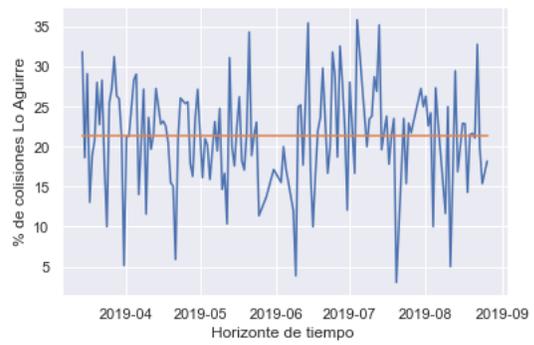


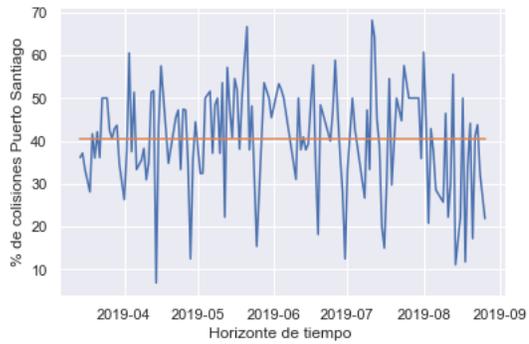
Figura A.3: Cantidad de viajes por día de la semana periodo 03/2019-08/2019



(a)



(b)



(c)

Figura A.4: Colisiones desglosadas por centro de distribución

Apéndice B

Tiempo Servicio

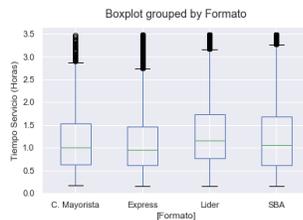


Figura B.1: BoxPlot Formato para Tiempo Servicio

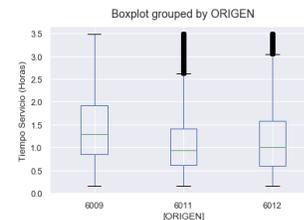


Figura B.2: BoxPlot Origen para Tiempo Servicio

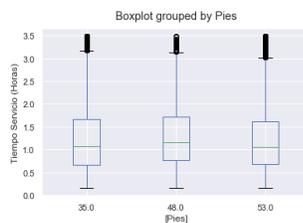


Figura B.3: BoxPlot Pies para Tiempo Servicio

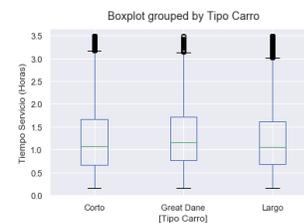


Figura B.4: BoxPlot Tipo Carro para Tiempo Servicio

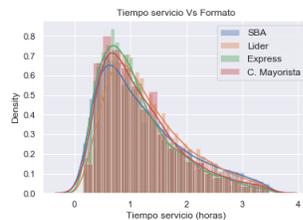


Figura B.5: BoxPlot Formato para Tiempo Servicio

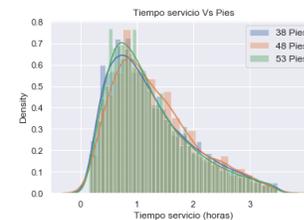


Figura B.6: BoxPlot Origen para Tiempo Servicio

Apéndice C

Simulaciones

Patente	Tienda	Hora salida CD	Hora Llegada tienda	Hora Atención Tienda	Tiempo Espera
GJHH60	626	6.0	8.0	8.0	0
GRDL90	149	6.0	7.2	7.2	0
GRDL90	198	6.0	8.6	8.6	0
GRDL94	71	6.0	6.6	6.6	0
GRDL96	72	6.0	6.3	6.3	0
GRDT62	2	6.4	6.9	6.9	0
GRDT62	541	6.4	8.6	8.6	0
GRDT64	73	6.0	7.2	7.2	0
GRJH16	161	6.0	7.0	7.0	0
GRJH21	87	6.0	6.4	6.4	0
GRJH21	693	6.0	7.2	7.2	0
GRJH52	533	6.0	6.0	6.0	0
GRJW32	963	6.0	6.3	6.3	0
GRJW32	748	6.0	7.6	7.6	0
GRJY36	533	6.3	6.7	6.7	0
GRJY44	83	6.0	6.8	6.8	0
GRJY44	76	6.0	7.8	7.8	0
GYPZ91	963	6.8	7.2	7.2	0
GYPZ91	504	6.8	7.7	7.7	0
GYPZ91	186	6.8	9.1	9.1	0
HLRT13	503	6.0	6.6	6.6	0
HLRT13	7	6.0	7.6	7.6	0
HLRT13	656	6.0	9.6	9.6	0
HXDK15	32	6.0	6.4	6.4	0
HXDK15	776	6.0	7.9	7.9	0
HXDK15	610	6.0	9.2	9.2	0
HXDK16	85	6.0	6.7	6.7	0
HXDK36	32	7.1	7.6	7.6	0

Patente	Tienda	Hora salida CD	Hora Llegada tienda	Hora Atención Tienda	Tiempo Espera
HXHY12	525	6.0	6.0	6.0	0
JB4433	512	6.0	6.8	6.8	0
JB4491	75	6.0	6.3	6.3	0
JC9764	52	6.0	6.6	6.6	0
JC9769	611	6.0	8.3	8.3	0
JC9769	613	6.0	9.6	9.6	0
JC9771	179	6.0	6.5	6.5	0
JC9774	483	6.0	6.5	6.5	0
JC9774	503	6.0	7.6	7.6	0
JD9527	191	6.0	7.2	7.2	0
JD9574	32	8.0	8.7	10.0	1.3333333
JF1801	624	6.0	7.0	7.0	0
JF1801	52	6.0	8.5	8.5	0
JF1802	80	6.0	6.4	6.4	0
JF1809	196	6.0	6.8	6.8	0
JF1811	8	6.0	6.6	6.6	0
JF1814	87	6.6	7.1	7.1	0
JF9131	776	6.0	6.5	6.5	0
JF9131	871	6.0	8.1	8.1	0
JF9135	49	6.0	6.6	6.6	0
JJ6477	80	7.1	7.6	7.6	0
JJ7562	170	6.0	6.6	6.6	0
JJLD59	699	7.7	8.3	8.3	0
JJLD59	52	7.7	9.5	9.5	0
JL7752	182	6.0	6.7	6.7	0
JL7769	55	6.0	6.9	6.9	0
JL7769	73	6.0	8.3	8.3	0
JL8293	97	6.0	6.9	6.9	0
JL8293	15	6.0	8.0	8.0	0
JL8295	179	7.0	7.7	7.7	0
JL8295	80	7.0	9.0	9.0	0
JL8299	626	6.8	8.7	8.7	0
JL8561	139	6.0	6.6	6.6	0
JL8561	674	6.0	8.7	8.7	0
JL8571	193	6.0	6.9	6.9	0
JL8577	37	6.0	6.3	6.3	0
JL8577	75	6.0	9.0	9.0	0
JL8577	46	6.0	9.8	9.8	0
JL8577	45	6.0	10.9	10.9	0
JL8582	182	7.3	8.3	8.3	0
JL8582	161	7.3	9.7	9.7	0
JL8582	643	7.3	11.5	11.5	0

Patente	Tienda	Hora salida CD	Hora Llegada tienda	Hora Atención Tienda	Tiempo Espera
JL9834	3	6.0	6.8	6.8	0
JL9839	88	6.0	6.8	6.8	0
JL9839	16	6.0	7.8	7.8	0
JL9839	41	6.0	8.8	8.8	0
JL9843	571	6.0	6.7	6.7	0
JL9843	510	6.0	8.4	8.4	0
JL9843	538	6.0	10.5	10.5	0
JN1679	139	7.2	7.8	7.8	0
JN1683	167	6.0	6.7	6.7	0
JN1683	196	6.0	9.3	9.3	0
JN1684	191	7.5	9.5	9.5	0
JN1687	512	7.2	8.0	8.0	0
JN1687	171	7.2	10.5	10.5	0
JN4876	55	7.0	7.7	7.7	0
JN4876	682	7.0	9.2	9.2	0
JN4880	46	6.0	7.0	7.0	0
JN6592	55	7.1	8.9	8.9	0
JN6595	86	6.0	6.5	6.5	0
JN6601	77	6.0	6.8	6.8	0
JN6601	540	6.0	9.0	9.0	0
JN6622	83	6.7	7.4	7.4	0
JN7446	699	6.0	6.5	6.5	0
JN7451	674	6.0	6.9	6.9	0
JN7451	167	6.0	8.1	8.1	0
JN7454	728	6.0	7.4	7.4	0
JN7458	182	8.0	8.7	8.7	0
JP2014	656	6.0	6.9	6.9	0
JP2014	483	6.0	7.6	7.6	0
JP2016	56	6.0	6.7	6.7	0
JP2016	3	6.0	8.0	8.0	0
JP2420	535	6.0	7.0	7.0	0
JP2427	139	8.0	8.8	9.9	1.0666667
JP2434	184	6.0	6.6	6.6	0
JP2491	45	6.0	6.1	6.1	0
JP2491	85	6.0	8.7	8.7	0
JP2496	97	7.1	7.9	7.9	0
JP2506	88	6.7	7.5	7.5	0
JP2506	15	6.7	10.1	10.1	0
JP2506	16	6.7	11.1	11.1	0
JP2665	541	6.0	6.4	6.4	0
JP2665	539	6.0	7.7	7.7	0
JP2667	85	7.3	7.8	7.8	0

Patente	Tienda	Hora salida CD	Hora Llegada tienda	Hora Atención Tienda	Tiempo Espera
KFWT39	674	6.9	7.5	7.5	0
KFWT39	170	6.9	8.7	8.7	0
KFWT39	541	6.9	10.2	10.2	0
KFWT39	507	6.9	10.8	10.8	0
KGBS93	2	6.0	6.5	6.5	0
LCGX62	699	8.0	8.6	9.3	0.7
TU6491	60	6.0	6.7	6.7	0
TU6491	8	6.0	7.3	7.3	0
TU6491	64	6.0	9.3	9.3	0
WJ5875	179	8.0	8.3	8.3	0
WJ5875	533	8.0	9.2	9.2	0
WJ5875	535	8.0	10.6	10.6	0
YT7433	656	6.8	7.6	7.6	0
YT7433	490	6.8	8.1	8.1	0
YT7433	167	6.8	10.2	10.2	0
YT7433	539	6.8	10.5	10.5	0
YT7433	748	6.8	10.9	10.9	0

Tabla C.1: Simulación forzada sin ventana horaria 16/04/2019

Patente	Tienda	Hora salida CD	Hora Llegada Tienda	Hora Atención Tienda	Ruta	Tiempo en Cola
KGBS93	2	6.0000	6.53	6.53	[6011, 2]	0
GRDT62	2	6.3833	6.92	6.92	[6011, 2, 541]	0
JL9834	3	6.0000	6.78	6.78	[6011, 3]	0
JP2016	3	6.0000	8.00	8.00	[6011, 56, 3]	0
HLRT13	7	6.0000	7.55	7.55	[6012, 503, 7, 656]	0
JF1811	8	6.0000	6.60	6.60	[6009, 8]	0
TU6491	8	6.0000	7.30	7.30	[6012, 60, 8, 64]	0
JL8293	15	6.0000	8.02	8.02	[6011, 97, 15]	0
JP2506	15	6.6667	10.10	10.10	[6012, 88, 15, 16]	0
JL9839	16	6.0000	7.82	7.82	[6011, 88, 16, 41]	0
JP2506	16	6.6667	11.12	11.12	[6012, 88, 15, 16]	0
HXDK15	32	6.0000	6.42	6.42	[6011, 32, 776, 610]	0
HXDK36	32	7.0500	7.55	7.55	[6012, 32]	0
JD9574	32	8.0000	8.67	10.00	[6009, 32]	1.33333333
JL8577	37	6.0000	6.33	6.33	[6011, 37, 75, 46, 45]	0
JL9839	41	6.0000	8.82	8.82	[6011, 88, 16, 41]	0
JP2491	45	6.0000	6.12	6.12	[6012, 45, 85]	0
JL8577	45	6.0000	10.87	10.87	[6011, 37, 75, 46, 45]	0
JN4880	46	6.0000	7.02	7.02	[6012, 46]	0
JL8577	46	6.0000	9.82	9.82	[6011, 37, 75, 46, 45]	0

JF9135	49	6.0000	6.57	6.57	[6009, 49]	0
JC9764	52	6.0000	6.62	6.62	[6011, 52]	0
JF1801	52	6.0000	8.50	8.50	[6009, 624, 52]	0
JJLD59	52	7.6833	9.53	9.53	[6011, 699, 52]	0
JL7769	55	6.0000	6.88	6.88	[6011, 55, 73]	0
JN4876	55	6.9500	7.65	7.65	[6012, 55, 682]	0
JN6592	55	7.0667	8.88	8.88	[6009, 55]	0
JP2016	56	6.0000	6.72	6.72	[6011, 56, 3]	0
TU6491	60	6.0000	6.73	6.73	[6012, 60, 8, 64]	0
TU6491	64	6.0000	9.32	9.32	[6012, 60, 8, 64]	0
GRDL94	71	6.0000	6.57	6.57	[6009, 71]	0
GRDL96	72	6.0000	6.27	6.27	[6011, 72]	0
GRDT64	73	6.0000	7.23	7.23	[6012, 73]	0
JL7769	73	6.0000	8.32	8.32	[6011, 55, 73]	0
JB4491	75	6.0000	6.33	6.33	[6009, 75]	0
JL8577	75	6.0000	9.00	9.00	[6011, 37, 75, 46, 45]	0
GRJY44	76	6.0000	7.83	7.83	[6012, 83, 76]	0
JN6601	77	6.0000	6.77	6.77	[6009, 77, 540]	0
JF1802	80	6.0000	6.38	6.38	[6012, 80]	0
JJ6477	80	7.1000	7.58	7.58	[6009, 80]	0
JL8295	80	6.9833	9.00	9.00	[6011, 179, 80]	0
GRJY44	83	6.0000	6.75	6.75	[6012, 83, 76]	0
JN6622	83	6.6500	7.38	7.38	[6009, 83]	0
HXDK16	85	6.0000	6.70	6.70	[6011, 85]	0
JP2667	85	7.3000	7.75	7.75	[6009, 85]	0
JP2491	85	6.0000	8.73	8.73	[6012, 45, 85]	0
JN6595	86	6.0000	6.47	6.47	[6009, 86]	0
GRJH21	87	6.0000	6.40	6.40	[6012, 87, 693]	0
JF1814	87	6.6167	7.10	7.10	[6009, 87]	0
JL9839	88	6.0000	6.77	6.77	[6011, 88, 16, 41]	0
JP2506	88	6.6667	7.48	7.48	[6012, 88, 15, 16]	0
JL8293	97	6.0000	6.85	6.85	[6011, 97, 15]	0
JP2496	97	7.0667	7.85	7.85	[6009, 97]	0
JL8561	139	6.0000	6.60	6.60	[6011, 139, 674]	0
JN1679	139	7.2000	7.80	7.80	[6011, 139]	0
JP2427	139	8.0000	8.78	9.85	[6009, 139]	1.0666667
GRDL90	149	6.0000	7.17	7.17	[6009, 149, 198]	0
GRJH16	161	6.0000	6.97	6.97	[6012, 161]	0
JL8582	161	7.3000	9.67	9.67	[6011, 182, 161, 643]	0
JN1683	167	6.0000	6.65	6.65	[6011, 167, 196]	0
JN7451	167	6.0000	8.05	8.05	[6009, 674, 167]	0
YT7433	167	6.7667	10.20	10.20	[6011, 656, 490, 167, 539, 748]	0
JJ7562	170	6.0000	6.62	6.62	[6009, 170]	0

KFWT39	170	6.9167	8.70	8.70	[6011, 674, 170, 541, 507]	0
JN1687	171	7.1500	10.45	10.45	[6011, 512, 171]	0
JC9771	179	6.0000	6.50	6.50	[6009, 179]	0
JL8295	179	6.9833	7.70	7.70	[6011, 179, 80]	0
WJ5875	179	8.0000	8.27	8.27	[6012, 179, 533, 535]	0
JL7752	182	6.0000	6.72	6.72	[6012, 182]	0
JL8582	182	7.3000	8.32	8.32	[6011, 182, 161, 643]	0
JN7458	182	7.9667	8.72	8.72	[6009, 182]	0
JP2434	184	6.0000	6.55	6.55	[6009, 184]	0
GYPZ91	186	6.8333	9.10	9.10	[6011, 963, 504, 186]	0
JD9527	191	6.0000	7.18	7.18	[6009, 191]	0
JN1684	191	7.5167	9.50	9.50	[6011, 191]	0
JL8571	193	6.0000	6.90	6.90	[6009, 193]	0
JF1809	196	6.0000	6.80	6.80	[6009, 196]	0
JN1683	196	6.0000	9.30	9.30	[6011, 167, 196]	0
GRDL90	198	6.0000	8.55	8.55	[6009, 149, 198]	0
JC9774	483	6.0000	6.52	6.52	[6009, 483, 503]	0
JP2014	483	6.0000	7.63	7.63	[6011, 656, 483]	0
YT7433	490	6.7667	8.12	8.12	[6011, 656, 490, 167, 539, 748]	0
HLRT13	503	6.0000	6.62	6.62	[6012, 503, 7, 656]	0
JC9774	503	6.0000	7.57	7.57	[6009, 483, 503]	0
GYPZ91	504	6.8333	7.73	7.73	[6011, 963, 504, 186]	0
KFWT39	507	6.9167	10.78	10.78	[6011, 674, 170, 541, 507]	0
JL9843	510	6.0000	8.40	8.40	[6011, 571, 510, 538]	0
JB4433	512	6.0000	6.82	6.82	[6009, 512]	0
JN1687	512	7.1500	8.02	8.02	[6011, 512, 171]	0
HXHY12	525	6.0000	6.00	6.00	[6011, 525]	0
GRJH52	533	6.0000	6.00	6.00	[6011, 533]	0
GRJY36	533	6.2500	6.72	6.72	[6009, 533]	0
WJ5875	533	8.0000	9.20	9.20	[6012, 179, 533, 535]	0
JP2420	535	6.0000	6.98	6.98	[6009, 535]	0
WJ5875	535	8.0000	10.55	10.55	[6012, 179, 533, 535]	0
JL9843	538	6.0000	10.50	10.50	[6011, 571, 510, 538]	0
JP2665	539	6.0000	7.70	7.70	[6009, 541, 539]	0

YT7433	539	6.7667	10.45	10.45	[6011, 656, 490, 167, 539, 748]	0
JN6601	540	6.0000	9.02	9.02	[6009, 77, 540]	0
JP2665	541	6.0000	6.40	6.40	[6009, 541, 539]	0
GRDT62	541	6.3833	8.58	8.58	[6011, 2, 541]	0
KFWT39	541	6.9167	10.17	10.17	[6011, 674, 170, 541, 507]	0
JL9843	571	6.0000	6.70	6.70	[6011, 571, 510, 538]	0
HXDK15	610	6.0000	9.17	9.17	[6011, 32, 776, 610]	0
JC9769	611	6.0000	8.28	8.28	[6011, 611, 613]	0
JC9769	613	6.0000	9.57	9.57	[6011, 611, 613]	0
JF1801	624	6.0000	6.98	6.98	[6009, 624, 52]	0
GJHH60	626	6.0000	7.95	7.95	[6011, 626]	0
JL8299	626	6.7833	8.73	8.73	[6011, 626]	0
JL8582	643	7.3000	11.50	11.50	[6011, 182, 161, 643]	0
JP2014	656	6.0000	6.87	6.87	[6011, 656, 483]	0
YT7433	656	6.7667	7.63	7.63	[6011, 656, 490, 167, 539, 748]	0
HLRT13	656	6.0000	9.58	9.58	[6012, 503, 7, 656]	0
JN7451	674	6.0000	6.93	6.93	[6009, 674, 167]	0
KFWT39	674	6.9167	7.53	7.53	[6011, 674, 170, 541, 507]	0
JL8561	674	6.0000	8.72	8.72	[6011, 139, 674]	0
JN4876	682	6.9500	9.17	9.17	[6012, 55, 682]	0
GRJH21	693	6.0000	7.23	7.23	[6012, 87, 693]	0
JN7446	699	6.0000	6.48	6.48	[6009, 699]	0
JJLD59	699	7.6833	8.28	8.28	[6011, 699, 52]	0
LCGX62	699	8.0000	8.60	9.30	[6011, 699]	0.7
JN7454	728	6.0000	7.40	7.40	[6009, 728]	0
GRJW32	748	6.0000	7.58	7.58	[6011, 963, 748]	0
YT7433	748	6.7667	10.87	10.87	[6011, 656, 490, 167, 539, 748]	0
JF9131	776	6.0000	6.50	6.50	[6009, 776, 871]	0
HXDK15	776	6.0000	7.90	7.90	[6011, 32, 776, 610]	0
JF9131	871	6.0000	8.12	8.12	[6009, 776, 871]	0
GRJW32	963	6.0000	6.33	6.33	[6011, 963, 748]	0
GYPZ91	963	6.8333	7.17	7.17	[6011, 963, 504, 186]	0

Tabla C.2: Resultados Simulación forzada fecha 16/05/2019 ordenada por orden de llegada a tienda

Apéndice D

Vistas Interfaz

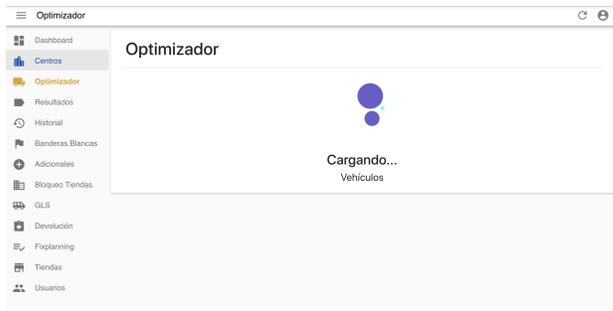


Figura D.1: Vista de carga optimizador.

The screenshot shows the 'FIXPLANNING' interface. It features a table with columns: CD, TIENDA, TIPO MERCADERIA, LUNES, MARTES, MIERCOLES, JUEVES, VIERNES, SABADO, DOMINGO, and an 'EDITAR' button. The table contains 13 rows of data for store 6012.

CD	TIENDA	TIPO MERCADERIA	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO	
6012	1	SECO	1	1	1	1	1	1	1	EDITAR
6012	2	SECO	1	1	1	1	1	1	1	EDITAR
6012	3	SECO	1	1	1	1	1	1	1	EDITAR
6012	4	SECO	1	1	1	1	1	1	1	EDITAR
6012	7	SECO	1	1	1	1	1	1	1	EDITAR
6012	8	SECO	1	1	1	1	1	1	1	EDITAR
6012	11	SECO	1	1	1	1	1	1	1	EDITAR
6012	12	SECO	1	1	1	1	1	1	1	EDITAR
6012	13	SECO	1	1	1	1	1	1	1	EDITAR

Figura D.2: Vista Fixed planning.

The screenshot shows the 'BANDERAS BLANCAS' interface. It features a table with columns: CD, TIENDA, TIPO MERCADERIA, and an 'ELIMINAR' button. The table contains 8 rows of data for store 6009.

CD	TIENDA	TIPO MERCADERIA	
6009	685	Ambient	ELIMINAR
6009	11	Ambient	ELIMINAR
6009	34	Ambient	ELIMINAR
6009	37	Ambient	ELIMINAR
6009	40	Ambient	ELIMINAR
6009	53	Ambient	ELIMINAR
6009	78	Ambient	ELIMINAR
6009	80	Ambient	ELIMINAR

Figura D.3: Vista Bandera blancas.

The screenshot shows the 'TIENDA' interface. It features a table with columns: TIENDA, CD, ZONA, FORMATO, HORA INICIO 1, HORA FINAL 1, HORA INICIO 2, HORA FINAL 2, and 'EDITAR'/'ELIMINAR' buttons. The table contains 6 rows of data for store 6009.

TIENDA	CD	ZONA	FORMATO	HORA INICIO 1	HORA FINAL 1	HORA INICIO 2	HORA FINAL 2		
1	6000	RM	EXPRESS	12:00	19:00			EDITAR	ELIMINAR
1	6012	RM	EXPRESS	12:00	17:00			EDITAR	ELIMINAR
1	6009	RM	EXPRESS	12:00	17:00			EDITAR	ELIMINAR
1	6011	RM	EXPRESS	07:00	14:00			EDITAR	ELIMINAR
2	6011	RM	EXPRESS	05:00	17:00			EDITAR	ELIMINAR
2	6000	RM	EXPRESS	14:00	19:00			EDITAR	ELIMINAR

Figura D.4: Vista Tiendas.

Apéndice E

API REST

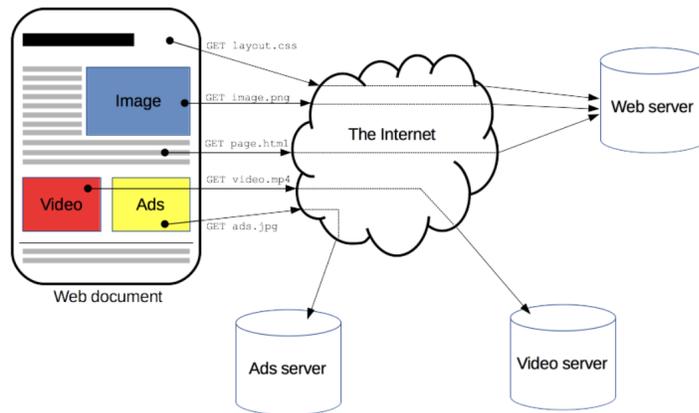


Figura E.1: Esquema protocolos de comunicación HTTP.

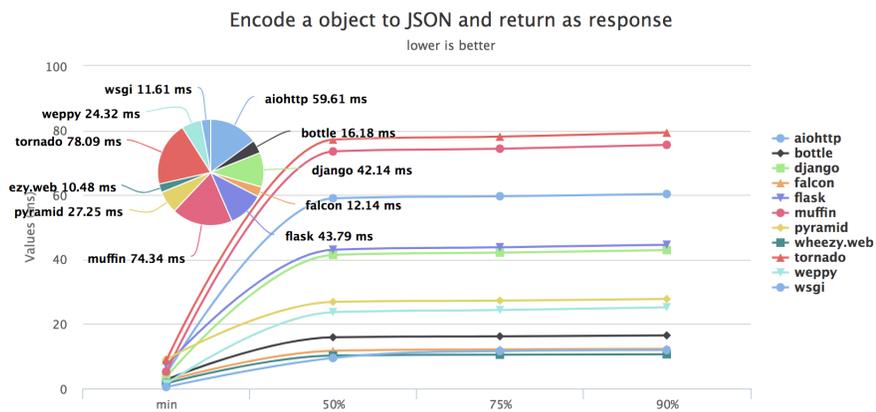


Figura E.2: Benchmark framework en velocidad de respuesta para diseño de API REST.

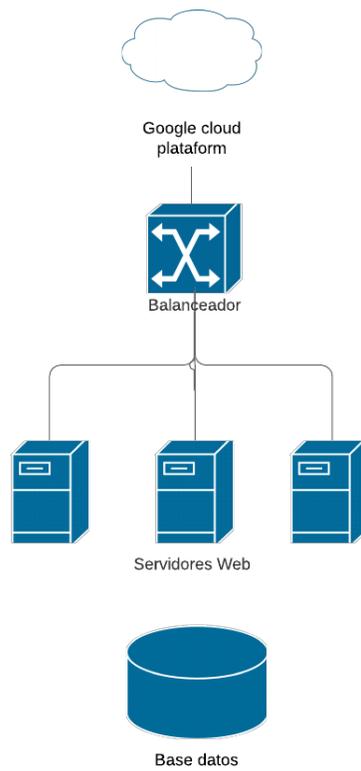


Figura E.3: Diseño arquitectura para deployment de API REST mediante el uso de Google Cloud platform.