



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

**REDISEÑO DE PROCESO DE ASIGNACIÓN DE PEDIDOS
PARA EMPRESA DE ENTREGAS RAYO S.P.A**

PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN
INGENIERÍA DE NEGOCIOS CON TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN

JUAN ANDRÉS CABRERA LILLO

PROFESOR GUÍA:

EZEQUIEL MUÑOZ KRSULOVIC

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:

CRISTIAM GIL GONZÁLEZ
ÁNGEL JIMÉNEZ MOLINA

SANTIAGO DE CHILE
2018

RESUMEN EJECUTIVO

El mercado del eCommerce ha crecido significativamente durante los últimos años en Chile. De acuerdo a la Cámara Nacional de Comercio, el eCommerce en Chile crece alrededor del 20% anual (Tromben, C., Lever, G., y Cruz, M.D.P., 2016) habiendo alcanzado en 2015 un total de ventas por 2.350 millones de dólares. El crecimiento en el eCommerce ha significado además cambios en la industria de la logística y es en esta que el presente trabajo está enmarcado. Rayo S.P.A es una empresa de gestión logística que busca diferenciarse en una operación apoyada de manera importante por tecnología que comenzó su proceso de prospección comercial en febrero de 2016, centrándose principalmente en el reparto de comida directamente desde los restaurantes asociados a su plataforma.

En diciembre de 2016, Rayo decide expandir sus operaciones al transporte de otros objetos además de los alimentos, abriéndose con este nuevo enfoque nuevos desafíos para la compañía tanto en términos de estrategia como en términos de eficiencia que conllevan además nuevas definiciones técnicas para hacer frente a los nuevos clientes debido a sus diferencias en las necesidades particulares que implica abarcar nuevas industrias. Rayo S.P.A es parte de una industria que tradicionalmente ha estado dominada por grandes operadores logísticos y que durante los últimos años ha visto el ingreso de nuevos competidores que han buscado la diferenciación en la tecnología propia de esta década. El ingreso de operadores logísticos que basan su oferta de fuerza de reparto en las economías colaborativas es un factor que poco a poco está moldeando la industria y por otro lado, la inminente llegada al mercado nacional de grandes actores del eCommerce internacional ha generado en el retail nacional la necesidad de adaptarse a estos nuevos tiempos. El negocio de la “última milla” es un negocio de volumen y la búsqueda constante por lograr la mejor experiencia al cliente puede afectar la rentabilidad del negocio si la fuerza de reparto no se encuentra optimizada (sobreoferta de repartidores con el fin de llegar rápidamente al cliente final).

El objetivo general de este proyecto es generar disminuciones en el costo variable que aporten a la rentabilidad de la empresa y el objetivo específico de este proyecto es proveer a Rayo S.P.A de una herramienta analítica que garantice la asignación eficiente de repartidores sin descuidar la promesa de calidad, logrando siempre minimizar la cantidad de repartidores dada una ruta óptima y una cantidad de repartos a realizarse en una modalidad de 1 punto de recogida y múltiples puntos de entrega (1 a n), considerando además las restricciones de cada cliente como lo son los tiempos máximos de entrega y las restricciones de volumen a las que está sujeto cada repartidor en su mochila de repartos.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi madre Cristina Lillo Flores, a mi padre Juan Carlos Cabrera, a mi hermana María José Cabrera Lillo y a mis amigos por haberme apoyado incondicionalmente durante todo este proceso y en general a lo largo de mi vida.

Agradezco principalmente a mi esposa Katherine Aybar Radefeldt por su comprensión en las muchas veces que tuve que sacrificar tiempo de familia para cumplir mis responsabilidades con este tan importante proyecto personal.

Agradezco además a todos mis compañeros y amigos a lo largo de mi trayectoria laboral y educativa, los que sin duda han ayudado a forjarme como profesional.

No puedo dejar de agradecer a mi Profesor tutor don Cristiam Gil González por las muchas jornadas que dedicó a mi proyecto y a sus invaluable consejos.

Agradezco de manera muy especial a mi Profesor Guía don Ezequiel Muñoz Krsulovic por sus consejos, su empatía y profesionalismo.

Finalmente agradezco a Luciano Villarroel Parra y a todo el equipo MBE por hacer posible este tan destacado programa.

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN Y CONTEXTO	9
1.1 Antecedentes de la Industria	9
1.2 Descripción General de la Empresa	10
1.2.1 Estructura Organizacional	12
1.3 Problema u Oportunidad Identificada	13
1.4 Objetivos y Resultados Esperados del Proyecto	14
1.4.1 Objetivo General	14
1.4.2 Objetivos Especificos	14
1.4.3 Resultados Esperados.....	14
1.4.4 Alcance	14
1.5 Riesgos Potenciales	15
1.5.1 Riesgo financiero	15
1.5.2 Riesgo de aceptación interna	15
1.5.3 Riesgo de negocio	15
1.5.4 Riesgo de gestión	16
1.5.5 Riesgo operacional	16
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO	17
2.1 Metodología de Ingeniería de Negocios	17
2.2 El problema de enrutamiento de vehículos.....	17
2.3 Naturaleza del problema de enrutamiento de vehículos.....	19
2.4 Heurísticas utilizadas para la resolución problema de enrutamiento.....	21
CAPÍTULO 3: PLANTEAMIENTO ESTRATÉGICO.....	22
3.1 Posicionamiento Estratégico.....	22
3.2 Modelo de Negocios	23
CAPÍTULO 4: ANÁLISIS SITUACIÓN ACTUAL.....	24
4.1 Arquitectura de Procesos.....	24
4.2 Modelamiento Detallado de Procesos	24
4.3 Modelamiento BPMN para la asignación de repartidores.....	25
4.4 Diagnóstico de la Situación Actual.....	25
4.5 Cuantificación del Problema u Oportunidad	26
CAPÍTULO 5: PROPUESTA DE DISEÑO DE PROCESOS	28
5.1 Direcciones de Cambio y Alcance	28
5.1.1 Apoyo computacional	28
5.1.2 Anticipación	28
5.1.3 Políticas de trabajo	28
5.2 Diseño Detallado de Procesos TO BE	29
5.3 Diseño de Lógica de Negocios	29
5.3.1 Tiempos límite para la entrega de la totalidad de los paquetes	29

5.3.2	Capacidad máxima de la mochila de un repartidor	29
5.3.3	Morfología de los paquetes	30
5.3.4	Transformación de direcciones.....	31
5.3.5	Obtención de condiciones de tráfico y tiempo de desplazamiento	31
5.3.6	Generación de ruta óptima	32
5.3.7	Descripción del modelo de optimización:	32
5.3.8	Continuidad de la ruta óptima	34
5.3.9	Separación de segmentos en la ruta óptima y rotación de la ruta.....	34
5.3.10	Castigos por tiempo de entrega y distancias a la bodega.	35
5.3.11	Criterios de selección de segmentos.....	35
5.3.12	Optimización de repartidores (re-asignación).....	35
CAPÍTULO 6: PROPUESTA DE APOYO TECNOLÓGICO		38
6.1	Requerimientos Funcionales	38
6.2	Requerimientos No Funcionales	38
6.3	Arquitectura Tecnológica	38
6.4	Diseño de la Aplicación.....	39
6.4.1	Diagrama de casos de uso	40
CAPÍTULO 7: GESTIÓN DEL CAMBIO		42
7.1	Contexto de la empresa	42
7.2	Análisis de los principios de diseño	42
7.2.1	Estrategia y sentido	42
7.2.2	Conservación.....	42
7.2.3	Estados de Ánimo.....	43
7.2.4	Comunicaciones	43
7.2.5	Caracterización del cambio	43
7.3	Factores críticos del éxito.....	44
CAPÍTULO 8: EVALUACIÓN DEL PROYECTO		45
8.1	Plan Piloto	45
8.1.1	Resultados Obtenidos	45
8.2	Definición de Beneficios Y Costos	47
8.3	Flujo de Caja.....	48
8.3.1	Indicadores De Evaluación Del Proyecto	49
CAPÍTULO 9: CONCLUSIONES		50
9.1	Resultados preliminares de la solución	50
9.2	Resultados para nuevos set de datos.....	51
9.3	Conclusiones finales	52
CAPÍTULO 10: BIBLIOGRAFÍA.....		54
CAPÍTULO 11: ANEXOS		55

Índice de Tablas

Tabla 1: Participación de mercado en empresas de encomienda	9
Tabla 2: Repartidores necesarios y horas ociosas de acuerdo a la datos históricos. ...	26
Tabla 3: Cuantificación de la proyección de horas ociosas	27
Tabla 6: Diferencias relevantes en tiempo entre rutas propuestas	46
Tabla 7: Diferencias relevantes en cantidad de repartidores entre rutas propuestas ...	46
Tabla 8: Comparación entre tiempos necesarios en rutas candidatas	46
Tabla 9: Re asignación de repartidores con capacidad ociosa	47
Tabla 10: Cálculo de modelo CAPM.....	48
Tabla 11: Flujo de caja resumido del proyecto	48
Tabla 13: Tabla resumen de resultados obtenidos para los nuevos sets de datos	52

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. Captura de pantalla del mapa de ubicaciones de recogida	11
Ilustración 2. Captura de pantalla de la plataforma de seguimiento de los pedidos	12
Ilustración 3. Estructura Organizacional de Rayo SpA.....	13
Ilustración 4. Esquema de los componentes relevantes para el proceso de rediseño.	17
Ilustración 5. Incremento de las combinaciones de rutas.....	20
Ilustración 6. Modelo Delta de Hax.....	22
Ilustración 7. Modelo Canvas Rayo SpA	23
Ilustración 8. Modelamiento IDEF0	24
Ilustración 9. Modelamiento Subnivel IDEF0.....	25
Ilustración 10. Modelamiento BPMN para la asignación de repartidores.....	25
Ilustración 11. Modelamiento BPMN propuesto	29
Ilustración 12. Morfología de los paquetes para reparto (4 paquetes).....	30
Ilustración 13. Morfología de los paquetes para reparto (7 paquetes).....	30
Ilustración 14. Ejemplo de carga en formato JSON al script	33
Ilustración 15. Rutas candidatas a convertirse en la solución óptima	34
Ilustración 16. 3 opciones de ruta dependiendo del punto de partida	35
Ilustración 17. Representación gráfica del criterio de selección.....	37
Ilustración 18. Arquitectura propuesta para el desarrollo de software	39
Ilustración 19. Diagrama de casos de uso	40
Ilustración 20. Output de combinaciones entregadas por el script.....	41
Ilustración 21. Render del aplicativo para generación de rutas óptimas	41
Ilustración 22. Carga de repartos de entrega	45
Ilustración 23. Orden de entregas que se debe seguir para cumplir la ruta óptima	51

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN Y CONTEXTO

1.1 Antecedentes de la Industria

Rayo opera en la Industria del Delivery en Chile, principalmente en el de la entrega dentro del mismo día de productos perecibles y no perecibles. Este mercado está dominado por grandes couriers tradicionales que abarcan aproximadamente el 90% del mercado. El 10% restante está distribuido en microempresas, pequeñas y medianas empresas y es justamente esa la categoría en la que se encuentra Rayo S.P.A. La tabla 1 confirma la alta concentración del mercado en la Región Metropolitana.

Tabla 1: Participación de mercado en empresas de encomienda

Empresa	Participación	Volumen de Venta Anual
DHL	38%	65.138 MM\$
Chilexpress	48%	82.280 MM\$
Correos de Chile	5%	8.570 MM\$
Otros	9%	15.427 MM\$
TOTALES	100%	171.417 MM\$

Nota: Francisco Macaya Álvarez (2012). ¿Existe una Oportunidad de negocio en el despacho a domicilio tipo Courier? (Tesis de pregrado). Universidad de Chile, Santiago, Chile.

Durante los últimos 3 años una nueva camada de emprendimientos ha entrado al mercado con una oferta diferenciada basada en las economías colaborativas y la tecnología. Estas empresas muchas veces referidas como los “Uber de los repartos” realizan intermediación tecnológica conectando repartidores independientes informales con comercios que necesitan repartos para sus ventas. Adicionalmente, ofrecen servicios de reparto para personas que necesitan hacer envíos. En general, estas nuevas empresas ofrecen servicios de integración a los eCommerces de sus clientes así como tracking en tiempo real para los clientes finales apoyados con aplicaciones para teléfonos móviles (ilustración 2), notificaciones push, email y SMS en operaciones que por lo general apuntan a entregas durante el mismo día o sólo unas cuantas horas.

Entre estas empresas podemos encontrar a:

- Todova
- Glovo / Cabify
- Shipify
- Rappi
- Boosmap
- Pedidos Ya

Rayo S.p.A se encuentra en un punto intermedio entre los nuevos emprendimientos tecnologizados de economía colaborativa y los couriers tradicionales ya que considera una capa de personal de despacho encargado de dar soporte a los repartidores y a los clientes y que además cuenta con personal de repartos propio.

1.2 Descripción General de la Empresa

Rayo SpA es una empresa creada en marzo de 2016 cuya actividad es realizar entregas de productos de empresas a clientes finales integrándose a los procesos internos a través de los siguientes servicios complementarios a la actividad principal.

- Integración de una plataforma tecnológica que le permite a la empresa llevar el tracking y status de sus repartos en tiempo real. Los marcadores en la ilustración 1 representan puntos de recogida durante un día para uno de los clientes de Rayo S.p.A.
- Customización e integración acorde a cada empresa y a la manera de recibir pedidos; Integraciones con Call Center, App móvil, plataforma web, entre otros. Una captura de pantalla del aplicativo para la solicitud de servicios de reparto se puede ver en el anexo A.

Rayo S.P.A posee repartidores contratados para conformar su flota, y actúa como un broker o intermediario entre la empresa (cliente) y empresas contratistas de repartidores sólo en casos en que la demanda presente variaciones esporádicas que deben ser compensadas rápidamente.

Rayo S.P.A posee dos líneas de negocio:

- Entregas 1 a N : Llevar uno o varios productos desde un lugar hacia varios lugares de destino.
- Entregas 1 a 1 : Llevar uno o varios productos desde un lugar hasta otro.

Dentro de la propuesta de valor agregado al cliente se encuentra una clara diferenciación respecto a la competencia tradicional (grandes couriers como Chilexpress y Correos de Chile) ya que Rayo presenta un importante enfoque en la adopción de tecnologías que enriquezcan la experiencia de sus clientes (empresas) y la de los clientes finales (los receptores de los productos).

En todas las operaciones Rayo ofrece optimización de rutas, geolocalización en tiempo real (tracking) y además monitoreo de los estados del pedido (tracing) así como un equipo de monitoreo y control que está disponible 24 horas al día para solucionar contingencias que puedan presentarse. Cada repartidor cuenta con una aplicación móvil presentada en la ilustración 1 que genera información correspondiente a la operación

de reparto y además constituye un canal de contacto con el cliente y/o el receptor final sumado al soporte tecnológico propio de Rayo S.p.A basado en automatización de SMS, email, chatbots, webhooks y plataformas web. Dicha información es compartida además con las plataformas integradas a los procesos de venta y reparto de las empresas que usan el servicio de Rayo. Entre los clientes más importantes de Rayo se encuentran:

- Pedidos Ya para quienes Rayo realiza los repartos desde los restaurantes asociados a la plataforma (1 a 1)
- Sodexo para quienes Rayo realiza la entrega de correspondencia entre empresas asociadas a los servicios de externalización de personal. (1 a 1)
- Claro Chile para quienes Rayo realiza la entrega de equipos móviles y chips de telefonía (1 a n)
- Linio Chile para quienes Rayo realiza la entrega de productos desde sus bodegas (1 a n)
- Farmacias Cruz Verde para quienes Rayo realiza la entrega de medicamentos a domicilio (1 a 1)

Rayo opera actualmente en la Segunda, Cuarta, Quinta, Sexta, Séptima, Octava, Novena y Décima Región además de la Región Metropolitana.

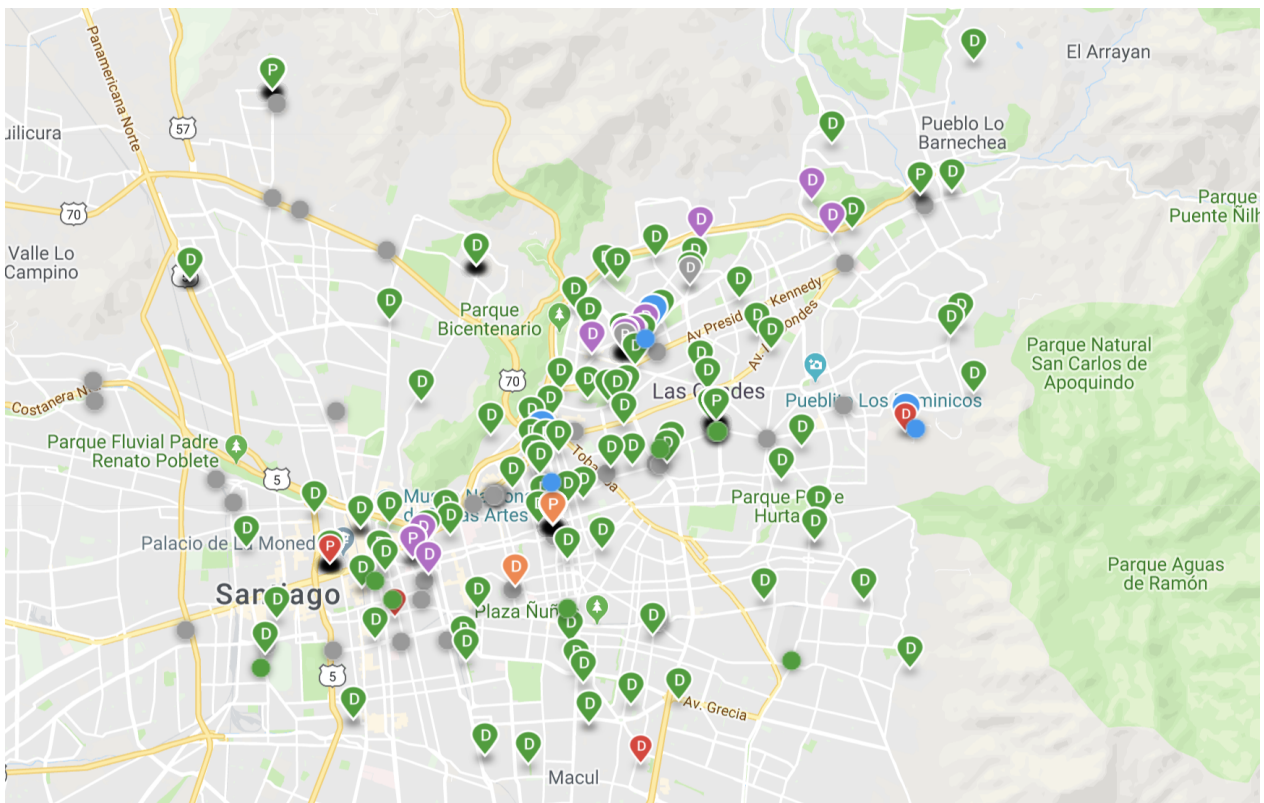


Ilustración 1. Captura de pantalla del mapa de ubicaciones de recogida

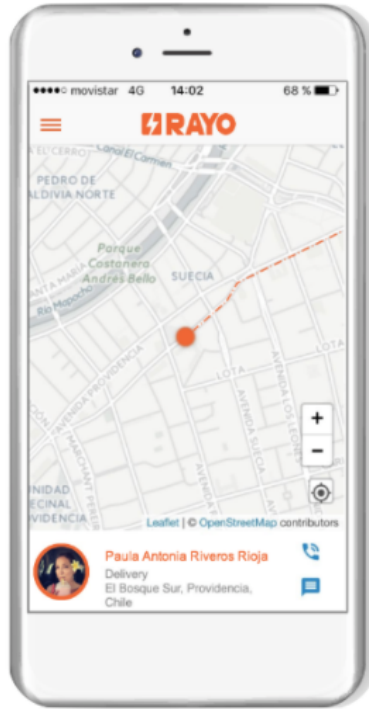


Ilustración 2. Captura de pantalla de la plataforma de seguimiento de los pedidos

1.2.1 Estructura Organizacional

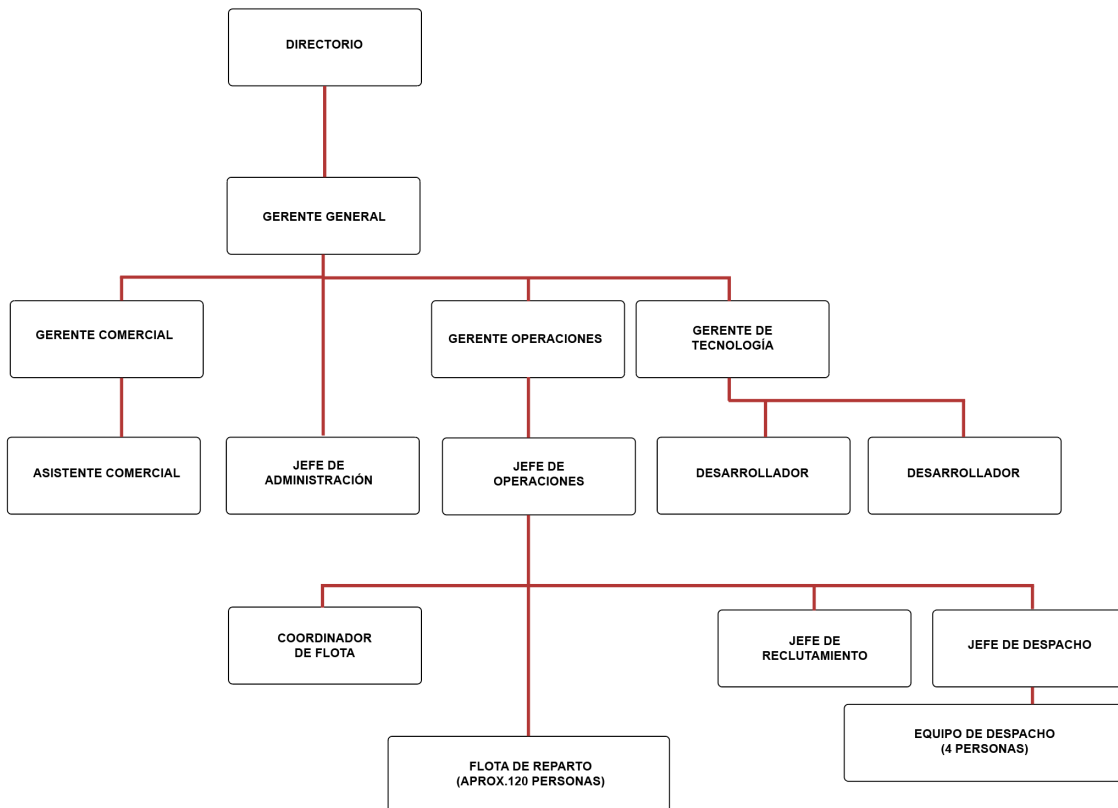


Ilustración 3. Estructura Organizacional de Rayo SpA

1.3 Problema u Oportunidad Identificada

El problema a resolver se relaciona a las entregas **1 a N** del cliente Linio (pudiendo aplicarse para otros clientes con la misma modalidad) y tiene impacto directo en la rentabilidad de Rayo S.P.A a través de la reducción de los costos variables de la operación, es decir, mediante la optimización de los repartos. Los repartidores son el costo variable principal de la empresa y de ahí la necesidad de minimizar la cantidad total de repartidores y maximizar el número de entregas que cada repartidor realiza, considerando los siguientes aspectos:

- **Direcciones:** En la modalidad 1 a N de Linio, no se puede previsualizar con anticipación el destino de los productos, sólo dos horas antes de la de recogida en bodega se comunican a la empresa las direcciones de entrega, dejando poco tiempo para la planeación y optimización.
- **Capacidad:** En la modalidad 1 a N, los volúmenes de cada productos a entregar en cada dirección se comunican sólo dos horas antes de la recogida en bodega. Cada repartidor cuenta con una mochila de capacidad limitada de 0.064 metros cúbicos.
- **Tiempo de entrega:** Todos los pedidos deben estar entregados a las 19.00 pm del mismo día en que se solicita el reparto, las solicitudes son hechas a las 12.00 pm diariamente.

Actualmente, la asignación de repartos se realiza de forma manual y se producen ineficiencias que son difíciles de controlar considerando que día a día las rutas y los volúmenes de los productos a entregar cambian. Para poder cumplir con el compromiso horario de la entrega total la empresa dispone por lo general un sobre abastecimiento de repartidores que constituyen un costo que se pretende disminuir. De acuerdo a las estimaciones de la empresa la optimización de los repartidores podría significar ahorros de aproximadamente 45 millones de pesos anuales y se considera de importancia estratégica dado que en la medida en que el negocio se haga más grande estos costos seguirán escalando dada su naturaleza variable.

La oportunidad detectada en cuestión consiste en disminuir costos implementando un modelo automatizado de optimización que considere volumen, restricción horaria y generación de rutas óptimas que garanticen minimizar la cantidad de repartidores necesarios para la operación de un día.

1.4 Objetivos y Resultados Esperados del Proyecto

1.4.1 Objetivo General

Generar eficiencias de costo en la asignación de repartidores que representen una disminución de 45 millones de pesos anuales en costos en la operación de la Región Metropolitana durante el año 2018.

1.4.2 Objetivos Específicos

Desarrollar antes de marzo de 2018 un algoritmo que permita eficientar el proceso de asignación automática de repartos y la determinación de la flota óptima con el fin de disminuir costos para la modalidad de entrega “1 a N”.

1.4.3 Resultados Esperados

Desarrollar, implementar y testear un prototipo funcional de software que genere asignación automática y contrastar resultados contra operaciones anteriores en busca de validar los ahorros potenciales presentados en el objetivo principal de este proyecto.

El prototipo debe considerar al menos las siguientes restricciones:

- Límites de volumen para transportar por los repartidores
- Horarios máximos de entrega
- Condiciones del tráfico en la Región Metropolitana área el cumplimiento de la hora máxima de entrega

1.4.4 Alcance

El proyecto no aplica a las operaciones de clientes que no sean en la modalidad 1 a N ya que en esos casos sólo se necesita optimizar las rutas y esa es una problemática que la empresa ya tiene resuelta.

El proyecto considera:

- Desarrollo del modelo matemático de optimización de ruta y volumen
- Desarrollo de la plataforma tecnológica para que los usuarios de Rayo puedan utilizar el modelo de manera automatizada
- Implementación y testeo de la plataforma

El proyecto no considera:

- Generación de información con fuentes propias de la situación del tráfico en la región metropolitana. Se utilizará para obtener este dato fuentes externas
- Plan de contingencia para el caso de no contar con data georeferenciada (obtención de coordenadas)
- Mantenimiento de servidores ni garantías de Up Time en lo que respecta a los servicios externos necesarios
- Optimización de los paquetes en una mochila específica
- Apoyo tecnológico para la etapa de re asignación.

1.5 Riesgos Potenciales

1.5.1 Riesgo financiero : Incapacidad de financiamiento

- Clasificación: Se considera un riesgo bajo dado el pequeños costo asociado al proyecto y su respectivo retorno potencial. El bajo costo del proyecto está relacionado a que se utilizarán capacidades internas de la empresa.
- Mitigación: En caso de no existir recursos de financiamiento se analizarán opciones de Software As A Service para resolver el problema de la asignación.

1.5.2 Riesgo de aceptación interna : Falta de rigurosidad en la adopción del nuevo proceso propuesto

- Clasificación: Se considera un riesgo medio dado que en una operación agitada como la de Rayo siempre existe en el personal la tentación de realizar procesos manuales con tal de solucionar las contingencias del día a día. Es posible sin una debida capacitación y comunicación interna que el proceso sea ignorado o bien no se utilice correctamente.
- Mitigación: Se realizará capacitación continua y se concientizará de la importancia para la empresa y la gestión de los colaboradores la adopción del nuevo proceso a través de una gestión del cambio.

1.5.3 Riesgo de negocio : Cambio en los requerimientos del negocio o lógicas comerciales.

- Clasificación: Se considera un riesgo medio dado que nuevos clientes podrían requerir nuevas modalidades de entrega con nuevas restricciones que no estén siendo consideradas al momento de detectar la oportunidad de negocios.
- Mitigación: En el caso en que cambien los requerimientos del negocio se reutilizarán las lógicas de asignación desarrolladas para el presente proyecto considerando que múltiple modalidades de entrega de una u otra manera deberán ser optimizadas. En caso de ocurrir el cambio de requerimientos se

contará con nuevas versiones de la herramienta que potenciarán aún más al negocio en sus diferentes líneas de operación.

1.5.4 Riesgo de gestión : Atrasos en el desarrollo e implementación

- Clasificación: Se considera un riesgo de nivel bajo ya que el proyecto cuenta con total apoyo de los socios de la empresa dado su potencial impacto en la reducción de costos. La desarrollo e implementación no requerirán la coordinación de grandes equipos humanos lo que reduce además el riesgo de atraso.
- Mitigación: Se llevará control de los avances para estimar posibles atrasos mientras se desarrolla el proyecto. En caso de ser inminente el atraso se adicionará un recurso adicional para apoyar el desarrollo y garantizar el plazo comprometido.

1.5.5 Riesgo operacional

- Clasificación: Dada la naturaleza del proyecto los riesgos asociados recaen principalmente en la debida disponibilidad de la tecnología en la operación de cada día.. Actualmente existen compañías consolidadas como Microsoft, Nokia o Google que operan en la modalidad “as a service” en la que el cliente realiza micro pagos para acceder a la información directamente en el momento en que se necesita a través de integración tecnológica. Las integraciones con diferentes proveedores se realizan a través de un estándar de servicios API REST lo que los hace muy sencillos de reemplazar en caso de que alguno falle sistemáticamente. El riesgo de caída, se encuentra respaldado por los términos de servicio garantizados ofrecidos por los proveedores y en general corresponden a un 99.9% de disponibilidad. El anexo C detalla las garantías de servicio ofrecidas por Google Maps.
- Mitigación: Se procederá a reemplazar el proveedor de información geográfica y tráfico. En el caso de no contar con información de tráfico con ninguno de los proveedores se deberá proceder a realizar la asignación de repartos de manera manual generando ineficiencias que corresponden a la situación actual.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1 Metodología de Ingeniería de Negocios

Este proyecto ha sido abordado usando como guía principal la metodología impartida en el programa MBE de la Universidad de Chile que se detalla en el libro: *“Ingeniería de Negocios: Diseño Integrado de Servicios, sus Procesos y Apoyo TI”* (Oscar Barros, 2015).

La Ingeniería de Negocios y en general el Master in Business Engineering ofrece un marco que guía a las organizaciones en el análisis, contextualización, diseño e implementación de soluciones que contribuyan al cumplimiento de sus objetivos estratégicos así como también en la detección y debida validación de las oportunidades negocio y determinación de los pasos a seguir para una implementación exitosa. La metodología de la ingeniería de negocios propone como punto de partida la determinación del planteamiento estratégico de una empresa analizando el contexto en el que esta se desenvuelve, los estudios relevantes y las opiniones de expertos pertinentes así como las motivaciones del cuerpo directivo y socios de una empresa para posteriormente definir el modelo de negocios.

El modelo de negocios deriva en una arquitectura tipo de procesos desde la que se podrán detallar y cuestionar cada uno de los subprocesos presentes y deseables así como las soluciones tecnológicas que ayudar a conseguir una situación de mejora. La ilustración 4 permite visualizar las componentes relevantes para el proceso de rediseño basado en la Ingeniería de Negocios.



Ilustración 4. Esquema de los componentes relevantes para el proceso de rediseño

2.2 El problema de enrutamiento de vehículos

El problema particular detectado en este proyecto está definido en la literatura como un “VRP” o “Vehicle Routing Problem”, que corresponden a problemas de programación lineal, es decir aquellos que buscan conseguir soluciones óptimas, máximos o mínimos para los resultados de una función objetivo específica de acuerdo a las restricciones, variables y parámetros considerados.

Una de las formas en las que se resuelven este tipo de problemas es a través de la programación lineal y la solución apunta a determinar cuál es la ruta o rutas óptimas que debe seguir un repartidor para atender a un número determinado de clientes dadas sus ubicaciones a partir de un set de posibilidades que tradicionalmente se obtienen a través de la combinatoria. Este problema fue planteado genéricamente para optimizar rutas de camiones (Dantzig & Ramser, 1959).

En un problema como este, es importante además eliminar la posibilidad de que una solución contenga uno más Sub Tours en donde se contempla una vuelta al origen o bien a una ruta que considera múltiples puntos de destino a partir de un punto de entrega ya que dejarían de ser soluciones al no ser parte de una ruta que inicia y termina en el punto de abastecimiento. Para ello se usan grupos de restricciones como por ejemplo aquellas que fuerzan a que las soluciones sean tales que de cada punto salgan siempre sólo 2 destinos y que los puntos de salida no puedan ser iguales a los puntos de entrada. (Miller, Tucker y Zemlin, 1960)

El problema del VRP puede extenderse a un problema CVRP (Capacity Vehicle Routing Problem) al considerar la capacidad disponible en un vehículo y no solo la trayectoria, haciendo necesario disponer de más fuerza de reparto para cumplir la ruta óptima y todos sus paradas. La naturaleza del problema CVRP es similar a la del problema VRP tradicional pero considera la restricción de no sobrepasar la capacidad total. La cantidad de pedidos que un repartidor puede entregar se puede formular de la siguiente manera.

$$\sum_{i=1}^n d_i < C$$

Donde C representa la capacidad máxima a transportar, d_i representa el volumen que corresponde a la entrega del cliente d y n corresponde a la cantidad de clientes.

La determinación de la disposición óptima de los ítems en un contenedor se conoce como “El problema de la mochila” (Karp, 1972) (Baumgartner, 2011) y su pertinencia en este trabajo está relacionada a que una solución óptima de CVRP es sólo teórica si no se considera la disposición de los ítems en las mochilas de los repartidores.

Al adicionar la restricción del tiempo de entrega máximo para cada paquete nos referimos a una tercera variante del VRP llamada Vehicle Routing Problems with Time Windows (VRPTW) (Solomon, 1995). Se establece en esta modalidad una ventana de tiempo máxima para visitar a cada cliente y para completar su entrega en donde t_i y t_j representan las horas en que cada cliente se encuentra disponible para recibir al

repartidor. El tiempo que tomará el servicio de entrega está definido como s_i mientras que el rango e_i hasta l_i representa la ventana horaria en la cual el servicio debe ser cumplido para cada cliente por lo tanto siempre debe cumplirse las restricciones

$$t_i \leq l_i$$

$$t_j \leq t_i + s_j$$

sin embargo, si la llegada al punto de entrega del cliente i (t_i) es menor al menor tiempo de la ventana horaria que le corresponde (e_i) entonces el repartidor deberá esperar a que el cliente esté disponible por lo tanto debe cumplirse además que

$$t_j = e_i + s_i + t_{ij}$$

donde t_{ij} representa el tiempo de demora del viaje entre el cliente i y el cliente j . La función objetivo que minimiza el problema es

$$\min \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in E} c_{ij}^k x_{ij}^k$$

donde C representa los costos totales asociados a la ruta desde el cliente i al cliente j que realiza el vehículo k y donde X_{ij}^k indica si la subruta es efectivamente recorrida por el vehículo k .

Los enfoques heurísticos, metaheurísticos y de resolución exacta que se han planteado para la solución de este tipo de problemas fueron revisados y resumidos entre otros autores por Olivera (2004) y por El-Sherbeny (2010) así como las diferentes variaciones que pueden existir del dicho tipo de problemas. Al considerar todas las restricciones y características de la modalidad de entrega podemos definir el problema que abordaremos como un CVRPTW (Capacited Vehicle Routing Problems with Time Windows).

2.3 Naturaleza del problema de enrutamiento de vehículos

Los problemas de optimización de ruta se caracterizan por ser NP-Hard por pertenecer éstos a una categoría de problemas en la que el tiempo necesario para la resolución crece a lo menos exponencialmente en la medida en que incrementamos el tamaño del problema que en el caso de los repartos corresponde a nuevos puntos de entrega o recogida. Una definición más formal de la naturaleza de estos problemas es que son aquellos para los que se desconocen algoritmos que puedan resolverlos en tiempos polinómicos.

Consideremos como ejemplo un escenario en el que un repartidor debe realizar dos entregas (A y B) partiendo siempre desde el mismo punto. La fórmula para determinar la cantidad de rutas posibles teóricas sin considerar calles, tráfico ni obstáculos y asumiendo el desplazamiento sólo en líneas rectas de punto a punto se puede expresar como el factorial de la cantidad de puntos de entrega es decir.

$$n = \text{Cantidad de puntos de entrega}$$

$$n! = \text{cantidad de combinaciones de ruta posibles}$$

En términos prácticos, mientras adicionamos nuevos puntos de entrega la cantidad de rutas posibles aumenta considerablemente para el repartidor sin considerar aún la determinación de la ruta óptima dentro de este gran set de posibilidades. La ilustración 5 representa los incrementos en las posibilidades de rutas mientras aumentan los puntos de entrega.

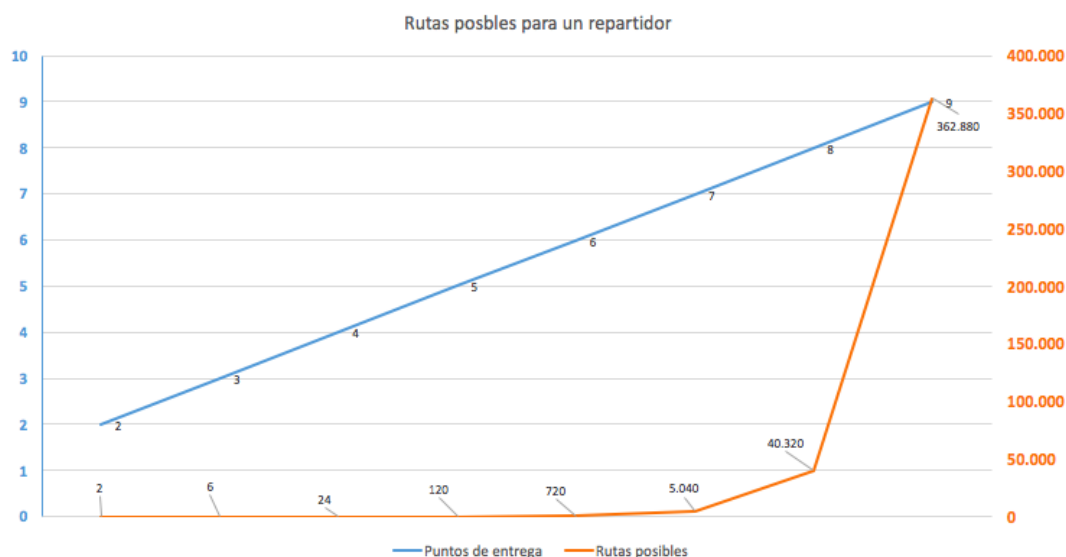


Ilustración 5. Incremento de las combinaciones de rutas.

Otro problema pertinente de analizar es aquel en el que debemos determinar si un set de pedidos (representado cada uno de ellos con un valor entero que corresponde a su volumen) suma o no exactamente el volumen disponible y constante en la mochila de un repartidor

- Caso A
 Capacidad de la mochila de un repartidor = V
 Cantidad de paradas = 4
 Set de paradas = {2,3,6,2}
 Combinaciones necesarias $2^4 - 1$ a evaluar para determinar si los pedidos caben exactamente en una mochila.

- Caso B
 Capacidad la mochila de un repartidor = V
 Cantidad de paradas = 14
 Set de paradas = {2,3,6,2,2,2,3,4,7,6,2,5,1,4}
 Combinaciones necesarias $2^{14}-1$

Como se puede apreciar, en la medida en que agregamos nuevos elementos al set de repartos, la cantidad necesaria de combinaciones para abordar el problema crece exponencialmente.

2.4 Heurísticas utilizadas para la resolución problema de enrutamiento de vehículos

El estudio del problema del enrutamiento eficiente de vehículos ha sido ampliamente estudiado y así mismo se han presentado a lo largo de los años múltiples enfoques para la resolución óptima. Entre las metodologías heurísticas podemos distinguir entre muchas otras

- Algoritmo de ahorros
 En este algoritmo Clarke y Wright (1964) presentan un enfoque en el que se generan eficiencias al juntar 2 rutas en una nueva ruta que agrega a las anteriores.
- Inserción Secuencial
 Este método propone insertar secuencialmente nuevos clientes en rutas iterando con nuevos clientes no visitados en la próxima ruta que se genera. Bodin (1983) realizó un compendio de los diferentes métodos de resolución del problema con el enfoque de inserción secuencial.
- Tabu Search
 Las restricciones de los tipos de flotas disponibles cuando estas son heterogéneas y las horas disponibles de los repartidores así como sus descansos fueron consideradas por Michel Povlovitsch Seixas y André Bergsten Mendes (2013), en el planteamiento de soluciones metaheurísticas basadas en el método de búsquedas “tabu search”, (Glover , 1999).
- Algoritmo del vecino más cercano
 Este algoritmo propone conformar la ruta adicionando siempre al próximo punto de los clientes más cercano al último punto visitado siempre y cuando este cliente no haya sido visitado anteriormente en la misma ruta. El algoritmo termina una vez que todas los clientes son visitados.

CAPÍTULO 3: PLANTEAMIENTO ESTRATÉGICO

3.1 Posicionamiento Estratégico

Rayo compete en el mercado de los pequeños couriers (10% del mercado chileno) y como se explicó en la sección anterior existe sólo una decena de actores que basan su propuesta de valor en el apoyo de las tecnologías de la información. Dado que Rayo a diferencia de sus competidores tecnológicos trabaja con contratos directos a la fuerza de entrega y/o subcontrata empresas logísticas, los costos de la empresa son mayores, principalmente debido a las leyes sociales que nuestros clientes exigen tener consideradas.

Otro factor importante es el deber contar con seguros de carga y accidentes de responsabilidad civil y también de accidentes personales adicionales a los exigidos. Debemos considerar además que en ese 10% del mercado se encuentran muchos competidores informales (pequeñas empresas o personas con pocas motos). Todo esto justifica la necesidad de disminuir los costos para aún así ser competitivo ya que al margen de la tecnología y el valor adicional ofrecido por Rayo, uno de los factores más decisivos para la decisión del cliente es el precio final.

Tomando como referencia el modelo de posicionamiento de Hax, la empresa apunta a posicionarse en el vértice de “Mejor producto”, apuntando específicamente a generar un liderazgo en costos y así lograr la diferenciación. Rayo pretende ser el courier que ofrece completa regularidad en las relaciones contractuales, seguros e integración tecnológica al mejor precio.

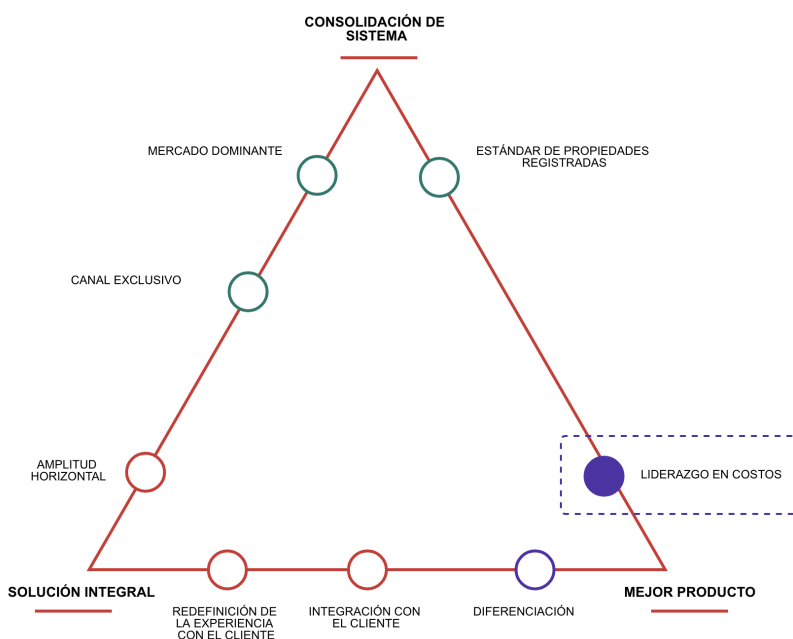


Ilustración 6. Modelo Delta de Hax

3.2 Modelo de Negocios

La empresa Rayo S.p.A entrega servicios de delivery apoyados por tecnología. Como oferta de valor además entrega servicios de seguimiento de los pedidos y de control de contingencias en los despachos. El modelo de ingreso consiste en cobros por pedidos exitosos y en algunos casos en cobros por desplazamientos (por ejemplo cuando la operación consiste en más de una recogida y sólo una entrega por cliente).

Un diferenciador particular de Rayo SPA es que dependiendo de las necesidades de un nuevo cliente Rayo SPA desarrolla soluciones de software a medida para que el ingreso de los pedidos sea siempre digital ya sea para un call center, asistente que ingresa pedidos manualmente o bien para el/la responsable de hacer cargas masivas o eCommerce. Podemos ver representado el modelo de negocio completo en el siguiente diagrama de acuerdo al marco referencial del “Business Model Canvas” presentado por Alexander Osterwalder el año 2004. (Osterwalder, 2004).

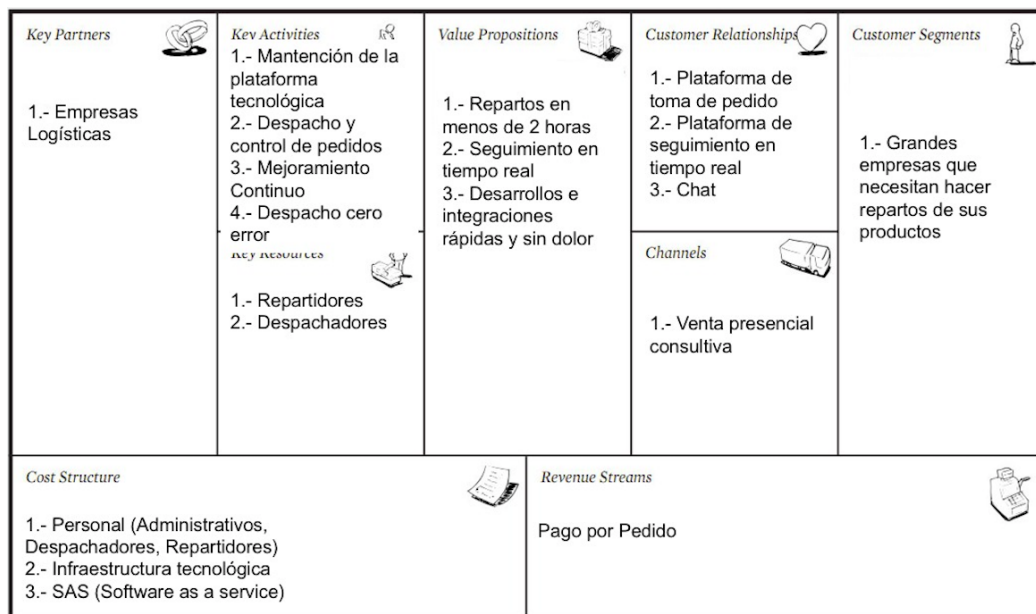


Ilustración 7. Modelo Canvas Rayo SpA

CAPÍTULO 4: ANÁLISIS SITUACIÓN ACTUAL

4.1 Arquitectura de Procesos

La oportunidad de mejora detectada se encuentra enmarcada dentro de la cadena de valor de la empresa (ilustración 8). Particularmente en la asignación de los repartos a los repartidores. Con la finalidad de explicar específicamente cuales son las interrelaciones relevantes con otras actividades de la empresa se presentan a continuación los diagramas de los macroprocesos de la situación actual en la notación IDEF0.

4.2 Modelamiento Detallado de Procesos

Cada vez que un cliente (empresa) entrega a Rayo el listado de entregas que deben ser realizadas en la jornada el equipo de despacho es responsable de generar la ruta óptima para dicho set de entregas. La generación de ruta óptima se realiza de manera automática con un software de gestión de ruta sin embargo el optimizador no considera el volumen de los productos ni el volumen de las mochilas de cada repartidor. Previo a la asignación particular de un subconjunto de pedidos a un repartidor (ilustración 8) debe realizarse manualmente en Excel un chequeo para evitar que la capacidad máxima de un repartidor sea sobrepasada.

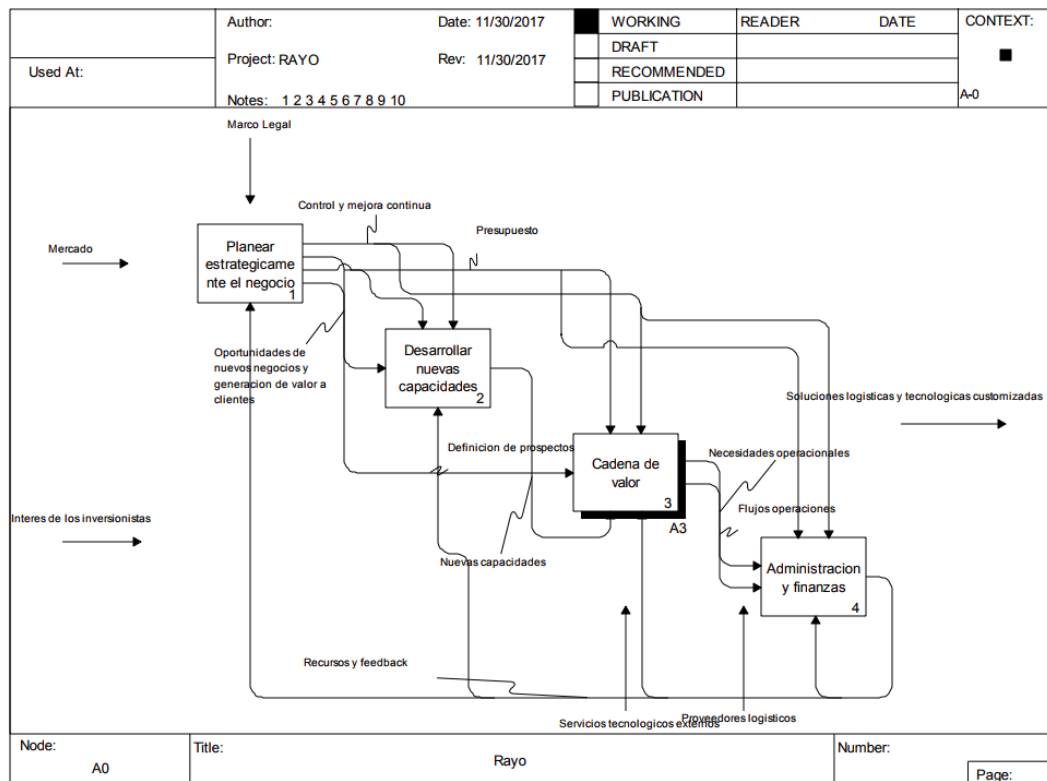


Ilustración 8. Modelamiento IDEF0

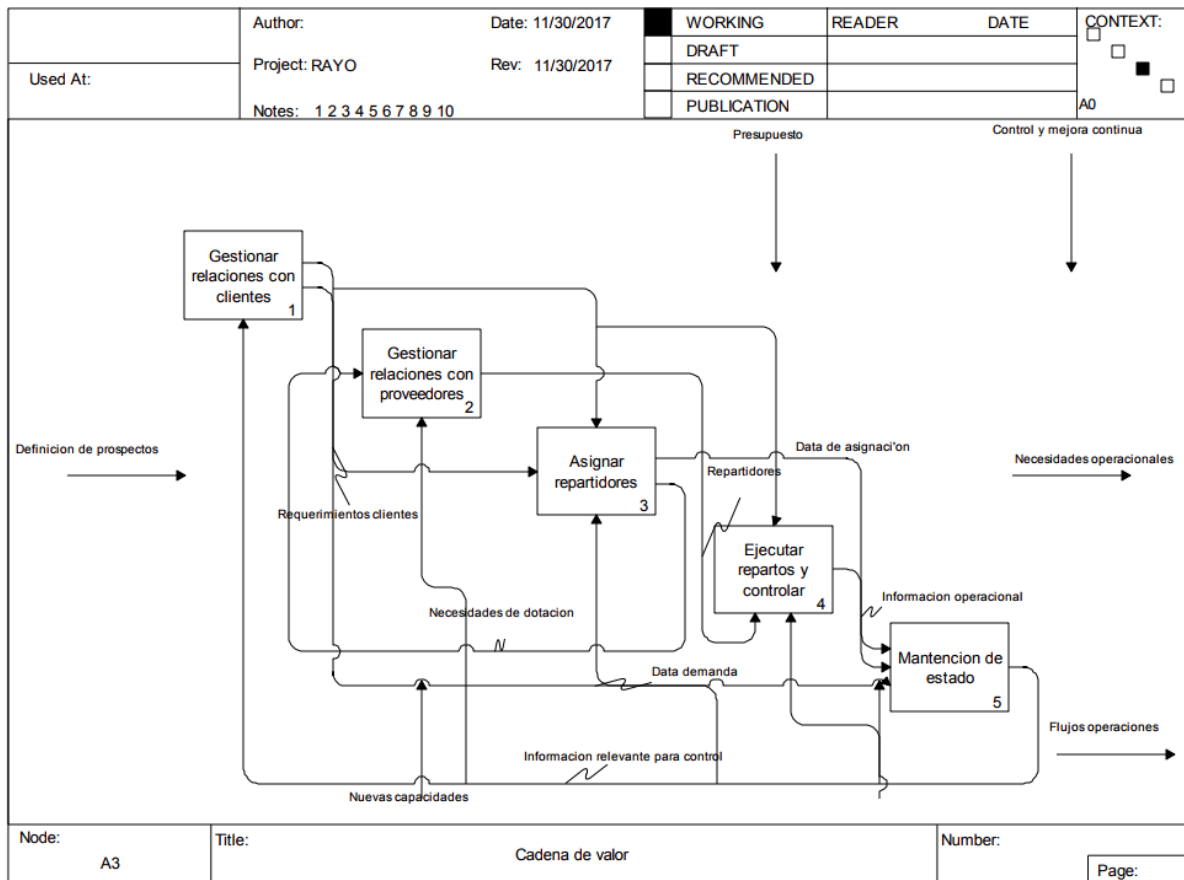


Ilustración 9. Modelamiento Subnivel IDEF0

4.3 Modelamiento BPMN para la asignación de repartidores

El proceso de asignación de repartidores actual se puede apreciar en el siguiente diagrama

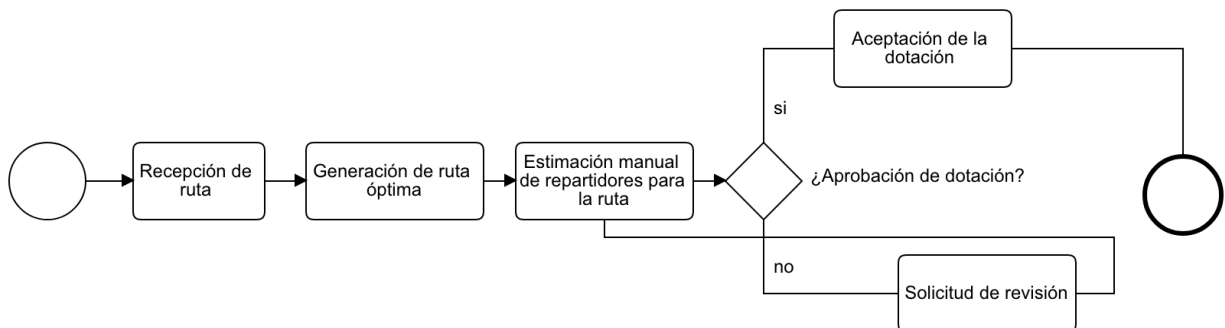


Ilustración 10. Modelamiento BPMN para la asignación de repartidores

4.4 Diagnóstico de la Situación Actual

Como se puede apreciar en el diagrama BPMN anterior, el proceso de asignación es manual y no cuenta con etapas de control. Se desconoce una vez asignada la carga

a los repartidores si la asignación es eficiente en términos de minimizar la cantidad de personal. El diagrama deja ver además que la metodología para dicha asignación es manual y por lo tanto está sujeta a errores humanos y por otro lado, no utiliza una lógica analítica ni un modelo específico sino que usa la experiencia del asignador considerando sólo entregar en los plazos máximos.

4.5 Cuantificación del Problema u Oportunidad

El principal costo asociado a la situación actual corresponde a las jornadas ociosas en caso de existir una asignación ineficiente de un repartidor. Si una ruta es ineficiente requiere más repartidores y estos corresponden actualmente aproximadamente el 70% del costo total de la empresa. Adicionalmente existe un costo asociado al tiempo que toma para el responsable de asignación el determinar la cantidad de repartidores necesarios para la operación de un día y la ruta respectiva para cada uno de ellos. De acuerdo a la experiencia y los análisis realizados manualmente, cada 50 entregas al menos un repartidor genera ineficiencias del 60% con un total de 5 repartidores en promedio para dicho volumen. Esto significa que de los 5 repartidores encargados a repartir 50 entregas generarán tiempos ociosos de al menos 5 horas. Los detalles se pueden a continuación en la tabla 2.

Tabla 2: Repartidores necesarios y horas ociosas de acuerdo a la datos históricos.

Volumen	Repartidores necesarios	Horas ociosas	Costo hora
50 repartos	5	5	\$ 3.500

Adicionalmente debemos considerar que existe un costo asociado al tiempo dedicado a la asignación y generaciones de rutas por parte de la persona responsable que se traduce en 450.000 pesos mensuales correspondientes al costo de las horas/hombre destinadas para el trabajo.

Con los volúmenes actuales de operación 1 a N el problema se cuantifica en 2.100.000 pesos mensuales. La tabla 3 muestra las horas ociosas a modo de costos adicionales en la operación de Rayo de acuerdo a las proyecciones de crecimiento para los años 2018 y 2019.

Tabla 3: Cuantificación de la proyección de horas ociosas

Enero 2018	2.100.000
Proyección 2018 año completo	38.150.000
Proyección 2019 año completo	58.800.000

CAPÍTULO 5: PROPUESTA DE DISEÑO DE PROCESOS

5.1 Direcciones de Cambio y Alcance

La propuesta de rediseño de la asignación de repartidores tendrá un impacto en diferentes variables de diseño al interior de la organización.

5.1.1 Apoyo computacional

En la situación actual, una vez que se recibe de el/los cliente(s) un grupo de paquetes a repartir, la ruta óptima efectivamente se genera de manera automatizada sin embargo esta ruta no considera las restricciones de volumen ni de tiempo total que por lo general corresponde a 7 horas partiendo del punto de recogida a las 14 horas cada día. La situación propuesta contempla la generación automática de la ruta a partir con apoyo computacional pero además considera la optimización de la cantidad de repartidores y las restricciones horarias y volumétricas (volumen máximo de la mochila de un repartidor).

5.1.2 Anticipación

Actualmente, la ruta óptima se genera asumiendo que las distancias entre cada punto son “libres de tráfico” dejando como parámetro sólo el tipo de vehículo a usar (en este caso motocicletas). Las condiciones del tránsito pueden afectar dramáticamente los tiempos en el desplazamiento de un repartidor en ruta y de hecho pueden generar cambios en la ruta óptima que se genere. En la situación propuesta se contempla considerar la predicción del tránsito para la generación de la ruta utilizando para ello servicios analíticos predictivos.

5.1.3 Políticas de trabajo

Actualmente el proceso de determinación de la cantidad de repartidores necesarios para completar una ruta óptima se realiza manualmente basado sólo en la experiencia del responsable de asignación y sin realizarse controles respecto a las ineficiencias generadas. En la situación propuesta, se considera que dicha asignación y optimización de recursos sea realizada por un algoritmo matemático de optimización así como también la existencia de una fase de control en el proceso.

5.2 Diseño Detallado de Procesos TO BE

En el proceso plasmado en la ilustración 11 se puede ver el esquema BPMN donde se adicionan además de los chequeos de consistencia, la utilización del modelo matemático de optimización, la asignación sujeta a restricciones de tiempo y volumen y además la generación de las rutas óptimas considerando información del tráfico. El proceso propuesto de la generación de la ruta óptima considera siempre la selección de una ruta incluso si el resultado del script entregara como resultado más de una solución óptima.

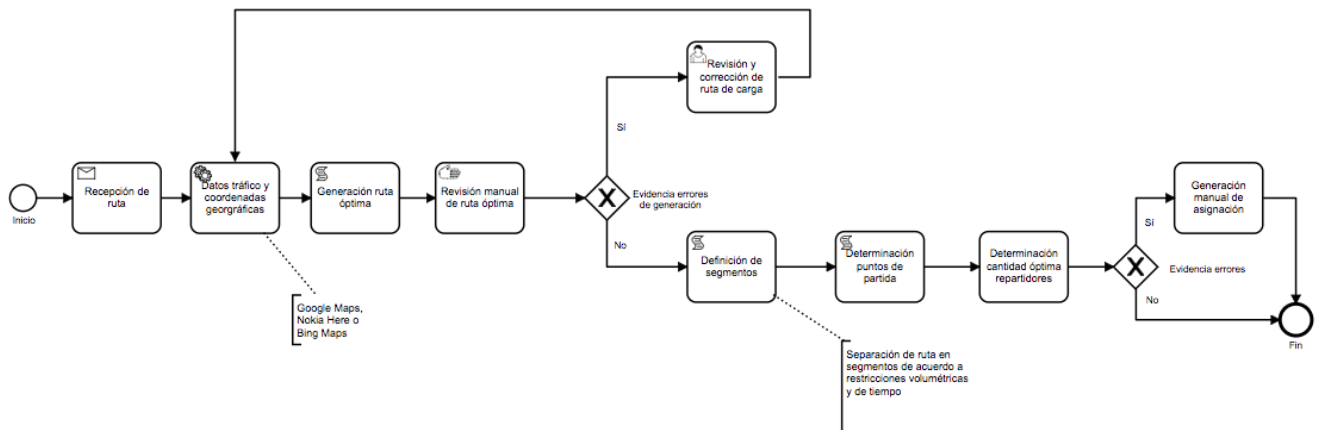


Ilustración 11. Modelamiento BPMN propuesto

5.3 Diseño de Lógica de Negocios

El diseño de la lógica de negocios se basa en algunos supuestos y restricciones derivadas de la naturaleza de la operación de entrega 1 a N.

5.3.1 *Tiempos límite para la entrega de la totalidad de los paquetes*

La totalidad de los paquetes debe ser entregada exitosamente en un periodo determinado de tiempo que por lo general corresponde a 7 horas desde la recogida en las bodegas de la empresa del cliente

5.3.2 *Capacidad máxima de la mochila de un repartidor*

Cada repartidor cuenta con una mochila que tiene por capacidad máxima 0.064 metros cúbicos. Debemos considerar que dada la irregularidad de los paquetes, la gran mayoría de las veces el uso óptimo teórico de la mochila no se podrá conseguir y para ello se sub utilizará el uso máximo al correr el modelo de optimización.

5.3.3 Morfología de los paquetes

Como regla general, cada paquete es entregado en una caja o contenedor en forma de paralelepípedo. Teniendo en cuenta que los paquetes presentan tamaños diferentes entre sí, es muy poco probable que dos mochilas puedan alcanzar su capacidad máxima con la misma combinación entre paquetes y volumen restante. Mientras que en la ilustración 12 se muestra una mochila cargada con 4 paquetes en la ilustración 13 se muestra una mochila cargada con 7 paquetes. En ambos casos, las mochilas podrían estar en su capacidad máxima al no haber más paquetes que puedan entrar en el espacio disponible restante.

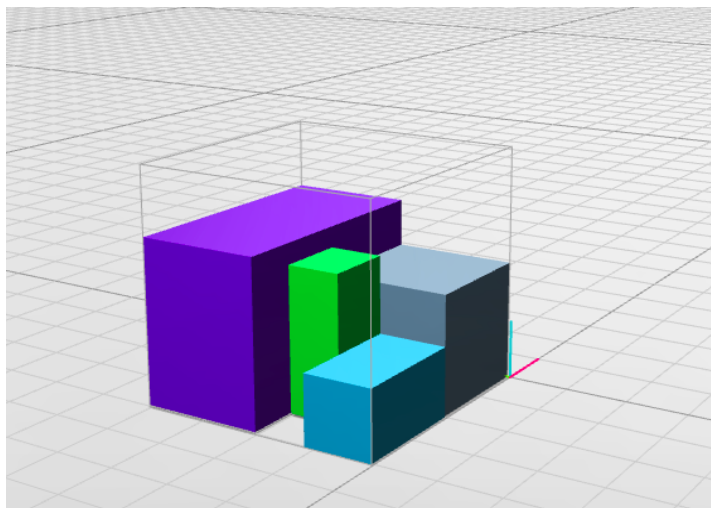


Ilustración 12. Morfología de los paquetes para reparto (4 paquetes).

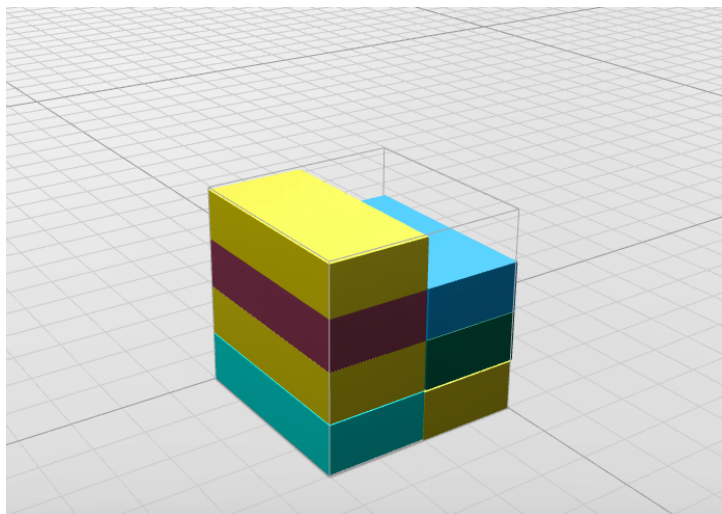


Ilustración 13. Morfología de los paquetes para reparto (7 paquetes).

5.3.4 Transformación de direcciones de entrega a coordenadas geográficas (Reverse geocoding)

Dado el listado de repartos para un día específico se convierten a coordenadas geográficas las direcciones de destino y se excluye de la ruta el punto inicial de recogida. Para ello, es necesario que las direcciones de entrega estén correctamente formateadas en el standard de direcciones de la API de Google Maps. Dicho formato corresponde a un texto en donde cada campo y su respectivo valor están separados por comas y en donde sucesivamente se agregan unidades administrativas comenzando en la calle y terminando en el país y se puede consultar en detalle en el anexo B.

5.3.5 Obtención de condiciones de tráfico y tiempo de desplazamiento

Una vez que se encuentran transformadas direcciones a un formato de coordenadas geográficas se generará una ruta óptima que minimice la distancia total y para ello debemos primero contar con la información del tráfico estimada considerando además el medio de transporte que en este caso corresponde a motocicletas. Dicha información se obtiene desde el servicio Bing Maps Distance Matrix API. La carga de coordenadas tiene como resultado una matriz de distancias de doble entrada donde cada columna tiene su correspondencia en distancia con cada fila. La tabla 5 muestra parcialmente la matriz de doble entrada obtenida del procesamiento realizado con el servicio Distance Matrix Api para el caso que se analizará en este informe. La matriz nos muestra el tiempo en segundos que se debe recorrer para llegar de un punto a otro tomando en cuenta el tráfico del momento en la ciudad y usando como referencia de vehículo a un auto.

Tabla 5: Matriz de tiempo entre puntos de entrega

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1		1444	736	732	323	1051	666	898	993	881	1020	1098	565	951	866	1269	951	1084	1376	1067	841	1643
2	1452		963	1306	1361	641	1244	1440	1287	967	1514	1250	1168	1521	1341	1938	1146	565	198	1358	1183	1171
3	658	945		442	567	786	726	560	589	341	683	631	613	642	504	1058	432	652	906	675	322	1102
4	650	1238	412		465	1054	791	490	585	466	612	630	677	543	458	861	429	920	1198	659	319	1170
5	318	1283	575	476		889	517	643	738	719	765	843	404	695	611	1013	790	923	1215	812	679	1388
6	957	629	704	1033	866		749	1170	1150	836	1293	1119	672	1252	1114	1649	1008	232	535	1252	932	1090
7	812	1387	576	486	627	1203		13	381	615	165	427	839	191	242	638	488	1069	1348	316	343	839
8	623	1196	736	779	532	776	15		1040	880	1067	1145	219	998	913	1316	951	810	1102	1114	840	1642
9	838	939	382	485	747	780	906	602		63	673	373	793	691	471	1108	242	665	900	487	313	900
10	935	1495	699	609	750	1311	1076	155	367		21	405	963	296	254	661	561	1177	1403	294	427	817
11	928	1225	577	578	743	1065	1069	376	24	389		175	955	534	188	951	257	951	1185	168	295	720
12	1029	1231	653	655	844	1072	1159	427	145	395	416		1046	587	271	1035	299	958	1190	208	372	605
13	551	1129	664	707	460	709	222	873	968	809	995	1073		926	841	1244	879	743	1034	1042	768	1570
14	928	1527	716	602	743	1343	1069	229	558	755	288	616	956		419	596	665	1209	1488	505	520	1028
15	798	1296	500	471	612	1112	938	227	178	497	274	271	825	385		817	347	978	1256	240	228	816
16	1208	1891	1080	882	1022	1707	1348	645	946	1119	668	1031	1235	624	808		1029	1573	1852	921	884	1444
17	1042	540	624	977	951	185	834	1110	958	638	1213	921	757	1192	1012	1608		16	466	1061	854	1021
18	901	1086	463	464	810	927	968	470	270	250	541	295	855	592	340	1008	93		1047	373	182	835
19	1328	199	870	1213	1237	516	1120	1346	1194	874	1389	1157	1043	1428	1248	1844	1053	461		1233	1090	1046
20	976	1354	688	650	791	1203	1117	304	193	526	293	195	1003	465	234	913	394	1088	1249		406	663
21	753	1111	316	317	662	927	821	322	314	338	435	390	708	444	238	860	189	793	1072	399		930
22	1568	1170	1127	1194	1383	1085	1651	835	689	867	820	602	1538	995	815	1439	840	1030	1064	664	912	

5.3.6 Generación de ruta óptima

Para generar la ruta óptima se realiza una optimización utilizando programación lineal en la suite AMPL. El objetivo de la optimización es minimizar la cantidad de repartidores tomando en cuenta las restricciones volumétricas de cada mochila y generando una ruta en la que el punto de inicio es siempre el punto de término.

5.3.7 Descripción del modelo de optimización:

A continuación se explica la lógica del modelo de optimización responsable de generar la ruta óptima para el set de datos sin considerar aún la optimización de la asignación a los repartidores.

- Conjuntos en notación AMPL

Cada una de las iteraciones que se deben realizar para cada combinación entre columnas y filas de la matriz representa un arco donde N es la cantidad de direcciones de entrega del día. Los índices i y j son puntos de recogida y cada combinación cuenta con su respectivo tiempo en segundos.

$$\begin{aligned} \text{set Nodes ordered} &:= \{1..N\}; \\ \text{set Arcs} &:= \{i \text{ in Nodes}, j \text{ in Nodes}: i <> j\}; \end{aligned}$$

- Parámetros

- N: Representa la cantidad de direcciones de entrega
- Length: param length $\{(i,j) \text{ in Arcs}\}$;

El parámetro *Length* Representa el atributo distancia que corresponde al tiempo necesario para desplazarse de un punto a otro en cada combinación de filas / columnas.

- Restricciones en notación AMPL

- Restricción 1: *subject to Degrees* $\{i \text{ in Nodes}\}$: $\text{sum} \{(i,j) \text{ in Arcs}\} x[i,j] + \text{sum} \{(j,i) \text{ in Arcs}\} x[j,i] = 2$;

La restricción 1 se refiere a que desde cada punto en la ruta óptima deben salir siempre 2 segmentos para garantizar una ruta única que comienza y termina en el mismo punto.

- Restricción 2: *subject to Degree1* $\{j \text{ in Nodes}\}: \sum \{i \text{ in Nodes}: i \neq j\} x[i,j] = 1;$
- Restricción 3: *subject to Degree2* $\{j \text{ in Nodes}\}: \sum \{i \text{ in Nodes}: i \neq j\} x[i,j] = 1;$
- Restricción 4:
subject to NoSubtour1 $\{(i,j) \text{ in Arcs}: i \neq j \text{ and } i \geq 2 \text{ and } j \geq 2\}: u[i] - u[j] + N * x[i,j] \leq N - 1;$

La restricción 3 y 4 corresponden a un reforzamiento de la restricción 2 y garantizan que desde cada punto de entrega sale 1 y sólo 1 nuevo punto de entrega. La restricción 4 garantiza que el punto de inicio y término de un segmento no sea el mismo punto de inicio y que el siguiente punto de entrega, dado un punto de partida sea siempre al menos superior en una unidad al punto inicial.

- Función objetivo en notación AMPL

$$\text{minimize } \text{Tourlength}: \sum \{(i,j) \text{ in Arcs}\} \text{length}[i,j] * x[i,j];$$

Esta función minimiza la sumatoria de todos los tiempos asociados a los desplazamientos y entrega como resultado un set de datos que sirve como input al script de separación de segmentos y optimización de rutas explicados más adelante. La ilustración 13 muestra el formato de dicho set de datos y sus descripciones corresponden a las siguientes:

- id: id único del pedido a entregar.
- item:volumen del producto a entregar
- tiempo: tiempo en segundos desde el punto anterior.
- depot: tiempo en segundos hasta la bodega desde la ubicación de entrega del producto a entregar.

```
[{"id":1,"item":2,"tiempo":140, "depot":10},
{"id":2,"item":6,"tiempo":260,"depot":20},
{"id":3,"item":3, "tiempo":305,"depot":30},
{"id":4,"item":7, "tiempo":176,"depot":40},
{"id":5,"item":1, "tiempo":167,"depot":50}]
```

Ilustración 14. Ejemplo de carga en formato JSON al script que determina la cantidad de repartidores necesarios

5.3.8 Continuidad de la ruta óptima

Se asumirá que la ruta óptima debe ser seguida en cada una de sus paradas sin embargo no se asume que deba seguirse una dirección específica en la asignación inicial. Si a un repartidor le correspondiere el segmento de ruta 13,14,15 y 16 será determinado por el modelo si debe partir desde el punto 13 o desde el punto 16 sin embargo siempre el punto 14 y 15 deben ser respetados como inmediatamente sucesivos. En la ilustración 14 tanto la ruta roja como la ruta azul son sujeto de convertirse en la solución óptima para un repartidor.

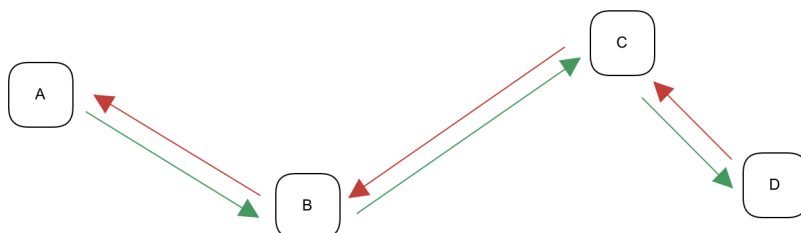


Ilustración 15. Rutas candidatas a convertirse en la solución óptima

5.3.9 Separación de segmentos en la ruta óptima y rotación de la ruta

Definiremos un segmento como una parte de la ruta óptima que será asignado a un repartidor. Un repartidor podrá realizar más de un segmento en la operación de un día en la medida en que al terminar su primer segmento aún tenga tiempo disponible, todo esto con el fin de minimizar la cantidad de repartidores. Una vez determinada la ruta óptima se ejecuta un script que permite determinar la cantidad de repartidores que son necesarios considerando el volumen que corresponde a cada entrega para un punto de partida específico. El algoritmo continuará avanzando en la ruta óptima en la medida en que las sumas de los volúmenes asociados a cada parada no superen la constante de carga máxima (0.064 metros cúbicos). Cuando la parada próxima supere dicho límite el algoritmo contempla sumar en 1 la cantidad de repartidores necesarios y luego resetea dicha cantidad a 0 para comenzar desde el último punto de partida.

Una vez que el algoritmo termina de recorrer todos los puntos de la ruta óptima procede a cambiar el punto de inicio generando nuevos resultados alternativos considerando que se pueden producir eficiencias. La ilustración 15 muestra cómo sería posible generar eficiencias dependiendo del punto de partida. Comenzar una ruta en la posición "A" podría requerir menos o más repartidores dependiendo de las dimensiones de los productos a entregar. En el anexo E se puede ver en detalle la lógica programática y las funciones principales responsables de la rotación de rutas.

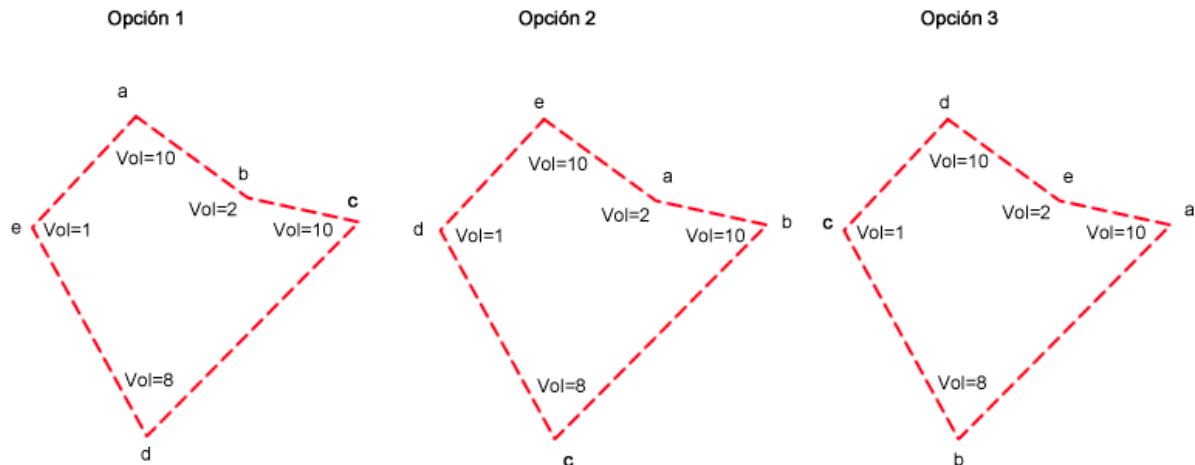


Ilustración 16. 3 opciones de ruta dependiendo del punto de partida

5.3.10 Castigos por tiempo de entrega y distancias a la bodega.

Se consideran para este modelo constantes los tiempos de espera en cada una de las entregas con un valor de 15 minutos y la carga en el punto de recogida con un valor de 30 minutos. Los desplazamientos hacia el punto de carga inicial no se toman en cuenta ya que los repartidores deben partir su jornada en dicho punto sin embargo sí se considerarán los tiempos de desplazamiento al punto inicial del segmento que se otorga a cada repartidor para su respectivo segmento de repartos que es un subconjunto de la ruta óptima.

5.3.11 Criterios de selección de segmentos

Una vez realizadas todas las combinaciones de rotación de cada ruta con sus respectivos números totales de repartidores necesarios se realiza la siguiente discriminación de asignaciones siguiendo estos criterios:

1. Eliminamos las combinaciones de asignaciones que superan en conjunto el máximo de tiempo disponible para la operación del día
2. Se selecciona la combinación de asignaciones que contempla el menor número de repartidores necesarios

5.3.12 Optimización de repartidores (re-asignación)

Un repartidor con una segmento determinado no necesariamente va a usar el máximo de su tiempo disponible en completar un segmento (considerar por ejemplo el

caso en que un repartidor es responsable de entregar un producto que ocupa el 100% del volumen disponible en su mochila) y es por eso que una vez llegado este punto analizamos la posibilidad de asignarle a los repartidores nuevos segmentos. El criterio para dicha determinación consiste en calcular los tiempos totales relacionados a la reasignación incluyendo el desplazamiento al punto de recogida y el desplazamiento al primer punto de entrega de su nuevo segmento.

Podemos calcular el tiempo total de reasignación con la siguiente fórmula de acuerdo al criterio explicado anteriormente usando la siguiente fórmula

$$\textit{Tiempo de reasignación} = t(s2) + c + r(ti) + r(in)$$

ti = Punto de término del primer segmento

r(ti) = Tiempo desde punto de recogida hasta TI

r(in) = Tiempo desde punto de recogida hasta nuevo punto de inicio

s2 = Nuevo segmento

c = Tiempo de carga en punto de recogida

tn = Punto de término nuevo segmento

in = Punto de inicio nuevo segmento

Considerando que el repartidor deberá desplazarse nuevamente hacia el punto de recogida y que una vez que se termina la nueva ruta no hay necesidad de volver se decidirá siempre que la ruta inicial termine en el punto más cercano al punto de recogida y que el punto de inicio del nuevo segmento sea siempre el más cercano al punto de partida. La ilustración 18 permite visualizar que dicho criterio minimiza los tiempos adicionales necesarios para realizar una reasignación, sin embargo vale la pena mencionar que si no se trata de una reasignación no hay incentivo para invertir las direcciones de entrega de los segmentos dado que no genera ninguna eficiencia en tiempo.

Se determina como punto de partida por defecto siempre aquellas direcciones más cercanas al punto de recogida para poder comenzar los repartos lo antes posible y tener holguras de tiempo en caso de existir contingencias propias de la operación (direcciones erróneas, clientes que no están disponibles para aceptar la entrega, entre otros).

El criterio de asignación que se utiliza finalmente para discriminar entre repartidores tiene que ver con el balanceo donde asignaremos el nuevo segmento más largo a aquel repartidor(a) que tenga más tiempo disponible en su jornada.

- Primer criterio: Se asigna el nuevo segmento de mayor duración (considerando los castigos asociados a la reasignación) al repartidor con más tiempo disponible

- Segundo criterio: Se selecciona la asignación de rutas ruta que tiene el menor tiempo total

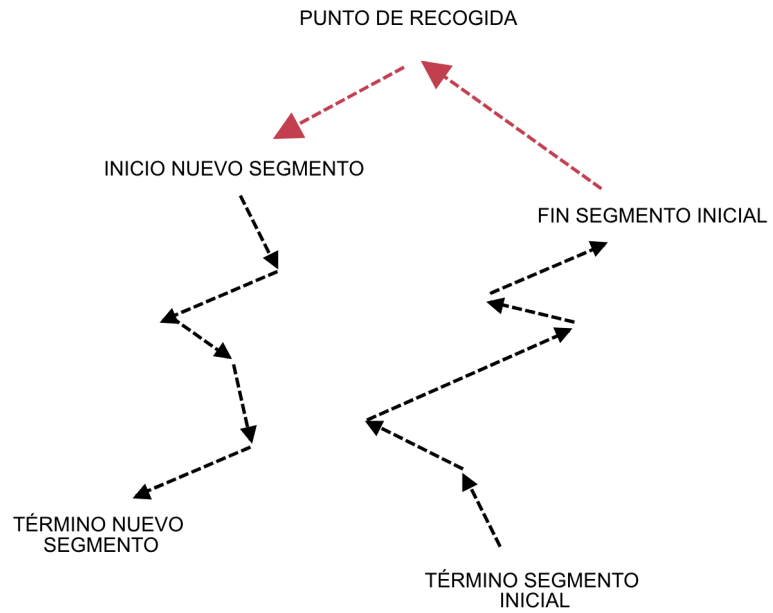


Ilustración 17. Representación gráfica del criterio de selección del punto de fin de una sub ruta

CAPÍTULO 6: PROPUESTA DE APOYO TECNOLÓGICO

6.1 Requerimientos Funcionales

En términos generales se requiere una plataforma que pueda realizar de manera automática las siguientes operaciones por un usuario que no posea conocimientos técnicos.

- Recibir una carga masiva de direcciones en un formato específico en un archivo separado por comas.
- Procesar dicho archivo para convertir las direcciones de entrega a coordenadas geográficas
- Obtener una matriz de doble entrada para cada punto de entrega con su respectiva estimación en tiempo de desplazamiento considerando como vehículo una motocicleta y además las condiciones de tránsito en el momento
- Se requiere el desarrollo de un modelo de optimización lineal que será cargado por la matriz obtenida en el punto anterior para así generar una ruta óptima.
- Se requiere un programa computacional que pueda realizar la separación de la ruta óptima en segmentos considerando las restricciones de volumen en la mochila de cada repartidor.
- La operación debe hacerse desde un browser
- La plataforma debe mostrar los resultados en un browser
- Las reasignaciones se realizarán manualmente fuera del marco de la plataforma de apoyo tecnológico en Microsoft Excel o planilla de cálculo similar.

6.2 Requerimientos No Funcionales

Se requiere que el sistema cuente con disponibilidad mayor o igual al 99% cada 365 días corridos y que los tiempos de respuesta para conseguir los datos necesarios sean menores a un minuto. La aplicación debe considerar seguridad simple (usuario y password) y ser accedida desde internet.

6.3 Arquitectura Tecnológica

La propuesta de arquitectura tecnológica descansa sobre un paradigma de Software as a Service en el que se “consumen” recursos directamente desde los proveedores a través de servicios web dispuestos de alta disponibilidad. Los servicios web serán gatillados desde el servidor de Rayo SPA y el standard de comunicaciones será API REST.

Herramientas tecnológicas utilizadas:

1. Microsoft Distance Matrix API (información referida al producto disponible en anexo F)
2. Google Maps Geocoding API (información referida al producto disponible en anexo F)
3. Servidor Rayo SPA
 - a. VPS Centos Linux
 - b. Entorno backend NODE.JS V.8.9
4. AMPL IDE versión para fines educacionales. Esta versión está restringida al uso de 300 variables lo que supera con creces las necesidades del problema a resolver en esta optimización.
5. Microsoft Excel o Google sheets para realizar operaciones de reasignación

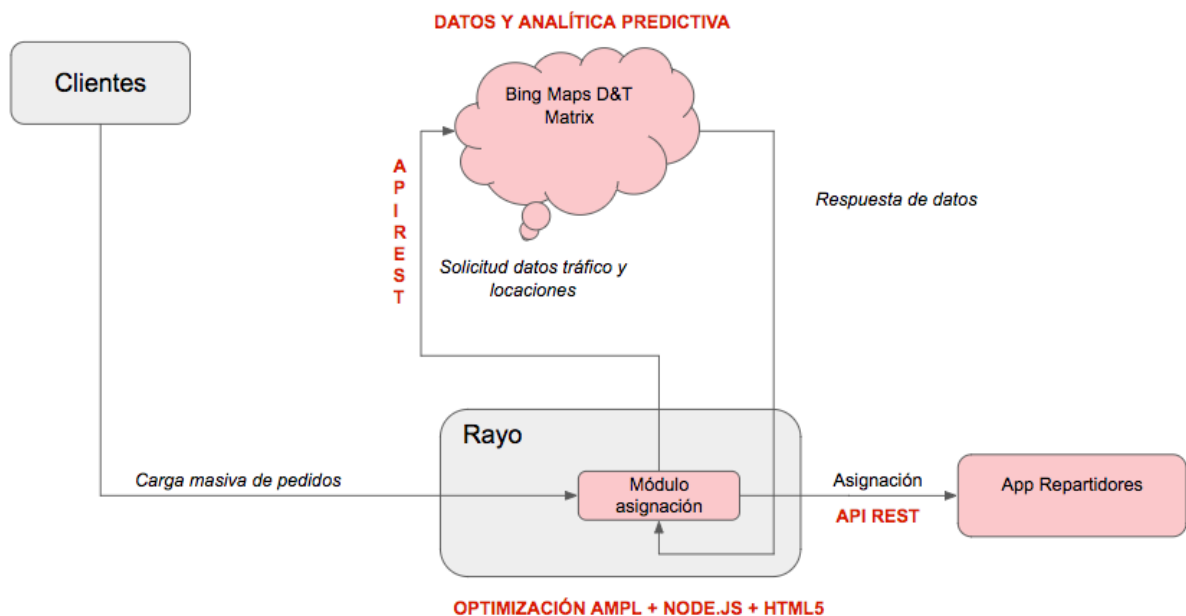


Ilustración 18. Arquitectura propuesta para el desarrollo de software

6.4 Diseño de la Aplicación

El aplicativo está construido sobre un servidor de NODE.JS que realiza llamadas a las APIs externas descritas anteriormente. Una vez conseguidos los datos estos son cargados en formato JSON a un script de Javascript que en el browser es el encargado de realizar el render de la ruta óptima (ilustración 20). Una vez la data está cargada para la ruta óptima otro script es el encargado de realizar la rotación y desplegar los resultados en pantalla (ilustración 17).

6.4.1 Diagrama de casos de uso

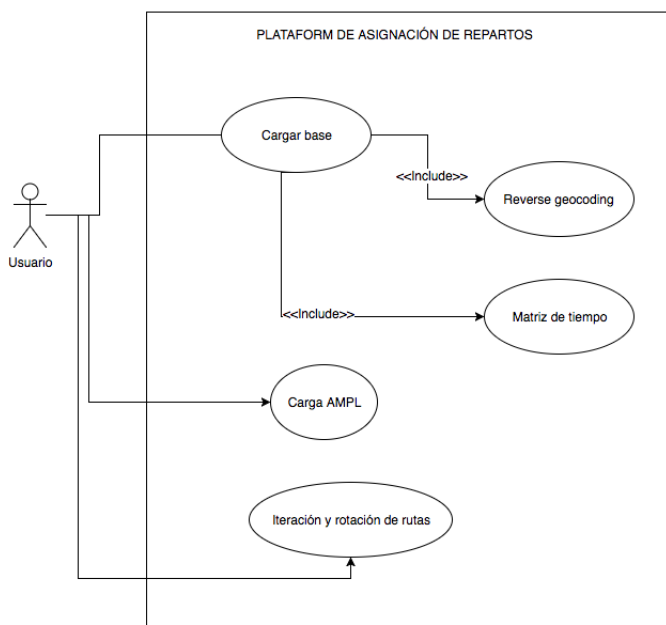


Ilustración 19. Diagrama de casos de uso

6.5 Prototipo Funcional Desarrollado

A continuación se pueden apreciar pantallas del prototipo funcional en donde el usuario puede verificar visualmente la coherencia de la ruta óptima generada (ilustración 21) y además las iteraciones realizadas sobre las rotaciones de las rutas (puntos de inicio en la ilustración 22). Una vez que se consiguen los resultados, el usuario procede a realizar manualmente (hoja de cálculo) la reasignación necesaria en caso de aplicar según los criterios expuestos en la sección N°5 del presente informe. A la fecha de este trabajo se encuentran desarrollados los algoritmos, los renderizadores de resultados en pantalla (browser) y las integraciones de APIs externas quedando pendiente aún unificar los aplicativos de transformación de direcciones y de cálculo de repartidores y desarrollar las capas de autenticación. Los costos asociados a dichos desarrollos serán detallados más adelante en la sección 8.

La ilustración 20 muestra el resultado del script de rotación de rutas. Cada tramo corresponde a la subruta que deberá recorrer el repartidor y las columnas “INICIO” y “FIN” muestran a qué parada o cliente corresponden el inicio y fin de dicha subruta. En la columna “MOCHILA” vemos el total de volumen acumulado entre todos los clientes visitados. Una vez recorridos todos los tramos necesarios se cambia el punto de inicio (columna “INICIANDO EN”) y la columna repartidores nos muestra el total de repartidores necesarios para cumplir la totalidad de las entregas. La ilustración 21

muestra la representación gráfica de la ruta óptima a seguir indistintamente del sentido ni la cantidad de repartidores que sean necesarios.

TABLA RESULTADOS

INICIANDO EN	TRAMO	INICIO	FIN	MOCHILA	REPARTIDORES	TIEMPO SEGMENTO
1	1	1	5	0.062775	1	2169
1	2	6	16	0.047544000000000001	2	3110
1	3	17	19	0.047127	3	1851
1	4	20	30	0.0487140000000000014	4	3410
1	5	31	31	0.036	5	0
1	6	32	34	0.062382	6	2328
1	7	35	51	0.0446640000000000016	7	7519
2	1	1	5	0.062775	1	2169
2	2	6	16	0.0475440000000000001	2	3110
2	3	17	19	0.047127	3	1851
2	4	20	30	0.0487140000000000014	4	3410
2	5	31	31	0.036	5	0
2	6	32	34	0.062382	6	2328
2	7	35	51	0.0446640000000000016	7	7519
3	1	1	5	0.062775	1	1215
3	2	6	15	0.0450240000000000001	2	3134
3	3	16	18	0.047127	3	1851
3	4	19	29	0.0487140000000000014	4	3410
3	5	30	30	0.036	5	0
3	6	31	33	0.062382	6	2328
3	7	34	51	0.0471840000000000002	7	7779
4	1	1	5	0.053607	1	1243
4	2	6	14	0.0433920000000000001	2	2845
4	3	15	17	0.047127	3	1851
4	4	18	28	0.0487140000000000014	4	3410
4	5	29	29	0.036	5	0
4	6	30	32	0.062382	6	2328
4	7	33	51	0.0579840000000000002	7	8084
5	1	1	6	0.05936700000000000001	1	1560
5	2	7	14	0.060447	2	2294
5	3	15	26	0.06383400000000000002	3	4066
5	4	27	28	0.037632	4	1589
5	5	29	31	0.062382	5	2328
5	6	32	50	0.06050400000000000016	6	7942
5	7	51	51	0.00504	7	0
6	1	1	12	0.05006400000000000001	1	3554
6	2	13	15	0.047127	2	1851
6	3	16	26	0.04871400000000000014	3	3410
6	4	27	27	0.036	4	0
6	5	28	30	0.062382	5	2328
6	6	31	49	0.06050400000000000016	6	7942

Ilustración 20. Output de combinaciones entregadas por el script

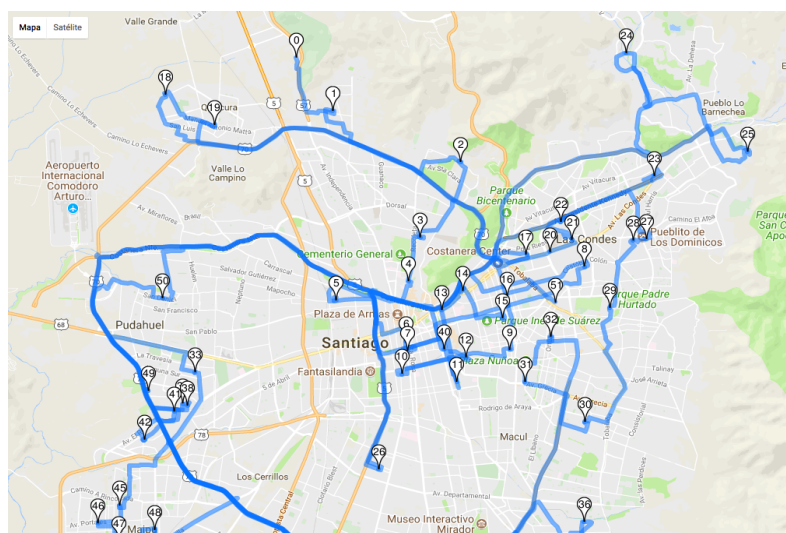


Ilustración 21. Render del aplicativo para generación de rutas óptimas

CAPÍTULO 7: GESTIÓN DEL CAMBIO

7.1 Contexto de la empresa

Rayo SPA cuenta con una cultura organización en la que se propicia siempre la eficiencia y la automatización. Se ha definido estratégicamente a nivel empresa que se debe buscar siempre la optimización para lograr ventajas competitivas en el mercado y es uno de los pilares internos el “dejar ir” cuando se trata de reemplazar soluciones por nuevas alternativas que sean mejores. Considerando lo anterior, el proceso de cambio para este proyecto es aceptado e impulsado por los socios de Rayo SPA. Es importante considerar que el equipo que será afectado por este cambio en términos de operaciones no está al tanto de estos valores ya que los socios de la empresa no han comunicado las estrategias oportunamente. La implementación de las soluciones propuestas en este documento deberán incluir procesos de capacitación y de difusión de valores y prácticas deseables al interior de la empresa.

7.2 Análisis de los principios de diseño

Utilizando como marco de referencia el Modelo Ontológico de Gestión del Cambio impartido en el Master in Business Engineering analizaremos los principales principios de diseño que deberán ser considerados para que el proceso de cambio sea exitoso.

7.2.1 Estrategia y sentido

Rayo SPA se presenta como una empresa que basa en su tecnología la posibilidad de escalar en un mercado en el que tradicionalmente es difícil hacerlo dada su gran componente de trabajos manuales y su alto apalancamiento en recursos humanos. En la medida en que Rayo SPA pueda operativizar las tareas manuales de manera automática la empresa estará generando ventajas en el mercado y de ahí la urgencia de este tipo de cambios.

7.2.2 Conservación

Durante los últimos 2 años un feedback recurrente por parte de los clientes de Rayo ha sido su capacidad para responder a las contingencias con un espíritu empático para apoyar en momentos en que los procesos por distintas razones se dejan de cumplir. Ese sello es algo que Rayo deberá conservar entendiéndose que las tareas automatizadas por sí solas no son garantía del éxito. Las herramientas propuestas en este proyecto deben ser facilitadores de las tareas sin embargo siempre el juicio y la calidad humana profesional se mantendrán como propuesta de valor para los clientes.

7.2.3 Estados de Ánimo

En Rayo trabajan a la fecha 10 “despachadores” y cada cual cuenta con diferentes experiencias laborales y grados educacionales así como visiones del negocio y de la experiencia del usuario. Se han detectado “grupos” que serán descritos con letras para mantener la confidencialidad.

- Grupo A: Actitud desconfiada, prefieren realizar manualmente el trabajo, no les gusta perder el control de aquellas tareas que realizan.
- Grupo B: Pro Cambio y falta de conocimientos técnicos. El grupo B desconoce los alcances de la tecnología y sus posibilidades pero está abierto a aprender y ser parte del cambio.
- Grupo C: Pro cambio y con conocimientos técnicos. El grupo c conoce los alcances de la tecnología y sus posibilidades. Está abierto a aprender, comunicar, impulsar y educar durante el cambio. Este equipo corresponde al equipo de jefaturas y socios.

7.2.4 Comunicaciones

Considerado el poco trabajo que se ha realizado en Rayo para compartir los pilares, valores e ideal de cultura organizacional lo que se realizará primeramente es una serie de reuniones presenciales de todo el equipo directivo para revisar y formalizar dichas definiciones.

Posteriormente se realizarán reuniones sucesivas que abarcarán los siguientes tópicos.

- ¿Qué es escalar una empresa?
 - El rol de la tecnología en el escalamiento.
- Impacto de la tecnología en la calidad de trabajo.
 - Trabajo manual v/s trabajo automatizado
 - ¿Dónde está el valor del trabajo de una persona?
- Capacidades de la tecnología
 - ¿Qué puede hacer la tecnología para ayudarme en mi día a día?
 - Tecnologías disponibles

7.2.5 Caracterización del cambio

Principalmente el cambio que se realizará es llevar culturalmente a una empresa que desconoce o que no encuentra valor en la optimización de procesos a una empresa convencida de las potencialidades y del impacto positivo que genera la adopción de nuevas tecnologías y procesos eficientes. Se espera que la empresa mantenga su espíritu resolutivo de problemas y centrado en el cliente pero que además todos los colaboradores sean capaces de ver, proponer y potenciar la eficiencia y mejora de procesos al interior de la empresa.

7.3 Factores críticos del éxito

Se define como factor crítico la capacidad del equipo de jefaturas y socios para comunicar efectivamente al resto del equipo así como el diseño coherente de las definiciones clave. Es muy crítico para el éxito también el poder seducir al equipo A dado su alto nivel de influencia (por antigüedad en la empresa principalmente) y poder generar la confianza en el equipo B para que sean capaces de comunicar y expresarse respecto a las ideas de mejora.

CAPÍTULO 8: EVALUACIÓN DEL PROYECTO

8.1 Plan Piloto

Con la finalidad de analizar las posibles eficiencias generadas por una asignación apoyada por tecnología se propone desarrollar e implementar la plataforma pero se presentan a continuación los resultados preliminares a partir de los desarrollos operativos a la fecha.

8.1.1 Resultados Obtenidos

Se desarrollaron 2 plataformas que permiten generar la ruta óptima e iterar en los distintos puntos de partida (rotación de las rutas). Se utilizaron para el ejercicio datos correspondientes a un día de operación con el cliente Linio Chile con 51 pedidos por entregar (ilustración 22) y la plataforma generó 349 sub rutas rutas posibles que pueden revisarse en detalle en el anexo M .

2 ;0.00252;260;1444	26 ;0.00504;170;1162	
3 ;0.0108;305;736	27 ;0.00252;219;1542	
4 ;0.00756;176;732	28 ;0.00252;222;1147	
5 ;0.039375;167;323	29 ;0.00252;146;876	
6 ;0.00252;77;1051	30 ;0.001632;272;1317	
7 ;0.00252;59;666	31 ;0.001632;344;1138	
8 ;0.001632;208;898	32 ;0.036;451;1037	
9 ;0.0108;384;993	33 ;0.030375;582;1383	
10 ;0.00252;509;881	34 ;0.001632;497;1010	
11 ;0.0108;204;1020	35 ;0.030375;448;1015	
12 ;0.00504;142;1098	36 ;0.00252;221;1000	
13 ;0.00252;249;565	37 ;0.003264;240;1163	
14 ;0.00252;116;951	38 ;0.003;572;911	
15 ;0.001632;256;866	39 ;0.001632;678;878	
16 ;0.00252;137;1269	40 ;0.00252;270;991	
17 ;0.00504;239;951	41 ;0.00252;173;1080	
18 ;0.030375;135;1084	42 ;0.001632;199;1102	
19 ;0.01512;451;1376	43 ;0.00252;127;877	48 ;0.001632;817;791
20 ;0.001632;316;1067	44 ;0.001632;112;1542	49 ;0.00252;178;1118
21 ;0.02025;149;841	45 ;0.00252;1063;1335	50 ;0.00252;734;1739
22 ;0.00252;273;1643	46 ;0.00252;24;1669	51 ;0.001632;951;860
23 ;0.00252;496;967	47 ;0.00504;63;686	52 ;0.00504;318;1310
24 ;0.00252;126;1083		
25 ;0.00504;301;1749		

Ilustración 22. Carga de repartos de entrega

La diferencia de tiempo máxima encontrada en las 349 subrutas para completar las 51 tareas corresponde a 0,801 (tabla 6) horas de un total de 7 horas como máximo para poder realizar las entregas del día.

Sólo 8 de las 349 rutas garantizan poder realizar las entregas con 6 repartidores en vez de 7 (tabla 7). Dichas rutas se encuentran detalladas en la tabla 8 con sus respectivos tiempos asociados.

Tabla 6: Diferencias relevantes en tiempo entre rutas propuestas

INCIO	TIEMPO (Segundos)	DETALLE	DESVIACIÓN TIEMPO RESPECTO AL MÍNIMO (HORAS)
46	67642	Máximo tiempo necesario	0.801
13	64757	Máximo tiempo necesario	0.00

Tabla 7: Diferencias relevantes en cantidad de repartidores entre rutas propuestas

INCIO	REPARTIDORES	% DESVIACIÓN REPARTIDORES RESPECTO AL MÍNIMO
MÚLTIPLES ORIGENES	7	16.67%
MÚLTIPLES ORIGENES	6	0

Una vez se aplica el criterio de punto de partida que considera el punto de partida como aquel más cercano al punto de recogida (revisar sección 5.3.7). De las soluciones posibles se selecciona aquella que tiene un tiempo total menor para completar la totalidad de los repartos.

Tabla 8: Comparación entre tiempos necesarios en rutas candidatas

REPARTIDORES	TIEMPO NECESARIO (SEGUNDOS)
6	65.553
6	65.674
6	65.997
6	66.128
6	66.160
6	66.195
6	66.526
6	66.651

Una vez realizada la selección se revisa la disponibilidad de recursos ociosos para poder re asignar rutas sin contar con repartidores adicionales utilizando el criterio de cercanía al punto de recogida descrito en la sección 5.3.11 de este informe.

Después de realizada la reasignación el número de repartidores necesarios para completar el total de las tareas disminuye a 3. Cada repartidor está representado por un color en la tabla 9 y cada uno de ellos considera la restricción de volumen en su mochila y además el máximo tiempo en el que los pedidos pueden ser entregados y se suma a cada segmento además el retorno necesario a el punto de entrega y el desplazamiento al nuevo inicio de subruta. La operación total de repartos considera por lo tanto 3 repartidores para completar 51 entregas.

Tabla 9: Re asignación de repartidores con capacidad ociosa

TRAMO	INICIO	FIN	REPARTIDORES	TIEMPO SEGMENTO	DEPOT INICIO	DEPOT FIN	TOTAL SEGMENTO	HORAS SEGMENTO	HORAS LIBRES	DISPONIBILIDAD PARA OTRO TRAMO	SEGMENTO Y VUELTA
3	22	23	3	1589	1138	1037	3389	0,94	6,06	SI	1,52
4	24	26	4	2328	1383	1015	5028	1,40	5,60	SI	1,96
6	46	51	6	1369	323	1310	6769	1,88	5,12	SI	2,06
1	1	9	1	2359	881	1084	10459	2,91	4,09	SI	3,39
2	10	21	2	4066	1376	1317	14866	4,13	2,87	SI	4,86
5	27	45	5	7942	1000	732	25042	6,96	0,04	NO	7,36

8.2 Definición de Beneficios Y Costos

Los beneficios asociados al proyecto provienen del ahorro en horas hombre del responsable de asignación y de la disminución en horas ociosas en la fuerza de reparto. Los costos de operar el proceso propuesto con la herramienta tecnológica consisten en servicios Cloud que se pagan por uso (costo operacional variable) y por último la inversión corresponde a la etapa de desarrollo y pruebas concentrados básicamente en horas hombre. Se consideran hundidos los costos de mantención del servidor de Rayo dado que el este desarrollo no tendrá efectos alguno en performance ni capacidad (el procesamiento es en modalidad Cloud y el almacenamiento es marginal dado que no consume recursos relevantes). El único costo relevante en lo que respecta a la fuerza de reparto corresponde a la cantidad de repartidores necesarios para realizar la operación de un día. En la medida en que el proceso propuesto aporte a la disminución de la cantidad de repartidores estamos frente a un ahorro importante para el objetivo estratégico de la empresa que estamos atacando con este proyecto. Vale la pena explicar que por cada repartidor que se sobreestima en la asignación manual se

generan pérdidas de aproximadamente 3.500 pesos por hora y estas se multiplican por cada día y por cada operación mal estimada.

8.3 Flujo de Caja

En la tabla 11 se muestra el flujo de caja resumido proyectado para 2 años con sus respectivos indicadores. En el anexo C se puede encontrar el resumen del flujo de caja aperturado por meses y años. Para determinar la tasa de descuento para la evaluación del proyecto se utilizará el modelo CAPM y un factor de riesgo sistemático de valor 1,1, determinado por la consultora DADNEO para la valorización de la empresa Rayo S.p.A. La memoria de cálculo del modelo CAPM se puede apreciar en la tabla 10.

Tabla 10: Cálculo de modelo CAPM

$r = rLR + p$	
Tasa libre de riesgo anual real	2.45%
Tasa de rentabilidad del mercado anual real	10.30%
Beta (riesgo sistemático)*	1.10
Tasa de descuento ajustada	
$r = rLR + B * (rM - rLR)$	11.09%

Tabla 11: Flujo de caja resumido del proyecto

PROYECCIÓN CRECIMIENTO PESIMISTA		900	900	109,000	168,000
PRECIO GOOGLE D&T MATRIX	32				
CONCEPTO / PERIODO		dic. 17	2,017	2,018	2,019
INGRESOS ASOCIADOS AL PROYECTO		0	0	43,550,000	64,200,000
AHORROS HH GERENTE OPERACIONES			0	5,400,000	5,400,000
AHORROS HH REPARTIDORES			0	38,150,000	58,800,000
EGRESOS ASOCIADOS AL PROYECTO		-3,600,000	-3,600,000	-6,888,000	-5,376,000
INVERSIONES		-3,600,000	-3,600,000	-3,400,000	0
HH SUPERVISION		-600,000	-600,000	-600,000	0
HH PRUEBAS DE PLATAFORMA		-600,000	-600,000	-600,000	0
DESARROLLO DE SOFTWARE		-2,400,000	-2,400,000	-2,200,000	0
COSTOS OPERACIONALES			0	-3,488,000	-5,376,000
D&T MATRIX			0	-3,488,000	-5,376,000
TOTAL		-3,600,000	-3,600,000	36,662,000	58,824,000
DEPRECIACIÓN				-3,500,000	-3,500,000
TOTAL		-3,600,000	-3,600,000	33,162,000	55,324,000
IMPUESTOS					-14,937,480
TOTAL		-3,600,000	-3,600,000	33,162,000	40,386,520
TOTAL FLUJOS	69,948,520				

8.3.1 Indicadores De Evaluación Del Proyecto

De acuerdo al criterio del VPN el proyecto vale la pena de ser realizado y además pasa positivamente los criterios de razón costo beneficio, Índice de rentabilidad y TIR en los 3 escenarios que se analizaron para este ejercicio.

- Escenario 1 (Negativo): Disminución de un 10% en facturación del cliente y aumento en un 10% de los costos variables (Time and Distance Matrix)
- Escenario 2 (Intermedio): Mantención en la facturación del cliente y mantención en los costos variables (Servicio Time and Distance Matrix)
- Escenario 3 (Positivo): Aumento de un 20% en facturación y mantención en los costos variables (Servicio Time and Distance Matrix)

El proyecto no considera inversiones posteriores y los beneficios que genera trascienden al corto plazo por ser aplicables de manera recurrente sin generar costos relevantes asociados y esto explica en parte el alto valor de la TIR del proyecto.

Tabla 12: Tabla resumen de los indicadores financieros del proyecto

VPN	58,981,277
VPN (tasa descuento 0)	69,948,520
$r = rLR + p$	
Tasa libre de riesgo anual nominal	2.45%
Tasa de rentabilidad del mercado anual nominal	10.30%
Beta (riesgo sistemático)*	1.10
Tasa de descuento ajustada	
$r = rLR + B * (rM - rLR)$	11.09%
Razón beneficio/costo	7.16
Índice de rentabilidad	22.41
TIR	1059.33%
Periodo de recuperación	5 meses

CAPÍTULO 9: CONCLUSIONES

El presente proyecto tiene como objetivo estratégico la disminución de los costos directos de repartidores que en el caso de la operación de Rayo SPA corresponden a más de un 70% del costo total. La solución propuesta para cumplir este objetivo se puede resumir en las siguientes partes:

1. Creación de un modelo matemático que garantiza la generación de una ruta óptima .
2. Creación un aplicativo que permite iterar entre todos los puntos de partida posibles para minimizar el tiempo máximo requerido y minimizar además la cantidad de repartidores considerando restricciones de tiempo de entrega y volumen en las mochilas de reparto.
3. Reasignación de capacidad ociosa para disminuir la cantidad de repartidores necesaria.

Los resultados entregados por la solución permiten determinar automáticamente la ruta óptima así como el punto de partida específico dentro de ella que minimiza los tiempos y cantidad de personal. Esta solución se logra a través de un método de “rotación de rutas” en el que se evalúa el tiempo y recursos necesarios para completar las entregas de un día partiendo desde cada uno de los puntos de entrega a través de la iteración.

9.1 Resultados preliminares de la solución

Los resultados obtenidos para un set de datos de 51 repartos demuestran que la solución es capaz de discriminar aquellas rutas que requieren más repartidores generando eficiencias del 16% en costos directos asociados a remuneraciones de repartidores. Adicionalmente debemos considerar que esta solución genera eficiencias en el uso de las horas hombre de los encargados de generar las rutas ya que actualmente este proceso se realiza manualmente y sólo basado en la experiencia de los operarios.

9.2 Resultados para nuevos set de datos

Con la finalidad de validar los resultados preliminares obtenidos se han considerado los siguientes 5 nuevos sets de datos

1. Día lunes 14 de mayo de 2018: 50 entregas
2. Día martes 15 de mayo de 2018: 50 entregas
3. Día miércoles 16 de mayo de 2018: 29 entregas
4. Día jueves 17 de mayo de 2018: 36 entregas
5. Día viernes 18 de mayo de 2018: 33 entregas

En la totalidad de los casos, el modelo generó una ruta óptima y entregó como resultado soluciones que requieren menos repartidores para completar cada una de las entregas. La tabla 13 muestra en detalle los resultados obtenidos donde el porcentaje de ahorro corresponde al costo asociado a la cantidad de repartidores necesarios para una operación no eficiente. Las soluciones eficientes corresponden a la cantidad de combinaciones posibles que entregan un mínimo de repartidores necesarios para cumplir con todas las entregas.

En la mayoría de los casos analizados, la probabilidad de encontrar una solución eficiente sin apoyo de tecnología es bastante dispersa y esto se debe principalmente a la gran cantidad de combinaciones posibles considerando direcciones de clientes y las dimensiones de los productos que deben recibir. Llama particularmente la atención el caso del día 17 de mayo donde existe sólo una solución que minimiza la cantidad de repartidores necesarios de un total de 36 puntos de partida posibles. La ilustración 23 muestra la ruta óptima generada para dicho para entender el orden en que se deberían realizar las entregas.

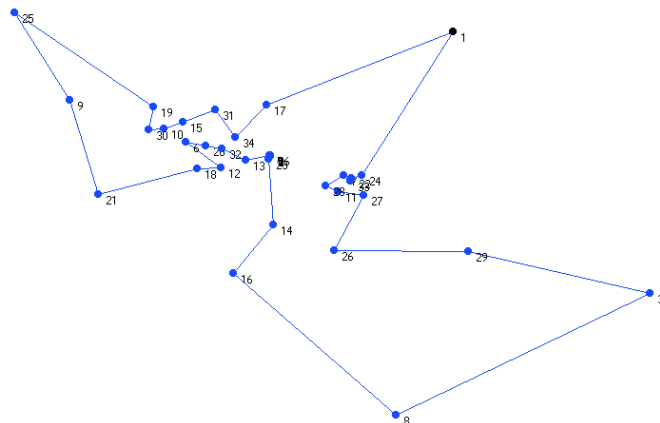


Ilustración 23. Orden de entregas que se debe seguir para cumplir la ruta óptima

A partir de las soluciones eficientes siempre podemos encontrar una solución óptima seleccionando aquella que minimiza el tiempo total necesario para finalizar la ruta. Los ahorros posibles gracias a la selección de rutas eficientes sin embargo presentan desviaciones mucho más pequeñas que corresponden a ahorros en repartidores de entre 1 y 3 personas menos para completar la operación de un día específico.

Probabilidad media de encontrar soluciones eficientes = 28,52

Desviación estándar de soluciones eficientes = 30,84%

Desviación estándar de porcentajes de ahorro = 3,61%

Tabla 13: Tabla resumen de resultados obtenidos para los nuevos sets de datos

DIA	TOTAL ENTREGAS	ITERACIONES	SOLUCIONES EFICIENTES	% SOLUCIONES EFICIENTES	MAXIMO REPARTIDORES	MINIMO REPARTIDORES	% DE AHORRO
14 de mayo de 2018	50	354	2	4.0%	8	6	25%
15 de mayo de 2018	50	387	13	26.0%	9	7	22%
16 de mayo de 2018	29	136	9	31.0%	5	4	20%
17 de mayo de 2018	36	396	1	2.8%	12	10	17%
18 de mayo de 2018	33	171	26	78.8%	6	5	17%

9.3 Conclusiones finales

Es un inmenso aprendizaje para la empresa entender el orden de magnitud de las combinaciones las posibles subrutas ya que permite validar el hecho de que difícilmente se podrá iterar manualmente para llegar a soluciones eficientes más aún considerando que se esperan aumentos considerables en la operación.

El set de datos utilizado inicialmente generó 349 iteraciones diferentes para los 50 puntos de partida y sólo 8 de ellas corresponden a soluciones que minimizan la cantidad de repartidores y es por supuesto demoroso analizar y encontrar dichas rutas para una persona sin apoyo tecnológico. Por otro lado, es tentador pensar en aplicar estas eficiencias y capacidades al resto de las operaciones y a las diferentes modalidades en que la empresa se desempeña.

El proceso propuesto sin embargo, sólo considera la entrega de productos con una recogida y múltiples entregas (1 a N) y no considera la oportunidad de optimizar los repartos con flotas heterogéneas, es decir con capacidades diferentes (camiones, camionetas, bicicletas y otras alternativas que pudieran existir). Esto es algo deseable

para el futuro que otorgaría gran valor a la compañía que esta ya se encuentra explorando nuevas opciones de vehículos.

Posteriormente a la obtención de los resultados preliminares y con el objetivo de validar las lógicas aplicadas se ejecutó el proceso para 5 nuevos sets de datos correspondientes a 5 días de una semana laboral. En todos los casos se consiguieron soluciones eficientes que presentan disminuciones promedio en los costos cercanas al 20%. Estos resultados por si solos ya justifican la implementación de la solución propuesta en el proceso de asignación.

Finalmente, la reasignación manual del personal que aún tiene horas laborales disponibles después de finalizadas las entregas de su trayecto asignado disminuye notablemente de 6 a 3 repartidores el total necesario en el set de pruebas iniciales. Esto resulta muy atractivo considerando que en la entrega real se utilizaron de hecho 6 repartidores lo que significa una disminución potencial del 50% de costos. Es deseable considerar para trabajos futuros la automatización de dicho proceso ya que a pesar de no ser un proceso demoroso para el caso presentado en este informe, podría serlo en una escala mucho mayor de operaciones.

CAPÍTULO 10: BIBLIOGRAFÍA

1. Baumgartner, L.; Schmid, V.; Blum, C. (2011), Solving the two-dimensional bin packing problem with a probabilistic multi-start heuristic, *Lecture Notes in Computer Science. Vol. 6683. 76-90.*
2. Barros, Oscar (2004). Business Process Patterns and Frameworks: Reusing Knowledge
3. Barros, Oscar (2011). Ingeniería de Negocios, Diseño Integrado de Negocios, Procesos y Aplicaciones TI, Segunda Parte, v. 5.0, U. de Chile.
4. Bodin L, Golden B, Assad A, Ball M (1983). Routing and scheduling of vehicles and crews – the state of the art. *Computers & Operations Research* 63–211
5. C. E. Miller, A. W. Tucker, and R. A. Zemlin (1960), Integer Programming Formulations and Traveling Salesman Problems, *Journal of the Association for Computing Machinery* 7, 326-329
6. Clarke G, Wright W (1964). Scheduling of vehicles from a central depot to a
7. Dantzig, G. and J. Ramser (1959), The truck dispatching problem, *Management Science*, 6 , 80-91
8. El-Sherbeny (2010), Vehicle routing with time windows: An overview of exact heuristics and metaheuristics methods. *Journal of King Saud University: Computer and Information Sciences*, 22(3), 123 -131
9. Glover F, Laguna M (1999). *Tabu search I. 10.1287/ijoc.1.3.190.*
10. Hax, Arnaldo C. and Wilde, Dean L., The Delta Model -- Toward a Unified Framework of Strategy (September 2002). MIT Sloan Working Paper No. 4261-02.
11. Karp M (1972), Reducibility Among Combinatorial Problem , *Complexity of Computer Computations pp 85-103*
12. Macaya F (2012). ¿Existe una Oportunidad de negocio en el despacho a domicilio tipo Courier? (Tesis de pregrado). Universidad de Chile, Santiago, Chile.
13. Olivera (2004), Heurísticas para Problemas de Ruteo de Vehículos
14. Osterwalder, A. (2004) The Business Model Ontology—A Proposition in a Design Science Approach. PhD Thesis, University of Lausanne, Switzerland.
15. Porter, M. E. The Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance. NY: Free Press, 1985.
16. Povlovitsch M, Bergsten A (2013), “Column Generation for a Multitrip Vehicle Routing Problem with Time Windows, Driver Work Hours, and Heterogeneous Fleet,” *Mathematical Problems in Engineering*, vol. 2013
17. Solomon M.M. (1995). *Algorithms for the vehicle routing problem with time windows. Transportation Science*, 29(2), pp. 156-166
18. Tromben, C., Lever, G., y Cruz, M.D.P. (2016) Tendencias del Retail en Chile · 2016. Recuperado del sitio de la Cámara de Comercio de Santiago: https://www.ccs.cl/prensa/2016/01/tendencias_retail_2016_WEB.PD

CAPÍTULO 11: ANEXOS

Anexo A: Panel para solicitud de repartidores

The screenshot shows a web application interface for creating a new order. The interface is in Spanish and includes a sidebar with navigation options like 'Realizar pedido', 'Lugar favorito', and 'Historial de pedidos'. The main area is titled 'Nuevo orden' and contains two sections: 'Recoger' (Pickup) and 'Entrega' (Delivery). Each section has fields for name, email, phone number, and address, along with a reference image field. A map on the right shows a street view of a city area with two orange location pins.

Anexo B: Formato de consultas de direcciones para la API Maps de Google.

Field	Description	Example
ST_NUM	Street Number	125
ST_NAME	Street Name and Type (the words <i>Street</i> , <i>Avenue</i> , etc., can be abbreviated)	Powell St
NEIGHBH (optional)	Neighborhood Name	Union Square
CITY	City Name	San Francisco
STATE	State (Two Letter Abbreviation)	CA
ZIP	5-digit zip code	94108
CNT_NAME (optional)	County Name	San Francisco

Google Inc. (2017). Recuperado desde

<https://support.google.com/mapcontentpartners/answer/160409?hl=en>

Anexo C: Resumen del flujo de caja del proyecto

PROYECCIÓN CRECIMIENTO PESIMISTA		900	900	6,000	6,000	6,000	7,000	8,000	9,000	9,000	9,000	10,000	13,000	13,000	13,000	109,000	168,000
PRECIO GOOGLE D&T MATRIX	32																
CONCEPTO / PERIODO		dic. 17	2,017	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	2,018	2,019
INGRESOS ASOCIADOS AL PROYECTO		0	0	2,550,000	2,550,000	2,550,000	2,900,000	3,250,000	3,600,000	3,600,000	3,600,000	3,950,000	5,000,000	5,000,000	5,000,000	43,550,000	64,200,000
AHORROS HH GERENTE OPERACIONES		0	0	450,000	450,000	450,000	450,000	450,000	450,000	450,000	450,000	450,000	450,000	450,000	450,000	5,400,000	5,400,000
AHORROS HH REPARTIDORES		0	0	2,100,000	2,100,000	2,100,000	2,450,000	2,800,000	3,150,000	3,150,000	3,150,000	3,500,000	4,550,000	4,550,000	4,550,000	38,150,000	58,800,000
EGRESOS ASOCIADOS AL PROYECTO		-3,600,000	-3,600,000	-3,592,000	-192,000	-192,000	-224,000	-256,000	-288,000	-288,000	-288,000	-320,000	-416,000	-416,000	-416,000	-6,888,000	-5,376,000
INVERSIONES		-3,600,000	-3,600,000	-3,400,000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-3,400,000	0
HH SUPERVISION		-600,000	-600,000	-600,000												-600,000	0
HH PRUEBAS DE PLATAFORMA		-600,000	-600,000	-600,000												-600,000	0
DESARROLLO DE SOFTWARE		-2,400,000	-2,400,000	-2,200,000												-2,200,000	0
COSTOS OPERACIONALES		0	0	-192,000	-192,000	-192,000	-224,000	-256,000	-288,000	-288,000	-288,000	-320,000	-416,000	-416,000	-416,000	-3,488,000	-5,376,000
D&T MATRIX		0	0	-192,000	-192,000	-192,000	-224,000	-256,000	-288,000	-288,000	-288,000	-320,000	-416,000	-416,000	-416,000	-3,488,000	-5,376,000
TOTAL		-3,600,000	-3,600,000	-1,042,000	2,358,000	2,358,000	2,676,000	2,994,000	3,312,000	3,312,000	3,312,000	3,630,000	4,584,000	4,584,000	4,584,000	36,662,000	58,824,000
DEPRECIACIÓN				-291,667	-291,667	-291,667	-291,667	-291,667	-291,667	-291,667	-291,667	-291,667	-291,667	-291,667	-291,667	-3,500,000	-3,500,000
TOTAL		-3,600,000	-3,600,000	-1,333,667	2,066,333	2,066,333	2,384,333	2,702,333	3,020,333	3,020,333	3,020,333	3,338,333	4,292,333	4,292,333	4,292,333	33,162,000	55,324,000
IMPUESTOS																	-14,937,480
TOTAL		-3,600,000	-3,600,000	-1,333,667	2,066,333	2,066,333	2,384,333	2,702,333	3,020,333	3,020,333	3,020,333	3,338,333	4,292,333	4,292,333	4,292,333	33,162,000	40,386,520
TOTAL FLUJOS		69,948,520															

VPN	58,981,277
VPN (tasa descuento 0)	69,948,520
$r = rLR + p$	
Tasa libre de riesgo anual real	2.45%
Tasa de rentabilidad del mercado anual real	10.30%
Beta (riesgo sistemático)*	1.10
Tasa de descuento ajustada	
$r = rLR + B * (rM - rLR)$	11.09%
Razón beneficio/costo	7.16
Indice de rentabilidad	22.41
TIR	1059.33%
Periodo de recuperación	5 meses

VPN	58,981,277
VPN (tasa descuento 0)	69,948,520
Razón beneficio/costo	7.16
Indice de rentabilidad	22.41
TIR	1059.33%
Periodo de recuperación	5 meses

Anexo D: Acuerdo de servicio de Google maps.



Google Maps—Service Level Agreement (“Maps API SLA”)

Service Level Agreement. Google will use reasonable commercial efforts to provide Maps API web and mobile interfaces that are operating and available to Customers 99.9% of the time in any calendar month. In the event Customer experiences any of the Service performance issues defined below due to the unavailability of Services, Customer will be eligible to receive Service Credits.

Customer Service Credit Request. In order to receive Service Credits, Customer must notify Google within thirty (30) days from the time Customer believes it is eligible to receive a Service Credit. Failure to comply with this requirement will forfeit Customer's right to receive a Service Credit.

Maximum Service Credit. The aggregate maximum number of Service Credits to be issued by Google to Customer for any and all Downtime Periods that occur in a single calendar month will not exceed fifteen days of Service added to the end of Customer's term for the Service. Service Credits may not be exchanged for, or converted to, monetary compensation.

Maps API SLA Exclusions. The Maps API SLA does not apply to any Service(s) that expressly exclude this Maps API SLA (as stated in the documentation for such services) and any performance issues: (i) caused by factors outside of Google's reasonable control; (ii) that resulted from any actions or inactions of Customer or any third parties; or (iii) that resulted from Customer's equipment and/or third party equipment (not within the primary control of Google). This Maps API SLA states Customer's sole and exclusive remedy for any failure by Google to meet this Maps API SLA.

Definitions. The following definitions apply to this Maps API SLA.

"Application" means one of the mobile applications authorized to use a static build of the Google Maps Android API or the Google Maps SDK for iOS.

"Downtime" means, for a Domain or Application, if average latency is greater than three seconds. Downtime is measured based on server side error rate.

"Downtime Period" means, for a Domain, a period of ten consecutive minutes of Downtime. Intermittent Downtime for a period of less than ten minutes will not be counted towards any Downtime Periods.

"Monthly Uptime Percentage" means total number of minutes in a calendar month minus the number of minutes of Downtime suffered from all Downtime Periods in a calendar month, divided by the total number of minutes in a calendar month.

"Scheduled Downtime" means those times where Google notifies Customers of periods of Downtime seven days prior to the commencement of such Downtime. There will be no more than twelve hours of Scheduled Downtime per calendar year. Scheduled Downtime is not considered Downtime for purposes of this Maps API SLA, and will not be counted towards any Downtime Periods.

"Domain" means one of the sites or URLs authorized to use an individual Maps API client id, for example www.google.com.

"Service" means the Google Maps API road and satellite imagery provided by Google to Customer under the Google Maps APIs Premium Plan Agreement. Geocoding features of the Maps API are not covered herein.

"Service Credit" means: (a) three days of Service added to the end of Customer's term for the Service, at no charge to Customer, if the Monthly Uptime Percentage for any calendar month is between 99.0% and 99.9%; or (b) seven days of Service added to the end of Customer's term for the Service, at no charge to Customer, if the Monthly Uptime Percentage for any calendar month is between 99.0% and 95.0 %; or (c) fifteen days of Service added to the end of Customer's term for the Service, at no charge to Customer, if the Monthly Uptime Percentage for any calendar month is less than 95.0%.

Google Inc. (2017). *Service Level Agreement (“Maps API SLA”)* Recuperado de <https://enterprise.google.com/maps/terms/maps-sla.html>).

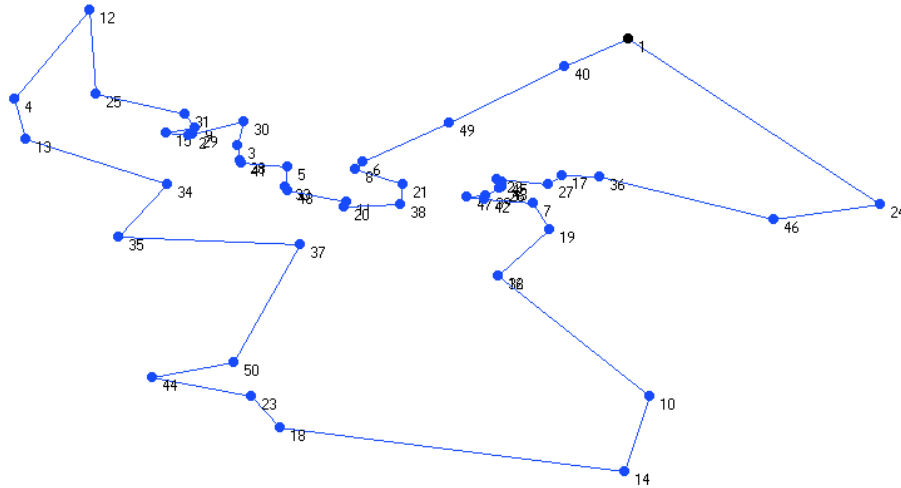
Anexo E: Algoritmo de asignación de rutas y rotación de pedidos

```
function moveIdToTop(jsonarray, id) { // Función para la rotación de la ruta
for (var i = 0; i < jsonarray.length; ++i) {
    if (jsonarray[i].id == id) {
        var temp = jsonarray[i];
        jsonarray.splice(i, 1);
        jsonarray.unshift(temp);
        break;
    }
}
}
function rendereaResultados (a,b) { // Función para desplegar resultados en pantalla }
largo=Object.keys(base).length;
constanecastigoentrega=900;
valorpartida=(parseInt(largo)+1) ;
function fullLoop(){
    for (i = 0; i < (largo ); i++) { //Para cada punto de partida
        mochila=0;inicio=1;fin=0;mochila=0;tiempo=0;repartidores=0;tramo=0;
        if (i > 0) { //Para segundo y posteriores puntos de partida
            valorpartida=1;
            moveIdToTop(base,valorpartida); // Circula la ruta
            loopea();} else // Para el primer punto de partida
            {
                valorpartida=1;
                loopea();
                valorpartida=(parseInt(largo)+1) ; } } }
function loopea(i){ // Calcula info para ruta partiendo de i
castigoentrega=900;
castigodepot=1500;
inicio=1
fin=0
mochila=0.00000
maximo=0.07
tiempo=0;
repartidores=0;
tramo=0;
for (x in base) {
    fin=(parseInt(x)+1);
    curitem=base[x].item;
    if (base[(parseInt(x)-1)]!=undefined) {
        previtem= base[(parseInt(x)-1)].item;
    }else{previtem=0;
        if (base[(parseInt(x)+1)]!=undefined) {
            nextitem= base[(parseInt(x)+1)].item;
        }else {nextitem=0}
    mochila+=base[x].item;
    tiempo+=base[x].tiempo;
    if ( base.length ==(parseInt(x)+1)) {
        rendereaResultados(inicio, fin);}
    else {
        //supera el máximo al sumarle nextitem
        if( (mochila+parseFloat(nextitem))>parseFloat(maximo)) {
            rendereaResultados(inicio, fin);
            mochila=0;
            tiempo=0;
            inicio=(parseInt(fin)+1); }
        else {
            console.log("no supera el máximo");
        } } } } ;
```

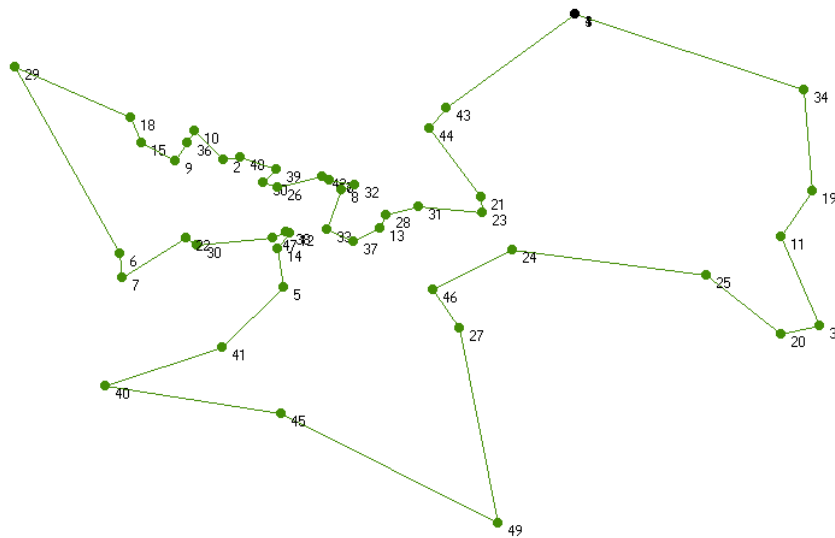
Anexo F: Links a la descripción de productos de tecnologías usadas

1. Microsoft distance matrix api: <https://www.microsoft.com/en-us/maps/distance-matrix>)
2. Google Maps Geocoding API (<https://developers.google.com/maps/documentation/geocoding/intro>)

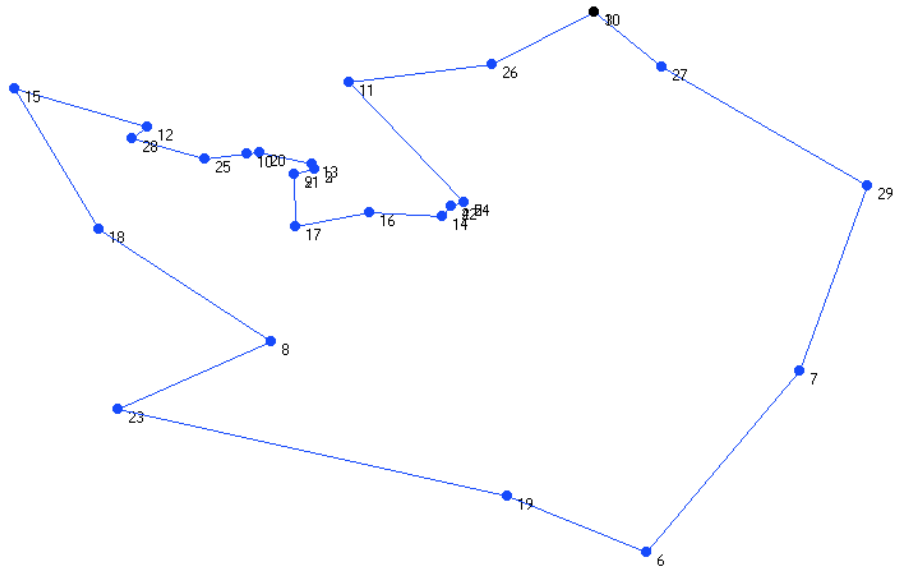
Anexo G: Rutas óptimas generadas para día lunes de la semana de pruebas



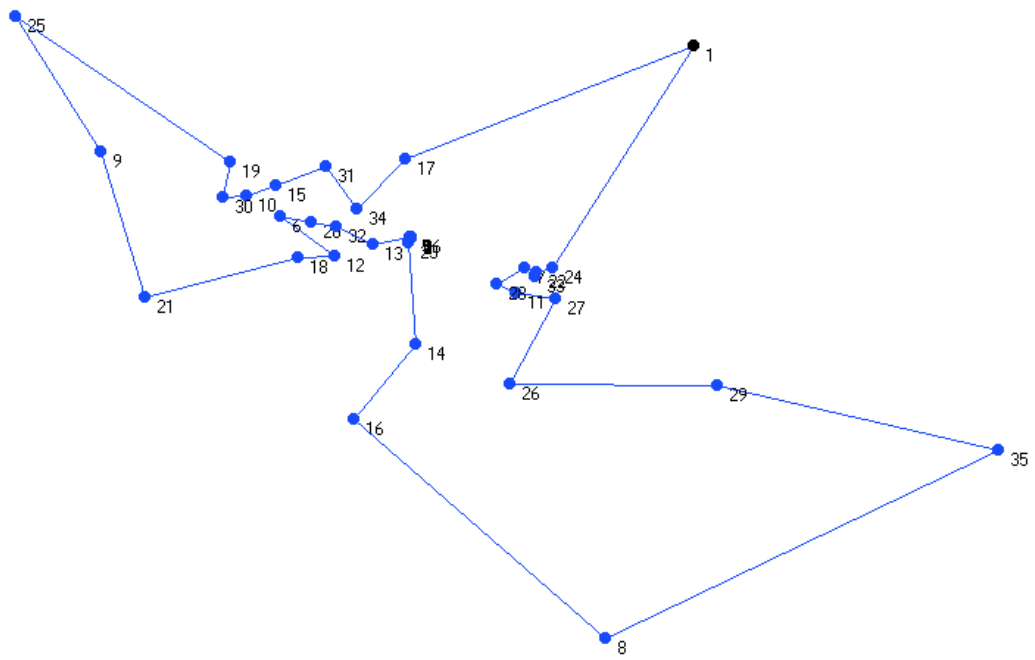
Anexo H: Rutas óptimas generadas para día martes de la semana de pruebas



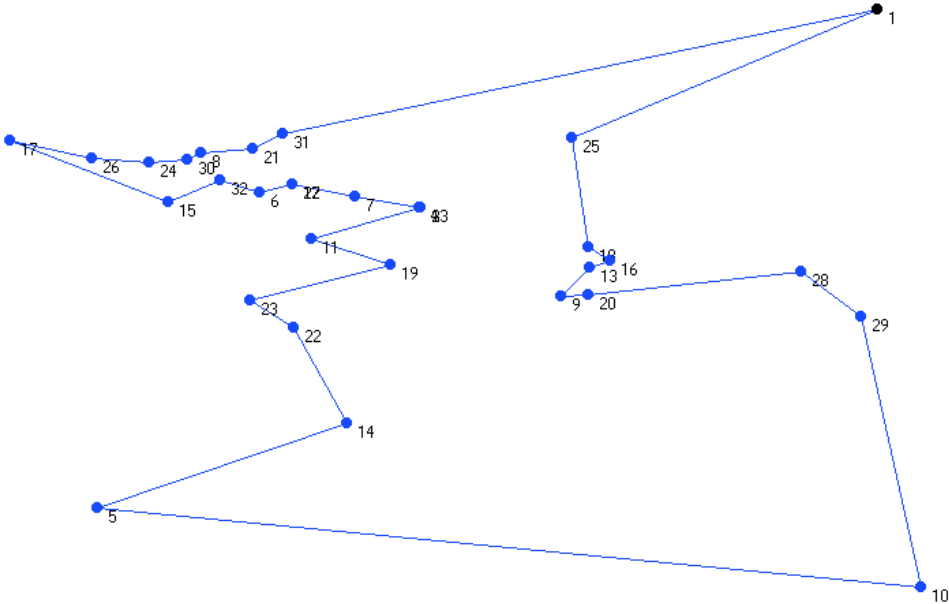
Anexo I: Rutas óptimas generadas para día miércoles de la semana de pruebas



Anexo J: Rutas óptimas generadas para día jueves de la semana de pruebas



Anexo K: Rutas óptimas generadas para día viernes de la semana de pruebas



Anexo L: Output del software de optimización para rutas óptimas

RUTAS ÓPTIMAS

LUNES			MARTES			MIÉRCOLES			JUEVES			VIERNES		
1	0	0.01	1	0	0.01	1	0	0.11				1	0	0.01
8	8	0.02	8	8	0.01	7	7	0.10	1	0	0.03	7	7	0.01
21	21	0.03	32	32	0.04	29	29	0.09	28	28	0.01	27	27	0.00
22	22	0.00	44	44	0.01	27	27	0.03	7	7	0.00	12	12	0.01
45	45	0.00	43	43	0.06	30	30	0.04	22	22	0.00	6	6	0.01
43	43	0.00	4	4	0.00	26	26	0.04	24	24	0.01	32	32	0.01
26	26	0.01	3	3	0.08	11	11	0.07	33	33	0.01	15	15	0.04
39	39	0.00	34	34	0.05	5	5	0.00	11	11	0.01	17	17	0.02
42	42	0.01	19	19	0.03	24	24	0.00	27	27	0.04	26	26	0.01
47	47	0.02	11	11	0.03	22	22	0.00	26	26	0.06	24	24	0.01
38	38	0.02	25	25	0.04	4	4	0.01	29	29	0.08	30	30	0.00
11	11	0.00	35	35	0.01	14	14	0.02	35	35	0.14	8	8	0.01
20	20	0.03	20	20	0.13	16	16	0.02	8	8	0.12	21	21	0.01
37	37	0.04	49	49	0.09	17	17	0.03	16	16	0.04	31	31	0.05
48	48	0.00	45	45	0.04	9	9	0.00	14	14	0.04	25	25	0.05
33	33	0.01	41	41	0.04	21	21	0.01	12	12	0.01	18	18	0.01
5	5	0.01	40	40	0.06	3	3	0.00	18	18	0.02	16	16	0.00
41	41	0.00	7	7	0.01	2	2	0.00	20	20	0.01	13	13	0.01
28	28	0.01	6	6	0.02	13	13	0.02	6	6	0.01	9	9	0.00
3	3	0.02	22	22	0.01	20	20	0.00	10	10	0.01	20	20	0.04
30	30	0.01	30	30	0.02	10	10	0.01	30	30	0.05	28	28	0.02
9	9	0.00	47	47	0.01	25	25	0.02	21	21	0.07	29	29	0.12
29	29	0.00	14	14	0.02	28	28	0.01	9	9	0.06	10	10	0.14
2	2	0.01	5	5	0.05	12	12	0.04	25	25	0.09	5	5	0.06
15	15	0.01	46	46	0.02	15	15	0.08	19	19	0.02	14	14	0.04
31	31	0.03	27	27	0.04	18	18	0.08	15	15	0.02	22	22	0.01
25	25	0.06	24	24	0.02	8	8	0.06	31	31	0.02	23	23	0.03
12	12	0.07	23	23	0.01	23	23	0.12	17	17	0.03	19	19	0.02
4	4	0.03	21	21	0.02	19	19	0.05	34	34	0.01	11	11	0.02
13	13	0.05	31	31	0.01				32	32	0.01	33	33	0.00
34	34	0.04	28	28	0.01				13	13	0.01	2	2	0.00
35	35	0.10	13	13	0.01				23	23	0.00	5	5	0.00
44	44	0.03	37	37	0.01				5	5	0.00	36	36	0.00
50	50	0.02	33	33	0.01				36	36	0.00	2	2	0.00
23	23	0.02	12	12	0.00				2	2	0.00	3	3	0.00
18	18	0.10	38	38	0.02				3	3	0.00	4	4	0.00
14	14	0.05	26	26	0.00				4	4	0.00			
10	10	0.09	50	50	0.03									
32	32	0.00	9	9	0.01									
16	16	0.04	15	15	0.06									
19	19	0.02	29	29	0.05									
7	7	0.01	18	18	0.02									
27	27	0.01	10	10	0.01									
17	17	0.01	36	36	0.01									
36	36	0.06	2	2	0.01									
46	46	0.03	48	48	0.01									
24	24	0.13	39	39	0.01									
40	40	0.05	42	42	0.00									
49	49	0.04	16	16	0.00									
6	6	0.00	17	17	0.00									

Anexo M: Extracto del resultado de rutas posibles entregadas por el algoritmo de iteración

TABLA RESULTADOS

INICIANDO EN	TRAMO	INICIO	FIN	MOCHILA	REPARTIDORES	TIEMPO SEGMENTO	ENTREGAS SEGMENTO	CASTIGO ENTREGA SEGMENTO	TIEMPO A DEPOT SEGMENTO	DEPOT INICIO	DEPOT FIN	TOTAL SEGMENTO
1	1	1	5	0.062775	1	2169	5	4500	1444	1444	1051	6669
1	2	6	16	0.047544000000000001	2	3110	11	9900	866	666	951	13010
1	3	17	19	0.047127	3	1851	3	2700	1084	1084	1067	4551
1	4	20	30	0.0487140000000000014	4	3410	11	9900	841	841	1138	13310
1	5	31	31	0.038	5	1037	1	900	1037	1037	1937	1937
1	6	32	34	0.062382	6	2328	3	2700	1383	1383	1015	5028
1	7	35	51	0.0446640000000000016	7	7519	17	15300	1000	1000	1310	22819
2	1	1	5	0.062775	1	2169	5	4500	1444	1444	1051	6669
2	2	6	16	0.0475440000000000001	2	3110	11	9900	866	666	951	13010
2	3	17	19	0.047127	3	1851	3	2700	1084	1084	1067	4551
2	4	20	30	0.0487140000000000014	4	3410	11	9900	841	841	1138	13310
2	5	31	31	0.038	5	1037	1	900	1037	1037	1937	1937
2	6	32	34	0.062382	6	2328	3	2700	1383	1383	1015	5028
2	7	35	51	0.0446640000000000016	7	7519	17	15300	1000	1000	1310	22819
3	1	1	5	0.062775	1	1215	5	4500	736	736	666	5715
3	2	6	15	0.0450240000000000001	2	3134	10	9000	898	898	951	12134
3	3	16	18	0.047127	3	1851	3	2700	1084	1084	1067	4551
3	4	19	29	0.0487140000000000014	4	3410	11	9900	841	841	1138	13310
3	5	30	30	0.038	5	1037	1	900	1037	1037	1937	1937
3	6	31	33	0.062382	6	2328	3	2700	1383	1383	1015	5028
3	7	34	51	0.0471840000000000002	7	7779	18	16200	1000	1000	1310	23979
4	1	1	5	0.053607	1	1243	5	4500	732	732	898	5743
4	2	6	14	0.0433920000000000001	2	2845	9	8100	993	993	951	10945
4	3	15	17	0.047127	3	1851	3	2700	1084	1084	1067	4551
4	4	18	28	0.0487140000000000014	4	3410	11	9900	841	841	1138	13310
4	5	29	29	0.038	5	1037	1	900	1037	1037	1937	1937
4	6	30	32	0.062382	6	2328	3	2700	1383	1383	1015	5028
4	7	33	51	0.0579840000000000002	7	8084	19	17100	1000	1000	1310	25184
5	1	1	6	0.0593670000000000001	1	1560	6	5400	323	323	881	6960
5	2	7	14	0.060447	2	2294	8	7200	1020	1020	1084	9494
5	3	15	26	0.0638340000000000002	3	4066	12	10800	1376	1376	1317	14866
5	4	27	28	0.037632	4	1589	2	1800	1138	1138	1037	3389
5	5	29	31	0.062382	5	2328	3	2700	1383	1383	1015	5028
5	6	32	50	0.0605040000000000016	6	7842	19	17100	1000	1000	732	25042
5	7	51	51	0.00504	7	1310	1	900	1310	1310	1310	2210