

Universidad de Valparaíso
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil Industrial



**Propuesta para la disminución de Huella de Carbono producida
en Planta Quilicura de Compañía Cervecerías Unidas – CCU Chile
S.A.**

por

Rodrigo Javier Badilla Cerda

Víctor Manuel Díaz Troncoso

Trabajo de Título para optar al Grado de Licenciado en Ciencias de la Ingeniería y título
de Ingeniero Civil Industrial

Prof. Guía Verónica Morales Cárdenas

Mayo de 2017

AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIAS

A Dios. *Por haberme permitido llegar hasta este punto, dándome la salud necesaria para lograr mis objetivos y llegar a la meta deseada. Por ayudarme en los momentos de estrés, cuando estuve a punto de “tirar la toalla” y darme la fuerza suficiente para no desfallecer.*

A mis padres Liliana y Rodrigo. *Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, valores, y motivación que me han servido para ser una persona de bien, pero más que nada por su amor incondicional. En base a la perseverancia y constancia que han caracterizado todos los logros que han obtenido para salir adelante como familia.*

A los seres queridos que ya partieron. *En este largo camino de 6 años de estudio, muchos familiares empezaron acompañándome en el camino universitario, sin embargo, luego de pasar este proceso, ya no están físicamente con nosotros. Acá quiero agradecer especialmente mi tía abuela Horiana, quien me crió desde pequeño, llenándome de cariño y amor durante toda mi vida, y quien hoy no estará presencialmente, pero si espiritualmente.*

A mi familia. *Finalmente quiero agradecer a mi hermana Liliette, mi tía Verónica y Raúl por el apoyo y consejos que me dieron durante este período, que sin aquello seguramente hubiese sido mucho más difícil esta etapa.*

Rodrigo Javier Badilla Cerda

Cómo agradecer y dedicar esto con palabras a quienes han sido parte de esta etapa y que realmente se merecen mucho más. A quienes han contribuido desde acá pero también desde el cielo. Con quienes he compartido alegrías pero que también han tenido que soportar los malos humores, malas caras, malas palabras, hasta indiferencias. A quienes han estado sin importar lo adverso del proceso y sin esperar algo a cambio.

Todas aquellas personas partícipes de esto se merecen todo, aquellas que dieron desde un aliento o una buena palabra, hasta aquellos con los que tuve algún roce o discusión. Todos ellos me hacen hoy ser como soy, no sé si mejor persona pero sí con mayores convicciones, mayores anhelos y hambre de seguir cumpliendo metas con el compromiso de dar siempre lo mejor.

Agradezco a Dios por la oportunidad de vivir esto y hacerme capaz de sacarlo adelante.

Agradezco a la “mamita María”. Estoy seguro que desde el cielo siempre ha estado presente, dándome fuerza y serenidad. Algún día nos reencontraremos.

Lo más importante para el final. Agradezco a mi madre y hermano, Erika y Gonzalo. Los que están siempre a pesar de cualquier cosa, a pesar de cualquier momento difícil, a pesar de cualquier tristeza. Los incondicionales. Les agradezco por siempre apoyarme, incluso cuando creí que mi rumbo profesional en la vida estaba por otro camino. Sin ellos no podría escribir esto, sin ellos no podría estar viviendo esta alegría. Sin ellos, definitivamente nada sería igual.

Gracias, gracias de verdad. Esto recién comienza... y lo mejor está por llegar...

Víctor Manuel Díaz Troncoso

LISTA DE ABREVIATURAS O SIGLAS

CCU: Compañía Cervecerías Unidas

Emisiones Generales: Corresponden a las emisiones generadas por CCU en transporte, producción y cualquier otra fuente de emisión.

DCMA: Departamento de Calidad y Medio Ambiente de CCU

HC: Huella de Carbono

t CO₂: toneladas de CO₂

GEI: Gases de Efecto Invernadero

WRI: World Resources Institute

WBCSD: World Business Council for Sustainable Development

IO: Investigación de Operaciones

PL: Programación Lineal

PAVS: Problema del Agente Viajero Simétrico

TSP: Travelling Salesmen Problem (Problema del Agente Viajero)

VRP/CVRP: Problema del agente viajero con Capacidades

BPP: Bin Packing Problem

VAN: Valor Actual Neto

IPC: Índice de Precios al Consumidor

C&W: Clarke & Wright

ÍNDICE

RESUMEN.....	9
1. PRESENTACIÓN	10
1.1. Introducción	10
1.2. Identificación del Problema	11
1.3. Definición del Problema	11
1.3.1. Medio ambiente	14
1.3.2. Vida silvestre	14
1.3.3. Salud Humana	14
1.4. Objetivos de la investigación	15
1.4.1. Objetivo General.....	15
1.4.2. Objetivos Específicos	15
1.5. Alcances del Proyecto	15
1.5.1. Geográfico.....	15
1.5.2. Temporal	15
1.5.3. Estratégico	15
1.6. Limitaciones del Proyecto	15
1.7. Resultados Esperados.....	16
2. EMPRESA.....	17
2.1. Descripción de la Empresa	17
2.2. Misión y Visión.....	18
2.3. Valores	18
2.4. Estrategia	19
2.5. Tipo de Empresa	20
2.6. Clientes	20
2.7. Proveedores	21
2.8. Organigrama.....	23
2.9. Certificaciones	25
2.10. Procesos y Servicios	26
3. MARCO TEÓRICO	30
3.1. Huella de carbono.....	30
3.1.1. Metodologías para el Cálculo de la Huella de Carbono	31
3.1.1.1. Norma ISO 14064.....	31
3.1.1.2. Ghc Protocol.....	32

3.1.1.3.	Metodología MC3	33
3.1.2.	Cálculo de la huella de carbono en el sector comercio	33
3.1.3.	Fuentes de emisión	34
3.1.4.	Cómo calcular la huella de carbono (HC)	35
4.	ANÁLISIS DE SITUACIÓN ACTUAL	38
4.1.	Contextualización de la situación actual	38
4.2.	Identificación de los responsables	41
4.2.1.	Evolución de las emisiones.....	43
4.2.2.	Dónde atacar	45
4.3.	Hacia dónde se quiere ir	49
4.4.	Diagrama de Ishikawa	52
4.5.	Diagrama de Relaciones.....	53
	Diagrama de Correlación.....	54
5.	PROPUESTAS	55
5.1.	Mapeo de Clientes.....	55
5.1.1.	Supuestos del problema	59
5.2.	Modelos propuestos	59
5.2.1.	Propuesta 1: Heurística Clarke & Wright (C&W)	59
5.2.2.	Propuesta 2: Route First – Cluster Second (Gran Ruta)	72
5.2.3.	Propuesta 3: Modelo matemático Agente viajero por cercanía de puntos... 80	
5.2.4.	Propuesta 4: Software de ruteo ROADNET	101
5.3.	Análisis de Resultados	111
6.	EVALUACIÓN ECONÓMICA.....	114
6.1.	Análisis actual de la empresa	114
6.2.	Propuesta 1: Heurística Clarke & Wright.....	116
6.3.	Propuesta 2: Route First – Cluster Second (Gran Ruta)	117
6.4.	Propuesta 3: Modelo matemático Agente viajero por cercanía de puntos..... 118	
6.5.	Propuesta 4: Software de Ruteo – ROADNET	119
6.6.	Análisis de evaluación económica	121
7.	ANÁLISIS DE RESULTADOS E IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA.....	122
7.1.	Análisis de resultados.....	122
7.2.	Implementación propuesta 4: Software de ruteo ROADNET	122
8.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	125
8.1.	Conclusiones	125
8.2.	Recomendaciones	126

9.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	127
10.	ANEXOS.....	129
10.1.	Anexo 1: Lista de Figuras.....	129
10.2.	Anexo 2: Investigación de Operaciones.....	133
10.2.1.	Programación Lineal (PL).....	133
10.2.1.1.	Componentes de la Programación Lineal.....	134
10.2.2.	Modelo de Asignación.....	134
10.2.2.1.	Modelo de Transporte y Ruteo de Vehículos.....	136
10.2.2.2.	Problema del Agente Viajero.....	136
10.2.2.2.1.	Problema de los m Agentes Viajeros (m-TSP).....	137
10.2.2.2.2.	Problema del agente viajero con Capacidades (VRP o CVRP) ...	138
10.2.2.2.3.	Problema del agente viajero con Flota Heterogénea (FSMVRP) .	140
10.2.2.2.4.	Problema del agente viajero considerando Ventanas de Tiempo (VRPTW).....	141
10.2.3.	Heurísticas para el VRP.....	142
10.2.3.1.	Método Cluster First - Route second.....	142
10.2.3.1.1.	Heurística de barrido o Sweet.....	143
10.2.3.1.2.	Heurística de asignación generalizada de Fisher y Jaikumar.....	143
10.2.4.	Heurística de Branch and Bound.....	144
10.2.5.	Metodología DMAIC.....	145
10.3.	Anexo 3: Emisiones totales de los CD en Chile CCU S.A.	147
10.4.	Anexo 4: Clientes del estudio.....	148
10.5.	Anexo 5: Camiones.....	150
10.6.	Anexo 6: Visitas de los camiones a cada cliente (ene 2015 – abril 2016).....	152
10.7.	Anexo 7: Desarrollo cluster 2, 3, 4, 5 y 6 para modelo de Clarke & Wright...	154
10.8.	Anexo 8: Tabla para cálculo IPC de tasa de descuento.....	189

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Información Compañía Cervecerías Unidas S.A.	17
Tabla 2: Participación de Mercado CCU S.A.	20
Tabla 3: Distribución de compras de CCU	23
Tabla 4: Participación de proveedores en Chile	23
Tabla 5: Certificaciones de Planta CCU S.A.	25
Tabla 6: Formato simplificado planilla medición HC	36
Tabla 7: Emisiones de CO ₂ generadas por cada CD	38
Tabla 8: Gasto de acciones contra las emisiones de cada CD.....	39
Tabla 9: Emisiones de CO ₂ por Área de contaminación.....	40
Tabla 10: Gastos relacionados a Emisiones CO ₂ - Planta Quilicura.....	40
Tabla 11: Cantidad de emisiones según tipo	40
Tabla 12: Emisiones CO ₂ por Empresa de Transporte - Planta Quilicura (Ene 2015 - Abr 2016)	41
Tabla 13: Gastos por Emisiones de CO ₂ por Empresa de Transporte - Planta Quilicura (Ene 2015 - Abr 2016)	42
Tabla 14: Pareto de Costos por emisión de contaminantes Ene 2015 – Abr 2016	46
Tabla 15: Agrupamiento de datos estratificados por emisión de contaminantes	47
Tabla 16: Datos de Pareto Emisiones de CO ₂ por Categoría (Operaciones) Planta Quilicura	48
Tabla 17: Datos de Pareto Emisiones de CO ₂ por Categoría Distribución – Planta Quilicura	48
Tabla 18: Emisiones de CO ₂ por Categoría 2015 - Planta Quilicura.....	50
Tabla 19: Emisiones de CO ₂ por Categoría 2016 - Planta Quilicura.....	51
Tabla 20: Matriz de distancias (km) de Cluster 1	60
Tabla 21: Matriz de ahorros de Cluster 1	60
Tabla 22: Identificación de propuestas.....	111
Tabla 23: Resumen de Propuestas y Emisiones.....	112
Tabla 24: Cuadro comparativo de emisiones por empresa de transporte.....	112
Tabla 25: Cuadro comparativo de emisiones totales (Situación actual y Propuestas)....	113
Tabla 26: Costo de contratación y kilómetros recorridos por empresa – Situación actual	115
Tabla 27: Índices de Precios al Consumidor (anuales)	115
Tabla 28: Impuesto a la Renta del horizonte considerado.....	116
Tabla 29: Costos actuales área de logística CCU	116
Tabla 30: Costo de contratación y kilómetros recorridos por empresa - Propuesta 1	117
Tabla 31: Flujo de Caja - Propuesta 1.....	117
Tabla 32: Costo de contratación y kilómetros recorridos por empresa - Propuesta 2.....	118
Tabla 33: Flujo de Caja - Propuesta 2.....	118
Tabla 34: Costo de contratación y kilómetros recorridos por empresa - Propuesta 3.....	119
Tabla 35: Flujo de Caja - Propuesta 3.....	119
Tabla 36: Costo de contratación y kilómetros recorridos por empresa - Propuesta 4.....	120
Tabla 37: Flujo de Caja - Propuesta 4.....	120
Tabla 38: Resumen económico de cada propuesta	121
Tabla 39: Emisiones totales de cada CD de CCU Chile	147
Tabla 40: Clientes utilizados en la memoria.....	148
Tabla 41: Histórico de compra de los clientes	152

Tabla 42: Matriz de distancias (km) de Cluster 2	154
Tabla 43: Matriz de ahorros (km) de Cluster 2	154
Tabla 44: Matriz de distancias (km) de Cluster 3	161
Tabla 45: Matriz de ahorros (km) de Cluster 3	161
Tabla 46: Matriz de distancias (km) de Cluster 4	168
Tabla 47: Matriz de ahorros (km) de Cluster 4	168
Tabla 48: Matriz de distancias (km) de Clúster 5	175
Tabla 49: Matriz de ahorros (km) de Cluster 5	175
Tabla 50: Matriz de distancias (km) de Cluster 6	182
Tabla 51: Matriz de ahorros (km) de Cluster 6	182

RESUMEN

CCU Chile S.A es una empresa productora de diferentes tipos bebidas alcohólicas y de fantasía. En Chile está presente desde 1902, al unirse la cervecera Plagemann, la fábrica de cerveza de Limache y la fábrica de cerveza y hielo de Gubler y Cousiño, actualmente sumado a los negocios de los productos mencionados anteriormente, también comercializa aguas minerales, algunas de ellas que son producidas en alianza con Nestlé Chile S.A

Las empresas de productos y bienes, necesitan de cadenas logísticas eficientes para la correcta entrega de sus productos a los clientes que lo requieren. Las problemáticas producidas en esta área muchas veces no son abordadas en su totalidad por las empresas, colocando mayormente la focalización en el nivel de servicio que tienen sus clientes, y no en la optimización de sus rutas para la disminución de sus costos de transporte (por la disminución de las distancias recorridas) y por consiguiente, los contaminantes de la huella de carbono.

En CCU se ha detectado que entre enero del 2015 y abril de 2016, se han producido 7551 ton. de CO₂ sólo en el centro de distribución de Quilicura, el cual representa el mayor emisor de contaminantes. El gasto relacionado a las medidas paliativas en las que ha incurrido CCU es cercano a \$480.000.000 en el período antes mencionado, motivos suficientes para generar iniciativas de investigación que se orienten a la consecución de mejoras que se orienten a la disminución de la emisión de contaminantes, y por ende de los costos asociados al ítem.

La presente investigación realiza 4 propuestas para la disminución de las emisiones contaminantes y los gastos relacionados a estas. Considerando el hecho de que la etapa de distribución, es donde se concentra la mayor cantidad de emisiones contaminantes, con 5097 ton. de CO₂, se direcciona finalmente la problemática hacia el ruteo de los camiones, al incidir mayormente en la problemática.

La problemática estudiada no es exclusiva de la empresa participante en esta investigación, debido a que la mayor parte de los desafíos en las empresas está en el área de distribución y entrega de productos. Sin embargo, al significar un gasto creciente y constante dentro de los flujos económicos de la empresa, comienzan a restarle competitividad a la organización, llegando al punto de encarecer el producto al cliente por las ineficiencias de la cadena logística.

Es por lo anterior, que se proponen 2 herramientas heurísticas, 1 modelo matemático basado en el agente viajero con la herramienta LINDO o la instalación de 1 software de ruteo (ROADNET), que tienen como objetivo disminuir la cantidad de kilómetros recorridos por los camiones que entregan los productos a clientes y por ende bajar en nivel de emisiones contaminantes que éstos producen, repercutiendo directamente en los costos por pago del servicio de distribución y por medidas paliativas.

Estas propuestas pasarán por una evaluación comparativa de emisiones contaminantes y una evaluación económica, que permitirá elegir la que contribuya de mejor forma a la disminución de costos y nivel de huella de carbono producida en el período enero 2015 a abril de 2016.

Palabras Claves: Huella de Carbono, cluster, Heurística, Modelo matemático, LINDO, ROADNET, Agente viajero

1. PRESENTACIÓN

1.1. Introducción

Desde hace un tiempo, se ha venido observando un cambio en la mentalidad de la sociedad, partiendo desde una vista centrada en el consumo de bienes y servicios al menor costo posible sin importar las externalidades del proceso, a una vista que integrara aspectos secundarios que interviniesen en la entrega de los productos y servicios adquiridos, ejemplo claro de esto son las emisiones gaseosas contaminantes que producen los camiones en la distribución de los productos.

Los contaminantes se clasifican en tres tipos de alcances, el primero agrupa las emisiones directas (realizadas por el proceso), en segundo lugar, las indirectas (energía comprada por la empresa) y en tercer lugar otras emisiones indirectas que no son controladas por la empresa, siendo los generados por el alcance 3, los estudiados en esta investigación y que afectan directamente a CCU.

Los contaminantes emitidos por el alcance 3 se focalizan en el transporte, produciendo dióxido de carbono, óxido de azufre y óxidos de nitrógeno, entre otros, y juntos conforman la huella de carbono, la cual es medida en unidades de dióxido de carbono equivalente (CO₂).

Estas emisiones implican un gasto asociado a las medidas paliativas que se deben producir para compensar la emisión de los contaminantes antes mencionados, lo que finalmente se traduce en una pérdida de competitividad para la empresa que lo padezca.

CCU Chile S.A es una empresa productora y distribuidora de bebidas alcohólicas y de fantasía, la que entre los meses de enero de 2015 y abril de 2016 ha producido 7551 ton. de CO₂, y un gasto asociado y cercano a \$480.000.000 en el mismo período, siendo éste el principal problema por el cual surge el objetivo de desarrollar diferentes propuestas para disminuir las emisiones del período evaluado, e implementar una solución.

Se utiliza la metodología DMAIC para el desarrollo de este trabajo de investigación, mientras que para el desarrollo de cada propuesta se utilizó el marco referencial de la metodología antes descrita más las características propias de cada modelo, heurística o software que se desarrolló.

Las propuestas que se presentarán en esta memoria son:

- Propuesta 1: Heurística Clarke & Wright (C&W)
- Propuesta 2: Route First – Cluster Second (Gran Ruta)
- Propuesta 3: Modelo matemático Agente viajero por cercanía de puntos.
- Propuesta 4: Software de ruteo ROADNET.

La implementación de una de las propuestas mencionadas anteriormente está planificada para el mes de marzo, etapa donde se podrá contrastar la información generada con la teórica obtenida en esta investigación.

1.2. Identificación del Problema

El problema identificado en la empresa Compañías Cerceverías Unidas S.A. (CCU) es la alta generación de residuos contaminantes que son expulsados hacia la atmósfera, es decir, la huella de carbono producida por la empresa.

Durante el último tiempo, CCU ha generado emisiones de huella de carbono a nivel general (Emisiones generales) y en todas sus operaciones, muy por encima de sus propios estándares, tal como se muestra en la figura 1. Si bien hay una disminución de las emisiones, debido a algunas acciones paleativas por parte de la empresa en cuanto a reciclaje, las contaminaciones siguen por encima del máximo establecido, el que corresponde a 425 toneladas de CO₂ por mes,

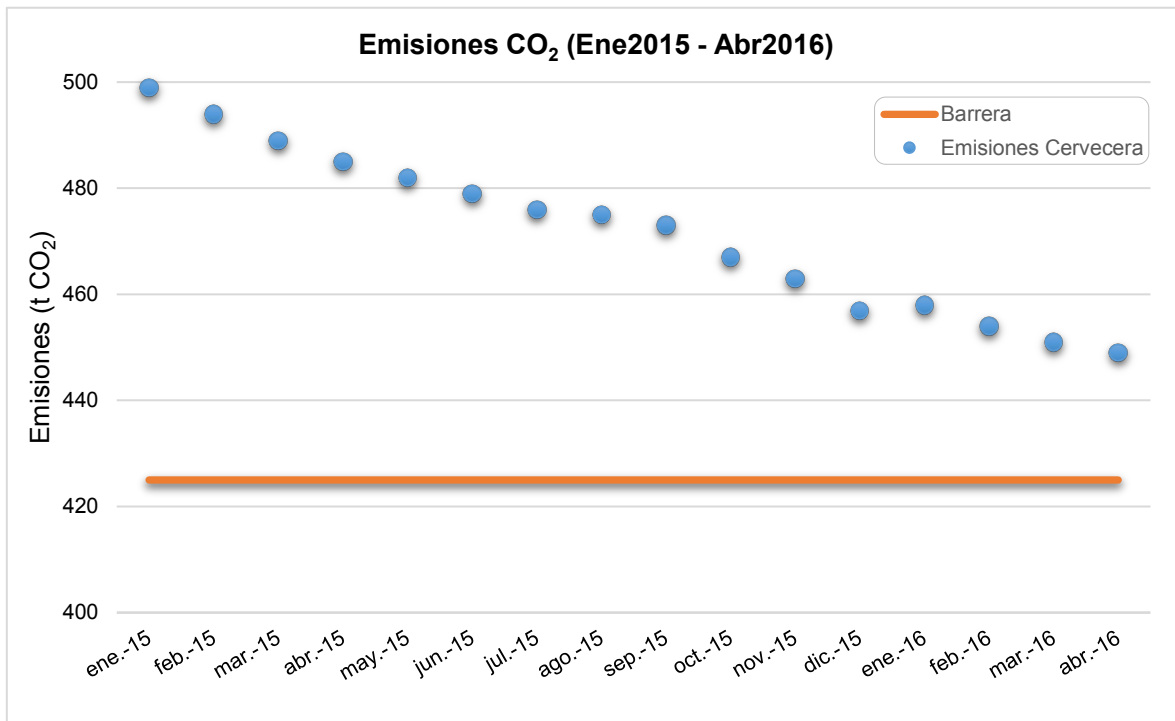


Figura 1: Emisiones Cervecera CCU - Planta Quilicura

Fuente: Elaboración propia en base a información de DCMA CCU

1.3. Definición del Problema

Las emisiones de CO₂ en Chile han aumentado casi tres veces desde los años 60. Las emisiones per cápita en ese entonces eran de 1,8 toneladas por año, muy diferente a la cantidad actual, la que para el año 2013 fue de 4,7 toneladas. (Banco Mundial, 2016)

Existe una necesidad nacional y global en la preservación de vida en el planeta respecto al calentamiento global producido por las acciones contaminantes, las que en mayor parte corresponden a emisiones provenientes de combustibles fósiles, alrededor del 96,5% (Tu impacto, 2014). Los tres sectores principales que utilizan este tipo de combustibles son el transporte, servicios públicos (electricidad, gas, petróleo, etc) y la producción industrial.

Debido al alto nivel de contaminación de las empresas, es necesario tomar conciencia social por parte de ellas respecto a sus emisiones, las que a través de los años como se ha visto en la figura 1, CCU ha intentado disminuir.

Los niveles de contaminación registrados por la empresa se encuentran relacionados de manera directa con el gasto total que desembolsa en temas de emisiones.

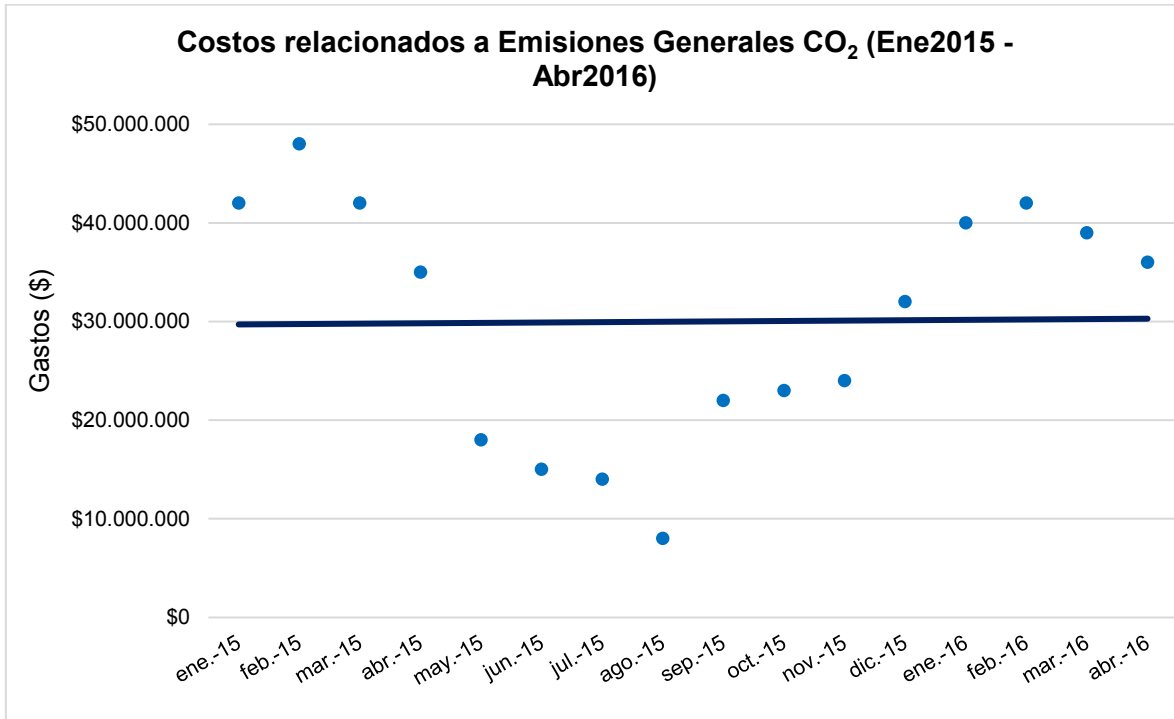


Figura 2: Evolución de Gastos por emisiones CO₂ Quilicura - CCU S.A

Fuente: Elaboración propia en base a información de DCMA CCU

Según estimaciones de CCU, por cada tonelada de CO₂ emitida al medio ambiente, la empresa debe desembolsar alrededor de \$65.000 de manera mensual en acciones relacionadas al tratamiento de residuos y al consumo energético, representando cerca del 10% del presupuesto del Departamento de Calidad y Medio Ambiente.

Esta situación es de suma importancia, puesto que se evidencia una tendencia al alza en las emisiones en el período evaluado (enero 2015 – abril 2016), y sumado esto a la creciente preocupación e importancia que le están dando los consumidores y clientes a la responsabilidad medio ambiental de las empresas generadoras de bienes y servicios al momento de efectuar el acto de decisión de compra (CCU, 2015).

El gran nivel de emisiones que se generan en la planta Cervecera ubicada en la comuna de Quilicura, Región Metropolitana, se grafica en la figura 3, donde queda de manifiesto la diferencia frente a otros Centros de distribución (CD) o plantas de la empresa a los largo del país.

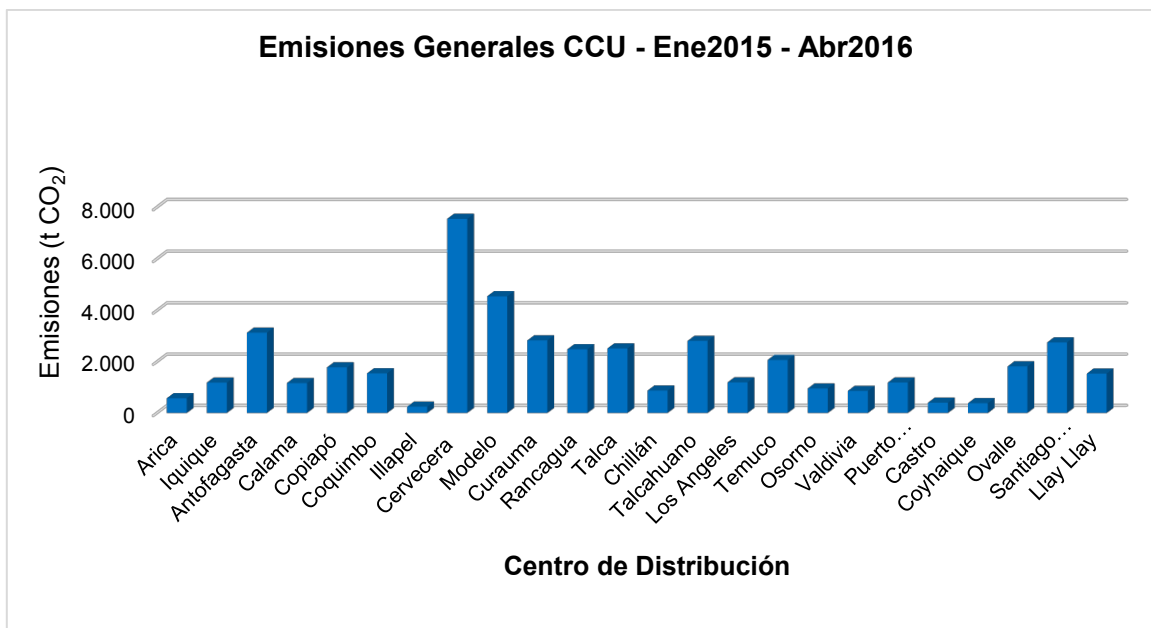


Figura 3: Emisiones de Centros de Distribución CCU

Fuente: Elaboración propia en base a información de DCMA CCU.

Considerando la información de la figura 3 y junto a la empresa, se toma la determinación de trabajar a modo de prueba o piloto con una propuesta para disminuir las emisiones de huella de carbono en el Centro de distribución (CD) Cercevera, debido a que es el de mayor nivel de emisiones.

Al clasificar las fuentes emisoras que la producen, éstas pueden ser de:

- a) Alcance 1: Emisiones directas o controladas por la empresa (combustión de hornos)
- b) Alcance 2: Emisiones indirectas debido al uso de energía (electricidad)
- c) Alcance 3: Emisiones indirectas que no son controladas por la empresa (transporte externo)

Tal como se aprecia en la figura 4, el alcance 3 es el que concentra las mayores emisiones de contaminantes. Este alcance, a pesar de ser externalizado, la misma CCU tiene la responsabilidad de regular y planificar los trayectos o rutas de los camiones, lo que no ha sido planificado para reducir las emisiones, además de optimizar el combustible, lo que provocaría una disminución en el gasto de este concepto y mayores beneficios.



Figura 4: Emisiones CO₂ por alcance - Planta Quilicura

Fuente: Elaboración propia en base a información de DCMA CCU.

1.3.1. Medio ambiente

El aumento de las temperaturas y el cambio en los patrones de precipitaciones han provocado efectos en variados aspectos de la sociedad. Los niveles del mar han aumentado 3,2 mm por año entre 1993 y 2010, debido al calentamiento (Nuño, 2014).

La subida del mar depende del escenario de emisiones de gases de efecto invernadero, lo que depende netamente de toda la población. El siglo pasado, el mar sufrió un alza de 4 a 8 pulgadas de aumento, las cuales siguen aumentando. Por otra parte, la superficie terrestre promedio pueda llegar a aumentar 4,5°C en el transcurso de los años hasta 2050. (Bird & Molinelli, 2001)

1.3.2. Vida silvestre

El rápido cambio climático y los ciclos naturales de la vegetación, están haciendo que la vida silvestre corra una gran riesgo de extinguirse, debido a que los animales no se acostumbran a la par de los cambios.

Ejemplo de esto, son las aves a nivel mundial, ya que las aves viajan de un lugar a otro para asegurar su sobrevivencia. A mayor temperatura, las flores y plantas florecen antes de tiempo, por lo que los propios insectos se desarrollan antes, esto provoca que los pájaros tengan que adaptarse y llegar antes a su punto migratorio para comer. Muchas aves no lo logran y esto provoca problemas en la conservación de algunas especies. (Vicente, 2015)

1.3.3. Salud Humana

Entre los años 2030 y 2050 el cambio climático causará unas 250.000 defunciones adicionales cada año (OMS, Cambio climático y salud, 2016), principalmente a causa de la transformación que se está produciendo en el clima, malnutrición, la diarrea, el estrés calórico y el paludismo, que es causado por un parásito que se transmite a través de la picadura de mosquitos infectados y en donde los síntomas son fiebre, cefalea y vómitos que aparecen 10 a 15 días después de la picadura. (OMS, Organización Mundial de la Salud)

Debido a las altas temperaturas, la ola de calor sufrida en Europa durante el año 2003, produjo la muerte de 70.000 personas, y es por esto que el calor es conocido como “el asesino silencioso”. (OMS, Cambio climático y salud, 2016)

Los sistemas cardiovasculares y respiratorios se afectan debido a que bajo condiciones de calor, la persona debe realizar un mayor esfuerzo para realizar cualquier actividad, poniendo mayor presión sobre dichos sistemas. (Bird & Molinelli, 2001)

La huella de carbono (HC) representa una amenaza cada vez mayor en la economía mundial. El cambio climático afecta a las economías locales que dependen exclusivamente de la tierra y los recursos naturales, como las granjas y campos que ven reducidas su producción.

Lo expresado anteriormente refleja una deuda con el entorno en el que vivimos, a nivel personal e industrial, y es por esto, que no es rara la apreciación de los consumidores, estableciendo en un 85% la creencia de que no hay preocupación por parte de las empresas acerca de los daños al medio ambiente (Agencia Acción, 2016).

1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. Objetivo General

Generar una propuesta que permita disminuir en un 40% la huella de carbono emitida por la planta Cervecera (Quilicura) de CCU S.A.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Determinar los volúmenes de residuos sólidos generados en la planta de Quilicura.
- Determinar el nivel de emisiones de CO₂ aportados por distribución y logística de la planta Cervecera de CCU S.A.
- Evaluar la viabilidad económica de la propuesta generada para la disminución de huella de carbono.

1.5. Alcances del Proyecto

La propuesta de diseño para la disminución de las emisiones totales de dióxido de carbono a la atmósfera producidas por la empresa CCU tiene los siguientes alcances:

1.5.1. Geográfico

El proyecto está enfocado a modo de piloto en la Planta Cervecera, ubicada en la comuna de Quilicura, debido a que representa el 15% de las emisiones totales entre los 24 CD a lo largo del país, como se representa en la figura 3. Otra razón por el cual es escogida esta Planta es porque casi duplica al siguiente en las emisiones de CO₂, lo que se convierte en un precedente para futuras réplicas en otros CD.

1.5.2. Temporal

Al ser considerado un piloto, se pretende ejecutar la propuesta en un plazo de un año para lograr mejoras circunstanciales cada mes. Además, según la evaluación y resultados que se obtengan con esta memoria, la implementación podría ser replicada a otros centros de distribución de CCU a lo largo del país.

1.5.3. Estratégico

El proyecto debe alinearse con el programa estratégico y operacional que desde el año 2014 se lleva a cabo en CCU para paliar las emisiones contaminantes generadas por los distintos CD, el cual no ha sido suficiente y no ha cumplido las expectativas.

1.6. Limitaciones del Proyecto

Dentro de las limitaciones que presenta el planteamiento y ejecución de la propuesta, se encuentra:

- 1) El acceso a la información estará limitada a los tiempos de respuesta de CCU, ya sea, con la información cuantitativa histórica de las emisiones contaminantes, y segundo, con las metodologías o procedimientos que se llevan a cabo actualmente para palear la contaminación que se produce.
- 2) Costos inheteretes a los cuales se tenga que incurrir de forma puntual o permanente en la ejecución de la propuesta.
- 3) Tiempo que se demore en emplear la totalidad de procesos diseñados para lograr la implementación de la propuesta.

- 4) Aceptación de los propios empleados al cambio cultural que pueda ser necesario para quienes no tengan el espíritu de conciencia social y ambiental respecto a procedimientos o actividades que permitan disminuir la contaminación de dióxido de carbono.

1.7. Resultados Esperados

Una vez implementado el piloto en la planta Cervecera de CCU, se espera:

- Disminuir la Huella de Carbono en un 50% respecto al período en evaluación (enero 2015 a abril 2016)
- Replicar la potencial solución al resto de los CD a lo largo del país.
- Estandarización de procedimientos que vayan en línea a la disminución de huella de carbono emitida a la atmósfera.
- Ser empresa líder en compromiso con la calidad de vida y cuidado del medio ambiente.

2. EMPRESA

2.1. Descripción de la Empresa

CCU es una empresa diversificada de bebidas, con operaciones principalmente en Chile, Argentina y Uruguay. Sus títulos se transan en las bolsas chilena y de Nueva York (NYSE). CCU es el mayor cervecero chileno, el segundo cervecero en Argentina, el segundo mayor productor de bebidas gaseosas en Chile, el segundo mayor productor de vinos, el mayor embotellador de agua mineral y néctares en Chile, el mayor distribuidor de pisco y también participa en el negocio de ron y confites de Chile.

Tabla 1: Información Compañía Cervecerías Unidas S.A.

Razón Social	Compañía Cervecerías Unidas S.A:
Rut	90.413.000-1
Dirección Casa Matriz	Avda. Vitacura 2670, piso 23, Las Condes
Ciudad	Santiago
Casilla	1977
Fono	2-4273000
Fax	2-4273333
Presidente Actual	Andrónico Luksic Craig
Gerente	Patricio Jottar Nasrallah

Fuente: www.ccu.cl

La Compañía Cervecerías Unidas (CCU) chilena es una empresa productora y distribuidora principalmente de bebidas alcohólicas y también no alcohólicas que fue fundada en el año 1902, tras la fusión de la cervecera Plagemann, la Fábrica de Cerveza de Limache y la Fábrica de Cerveza y Hielo de Gubler y Cousiño, permitiendo que años más tarde se transformara en líder del negocio de cerveza en Chile, como lo es en la actualidad.

CCU es una sociedad anónima abierta que se encuentra inserta en los mercados bursátiles y los principales accionistas en la actualidad son Quiñenco S.A., holding de la familia Luksic, y Heineken, los que a través de Inversiones y Rentas S.A., poseen el 60% de la compañía. El resto de acciones se representa en la figura 5:

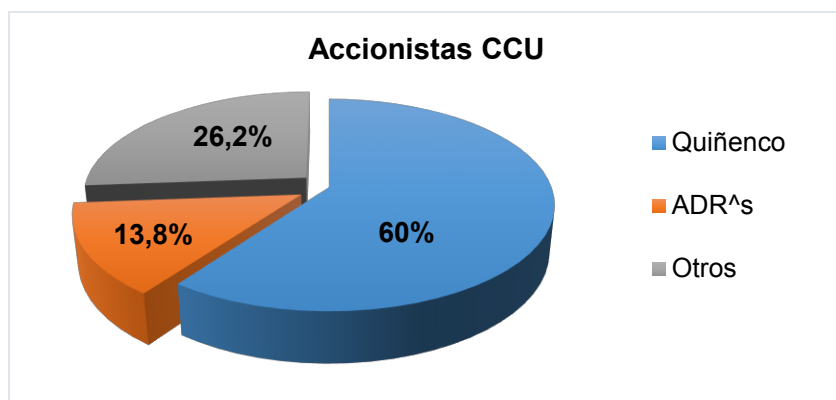


Figura 5: Accionistas de CCU

Fuente: www.ccu.cl

La compañía cuenta con más de 7.840 trabajadores, produciendo más de 22,9 millones de hectolitros de bebestibles y atendiendo sólo en Chile y Argentina a más de 260.000 clientes, lo que se refleja en ser el mayor cervecero chileno, el segundo cervecero en Argentina, uno de los mayores fabricantes de pisco, y si fuera poco, también participa en el negocio de los confites en Chile.

Por otro lado, el portafolio de productos existente incluye marcas propias, licenciadas e importadas, lo que permite mantener contratos de licencia y/o joint ventures con Heineken Brouwerijen B.V., Anheuser-Busch International Inc., Cervecería Austral S.A., PepsiCo Inc., Stokely Van Camp Inc., Pepsi Lipton International Limited, Seven-Up International, Schweppes Holdings Limited, Promarca S.A., Arthur Guinness Son & Company (Dublin) Limited and Guinness Overseas Limited, Nestlé S.A., Société des Produits Nestlé S.A., Nestec S.A., Pernod Ricard Chile S.A., Bebidas del Paraguay S.A., Distribuidora del Paraguay S.A y Bebidas Bolivianas S.A.

2.2. Misión y Visión

Misión

Según CCU, les gusta el trabajo bien hecho, por el bien de las personas, y se han propuesto como misión la que se menciona a continuación:

“Gratificar responsablemente a nuestros consumidores, en todas sus ocasiones de consumo, mediante marcas de alta preferencia”.

Visión

“Ser reconocidos como la empresa que potencia un mejor vivir”.

2.3. Valores

Calidad

Aspirar a los estándares operacionales más altos y estrictos en cuanto a cada uno de los procesos, optando claramente por la preferencia hacia el cliente y desarrollando las mejores prácticas de gestión que se puedan alcanzar.

Innovación

Siempre estar en la vanguardia y constante búsqueda de variadas necesidades que presenten sus clientes, ya que es un proceso vital que le permita a la compañía nuevos y novedosos productos que lleven a no sólo cumplir con los requerimientos del mercado actual sino que también, a superar todas y cada una de las expectativas propuestas.

Acción Inspiradora

CCU debe ser capaz de motivar a todos sus clientes para elegir libremente, de forma responsable e informada entre las múltiples opciones de calidad y productos que se ofrecen en el mercado o dentro de la misma compañía, y que pone a disposición de los consumidores. CCU da valor al apoyo de su propia gente para realizar nuevos negocios o desafíos, inspirándolas a dar siempre lo mejor de sí, recalcando la creatividad, la iniciativa y entusiasmo.

Responsabilidad social

La compañía se enfoca en ayudar y ser un aporte para la comunidad, siendo capaz de promover el consumo responsable de sus productos. Además, tratando de acercar a las personas al arte, al apoyo solidario y al mismo tiempo al deporte para una vida más sana y bien equilibrada.

2.4. Estrategia

La memoria 2015 de CCU apunta principalmente a un doble foco “Crecimiento y Eficiencia” que se pretende alcanzar para el trienio 2016-2018, lo que va en línea con esta memoria.

Esta memoria se encuentra plenamente alineada con 2 de aquellos objetivos, el primero hace referencia a “Eficiencia”, el segundo objetivo estratégico de CCU, que se refiere a la ejecución del Plan ExCCelencia CCU en beneficio de la captura de eficiencias y en la posterior generación de una cultura de excelencia en las operaciones realizadas, dentro de las cuales se encuentran Gestión de ingresos, Efectividad Comercial, Marketing, Planificación y Logística y Abastecimiento, donde son en estos puntos en los que esta memoria quiere apuntar para dar solución a uno de los problemas detectados.

Por otra parte, otro de los Objetivos Estratégicos de la compañía es “Sustentabilidad”, a través de la rama del Medio Ambiente, haciendo un balance entre el el uso eficiente de los diferentes recursos, enfocándose principalmente en tratar de disminuir la huella de carbono, el consumo de agua y maximizando la valoración de los residuos industriales presentes en las operaciones de la empresa.

Estos dos objetivos que son estratégicamente considerados para ser desarrollados y tratados dentro de la compañía van en línea con el objetivo de esta memoria, que tiene el objetivo de generar alguna propuesta que sea capaz de disminuir considerablemente la huella de carbono que emite la empresa.

La implementación de una metodología que permita esta dismunición, refleja el real compromiso por parte de la empresa para cumplir sus propios objetivos organizacionales, y es por ello que el aporte con esta memoria va en la misma dirección, siendo capaz de

más allá de generar ahorro u optimizando la operación normal de un sector de la empresa, ser capaces de ayudar al medio ambiente y a las personas que se encuentran inmersas.

2.5. Tipo de Empresa

CCU es una empresa de tipo multicategoría con foco en las cervezas y bebidas sin alcohol, además con negocios sinérgicos en vinos y licores.

2.6. Clientes

De acuerdo a un programa y una política de expansión y diversificación de clientes y mercados, CCU ha consolidado su presencia en los países donde realiza operaciones productivas y comerciales.

En estos mercados, la política a nivel global de la compañía consiste en trabajar duramente para optimizar la calidad de sus productos y procesos de elaboración, con lo que además mantiene una atención y preocupación directa, personalizada y cercana con todos sus clientes, lo que se hace efectivo principalmente a través de sus colaboradores locales.

La comercialización de los productos CCU están dirigidos básicamente al comercio minorista, integrado por los supermercados, restaurantes, botillerías, fuentes de soda y otros. De esta forma, la compañía atiende a través de sus propias filiales alrededor de 134.363 clientes en Chile (incluyendo Vinos domésticos), siendo los principales las cadenas de supermercados Walmart, Cencosud, y Rendic Hermanos (Unimarc).

A continuación, en la tabla 2, se presenta el detalle de participación de mercado con el que cuenta CCU:

Tabla 2: Participación de Mercado CCU S.A.

Participación de Mercado	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Total	25,7%	25,8%	27,2%	27,4%	27,6%	27,9%	28,1%	29,9%	30,6%	31,3%
Chile	36,7%	37,1%	37,3%	37,8%	37,6%	37,9%	38,1%	40,0%	40,8%	41,5%
Negocios Internacionales	12,2%	12,7%	16,5%	16,1%	16,3%	16,8%	15,7%	16,9%	17,1%	18,2%
Vinos	14,3%	13,9%	13,3%	15,9%	16,5%	16,0%	17,3%	17,6%	18,3%	17,9%

Fuente: www.ccu.cl

Ahora, en la figura 6 se grafica la participación detallada en la tabla 3:

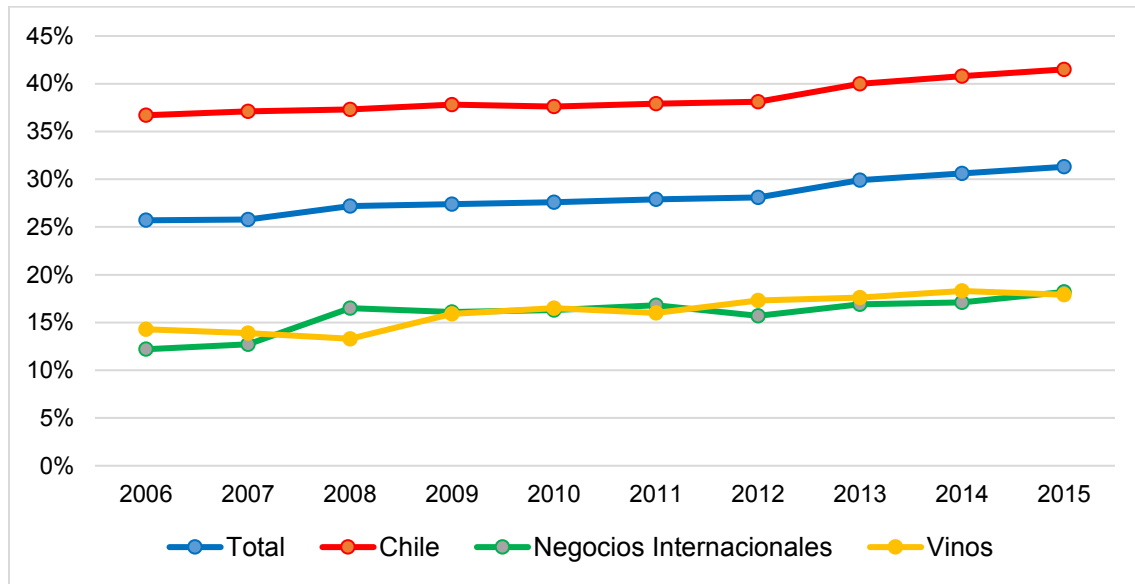


Figura 6: Porcentaje de Participación de Mercado CCU S.A.

Fuente: Elaboración propia

2.7. Proveedores

CCU trabaja con un importante número de proveedores de materias primas, insumos, equipos y servicios, con los que establece relaciones responsables, basadas en la mutua confianza, en el respeto a las normas y al medio ambiente, y especialmente, en la búsqueda por ofrecer productos de mejor calidad a los consumidores.

En Chile, durante el 2010 CCU trabajó con aproximadamente 5 mil empresas proveedoras locales y con 500 extranjeras, materializando compras anuales por un monto aproximado a US\$ 594 millones. En Argentina la Compañía se relacionó con más de 2 mil 800 proveedores locales y más de 150 fuera del país, con un total de US\$ 175 millones en compras en 2010.

La compañía elaboró una Guía de Buenas Prácticas – Proveedor CCU, la cual abarca temáticas referentes a la buena conducta en los negocios, el respeto a las personas y el medioambiente.

La Cadena de suministro que parte con los proveedores hasta llegar finalmente, al cliente, se presenta en la figura 7.

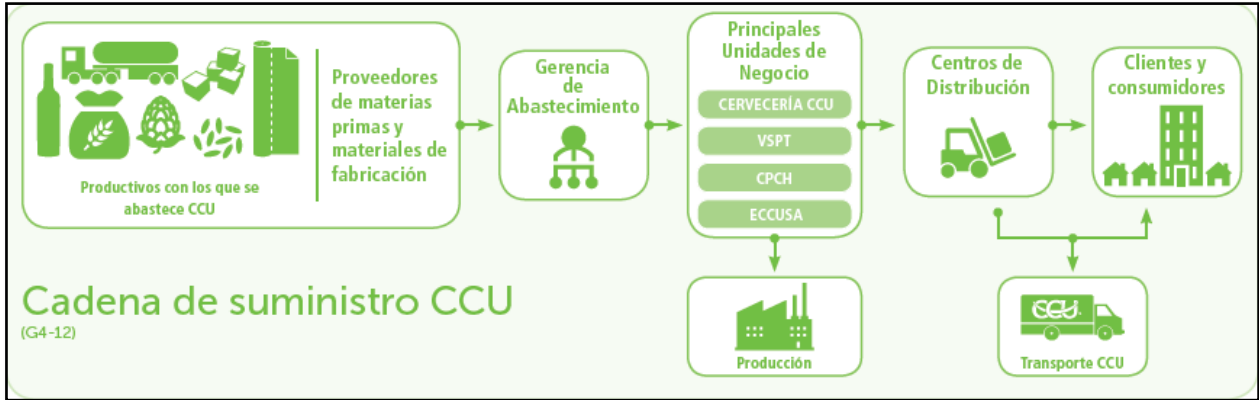


Figura 7: Cadena de Suministro CCU S.A.

Fuente: www.ccu.cl

En el mercado local, CCU es uno de los principales compradores de insumos y materias primas en su rubro, contribuyendo al desarrollo de las industrias relacionadas con productos tales como:

- Azúcar
- Botellas de vidrio
- Botellas plásticas
- Cebada malteada
- Concentrados
- Envases de aluminio
- Etiquetas
- Harina de trigo
- Lúpulo
- Pulpas de fruta
- Resinas
- Tapas
- Uva y Vino

Para satisfacer cualquier requerimiento dentro de los procesos industriales y productivos, CCU celebra anualmente contratos de compraventa para sus principales materias primas, entre ellas, malta, arroz y lúpulo para la cerveza, azúcar para las bebidas, uva para el vino, pisco y cócteles y material de embalaje a productores locales o a través de compras en el mercado internacional.

El proveedor interno dentro de la compañía más importante para el provisionamiento de Plástico es Pasco Fábrica de Envases Plásticos CCU, creada para reemplazar las cajas de madera empleadas en el transporte de los productos CCU, por cajas de polietileno de alta densidad que fuesen más livianas y de mejor calidad. Sin embargo, la necesidad y contigencia, comenzó la fabricación de botellas plásticas retornables y no retornables. Luego comienza a proveer tapas para botellas de hasta 3 litros para Aguas y Gaseosas, hasta proveer desde 2012 las tapas para botellas de vidrio y botellas de Néctares, Tés y Gatorade.

La distribución de compras que se realizan en CCU se detallan en tabla 3, respecto a mercado nacional y extranjero:

Tabla 3: Distribución de compras de CCU

Item	Nacional	Extranjero	Total
Compras (%)	87%	13%	100%
Proveedores (N°)	4.833	351	5.184
Proveedores (%)	93%	7%	100%

Fuente: www.ccu.cl

La distribución de proveedores con los que mantiene relación la empresa se aprecia en la tabla 4:

Tabla 4: Participación de proveedores en Chile

Regiones	% de proveedores
Región de Tarapacá	1%
Región de Antofagasta	2%
Región de Atacama	1%
Región de Coquimbo	4%
Región de Valparaíso	6%
Región del Libertador General Bernardo O'Higgins	4%
Región del Maule	6%
Región del Bío Bío	4%
Región de los Lagos	2%
Región Aysén del General Carlos Ibañez del Campo	0%
Región de Magallanes y de la Antártica Chilena	1%
Región Metropolitana de Santiago	66%
Región de de Los Ríos	2%
Región de Arica y Parinacota	0%

Fuente: www.ccu.cl

2.8. Organigrama

A nivel macro, en CCU se presenta la siguiente estructura organizacional:

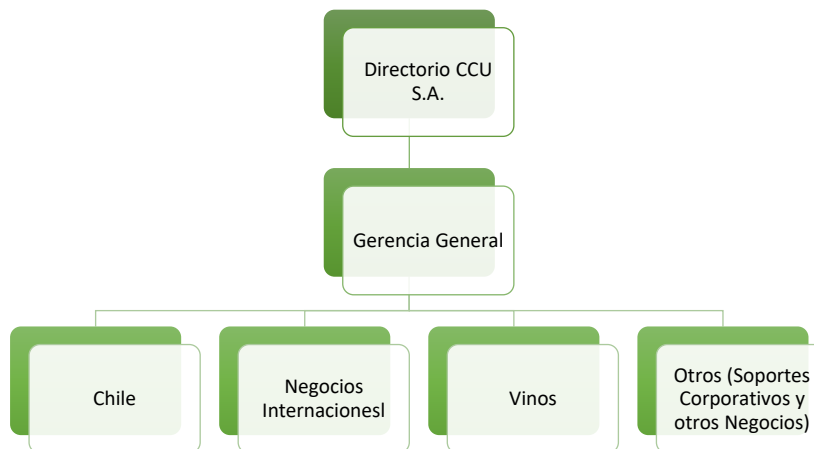


Figura 8: Organigrama de Negocios CCU S.A.

Fuente: www.ccu.cl

El Directorio de la compañía se encuentra compuesto por:

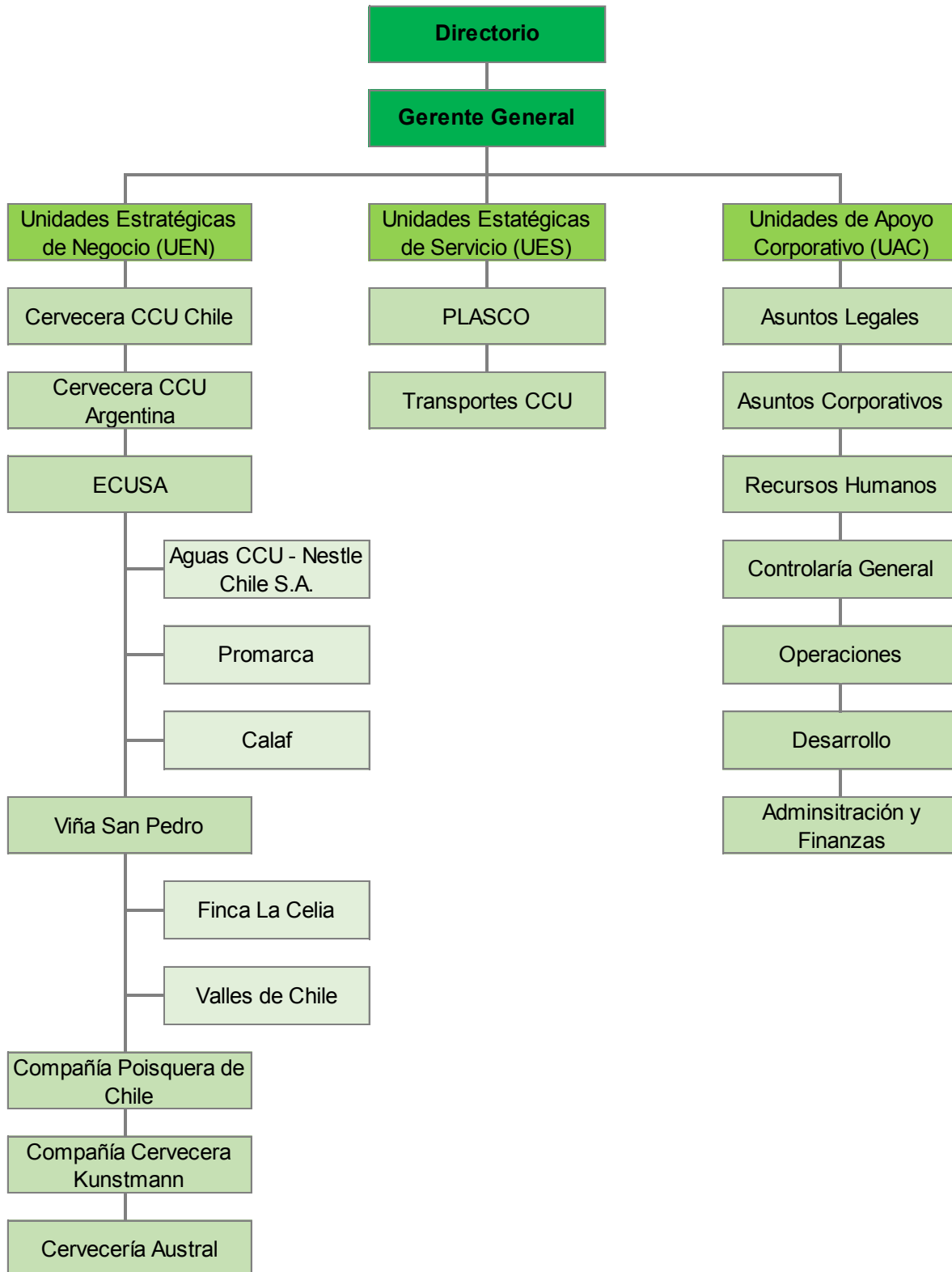


Figura 9: Organigrama según Unidad de CCU S.A.

Fuente: www.ccu.cl

El Organigrama de la figura 9 tiene una estructura organizacional de tipo compuesta, ya que se cuenta una centralización bien definida, para luego decaer en tres grandes áreas macro de trabajo, como son la UEN, UES y UAC.

Unidades Estratégicas de Negocio (UEN): Buscan satisfacer las necesidades de los consumidores y clientes, su trabajo se centra en la producción, comercialización y marketing de los productos de la compañía.

Unidades Estratégicas de Servicio (UES): Proporcionan a las UEN los servicios estratégicos especializados en torno a la comercialización, logística y distribución de sus productos en todo Chile, la producción de envases y servicios financieros.

Unidades de Apoyo Corporativo (UAC): Entregan servicios corporativos a todas las UEN en diferentes áreas.

2.9. Certificaciones

Una compañía sustentable va desarrollando de manera coordinada y consistente los impactos en los planos económicos, social y ambiental, pero no tan sólo en sus actividades y procesos productivos, sino que también en la definición y estandarización de sus políticas, acciones y proyectos que le permitan ir a la vanguardia con el resto de las empresas.

En línea con este proyecto y respecto de la dimensión medio ambiental, CCU ha estado comprometida con el cuidado y respeto del medio ambiente como parte de la estrategia del negocio, aunque siempre se pueda mejorar el proceso para optimizar los recursos y optimizar los beneficios, tanto económicos pero también importantes, los sociales.

Es por lo anterior y al trabajo que se ha desarrollado que la empresa cuenta con certificaciones ISO 22000 (Inocuidad) y OHSAS 18001 (Seguridad) y ISO 14001 (Medio ambiente).

La obtención de las certificaciones es completamente voluntaria y va a la vanguardia del plan integral de la empresa para optimizar el uso de recursos, materias primas, agua y energía, lo que genere además, menos desperdicios y residuos contaminantes hacia el exterior.

Tabla 5: Certificaciones de Planta CCU S.A.

Certificaciones	ISO 22000	OHSAS 18001	ISO 14001
Suma plantas certificadas	16	18	18
Suma plantas (no incluye Uruguay, Paraguay, Bolivia, Argentina Sidras)	21	21	21
Suma plantas donde no aplica certificación	4	2	2
Porcentaje cumplimiento	94%	95%	95%

Fuente: www.ccu.cl

2.10. Procesos y Servicios

El proceso productivo del producto más renombrado de la compañía es Cerveza Cristal que se aprecia en la figura 10:



Figura 10: Proceso Productivo Cerveza

Fuente: www.ccu.cl

El proceso productivo de bebidas no alcohólicas para la generación de Néctares y Bebidas es:

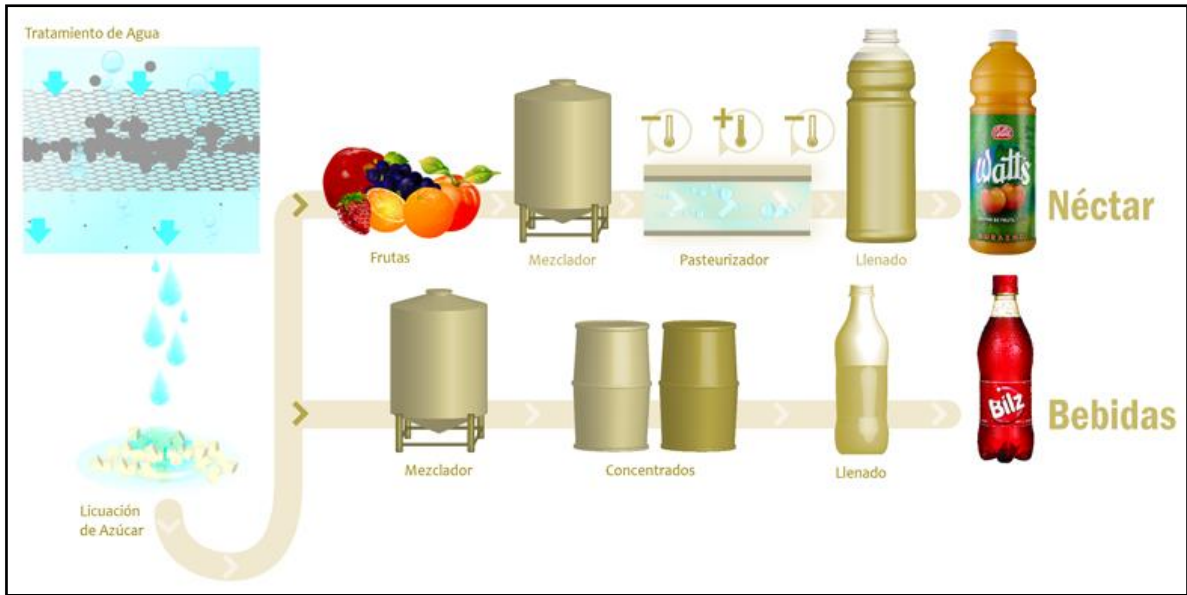


Figura 11: Proceso Productivo Néctar y Bebidas

Fuente: www.ccu.cl

En el área de Licores destacan los procesos productivos del Pisco (figura 12) y el Ron (figura 13), los cuales son:

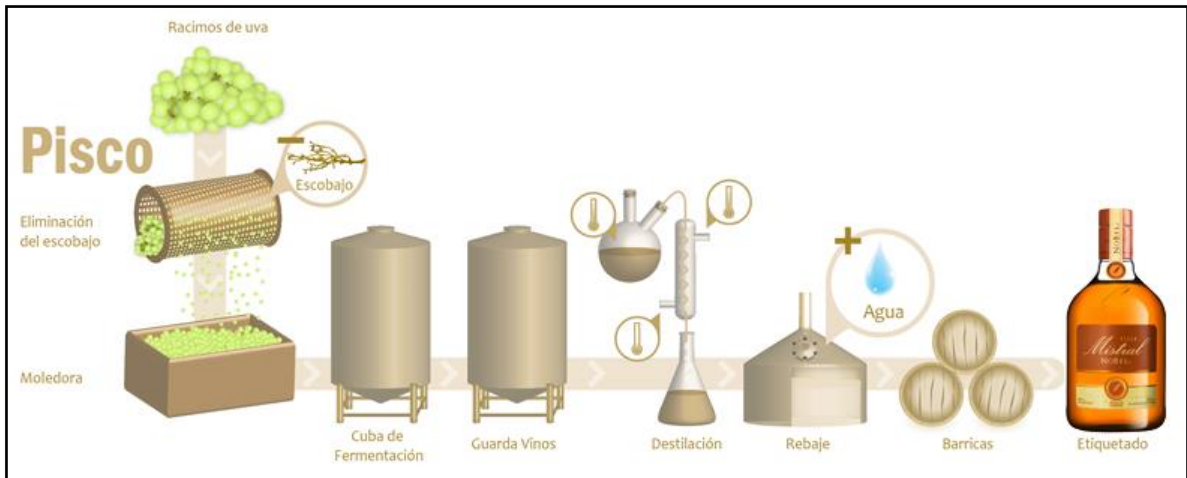


Figura 12: Proceso Productivo Pisco

Fuente: www.ccu.cl

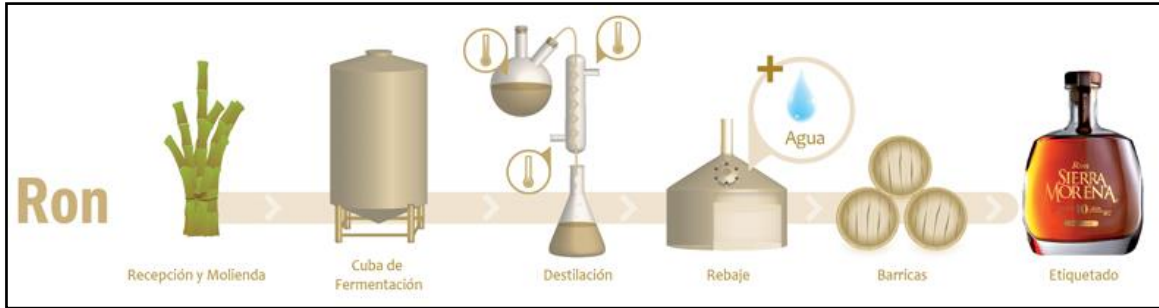


Figura 13: Proceso Productivo Ron

Fuente: www.ccu.cl

El proceso productivo referido a la fabricación de los Vinos y Espumantes es:



Figura 14: Proceso Productivo Vinos y Espumantes

Fuente: www.ccu.cl

Dentro de los servicios internos relevantes para la compañía se encuentran el realizado por:

- a) Comercialización, Distribución y Ventas:
 - i. **Transportes CCU Ltda:** Es el operador logístico para todos los productos que son comercializado por CCU.
 - ii. **Comercial CCU:** Tiene el objetivo de atender a todos los clientes de una manera más eficiente, a través de una fuerza de venta única que comercializa todo el portafolio de los productos de CCU S.A.

- iii. **CRECCU:** Apoya la sustentabilidad y el emprendimiento de los comercios tradicionales minoristas, almacenes y botillerías.
- b) Fabricación de botellas plásticas:
 - i. **PLASCO:** Creada para reemplazar las cajas de madera que eran empleadas por CCU en el transporte de sus productos, por cajas de polietileno de alta densidad, que son más livianas y de mucho mejor calidad. Luego comenzó a fabricar las tapas de polipropileno para botellas hasta 3 litros, incorporando posteriormente las tapas para botellas de vidrio y botellas de Néctares, Tés y Gatorade.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Huella de carbono

Es necesario dar un salto tecnológico ligado principalmente a las industrias productivas, que realce el ahorro y la eficiencia energética, busque nuevas tecnologías limpias y dirija a una sociedad que genere menores niveles de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

Para el año en curso -2016- ya se han acabado los recursos naturales que es capaz de generar el planeta, y ha entrado en un sobregiro, esto debido al aumento demográfico y de emisiones de GEI, que repercuten directamente en los niveles de HC y en donde Chile no es la excepción (El Mercurio de Santiago, 2016).

Los objetivos actuales, relacionados al comercio, tanto mundial como local, dicen relación principalmente con un incremento máximo de 2°C en la temperatura del planeta, y señala que los países desarrollados deberán reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero en al menos un 30% al 2020 -con respecto a la década del 90- y entre el 80% y 95% al 2050 (Jiménez Herrero, De la Cruz Leiva, & Chao Janeiro, 2009).

Los países subdesarrollados o en vías de desarrollo, deberán contribuir también a la reducción de sus contaminantes, en un 20% al 2020 y un 70% al 2050 (Jiménez Herrero, De la Cruz Leiva, & Chao Janeiro, 2009), condicionante que afectará directamente a Chile. Esto significará una transformación radical del comportamiento energético y productivo, sumados a un cambio en los paradigmas de los modelos económicos imperantes.

Debido a que es un concepto relativamente nuevo, posee diferentes definiciones, y aún no es consensuada su interpretación final. A continuación se encuentran algunos enfoques:

- El cálculo de las emisiones que produce la organización, es lo que se denomina Huella de Carbono (HC) y permite a la empresa dar un diagnóstico para establecer el punto de partida desde donde poder planificar y tomar las acciones correctivas necesarias para su disminución (Jiménez Herrero, De la Cruz Leiva, & Chao Janeiro, 2009). La huella de carbono por tanto, identifica la cantidad de emisiones de GEI que son liberadas a la atmósfera como consecuencia del desarrollo de cualquier actividad, además de permitir identificar todas las fuentes de ellas, proponiendo, ya sea por la empresa o por organismos tercerizados, la disminución de emisiones.
- Definida como la cantidad de GEI emitidos a la atmósfera, derivados de las actividades de producción o consumo de bienes y servicios, y que se ha transformado en un patrón de competitividad (Pandey, Agrawal, & Pandey, 2010).
- La Huella de carbono es la suma de emisiones de GEI, expresadas en dióxido de carbono equivalente ($\text{CO}_{2(e)}$) que un individuo, grupo de personas o industrias emiten durante un determinado tiempo. Es posible cuantificar una vez que se tengan definidas las actividades, para medir sus emisiones (Espíndola & Valderrama, 2012).
- La huella de carbono calcula todas las emisiones de GEI de las cuales un producto, servicio, empresa son responsables a lo largo de su cadena de abastecimiento, permitiendo encontrar eficiencias internas y externas que ayudan a disminuir emisiones y mejorar procesos (Portal Expertos en Prevención de riesgos de Chile, 2015).

Como se puede apreciar, la medición de la huella de carbono ha pasado a ser un indicador de importancia, tanto a nivel organizacional, como gubernamental. Esto tiene mayor relevancia aún por lo que expone Espíndola y Valderrama, los autores mencionan que la introducción de la Huella de carbono como un indicador en la gestión de cadenas de suministro impone un importante desafío a los países en vías de desarrollo, dado que gran parte de los productos que se consumen en Europa, Norteamérica y países desarrollados cuentan con altos estándares en esta área (Espíndola & Valderrama, 2012).

3.1.1. Metodologías para el Cálculo de la Huella de Carbono

Para el cálculo de la huella de carbono, se pueden utilizar variadas metodologías, la mayoría estandarizadas por las normas ISO.

Existen muchas guías internacionales, que tienen como finalidad el cálculo del indicador HC, abarcando diferentes áreas productivas, logísticas, de operaciones y administrativas, algunas poseen un enfoque de producto y otras un enfoque corporativo. Todas estas herramientas tienen como finalidad dar, coherencia, credibilidad y asegurar el correcto uso de los datos para la elaboración de los informes de emisión de gases de efecto invernadero (Jiménez Herrero, De la Cruz Leiva, & Chao Janeiro, 2009).

Según Jiménez, De la Cruz y Chao, dentro de las metodologías para el cálculo de la huella de carbono de una organización, las más relevantes son:

- ISO 14064
- GhG Protocol
- MC3

3.1.1.1. Norma ISO 14064

La norma ISO 14064 tiene como fondo dar credibilidad y aseguramiento a los informes de emisión de GEI y a las declaraciones de reducción o eliminación de ellos (Jiménez Herrero, De la Cruz Leiva, & Chao Janeiro, 2009). Esta norma puede ser usada por cualquier organización.

La ISO 14064 detalla los principios y requerimiento para el diseño, desarrollo y gestión y elaboración de un informe de huella de carbono.

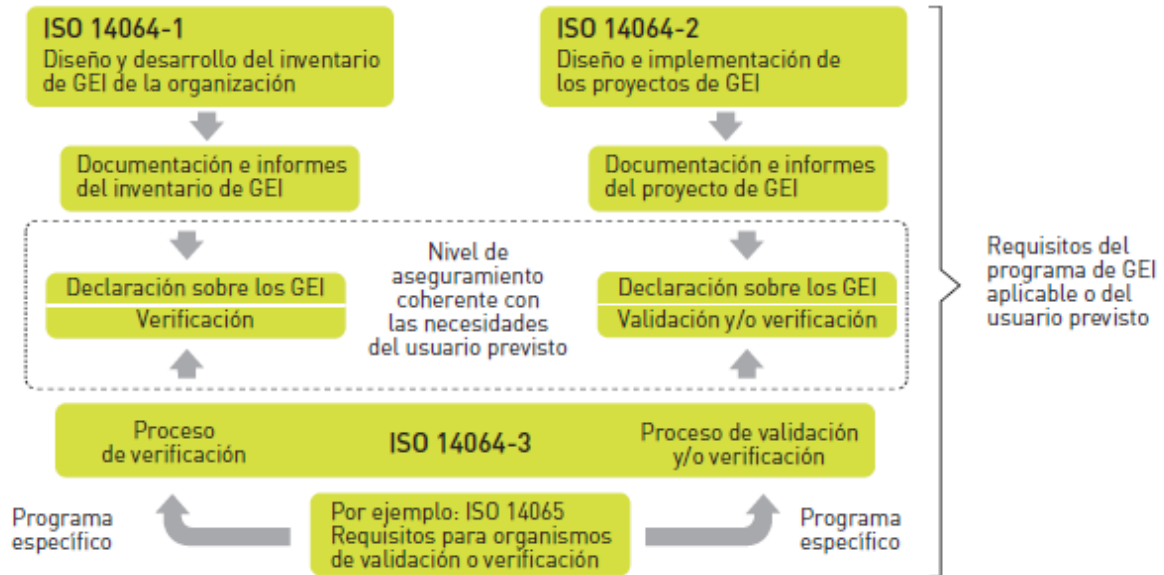


Figura 15: ISO 14064
Fuente: www.ISO.org (SGS, 2016)

3.1.1.2. Ghc Protocol

El GhG Protocol, es una iniciativa puesta en marcha por el World Resources Institute (WRI) y el World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), apoyada además por numerosas empresas, organizaciones no gubernamentales y administraciones públicas.

El GhG Protocol provee una guía minuciosa para empresas interesadas en cuantificar e informar de sus emisiones de GEI (Alava Castro, 2015).

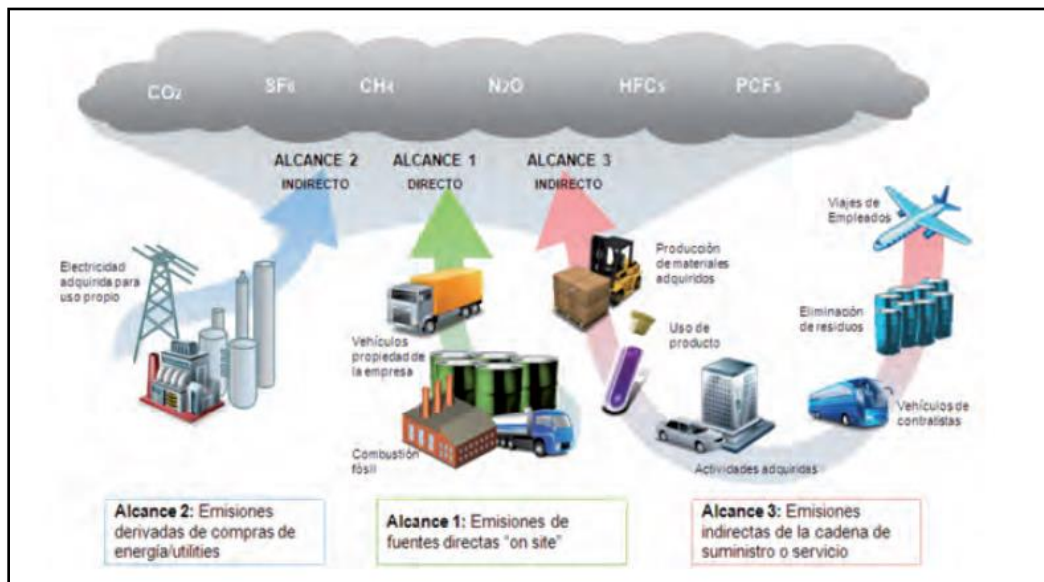


Figura 16: GhG Protocol
Fuente: www.ghgprotocol.org

Según Jiménez Herrero, director del centro de Sostenibilidad de España, la norma ISO 14064 y el GhG Protocol son similares en cuanto a contenido y estructura. Ambas, establecen cómo definir las emisiones del GEI que deben estar dentro del alcance de la huella de carbono y cómo realizar los cálculos.

Además agrega que, la norma ISO 14064 establece además un procedimiento de verificación del cálculo de la huella de carbono por un auditor externo independiente. El GhG Protocol ofrece, a través de su página web, herramientas de apoyo para la realización de los cálculos.

3.1.1.3. Metodología MC3

La MC3 ha sido desarrollada por Domenech, debido a la necesidad de elaborar un método que permitiera calcular la HC de empresas y organizaciones, ofreciendo la posibilidad de expresar esta huella tanto en unidades de superficie, como en toneladas de CO₂, de modo que se permite el cálculo de la HC.

La HC obtenida con la versión actual MC3 incluye las emisiones de CO₂ directas e indirectas, entendidas éstas como aquellas generadas en la producción/prestación de los bienes y servicios obtenidos. En la actualidad, se está finalizando una segunda versión del método, que incorporará las emisiones del resto de GEI incluidos en el Protocolo de Kyoto, empleando los coeficientes de potencial de calentamiento (GWP) en un horizonte de 100 años elaborados por el IPCC (IPCC, 2007) . Así, el indicador se expresaría en toneladas equivalentes de CO₂. Además, se incorporarán en la HC las emisiones derivadas del uso de superficies (pastos, cultivos, etc) que, como los bosques, tienen capacidad para secuestrar CO₂.

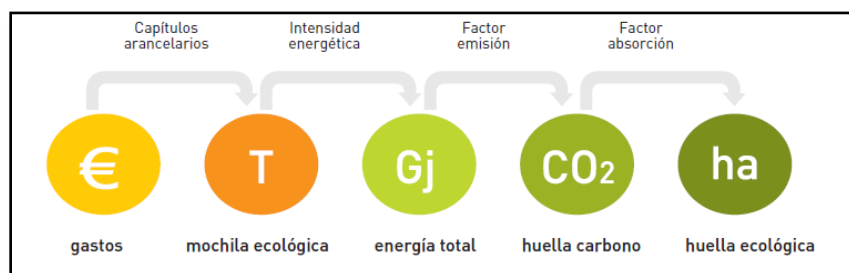


Figura 17: Esquema MC3

Fuente: J. Luis Domenech (Domenech, 2010)

3.1.2. Cálculo de la huella de carbono en el sector comercio

Según dice Jiménez Herrero, director del centro de sustentación en España, líder en este ámbito (Red de Políticas para la Energía Renovable para el siglo 21, 2016), para calcular la huella de carbono de la actividad del sector comercio, propone el esquema integrado por 10 pasos, según la figura 18.

En cada uno de los pasos propuestos en el esquema, la organización debe auto-analizar la finalidad del mismo y las tareas que debe realizar la empresa, así comenzando desde la simple idea de realizar el cálculo de la huella de carbono, se va avanzando en el desarrollo de todas las tareas necesarias, para obtener como resultado final la huella de carbono de la empresa.

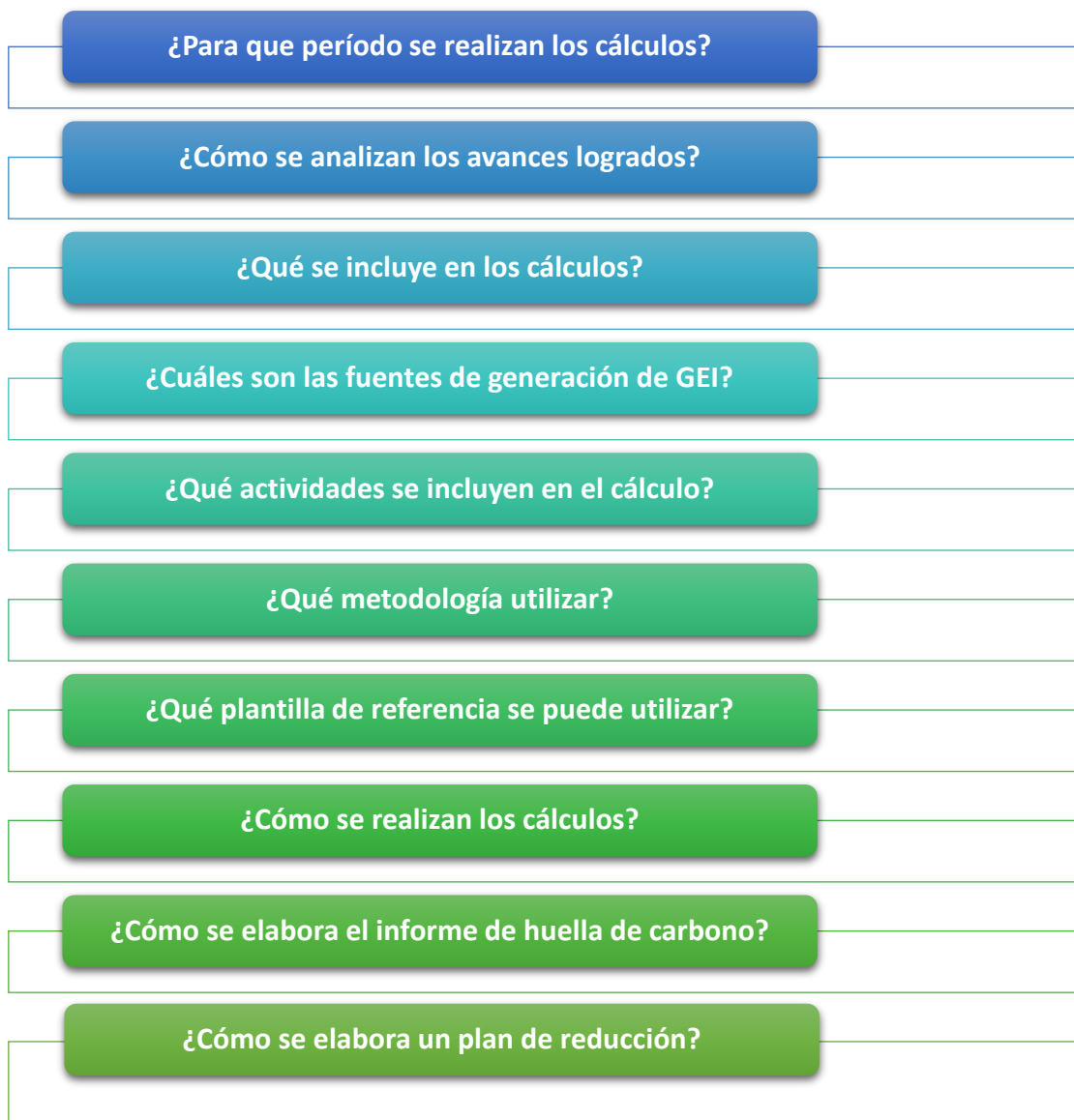


Figura 18: 10 preguntas para el cálculo de la huella de carbono

Fuente: (Jiménez Herrero, De la Cruz Leiva, & Chao Janeiro, 2009)

3.1.3. Fuentes de emisión

Para el correcto cálculo de la HC es necesario identificar cuáles son las fuentes de emisión, a continuación se pueden observar esquemáticamente.

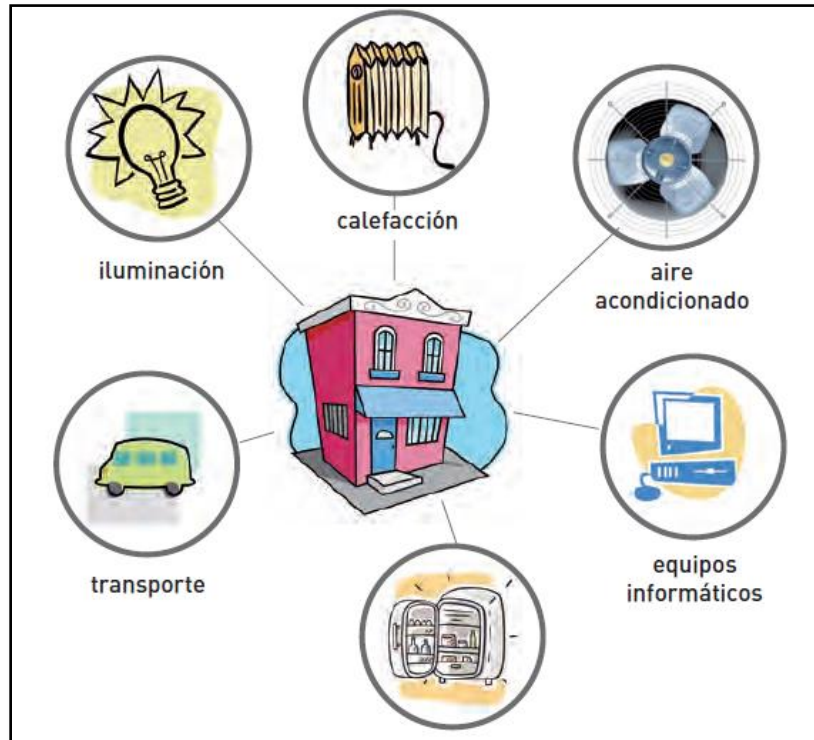


Figura 19: Fuentes genéricas de emisión

Fuente: (Jiménez Herrero, De la Cruz Leiva, & Chao Janeiro, 2009)

En la actividad comercial las posibles fuentes que implican generación de GEI son (Jiménez Herrero, De la Cruz Leiva, & Chao Janeiro, 2009):

- Equipos que generan electricidad, calor o vapor. En un comercio podrían ser calderas, hornos, turbinas, quemadores, calentadores, motores, etc.
- Elementos de transporte, propiedad del comercio, que pueden ser utilizados para el transporte de mercancías, productos, empleados o residuos. Serían automóviles, furgonetas, motocicletas, camiones, trenes, barcos y aviones.
- Equipos de aire acondicionado, cámaras frigoríficas o torres de refrigeración.
- Uso de equipos eléctricos y electrónicos.
- Iluminación.

3.1.4. Cómo calcular la huella de carbono (HC)

Para elaborar la huella de carbono se establecen tres posibles alcances (Jiménez Herrero, De la Cruz Leiva, & Chao Janeiro, 2009):

- a) Alcance 1: Emisiones directas de GEI, se producen por las fuentes que son propiedad de la empresa o están controladas por la misma.
- b) Alcance 2: Emisiones indirectas de GEI asociadas a la adquisición de electricidad. Las emisiones del alcance 2 se generan físicamente en la planta que produce la electricidad pero la energía es consumida en las instalaciones y procesos de la empresa que calcula su HC. Las emisiones indirectas asociadas a la electricidad son una categoría especial de emisiones indirectas, porque aunque no supone una emisión directa de emisiones de GEI, para muchas empresas representa la

oportunidad más significativa de reducir sus emisiones y sus costes, a través de medidas de ahorro de energía y de eficiencia energética.

- c) Alcance 3: Son consecuencia de la actividad de la empresa, pero ocurren en fuentes que no son de su propiedad ni están controladas por ella. Pero que significan una gran oportunidad si son sometidas a control.

Para llevar a cabo el cálculo se deben considerar los 3 tipos de alcances abordados con anterioridad, junto a este proceso se debe confeccionar una planilla que permita ver los indicadores más relevantes en la medición, esta hoja de cálculo puede ser genérica, y sólo serán tomadas en cuenta los enfoques de las metodologías existentes (Jiménez Herrero, De la Cruz Leiva, & Chao Janeiro, 2009).

Tabla 6: Formato simplificado planilla medición HC

Cálculo huella de carbono

Supermercado Bocado
Huella de carbono
a 31 de diciembre de 2009

ALCANCE		Fuente de emisión de GEI			
Alcance 1 Emisiones directas	Consumo de combustibles	m ³	Factor de conversión	kg CO ₂	
	Consumo de gas natural	19.552,00	0,2	3.910,40	
	Transporte	km recorridos	Factor de conversión	kg CO ₂	
	Vehículo propiedad de la empresa 1	1.500,00	0,119	178,50	
	Vehículo propiedad de la empresa 2	3.400,00	0,163	554,20	
	Total emisiones directas				
Alcance 2 Emisiones indirectas	Consumo de energía eléctrica	Mwh	Factor de conversión	kg CO ₂	
	Consumo de energía eléctrica	2.636.400,00	0,39	1.028.196,00	
	Total emisiones directas				
					kg CO₂
Huella de carbono					1.032.839,10

Fuente: (Jiménez Herrero, De la Cruz Leiva, & Chao Janeiro, 2009)

Para tomar los datos del alcance 1, la empresa debe analizar las facturas de compras de combustible que ha realizado durante el periodo definido. Generalmente es posible obtener este dato a partir de la información contable a cargo del departamento de control de gestión.

En el caso de los datos del alcance 2, la empresa debe recopilar las facturas de electricidad para todo el periodo e introducir la suma total de los kwh consumidos, en la plantilla que ha confeccionado.

Para los datos del alcance 3, la empresa debe recopilar las boletas y facturas de los servicios tercerizados de transporte, para todo el periodo, e introducir la suma total de los km recorridos por los camiones utilizados para el despacho de sus productos, en la plantilla que se ha confeccionado.

Toda la información recopilada por alcance, debe ser multiplicada por un factor de emisión, que tiene como objetivo dejar toda la data recopilada en una misma unidad de medición, denominada Ton de CO₂(e).

En resumen, se dice que para el cálculo de la HC, se trabaja en base a la siguiente fórmula (1.0):

$$HC = \text{Dato de actividad} * \text{Factor de emisión} \quad (1.0)$$

Donde,

Dato de actividad: es el parámetro que define el grado o nivel de la actividad generadora de las emisiones de GEI.

Factor Emisión: supone la cantidad de GEI emitidos por cada unidad del parámetro “dato de actividad”. Estos factores varían en función de la actividad que se trate.

Después de definir la forma de cálculo de la Huella de Carbono, SE UTILIZAN CONCEPTOS DE Investigación de Operaciones requeridos para el desarrollo de la investigación. (Ver Anexo 2)

4. ANÁLISIS DE SITUACIÓN ACTUAL

La presente investigación aborda la temática del medio ambiente y la responsabilidad que tiene una organización con respecto a sus operaciones. La compañía de cervecerías unidas (CCU), está implementando un programa bastante ambicioso que tiene como objetivo reducir las emisiones de contaminantes, a través de la baja en el envío progresivo de basura y el reciclaje de materiales.

Sin embargo, los esfuerzos realizados no han sido suficientes para cumplir con las expectativas de CCU, es por esto que se evalúa la actual situación, para enfocar los esfuerzos en los procesos que aporten mayor nivel de emisiones y gastos relacionados por este concepto, y analizar una forma de reducirlos.

4.1. Contextualización de la situación actual

Para poder visualizar las emisiones que genera CCU a nivel nacional, detallado por CD, se expone la siguiente tabla resumen de las emisiones acumuladas desde enero 2015 a abril de 2016.

Tabla 7: Emisiones de CO₂ generadas por cada CD

Centro Distribución	Total (t CO ₂ e)	% (t CO ₂ e)
Arica	580	1.25%
Iquique	1.189	2.56%
Antofagasta	3.136	6.74%
Calama	1.171	2.52%
Copiapó	1.783	3.83%
Coquimbo	1.553	3.34%
Illapel	248	0.53%
Cervecera	7.551	16.23%
Modelo	4.554	9.79%
Curauma	2.837	6.10%
Rancagua	2.490	5.35%
Talca	2.523	5.42%
Chillán	878	1.89%
Talcahuano	2.817	6.06%
Los Angeles	1.201	2.58%
Temuco	2.073	4.46%
Osorno	961	2.07%
Valdivia	863	1.86%
Puerto Montt	1.192	2.56%
Castro	405	0.87%
Coyhaique	387	0.83%
Ovalle	1.821	3.92%
Santiago Sur	2.758	5.93%
Llay Llay	1.542	3.32%

Fuente: Elaboración propia en base a información de DCMA CCU

Como se observa en la Tabla 7, el CD Cervecera es el que debido a sus operaciones y distribución genera el mayor nivel de emisiones de contaminantes expresados en toneladas de CO₂(e).

A continuación se hace la comparación respecto a los costos asociados a las emisiones, por medidas paliativas a nivel de CD (Ene. 2015 – Abr. 2016)

Tabla 8: Gasto de acciones contra las emisiones de cada CD

Centro Distribución	Gasto (\$)	% Gasto
Arica	\$ 64.500.000	2.13%
Iquique	\$ 70.661.184	2.34%
Antofagasta	\$ 186.445.335	6.17%
Calama	\$ 69.642.177	2.30%
Copiapó	\$ 106.014.662	3.51%
Coquimbo	\$ 92.326.549	3.05%
Illapel	\$ 14.751.706	0.49%
Cervecera	\$ 480.480.000	15.88%
Modelo	\$ 427.800.000	14.15%
Curauma	\$ 168.672.936	5.58%
Rancagua	\$ 148.026.272	4.90%
Talca	\$ 150.010.486	4.96%
Chillán	\$ 22.200.000	0.73%
Talcahuano	\$ 167.465.877	5.54%
Los Angeles	\$ 71.385.355	2.36%
Temuco	\$ 126.857.387	4.20%
Osorno	\$ 57.140.201	1.89%
Valdivia	\$ 51.308.526	1.70%
Puerto Montt	\$ 60.000.000	1.99%
Castro	\$ 24.050.724	0.80%
Coyhaique	\$ 22.980.642	0.76%
Ovalle	\$ 108.279.787	3.58%
Santiago Sur	\$ 150.000.000	4.96%
Llay Llay	\$ 181.800.000	6.02%

Fuente: Elaboración propia en base a información de DCMA CCU

Se observa en la tabla 8, que las emisiones producidas por Cervecera representan el 16.23% de los contaminantes totales en el período analizado, y es una de las causas por la cual se debe centrar el diagnóstico en este CD.

Sumado a lo anterior, la elección de esta investigación pasa por dos factores, las emisiones producidas por la planta, y el perjuicio económico que le trae a la empresa la producción de estos contaminantes, y es en estos dos puntos donde Cervecera (Quilicura) mantiene el primer lugar.

La tabla 9 detalla el total de emisiones provenientes de las áreas involucradas en la emisión de contaminantes.

Tabla 9: Emisiones de CO₂ por Área de contaminación

Áreas	Total (t CO ₂ e)	% (t CO ₂ e)
Distribución	5.097	67.5%
Operaciones	1.578	20.9%
Otros	853	11.3%
(en blanco)	23	0.3%
	7.551	

Fuente: Elaboración propia en base a información de DCMA CCU (Ene. 2015 – Abr. 2016)

Tabla 10: Gastos relacionados a Emisiones CO₂ - Planta Quilicura

Áreas	Gasto (\$)	% Gasto
Distribución	322.560.000	67.10%
Operaciones	101.760.000	21.20%
Otros	54.240.000	11.30%
(en blanco)	1.920.000	0.40%
	\$ 480.480.000	

Fuente: Elaboración propia en base a información de DCMA CCU (Ene. 2015- Abr. 2016)

El enfoque de esta memoria debiese estar direccionada al área de distribución, ya que según tabla 10, representa más de dos tercios del desembolso que realiza la empresa para el ítem medioambiental (mitigaciones). Dentro de esta área de distribución, la sub categoría Ruta es la que centra las emisiones, basándose en los camiones que distribuyen los productos a los clientes (tabla 11).

Tabla 11: Cantidad de emisiones según tipo

Área/Tipo	Emisión CO ₂ e (TON)
DISTRIBUCIÓN	5.097
RUTA	3.876
NEUMATICOS	989
BASURA	182
OTROS	50
OPERACIONES	1.578
TRANSPORTES	765
BASURA	567
MATERIALES	246
OTROS	853
LIMPIEZA	458
Otras act. No def.	395
(en blanco)	15

Fuente: Elaboración propia en base a información de DCMA CCU

La sub-categoría de Ruta, representa el mayor aporte tanto en las emisiones, como en el ámbito económico, mostrando un síntoma del problema al que se debe atacar.

4.2. Identificación de los responsables

Es importante señalar que las empresas transportistas son terceros que sólo cumplen la función de distribuir los productos a los clientes, sin embargo, la planificación previa y el ruteo, es realizado por CCU.

En la tabla 12 se especifican las emisiones que genera cada empresa de transportista que CCU contrata para la distribución de sus productos.

Tabla 12: Emisiones CO₂ por Empresa de Transporte - Planta Quilicura (Ene 2015 - Abr 2016)

Transporte	Total (t CO ₂ e)	% (t CO ₂ e)
Empresa Tpte. A	1.687	33.10%
Empresa Tpte. B	1.454	28.53%
Empresa Tpte. C	100	1.96%
Empresa Tpte. D	133	2.61%
Empresa Tpte. E	92	1.80%
Empresa Tpte. F	79	1.55%
Empresa Tpte. G	77	1.51%
Empresa Tpte. H	990	19.42%
Empresa Tpte. I	65	1.28%
Empresa Tpte. J	20	0.39%
Empresa Tpte. K	35	0.69%
Empresa Tpte. L	47	0.92%
Empresa. Tpte. M	49	0.96%
Otras Empresas Tpte.	269	5.28%
	5.097	

Fuente: Elaboración propia en base a información de DCMA CCU

Por otra parte, en la tabla 13 se detalla el gasto por concepto de emisiones que CCU tiene con cada uno de los transportistas:

Tabla 13: Gastos por Emisiones de CO₂ por Empresa de Transporte - Planta Quilicura (Ene 2015 - Abr 2016)

Transporte	Gasto (\$)	% Gasto
Empresa Tpte. A	72.687.546	35.98%
Empresa Tpte. B	45.986.546	22.76%
Empresa Tpte. C	5.678.904	2.81%
Empresa Tpte. D	8.790.675	4.35%
Empresa Tpte. E	4.546.014	2.25%
Empresa Tpte. F	2.100.868	1.04%
Empresa Tpte. G	2.000.234	0.99%
Empresa Tpte. H	34.789.567	17.22%
Empresa Tpte. I	1.010.384	0.50%
Empresa Tpte. J	570.433	0.28%
Empresa Tpte. K	887.567	0.44%
Empresa Tpte. L	5.145.098	2.55%
Empresa. Tpte. M	5.345.098	2.65%
Otras Empresas Tpte.	12.467.567	6.17%
	202.006.500	

Fuente: Elaboración propia en base a información de DCMA CCU

En las tablas 12 y 13 se observa que las empresas de Transportes A, B y H concentran alrededor del 80% de los gastos y el 82% de las emisiones bajo responsabilidad del área de distribución de CCU S.A

Sin duda alguna, todos los indicios apuntan que para reducir la Huella de carbono en CCU se deben tomar acciones correctivas y preventivas en la planta Cervecera (Quilicura), específicamente en el área de Distribución, y en las empresas de Transportes A,B y H, haciendo hincapié en las rutas actuales usadas para la distribución.

De igual forma al comparar los 16 meses (Ver anexo 3) de emisiones, se observa una tendencia en líneas generales a la disminución de la huella de carbono, sin embargo, no es suficiente para la empresa.

En reuniones de coordinación con la organización, se logró acordar la implicancia de sus efectos (emisiones contaminantes) para la empresa, el perjuicio económico y de reputación tanto con el entorno como con la competencia, y se validó el análisis realizado hasta ahora, donde se ha logrado encontrar las principales causantes del problema.

4.2.1. Evolución de las emisiones

Durante el período de análisis se pudo observar una conducta a la baja en las emisiones de Cervecera, la cual se muestra en la figura 20.

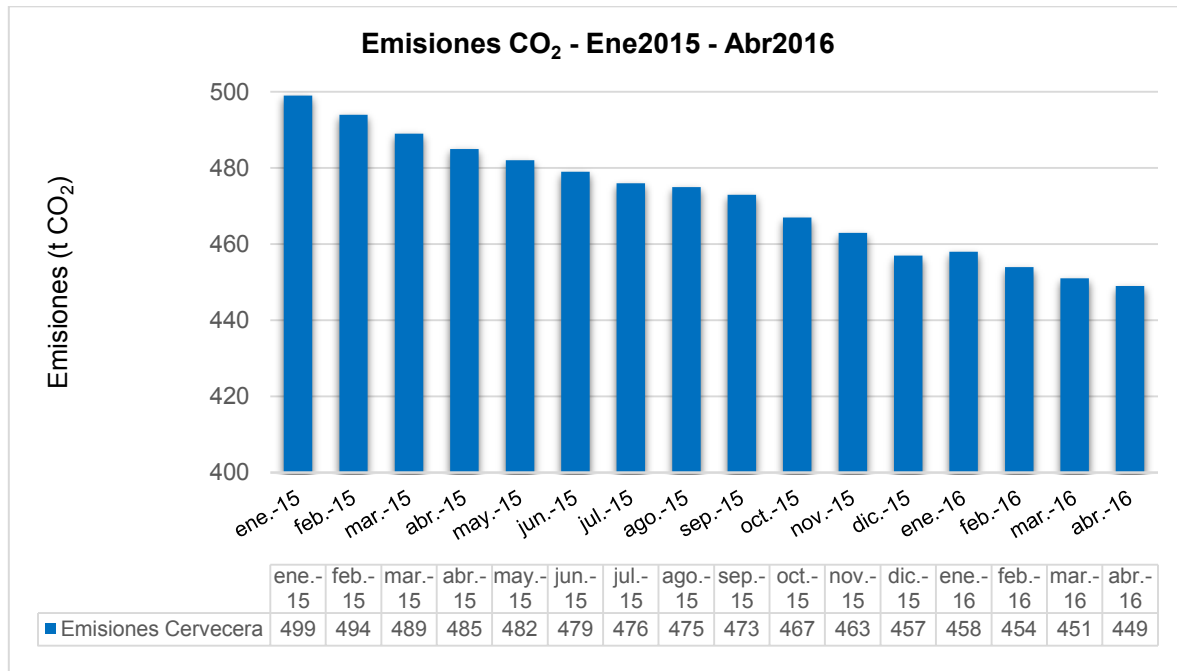


Figura 20: Emisiones de CO₂ durante el período - Planta Quilicura

Fuente: Elaboración propia en base a información de DCMA CCU

Esta representación gráfica hace referencia a la evolución de las emisiones de dióxido de carbono a lo largo del período de 16 meses de evaluación.

Aunque se aprecie una clara disminución en las emisiones generales, éstas han sido impulsadas por el comienzo del reciclaje en la empresa, cuestión que puede distorsionar el foco del problema, y hacer pensar que no existe como tal.

Con respecto al reciclado, la manera en que influye para el cálculo de la huella de carbono, es la disminución de las emisiones netas que realiza el CD, y se vea por consiguiente una falsa tendencia a la baja.

En la figura 21, se observa lo mencionado con respecto a la influencia del reciclado en las emisiones del centro de distribución, generando las acciones de reciclado, distorsiones en la real problemática, influenciando una percepción de disminución de las emisiones contaminantes en un contexto donde aquello no ocurre.

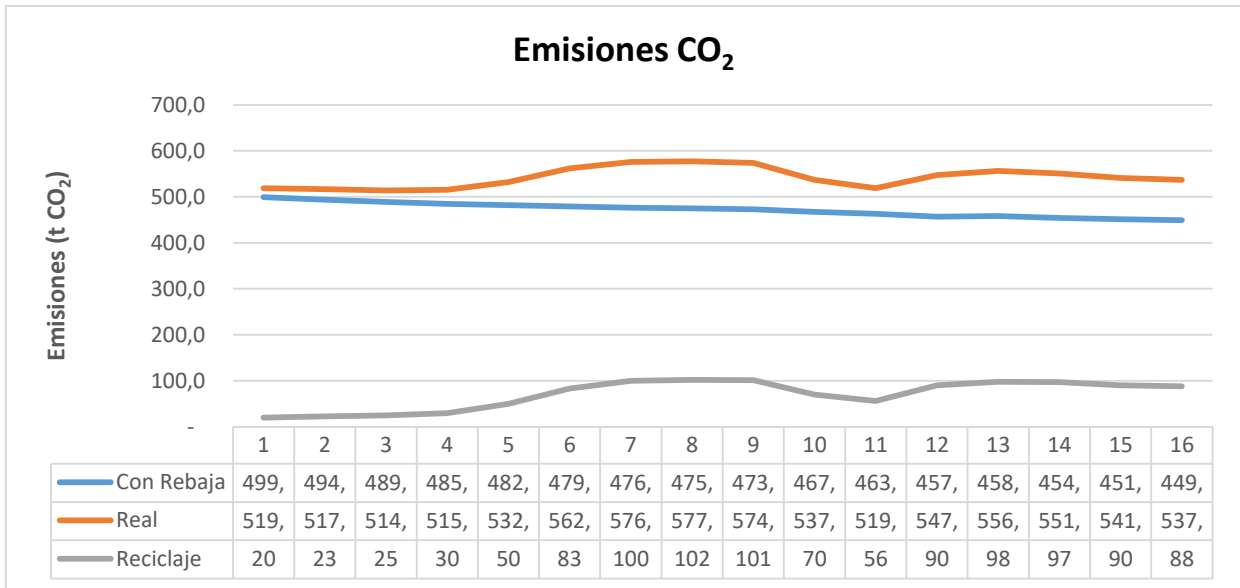


Figura 21: Emisiones de CO₂ con reciclaje durante el período Ene 2015- Abr 2016 - Planta Quilicura

Fuente: Elaboración propia en base a información de DCMA CCU

Ahora, para hacer más específico el análisis de datos, se ha tomado en consideración el período de tiempo durante el día en que es producida la emisión, es por esto que en conjunto a la organización se pudo elaborar un detalle más preciso sobre la concentración de los contaminantes, que se puede ver en el siguiente histograma:

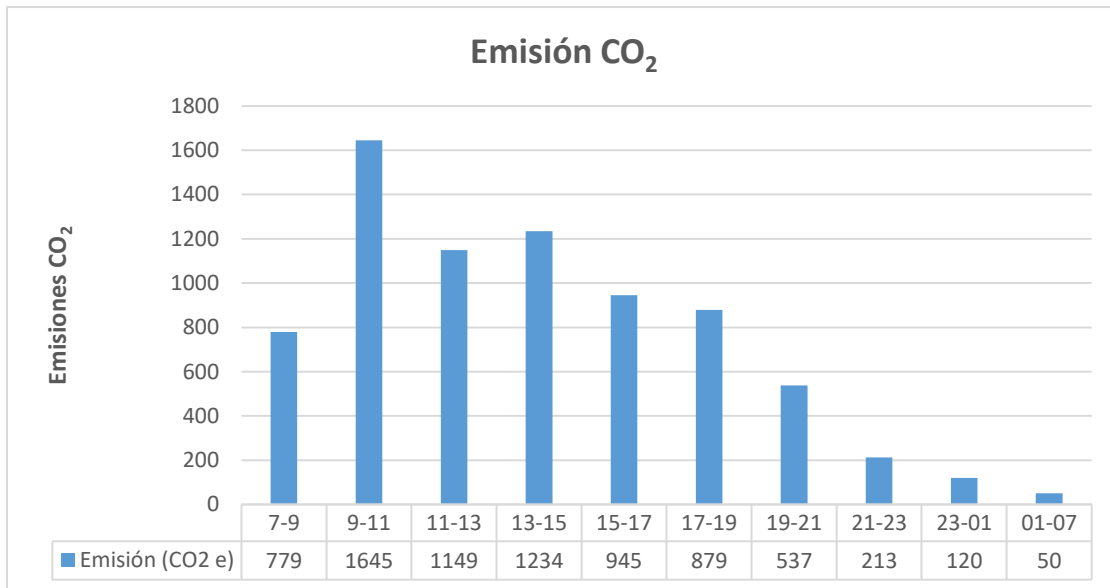


Figura 22: Emisiones de CO₂ durante el día Ene 2015- Abr 2016 - Planta Quilicura

Fuente: Elaboración propia en base a información de DCMA CCU

En la figura 22 se puede observar que entre las 09:00 y las 15:00 hrs. se ha producido alrededor de 4.000 toneladas de dióxido de carbono equivalente, lo que respalda una vez más la teoría de que el área de distribución es la que concentra el problema de los contaminantes.

Cabe señalar que la planta funciona durante las 24 horas del día, mientras el área de distribución su funcionamiento más activo es entre las 8:00 y las 19:00 hrs., manteniendo su actividad durante las 24 horas, pero siendo labores de menor movimiento, en lo que resta del día.

4.2.2. Dónde atacar

A continuación se presentan dos gráficos de Pareto (figura 23 y 24) que permitirán la validación final de las problemáticas detectadas en sub-capítulos anteriores, entregando el foco final para su correcta solución.

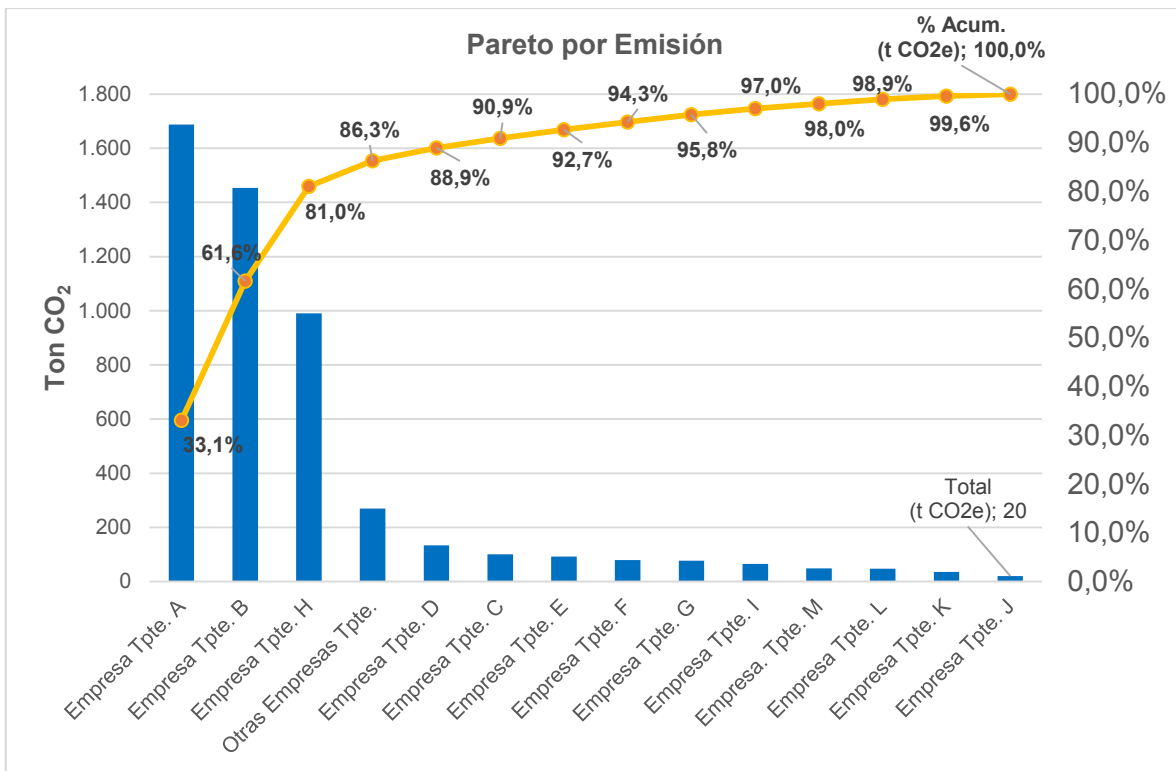


Figura 23: Pareto Emisiones de CO₂e Ene 2015- Abr 2016 - Planta Quilicura

Fuente: Elaboración propia en base a información de DCMA CCU

Si se analiza el gráfico por emisiones, la Empresa Transportes A con 33,1% es la contratista con el que se producen mayores emisiones. Con lo anterior se agrega los contratistas de distribución B y H, los cuales suman casi el 81%, siendo éstos los que reflejan en mayor cantidad el problema.

Las empresas de transporte en las cuales hay que concentrar las acciones son 3, Transporte A, B y H. Por restricciones de privacidad, no se ha permitido utilizar el nombre real de las empresas, es por esto que se le asignó una letra del abecedario a cada una. Públicamente no se dará a conocer el nombre real, sin embargo, CCU sabe a qué corresponde cada nombre auxiliar.

Tabla 14: Pareto de Costos por emisión de contaminantes Ene 2015 – Abr 2016

Transporte	Gasto (\$)	% Gasto
Empresa Tpte. A	72.687.546	36,0%
Empresa Tpte. B	45.986.546	22,8%
Empresa Tpte. H	34.789.567	17,2%
Otras Empresas Tpte.	12.467.567	6,2%
Empresa Tpte. D	8.790.675	4,4%
Empresa Tpte. C	5.678.904	2,8%
Empresa. Tpte. M	5.345.098	2,6%
Empresa Tpte. L	5.145.098	2,5%
Empresa Tpte. E	4.546.014	2,3%
Empresa Tpte. F	2.100.868	1,0%
Empresa Tpte. G	2.000.234	1,0%
Empresa Tpte. I	1.010.384	0,5%
Empresa Tpte. K	887.567	0,4%
Empresa Tpte. J	570.433	0,3%
	202.006.500	

Fuente: Elaboración propia en base a información de DCMA CCU

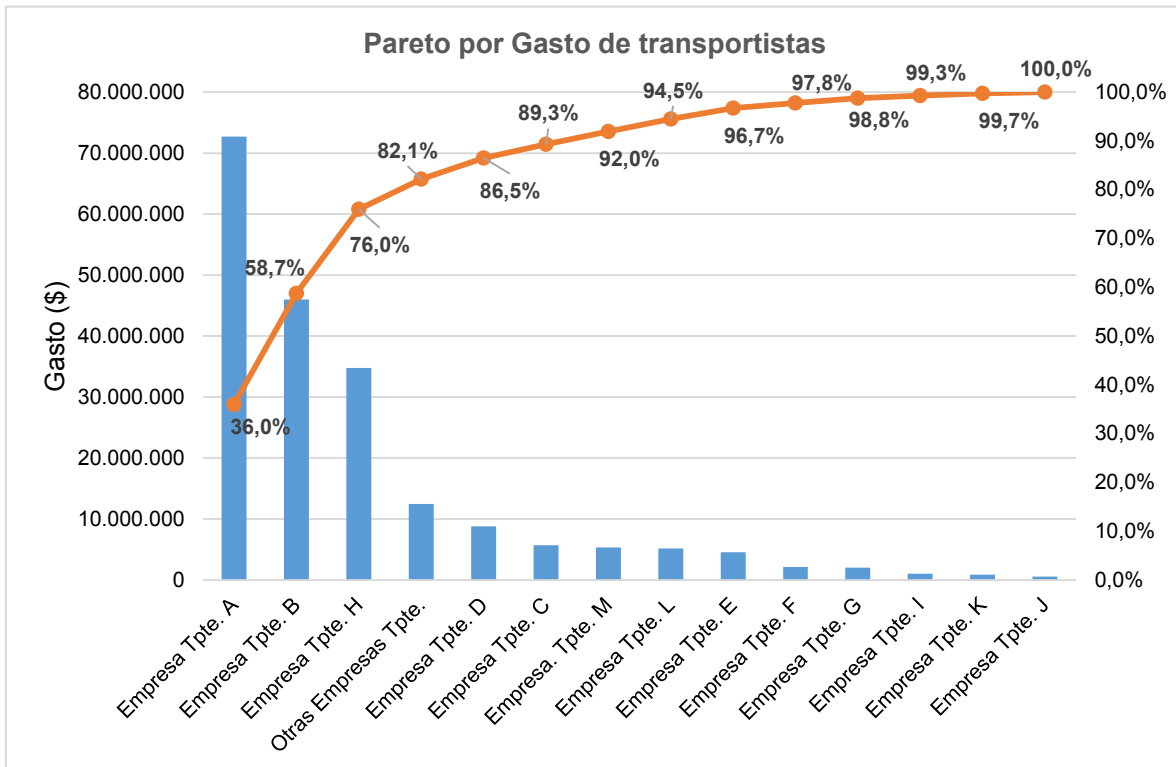


Figura 24: Pareto Gasto por Emisiones de CO₂e Ene 2015 - Abr 2016 - Planta Quilicura

Fuente: Elaboración propia en base a información de DCMA CCU

La figura 24 señala que los mayores gastos se producen en las mismas empresas que

poseen la mayor emisión de contaminantes, con \$72.687.546 correspondiente a la empresa de transportes A, seguida de transportes B con \$45.986.546.

Luego de estos dos análisis (figuras 23 y 24), se infiere que en primera instancia habría que atacar las rutas de estas 3 empresas, ya que representa casi el 80% del costo total de las medidas paliativas por la emisión de contaminantes.

Tabla 15: Agrupamiento de datos estratificados por emisión de contaminantes

Área/Tipo	Emisión CO2 e (TON)
DISTRIBUCIÓN	5.097
RUTA	3.876
NEUMATICOS	989
BASURA	182
OTROS	50
OPERACIONES	1.578
TRANSPORTES	765
BASURA	567
MATERIALES	246
OTROS	853
LIMPIEZA	458
Otras act. No def.	395
(en blanco)	15

Fuente: Elaboración propia en base a información de DCMA CCU.

Separados por categorías de origen de contaminantes, que son distribución, operaciones y otros, se puede realizar un análisis para identificar aquellos motivos que son más recurrentes en cada tipo de categoría.

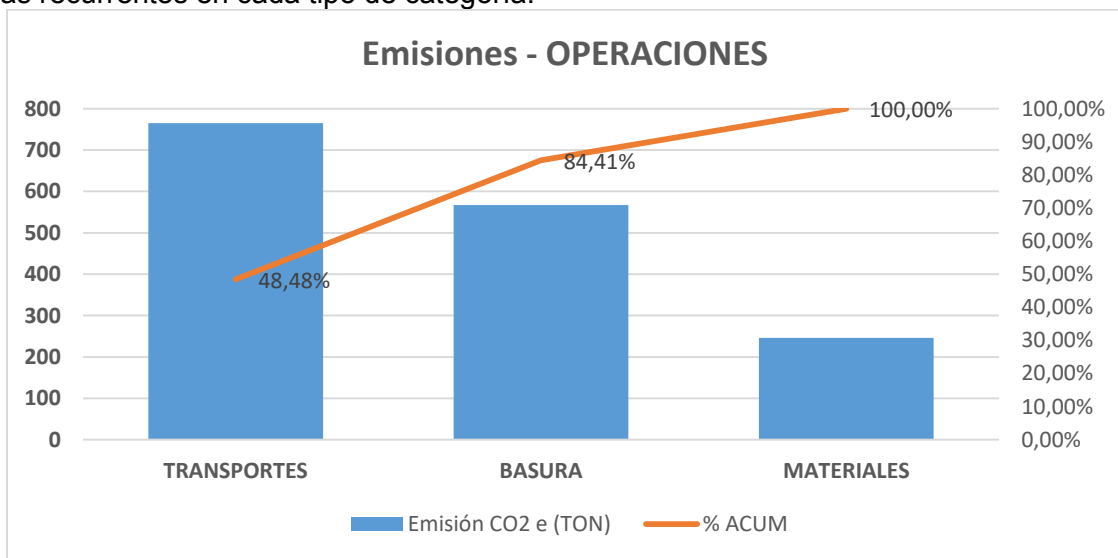


Figura 25: Pareto Emisiones de CO₂ por Categoría Operaciones - Planta Quilicura

Fuente: Elaboración propia en base a información de DCMA CCU

Tabla 16: Datos de Pareto Emisiones de CO₂ por Categoría (Operaciones) Planta Quilicura

Tipo	Emisión CO ₂ e (TON)	%Rel	% ACUM
TRANSPORTES	765	48.48%	48.48%
BASURA	567	35.93%	84.41%
MATERIALES	246	15.59%	100.00%
TOTAL	1.578		

Fuente: Elaboración propia en base a información de DCMA CCU

El transporte interno representa casi el 50% de las emisiones en el área de Operaciones, concentrado gran parte del aporte de HC.

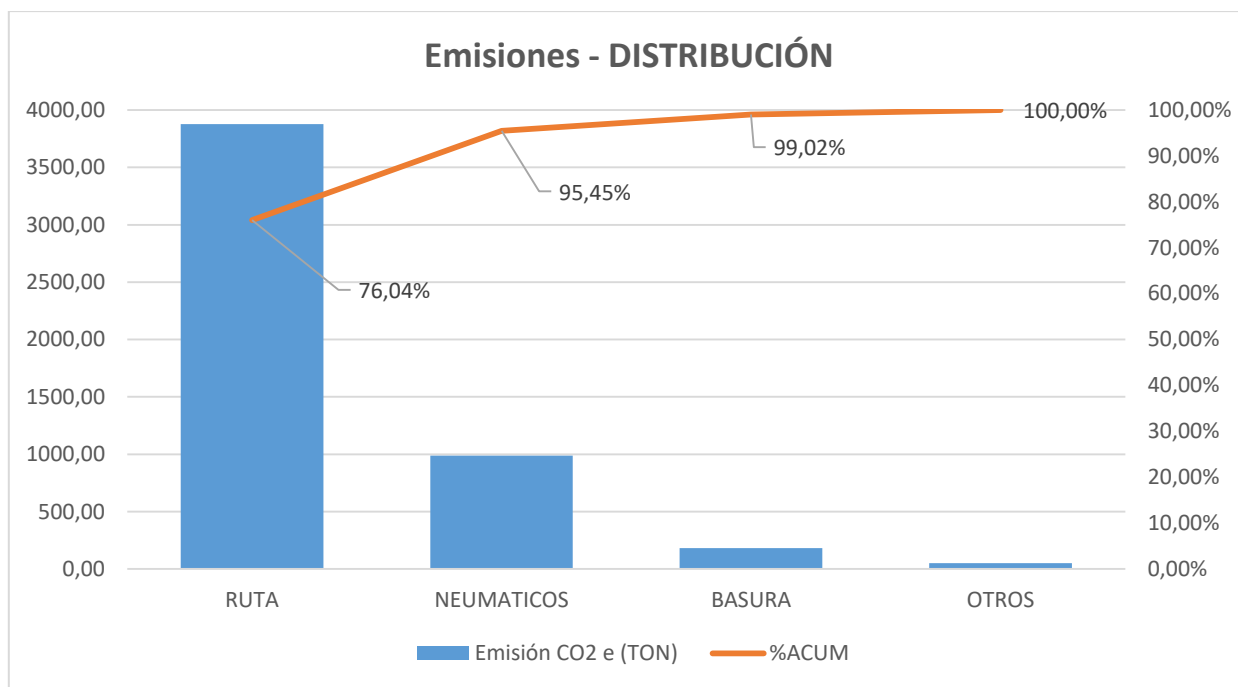


Figura 26: Pareto Emisiones de CO₂ por Categoría Distribución - Planta Quilicura

Fuente: Elaboración propia en base a información de DCMA CCU

Tabla 17: Datos de Pareto Emisiones de CO₂ por Categoría Distribución – Planta Quilicura

Tipo	Emisión CO ₂ (e) (TON)	%Rel	%ACUM
RUTA	3876	76.04%	76.04%
NEUMATICOS	989	19.40%	95.45%
BASURA	182	3.57%	99.02%
OTROS	50	0.98%	100.00%
TOTAL	5.097		

Fuente: Elaboración propia en base a información de DCMA CCU

En esta segunda representación del área de Distribución, queda demostrado igual que en la figura 25 respecto a Operaciones, las 3 fuentes más representativas que producen emisiones por tipo de fuente. Se visualiza la relevancia de la ruta (distribución) que es el responsable de las emisiones.

4.3. Hacia dónde se quiere ir

Para poder mejorar, es necesario tener los objetivos claros, CCU tiene una meta y requiere cumplirla en un corto plazo, es por esto que se debe diagnosticar la situación actual.

En la figura 27 se muestra el gráfico de control de las emisiones contaminantes durante el año 2015, presentándose una tendencia a la baja que coincide con la implementación del programa de reciclaje en el mes de enero. Sin embargo, aun así se sobrepasa el límite de contaminantes establecido como objetivo para el año.

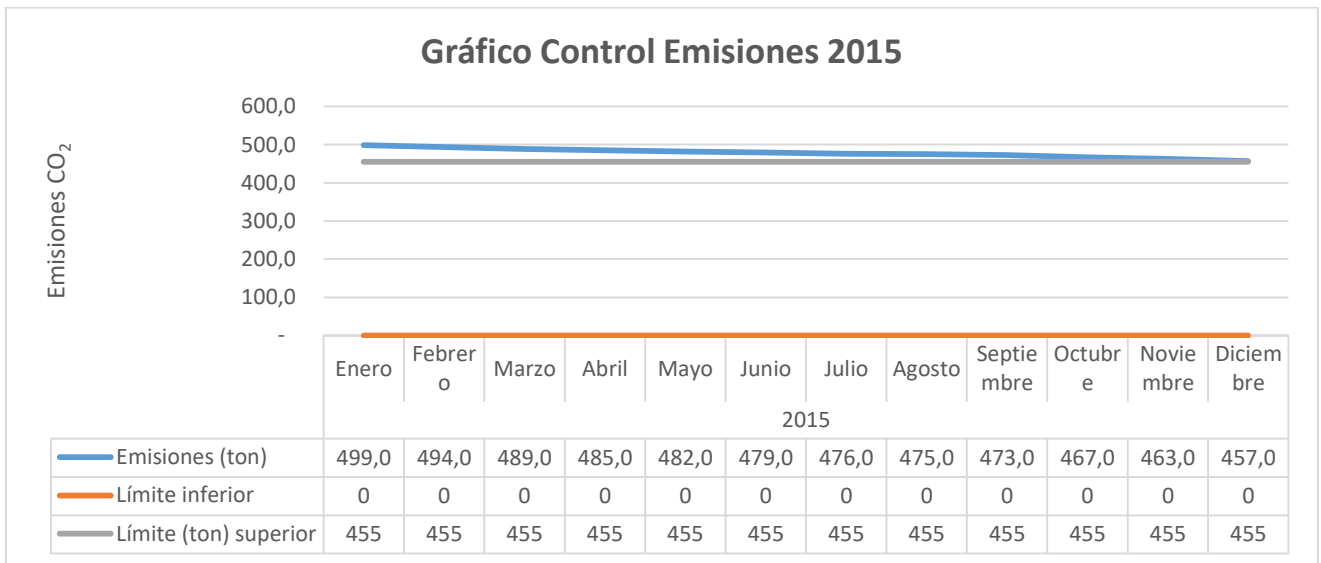


Figura 27: Gráfico Control Emisiones de CO₂ 2015 - Planta Quilicura

Fuente: Elaboración propia en base a información de DCMA CCU

Tabla 18: Emisiones de CO₂ por Categoría 2015 - Planta Quilicura

	Mes	Emisiones (ton)	Límite inferior	Límite (ton) superior
2015	Enero	499	0	455
	Febrero	494	0	455
	Marzo	489	0	455
	Abril	485	0	455
	Mayo	482	0	455
	Junio	479	0	455
	Julio	476	0	455
	Agosto	475	0	455
	Septiembre	473	0	455
	Octubre	467	0	455
	Noviembre	463	0	455
	Diciembre	457	0	455

Fuente: Elaboración propia en base a información de DCMA CCU

Según los límites expuestos por la empresa, los procesos se encuentran totalmente fuera de control, puesto que todos los puntos están fuera del límite superior. A pesar que se evidencia una tendencia a la baja producto de la campaña de reciclaje que se instauró a principios del año 2015, los últimos 3 meses del año, es posible observar una baja de las emisiones, dejando a CCU en una muy buena posición respecto del comienzo del año 2015.

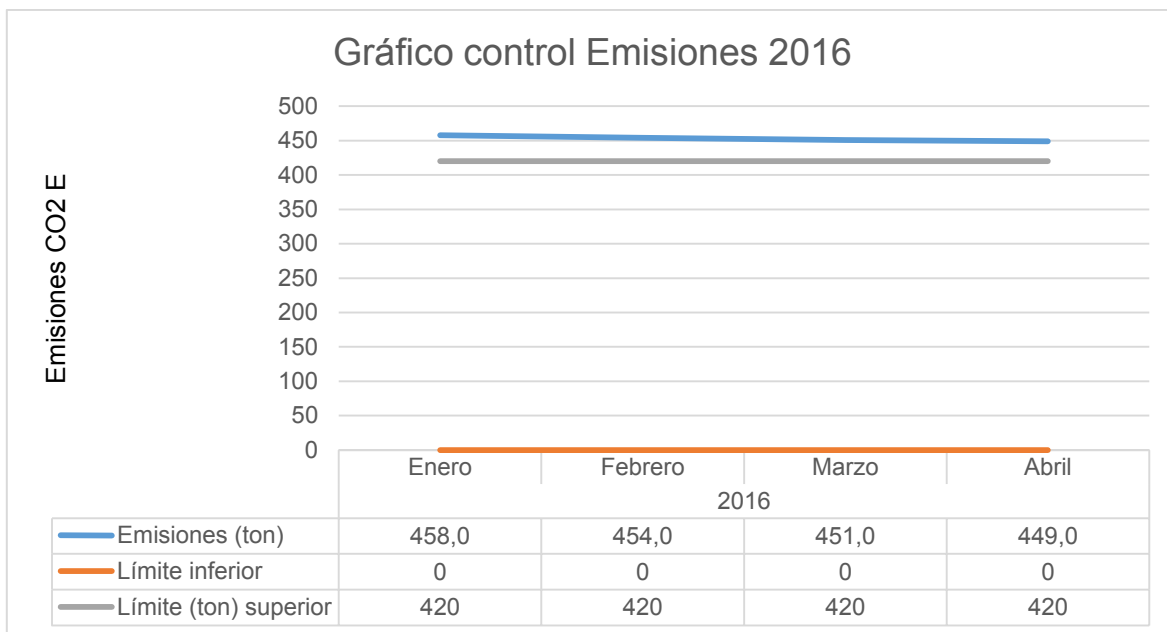


Figura 28: Gráfico Control Emisiones de CO₂ 2016 - Planta Quilicura

Fuente: Elaboración propia en base a información de DCMA CCU

Tabla 19: Emisiones de CO₂ por Categoría 2016 - Planta Quilicura

	Mes	Emisiones (ton)	Límite inferior	Límite (ton) superior
2016	Enero	458	0	420
	Febrero	454	0	420
	Marzo	451	0	420
	Abril	449	0	420

Fuente: Elaboración propia en base a información de DCMA CCU

Según los límites expuestos por la empresa para el año en curso, los procesos se mantienen fuera de control, Se manifiesta la misma tendencia que el año anterior (2015), y es probable que esté dentro del rango a fin de año (2016)

A través de la esquematización de la casa de calidad, y posterior asignación de valores a las distintas características, se observa que la ponderación obtenida por el modelo de transporte, va en concordancia con la posible solución a la problemática identificada con las herramientas anteriores.

Esto refuerza la focalización de los esfuerzos en este punto, tomando en consideración que se correlaciona con las cantidades emitidas de contaminantes actuales.

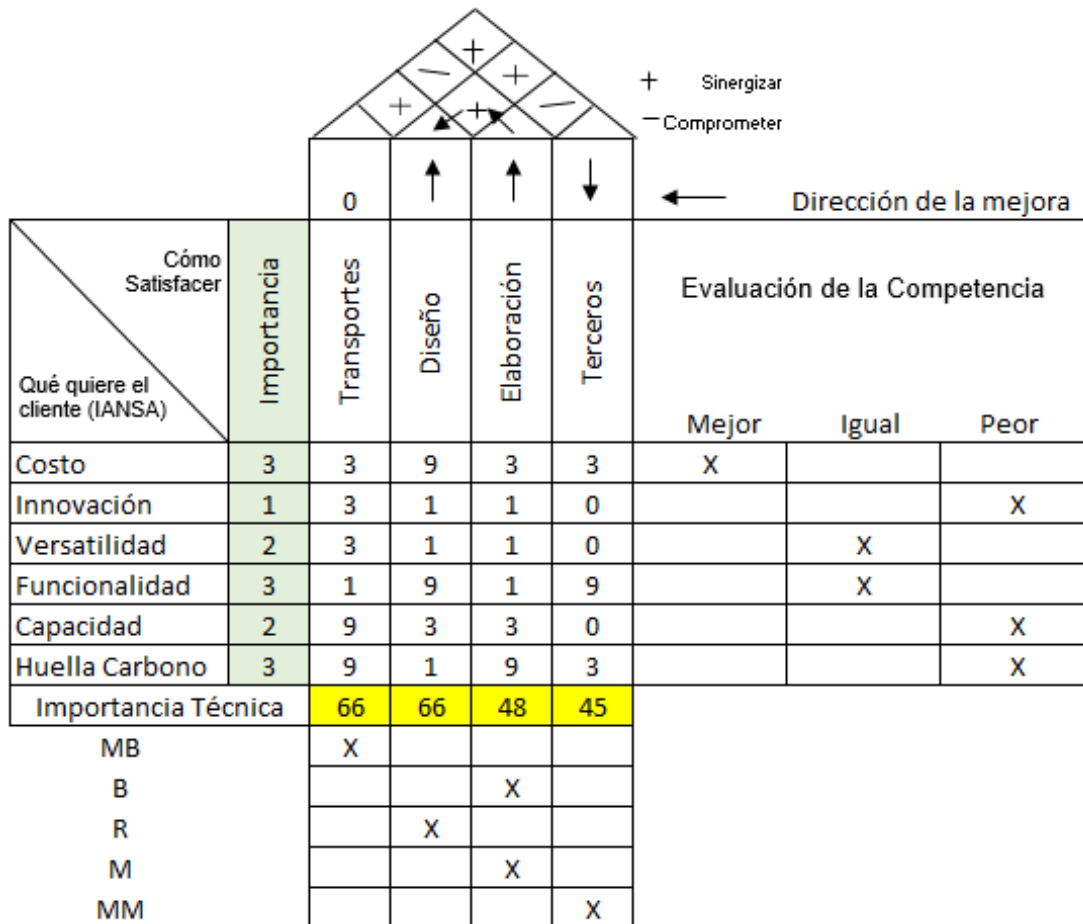


Figura 29: Casa de la Calidad

Fuente: Elaboración propia en base a información de DCMA CCU

4.4. Diagrama de Ishikawa

El problema que se ha detectado en Compañía Cervecerías Unidad es el aumento de las emisiones de huella de carbono generadas en las operaciones diarias que se realizan. Es por ello, que lo primero es profundizar en el problema en sí y en las posibles causas que lo generan.

Para detallar y profundizar se adjunta el Diagrama de Ishikawa o Causa Efecto que permite visualizar las principales causas que provocan el problema mencionado anteriormente.

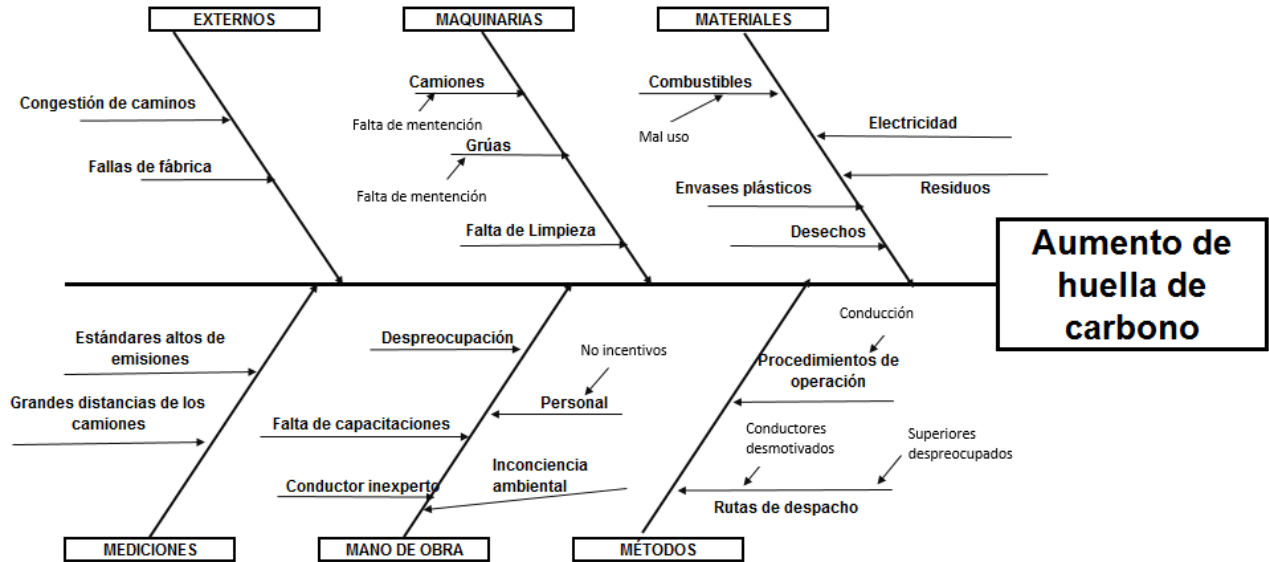


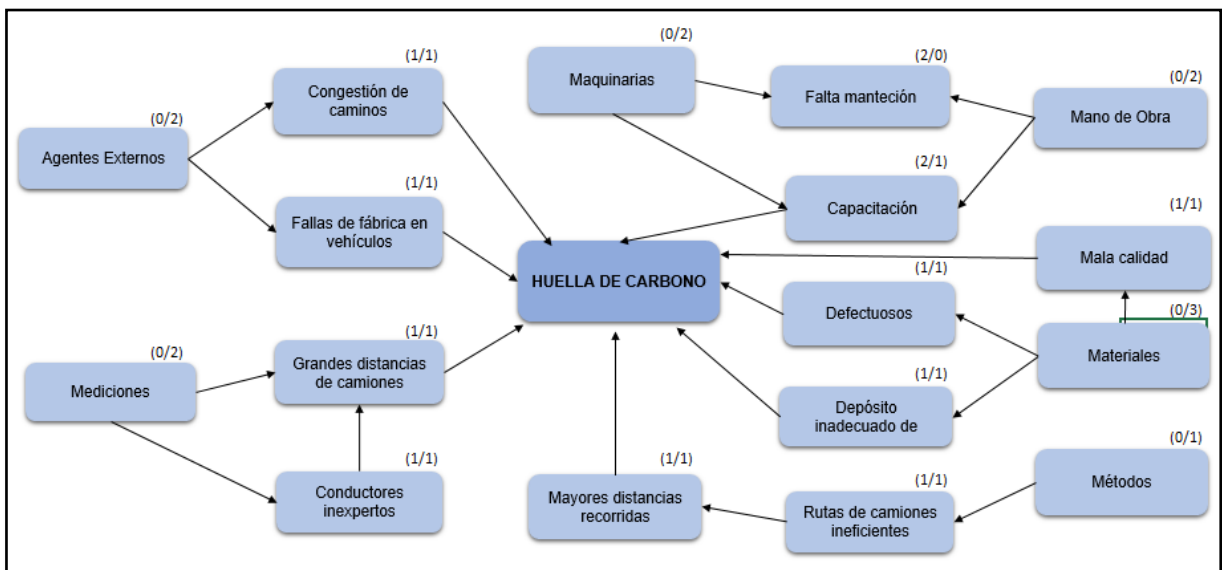
Figura 30: Diagrama de Ishikawa

Fuente: Elaboración propia en base a información de DCMA CCU

Con el diagrama de la figura 30, es posible tener a grandes rasgos y de una manera general las posibles causas que originan el problema y que más adelante serán analizadas cuantitativamente para verificar y determinar qué razón es la mayor determinante a la hora de contaminar el medio ambiente, emitiendo principalmente dióxido de carbono.

4.5. Diagrama de Relaciones

Para este análisis, se comprueba de manera gráfica la relación que pueden tener las causas más significativas que conllevan hacia el efecto o problema que fue detectado en la empresa.



De acuerdo al diagrama de la figura 31, se visualizan los efectos que de alguna manera pueden tener mayor influencia para ocasionar el problema, debido a la interacción que tiene con otras causas, como es el caso de los materiales o la falta de capacitación para los empleados o conductores de camiones a la hora de optimizar las herramientas, y así lograr disminuir las emisiones generadas.

Diagrama de Correlación

Este digrama se utilizó para verificar y comprobar el nivel de relación que tiene el número de cajas que son entregadas a los diferentes clientes a lo largo de país a través de los camiones o transporte que CCU cuenta para ello, respecto al número total de emisiones de toneladas de dióxido de carbono generado para tal actividad.

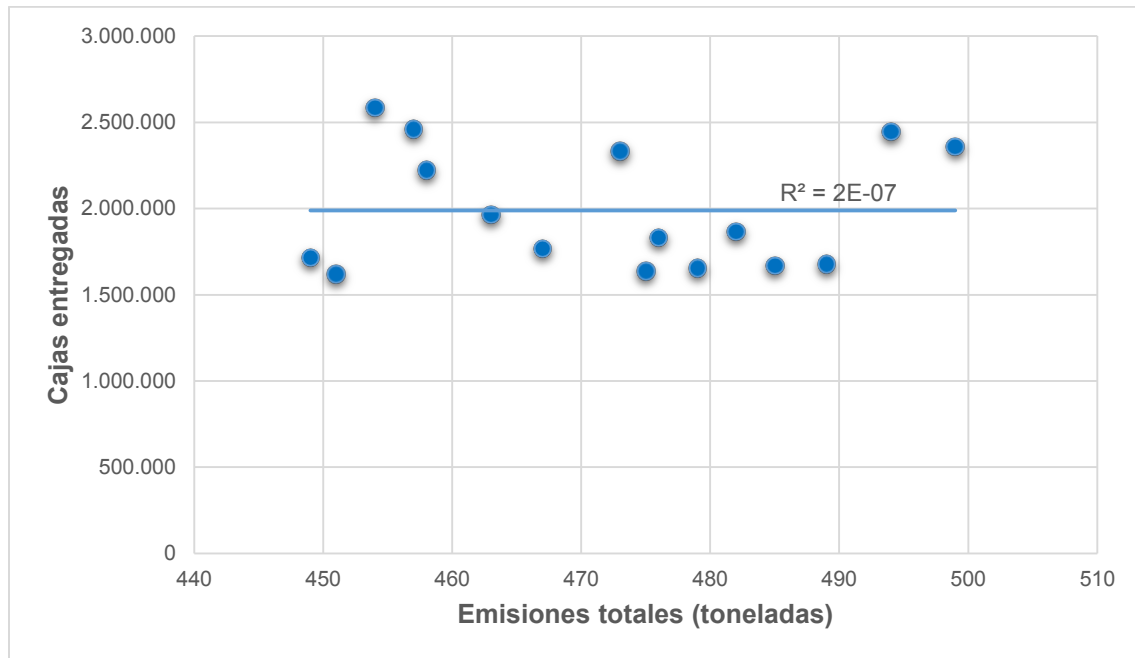


Figura 32: Gráfico de Correlación - Cajas entregadas vs Emisiones totales

Fuente: Elaboración propia en base a información de DCMA CCU

De acuerdo al gráfico 32 y actual respecto a la huella de carbono generada por el transporte de los productos que CCU comercializa, se desprende que a medida que el número de cajas transportadas aumenta, también lo hace el número de emisiones.

Esto sucede básicamente, debido a que a mayor cantidad de cajas que transportar, se necesitan también, más camiones para dar abasto necesario del despacho. Sin embargo, este si bien da un comportamiento de relación directa y positiva entre las variables, se cree que no debiera ser un factor tan determinante a la hora de las emisiones, ya que es posible una optimización de espacio en los propios camiones que quizás no se están utilizando de la manera adecuada, como también lo es el ruteo de entrega a la que los camiones están siendo sometidos, y que es probable no sea el más adecuado para la disminución considerable de las emisiones.

Además sin contar otros múltiples factores a determinar para ver cuál es el más determinante a la hora de lograr disminuir al máximo el nivel de huella de carbono generada por la empresa.

5. PROPUESTAS

El presente capítulo tiene como objetivo plantear las propuestas para disminuir la huella de carbono, focalizando la solución en la reingeniería de las rutas de los camiones que de acuerdo al análisis en capítulos anteriores presentan mayor cantidad de emisiones de contaminantes (CO₂) que se da en la empresa CCU, y además se presentará el desarrollo de las soluciones propuestas.

5.1. Mapeo de Clientes

En el presente, las empresas necesitan disponer de recorridos o rutas establecidas para satisfacer a la gran cantidad de clientes que tienen en sus carteras, y para esto es que utilizan softwares de asignación y creación de rutas, mediante los cuales se pretende recorrer la menor cantidad de kilómetros, para tener el menor consumo de combustible y el menor nivel de huella de carbono, siempre considerando la atención a todos los clientes. Aunque también hay empresas que no consideran sistemas computacionales para ello y la distribución la hacen sólo de acuerdo a experiencia de los conductores.

En esta memoria, se utilizó la herramienta Google Maps para ubicar los 54 clientes en estudio (Anexo 2), todos ubicados en la Región Metropolitana y distribuidos heterogéneamente en varias comunas.

La figura 33 presenta el mapa general de los 54 clientes y el centro de distribución CCU. Hay dos tipos de marcadores: en color negro, el CD CCU ubicado en la comuna de Quilicura y en azul los clientes que se deben visitar para las entregas de productos.

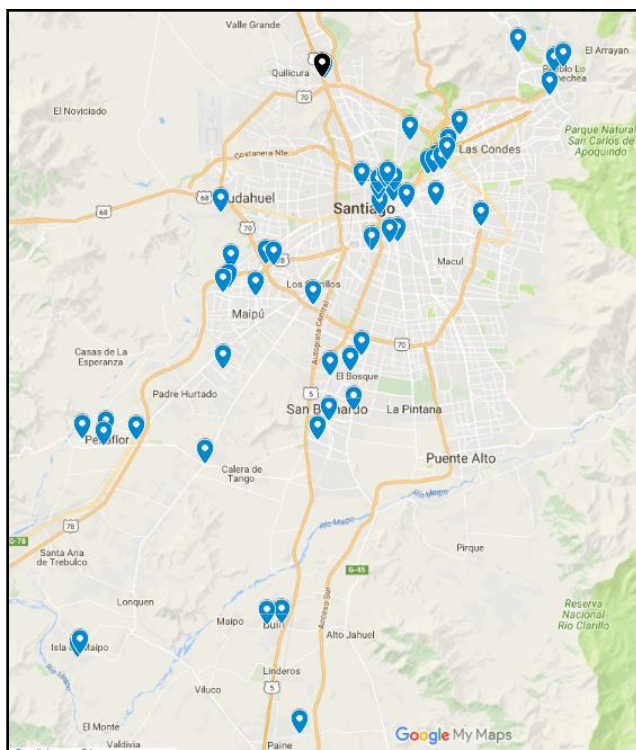


Figura 33: Mapa general de clientes y CD CCU

Fuente: Elaboración propia (<https://www.google.com/maps/d/u/1/edit?authuser=1&mid=18BetP-dxLjAWPHkyXtkIW6LxcsE&ll=-33.57500767307924%2C-70.70490415&z=11>)

En base a la distribución de clientes mostrada en la figura 33, se pueden definir 6 clusters, los que fueron divididos en conjunto con la empresa. Estos 6 cluster son un conjunto de 9 clientes cada uno, los que deben ser visitados en su totalidad, partiendo desde el centro de distribución de CCU ubicado en la comuna de Quilicura y finalizando el recorrido en este mismo lugar.

a) Cluster 1: Zona Sur Oeste

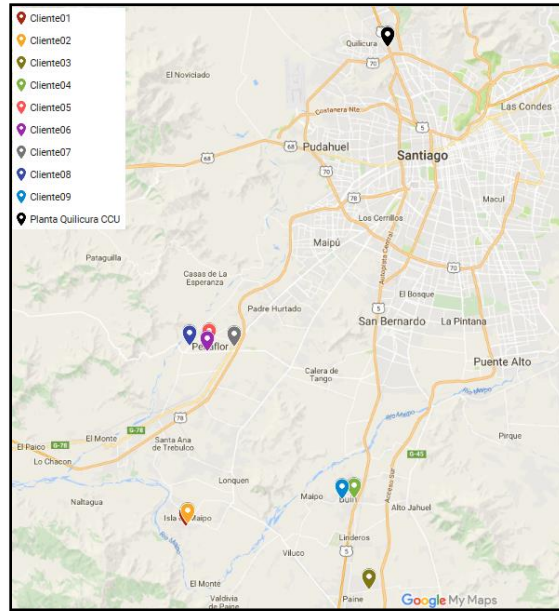


Figura 34: Mapa cluster 1

Fuente: Elaboración propia (<https://www.google.com/maps/d/u/1/edit?authuser=1&mid=18BetP-dxLjAWPHkyXtkIW6LxcsE&ll=-33.57500767307924%2C-70.70490415&z=11>)

b) Cluster 2: Zona Sur

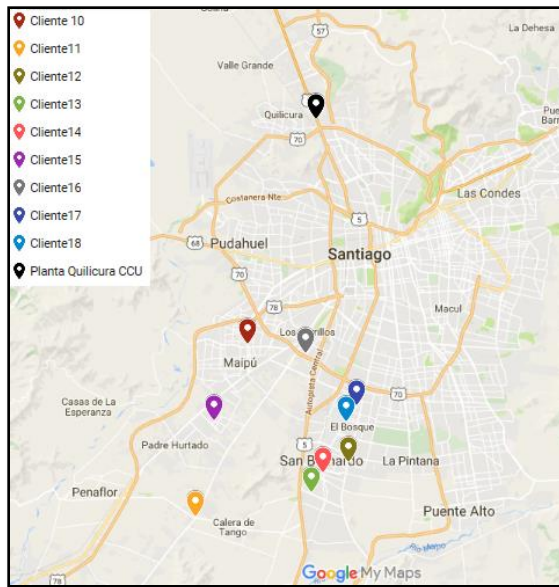


Figura 35: Mapa cluster 2

Fuente: Elaboración propia (<https://www.google.com/maps/d/u/1/edit?authuser=1&mid=18BetP-dxLjAWPHkyXtkIW6LxcsE&ll=-33.57500767307924%2C-70.70490415&z=11>)

c) Cluster 3: Zona Centro Sur

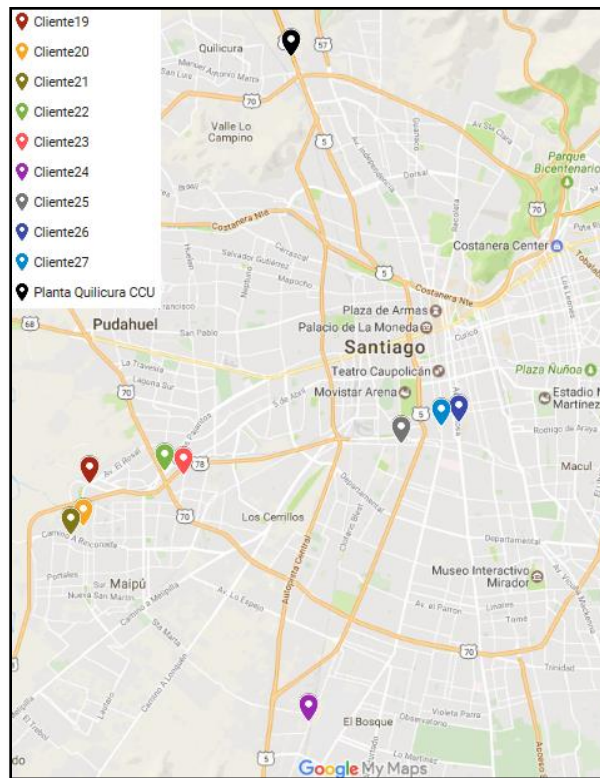


Figura 36: Mapa cluster 3

Fuente: Elaboración propia (<https://www.google.com/maps/d/u/1/edit?authuser=1&mid=18BetP-dxLjAWPHkyXtkIW6LxcsE&ll=-33.57500767307924%2C-70.70490415&z=11>)

d) Cluster 4: Zona Centro Oeste

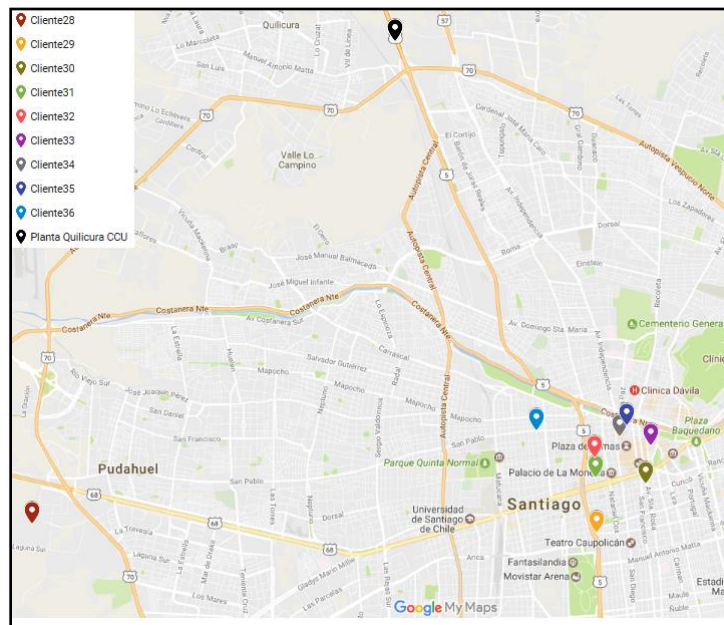


Figura 37: Mapa cluster 4

Fuente: Elaboración propia (<https://www.google.com/maps/d/u/1/edit?authuser=1&mid=18BetP-dxLjAWPHkyXtkIW6LxcsE&ll=-33.57500767307924%2C-70.70490415&z=11>)

e) Cluster 5: Zona Centro Este

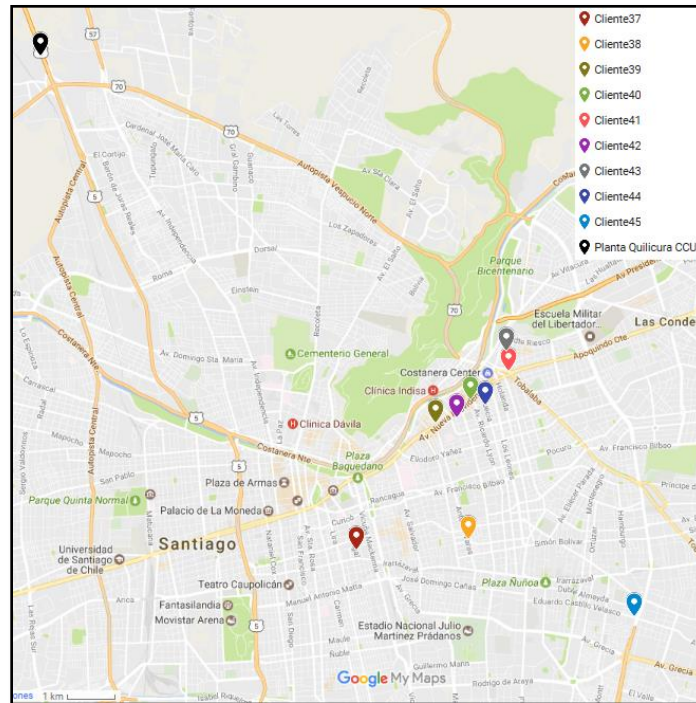


Figura 38: Mapa cluster 5

Fuente: Elaboración propia (<https://www.google.com/maps/d/u/1/edit?authuser=1&mid=18BetP-dxLjAWPHkyXtkIW6LxcsE&ll=-33.57500767307924%2C-70.70490415&z=11>)

f) Cluster 6: Zona Norte

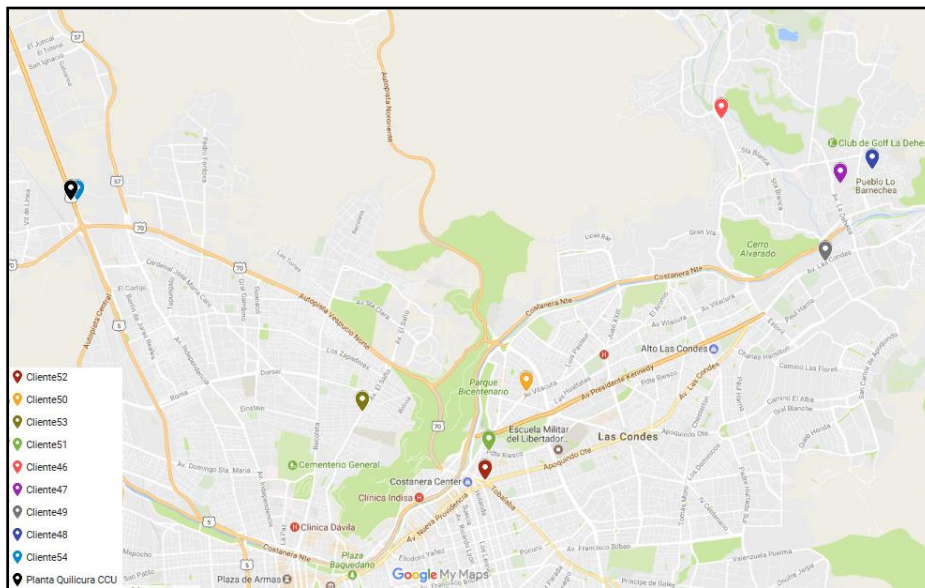


Figura 39: Mapa cluster 6

Fuente: Elaboración propia (<https://www.google.com/maps/d/u/1/edit?authuser=1&mid=18BetP-dxLjAWPHkyXtkIW6LxcsE&ll=-33.57500767307924%2C-70.70490415&z=11>)

5.1.1. Supuestos del problema

Para simplificar el problema y sus variantes, se consideraron los siguientes supuestos y consideraciones:

- Se considerará un camión para recorrer cada clúster, partiendo desde el CD y llegando al mismo punto una vez que ha visitado a todos los clientes dentro de la ruta.
- En conjunto con la empresa, se establecen 6 clúster, tomando como referencia la cercanía entre los clientes y aspectos comerciales.
- Los camiones utilizados en la distribución de mercaderías son Freightliner Modelo M2 106 4x2 Diésel (Anexo 5)
- El rendimiento de los camiones es de 12 kilómetros por litro de combustible.
- La capacidad del estanque de los camiones es de 303 litros.
- Un camión produce 2,62 kg. de CO₂ por litro de combustible. (Palou, 2008)
- Un camión tiene una capacidad de carga de bebidas alcohólicas o de fantasía de 90 cajas.
- El peso de las cajas y del camión es indiferente para el cálculo de emisión de CO₂, al igual que la cantidad de botellas de cada caja.
- Por definición de la empresa, los 54 clientes evaluados en esta memoria son considerados pequeñas empresas y tienen asignadas un máximo de 10 cajas por visita del camión, las que se realizan 2 veces por semana, días miércoles y sábado. (Anexo 6)
- La distancia entre el CD y un cliente es la misma de ida y vuelta ($x_{ij}=x_{ji}$)
- Para la obtención de la distancia entre los clientes se consideró el sentido de las calles, ruta que empleara menor cantidad de kilómetros recorridos y el no pago de peajes con dinero en efectivo.
- Para efectos de la evaluación económica, se asumen los mismos salarios mensuales para las personas involucradas dentro del área de Logística y Distribución.

5.2. Modelos propuestos

5.2.1. Propuesta 1: Heurística Clarke & Wright (C&W)

La primera propuesta de ruteo se basa en la heurística Clarke & Wright que permite identificar una ruta óptima, visitando todos los clientes, a través de los ahorros que se producen de visitarlos de forma independiente ida y vuelta al CD. Para esto, se desarrollarán los 6 clúster definidos anteriormente, logrando obtener la ruta que podría realizar cada camión y así, visitar a todos los clientes involucrados dentro de la región Metropolitana.

Cluster 1

En primera instancia, se construye la tabla de distancias entre los 9 clientes y el CD de origen, el cual es el punto de inicio y término después de visitar todos los clientes de cada ruta o cluster. (tabla 20)

Tabla 20: Matriz de distancias (km) de Cluster 1

Clientes	Cliente03	Cliente04	Cliente09	Cliente02	Cliente01	Cliente05	Cliente07	Cliente06	Cliente08
CD	55,6	43,8	45,2	59,2	59,6	54,3	36,8	41,1	42,4
Cliente03		13,0	14,0	22,3	22,8	29,8	35,3	37,1	39,3
Cliente04	13,0		1,7	21,7	22,2	31,3	26,9	28,7	30,6
Cliente09	14,0	1,7		20,7	21,1	28,1	27,8	29,5	31,5
Cliente02	22,3	21,7	20,7		1,0	11,7	21,3	20,2	19,5
Cliente01	22,8	22,2	21,1	1,0		6,1	21,7	20,6	19,9
Cliente05	29,8	31,3	28,1	11,7	6,1		10,2	8,9	8,2
Cliente07	35,3	26,9	27,8	21,3	21,7	10,2		2,6	4,6
Cliente06	37,1	28,7	29,5	20,2	20,6	8,9	2,6		2,4
Cliente08	39,3	30,6	31,5	19,5	19,9	8,2	4,6	2,4	

Fuente: Elaboración propia de acuerdo a ubicación de los clientes

Lo que procede ahora es el cálculo del ahorro que se produce en visitar a dos clientes en línea y volver al CD, en vez de visitarlos en forma independiente, lo que se visualiza en la tabla 21.

El ahorro señalado anteriormente es calculado de la forma siguiente:

$$S_{ij} = d_{0i} + d_{0j} - d_{ij} \quad (1.55)$$

Donde,

S_{ij} : Ahorro que se produce entre el cliente "i" y el cliente "j".

d_{0i} : Distancia entre el punto cero u origen (Planta Quilicura CCU) hasta el cliente "i".

d_{0j} : Distancia entre el punto cero u origen (Planta Quilicura CCU) hasta el cliente "j".

d_{ij} : Distancia entre el cliente "i" y el cliente "j".

Tabla 21: Matriz de ahorros de Cluster 1

Clientes	Cliente03	Cliente04	Cliente09	Cliente02	Cliente01	Cliente05	Cliente07	Cliente06	Cliente08
Cliente03		86,4	86,8	92,5	92,4	80,1	57,1	59,6	58,7
Cliente04	86,4		87,3	81,3	81,2	66,8	53,7	56,2	55,6
Cliente09	86,8	87,3		83,7	83,7	71,4	54,2	56,8	56,1
Cliente02	92,5	81,3	83,7		117,9	101,8	74,7	80,1	82,1
Cliente01	92,4	81,2	83,7	117,9		107,8	74,7	80,1	82,1
Cliente05	80,1	66,8	71,4	101,8	107,8		80,9	86,5	88,5
Cliente07	57,1	53,7	54,2	74,7	74,7	80,9		75,3	74,6
Cliente06	59,6	56,2	56,8	80,1	80,1	86,5	75,3		81,1
Cliente08	58,7	55,6	56,1	82,1	82,1	88,5	74,6	81,1	

Fuente: Elaboración propia

Las celdas amarillas en la tabla 21 corresponden a la totalidad de ahorros seleccionados para conformar la ruta óptima del cluster de acuerdo al mayor ahorro que se produce al realizar cada iteración, las cuales se detallan a continuación:

Modelo inicial:

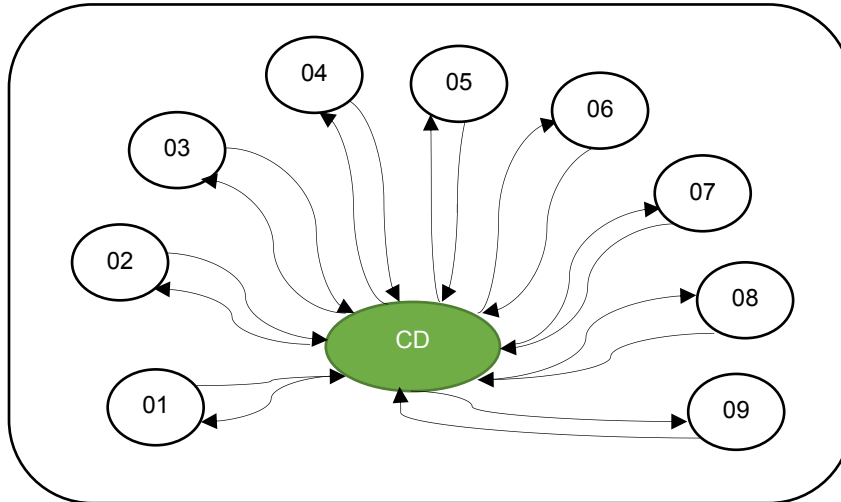


Figura 40: Modelo inicial cluster 1 – C&W

Fuente: Elaboración propia

Primera iteración:

Se realiza de acuerdo al mayor ahorro identificado en la matriz de ahorro para el cluster 1 según la tabla 22, el cual representa 117,9 km. y corresponde a visitar al cliente 02 y luego al 01.

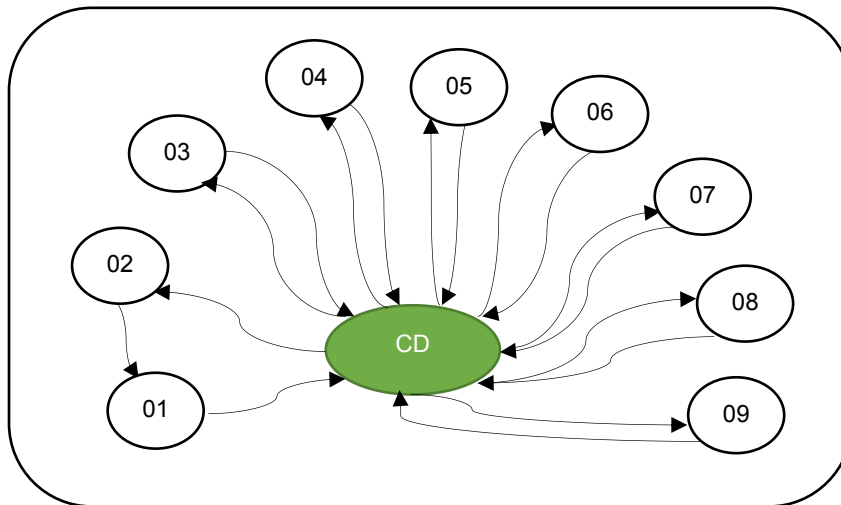


Figura 41: Primera iteración cluster 1 – C&W

Fuente: Elaboración propia

Segunda iteración:

Iteración de acuerdo al segundo mayor ahorro, teniendo en consideración al cliente01 de salida y al cliente02 de llegada. El ahorro es de 107,8 km. entre el cliente 01 y 05, por lo que la ruta continúa al visitar al cliente05.

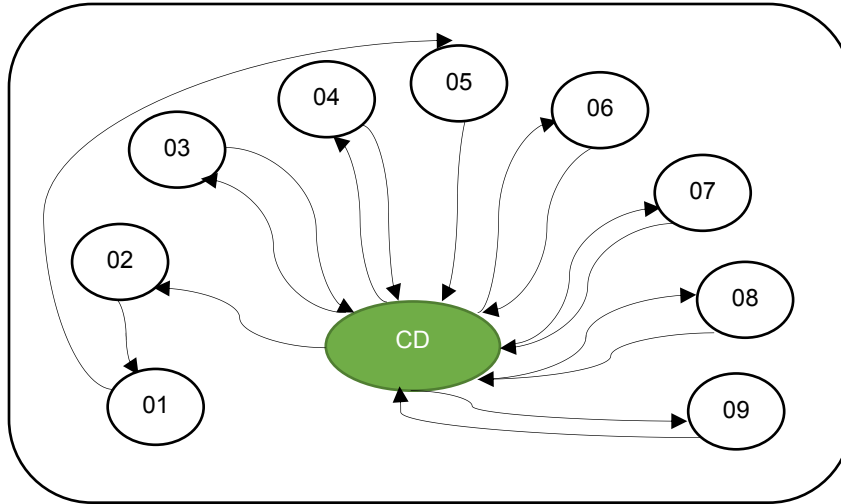


Figura 42: Segunda iteración cluster 1 – C&W

Fuente: Elaboración propia

Tercera iteración:

Siguiendo la línea de los ahorros, el tercer mayor ahorro que se puede unir a la ruta es de 92,5 km. visitando en primer lugar al cliente03 y luego al cliente02.

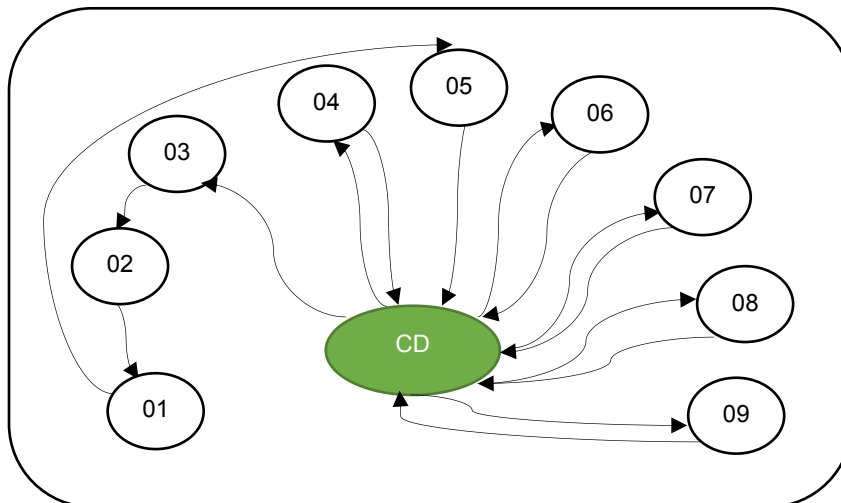


Figura 43: Tercera iteración cluster 1 – C&W

Fuente: Elaboración propia

Cuarta iteración:

La siguiente iteración se da con el ahorro de 88,5 km. siguiendo la iteración anterior y finalizar con el cliente08 para volver al CD.

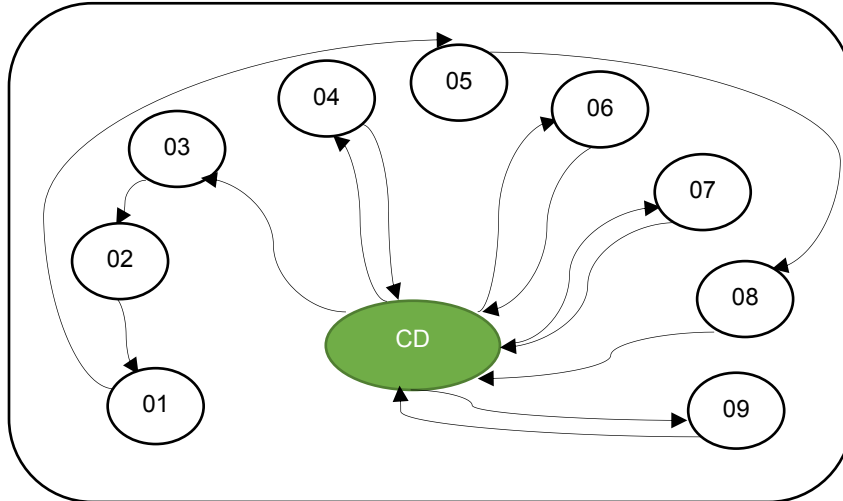


Figura 44: Cuarta iteración cluster 1 – C&W

Fuente: Elaboración propia

Quinta iteración:

El mayor ahorro para continuar la ruta es de 86,8 km. y es visitando en primer lugar al cliente09 y luego al cliente03.

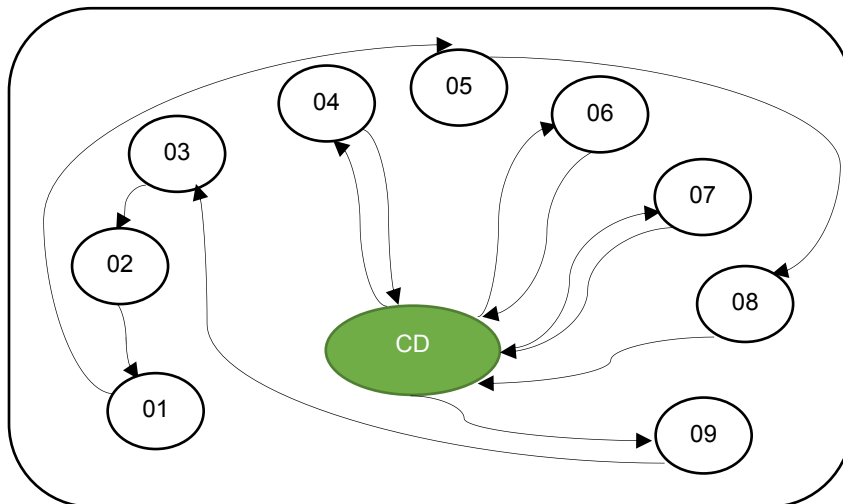


Figura 45: Quinta iteración cluster 1 – C&W

Fuente: Elaboración propia

Sexta iteración:

Con los clientes que faltan por visitar, el mayor ahorro restante es de 87,3 km., por lo que el primer cliente ahora es el 04 y luego el 09 de la iteración anterior.

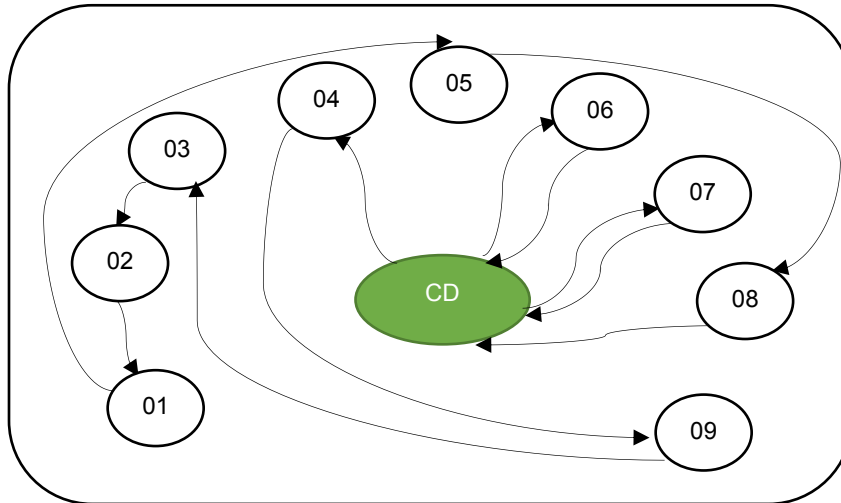


Figura 46: Sexta iteración cluster 1 – C&W

Fuente: Elaboración propia

Séptima iteración:

A la ruta se le agrega al final de la iteración anterior, el cliente 06, ya que el mayor ahorro es de 81,1 km. entre el cliente 08 y 06.

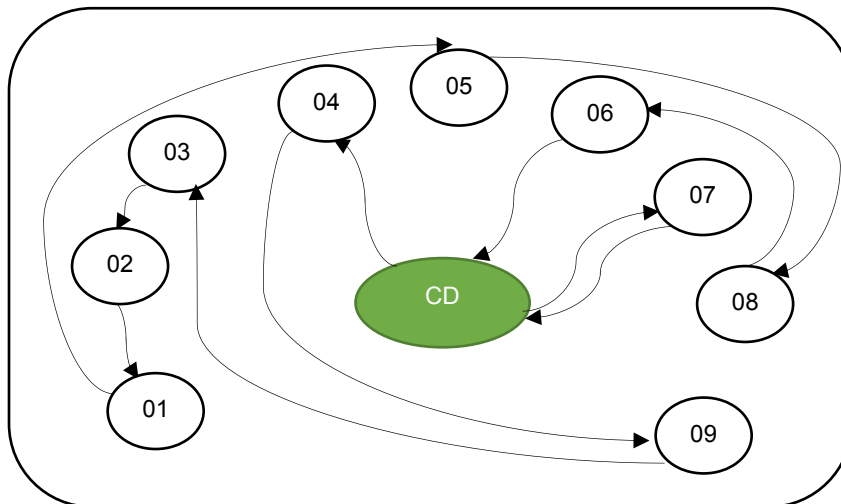


Figura 47: Séptima iteración cluster 1 – C&W

Fuente: Elaboración propia

Octava iteración:

Por último, el cliente que falta por visitar es el 07, para el cual el mayor ahorro que se produce con el cliente 06 es de 75,3 km. Con esto el último cliente es el 07 para volver nuevamente al CD de origen y terminar el recorrido del camión.

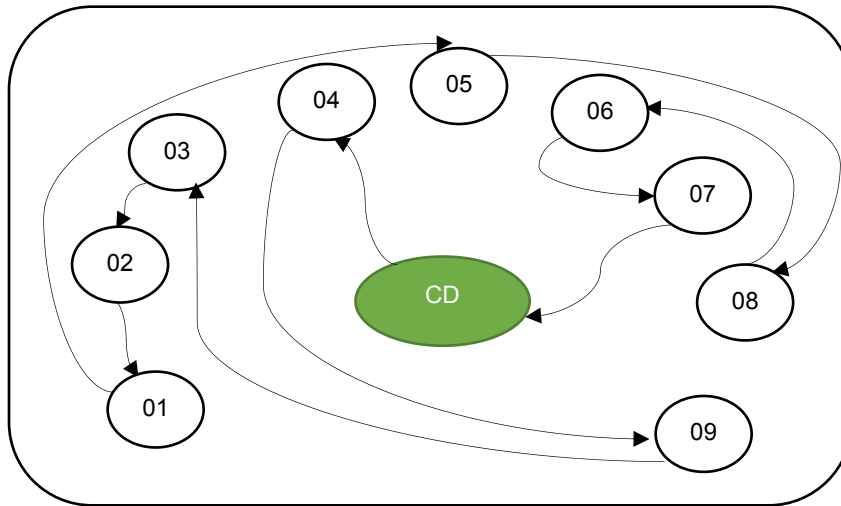


Figura 48: Octava iteración cluster 1 – C&W

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, la ruta óptima para el cluster 1 tiene un total de 138,9 km con la salida de un camión desde la Planta de Quilicura, pasando a visitar a todos los clientes y regresar al mismo punto de origen. La representación gráfica de la ruta se aprecia en la Figura 49, y a continuación se detalla el orden de visita:

1. Planta Quilicura CCU (CD)
2. Cliente04
3. Cliente09
4. Cliente03
5. Cliente02
6. Cliente01
7. Cliente05
8. Cliente08
9. Cliente06
10. Cliente07
11. Planta Quilicura CCU (CD)

CD – 04 – 09 – 03 – 02 – 01 – 05 – 08 – 06 – 07 – CD

Ruta de cluster 1 a seguir:

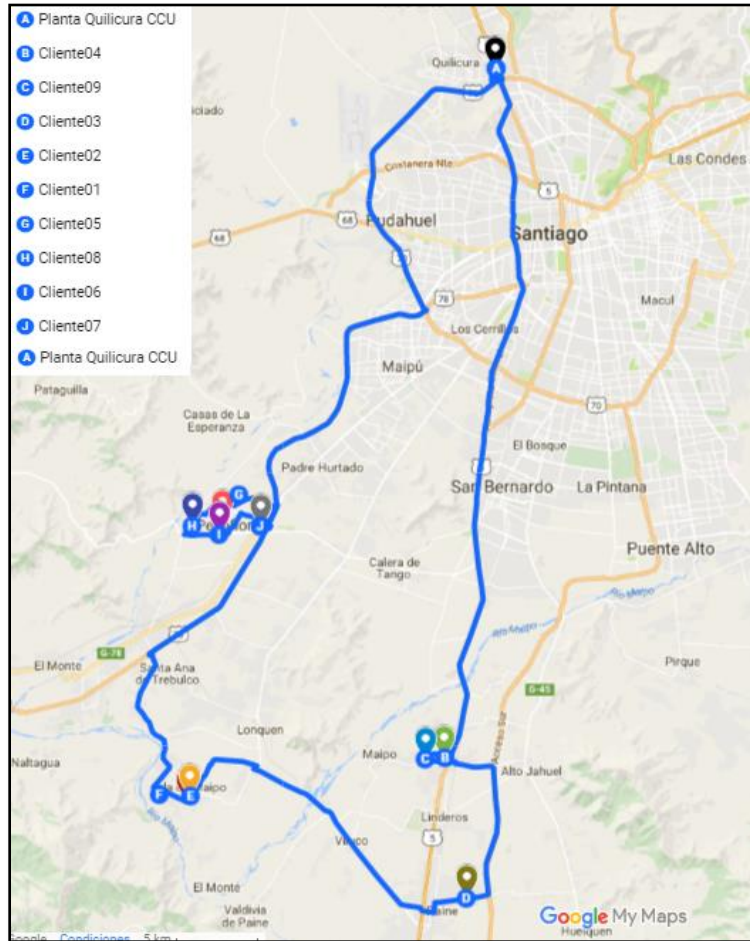


Figura 49: Ruta óptima de cluster 1 – C&W

Fuente: Elaboración propia (<https://www.google.com/maps/d/u/1/edit?authuser=1&mid=18BetP-dxLjAWPHkyXtkIW6LxcsE&ll=-33.57500767307924%2C-70.70490415&z=11>)

En adelante, el proceso iterativo para la formación de las rutas correspondientes a los clusters 2, 3, 4, 5 y 6 es el mismo realizado para el cluster 1, por lo que el desarrollo y detalle se presenta en el Anexo 7. Sin embargo, las rutas obtenidas para cada cluster son las siguientes:

Cluster 2

La ruta óptima para el cluster 2 tiene un total de 99,3 km, partiendo desde el CD y visitando a los 9 clientes. La representación gráfica de la ruta se aprecia en la Figura 50, y a continuación se detalla el orden de visita:

1. Planta Quilicura CCU (CD)
2. Cliente16
3. Cliente17
4. Cliente13
5. Cliente18

6. Cliente12
7. Cliente14
8. Cliente11
9. Cliente15
10. Cliente10
11. Planta Quilicura CCU (CD)

CD – 16 – 17 – 13 – 18 – 12 – 14 – 11 – 15 – 10 – CD

Ruta de cluster 2 a seguir:

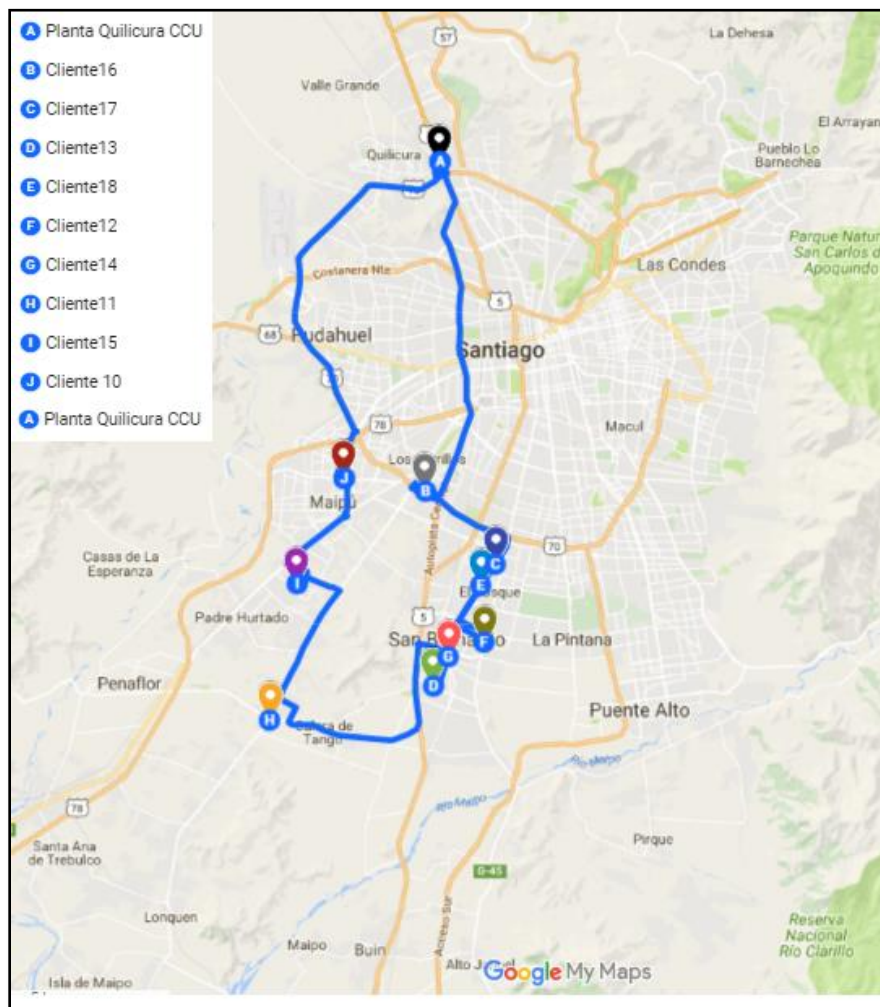


Figura 50: Ruta óptima de cluster 2 – C&W

Fuente: Elaboración propia (<https://www.google.com/maps/d/u/1/edit?authuser=1&mid=18BetP-dxLjAWPHkyXtkIW6LxcsE&ll=-33.57500767307924%2C-70.70490415&z=11>)

Cluster 3

La ruta óptima para el cluster 3 tiene un total de 72,5 km., partiendo desde el CD y visitando a los 9 clientes. La representación gráfica de la ruta se aprecia en la Figura 51, y a continuación se detalla el orden de visita:

1. Planta Quilicura CCU (CD)
2. Cliente19
3. Cliente21
4. Cliente20
5. Cliente22
6. Cliente23
7. Cliente24
8. Cliente25
9. Cliente27
10. Cliente26
11. Planta Quilicura CCU (CD)

CD – 19 – 21 – 20 – 22 – 23 – 24 – 25 – 27 – 26 – CD

Ruta a seguir de cluster 3:

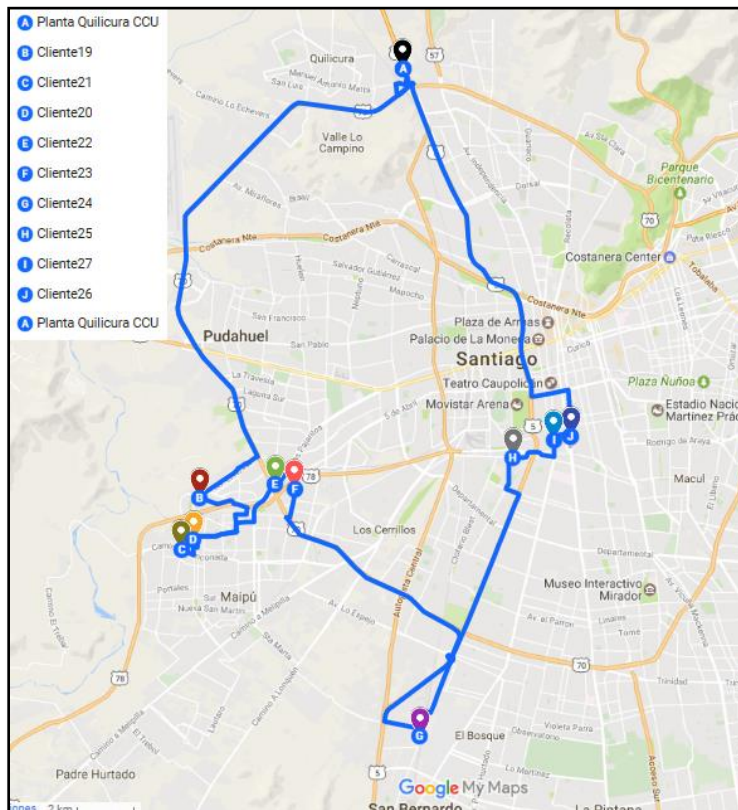


Figura 51: Ruta óptima de cluster 3 – C&W

Fuente: Elaboración propia (<https://www.google.com/maps/d/u/1/edit?authuser=1&mid=18BetP-dxLjAWPHkyXtkIW6LxcsE&ll=-33.57500767307924%2C-70.70490415&z=11>)

Cluster 4

La ruta óptima para el cluster 4 tiene un total de 53,3 km., partiendo desde el CD y visitando a los 9 clientes. La representación gráfica de la ruta se aprecia en la Figura 52, y a continuación se detalla el orden de visita:

1. Planta Quilicura CCU (CD)
2. Cliente28
3. Cliente36
4. Cliente33
5. Cliente30
6. Cliente29
7. Cliente31
8. Cliente32
9. Cliente34
10. Cliente35
11. Planta Quilicura CCU (CD)

CD – 28 – 36 – 33 – 30 – 29 – 31 – 32 – 34 – 35 – CD

Ruta a seguir de cluster 4:

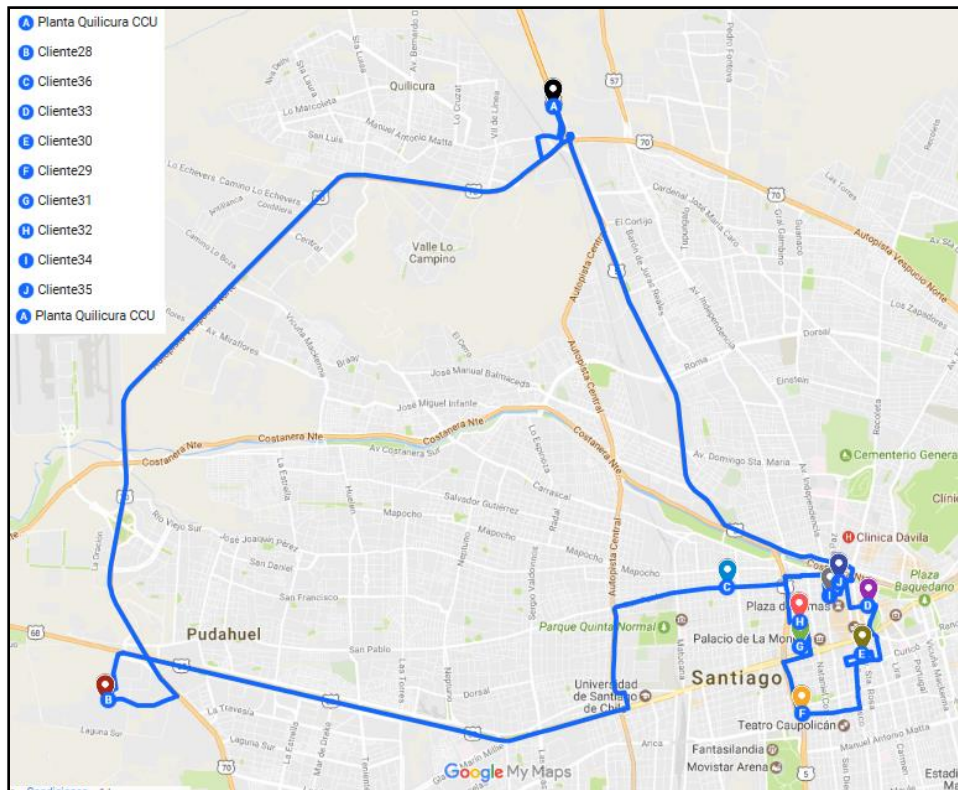


Figura 52: Ruta óptima de cluster 4 – C&W

Fuente: Elaboración propia (<https://www.google.com/maps/d/u/1/edit?authuser=1&mid=18BetP-dxLjAWPHkyXtkIW6LxcsE&ll=-33.57500767307924%2C-70.70490415&z=11>)

Cluster 5

La ruta óptima para el cluster 5 tiene un total de 50,4 km., partiendo desde el CD y visitando a los 9 clientes. La representación gráfica de la ruta se aprecia en la Figura 53, y a continuación se detalla el orden de visita:

1. Planta Quilicura CCU (CD)
2. Cliente43
3. Cliente45
4. Cliente38
5. Cliente39
6. Cliente42
7. Cliente40
8. Cliente44
9. Cliente41
10. Cliente37
11. Planta Quilicura CCU (CD)

CD – 43 – 45 – 38 – 39 – 42 – 40 – 44 – 41 – 37 – CD

Ruta a seguir de cluster 5:

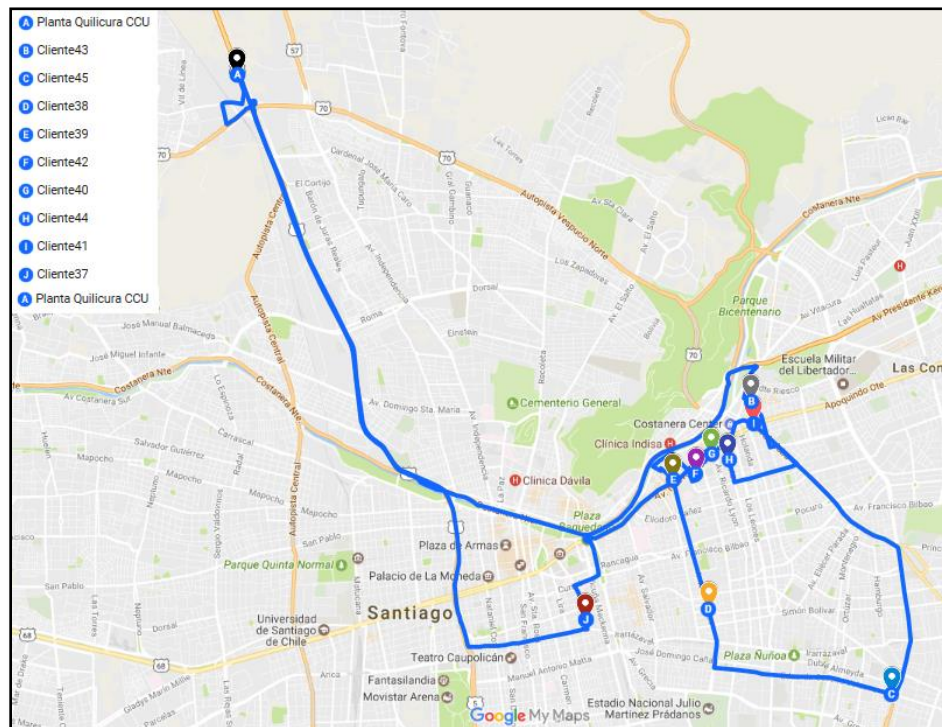


Figura 53: Ruta óptima de cluster 5 – C&W

Fuente: Elaboración propia (<https://www.google.com/maps/d/u/1/edit?authuser=1&mid=18BetP-dxLjAWPHkyXtkIW6LxcsE&ll=-33.57500767307924%2C-70.70490415&z=11>)

Cluster 6

La ruta óptima para el cluster 6 tiene un total de 64,7 km., partiendo desde el CD y visitando a los 9 clientes. La representación gráfica de la ruta se aprecia en la Figura 54, y a continuación se detalla el orden de visita:

1. Planta Quilicura CCU (CD)
2. Cliente46
3. Cliente47
4. Cliente48
5. Cliente49
6. Cliente50
7. Cliente51
8. Cliente52
9. Cliente53
10. Cliente54
11. Planta Quilicura CCU (CD)

CD – 46 – 47 – 48 – 49 – 50 – 51 – 52 – 53 – 54 – CD

Ruta a seguir de cluster 6:

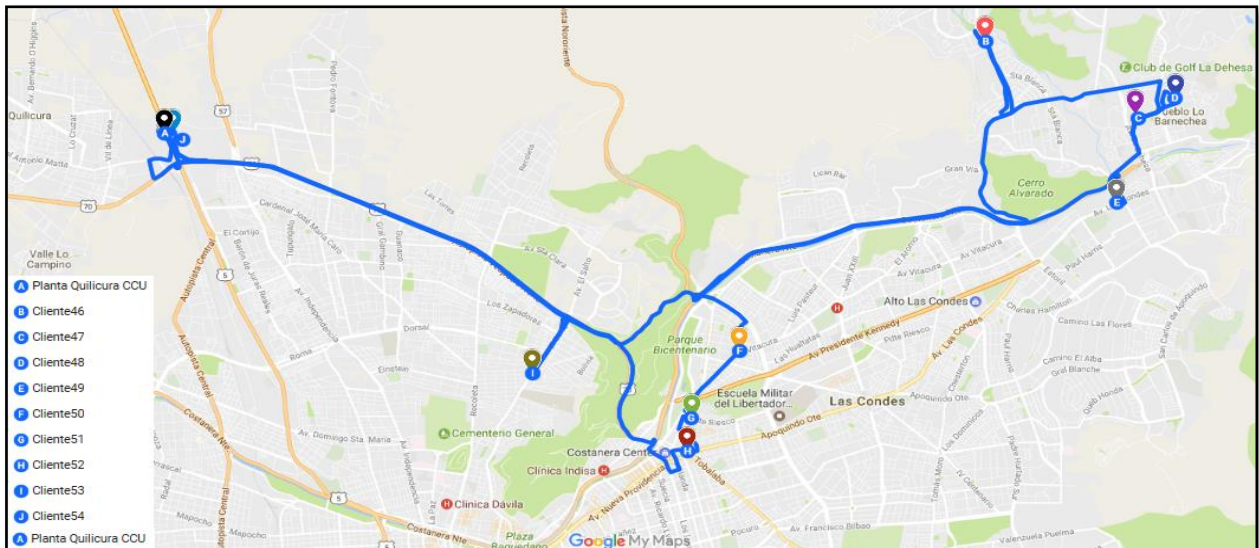


Figura 54: Ruta óptima de cluster 6 – C&W

Fuente: Elaboración propia (<https://www.google.com/maps/d/u/1/edit?authuser=1&mid=18BetP-dxLjAWPHkyXtkIW6LxcsE&ll=-33.57500767307924%2C-70.70490415&z=11>)

Una vez iterado todos los clusters y obtenido las rutas óptimas para cada uno de ellos según el método empleado anteriormente, la distancia total recorrida y ruta óptima para el método Clarke & Wright es de 479 kilómetros, repartidos en 6 cluster, los cuales lo recorren 6 camiones desde la planta de CCU ubicada en la comuna de Quilicura, Región Metropolitana.

5.2.2. Propuesta 2: Route First – Cluster Second (Gran Ruta)

A diferencia del método Clarke & Wright propuesto y desarrollado anteriormente, la propuesta de la Gran Ruta consiste en aplicar el método de ahorro, formando sólo una ruta con todos los clientes. Luego se va formando cada cluster según el orden de visita general, pero con la condición de escoger 9 clientes para cada cluster y así cumplir la capacidad de entrega de cada camión.

En el método anterior se formaron los clusters y luego se aplicó el método correspondiente para encontrar las rutas óptimas de cada cluster, el procedimiento ahora es inverso, el propósito es encontrar la mejor ruta para los 54 clientes, partiendo desde el CD, visitar a cada clientes y retornar al mismo punto de origen, luego se van dividiendo los clusters de acuerdo a los clientes que se va visitando.

La figura 55 ubica el CD de donde se inicia y termina la gran ruta y cada cluster que se origina junto con los 54 clientes que se deben visitar.

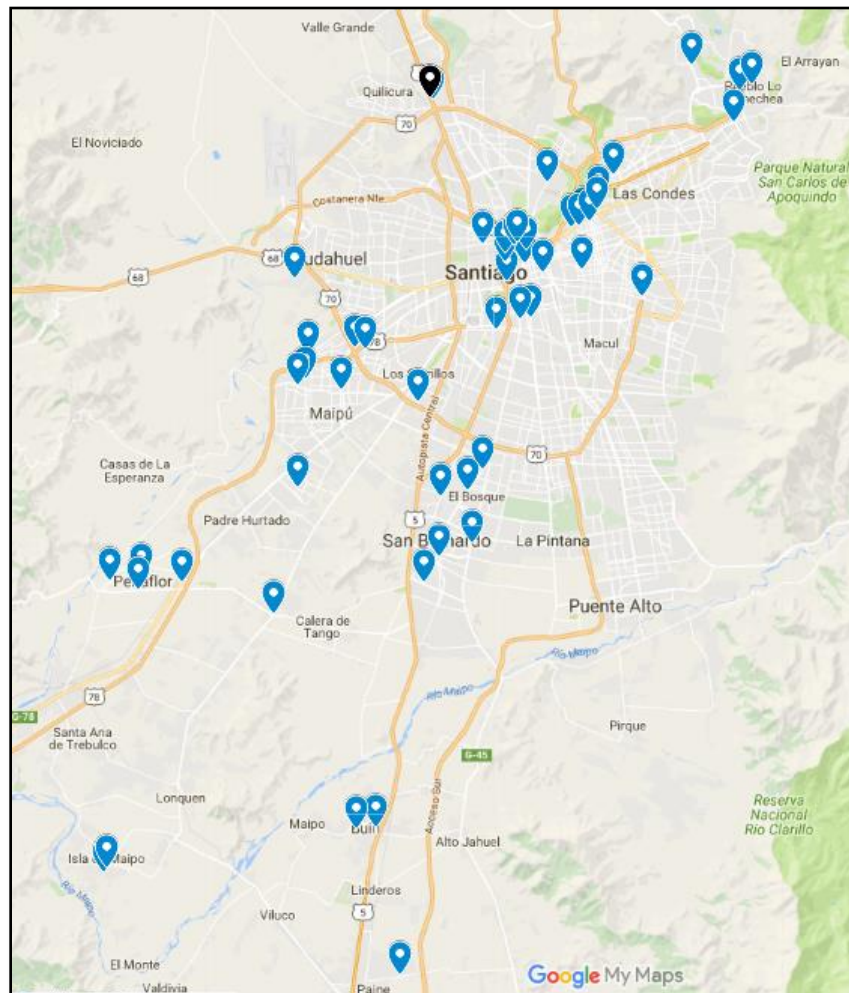


Figura 55: Mapa general de clientes y CD CCU

Fuente: Elaboración propia (<https://www.google.com/maps/d/u/1/edit?authuser=1&mid=18BetP-dxLjAWPHkyXtkIW6LxcsE&ll=-33.57500767307924%2C-70.70490415&z=11>)

Como se dijo anteriormente, el primer paso es formar una ruta visitando a todos los clientes, lo que al igual que en el método Clarke & Wright se hace con los ahorros que se producen entre las distancias de cada par de clientes. Debido al gran número de clientes, se genera una matriz de 54x54 que se adjunta en el Anexo 9 digital, y también la matriz de ahorro generada y adjuntada en Anexo 10 digital. Ambas matrices calculadas de la misma forma que en el método Clarke & Wright.

Una vez analizada la matriz de ahorros, la Gran Ruta resultante que parte desde el CD, visita todos los clientes y vuelve al punto de origen, es la que se detalla a continuación:

- | | |
|------------------------------|-------------------------------|
| 1. Planta Quilicura CCU (CD) | 29. Cliente26 |
| 2. Cliente54 | 30. Cliente27 |
| 3. Cliente53 | 31. Cliente17 |
| 4. Cliente35 | 32. Cliente24 |
| 5. Cliente36 | 33. Cliente14 |
| 6. Cliente31 | 34. Cliente12 |
| 7. Cliente32 | 35. Cliente18 |
| 8. Cliente34 | 36. Cliente13 |
| 9. Cliente33 | 37. Cliente04 |
| 10. Cliente30 | 38. Cliente09 |
| 11. Cliente37 | 39. Cliente03 |
| 12. Cliente50 | 40. Cliente02 |
| 13. Cliente46 | 41. Cliente01 |
| 14. Cliente47 | 42. Cliente05 |
| 15. Cliente48 | 43. Cliente08 |
| 16. Cliente49 | 44. Cliente07 |
| 17. Cliente52 | 45. Cliente06 |
| 18. Cliente41 | 46. Cliente11 |
| 19. Cliente44 | 47. Cliente15 |
| 20. Cliente39 | 48. Cliente21 |
| 21. Cliente42 | 49. Cliente20 |
| 22. Cliente40 | 50. Cliente22 |
| 23. Cliente51 | 51. Cliente23 |
| 24. Cliente43 | 52. Cliente10 |
| 25. Cliente45 | 53. Cliente19 |
| 26. Cliente38 | 54. Cliente16 |
| 27. Cliente29 | 55. Cliente28 |
| 28. Cliente25 | 56. Planta Quilicura CCU (CD) |

Ahora se da el paso de conformar los clusters según el orden de visita de la Gran Ruta, los cuales quedan de la siguiente forma:

Cluster 1

La ruta óptima de este cluster tiene un total de 39,8 km, donde la ruta queda en el siguiente orden:

1. Planta Quilicura CCU (CD)
2. Cliente54
3. Cliente53
4. Cliente35
5. Cliente36
6. Cliente31
7. Cliente32
8. Cliente34
9. Cliente33
10. Cliente30
11. Planta Quilicura CCU (CD)

Por otro lado, el mapa de los clientes y la ruta a seguir es la representada en la figura 56:

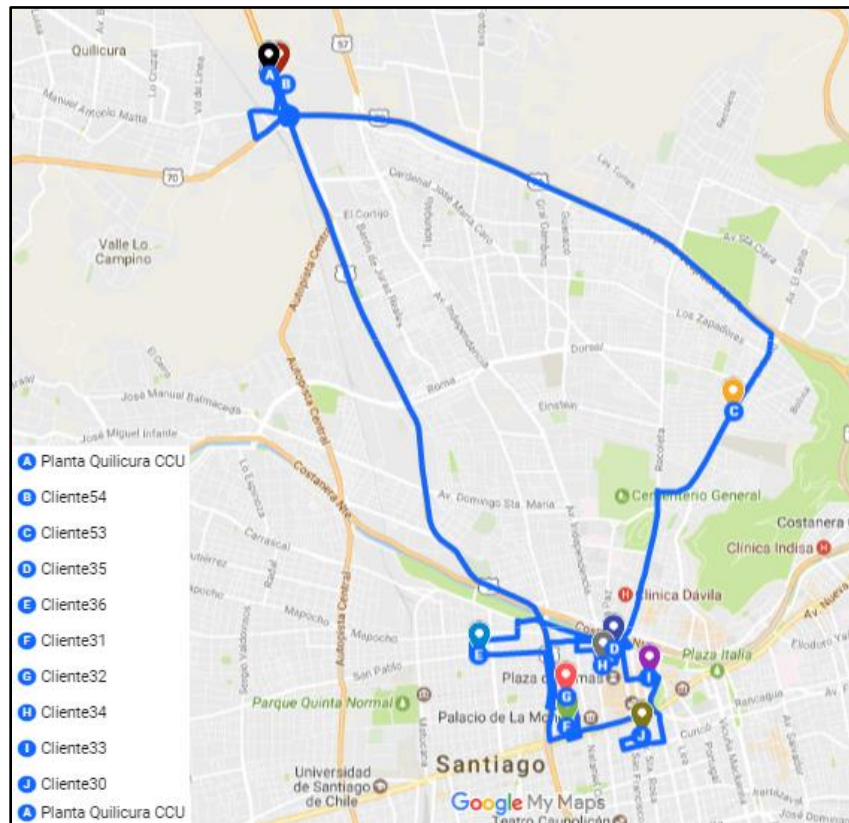


Figura 56: Formación cluster 1 de Gran Ruta

Fuente: Elaboración propia (<https://www.google.com/maps/d/u/1/edit?authuser=1&mid=18BetP-dxLjAWPHKyXtkIW6LxcsE&ll=-33.57500767307924%2C-70.70490415&z=11>)

Cluster 2

La ruta óptima de este cluster tiene un total de 70.2 km. La ruta queda en el siguiente orden:

1. Planta Quilicura CCU (CD)
2. Cliente37
3. Cliente50
4. Cliente46
5. Cliente47
6. Cliente48
7. Cliente49
8. Cliente52
9. Cliente41
10. Cliente44
11. Planta Quilicura CCU (CD)

Por otro lado, el mapa de los clientes y la ruta a seguir es la representada en la figura 57:

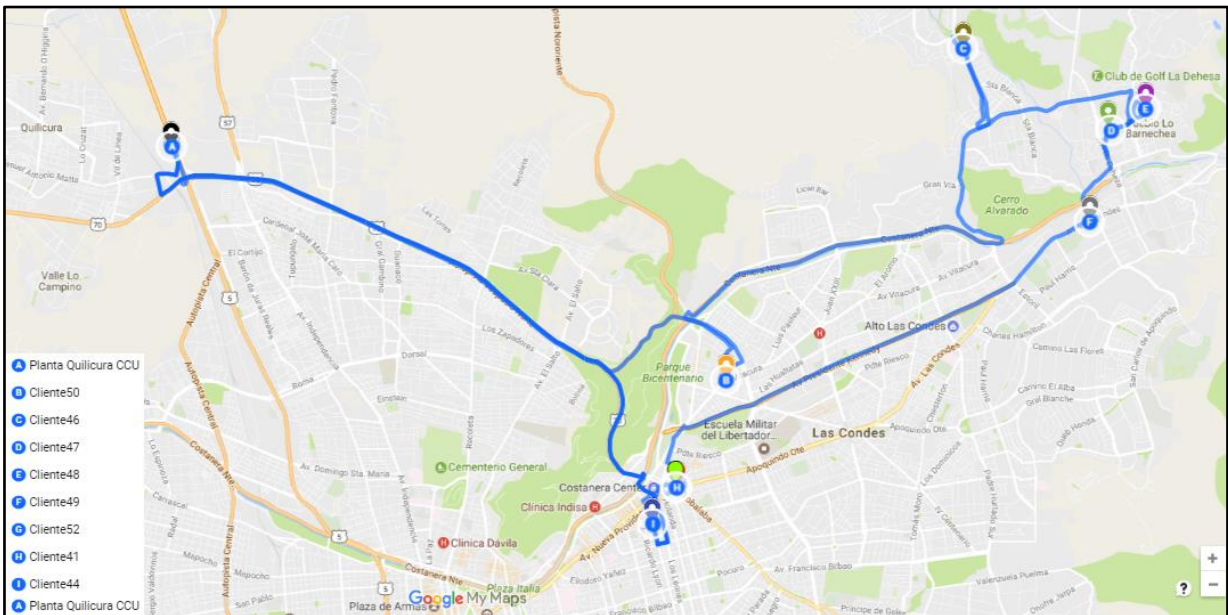


Figura 57: Formación cluster 2 de Gran Ruta

Fuente: Elaboración propia (<https://www.google.com/maps/d/u/1/edit?authuser=1&mid=18BetP-dxLjAWPHkyXtkIW6LxcsE&ll=-33.57500767307924%2C-70.70490415&z=11>)

Cluster 3

La ruta óptima de este cluster tiene un total de 53,0 km. La ruta queda en el siguiente orden:

1. Planta Quilicura CCU (CD)
2. Cliente39
3. Cliente42
4. Cliente40
5. Cliente51
6. Cliente43
7. Cliente45
8. Cliente38
9. Cliente29
10. Cliente25
11. Planta Quilicura CCU (CD)

Por otro lado, el mapa de los clientes y la ruta a seguir es la representada en la figura 58:

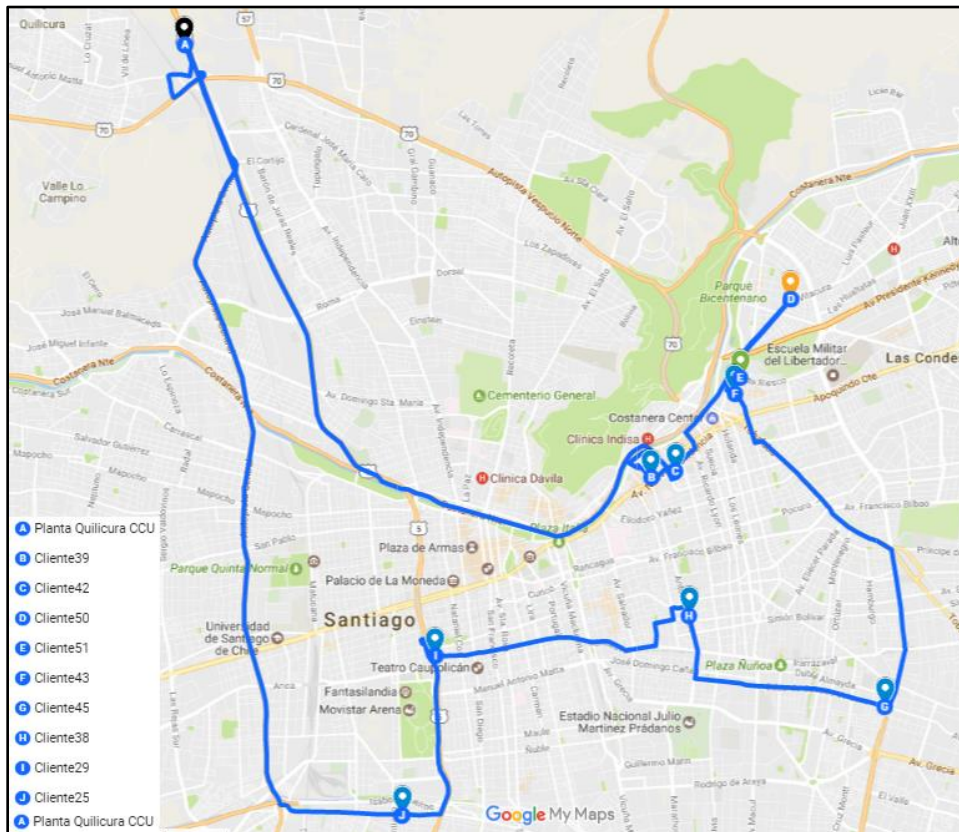


Figura 58: Formulación cluster 3 de Gran Ruta

Fuente: Elaboración propia (<https://www.google.com/maps/d/u/1/edit?authuser=1&mid=18BetP-dxLjAWPHkyXtkIW6LxcsE&ll=-33.57500767307924%2C-70.70490415&z=11>)

Cluster 4

La ruta óptima de este cluster tiene un total de 104,8 km. La ruta queda en el siguiente orden:

1. Planta Quilicura CCU (CD)
2. Cliente26
3. Cliente27
4. Cliente17
5. Cliente24
6. Cliente14
7. Cliente12
8. Cliente18
9. Cliente13
10. Cliente04
11. Planta Quilicura CCU (CD)

Por otro lado, el mapa de los clientes y la ruta a seguir es la representada en la figura 59:

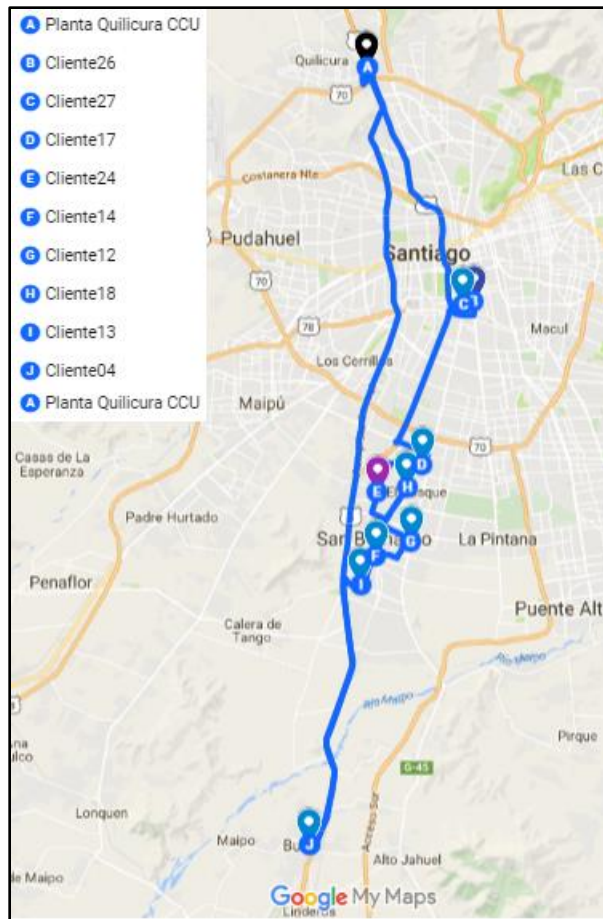


Figura 59: Formulación cluster 4 de Gran Ruta

Fuente: Elaboración propia (<https://www.google.com/maps/d/u/1/edit?authuser=1&mid=18BetP-dxLjAWPHkyXtkIW6LxcsE&ll=-33.57500767307924%2C-70.70490415&z=11>)

Cluster 5

La ruta óptima de este cluster tiene un total de 147,7 km. La ruta queda en el siguiente orden:

1. Planta Quilicura CCU (CD)
2. Cliente09
3. Cliente03
4. Cliente02
5. Cliente01
6. Cliente05
7. Cliente08
8. Cliente07
9. Cliente06
10. Cliente11
11. Planta Quilicura CCU (CD)

Por otro lado, el mapa de los clientes y la ruta a seguir es la representada en la figura 60:

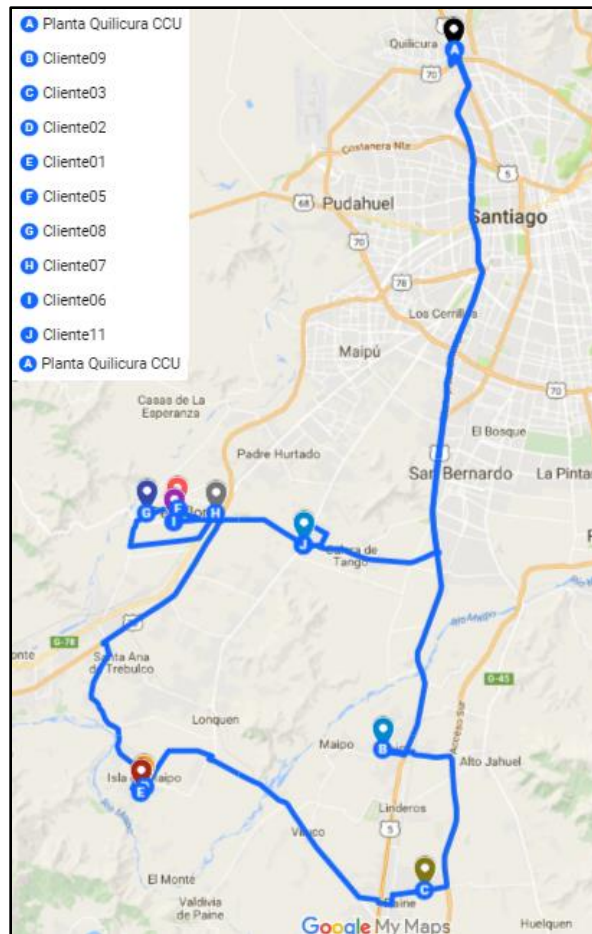


Figura 60: Formulación cluster 5 de Gran Ruta

Fuente: Elaboración propia (<https://www.google.com/maps/d/u/1/edit?authuser=1&mid=18BetP-dxLjAWPHkyXtkIW6LxcsE&ll=-33.57500767307924%2C-70.70490415&z=11>)

Cluster 6

La ruta óptima de este cluster tiene un total de 93,1 km. La ruta queda en el siguiente orden:

1. Planta Quilicura CCU (CD)
2. Cliente15
3. Cliente21
4. Cliente20
5. Cliente22
6. Cliente23
7. Cliente10
8. Cliente19
9. Cliente16
10. Cliente28
11. Planta Quilicura CCU (CD)

Por otro lado, el mapa de los clientes y la ruta a seguir es la representada en la figura 61:

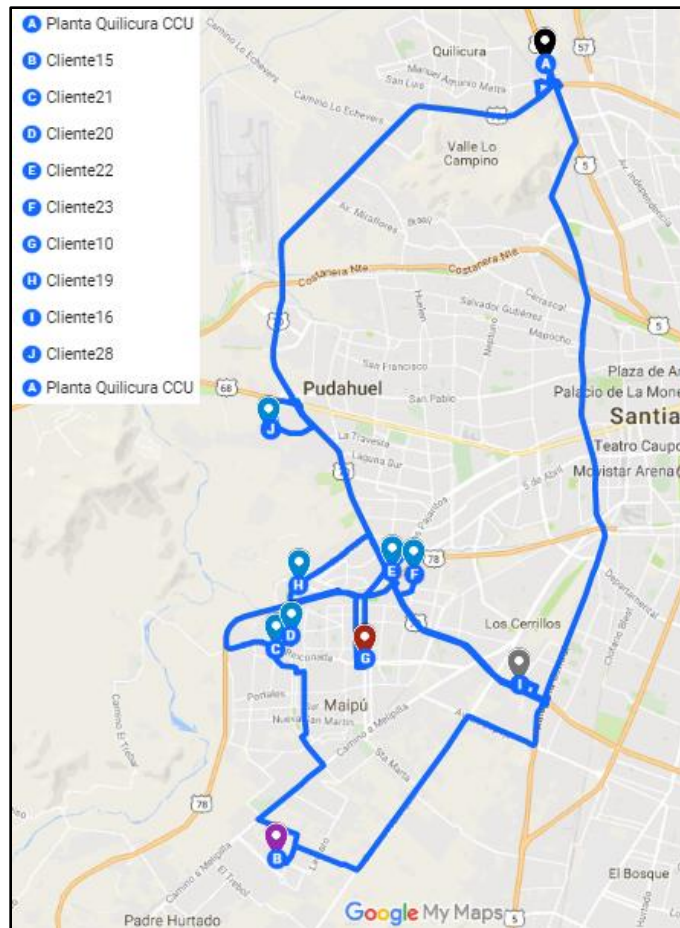


Figura 61: Formulación cluster 6 de Gran Ruta

Fuente: Elaboración propia (<https://www.google.com/maps/d/u/1/edit?authuser=1&mid=18BetP-dxLjAWPHkyXtkIW6LxcsE&ll=-33.57500767307924%2C-70.70490415&z=11>)

Una vez iterado todos los clusters y obtenido las rutas óptimas para cada uno de ellos según el método empleado anteriormente, la distancia total recorrida y ruta óptima para el método Route First – Cluster Second (Gran Ruta) es de 508,5 kilómetros, repartidos en 6 clúster, los cuales lo recorren 6 camiones desde la planta de CCU ubicada en la comuna de Quilicura, Región Metropolitana.

5.2.3. Propuesta 3: Modelo matemático Agente viajero por cercanía de puntos

En esta propuesta se empleará los mismos clusters utilizados en la propuesta 1, conformados de acuerdo a la cercanía de los clientes.

La principal diferencia radica en que ya no se ruteará por el método del ahorro, sino por el modelo matemático que plantea el problema del agente viajero, utilizando la herramienta de resolución LINDO.

La información detallada que se utiliza para el desarrollo de esta propuesta se encuentra en el Anexo 2.

Cluster 1

Variables de decisión:

$$X_{ij} \begin{cases} 1, \text{ si va desde el punto } i \text{ al punto } j \\ 0, \text{ caso contrario} \end{cases}$$

Función Objetivo:

$$\begin{aligned} \text{Min: } Z = & 55.6x_{01} + 43.8x_{02} + 45.2x_{03} + 59.2x_{04} + 59.6x_{05} + 54.3x_{06} + 36.8x_{07} \\ & + 41.1x_{08} + 42.4x_{09} + 13x_{12} + 14x_{13} + 22.3x_{14} + 22.8x_{15} + 29.8x_{16} \\ & + 35.3x_{17} + 37.1x_{18} + 39.3x_{19} + 1.7x_{23} + 21.7x_{24} + 22.2x_{25} + 31.3x_{26} \\ & + 26.9x_{27} + 28.7x_{28} + 30.6x_{29} + 20.7x_{34} + 21.1x_{35} + 28.1x_{36} \\ & + 27.8x_{37} + 29.5x_{38} + 31.5x_{39} + x_{45} + 11.7x_{46} + 21.3x_{47} + 20.2x_{48} \\ & + 19.5x_{49} + 6.1x_{56} + 21.7x_{57} + 20.6x_{58} + 19.9x_{59} + 10.2x_{67} + 8.9x_{68} \\ & + 8.2x_{69} + 2.6x_{78} + 4.6x_{79} + 2.4x_{89} \end{aligned}$$

Sujeto a:

$$\begin{aligned} x_{01} + x_{02} + x_{03} + x_{04} + x_{05} + x_{06} + x_{07} + x_{08} + x_{09} &= 2 \\ x_{01} + x_{12} + x_{13} + x_{14} + x_{15} + x_{16} + x_{17} + x_{18} + x_{19} &= 2 \\ x_{02} + x_{12} + x_{23} + x_{24} + x_{25} + x_{26} + x_{27} + x_{28} + x_{29} &= 2 \\ x_{03} + x_{13} + x_{23} + x_{34} + x_{35} + x_{36} + x_{37} + x_{38} + x_{39} &= 2 \\ x_{04} + x_{14} + x_{24} + x_{34} + x_{45} + x_{46} + x_{47} + x_{48} + x_{49} &= 2 \\ x_{05} + x_{15} + x_{25} + x_{35} + x_{45} + x_{56} + x_{57} + x_{58} + x_{59} &= 2 \\ x_{06} + x_{16} + x_{26} + x_{36} + x_{46} + x_{56} + x_{67} + x_{68} + x_{69} &= 2 \\ x_{07} + x_{17} + x_{27} + x_{37} + x_{47} + x_{57} + x_{67} + x_{78} + x_{79} &= 2 \\ x_{08} + x_{18} + x_{28} + x_{38} + x_{48} + x_{58} + x_{68} + x_{78} + x_{89} &= 2 \\ x_{09} + x_{19} + x_{29} + x_{39} + x_{49} + x_{59} + x_{69} + x_{79} + x_{89} &= 2 \\ x_{01} + x_{02} + x_{03} + x_{04} + x_{05} + x_{06} + x_{17} + x_{27} + x_{37} + x_{47} + x_{57} + x_{67} &\geq 1 \end{aligned}$$

En esta primera etapa se definió la función objetivo que relaciona la distancia desde un punto i hacia un punto j, y las restricciones, donde las que presentan igualdad señalan que el camión debe entrar y salir sólo una vez desde un cliente de la ecuación, mientras que si se presenta una desigualdad, ésta se encarga de eliminar los sub recorridos presentes en la ruta.

En la figura 62 se aprecia la formulación del modelo en la herramienta para obtener la solución posible:

```

LINDO
File Edit Solve Reports Window Help
<untitled>
MIN 55.6x01+43.8x02+45.2x03+59.2x04+59.6x05+54.3x06+36.8x07+41.1x08+42.4x09+13x12+14x13
+22.3x14+22.8x15+29.8x16+35.3x17+37.1x18+39.3x19+1.7x23+21.7x24+22.2x25+31.3x26+26.9x27
+28.7x28+30.6x29+20.7x34+21.1x35+28.1x36+27.8x37+29.5x38+31.5x39+x45+11.7x46+21.3x47+20.2x48
+19.5x49+6.1x56+21.7x57+20.6x58+19.9x59+10.2x67+8.9x68+8.2x69+2.6x78+4.6x79+2.4x89
SUBJECT TO
x01+x02+x03+x04+x05+x06+x07+x08+x09=2
x01+x12+x13+x14+x15+x16+x17+x18+x19=2
x02+x12+x23+x24+x25+x26+x27+x28+x29=2
x03+x13+x23+x34+x35+x36+x37+x38+x39=2
x04+x14+x24+x34+x45+x46+x47+x48+x49=2
x05+x15+x25+x35+x45+x56+x57+x58+x59=2
x06+x16+x26+x36+x46+x56+x67+x68+x69=2
x07+x17+x27+x37+x47+x57+x67+x78+x79=2
x08+x18+x28+x38+x48+x58+x68+x78+x89=2
x09+x19+x29+x39+x49+x59+x69+x79+x89=2
x01+x02+x03+x04+x05+x06+x17+x27+x37+x47+x57+x67>=1
end
int 45

```

Figura 62: Formulación modelo matemático en LINDO - Cluster 1

Fuente: Elaboración propia - LINDO

En las figuras 63 y 64 se aprecia respectivamente la formulación del modelo en el programa LINDO:

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
X01	0.000000	2057.199951
X02	1.000000	43.799999
X03	0.000000	45.200001
X04	0.000000	59.200001
X05	0.000000	59.599998
X06	0.000000	54.299999
X07	1.000000	36.799999
X08	0.000000	41.099998
X09	0.000000	42.400002
X12	0.000000	13.000000
X13	1.000000	14.000000
X14	1.000000	22.299999
X15	0.000000	22.799999
X16	0.000000	29.799999
X17	0.000000	35.299999
X18	0.000000	37.099998
X19	0.000000	39.299999
X23	1.000000	1.700000
X24	0.000000	21.700001
X25	0.000000	22.200001
X26	0.000000	31.299999
X27	0.000000	26.900000
X28	0.000000	28.700001
X29	0.000000	30.600000
X34	0.000000	20.700001
X35	0.000000	21.100000
X36	0.000000	28.100000

Figura 63: Solución de cluster 1 en LINDO (parte 1)

Fuente: Elaboración propia - LINDO

X37	0.000000	27.799999
X38	0.000000	29.500000
X39	0.000000	31.500000
X45	1.000000	1.000000
X46	0.000000	11.700000
X47	0.000000	21.299999
X48	0.000000	20.200001
X49	0.000000	19.500000
X56	1.000000	6.100000
X57	0.000000	21.700001
X58	0.000000	20.600000
X59	0.000000	19.900000
X67	0.000000	10.200000
X68	0.000000	8.900000
X69	1.000000	8.200000
X78	1.000000	2.600000
X79	0.000000	4.600000
X89	1.000000	2.400000

ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
2)	0.000000	0.000000
3)	0.000000	0.000000
4)	0.000000	0.000000
5)	0.000000	0.000000
6)	0.000000	0.000000
7)	0.000000	0.000000
8)	0.000000	0.000000
9)	0.000000	0.000000
10)	0.000000	0.000000
11)	0.000000	0.000000
12)	0.000000	0.000000

NO. ITERATIONS=	46
BRANCHES=	1 DETERM. = 1.000E 0

Figura 64: Solución de cluster 1 en LINDO (parte 2)

Fuente: Elaboración propia - LINDO

La respuesta arrojada una vez ejecutada la herramienta señala la solución, la que indica el valor de la función objetivo, además del valor de cada una de las variables de decisión, en el caso en estudio será 1 y 0, debido que es un problema de asignación (binario).

Finalmente, la ruta óptima para el clúster 1 tiene un total de 138,9 km con la salida de un camión desde la Planta de Quilicura, pasando a visitar a todos los clientes y regresar al mismo punto de origen.

El orden lógico del cluster 1 según la herramienta LINDO es:

1. Planta Quilicura CCU (CD)
2. Cliente07
3. Cliente06
4. Cliente08
5. Cliente05
6. Cliente01
7. Cliente02
8. Cliente03
9. Cliente09
10. Cliente04
11. Planta Quilicura CCU (CD)

CD – 07 – 06 – 08 – 05 – 01 – 02 – 03 – 09 – 04 – CD

Ruta a seguir de cluster 1:

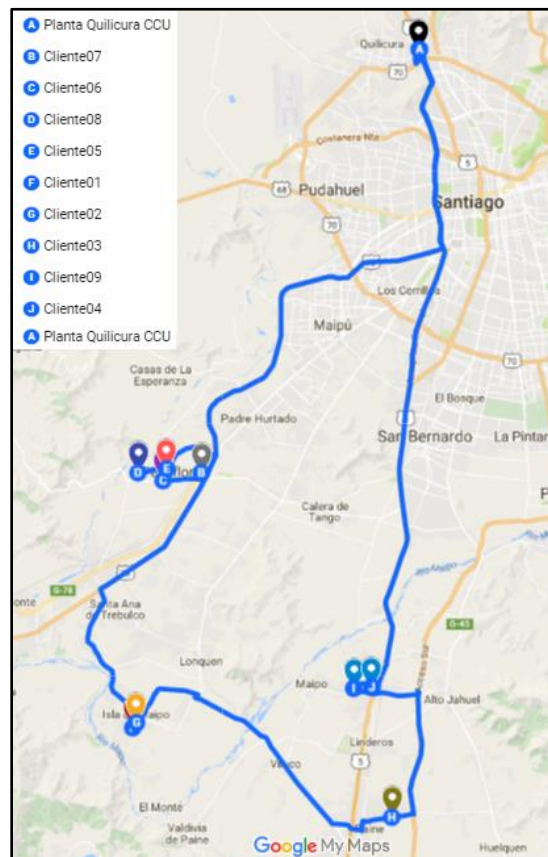


Figura 65: Cluster 1 (LINDO) en Google Maps

Fuente: Elaboración propia (<https://www.google.com/maps/d/u/1/edit?authuser=1&mid=18BetP-dxLjAWPHkyXtkIW6LxcsE&ll=-33.57500767307924%2C-70.70490415&z=11>)

Cluster 2

Variables de decisión:

$$x_{ij} \begin{cases} 1, \text{ si va desde el punto } i \text{ al punto } j \\ 0, \text{ caso contrario} \end{cases}$$

Función Objetivo:

$$\begin{aligned} \text{Min: } Z = & 35.6x_{010} + 29.8x_{011} + 29.2x_{012} + 27.7x_{013} + 30.5x_{014} + 25.3x_{015} + 30x_{016} \\ & + 20x_{017} + 23.4x_{018} + 20.1x_{1011} + 14.5x_{1012} + 13.3x_{1013} + 10.4x_{1014} \\ & + 21.5x_{1015} + 19.5x_{1016} + 17.4x_{1017} + 15.1x_{1018} + 3.4x_{1112} + 5.1x_{1113} \\ & + 14.7x_{1114} + 4.6x_{1115} + 4.3x_{1116} + 13x_{1117} + 14.3x_{1118} + 2.2x_{1213} \\ & + 14.8x_{1214} + 5.7x_{1215} + 5.3x_{1216} + 10.9x_{1217} + 15.8x_{1218} + 17.9x_{1314} \\ & + 7.7x_{1315} + 2.2x_{1316} + 11.6x_{1317} + 16.5x_{1318} + 14.4x_{1415} + 15x_{1416} \\ & + 12.4x_{1417} + 9x_{1418} + 1.5x_{1516} + 6.9x_{1517} + 14.7x_{1518} + 8.3x_{1617} \\ & + 13.2x_{1618} + 5.9x_{1718} \end{aligned}$$

Sujeto a:

$$\begin{aligned} x_{010} + x_{011} + x_{012} + x_{013} + x_{014} + x_{015} + x_{016} + x_{017} + x_{018} &= 2 \\ x_{010} + x_{1011} + x_{1012} + x_{1013} + x_{1014} + x_{1015} + x_{1016} + x_{1017} + x_{1018} &= 2 \\ x_{011} + x_{1011} + x_{1112} + x_{1113} + x_{1114} + x_{1115} + x_{1116} + x_{1117} + x_{1118} &= 2 \\ x_{012} + x_{1012} + x_{1112} + x_{1213} + x_{1214} + x_{1215} + x_{1216} + x_{1217} + x_{1218} &= 2 \\ x_{013} + x_{1013} + x_{1113} + x_{1213} + x_{1314} + x_{1315} + x_{1316} + x_{1317} + x_{1318} &= 2 \\ x_{014} + x_{1014} + x_{1114} + x_{1214} + x_{1314} + x_{1415} + x_{1416} + x_{1417} + x_{1418} &= 2 \\ x_{015} + x_{1015} + x_{1115} + x_{1215} + x_{1315} + x_{1415} + x_{1516} + x_{1517} + x_{1518} &= 2 \\ x_{016} + x_{1016} + x_{1116} + x_{1216} + x_{1316} + x_{1416} + x_{1516} + x_{1617} + x_{1618} &= 2 \\ x_{017} + x_{1017} + x_{1117} + x_{1217} + x_{1317} + x_{1417} + x_{1517} + x_{1617} + x_{1718} &= 2 \\ x_{018} + x_{1018} + x_{1118} + x_{1218} + x_{1318} + x_{1418} + x_{1518} + x_{1618} + x_{1718} &= 2 \\ x_{011} + x_{012} + x_{013} + x_{015} + x_{016} + x_{1011} + x_{1012} + x_{1013} + x_{1015} + x_{1016} + x_{1114} \\ &+ x_{1214} + x_{1314} + x_{1415} + x_{1416} + x_{1117} + x_{1217} + x_{1317} + x_{1617} + x_{1517} \\ &+ x_{1118} + x_{1218} + x_{1318} + x_{1518} + x_{1618} \geq 1 \end{aligned}$$

X1118	0.000000	14.300000
X1213	1.000000	2.200000
X1214	0.000000	14.800000
X1215	0.000000	5.700000
X1216	0.000000	5.300000
X1217	0.000000	10.900000
X1218	0.000000	15.800000
X1314	0.000000	17.900000
X1315	0.000000	7.700000
X1316	0.000000	2.200000
X1317	0.000000	11.600000
X1318	0.000000	16.500000
X1415	0.000000	14.400000
X1416	0.000000	15.000000
X1417	0.000000	12.400000
X1418	1.000000	9.000000
X1516	1.000000	1.500000
X1517	1.000000	6.900000
X1518	0.000000	14.700000
X1617	0.000000	8.300000
X1618	0.000000	13.200000
X1718	0.000000	5.900000
ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
2)	0.000000	0.000000
3)	0.000000	0.000000
4)	0.000000	0.000000
5)	0.000000	0.000000
6)	0.000000	0.000000
7)	0.000000	0.000000
8)	0.000000	0.000000
9)	0.000000	0.000000
10)	0.000000	0.000000
11)	0.000000	0.000000
12)	1.000000	0.000000
NO. ITERATIONS=	79	
BRANCHES=	3 DETERM. = 1.000E	0

Figura 68: Solución de cluster 2 en LINDO (parte 2)

Fuente: Elaboración propia - LINDO

Finalmente, la ruta óptima para el cluster 2 tiene un total de 94,4 km con la salida de un camión desde la Planta de Quilicura, pasando a visitar a todos los clientes y regresar al mismo punto de origen.

El orden lógico del cluster 2 según la herramienta LINDO es:

1. Planta Quilicura CCU (CD)
2. Cliente10
3. Cliente15
4. Cliente11
5. Cliente13
6. Cliente14
7. Cliente12
8. Cliente18
9. Cliente17
10. Cliente16
11. Planta Quilicura CCU (CD)

CD – 10 – 15 – 11 – 13 – 14 – 12 – 18 – 17 – 16 – CD

Ruta a seguir de cluster 2:

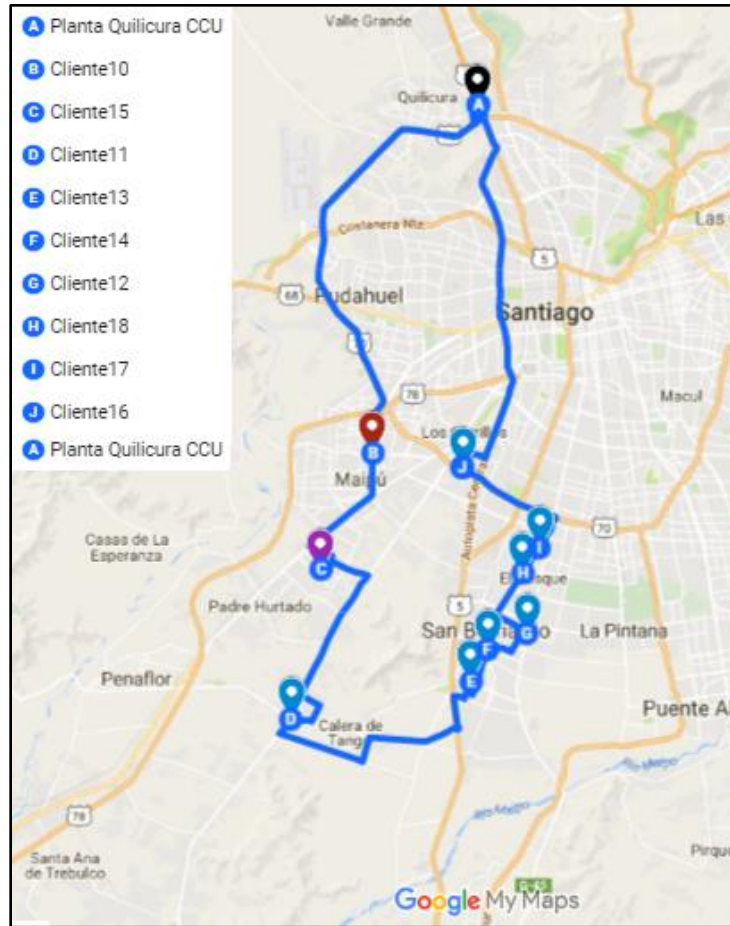


Figura 69: Cluster 2 (LINDO) en Google Maps

Fuente: Elaboración propia (<https://www.google.com/maps/d/u/1/edit?authuser=1&mid=18BetP-dxLjAWPHkyXtkIW6LxcsE&ll=-33.57500767307924%2C-70.70490415&z=11>)

Cluster 3

Variables de decisión:

$$X_{ij} \begin{cases} 1, \text{ si va desde el punto } i \text{ al punto } j \\ 0, \text{ caso contrario} \end{cases}$$

Función Objetivo:

$$\begin{aligned} \text{Min: } Z = & 22,7x_{019} + 24.6x_{020} + 22.5x_{021} + 21.7x_{022} + 22.1x_{023} + 27x_{024} + 16x_{025} \\ & + 16.9x_{026} + 16.2x_{027} + 1.1x_{1920} + 6.2x_{1921} + 6.6x_{1922} + 7.6x_{1923} \\ & + 17.7x_{1924} + 13.9x_{1925} + 18x_{1926} + 15.7x_{1927} + 5.9x_{2021} + 6.3x_{2022} \\ & + 5x_{2023} + 16.4x_{2024} + 13.6x_{2025} + 16.1x_{2026} + 15.4x_{2027} + 4.8x_{2122} \\ & + 4.1x_{2123} + 14.9x_{2124} + 12x_{2125} + 14.6x_{2126} + 13.9x_{2127} + 1.5x_{2223} \\ & + 12.4x_{2224} + 8.8x_{2225} + 12.3x_{2226} + 11.6x_{2227} + 13.3x_{2324} + 10.7x_{2325} \\ & + 13.2x_{2326} + 12.5x_{2327} + 3.2x_{2425} + 6.2x_{2426} + 5.3x_{2427} + 2.9x_{2526} \\ & + 2.1x_{2527} + 1.6x_{2627} \end{aligned}$$

Sujeto a:

$$\begin{aligned}
 &x_{019} + x_{020} + x_{021} + x_{022} + x_{023} + x_{024} + x_{025} + x_{026} + x_{027} = 2 \\
 &x_{019} + x_{1920} + x_{1921} + x_{1922} + x_{1923} + x_{1924} + x_{1925} + x_{1926} + x_{1927} = 2 \\
 &x_{020} + x_{1920} + x_{2021} + x_{2022} + x_{2023} + x_{2024} + x_{2025} + x_{2026} + x_{2027} = 2 \\
 &x_{021} + x_{1921} + x_{2021} + x_{2122} + x_{2123} + x_{2124} + x_{2125} + x_{2126} + x_{2127} = 2 \\
 &x_{022} + x_{1922} + x_{2022} + x_{2122} + x_{2223} + x_{2224} + x_{2225} + x_{2226} + x_{2227} = 2 \\
 &x_{023} + x_{1923} + x_{2023} + x_{2123} + x_{2223} + x_{2324} + x_{2325} + x_{2326} + x_{2327} = 2 \\
 &x_{024} + x_{1924} + x_{2024} + x_{2124} + x_{2226} + x_{2324} + x_{2425} + x_{2426} + x_{2427} = 2 \\
 &x_{025} + x_{1925} + x_{2025} + x_{2125} + x_{2225} + x_{2325} + x_{2425} + x_{2526} + x_{2527} = 2 \\
 &x_{026} + x_{1926} + x_{2026} + x_{2126} + x_{2226} + x_{2326} + x_{2426} + x_{2526} + x_{2627} = 2 \\
 &x_{027} + x_{1927} + x_{2027} + x_{2127} + x_{2227} + x_{2327} + x_{2427} + x_{2527} + x_{2627} = 2 \\
 &x_{019} + x_{020} + x_{021} + x_{022} + x_{023} + x_{1926} + x_{2026} + x_{2126} + x_{2226} + x_{2326} + x_{1927} \\
 &\quad + x_{2027} + x_{2127} + x_{2227} + x_{2327} + x_{1924} + x_{2024} + x_{2124} + x_{2224} + x_{2324} \\
 &\quad + x_{1925} + x_{2025} + x_{2125} + x_{2225} + x_{2325} \geq 1 \\
 &x_{024} + x_{025} + x_{026} + x_{027} + x_{1924} + x_{1925} + x_{1926} + x_{1927} + x_{2024} + x_{2025} + x_{2026} \\
 &\quad + x_{2027} + x_{2124} + x_{2125} + x_{2126} + x_{2127} + x_{2224} + x_{2225} + x_{2226} + x_{2227} \\
 &\quad + x_{2324} + x_{2325} + x_{2326} + x_{2327} \geq 1
 \end{aligned}$$

En la figura 70 se aprecia la formulación del modelo en la herramienta para obtener la solución posible:

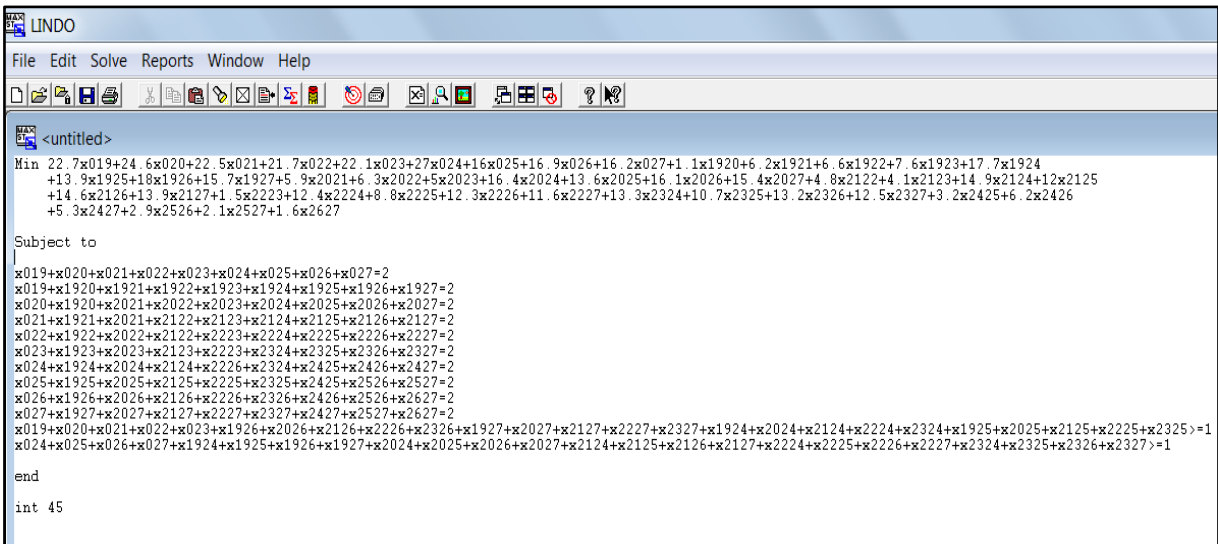


Figura 70: Formulación modelo matemático en LINDO - Cluster 3

Fuente: Elaboración propia - LINDO

En las figuras 71 y 72 se aprecia respectivamente la formulación del modelo en el programa LINDO:

OBJECTIVE FUNCTION VALUE		
1)	71.10000	
VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
X019	1.000000	22.700001
X020	0.000000	24.600000
X021	0.000000	22.500000
X022	0.000000	21.700001
X023	0.000000	22.100000
X024	0.000000	27.000000
X025	0.000000	16.000000
X026	1.000000	16.900000
X027	0.000000	16.200001
X1920	1.000000	1.100000
X1921	0.000000	6.200000
X1922	0.000000	6.600000
X1923	0.000000	7.600000
X1924	0.000000	17.700001
X1925	0.000000	13.900000
X1926	0.000000	18.000000
X1927	0.000000	15.700000
X2021	1.000000	5.900000
X2022	0.000000	6.300000
X2023	0.000000	5.000000
X2024	0.000000	16.400000
X2025	0.000000	13.600000
X2026	0.000000	16.100000

Figura 71: Solución de cluster 3 en LINDO (parte 1)

Fuente: Elaboración propia - LINDO

X2027	0.000000	15.400000
X2122	0.000000	4.800000
X2123	1.000000	4.100000
X2124	0.000000	14.900000
X2125	0.000000	12.000000
X2126	0.000000	14.600000
X2127	0.000000	13.900000
X2223	1.000000	1.500000
X2224	0.000000	12.400000
X2225	1.000000	8.800000
X2226	0.000000	12.300000
X2227	0.000000	11.600000
X2324	0.000000	13.300000
X2325	0.000000	10.700000
X2326	0.000000	13.200000
X2327	0.000000	12.500000
X2425	1.000000	3.200000
X2426	0.000000	6.200000
X2427	1.000000	5.300000
X2526	0.000000	2.900000
X2527	0.000000	2.100000
X2627	1.000000	1.600000
ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
2)	0.000000	0.000000
3)	0.000000	0.000000
4)	0.000000	0.000000
5)	0.000000	0.000000
6)	0.000000	0.000000
7)	0.000000	0.000000
8)	0.000000	0.000000
9)	0.000000	0.000000
10)	0.000000	0.000000
11)	0.000000	0.000000
12)	1.000000	0.000000
13)	1.000000	0.000000
NO. ITERATIONS=	651	
BRANCHES=	72	DETERM. = 1.000E 0

Figura 72: Solución de cluster 3 en LINDO (parte 2)

Fuente: Elaboración propia - LINDO

Finalmente, la ruta óptima para el cluster 3 tiene un total de 71,1 km con la salida de un camión desde la Planta de Quilicura, pasando a visitar a todos los clientes y regresar al mismo punto de origen.

El orden lógico del clúster 3 según la herramienta LINDO es:

1. Planta Quilicura CCU (CD)
2. Cliente21
3. Cliente20
4. Cliente19
5. Cliente22
6. Cliente23
7. Cliente25
8. Cliente24
9. Cliente27
10. Cliente26
11. Planta Quilicura CCU (CD)

CD – 21 – 20 – 19 – 22 – 23 – 25 - 24 – 27 – 26 – CD

Ruta a seguir de cluster 3:

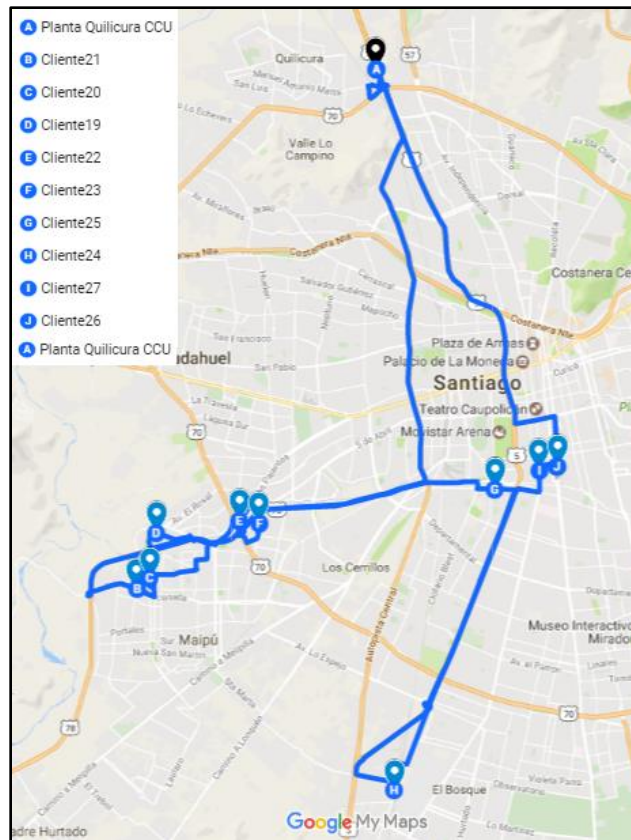


Figura 73: Cluster 3 (LINDO) en Google Maps

Fuente: Elaboración propia (<https://www.google.com/maps/d/u/1/edit?authuser=1&mid=18BetP-dxLjAWPHkyXtkIW6LxcsE&ll=-33.57500767307924%2C-70.70490415&z=11>)

Cluster 4

Variables de decisión:

$$X_{ij} \begin{cases} 1, \text{ si va desde el punto } i \text{ al punto } j \\ 0, \text{ caso contrario} \end{cases}$$

Función Objetivo:

$$\begin{aligned} \text{Min: } Z = & 17.6x_{028} + 11.4x_{029} + 11.1x_{030} + 11.9x_{031} + 12.2x_{032} + 11.5x_{033} + 13x_{034} \\ & + 11.5x_{035} + 12.7x_{036} + 13.7x_{2829} + 14.9x_{2830} + 19.3x_{2831} + 15.2x_{2832} \\ & + 13.8x_{2833} + 14.3x_{2834} + 13.8x_{2835} + 14x_{2836} + 1.9x_{2930} + 2.7x_{2931} \\ & + 2.9x_{2932} + 2.3x_{2933} + 3.8x_{2934} + 2.2x_{2935} + 3.6x_{2936} + 0.7x_{3031} \\ & + x_{3032} + 1.6x_{3033} + 1.7x_{3034} + 2.1x_{3035} + 3.4x_{3036} + 1.7x_{3132} + x_{3133} \\ & + 2.3x_{3134} + 1.4x_{3135} + 2.7x_{3136} + 2x_{3233} + 2.2x_{3234} + 2x_{3235} \\ & + 3.4x_{3236} + 2x_{3334} + 0.5x_{3335} + 1.7x_{3336} + 1.7x_{3435} + 2.4x_{3436} \\ & + 1.3x_{3536} \end{aligned}$$

Sujeto a:

$$\begin{aligned} x_{028} + x_{029} + x_{030} + x_{031} + x_{032} + x_{033} + x_{034} + x_{035} + x_{036} &= 2 \\ x_{028} + x_{2829} + x_{2830} + x_{2831} + x_{2832} + x_{2833} + x_{2834} + x_{2835} + x_{2836} &= 2 \\ x_{029} + x_{2829} + x_{2930} + x_{2931} + x_{2932} + x_{2933} + x_{2934} + x_{2935} + x_{2936} &= 2 \\ x_{030} + x_{2830} + x_{2930} + x_{3031} + x_{3032} + x_{3033} + x_{3034} + x_{3035} + x_{3036} &= 2 \\ x_{031} + x_{2831} + x_{2931} + x_{3031} + x_{3132} + x_{3133} + x_{3134} + x_{3135} + x_{3136} &= 2 \\ x_{032} + x_{2832} + x_{2932} + x_{3032} + x_{3132} + x_{3233} + x_{3234} + x_{3235} + x_{3236} &= 2 \\ x_{033} + x_{2833} + x_{2933} + x_{3033} + x_{3133} + x_{3233} + x_{3334} + x_{3335} + x_{3336} &= 2 \\ x_{034} + x_{2834} + x_{2934} + x_{3034} + x_{3134} + x_{3234} + x_{3334} + x_{3435} + x_{3436} &= 2 \\ x_{035} + x_{2835} + x_{2935} + x_{3035} + x_{3135} + x_{3235} + x_{3335} + x_{3435} + x_{3536} &= 2 \\ x_{036} + x_{2836} + x_{2936} + x_{3036} + x_{3136} + x_{3236} + x_{3336} + x_{3436} + x_{3536} &= 2 \\ x_{030} + x_{031} + x_{032} + x_{033} + x_{034} + x_{035} + x_{036} + x_{2830} + x_{2831} + x_{2832} + x_{2833} + x_{2834} \\ &+ x_{2835} + x_{2836} + x_{2930} + x_{2931} + x_{2932} + x_{2933} + x_{2934} + x_{2935} + x_{2936} \\ &\geq 1 \end{aligned}$$

En la figura 74 se aprecia la formulación del modelo en la herramienta para obtener la solución posible:

```

LINDO
File Edit Solve Reports Window Help
MAX <untitled>
Min 17. 6x028+11. 4x029+11. 1x030+11. 9x031+12. 2x032+11. 5x033+13x034+11. 5x035+12. 7x036+13. 7x2829+14. 9x2830+19. 3x2831+15. 2x2832
+13. 8x2833+14. 3x2834+13. 8x2835+14x2836+1. 9x2930+2. 7x2931+2. 9x2932+2. 3x2933+3. 8x2934+2. 2x2935+3. 6x2936+0. 7x3031+x3032
+1. 6x3033+1. 7x3034+2. 1x3035+3. 4x3036+1. 7x3132+x3133+2. 3x3134+1. 4x3135+2. 7x3136+2x3233+2. 2x3234+2x3235+3. 4x3236+2x3334
+0. 5x3335+1. 7x3336+1. 7x3435+2. 4x3436+1. 3x3536

Subject to

x028+x029+x030+x031+x032+x033+x034+x035+x036=2
x028+x2829+x2830+x2831+x2832+x2833+x2834+x2835+x2836=2
x029+x2829+x2930+x2931+x2932+x2933+x2934+x2935+x2936=2
x030+x2830+x2930+x3031+x3032+x3033+x3034+x3035+x3036=2
x031+x2831+x2931+x3031+x3132+x3133+x3134+x3135+x3136=2
x032+x2832+x2932+x3032+x3132+x3233+x3234+x3235+x3236=2
x033+x2833+x2933+x3033+x3133+x3233+x3334+x3335+x3336=2
x034+x2834+x2934+x3034+x3134+x3234+x3334+x3435+x3436=2
x035+x2835+x2935+x3035+x3135+x3235+x3335+x3435+x3536=2
x036+x2836+x2936+x3036+x3136+x3236+x3336+x3436+x3536=2
x030+x031+x032+x033+x034+x035+x036+x2830+x2831+x2832+x2833+x2834+x2835+x2836+x2930+x2931+x2932+x2933+x2934+x2935+x2936>=1

end
int 45
  
```

Figura 74: Formulación modelo matemático en LINDO - Cluster 4
Fuente: Elaboración propia - LINDO

En las figuras 75 y 76 se aprecia respectivamente la formulación del modelo en el programa LINDO:

OBJECTIVE FUNCTION VALUE		
1)	53.00000	
VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
X028	1.000000	17.600000
X029	1.000000	11.400000
X030	0.000000	11.100000
X031	0.000000	11.900000
X032	0.000000	12.200000
X033	0.000000	11.500000
X034	0.000000	13.000000
X035	0.000000	11.500000
X036	0.000000	12.700000
X2829	0.000000	13.700000
X2830	0.000000	14.900000
X2831	0.000000	19.299999
X2832	0.000000	15.200000
X2833	0.000000	13.800000
X2834	0.000000	14.300000
X2835	0.000000	13.800000
X2836	1.000000	14.000000
X2930	0.000000	1.900000
X2931	0.000000	2.700000
X2932	0.000000	2.900000
X2933	0.000000	2.300000
X2934	0.000000	3.800000
X2935	1.000000	2.200000
X2936	0.000000	3.600000
X3031	1.000000	0.700000
X3032	1.000000	1.000000
X3033	0.000000	1.600000
X3034	0.000000	1.700000

Figura 75: Solución de cluster 4 en LINDO (parte 1)
Fuente: Elaboración propia - LINDO

X3034	0.000000	1.700000
X3035	0.000000	2.100000
X3036	0.000000	3.400000
X3132	0.000000	1.700000
X3133	1.000000	1.000000
X3134	0.000000	2.300000
X3135	0.000000	1.400000
X3136	0.000000	2.700000
X3233	0.000000	2.000000
X3234	1.000000	2.200000
X3235	0.000000	2.000000
X3236	0.000000	3.400000
X3334	0.000000	2.000000
X3335	1.000000	0.500000
X3336	0.000000	1.700000
X3435	0.000000	1.700000
X3436	1.000000	2.400000
X3536	0.000000	1.300000
ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
2)	0.000000	0.000000
3)	0.000000	0.000000
4)	0.000000	0.000000
5)	0.000000	0.000000
6)	0.000000	0.000000
7)	0.000000	0.000000
8)	0.000000	0.000000
9)	0.000000	0.000000
10)	0.000000	0.000000
11)	0.000000	0.000000
12)	1.000000	0.000000
NO. ITERATIONS=	57	
BRANCHES=	7	DETERM. = 1.000E 0

Figura 76: Solución de cluster 4 en LINDO (parte 2)

Fuente: Elaboración propia - LINDO

Finalmente, la ruta óptima para el cluster 4 tiene un total de 53,0 km con la salida de un camión desde la Planta de Quilicura, pasando a visitar a todos los clientes y regresar al mismo punto de origen.

El orden lógico del cluster 4 según la herramienta LINDO es:

1. Planta Quilicura CCU (CD)
2. Cliente28
3. Cliente29
4. Cliente30
5. Cliente33
6. Cliente35
7. Cliente34
8. Cliente32
9. Cliente31
10. Cliente36
11. Planta Quilicura CCU (CD)

CD – 28 – 29 – 30 – 33 – 35 – 34 – 32 – 31 – 36 – CD

Ruta a seguir de cluster 4:

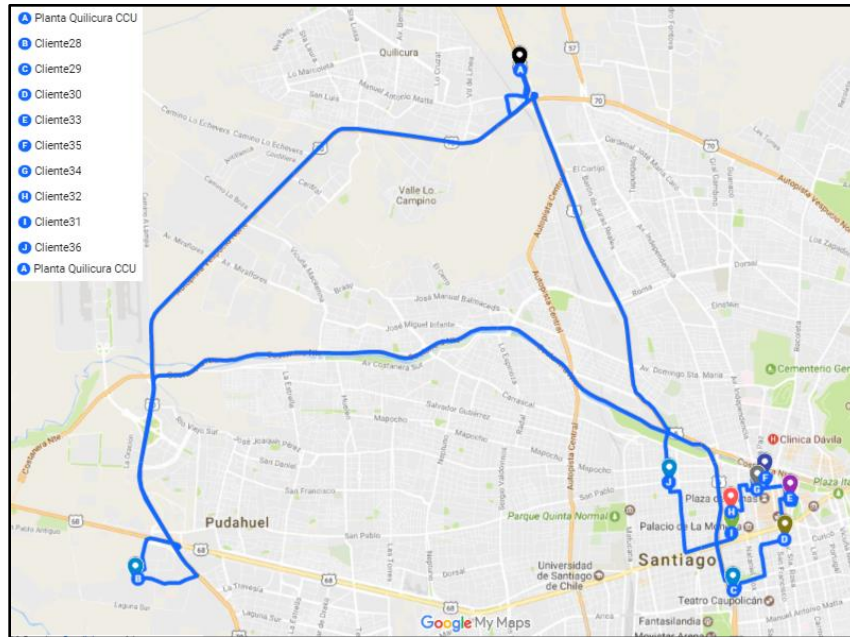


Figura 77: Cluster 4 (LINDO) en Google Maps

Fuente: Elaboración propia (<https://www.google.com/maps/d/u/1/edit?authuser=1&mid=18BetP-dxLjAWPHkyXtkIW6LxcsE&ll=-33.57500767307924%2C-70.70490415&z=11>)

Cluster 5

Variables de decisión:

$$x_{ij} \begin{cases} 1, \text{ si va desde el punto } i \text{ al punto } j \\ 0, \text{ caso contrario} \end{cases}$$

Función Objetivo:

$$\begin{aligned} \text{Min: } Z = & 14.2x_{037} + 20.1x_{038} + 17.1x_{039} + 13.9x_{040} + 14.5x_{041} + 14.1x_{042} \\ & + 14.1x_{043} + 14.5x_{044} + 14.6x_{045} + 6.2x_{3738} + 3x_{3739} + 5.8x_{3740} \\ & + 4.6x_{3741} + 6x_{3742} + 5.3x_{3743} + 4x_{3744} + 4.7x_{3745} + 4.3x_{3839} \\ & + 6.3x_{3840} + 6.6x_{3841} + 5.7x_{3842} + 6.3x_{3843} + 6.8x_{3844} + 7x_{3845} \\ & + 4.7x_{3940} + 2.8x_{3941} + 4.1x_{3942} + 3.7x_{3943} + 2.4x_{3944} + 3.2x_{3945} \\ & + 1.9x_{4041} + 2x_{4042} + 1.3x_{4043} + 2x_{4044} + 1.3x_{4045} + 2.2x_{4142} \\ & + 1.1x_{4143} + 0.6x_{4144} + 0.6x_{4145} + 1.3x_{4243} + 2.7x_{4244} + 2x_{4245} \\ & + 2.1x_{4344} + 1.4x_{4345} + 1.8x_{4445} \end{aligned}$$

Sujeto a:

$$\begin{aligned} x_{037} + x_{038} + x_{039} + x_{040} + x_{041} + x_{042} + x_{043} + x_{044} + x_{045} &= 2 \\ x_{037} + x_{3738} + x_{3739} + x_{3740} + x_{3741} + x_{3742} + x_{3743} + x_{3744} + x_{3745} &= 2 \\ x_{038} + x_{3738} + x_{3839} + x_{3840} + x_{3841} + x_{3842} + x_{3843} + x_{3844} + x_{3845} &= 2 \\ x_{039} + x_{3739} + x_{3839} + x_{3940} + x_{3941} + x_{3942} + x_{3943} + x_{3944} + x_{3945} &= 2 \\ x_{040} + x_{3740} + x_{3840} + x_{3940} + x_{4041} + x_{4042} + x_{4043} + x_{4044} + x_{4045} &= 2 \\ x_{041} + x_{3741} + x_{3841} + x_{3941} + x_{4041} + x_{4142} + x_{4143} + x_{4144} + x_{4145} &= 2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 x_{042} + x_{3742} + x_{3842} + x_{3942} + x_{4042} + x_{4142} + x_{4243} + x_{4244} + x_{4245} &= 2 \\
 x_{043} + x_{3743} + x_{3843} + x_{3943} + x_{4043} + x_{4143} + x_{4243} + x_{4344} + x_{4345} &= 2 \\
 x_{044} + x_{3744} + x_{3844} + x_{3944} + x_{4044} + x_{4144} + x_{4244} + x_{4344} + x_{4445} &= 2 \\
 x_{045} + x_{3745} + x_{3845} + x_{3945} + x_{4045} + x_{4145} + x_{4245} + x_{4345} + x_{4445} &= 2
 \end{aligned}$$

En la figura 78 se aprecia la formulación del modelo en la herramienta para obtener la solución posible:

```

LINDO
File Edit Solve Reports Window Help
<untitled>
Min 14. 2x037+20. 1x038+17. 1x039+13. 9x040+14. 5x041+14. 1x042+14. 1x043+14. 5x044+14. 6x045+6. 2x3738+3x3739+5. 8x3740+4. 6x3741
+6x3742+5. 3x3743+4x3744+4. 7x3745+4. 3x3839+6. 3x3840+6. 6x3841+5. 7x3842+6. 3x3843+6. 8x3844+7x3845+4. 7x3940+2. 8x3941+4. 1x3942
+3. 7x3943+2. 4x3944+3. 2x3945+1. 9x4041+2x4042+1. 3x4043+2x4044+1. 3x4045+2. 2x4142+1. 1x4143+0. 6x4144+0. 6x4145+1. 3x4243+2. 7x4244
+2x4245+2. 1x4344+1. 4x4345+1. 8x4445
Subject to
x037+x038+x039+x040+x041+x042+x043+x044+x045=2
x037+x3738+x3739+x3740+x3741+x3742+x3743+x3744+x3745=2
x038+x3738+x3839+x3840+x3841+x3842+x3843+x3844+x3845=2
x039+x3739+x3839+x3940+x3941+x3942+x3943+x3944+x3945=2
x040+x3740+x3840+x3940+x4041+x4042+x4043+x4044+x4045=2
x041+x3741+x3841+x3941+x4041+x4142+x4143+x4144+x4145=2
x042+x3742+x3842+x3942+x4042+x4142+x4243+x4244+x4245=2
x043+x3743+x3843+x3943+x4043+x4143+x4243+x4344+x4345=2
x044+x3744+x3844+x3944+x4044+x4144+x4244+x4344+x4445=2
x045+x3745+x3845+x3945+x4045+x4145+x4245+x4345+x4445=2
end
int 45

```

Figura 78: Formulación modelo matemático en LINDO - Cluster 5

Fuente: Elaboración propia - LINDO

En las figuras 79 y 80 se aprecia respectivamente la formulación del modelo en el programa LINDO:

OBJECTIVE FUNCTION VALUE		
1)	46.30000	
VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
X037	1.000000	14.200000
X038	0.000000	20.100000
X039	0.000000	17.100000
X040	0.000000	13.900000
X041	0.000000	14.500000
X042	1.000000	14.100000
X043	0.000000	14.100000
X044	0.000000	14.500000
X045	0.000000	14.600000
X3738	1.000000	6.200000
X3739	0.000000	3.000000
X3740	0.000000	5.800000
X3741	0.000000	4.600000
X3742	0.000000	6.000000
X3743	0.000000	5.300000
X3744	0.000000	4.000000
X3745	0.000000	4.700000
X3839	1.000000	4.300000
X3840	0.000000	6.300000
X3841	0.000000	6.600000
X3842	0.000000	5.700000
X3843	0.000000	6.300000
X3844	0.000000	6.800000
X3845	0.000000	7.000000
X3940	0.000000	4.700000
X3941	0.000000	2.800000
X3942	0.000000	4.100000
X3943	0.000000	3.700000
X3944	1.000000	2.400000
X3945	0.000000	3.200000

Figura 79: Solución de cluster 5 en LINDO (parte 1)

Fuente: Elaboración propia - LINDO

X3945	0.000000	3.200000
X4041	0.000000	1.900000
X4042	0.000000	2.000000
X4043	1.000000	1.300000
X4044	0.000000	2.000000
X4045	1.000000	1.300000
X4142	0.000000	2.200000
X4143	0.000000	1.100000
X4144	1.000000	0.600000
X4145	1.000000	0.600000
X4243	1.000000	1.300000
X4244	0.000000	2.700000
X4245	0.000000	2.000000
X4344	0.000000	2.100000
X4345	0.000000	1.400000
X4445	0.000000	1.800000
ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
2)	0.000000	0.000000
3)	0.000000	0.000000
4)	0.000000	0.000000
5)	0.000000	0.000000
6)	0.000000	0.000000
7)	0.000000	0.000000
8)	0.000000	0.000000
9)	0.000000	0.000000
10)	0.000000	0.000000
11)	0.000000	0.000000
NO. ITERATIONS=	23	
BRANCHES=	0	DETERM.= 1.000E 0

Figura 80: Solución de cluster 5 en LINDO (parte 2)

Fuente: Elaboración propia - LINDO

Finalmente, la ruta óptima para el cluster 5 tiene un total de 46,3 km con la salida de un camión desde la Planta de Quilicura, pasando a visitar a todos los clientes y regresar al mismo punto de origen.

El orden lógico del cluster 5 según la herramienta LINDO es:

1. Planta Quilicura CCU (CD)
2. Cliente37
3. Cliente45
4. Cliente38
5. Cliente39
6. Cliente42
7. Cliente40
8. Cliente41
9. Cliente44
10. Cliente43
11. Planta Quilicura CCU (CD)

CD – 37 – 45 – 38 – 39 – 42 – 40 – 41 – 44 – 43 – CD

Ruta a seguir de cluster 5:

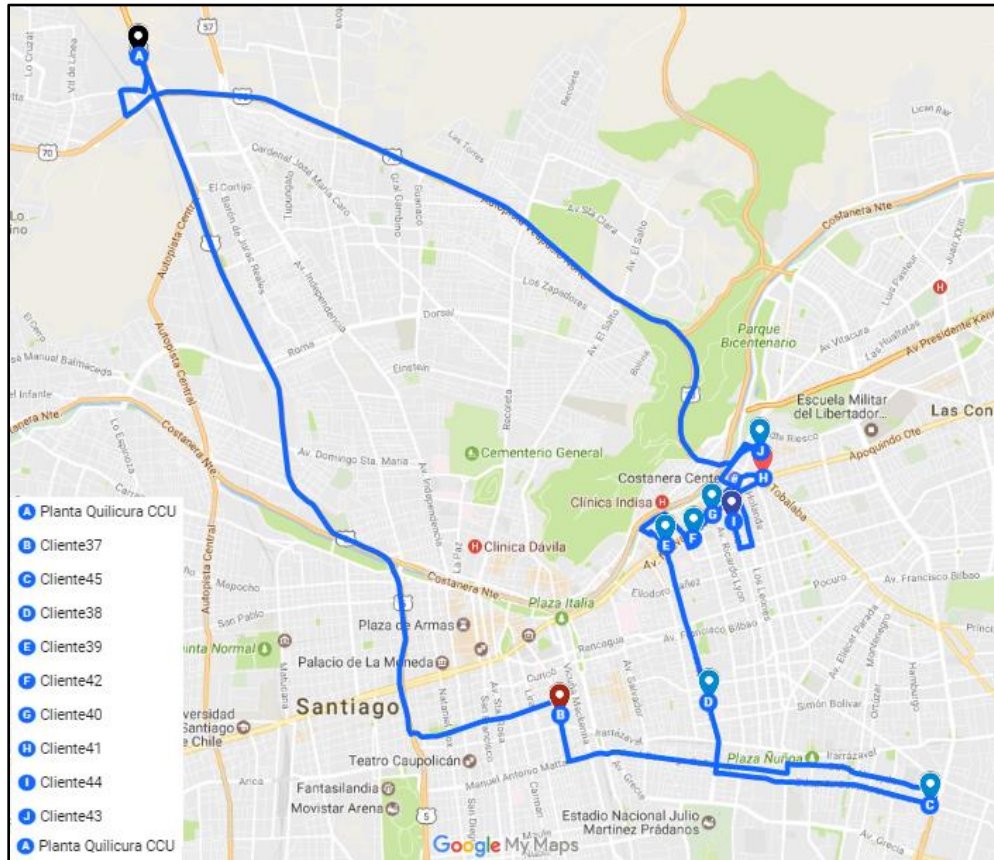


Figura 81: Cluster 5 (LINDO) en Google Maps

Fuente: Elaboración propia (<https://www.google.com/maps/d/u/1/edit?authuser=1&mid=18BetP-dxLjAWPHkyXtkiW6LxcsE&ll=-33.57500767307924%2C-70.70490415&z=11>)

Cluster 6

Variables de decisión:

$$x_{ij} \begin{cases} 1, \text{ si va desde el punto } i \text{ al punto } j \\ 0, \text{ caso contrario} \end{cases}$$

Función Objetivo:

$$\begin{aligned} \text{Min: } Z = & 14x_{046} + 14.8x_{047} + 10.6x_{048} + 14.2x_{049} + 23.5x_{050} + 22.7x_{051} + 21.3x_{052} \\ & + 23.5x_{053} + 3.3x_{054} + 1.2x_{4647} + 5.7x_{4648} + 3.2x_{4649} + 13.5x_{4650} \\ & + 12.4x_{4651} + 10.1x_{4652} + 13.2x_{4653} + 13.5x_{4654} + 6.5x_{4748} + 2.4x_{4749} \\ & + 12.7x_{4750} + 14.3x_{4751} + 9.2x_{4752} + 15.1x_{4753} + 13.5x_{4754} + 6x_{4849} \\ & + 15.3x_{4850} + 14.5x_{4851} + 13.1x_{4852} + 15.3x_{4853} + 9.5x_{4854} + 11.3x_{4950} \\ & + 10.6x_{4951} + 8.5x_{4952} + 11.3x_{4953} + 13.4x_{4954} + 5.4x_{5051} + 5.8x_{5052} \\ & + 6.2x_{5053} + 25.5x_{5054} + 2.5x_{5152} + 2.1x_{5153} + 24.6x_{5154} + 3.1x_{5253} \\ & + 23.7x_{5254} + 25.4x_{5354} \end{aligned}$$

Sujeto a:

$$\begin{aligned}
 x_{046} + x_{047} + x_{048} + x_{049} + x_{050} + x_{051} + x_{052} + x_{053} + x_{054} &= 2 \\
 x_{046} + x_{4647} + x_{4648} + x_{4649} + x_{4650} + x_{4651} + x_{4652} + x_{4653} + x_{4654} &= 2 \\
 x_{047} + x_{4647} + x_{4748} + x_{4749} + x_{4750} + x_{4751} + x_{4752} + x_{4753} + x_{4754} &= 2 \\
 x_{048} + x_{4648} + x_{4748} + x_{4849} + x_{4850} + x_{4851} + x_{4852} + x_{4853} + x_{4854} &= 2 \\
 x_{049} + x_{4649} + x_{4749} + x_{4849} + x_{4950} + x_{4951} + x_{4952} + x_{4953} + x_{4954} &= 2 \\
 x_{050} + x_{4650} + x_{4750} + x_{4850} + x_{4950} + x_{5051} + x_{5052} + x_{5053} + x_{5054} &= 2 \\
 x_{051} + x_{4651} + x_{4751} + x_{4851} + x_{4951} + x_{5051} + x_{5152} + x_{5153} + x_{5154} &= 2 \\
 x_{052} + x_{4652} + x_{4752} + x_{4852} + x_{4952} + x_{5052} + x_{5152} + x_{5253} + x_{5254} &= 2 \\
 x_{053} + x_{4653} + x_{4753} + x_{4853} + x_{4953} + x_{5053} + x_{5153} + x_{5253} + x_{5354} &= 2 \\
 x_{054} + x_{4654} + x_{4754} + x_{4854} + x_{4954} + x_{5054} + x_{5154} + x_{5254} + x_{5354} &= 2 \\
 x_{046} + x_{047} + x_{049} + x_{050} + x_{051} + x_{052} + x_{053} + x_{4648} + x_{4748} + x_{4849} + x_{4850} + x_{4851} \\
 + x_{4852} + x_{4853} + x_{4654} + x_{4754} + x_{4954} + x_{5054} + x_{5154} + x_{5254} + x_{5354} \\
 \geq 1
 \end{aligned}$$

En la figura 82 se aprecia la formulación del modelo en la herramienta para obtener la solución posible:

```

LINDO
File Edit Solve Reports Window Help
<untitled>
min 14x046+14. 8x047+10. 6x048+14. 2x049+23. 5x050+22. 7x051+21. 3x052+23. 5x053+3. 3x054+1. 2x4647+5. 7x4648+3. 2x4649+13. 5x4650+12. 4x4651
+10. 1x4652+13. 2x4653+13. 5x4654+6. 5x4748+2. 4x4749+12. 7x4750+14. 3x4751+9. 2x4752+15. 1x4753+13. 5x4754+6x4849+15. 3x4850+14. 5x4851+13. 1x4852
+15. 3x4853+9. 5x4854+11. 3x4950+10. 6x4951+8. 5x4952+11. 3x4953+13. 4x4954+5. 4x5051+5. 8x5052+6. 2x5053+25. 5x5054+2. 5x5152+2. 1x5153+24. 6x5154
+3. 1x5253+23. 7x5254+25. 4x5354

S. T.
x046+x047+x048+x049+x050+x051+x052+x053+x054=2
x046+x4647+x4648+x4649+x4650+x4651+x4652+x4653+x4654=2
x047+x4647+x4748+x4749+x4750+x4751+x4752+x4753+x4754=2
x048+x4648+x4748+x4849+x4850+x4851+x4852+x4853+x4854=2
x049+x4649+x4749+x4849+x4950+x4951+x4952+x4953+x4954=2
x050+x4650+x4750+x4850+x4950+x5051+x5052+x5053+x5054=2
x051+x4651+x4751+x4851+x4951+x5051+x5152+x5153+x5154=2
x052+x4652+x4752+x4852+x4952+x5052+x5152+x5253+x5254=2
x053+x4653+x4753+x4853+x4953+x5053+x5153+x5253+x5354=2
x054+x4654+x4754+x4854+x4954+x5054+x5154+x5254+x5354=2
x046+x047+x049+x050+x051+x052+x053+x4648+x4748+x4849+x4850+x4851+x4852+x4853+x4654+x4754+x4954+x5054+x5154+x5254+x5354>=1

end
int 45

```

Figura 82: Formulación modelo matemático en LINDO - Cluster 6

Fuente: Elaboración propia - LINDO

En las imágenes 83 y 84 se aprecia respectivamente la formulación del modelo en el programa LINDO:

MAX LINDO
File Edit Solve Reports Window Help

Reports Window

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) 64.70000

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
X046	0.000000	14.000000
X047	0.000000	14.800000
X048	0.000000	10.600000
X049	0.000000	14.200000
X050	1.000000	23.500000
X051	0.000000	22.700001
X052	0.000000	21.299999
X053	0.000000	23.500000
X054	0.000000	3.300000
X4647	1.000000	1.200000
X4648	1.000000	5.700000
X4649	0.000000	3.200000
X4650	0.000000	13.500000
X4651	0.000000	12.400000
X4652	0.000000	10.100000
X4653	0.000000	13.200000
X4654	0.000000	13.500000
X4748	0.000000	6.500000
X4749	1.000000	2.400000
X4750	0.000000	12.700000
X4751	0.000000	14.300000
X4752	0.000000	9.200000
X4753	0.000000	15.100000
X4754	0.000000	13.500000
X4849	0.000000	6.000000
X4850	0.000000	15.300000
X4851	0.000000	14.500000
X4852	0.000000	13.100000
X4853	0.000000	15.300000
X4854	1.000000	9.500000
X4950	0.000000	11.300000

Figura 83: Solución de cluster 6 en LINDO (parte 1)

Fuente: Elaboración propia - LINDO

X4950	0.000000	11.300000
X4951	0.000000	10.600000
X4952	1.000000	8.500000
X4953	0.000000	11.300000
X4954	0.000000	13.400000
X5051	1.000000	5.400000
X5052	0.000000	5.800000
X5053	0.000000	6.200000
X5054	0.000000	25.500000
X5152	0.000000	2.500000
X5153	1.000000	2.100000
X5154	0.000000	24.600000
X5253	1.000000	3.100000
X5254	0.000000	23.700001
X5354	0.000000	25.400000

ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
2)	0.000000	0.000000
3)	0.000000	0.000000
4)	0.000000	0.000000
5)	0.000000	0.000000
6)	0.000000	0.000000
7)	0.000000	0.000000
8)	0.000000	0.000000
9)	0.000000	0.000000
10)	0.000000	0.000000
11)	0.000000	0.000000
12)	1.000000	0.000000

NO. ITERATIONS= 53
BRANCHES= 6 DETERM.= 1.000E 0

Figura 84: Solución de cluster 6 en LINDO (parte 6)

Fuente: Elaboración propia - LINDO

Finalmente, la ruta óptima para el cluster 6 tiene un total de 64,7 km con la salida de un camión desde la Planta de Quilicura, pasando a visitar a todos los clientes y regresar al mismo punto de origen.

El orden lógico del clúster 6 según la herramienta LINDO es:

1. Planta Quilicura CCU (CD)
2. Cliente46
3. Cliente47
4. Cliente48
5. Cliente49
6. Cliente50
7. Cliente51
8. Cliente52
9. Cliente53
10. Cliente54
11. Planta Quilicura CCU (CD)

CD – 46 – 47 – 48 – 49 – 50 – 51 – 52 – 53 – 54 – CD

Ruta a seguir de cluster 6:

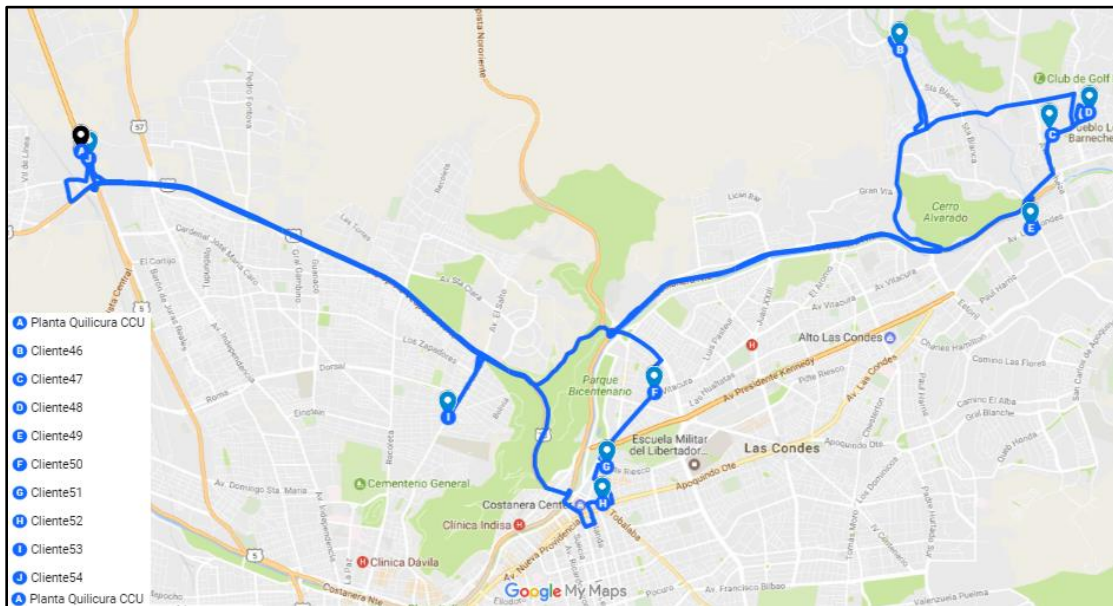


Figura 85: Cluster 6 (LINDO) en Google Maps

Fuente: Elaboración propia (<https://www.google.com/maps/d/u/1/edit?authuser=1&mid=18BetP-dxLjAWPHkyXtkIW6LxcsE&ll=-33.57500767307924%2C-70.70490415&z=11>)

Una vez desarrollado el modelo matemático con todos los clúster y obtenido las rutas óptimas para cada uno de ellos según la herramienta LINDO, la distancia total recorrida y rutas óptimas para este método es de 468,4 kilómetros, repartidos en 6 clúster, los cuales lo recorren 6 camiones desde la planta de CCU ubicada en la comuna de Quilicura, Región Metropolitana.

5.2.4. Propuesta 4: Software de ruteo ROADNET

En esta última propuesta, al igual como en la anterior, se utilizará la base de lo realizado en la propuesta 1 con la división en clusters para la atención y visitas a los clientes. La diferencia es que para esta propuesta se utilizará el software ROADNET para rutear la visita de cada punto.

Debido a restricciones de privacidad, no se puede dar a conocer la pantalla de introducción de datos al software, sin embargo si se puede visualizar el resultado que arroja ROADNET.

Cluster 1

En la figura 86 se aprecia la interfaz del software para la ubicación de los clientes del cluster 1 que deben ser visitados:

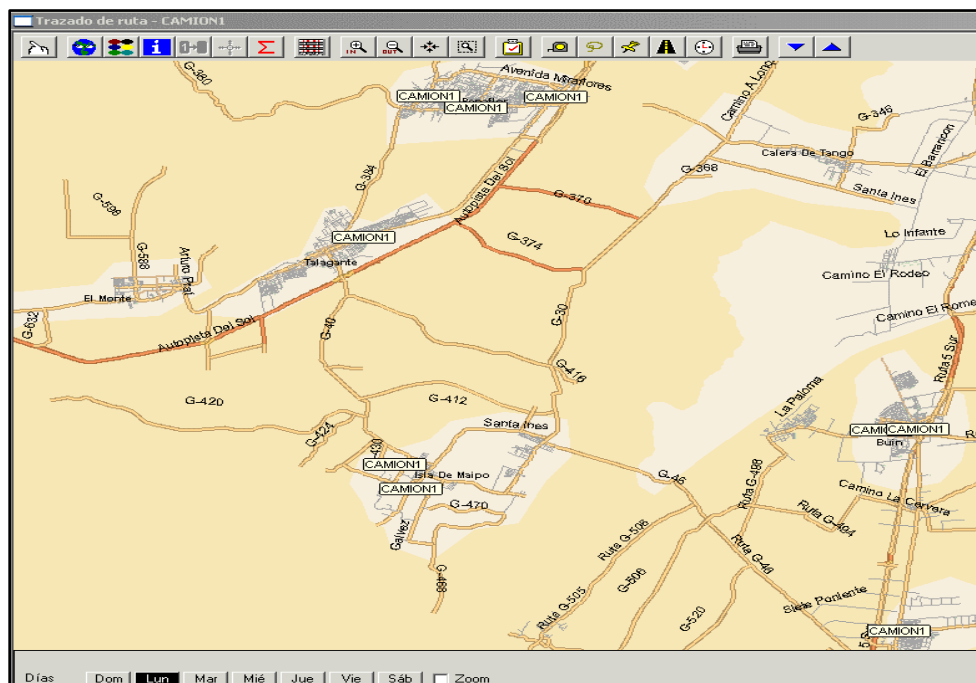


Figura 86: Formación cluster 1 – ROADNET

Fuente: Elaboración propia - ROADNET

De acuerdo a la interpretación del reporte entregado por el software, la ruta óptima para el cluster 1 tiene un total de 138,9 km con la salida de un camión desde la planta de Quilicura, visitando a todos los clientes y luego regresando al mismo punto de origen.

El orden lógico de visita del cluster 1 según ROADNET es:

1. Planta Quilicura CCU (CD)
2. Cliente07
3. Cliente06
4. Cliente08
5. Cliente05
6. Cliente01
7. Cliente02

8. Cliente03
9. Cliente09
10. Cliente04
11. Planta Quilicura CCU (CD)

CD – 07 – 06 – 08 – 05 – 01 – 02 – 03 – 09 – 04 – CD

Ruta a seguir de cluster 1:

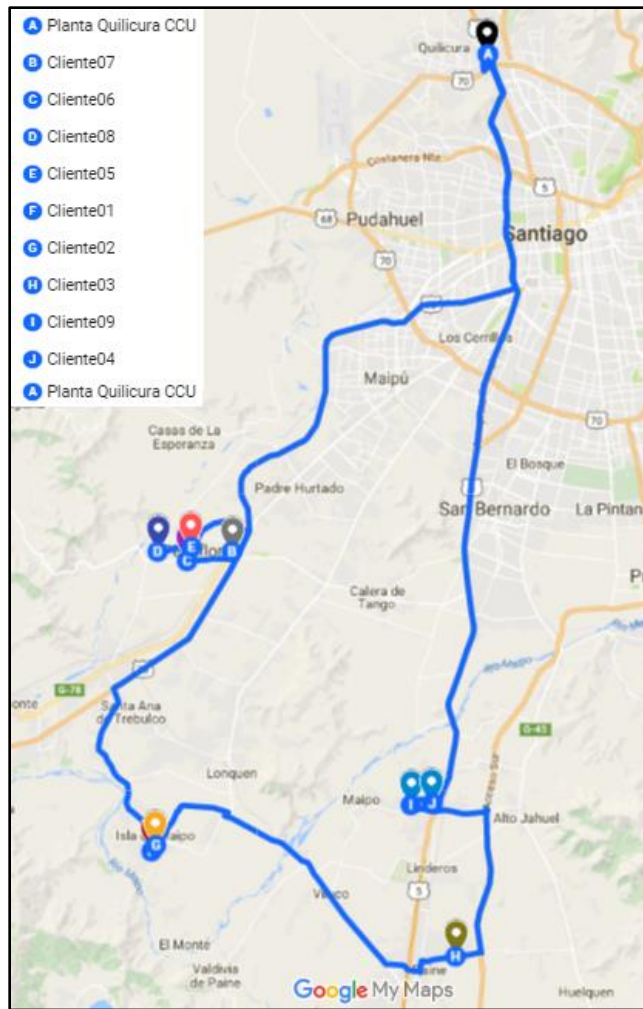


Figura 87: Cluster 1 (ROADNET) en Google Maps

Fuente: Elaboración propia (<https://www.google.com/maps/d/u/1/edit?authuser=1&mid=18BetP-dxLjAWPHkyXtkIW6LxcsE&ll=-33.57500767307924%2C-70.70490415&z=11>)

Ruta a seguir de cluster 2:

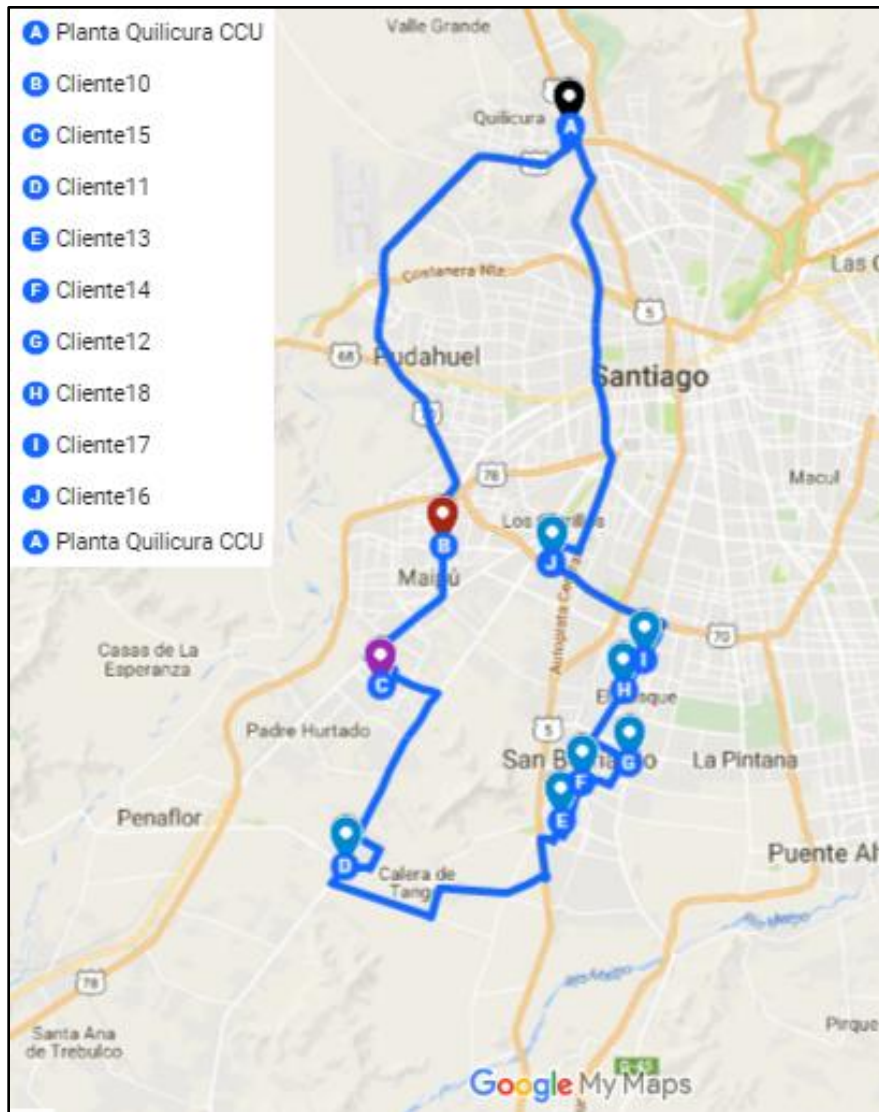


Figura 89: Cluster 2 (ROADNET) en Google Maps

Fuente: Elaboración propia (<https://www.google.com/maps/d/u/1/edit?authuser=1&mid=18BetP-dxLjAWPHkyXtkIW6LxcsE&ll=-33.57500767307924%2C-70.70490415&z=11>)

Cluster 3

En la figura 90 se aprecia la interfaz del software para la ubicación de los clientes del cluster 3 que deben ser visitados:

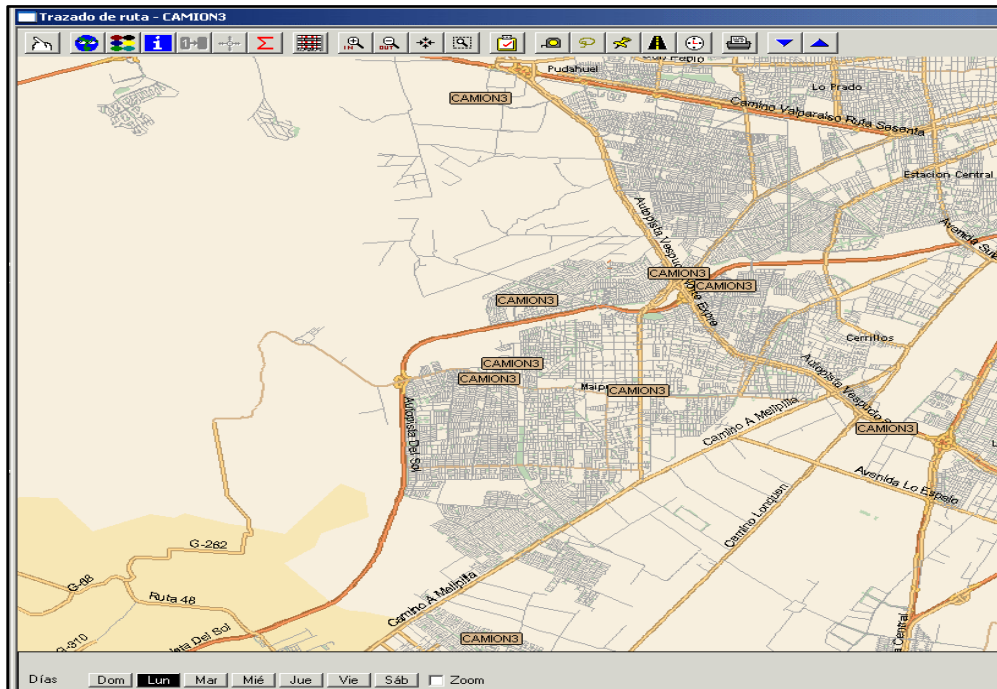


Figura 90: Formación cluster 3 – ROADNET

Fuente: Elaboración propia - ROADNET

De acuerdo a la interpretación del reporte entregado por el software, la ruta óptima para el cluster 3 tiene un total de 76,9 km con la salida de un camión desde la planta de Quilicura, visitando a todos los clientes y luego regresando al mismo punto de origen.

El orden lógico de visita del cluster 3 según ROADNET es:

23. Planta Quilicura CCU (CD)
24. Cliente22
25. Cliente23
26. Cliente19
27. Cliente20
28. Cliente21
29. Cliente24
30. Cliente27
31. Cliente25
32. Cliente26
33. Planta Quilicura CCU (CD)

CD – 22 – 23 – 19 – 20 – 21 – 24 – 27 – 25 – 26 – CD

Ruta a seguir de cluster 3:

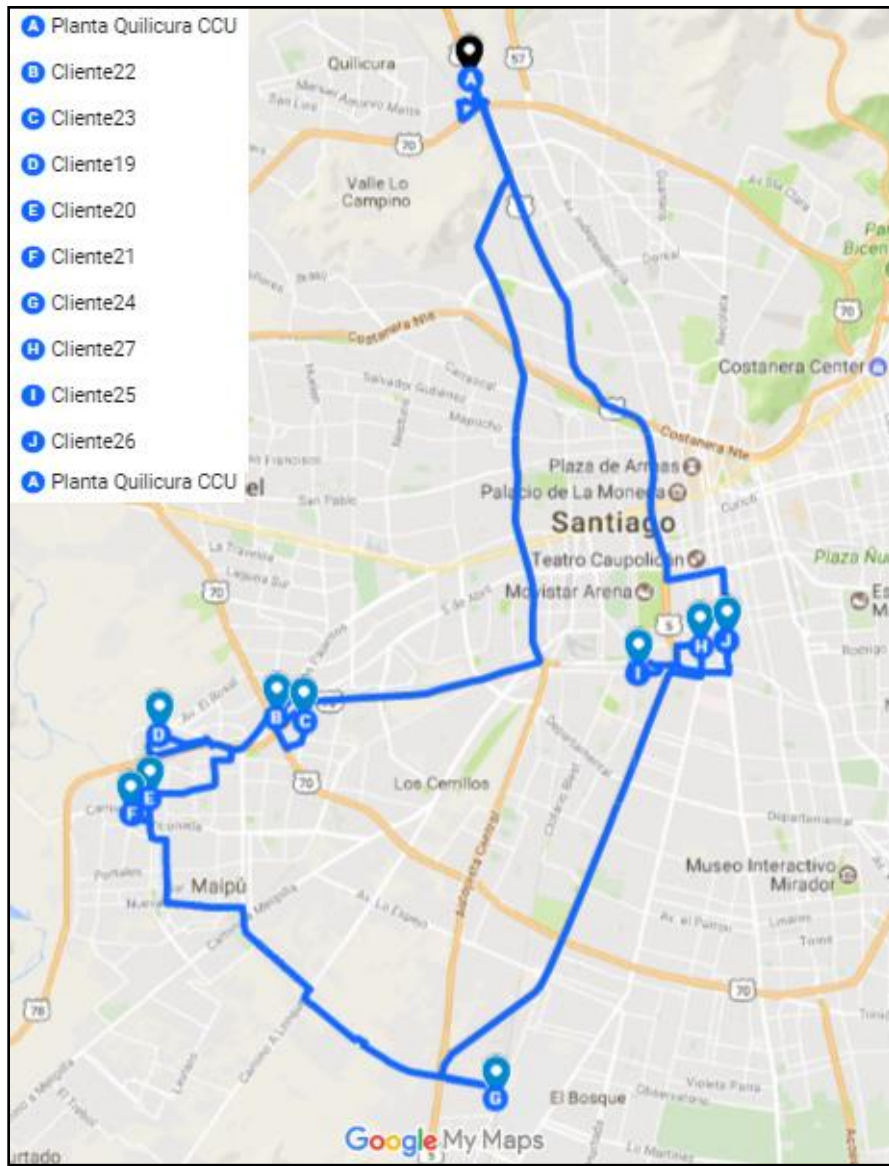


Figura 91: Cluster 3 (ROADNET) en Google Maps

Fuente: Elaboración propia (<https://www.google.com/maps/d/u/1/edit?authuser=1&mid=18BetP-dxLjAWPHKyXtkIW6LxcsE&ll=-33.57500767307924%2C-70.70490415&z=11>)

Cluster 4

En la figura 92 se aprecia la interfaz del software para la ubicación de los clientes del cluster 4 que deben ser visitados:

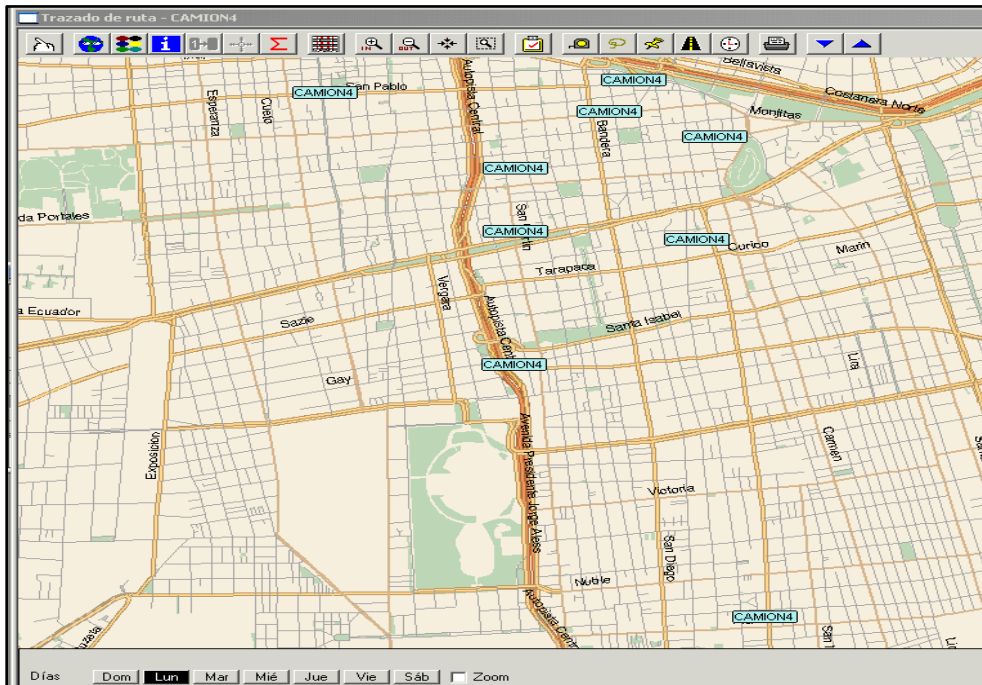


Figura 92: Formación cluster 4 – ROADNET

Fuente: Elaboración propia - ROADNET

De acuerdo a la interpretación del reporte entregado por el software, la ruta óptima para el cluster 4 tiene un total de 53,0 km con la salida de un camión desde la planta de Quilicura, visitando a todos los clientes y luego regresando al mismo punto de origen.

El orden lógico de visita del cluster 4 según ROADNET es:

34. Planta Quilicura CCU (CD)
35. Cliente28
36. Cliente29
37. Cliente30
38. Cliente33
39. Cliente35
40. Cliente34
41. Cliente32
42. Cliente31
43. Cliente36
44. Planta Quilicura CCU (CD)

CD – 28 – 29 – 30 – 33 – 35 – 34 – 32 – 31 – 36 – CD

Ruta a seguir de cluster 4:

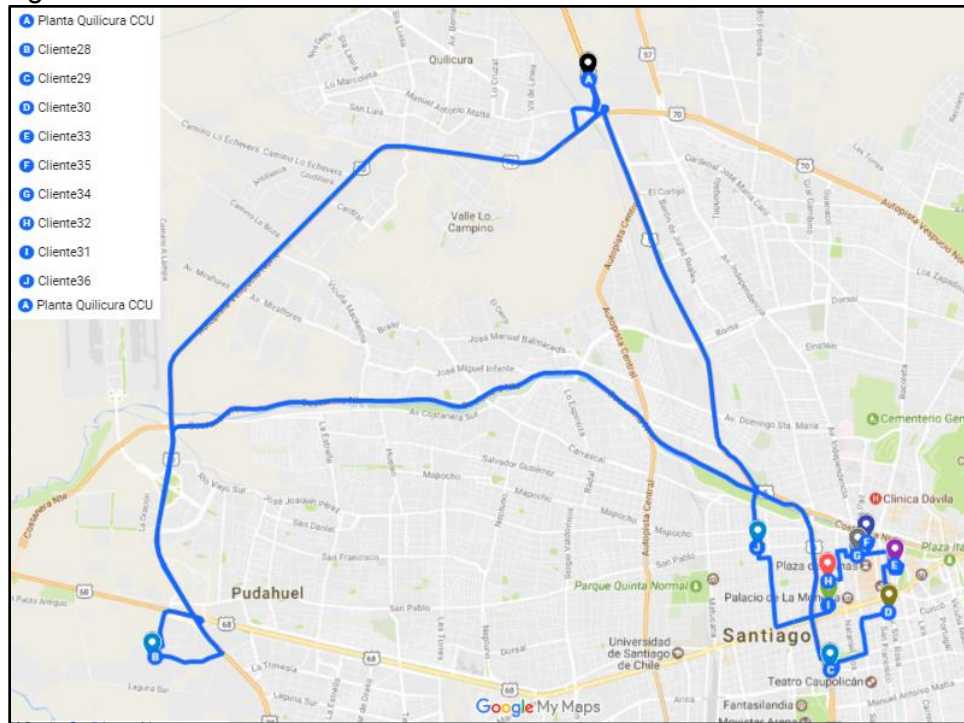


Figura 93: Cluster 4 (ROADNET) en Google Maps

Fuente: Elaboración propia (<https://www.google.com/maps/d/u/1/edit?authuser=1&mid=18BetP-dxLjAWPHkyXtkIW6LxcsE&ll=-33.57500767307924%2C-70.70490415&z=11>)

Cluster 5

En la figura 94 se aprecia la interfaz del software para la ubicación de los clientes del cluster 5 que deben ser visitados:

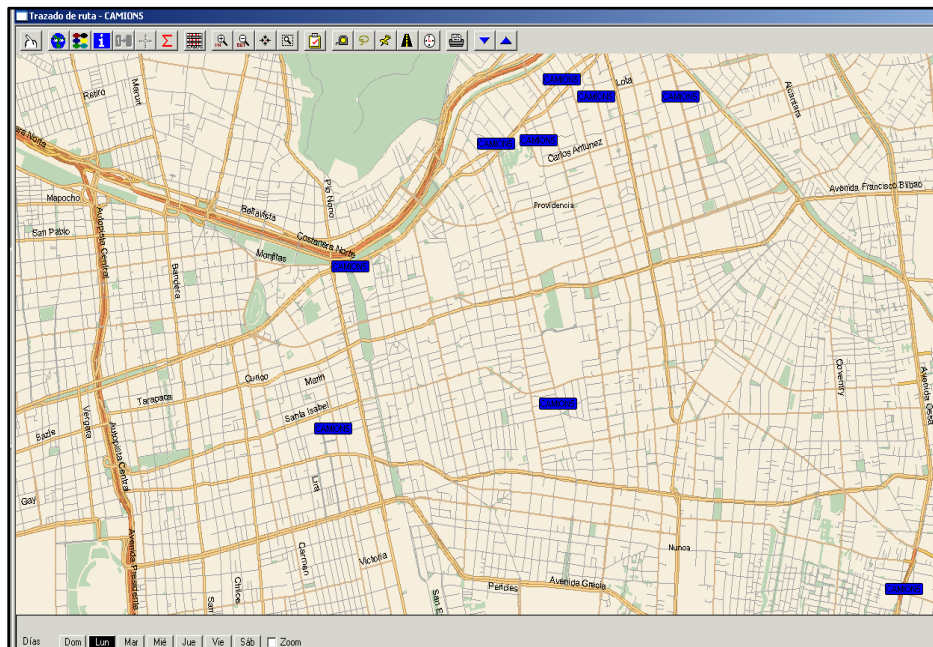


Figura 94: Formación cluster 5 – ROADNET

Fuente: Elaboración propia - ROADNET

De acuerdo a la interpretación del reporte entregado por el software, la ruta óptima para el cluster 5 tiene un total de 47,1 km con la salida de un camión desde la planta de Quilicura, visitando a todos los clientes y luego regresando al mismo punto de origen.

El orden lógico de visita del cluster 5 según ROADNET es:

45. Planta Quilicura CCU (CD)
46. Cliente37
47. Cliente45
48. Cliente38
49. Cliente39
50. Cliente42
51. Cliente40
52. Cliente41
53. Cliente44
54. Cliente43
55. Planta Quilicura CCU (CD)

CD – 37 – 45 – 38 – 39 – 42 – 40 – 41 – 44 – 43 – CD

Ruta a seguir de cluster 5:

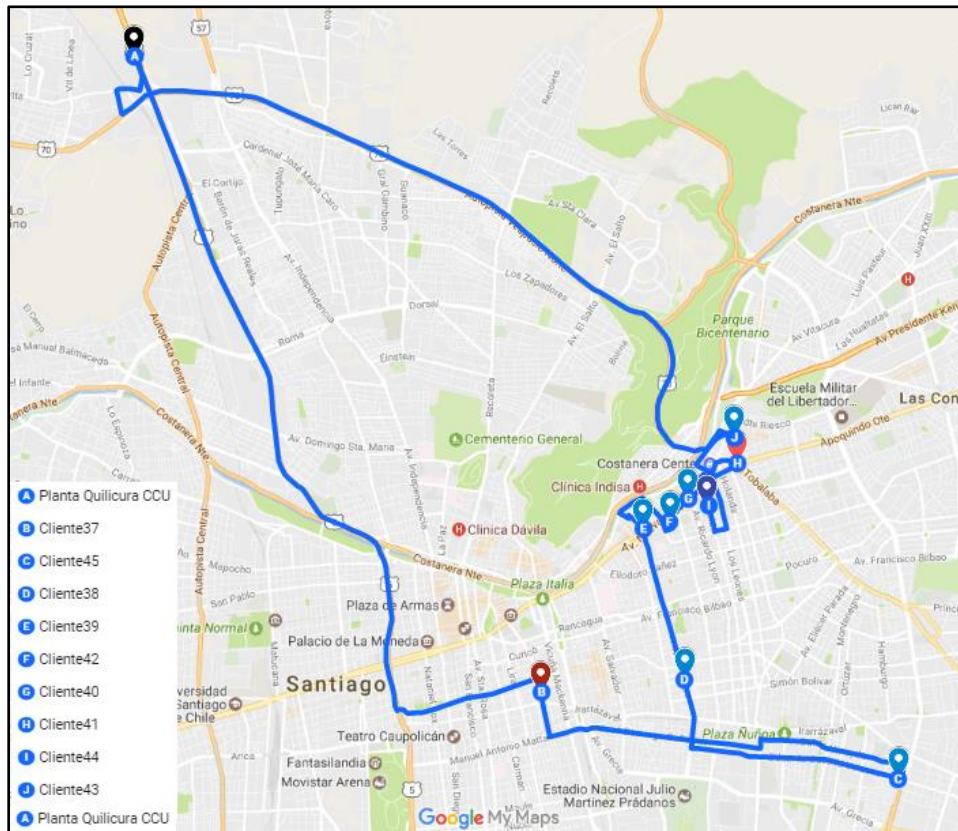


Figura 95: Cluster 5 (ROADNET) en Google Maps

Fuente: Elaboración propia (<https://www.google.com/maps/d/u/1/edit?authuser=1&mid=18BetP-dxLjAWPHkyXtkIW6LxcsE&ll=-33.57500767307924%2C-70.70490415&z=11>)

Ruta a seguir de cluster 6:

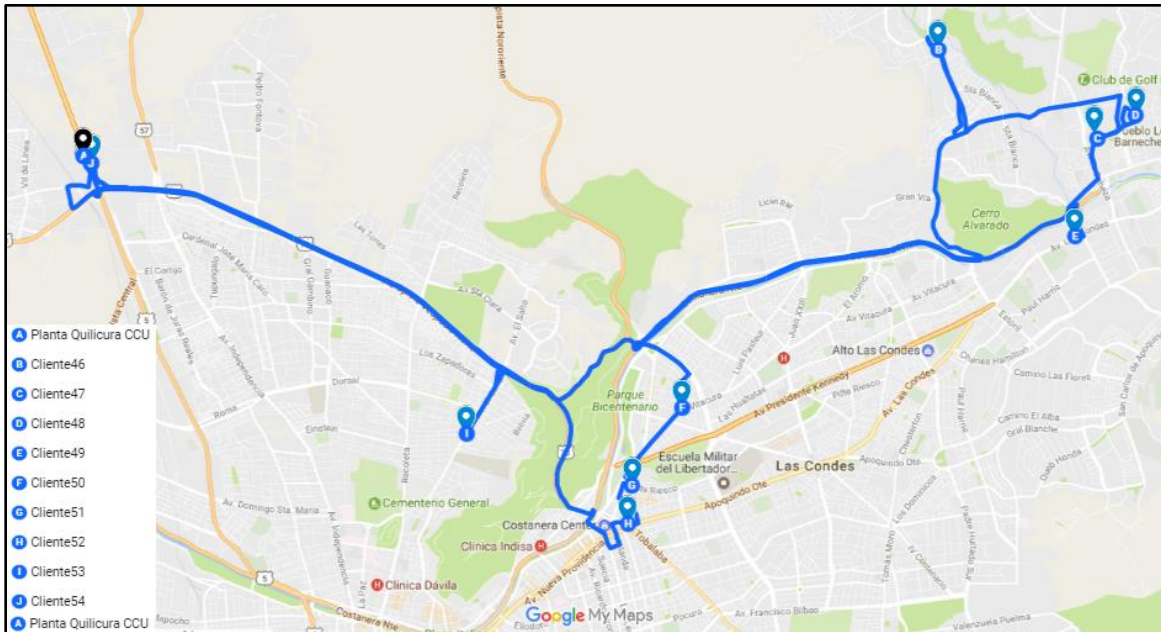


Figura 97: Cluster 6 (ROADNET) en Google Maps

Fuente: Elaboración propia (<https://www.google.com/maps/d/u/1/edit?authuser=1&mid=18BetP-dxLjAWPHkyXtkIW6LxcsE&ll=-33.57500767307924%2C-70.70490415&z=11>)

Una vez desarrollado cada cluster en el software ROADNET y obtenido las rutas óptimas para cada uno de ellos, la distancia total recorrida para este método es de 475 kilómetros, repartidos en 6 clúster, los cuales lo recorren 6 camiones desde la planta de CCU ubicada en la comuna de Quilicura, Región Metropolitana.

5.3. Análisis de Resultados

A continuación, se realiza el análisis de todos los resultados obtenidos a partir de las propuestas diseñadas y desarrolladas en los capítulos anteriores. Posteriormente se compararán las metodologías empleadas para la solución, finalizando con la elección de la propuesta que reduzca los niveles actuales de huella de carbono.

En la tabla 22 se observa una breve descripción de cada propuesta, que ayuda identificar en que se basa cada modelo:

Tabla 22: Identificación de propuestas

Propuesta	Descripción
Propuesta 1	Método del ahorro Clarke & Wright - Cercanía de puntos
Propuesta 2	Método de la gran ruta
Propuesta 3	Modelo matemático - Cercanía de puntos - LINDO
Propuesta 4	Software de ruteo - ROADNET

Fuente: Elaboración propia

La tabla 23 muestra el resumen de la cantidad de kilómetros recorridos por los camiones en cada cluster y el impacto en la emisión de contaminantes que tiene cada propuesta:

Tabla 23: Resumen de Propuestas y Emisiones

Propuesta	Empresa Tpte. A		Empresa Tpte. B		Empresa Tpte. H		Distancia Total (Km)	Emisiones Proyecto (Kg CO ₂)
	Cluster 1 (Km)	Cluster 2 (Km)	Cluster 3 (Km)	Cluster 4 (Km)	Cluster 5 (Km)	Cluster 6 (Km)		
Propuesta 1	138,9	99,3	72,5	53,25	50,35	64,7	478,95	104,57
Propuesta 2	39,8	70,15	53,0	104,8	147,65	93,1	508,50	111,02
Propuesta 3	138,9	94,4	71,1	53,0	46,3	64,7	468,40	102,27
Propuesta 4	138,9	94,4	76,9	53,0	47,1	64,7	475,00	103,71

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, la tabla 24 presenta la evaluación de las 4 propuestas por empresa de transporte, donde la que más disminuye la cantidad de contaminantes es la propuesta 3, produciendo una disminución del material contaminante de un 62% en una vuelta o visita a cada cliente.

Es importante señalar que se realizó la conversión de los kilómetros recorridos (tabla 24) para saber la emisión de CO₂ producida, de acuerdo al supuesto que cada camión produce 2,62 kg. de CO₂ por litro de combustible. Además, entendiendo que cada empresa de transporte atiende a 2 clusters por propuesta. Por ejemplo en la propuesta 1, la empresa A atiende el cluster 1 y 2, recorriendo 238,2 kms entre ambos y produciendo 416 kg. de CO₂ por una visita a los clientes del cluster.

Tabla 24: Cuadro comparativo de emisiones por empresa de transporte

Empresa tpte.	Emisiones por vuelta (Kg CO ₂)	Propuesta 1 (Kg CO ₂)	Propuesta 2 (Kg CO ₂)	Propuesta 3 (Kg CO ₂)	Propuesta 4 (Kg CO ₂)
A	879	416	192	407	407
B	757	220	276	217	227
H	516	201	421	194	195
Total	2.152	837	888	818	830
Variaciones	-	-61.1%	-58.7%	-62.0%	-61.4%

Fuente: Elaboración propia

Cabe considerar que la comparación de las emisiones generales de huella de carbono se realiza con respecto a 16 meses de evaluación (enero 2015 a abril 2016) y además con con todos los factores y fuentes de emisión dentro de la empresa, a pesar que todas las áreas, excepto Distribución, se mantienen con las emisiones, ya que no son objeto de esta memoria. Los resultados se pueden ver en la tabla 25:

Tabla 25: Cuadro comparativo de emisiones totales (Situación actual y Propuestas)

Área / Motivo	Emisiones actuales (ton. CO ₂)	PROPUESTA 1 (ton. CO ₂)	PROPUESTA 2 (ton. CO ₂)	PROPUESTA 3 (ton. CO ₂)	PROPUESTA 4 (ton. CO ₂)
DISTRIBUCIÓN	5.097	89,25	90,26	88,89	89,12
Transporte	4.098	73,39	74,21	73,09	73,27
Operaciones	423	7,57	7,66	7,54	7,56
Descarga	280	4,03	4,08	4,02	4,03
Carga	193	2,78	2,81	2,77	2,77
Otros	103	1,48	1,50	1,48	1,48
OPERACIONES	1.578	1.578	1.578	1.578	1.578
Residuos	1.425	1.425	1.425	1.425	1.425
Descarga	98	98	98	98	98
Carga	55	55	55	55	55
OTROS	853	853	853	853	853
Descarga	250	250	250	250	250
Carga	245	245	245	245	245
Operaciones	212	212	212	212	212
Limpieza	120	120	120	120	120
Rotura de embalaje	10	10	10	10	10
Rotura de bolsa	8	8	8	8	8
Daño envase plástico	8	8	8	8	8
(en blanco)	23	23	23	23	23
TOTAL	7551	2.543,25	2.544,26	2.542,89	2.543,12
VARIACIÓN	-	-66,319%	-66,306%	-66,324%	-66,321%

Fuente: Elaboración propia

Como se aprecia en la tabla 25, después de aplicar las propuestas para disminuir la huella de carbono que produce la empresa, existe una disminución considerable respecto a las emisiones actuales acumuladas dentro del período evaluado (enero 2015 – abril 2016), inclusive con las cuatro propuestas desarrolladas. La mayor disminución se produce con la propuesta 3, reduciendo un 66,324%, cumpliendo por cierto con el objetivo de esta memoria.

Si bien, al aplicar la propuesta 3 es con la que más se disminuye la huella de carbono emitida por la empresa, falta aún analizar el aspecto económico, el que justificaría más aún el aplicar una u otra propuesta, entendiendo que todas disminuyen y cumplen con creces el objetivo impuesto para esta memoria.

La gran disminución de huella de carbono al desarrollar las propuestas se puede explicar debido al bajo control que existe en la fiscalización que se realiza a las empresas de transporte en la validación de las rutas realizadas para la entrega de los productos, dado que se considera un pago por kilómetro recorrido, el que aumenta al recorrer mayores distancias de desplazamiento de los camiones.

6. EVALUACIÓN ECONÓMICA

El presente capítulo se refiere a la viabilidad económica de las diferentes propuestas que fueron detalladas en el capítulo 5, lo que permitirá seleccionar una propuesta por sobre otra, no siendo la distancia recorrida la única variable a considerar, sino también el impacto económico de cada propuesta.

En esta evaluación económica se presenta un detalle de los actuales costos asociados a la labor que desempeña el área de logística con los 54 clientes del estudio, pero además una comparación de cada propuesta respecto a la situación actual con la presentación de un Flujo de Caja que estará conformado de acuerdo a las variaciones que se produzcan con el costo de un ítem respecto a la situación actual, esto con el objetivo de analizar el costo involucrado en la implementación de cada una de las potenciales propuestas.

El Valor Actual Neto (VAN) será el indicador que permite evaluar el Flujo de cada propuesta para saber el beneficio proyectado de cada una de ellas. El VAN es calculado de acuerdo a la fórmula de Excel (=VNA), donde se relaciona la tasa de descuento del proyecto y los flujos obtenidos en cada año del horizonte.

6.1. Análisis actual de la empresa

Para las labores normales relacionadas a la distribución de cualquier cliente de la empresa, ésta cuenta con un software llamado ROADNET, el cual es utilizado para visualización e identificación de los clientes dentro del mapa. Este software lo utiliza en una forma básica y para el que debe pagar una licencia de uso que dura 2 años y que cuesta \$1.500.000, la que se va renovando cada período.

En relación al reciclaje y disminución de desperdicios y huella de carbono, es que la empresa vende material para reciclar, para lo que se debe pagar a un externo que retire este material y lo traslade un tercero para ser tratado en sus dependencias. Para este concepto, la empresa paga un promedio de \$45.000.000 anuales.

CCU para distribuir sus productos, contrata los servicios de terceros para realizar esta tarea. Sin embargo, es responsabilidad de la misma CCU informar a los terceros de la ubicación de los clientes y las mejores rutas para la distribución, cosa que no sucede en los clientes del estudio y que conlleva a que las emisiones de CO₂ y por consiguiente, de huella de carbono se eleven por sobre los índices normales y esperados de la empresa. Por lo anterior, a las empresas de distribución se les debe contratar, teniendo que pagar por ello y además, una tarifa por kilómetro recorrido en las rutas, la que también se eleva al no tener un control real de las rutas que siguen los camiones. CCU sólo cuenta con el registro del total de kilómetros que fueron recorridos por cada camión desde el momento que sale de la planta hasta cuando llega a ella. Las tarifas de contrato y de kilómetro recorrido de cada empresa de transporte se especifican en la tabla 260:

Tabla 26: Costo de contratación y kilómetros recorridos por empresa – Situación actual

Empresa de Transporte	Contratación	Costo por km recorrido	Kms recorridos por visita	Kms recorridos al año	Costo por kms recorridos
Empresa A	\$ 2.300.000	\$ 652	641,0	61.540,2	\$ 40.124.229
Empresa B	\$ 1.700.000	\$ 683	643,6	61.789,6	\$ 42.202.273
Empresa H	\$ 1.500.000	\$ 715	644,1	61.832,1	\$ 44.209.924

Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, existen indicadores externos a la empresa que son considerados en este estudio, los que son:

- a) Tasa de descuento anual: Considerada para el cálculo del VAN y es anual para efectos del horizonte proyectado en este análisis. La tasa se calcula en base a una tasa de descuento mensual que se multiplica por 12 (meses), ecuación que corresponde a:

$$T_{dscto\ mensual} = T_{BCP-5} + [(T_{riesgo\ mercado} - IPC_{var.\ mensuales}) - T_{BCP-5}] * \beta_{mercado}$$

Donde,

T_{BCP-5} : Tasa de interés mercado secundario de los bonos licitados (4,13%) (Banco Central, 2016)

$T_{riesgo\ mercado}$: Tasa de riesgo en el mercado del proyecto (1,82%) (Cámara de Comercio, 2016)

$IPC_{var.\ mensuales}$: Promedio de las variaciones mensuales de IPC (0,6%) (Anexo 8)

$B_{mercado}$: Beta del mercado relacionado al área del proyecto o solución. Para este análisis corresponde al Beta de distribución (0,73) (Betas by Sector, 2016)

$$T_{dscto\ mensual} = 2,00\%$$

$$T_{dscto\ anual} = T_{dscto\ mensual} * 12$$

$$T_{dscto\ anual} = 24,05\%$$

- b) Índices de Precios al Consumidor (IPC): Considerado el promedio de los IPC históricos anuales desde 2011 hasta 2016. Los valores anuales se detallan en la tabla 27, siendo 3,5% el promedio de ellos que se aplica como variación a todos los costos involucrados en el flujo de caja.

Tabla 27: Índices de Precios al Consumidor (anuales)

Año	IPC
2016	2,9%
2015	4,4%
2014	4,6%
2013	3,0%
2012	1,5%
2011	4,4%

Fuente: Elaboración propia

- c) Impuesto a la Renta: Considerado para el cálculo de acuerdo a las utilizadas positivas o negativas generadas durante el período, las que corresponden según a la tabla 28:

Tabla 28: Impuesto a la Renta del horizonte considerado

Impuesto a la Renta	Año
24,0%	2016
25,0%	2017
25,5%	2018
27,0%	2019
27,0%	2020

Fuente: Elaboración propia

En resumen, en la tabla 29 se puede apreciar el detalle de los costos involucrados a las tareas realizadas actualmente con los 54 clientes de esta memoria por el área de logística de CCU.

Tabla 29: Costos actuales área de logística CCU

Ítems	Costos
Gastos de reciclaje	\$ 45.000.000
Gasto fijo por mitigaciones	\$ 144.000.000
Gasto variable mitigaciones	\$ 216.000.000
Contrato de distribución	\$ 5.500.000
Pago por kilómetro	\$ 126.536.425
Software ROADNET	\$ 1.500.000

Fuente: Elaboración propia

Con el detalle de los costos actuales asociados a la situación actual se puede comparar y analizar las variaciones positivas y negativas que se producen con la implementación de cada propuesta de esta memoria, teniendo la posibilidad de saber si una propuesta es más o menos viable, considerando el VAN en cada una de ellas.

6.2. Propuesta 1: Heurística Clarke & Wright

Recordar que esta propuesta se basa en una heurística en base a los ahorros que se generan al visitar a dos clientes desde un punto inicial.

Para el desarrollo y ejecución de esta propuesta no es necesario el software ROADNET, mas bien se utiliza Google Maps, herramienta gratuita con la cual se pueden ubicar los clientes para determinar los ahorros y posteriormente, graficar la rutas obtenidas para cada cluster con el método de Clarke & Wright.

El gasto de reciclaje se mantiene tal cual con los \$45.000.000 anuales. Así como también se mantiene el costo de contratación a una empresa de distribución, sin embargo, varía el pago por kilómetro recorrido, ya que este número es el obtenido después de formar la ruta. El pago de acuerdo a empresas de distribución es el que sigue en la tabla 30:

Tabla 30: Costo de contratación y kilómetros recorridos por empresa - Propuesta 1

Empresa de Transporte	Contratación	Costo por km recorrido	Kms recorridos por visita	Kms recorridos al año	Costo por kms recorridos
Empresa A	\$ 2.300.000	\$ 652	238,2	22.867,2	\$ 14.909.414
Empresa B	\$ 1.700.000	\$ 683	125,8	12.076,8	\$ 8.248.454
Empresa H	\$ 1.500.000	\$ 715	115,1	11.049,6	\$ 7.900.464

Fuente: Elaboración propia

Los indicadores externos mencionados y definidos para la situación actual se mantienen en el mismo número. Esto para el caso del IPC, tasa de descuento e impuesto a la renta. De la misma forma se considera el mismo horizonte de 5 años.

De acuerdo a la información indicada anteriormente, el Flujo de Caja para la implementación y mantención de la propuesta 1 es:

Tabla 31: Flujo de Caja - Propuesta 1

Años	0	1	2	3	4	5
Gastos de reciclaje		0	0	0	0	0
Gasto fijo por mitigaciones		0	0	0	0	0
Gasto variable mitigaciones		212.217.775	219.574.658	227.186.580	235.062.381	243.211.210
Contrato de distribución		0	0	0	0	0
Pago por kilómetro		95.478.092	98.788.000	102.212.650	105.756.022	109.422.231
Utilidad antes Impto.		307.695.868	318.362.658	329.399.230	340.818.403	352.633.441
Impto		-73.847.008	-79.590.664	-83.996.804	-92.020.969	-95.211.029
Utilidad después Impto.		233.848.859	238.771.993	245.402.426	248.797.434	257.422.412
Google Maps	0					
Flujo de Caja	0	233.848.859	238.771.993	245.402.426	248.797.434	257.422.412

Fuente: Elaboración propia

En un horizonte de 5 años, el VAN es \$664.940.426, lo que indica el beneficio adquirido si se implementa el proyecto con esta propuesta.

6.3. Propuesta 2: Route First – Cluster Second (Gran Ruta)

Recordar que esta propuesta se basa al contrario del método Clarke & Wright, en rutear primero todos los puntos y luego formar los clúster.

Para el desarrollo y ejecución de esta propuesta no es necesario el software ROADNET, mas bien se utiliza Google Maps, herramienta gratis con la cual se pueden ubicar los clientes para determinar los ahorros y posteriormente, graficar las rutas obtenidas para cada cluster con el método de la Gran Ruta

El gasto de reciclaje se mantiene tal cual con los \$45.000.000 anuales. Así como también se mantiene el costo de contratación a una empresa de distribución, sin embargo, varía el pago por kilómetro recorrido, ya que este número es el obtenido después de formar la ruta. El pago de acuerdo a empresas de distribución es el que sigue en la tabla 32:

Tabla 32: Costo de contratación y kilómetros recorridos por empresa - Propuesta 2

Empresa de Transporte	Contratación	Costo por km recorrido	Kms recorridos por visita	Kms recorridos al año	Costo por kms recorridos
Empresa A	\$ 2.300.000	\$ 652	240,8	23.116,8	\$ 15.072.154
Empresa B	\$ 1.700.000	\$ 683	157,8	15.148,8	\$ 10.346.630
Empresa H	\$ 1.500.000	\$ 715	110,0	10.560,0	\$ 7.550.400

Fuente: Elaboración propia

Los indicadores externos mencionados y definidos para la situación actual se mantienen en el mismo número. Esto para el caso del IPC, tasa de descuento e impuesto a la renta. De la misma forma se considera el mismo horizonte de 5 años.

De acuerdo a la información indicada anteriormente, el Flujo de Caja para la implementación y mantención de la propuesta 2 es:

Tabla 33: Flujo de Caja - Propuesta 2

Años	0	1	2	3	4	5
Gastos de reciclaje		0	0	0	0	0
Gasto fijo por mitigaciones		0	0	0	0	0
Gasto variable mitigaciones		212.174.974	219.530.373	227.140.759	235.014.972	243.162.158
Contrato de distribución		0	0	0	0	0
Pago por kilómetro		93.567.241	96.810.906	100.167.017	103.639.474	107.232.309
Utilidad antes Impto.		305.742.215	316.341.278	327.307.776	338.654.445	350.394.466
Impto		-73.378.132	-79.085.320	-83.463.483	-91.436.700	-94.606.506
Utilidad después Impto.		232.364.083	237.255.959	243.844.293	247.217.745	255.787.960
Google Maps	0					
Flujo de Caja	0	232.364.083	237.255.959	243.844.293	247.217.745	255.787.960

Fuente: Elaboración propia

En un horizonte de 5 años, el VAN es \$660.718.521, lo que indica el beneficio adquirido si se implementa el proyecto con esta propuesta.

6.4. Propuesta 3: Modelo matemático Agente viajero por cercanía de puntos

LINDO es la herramienta que se utiliza para la ejecución de la tercera propuesta.

Para el desarrollo y ejecución de esta propuesta no es necesario el software ROADNET como en la situación actual, pero se utiliza la herramienta LINDO, licencia que se debe pagar y corresponde a \$9.990 anual, y además una capacitación para conocer la herramienta y lograr usarla sin problemas, suma que asciende a \$100.000 para toda el área, y que debe realizarse cada 2 años para actualizar el conocimiento por posibles actualizaciones.

El gasto de reciclaje se mantiene tal cual con los \$45.000.000 anuales. Así como también se mantiene el costo de contratación a una empresa de distribución, sin embargo, varía el pago por kilómetro recorrido, ya que este número es el obtenido después de formar la ruta óptima. El pago de acuerdo a empresas de distribución es el que sigue en la tabla 34:

Tabla 34: Costo de contratación y kilómetros recorridos por empresa - Propuesta 3

Empresa de Transporte	Contratación	Costo por km recorrido	Kms recorridos por visita	Kms recorridos al año	Costo por kms recorridos
Empresa A	\$ 2.300.000	\$ 652	233,3	22.396,8	\$ 14.602.714
Empresa B	\$ 1.700.000	\$ 683	124,1	11.913,6	\$ 8.136.989
Empresa H	\$ 1.500.000	\$ 715	111,0	10.656,0	\$ 7.619.040

Fuente: Elaboración propia

Los indicadores externos mencionados y definidos para la situación actual se mantienen en el mismo número. Esto para el caso del IPC, tasa de descuento e impuesto a la renta. De la misma forma se considera el mismo horizonte de 5 años.

De acuerdo a la información indicada anteriormente, el Flujo de Caja para la implementación y mantención de la propuesta 3 es:

Tabla 35: Flujo de Caja - Propuesta 3

Años	0	1	2	3	4	5
Gastos de reciclaje		0	0	0	0	0
Gasto fijo por mitigaciones		0	0	0	0	0
Gasto variable mitigaciones		212.233.031	219.590.443	227.202.912	235.079.279	243.228.694
Contrato de distribución		0	0	0	0	0
Pago por kilómetro		96.177.683	99.511.843	102.961.586	106.530.921	110.223.993
Utilidad antes Impto.		308.410.714	319.102.286	330.164.498	341.610.201	353.452.688
Impto		-74.018.571	-79.775.571	-84.191.947	-92.234.754	-95.432.226
Utilidad después Impto.		234.392.143	239.326.714	245.972.551	249.375.446	258.020.462
Software LINDO	1.490.010	-10.336	1.541.305	-11.065	1.594.354	-11.846
Capacitación LINDO	-100.000	0	-103.467	0	-107.054	0
Flujo de caja	1.390.010	234.381.806	240.764.553	245.961.486	250.862.747	258.008.616

Fuente: Elaboración propia

En un horizonte de 5 años, el VAN es \$669.419.552, lo que indica el beneficio adquirido si se implementa el proyecto con esta propuesta.

6.5. Propuesta 4: Software de Ruteo – ROADNET

ROADNET es el software a utilizar en esta propuesta. La diferencia con la situación actual es que en el caso de la propuesta, se necesita adquirir una licencia avanzada respecto a la licencia actual con la que cuenta la empresa.

Para el desarrollo y ejecución de esta propuesta es necesario como se dijo anteriormente, el software ROADNET como en la situación actual, pero adquiriendo la licencia avanzada que posee mayor número de funcionalidades y que permiten obtener rutas, a diferencia de la versión básica que sólo permite visualizar contenido. Se debe considerar la adquisición de la licencia avanzada que tiene costo de \$3.500.000 con duración de 2 años, la que se debe renovar cada período. Además, considerar una capacitación para el uso de estas funcionalidades avanzadas, la que también debiese realizarse al momento de adquirir una nueva licencia, y que cuesta \$150.000 para todo el equipo de logística.

El gasto de reciclaje se mantiene tal cual con los \$45.000.000 anuales. Así como también se mantiene el costo de contratación a una empresa de distribución, sin embargo, varía el pago por kilómetro recorrido, ya que este número es el obtenido después de formar la ruta. El pago de acuerdo a empresas de distribución es el que sigue en la tabla 36:

Tabla 36: Costo de contratación y kilómetros recorridos por empresa - Propuesta 4

Empresa de Transporte	Contratación	Costo por km recorrido	Kms recorridos por visita	Kms recorridos al año	Costo por kms recorridos
Empresa A	\$ 2.300.000	\$ 652	233,3	22.396,8	\$ 14.602.714
Empresa B	\$ 1.700.000	\$ 683	129,9	12.470,4	\$ 8.517.283
Empresa H	\$ 1.500.000	\$ 715	111,8	10.732,8	\$ 7.673.952

Fuente: Elaboración propia

Los indicadores externos mencionados y definidos para la situación actual se mantienen en el mismo número. Esto para el caso del IPC, tasa de descuento e impuesto a la renta. De la misma forma se considera el mismo horizonte de 5 años.

De acuerdo a la información indicada anteriormente, el Flujo de Caja para la implementación y mantención de la propuesta 3 es:

Tabla 37: Flujo de Caja - Propuesta 4

Años	0	1	2	3	4	5
Gastos de reciclaje		0	0	0	0	0
Gasto fijo por mitigaciones		0	0	0	0	0
Gasto variable mitigaciones		212.223.284	219.580.358	227.192.477	235.068.483	243.217.524
Contrato de distribución		0	0	0	0	0
Pago por kilómetro		95.742.476	99.061.549	102.495.683	106.048.866	109.725.227
Utilidad antes Impto.		307.965.761	318.641.907	329.688.160	341.117.349	352.942.751
Impto		-73.911.783	-79.660.477	-84.070.481	-92.101.684	-95.294.543
Utilidad después Impto.		234.053.978	238.981.430	245.617.679	249.015.665	257.648.208
Software ROADNET	-2.000.000	0	-2.069.333	0	-2.141.070	0
Capacitación ROADNET	-150.000	0	-155.200	0	-160.580	0
Flujo de caja	-2.150.000	234.053.978	236.756.897	245.617.679	246.714.015	257.648.208

Fuente: Elaboración propia

En un horizonte de 5 años, el VAN es \$660.956.063, lo que indica el beneficio adquirido si se implementa el proyecto con esta propuesta.

6.6. Análisis de evaluación económica

De acuerdo a los Flujos de Caja obtenidos con la implementación de cada propuesta, comparando las variaciones de los costos asociados, la tabla 38 detalla los VAN resultantes de cada una:

Tabla 38: Resumen económico de cada propuesta

	VAN	Hrs de trabajo diarias promedio
Propuesta 1	664.940.426	5,5
Propuesta 2	660.718.521	5,0
Propuesta 3	669.419.552	6,0
Propuesta 4	660.956.063	4,5

Fuente: Elaboración propia

Según la tabla 38, la implementación de la propuesta 3 (herramienta LINDO) es la más viable para desarrollar, ya que es la que produce un mayor beneficio económico dentro del horizonte evaluado, de acuerdo a las variaciones de los costos que esta propuesta considera.

La propuesta 3 es la que emplea la mayor cantidad de horas destinadas a implementación, con un total de 6 horas de trabajo diarias, las que se utilizarían para desarrollar la metodología que utiliza la herramienta LINDO para obtener las rutas de cada clúser. y además, otras tareas relacionadas a la distribución de productos para los clientes de este estudio.

7. ANÁLISIS DE RESULTADOS E IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA

En el presente capítulo se justificará la elección final de la propuesta más adecuada de acuerdo al cumplimiento del objetivo general de esta memoria, pero además teniendo en cuenta el aspecto económico que permita una mayor viabilidad de la implementación y ejecución del proyecto.

Para el análisis de resultados en cuanto a las emisiones, se consideraron los datos obtenidos en el desarrollo del capítulo 5, en el que se compararon los niveles actuales de huella de carbono emitida por CCU durante el período de enero 2015 a abril 2016 y las cuatro potenciales propuestas desarrolladas. Además, la evaluación económica realizada en el capítulo 6, donde se contrastan los costos asociados de cada propuesta respecto al momento actual.

Posteriormente, se procederá a explicar el proceso propuesto de implementación involucrado junto con las actividades cotidianas que se deberán realizar.

7.1. Análisis de resultados

Luego de haber realizado el desarrollo de las cuatro propuestas a lo largo del capítulo 5 para comparar la distancia total recorrida y así visitar a todos los clientes, se obtiene que con todas las metodologías disminuye la distancia total y por consiguiente, la emisión de huella de carbono, permitiendo cumplir el objetivo general de esta memoria, sin embargo, de acuerdo al análisis de emisiones de la situación actual y de cada propuesta detallado en la tabla 35, la propuesta 3 es la que produce mayor disminución de huella de carbono con un 66,324%. A pesar de esto, las cuatro propuestas planteadas disminuyen más del 65% respecto de las emisiones actuales, lo que centrarse sólo en este aspecto para seleccionar una, pudiera ocasionar una inviabilidad económica al momento de implementarla.

Al realizar el análisis económico y comparar el VAN de cada propuesta, se aprecia que la propuesta 3 es la que representa un mayor beneficio económico a lo largo del horizonte evaluado. Sin embargo, esta propuesta es la que representa mayor cantidad de tiempo empleado para su implementación, pudiendo provocar retraso en otras tareas dentro del área. Es por lo anterior, que a modo de recomendación y en conjunto con la empresa se decide implementar la alternativa que utiliza el software ROADNET que actualmente se utiliza en CCU, pero con la propuesta enfocada en la implementación del software en su versión completa que permite rutear los clientes y realizar análisis con las rutas óptimas para distribuir los productos.

Respecto al período evaluado (ene. 2015- abr.2016), se obtiene un cumplimiento que sobrepasa en más de un 20% el objetivo esperado inicialmente, lo que se traduce en una disminución de 7.551 a 2.543 ton. de CO₂, equivalente a unos 244 millones de pesos al año relacionado a mitigaciones de CO₂ producido en la ubicación estudiada.

7.2. Implementación propuesta 4: Software de ruteo ROADNET

Para implementar el software Roadnet en su versión completa en el área de logística, se le asignará la responsabilidad a la jefatura de distribuir las 5 horas diarias de dedicación propuestas en esta memoria al analista que tenga las mayores capacidades técnicas para la correcta realización de las labores.

Como consideración, la puesta en marcha de esta propuesta será en el mes de marzo, puesto que en los meses de verano (enero y febrero) el personal hace efectivo su período de vacaciones.

A continuación se detalla el paso a paso sugerido para la implementación y trabajo diario relacionado a esta propuesta.

- Adquirir la licencia actualizada para la versión completa del software Roadnet. (marzo 2017)
- Instalación en los 4 computadores del equipo de logística del centro de distribución de Quilicura, pertenecientes a los 3 analistas y la jefatura del área. (abril 2017)
- Posteriormente, se debe capacitar a toda el área de logística, independiente de la persona que tenga asignada la tarea de planificación y control de las rutas. La razón de la capacitación total es porque en caso de ausencias de la persona, cualquier miembro pueda asumir y relevar las funciones. Capacitación para el mes de abril, durante horario laboral y con sistema de turno para no interrumpir las labores cotidianas del área.
- Durant las primeras dos semanas de mayo, se pondrá a prueba el software, en forma de marcha blanca. En esta etapa se validará la información de los clientes para ser cargado al sistema.
- La puesta en marcha oficial será la semana del 15 de mayo con objeto de simular las rutas que debiesen seguir los camiones.

Una vez que la propuesta esté en marcha, se deben formular diversos informes a lo largo de la jornada laboral, los cuales deberán ser compartidos a la jefatura del departamento de calidad y medio ambiente.

- Los días miércoles antes de las 12:00 horas, se debe enviar el consolidado de la semana anterior sobre los kilómetros recorridos por cada empresa (figura 98) y por cada camión (figura 99).

CCU											
INFORME SEMANAL DISTANCIAS RECORRIDAS POR EMPRESAS											
MAYO											
Transportista	Semana 1				Semana 2				Semana 3		
	Distacia estimada a recorrer Martes (Km.)	Distacia real a recorrer Martes (Km.)	Distacia estimada a recorrer Sábado (Km.)	Distacia real a recorrer Sábado (Km.)	Distacia estimada a recorrer Martes (Km.)	Distacia real a recorrer Martes (Km.)	Distacia estimada a recorrer Sábado (Km.)	Distacia real a recorrer Sábado (Km.)	Distacia estimada a recorrer Martes (Km.)	Distacia real a recorrer Martes (Km.)	Distacia estimada a recorrer Sábado (Km.)
Empresa A											
Empresa B											
Empresa C											
Empresa D											
Empresa E											
Empresa F											
Empresa G											
Empresa H											
Empresa I											
Empresa J											
Empresa K											
Empresa L											
Empresa M											
Observaciones :											

Figura 98: Consolidado semanal de distancias recorridas por empresa

Fuente: Elaboración propia

INFORME SEMANAL DISTANCIAS RECORRIDAS POR CAMIÓN											
MAYO											
Transportista	Semana 1				Semana 2				Semana 3		
	Distacia estimada a recorrer Martes (Km.)	Distacia real a recorrer Martes (Km.)	Distacia estimada a recorrer Sábado (Km.)	Distacia real a recorrer Sábado (Km.)	Distacia estimada a recorrer Martes (Km.)	Distacia real a recorrer Martes (Km.)	Distacia estimada a recorrer Sábado (Km.)	Distacia real a recorrer Sábado (Km.)	Distacia estimada a recorrer Martes (Km.)	Distacia real a recorrer Martes (Km.)	Distacia estimada a recorrer Sábado (Km.)
Camión 1											
Camión 2											
Camión 3											
Camión 4											
Camión 5											
Camión 6											

Observaciones:

Figura 99: Consolidado semanal de distancias recorridas por camión

Fuente: Elaboración propia

- La jefatura de medioambiente introducirá semanalmente la información que es enviada desde el departamento de logística (haciendo la conversión respectiva de los kilómetros recorridos a consumo de combustible) al sistema del cálculo de la huella de carbono (figura 100), en donde finalmente se obtiene el indicador de emisiones de manera mensual al consolidar la información de 4 semanas.

Resumen de emisiones de Gases de Efecto Invernadero			Unidad Estadística de Servicios		
Transportes CCU			Transportes CCU		
Resumen de emisiones por fuente			Resumen de emisiones por alcances		
Combustión de combustibles fósiles			Emisiones directas (Alcance 1)	1,627.2	t CO ₂ e
Grupos electrógenos y calderas	0.0	t CO ₂ e	Emisiones indirectas (Alcance 2)	3,000.9	t CO ₂ e
Vehículos	34,483.7	t CO ₂ e	Otras emisiones indirectas (Alcance 3)	32,512.6	t CO ₂ e
Refrigeración y climatización			Emisiones totales	37,140.65	t CO ₂ e
Refrigeración y climatización					
Transporte de empleados					
		t CO ₂ e			
	Transporte de personal	29.8	t CO ₂ e		
	Viajes de negocios	75.9	t CO ₂ e		
Transporte de Materiales de Fabricación					
		t CO ₂ e			
	Transporte terrestre	0.0	t CO ₂ e		
	Transporte marítimo	0.0	t CO ₂ e		
Consumo eléctrico					
		3,000.9	t CO ₂ e		
Producción de materiales de fabricación					
		0.0	t CO ₂ e		
Tratamiento de residuos					
		-449.9	t CO ₂ e		
Emisiones totales				37,140.65	t CO ₂ e

Figura 100: Vista de sistema interno de niveles de huella de carbono

Fuente: Elaboración propia

- Desde el 15 de junio se debe realizar una reunión semanal los días jueves, donde debe estar presente el jefe de logística, el o los analistas encargados del control y seguimiento de la propuesta en el mismo departamento, el jefe de medioambiente y un representante de cada empresa transportista participe del proyecto (Empresas A, B y H).
- Luego de 4 reuniones semanales, se pueden realizar reuniones cada dos semanas y luego, al tercer mes, sólo una para analizar y resolver contingencias que se produzcan. La finalidad es tener feedback sobre principales problemáticas que se estén presentando y las cuales puedan ser resueltas inmediatamente.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1. Conclusiones

Como resultado de la investigación y desarrollo de la memoria de título presentada para disminuir las emisiones de huella de carbono emitidas por la empresa Compañía Cervecerías Unidas S.A., es posible concluir que:

Primero, la gran mayoría de esas emisiones son generadas por el área de Distribución que se encarga de la logística de sus productos hacia los clientes, las que corresponden al 67,5% del total de emisiones generadas por la empresa (7.551 toneladas de CO₂ consideradas en el período de enero 2015 y abril 2016) y que triplican al área que sigue con un 20,9% (Operaciones).

La implementación de la propuesta seleccionada, la propuesta 4, basada en la versión full del software ROADNET logra disminuir emisiones totales de huella de carbono por parte de la empresa en un 66,324% respecto a la situación actual que, si bien no es la mejor de las propuestas seleccionadas en cuanto a este ítem, lo es evaluando también el factor económico para hacerla finalmente la más viable, de acuerdo a los costos asociados para su implementación y mantención a través del tiempo.

La relación entre las emisiones que son generadas por el área de Distribución aumentan de la misma forma que aumenta la cantidad de kilómetros recorridos por los camiones que entregan los productos a cada cliente, los que actualmente siguen la ruta que estiman conveniente y que tiene como efecto colateral, gastar gran cantidad de dinero por las emisiones generadas, pero también por el total de kilómetros que se recorren.

Por otro lado, la empresa desembolsó aproximadamente \$480.000.000 durante el período evaluado (ene.2015 – abr. 2016) en esta memoria para tareas de mitigación de emisiones, de los cuales el 40% es un gasto fijo, y el restante 60% (\$216.000.000) corresponde a un variable de acuerdo al kilometraje recorrido en las rutas, el que con la implementación de la propuesta disminuye a \$3.776.716 con los 475 kms., permitiendo visitar a los 54 clientes.

Además, en conjunto de todas las áreas de la planta Cervecera (Quilicura) que emiten contaminantes y con la implementación full de ROADNET, la reducción total del gasto involucrado en acciones mitigadoras de huella de carbono es de un 67,82%, permitiendo a la empresa un mayor beneficio económico en alrededor de 244 millones de pesos al año.

Por otra parte, la metodología propuesta para la implementación y luego para el desarrollo de las tareas a lo largo del tiempo, permite la distribución eficiente del tiempo para que el equipo de logística pueda realizar las labores relacionadas a los clientes del estudio, pero, sobre todo, mantener un control diario de las emisiones que permitan tomar decisiones rápidas en caso de contingencias.

Finalmente, luego del análisis general y de haber focalizado el estudio en el origen de las emisiones de CO₂, la generación e implementación de soluciones que reduzcan estas emisiones contaminantes, lo que permita contribuir con una mejor vida para las personas y en beneficio para el medio ambiente.

8.2. Recomendaciones

Para futuros y posibles estudios que permitan una mayor disminución de emisiones de huella de carbono, es recomendable considerar:

- Abarcar mayor cantidad de empresas de transportistas. Esto permitiría optimizar y reducir las rutas que utilizan los transportistas, pero también la reducción de gastos asociados.
- Abarcar todas las áreas de la empresa que emiten huella de carbono.
- Al realizar un estudio y análisis con todas las empresas de transportes involucradas, se podría reducir el número de empresas y así crear alianzas para tarifas más económicas al tener mayores rutas.
- Considerar el sentido de todas las calles para formar las rutas de forma más detallada y específica.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia Acción. (2016). *Sondeo de Cambio Climático*. Santiago.
- Alava Castro, D. (2015). *Cálculo de la huella de carbono bajo la metodología de GreenHouse Gas Protocol*. Colombia: Universidad Militar Nueva Granada.
- Banco Central. (Noviembre de 2016). Obtenido de Banco Central:
<http://si3.bcentral.cl/Boletin/secure/boletin.aspx?idCanasta=1MRMW2951>
- Banco Mundial. (2016). *Banco Mundial*. Obtenido de Banco Mundial:
<http://datos.bancomundial.org/indicador/EN.ATM.CO2E.PC?end=2013&start=1960&view=chart>
- BancoCentral. (Noviembre de 2016). *Banco Central*. Obtenido de Banco Central:
<http://si3.bcentral.cl/Boletin/secure/boletin.aspx?idCanasta=1MRMW2951>
- BancoCentral. (s.f.). *Banco Central*. Obtenido de Banco Central:
<http://si3.bcentral.cl/Boletin/secure/boletin.aspx?idCanasta=1MRMW2951>
- Betas by Sector. (2016). Obtenido de Betas by Sector:
http://people.stern.nyu.edu/adamodar/New_Home_Page/datafile/Betas.html
- Bird, L., & Molinelli, J. (2001). *Alianza geográfica*. Obtenido de Alianza geográfica:
<http://alianzageografica.org/leccioncalentglobal.pdf>
- Braskem Idesa. (2011). *Gases de Efecto Invernadero*. México: Desconocida. Obtenido de Banco Mundial:
[https://ifcextapps.ifc.org/ifcext/spiwebsite1.nsf/0/B30D3092CEBC68FB85257959004DE5C6/\\$File/ESIA%20Vol.%203.%20Capitulo_6-Captiulo_11.pdf](https://ifcextapps.ifc.org/ifcext/spiwebsite1.nsf/0/B30D3092CEBC68FB85257959004DE5C6/$File/ESIA%20Vol.%203.%20Capitulo_6-Captiulo_11.pdf)
- Cadillo, J. (2011). *Estudio Comparativo de la aplicación de heurísticas al problema de ruteo de vehículos*. Lima: Pontifica Universidad Católica del Perú.
- Cámara de Comercio. (2016). Obtenido de Cámara de Comercio: <http://www.ccs.cl/>
- CCU. (2015). *Informe de decisiones de compra 2015*. Santiago.
- Central, B. (s.f.). *Banco Central*. Obtenido de Banco Central:
<http://si3.bcentral.cl/Boletin/secure/boletin.aspx?idCanasta=1MRMW2951>
- Centro de Prensa, O. (29 de junio de 2016). *Organización Mundial de la Salud*. Obtenido de Organización Mundial de la Salud:
<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs266/es/>
- Cordeau, J.-F., & et.al. (1999). *Cap. 6: Vehicle Routing*. C. Barnhart and G. Laporte.
- Devoto, R., & Ruiz, E. (2003). *Programación Lineal para administración*. Valparaíso: Ediciones Universitarias de Valparaíso.
- Domenech, J. L. (2010). *Estándares 2010 de huella de carbono MC3*.
- El Mercurio de Santiago. (08 de Agosto de 2016). *Emol*. Obtenido de Emol:
<http://www.emol.com/noticias/Tecnologia/2016/08/08/816249/Hoy-la-Tierra-ha-consumido-todos-los-recursos-del-ano.html>
- Elaboración propia. (s.f.).
- Elaboración propia información DCMA CCU. (s.f.).
- Energía.gob. (2016). *Ministerio de Energía*. Obtenido de Ministerio de Energía:
<http://huelladecarbono.minenergia.cl/definicion-de-alcance>
- Espíndola, C., & Valderrama, J. (2012). Huella del Carbono. Parte 2: La Visión de las Empresas, los Cuestionamientos y el Futuro. *Scielo*, 177-192.
- Gilber, L. (1974). The Vehicle Routing Problem: An overview. *European Journal of Operational Research*, 345-359.
- Ingenieria Industrial Online. (2014). *Ingeniería Industrial Online Web Site*. Obtenido de Ingenieria Industrial Online: <http://www.ingenieriaindustrialonline.com>
- Jiménez Herrero, L., De la Cruz Leiva, J. L., & Chao Janeiro, M. (2009). Manual del cálculo y reducción de la huella de carbono en el sector del comercio. *Manual del cálculo y reducción de la huella de carbono en el sector del comercio*. Alcalá,

- España.
- López, E., Salas, O., & Murillo, A. (2013). El problema del agente viajero: Un algoritmo determinístico usando búsquedas Tabú. *Scielo* , 130-145.
- Mongabay. (2016). *Global.mongabay*. Obtenido de Global.mongabay:
<http://global.mongabay.com/es/rainforests/carbono-lexico/Dioxido-de-carbono-equivalente.html>
- Nuño, T. (25 de abril de 2014). *Greenpeace*. Obtenido de Greenpeace:
<http://www.greenpeace.org/espana/es/Blog/cunto-va-a-subir-el-nivel-del-mar-por-el-camb/blog/49044/>
- Olivera, A. (2012). *Heurísticas para problemas de ruteo de vehículos*. Montevideo: Universidad de la República.
- OMS. (29 de junio de 2016). *Organización Mundial de la Salud*. (C. d. OMS, Editor) Obtenido de Organización Mundial de la Salud:
<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs266/es/>
- OMS. (s.f.). *Organización Mundial de la Salud*. Obtenido de Organización Mundial de la Salud: <http://www.who.int/topics/malaria/es/>
- Palou, N. (15 de 01 de 2008). *www.microsiervos.com*. Obtenido de www.microsiervos.com: <http://www.microsiervos.com/archivo/ecologia/que-es-emision-co2-kilometro-recorrido.html>
- Pandey, D., Agrawal, M., & Pandey, J. (2010). Carbon footprint: current methods of estimation. *Environmental Monitoring and Assessment*. *Springer Science+Business Media*, 135-160.
- Portal Expertos en Prevención de riesgos de Chile. (2015). *Sigweb*. Obtenido de Sigweb Web site: <http://www.sigweb.cl/biblioteca/HuellaCarbono.pdf>
- Red de Políticas para la Energía Renovable para el siglo 21. (2016). *REN 21*. Obtenido de REN 21 Web site: http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/06/GSR_2016_KeyFindings_SPANISH.pdf
- SGS. (2016). *SGS Chile Ltda*. Obtenido de SGS Web site:
http://www.greenstarnetwork.com/images/iso-14064-5-6_framework.jpg
- Stair, R., & Hanna, M. (2012). *Métodos Cuantitativos para los negocios*. Pearson Educación.
- Tu impacto. (2014). *Tu Impacto*. Obtenido de Tu Impacto:
<http://www.tuimpacto.org/origen-del-co2.php>
- Vicente, V. (30 de octubre de 2015). El calentamiento global afecta a la migración de las aves, que regresan antes de su invernada. electrónico. Madrid, España.
- Winston, W. L. (1994). *Introducción a la Investigación de Operaciones*. México: Editorial Iberoamericana.
- Yepes, V., & Medina, J. (2004). *Algoritmo del solterón aplicado a la optimización de rutas con flotas heterogéneas VRPHESTW*. Obtenido de UPV Web site:
<http://personales.upv.es/vyepesp/cit2004oba.pdf>

10. ANEXOS

10.1. Anexo 1: Lista de Figuras

Figura 1: Emisiones Cervecera CCU - Planta Quilicura.....	11
Figura 2: Evolución de Gastos por emisiones CO ₂ Quilicura - CCU S.A	12
Figura 3: Emisiones de Centros de Distribución CCU.....	13
Figura 4: Emisiones CO ₂ por alcance - Planta Quilicura.....	13
Figura 5: Accionistas de CCU	18
Figura 6: Porcentaje de Participación de Mercado CCU S.A.....	21
Figura 7: Cadena de Suministro CCU S.A.....	22
Figura 8: Organigrama de Negocios CCU S.A.....	23
Figura 9: Organigrama según Unidad de CCU S.A.....	24
Figura 10: Proceso Productivo Cerveza	26
Figura 11: Proceso Productivo Néctar y Bebidas.....	27
Figura 12: Proceso Productivo Pisco	27
Figura 13: Proceso Productivo Ron.....	28
Figura 14: Proceso Productivo Vinos y Espumantes.....	28
Figura 15: ISO 14064.....	32
Figura 16: GhG Protocol	32
Figura 17: Esquema MC3	33
Figura 18: 10 preguntas para el cálculo de la huella de carbono	34
Figura 19: Fuentes genéricas de emisión	35
Figura 20: Emisiones de CO ₂ durante el período - Planta Quilicura	43
Figura 21: Emisiones de CO ₂ con reciclaje durante el período Ene 2015- Abr 2016 - Planta Quilicura.....	44
Figura 22: Emisiones de CO ₂ durante el día Ene 2015- Abr 2016 - Planta Quilicura	44
Figura 23: Pareto Emisiones de CO ₂ e Ene 2015- Abr 2016 - Planta Quilicura.....	45
Figura 24: Pareto Gasto por Emisiones de CO ₂ e Ene 2015 - Abr 2016 - Planta Quilicura	46
Figura 25: Pareto Emisiones de CO ₂ por Categoría Operaciones - Planta Quilicura	47
Figura 26: Pareto Emisiones de CO ₂ por Categoría Distribución - Planta Quilicura	48
Figura 27: Gráfico Control Emisiones de CO ₂ 2015 - Planta Quilicura.....	49
Figura 28: Gráfico Control Emisiones de CO ₂ 2016 - Planta Quilicura.....	51
Figura 29: Casa de la Calidad.....	52
Figura 30: Diagrama de Ishikawa	53
Figura 31: Diagrama de Relaciones	53
Figura 32: Gráfico de Correlación - Cajas entregadas vs Emisiones totales.....	54
Figura 33: Mapa general de clientes y CD CCU	55
Figura 34: Mapa cluster 1.....	56
Figura 35: Mapa cluster 2.....	56
Figura 36: Mapa cluster 3.....	57
Figura 37: Mapa cluster 4.....	57
Figura 38: Mapa cluster 5.....	58
Figura 39: Mapa cluster 6.....	58
Figura 40: Modelo inicial cluster 1 – C&W.....	61
Figura 41: Primera iteración cluster 1 – C&W.....	61

Figura 42: Segunda iteración cluster 1 – C&W.....	62
Figura 43: Tercera iteración cluster 1 – C&W.....	62
Figura 44: Cuarta iteración cluster 1 – C&W.....	63
Figura 45: Quinta iteración cluster 1 – C&W.....	63
Figura 46: Sexta iteración cluster 1 – C&W.....	64
Figura 47: Séptima iteración cluster 1 – C&W.....	64
Figura 48: Octava iteración cluster 1 – C&W.....	65
Figura 49: Ruta óptima de cluster 1 – C&W.....	66
Figura 50: Ruta óptima de cluster 2 – C&W.....	67
Figura 51: Ruta óptima de cluster 3 – C&W.....	68
Figura 52: Ruta óptima de cluster 4 – C&W.....	69
Figura 53: Ruta óptima de cluster 5 – C&W.....	70
Figura 54: Ruta óptima de cluster 6 – C&W.....	71
Figura 55: Mapa general de clientes y CD CCU.....	72
Figura 56: Formación cluster 1 de Gran Ruta.....	74
Figura 57: Formación cluster 2 de Gran Ruta.....	75
Figura 58: Formulación cluster 3 de Gran Ruta.....	76
Figura 59: Formulación cluster 4 de Gran Ruta.....	77
Figura 60: Formulación cluster 5 de Gran Ruta.....	78
Figura 61: Formulación cluster 6 de Gran Ruta.....	79
Figura 62: Formulación modelo matemático en LINDO - Cluster 1.....	81
Figura 63: Solución de cluster 1 en LINDO (parte 1).....	82
Figura 64: Solución de cluster 1 en LINDO (parte 2).....	82
Figura 65: Cluster 1 (LINDO) en Google Maps.....	83
Figura 66: Formulación modelo matemático en LINDO - Clúster 2.....	85
Figura 67: Solución de cluster 2 en LINDO (parte 1).....	85
Figura 68: Solución de cluster 2 en LINDO (parte 2).....	86
Figura 69: Cluster 2 (LINDO) en Google Maps.....	87
Figura 70: Formulación modelo matemático en LINDO - Cluster 3.....	88
Figura 71: Solución de cluster 3 en LINDO (parte 1).....	89
Figura 72: Solución de cluster 3 en LINDO (parte 2).....	89
Figura 73: Cluster 3 (LINDO) en Google Maps.....	90
Figura 74: Formulación modelo matemático en LINDO - Cluster 4.....	92
Figura 75: Solución de cluster 4 en LINDO (parte 1).....	92
Figura 76: Solución de cluster 4 en LINDO (parte 2).....	93
Figura 77: Cluster 4 (LINDO) en Google Maps.....	94
Figura 78: Formulación modelo matemático en LINDO - Cluster 5.....	95
Figura 79: Solución de cluster 5 en LINDO (parte 1).....	95
Figura 80: Solución de cluster 5 en LINDO (parte 2).....	96
Figura 81: Cluster 5 (LINDO) en Google Maps.....	97
Figura 82: Formulación modelo matemático en LINDO - Cluster 6.....	98
Figura 83: Solución de cluster 6 en LINDO (parte 1).....	99
Figura 84: Solución de cluster 6 en LINDO (parte 2).....	99
Figura 85: Cluster 6 (LINDO) en Google Maps.....	100

Figura 86: Formación cluster 1 – ROADNET	101
Figura 87: Cluster 1 (ROADNET) en Google Maps	102
Figura 88: Formación cluster 2 – ROADNET	103
Figura 89: Cluster 2 (ROADNET) en Google Maps	104
Figura 90: Formación cluster 3 – ROADNET	105
Figura 91: Cluster 3 (ROADNET) en Google Maps	106
Figura 92: Formación cluster 4 – ROADNET	107
Figura 93: Cluster 4 (ROADNET) en Google Maps	108
Figura 94: Formación cluster 5 – ROADNET	108
Figura 95: Cluster 5 (ROADNET) en Google Maps	109
Figura 96: Formación cluster 6 – ROADNET	110
Figura 97: Cluster 6 (ROADNET) en Google Maps	111
Figura 98: Consolidado semanal de distancias recorridas por empresa	123
Figura 99: Consolidado semanal de distancias recorridas por camión	124
Figura 100: Vista de sistema interno de niveles de huella de carbono	124
Figura 101: Sub Grupos formados por la falta de restricciones	137
Figura 102: Ejemplo aplicación algoritmo del barrido	143
Figura 103: Ruteo antes y después de aplicar Heurística Brauch and Bound	145
Figura 104: Metodología DMAIC	145
Figura 105: Esqematización modelo DMAIC	146
Figura 106: Modelo inicial cluster 2 – C&W	155
Figura 107: Primera iteración cluster 2 – C&W	155
Figura 108: Segunda iteración cluster 2 – C&W	156
Figura 109: Tercera iteración cluster 2 – C&W	156
Figura 110: Cuarta iteración cluster 2 – C&W	157
Figura 111: Quinta iteración cluster 2 – C&W	157
Figura 112: Sexta iteración cluster 2 – C&W	158
Figura 113: Séptima iteración cluster 2 – C&W	158
Figura 114: Octava iteración cluster 2 – C&W	159
Figura 115: Ruta óptima de cluster 2 – C&W	160
Figura 116: Modelo inicial cluster 3 – C&W	162
Figura 117: Primera iteración cluster 3 – C&W	162
Figura 118: Segunda iteración cluster 3 – C&W	163
Figura 119: Tercera iteración cluster 3 – C&W	163
Figura 120: Cuarta iteración cluster 3 – C&W	164
Figura 121: Quinta iteración cluster 3 – C&W	164
Figura 122: Sexta iteración cluster 3 – C&W	165
Figura 123: Séptima iteración cluster 3 – C&W	165
Figura 124: Octava iteración cluster 3 – C&W	166
Figura 125: Ruta óptima de cluster 3 – C&W	167
Figura 126: Modelo inicial cluster 4 – C&W	169
Figura 127: Primera iteración cluster 4 – C&W	169
Figura 128: Segunda iteración cluster 4 – C&W	170
Figura 129: Tercera iteración cluster 4 – C&W	170

Figura 130: Cuarta iteración cluster 4 – C&W	171
Figura 131: Quinta iteración cluster 4 – C&W.....	171
Figura 132: Sexta iteración cluster 4 – C&W	172
Figura 133: Séptima iteración cluster 4 – C&W.....	172
Figura 134: Octava iteración cluster 4 – C&W.....	173
Figura 135: Ruta óptima de cluster 4 – C&W	174
Figura 136: Modelo inicial cluster 5 – C&W	176
Figura 137: Primera iteración cluster 5 – C&W	176
Figura 138: Segunda iteración cluster 5 – C&W	177
Figura 139: Tercera iteración cluster 5 – C&W.....	177
Figura 140: Cuarta iteración cluster 5 – C&W	178
Figura 141: Quinta iteración cluster 5 – C&W.....	178
Figura 142: Sexta iteración cluster 5 – C&W	179
Figura 143: Séptima iteración cluster 5 – C&W.....	179
Figura 144: Octava iteración cluster 5 – C&W.....	180
Figura 145: Ruta óptima de cluster 5 – C&W	181
Figura 146: Modelo inicial cluster 6 – C&W	183
Figura 147: Primera iteración cluster 6 – C&W	183
Figura 148: Segunda iteración cluster 6 – C&W	184
Figura 149: Tercera iteración cluster 6 – C&W.....	184
Figura 150: Cuarta iteración cluster 6 – C&W	185
Figura 151: Quinta iteración cluster 6 – C&W.....	185
Figura 152: Sexta iteración cluster 6 – C&W	186
Figura 153: Séptima iteración cluster 6 – C&W.....	186
Figura 154: Octava iteración cluster 6 – C&W.....	187
Figura 155: Ruta óptima de cluster 6 – C&W	188

10.2. Anexo 2: Investigación de Operaciones

Según Hamdy A. Taha, (2012). “Las primeras actividades formales de investigación de operaciones (IO) se iniciaron en Inglaterra durante la Segunda Guerra Mundial, cuando un equipo de científicos empezó a tomar decisiones con respecto a la mejor utilización del material bélico”. Una vez finalizado el enfrentamiento bélico, los modelos y el pensamiento utilizado, fue extrapolado al mundo civil, y fue puesto a prueba en la reconstrucción de las ciudades destruidas por las guerras.

En la investigación de operaciones no se cuenta con una técnica general única para resolver todos los modelos que puedan surgir en la práctica. En su lugar, el tipo y complejidad del modelo matemático determina la naturaleza del método de solución.

La técnica de IO más importante es la programación lineal (PL). Está diseñada para modelos con funciones objetivo y restricciones lineales. Otras técnicas incluyen la programación entera (las variables asumen valores enteros), la programación dinámica (el modelo original puede descomponerse en subproblemas más pequeños y manejables), la programación de red (el problema puede modelarse como una red), y la programación no lineal (las funciones del modelo son no lineales). Las anteriores son sólo algunas de las muchas herramientas de IO con que se cuenta.

Una peculiaridad de la mayoría de las técnicas es que por lo general las soluciones no se obtienen en formas cerradas, como si fueran fórmulas, sino que más bien se determinan mediante algoritmos.

Un algoritmo proporciona reglas fijas de cálculo que se aplican en forma repetitiva al problema, y cada repetición (llamada iteración) acerca la solución a lo óptimo. Como los cálculos asociados con cada iteración suelen ser tediosos y voluminosos, es recomendable que estos algoritmos se ejecuten con la computadora.

Algunos modelos matemáticos pueden ser tan complejos que es imposible resolverlos con cualquiera de los algoritmos de optimización disponibles. En esos casos quizá sea necesario abandonar la búsqueda de la solución óptima y simplemente buscar una buena solución aplicando la heurística, y la meta heurística, o bien reglas empíricas.

10.2.1. Programación Lineal (PL)

Desde el origen de la Investigación de Operaciones, es innegable que ha pasado por grandes transformaciones para la búsqueda de la mejor solución. La simplicidad de las metodologías de resolución ha pasado a ser un factor de gran preponderancia a la hora de abordar una problemática, sobre todo si esta última posee un alto nivel de complejidad.

La programación lineal se ha transformado al pasar el tiempo, en una herramienta clásica para resolver problemas de optimización, usada en la mayoría de los ejercicios que requieren una optimización de recursos de distinta índole. Según Devoto y Ruiz, “ la programación lineal provee modelos matemáticos asociados con situaciones, problema que involucran decisiones de corto o mediano plazo, en que se intenta optimizar (maximizar o minimizar) un determinado objetivo, pudiendo existir restricciones a las decisiones posibles para lograrlo”. (Devoto & Ruiz, 2003)

Por lo tanto, al realizar la PL, lo que se está haciendo es construir, solucionar y analizar el modelo lineal de una problemática generada e identificada. Recordar que la

condicionante básica para que un modelo sea lineal, es que las variables involucradas en situación a investigar, sea lineal.

10.2.1.1. Componentes de la Programación Lineal

Para poder aplicar esta metodología de resolución a un problema lineal, se necesita de 3 requisitos para su planteamiento (Winston, 1994):

- a) **Función Objetivo:** formulada en base al objetivo principal que posee el problema lineal, dentro de esta están las variables de decisión(X_1, X_2, \dots, X_n). El hecho que la función maximice o minimice su valor, dependerá exclusivamente del contexto de la problemática.

Expresada en forma algebraica, una función objetivo se puede apreciar de la siguiente forma:

$$Max. o M\acute{in}. Z = k_1X_1 + K_2X_2 + \dots + k_nX_n \quad (1.1)$$

- b) **Restricciones:** son igualdades o desigualdades lineales, que colocan límites y condicionantes a la problemática principal, por consiguiente son las acotaciones perimetrales de la función objetivo.

Expresada en forma matemática, las restricciones se pueden visualizar de la siguiente forma:

$$k_{11}X_1 + K_{12}X_2 + \dots + k_{1n}X_n \{ \leq = \geq \} c_1 \quad (1.2)$$

$$k_{21}X_1 + K_{22}X_2 + \dots + k_{2n}X_n \{ \leq = \geq \} c_2 \quad (1.3)$$

...

$$k_{m1}X_1 + K_{m2}X_2 + \dots + k_{mn}X_n \{ \leq = \geq \} c_m \quad (1.4)$$

- c) **Variables de decisión:** son las incógnitas que dan respuestas al problema, generalmente el dato por sí solo no nos servirá para entrega el resultado, sino que debe venir acompañado de una interpretación y conclusión de éste.

Expresada en forma matemática, las variables de decisión se pueden visualizar así:

$$X_j, j = 1,2,3,4 \dots, n \quad (1.5)$$

Es muy importante destacar además, que la mayoría de los problemas planteados, ya sea de forma artificial o real, con “m” desigualdades o ecuaciones lineales, y con n variables, deben contar con variables de decisiones que den como resultado respuestas pertenecientes a valores del primer cuadrante del plano cartesiano, y que por supuesto satisfagan las restricciones propias del contexto en el que se encuentran, y que cumplan la minimización o maximización de los recursos.

10.2.2. Modelo de Asignación

En la investigación de operaciones, existen muchos tipos de casos que se pueden dar en las diversas problemáticas existentes, es por esto que existen diferentes modelos propios para dar solución a las variables de decisión.

En este modelo, una de las principales características es que las variables de decisión $x(i,j)$, pueden tomar sólo valores binarios en la solución óptima, es decir, 0 o 1. La aplicación y utilidad del modelo, radica principalmente en las soluciones que puede generar a problemáticas ocasionadas en las áreas de transporte y distribución, gracias al gran poder de relacionar la oferta y demanda de los mercados. (Ingeniería Industrial Online, 2014)

Para la correcta aplicación del modelo de asignación, es requisito que cumpla con las siguientes condicionantes (Stair & Hanna, 2012):

- El número de asignaciones debe ser igual al número de tareas (generalmente se simboliza como n)
- A cada elegido se le asigna sólo una tarea.
- Cada tarea recibe sólo un asignado.
- Existe un costo o emisión (C_{ij}) de contaminante asociada a cada tarea i ($i=1,2,3\dots,n$) que realiza la tarea j ($j=1,2,3,\dots,n$).
- El objetivo es determinar la asignación óptima que minimice los costos o emisiones totales, dependiendo de la tipología del problema.

A continuación se ejemplificará un modelo tipo de asignación, muy importante con la temática de esta investigación, puesto que está íntimamente relacionada con la solución a la reducción de la Huella de Carbono que se propondrá.

Variables:

$$X_{ij} \begin{cases} 1, \text{ si el punto asignado } i \text{ va al punto } j \\ 0, \text{ caso contrario} \end{cases}$$

Función Objetivo:

$$Z_{min} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \quad (1.6)$$

Restricciones:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad \text{para } i = 1, 2, \dots, n \quad (1.7)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad \text{para } j = 1, 2, \dots, n \quad (1.8)$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad (1.9)$$

$$x_{ij} \text{ para toda } i \text{ y } j \quad (1.10)$$

El anterior modelo se puede describir como donde n individuos, hay que asignarle n tareas, siendo C_{ij} el costo de asignar al individuo i , la tarea j .

10.2.2.1. Modelo de Transporte y Ruteo de Vehículos

Un problema de ruteo de vehículos consiste básicamente en que existiendo un conjunto de clientes y centros de distribución, se encuentran dispersos, para lo cual se requiere una flota de vehículos con los que se llegará a estos clientes desde los depósitos, tomando en cuenta las rutas que minimicen los costos de partir de un depósito y llegar al mismo, habiendo visitados a los clientes. (Cadillo, 2011)

El problema para el ruteo de vehículos posee tantas variaciones, como problemáticas ligadas al área del transporte y distribución existan, a continuación se explicarán algunas de ellas, que precisamente están relacionadas con esta investigación:

10.2.2.2. Problema del Agente Viajero

Los problemas más frecuentes en el ruteo de los sistemas de distribución de las empresas son: el Problema del Agente Viajero Simétrico (PAVS) y el problema de planeación de rutas vehiculares, para los cuales se han dedicado millones de tesis y trabajos de investigación en el mundo, signo claro de la gran importancia y cuna de las mayores dificultades de las organizaciones.

El problema del agente viajero o TSP por sus siglas en inglés (Travelling Salesmen Problem) es uno de los problemas más estudiados de la clase NP – Hard o NP – Complejo, ha sido de los más estudiados y complejos de los sistemas informáticas y ha sido abordado por varias ramas de la ingeniería y la tecnología y por distintas razones (López, Salas, & Murillo, 2013), su principal aplicación es la de rutear desde distintas perspectivas, ya sea un proceso que lleva una secuencia específica o una distribución de carácter logístico en la que intervienen elementos del transporte, buscando la mejor ruta posible, considerando criterios de economía, sustentabilidad, distancia, costo o tiempos de entrega.

Realizar soluciones en todo ámbito de áreas contribuye a mejorar los procesos internos y externos de organizaciones, entregando herramientas indicadas para el funcionamiento más eficaz y eficiente de las organizaciones, que como la mayoría de los sistemas, cuentan con recursos limitados, para dar respaldo a estas posibles soluciones, es por esto que las ciencias de la ingeniería y la informática, buscan frecuentemente nuevos algoritmos para dar cabida a soluciones.

Tiene su origen en la década del '30 en la Universidad de Princeton, en un estudio llamado *48 states problem*, presentado por Hassler Whitney, su objetivo era encontrar la ruta más corta para el agente viajero, empezando su recorrido desde una ciudad conocida, pasando por cada ciudad de un grupo específico, para luego volver desde donde comenzó su recorrido.

A partir de este estudio, es que se conoce la TSP como el viaje que hace un solo vehículo, visitando a todos los clientes de una ruta, a un costo, distancia o emisión de contaminante mínimo. La generalidad de este modelo, se puede expresar matemáticamente de la siguiente forma:

Función Objetivo

$$Z = \sum_{(i,j) \in E}^n C_{ij} X_{ij} \quad (1.11)$$

Restricciones

$$\sum_{j \in \Delta^+(i)} x_{ij} = 1 \quad \forall i \in V \quad (1.12)$$

$$\sum_{i \in \Delta^-(j)} x_{ij} = 1 \quad \forall j \in V \quad (1.13)$$

$$\sum_{i \in S, j \in \Delta^-(j) \setminus S} x_{ij} \geq 1 \quad \forall S \subset V \quad (1.14)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall (i,j) \in E$$

Existe también la formulación de Dantzing, quien presenta la problemática en torno a modelos de arcos, la función objetivo trata de minimizar el costo total C_{ij} , el cual es representado por la suma de todos los arcos utilizados X_{ij} . Las restricciones aseguran que cada nodo posea una entrada y una salida, además agrega una nueva restricción para asegurar que no existan grupos por separados o entregas repetitivas.

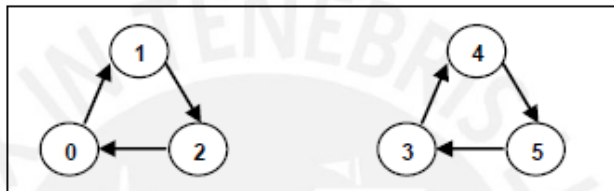


Figura 101: Sub Grupos formados por la falta de restricciones

Fuente: (Cadillo, 2011)

10.2.2.2.1. Problema de los m Agentes Viajeros (m-TSP)

La principal diferencia de este tipo de problemas con el vendedor viajero normal, es que este tipo de modelo posee una multiplicidad expresada en m vehículos, conservado el centro de distribución con el que se cuenta. De igual forma se requiere que cada cliente sea visitado una vez por alguno de los vehículos disponibles, que el recorrido del móvil comience y finalice en el CD, y que se atienda a lo más p clientes (Yepes & Medina, 2004).

Matemáticamente, y de forma general se expresan de la siguiente forma:

Función objetivo

$$Z_{min} = \sum_{(i,j) \in E} c_{ij} x_{ij} \quad (1.15)$$

Restricciones

$$\sum_{j \in \Delta+(0)} x_{0j} = m \quad (1.16)$$

$$\sum_{j \in \Delta+(i)} x_{0j} = 1 \quad \forall i \in V \setminus \{0\} \quad (1.17)$$

$$\sum_{i \in \Delta-(j)} x_{0j} = 1 \quad \forall j \in V \setminus \{0\} \quad (1.18)$$

$$u_i - u_j + px_{ij} \leq p - 1 \quad \forall (i, j) \in E, i \neq 0, j \neq 0 \quad (1.19)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall (i, j) \in E \quad (1.20)$$

$$u_j \geq 0 \quad \forall i \in V \setminus \{0\} \quad (1.21)$$

La restricción (1.16) ordena que deben salir exactamente m vehículos desde el centro de distribución, mientras que las (1.17) y (1.18) es parte intermedia de una ruta, representando un nodo. Posteriormente en (1.19) se hace mención a lo que se describe en el Figura 10, y se eliminan los sub – recorridos, y se determinan que en cada arco no haya más que p clientes (Gilber, 1974).

En los casos en que la cantidad de clientes no sea acotada ($p=n$) el m-TSP se puede formular y plantear como un TSP normal, haciendo pasar el TSP como copias sucesivas del mismo. Finalmente se toma el resultado como solución del m-TSP, puesto que los arcos del sistema no estarán conectados con las copias de los nodos.

10.2.2.2.2. Problema del agente viajero con Capacidades (VRP o CVRP)

El CVRP es una extensión del m-TSP en la cual cada cliente $i \in V \setminus \{0\}$ tiene asociada una demanda d_i y cada vehículo tiene una capacidad C , en este caso se dice que la flota es homogénea. En este problema la cantidad de rutas no es fijada de antemano como en el TSP y en el m-TSP. i d

Para un conjunto de clientes S , $d(S) = \sum_{i \in S}^n d_i$ es su demanda total y $r(S)$ indica la mínima cantidad de vehículos necesarios servirlos a todos. En la formulación conocida con el nombre de *flujo de vehículos de dos índices*, se utilizan las variables binarias X_{ij} para determinar si el arco (i, j) se utiliza o no en la solución.

El problema se formula de la siguiente manera:

Función Objetivo

$$Z_{min} = \sum_{(i,j) \in E} c_{ij} x_{ij} \quad (1.22)$$

Restricciones

$$\sum_{j \in \Delta^+(0)} x_{0j} = m \quad (1.23)$$

$$\sum_{i \in \Delta^-(0)} x_{i0} = m \quad (1.24)$$

$$\sum_{j \in \Delta^+(i)} x_{ij} = 1 \quad \forall i \in V \setminus \{0\} \quad (1.25)$$

$$\sum_{i \in \Delta^-(j)} x_{ij} = 1 \quad \forall j \in V \setminus \{0\} \quad (1.26)$$

$$\sum_{i \in S, j \in \Delta^+(i) \setminus S} x_{ij} \geq r(S) \quad \forall S \subset V \setminus \{0\} \quad (1.27)$$

$$m \geq 1 \quad (1.28)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall (i,j) \in E \quad (1.29)$$

La función objetivo (1.22) es el costo total de la solución. Las restricciones (1.23) y (1.24) indican que es la cantidad de vehículos utilizados en la solución y que todos los vehículos que parten del depósito deben regresar. Las restricciones (1.25) y (1.26) aseguran que todo cliente es un nodo intermedio de alguna ruta.

Finalmente, y al igual como se mencionó en el ítem anterior, la restricción (1.27) actúa como restricción de eliminación de sub-rutas y a la vez impone que la demanda total de los clientes visitados por un vehículo no puede superar la capacidad de cada vehículo C .

Para poder saber el valor de $r(S)$, se debe resolver el siguiente modelo:

$$r(S) = \text{Min} \sum_{k \in K} y^k \quad (1.30)$$

$$\sum_{i \in S} d_i x_{ik} = c y_k \quad \forall k \in K \quad (1.31)$$

$$\sum_{k \in K} x_{ik} = 1 \quad \forall i \in S \quad (1.32)$$

$$x_{ik} \in \{0,1\} \quad \forall i \in S, k \in K \quad (1.33)$$

$$y_k \in \{0,1\} \quad \forall k \in K \quad (1.34)$$

Donde K es un conjunto con suficientes vehículos para satisfacer la demanda d_i . Este problema, es conocido como *Bin Packing Problem* (BPP).

10.2.2.2.3. Problema del agente viajero con Flota Heterogénea (FSMVRP)

En la industria, una flota de vehículos es raramente homogénea, ya que la necesidad de estar presente en diversos segmentos del mercado obliga a muchas empresas a disponer de vehículos que se adapten a la tipología de la mercancía transportada. De igual modo, el disponer de vehículos con diferentes unidades de carga, permite una mejor adaptación a la demanda (Yepes & Medina, 2004)

La variación del agente o vendedor viajero, ocurre cuando los vehículos de diferentes dimensiones y capacidades que conforman la flota, difieren en equipamiento, antigüedad, costos o incluso el nivel de emisiones contaminantes que generen. Generalmente a las problemáticas que cuenten con un número limitado de vehículos, se les denomina VRP Heterogéneo.

Dentro de este apartado existen aún más posibles clasificaciones:

- VRP heterogéneo con costes variables dependientes de las rutas (HVRPD).
- VRP heterogéneo con costes fijos y variables (HVRPFD).
- Fleet Size and Mix VRP con costos variables (FSMD).
- Fleet Size and Mix VRP con costes fijos (FSMF).
- Fleet Size and Mix VRP con costes fijos y variables (FSMFD).

Como los costos y las capacidades varían, dependiendo del vehículo se determina matemáticamente que existen $T=\{1,2,3,\dots,|T|\}$ tipos de vehículos. La capacidad de los vehículos es $k \in T$ es q^k y su costo fijo es f^k , por otro lado los costos y tiempos de viaje para cada tipo de vehículo son respectivamente C_{ij}^k y T_{ij}^k . Como supuesto se tiene que los subíndices de los vehículos están ordenados por capacidad.

A continuación se entrega un ejemplo elaborado por Golden et. Al. (1984). (Cadillo, 2011):

Función Objetivo

$$Z_{Min} = \sum_{k \in T} f^k \sum_{j \in \Delta^+(0)} x_{ij}^k + \sum_{k \in T} \sum_{(i,j) \in E} c_{ij}^k x_{ij}^k \quad (1.35)$$

Restricciones

$$\sum_{k \in T} \sum_{i \in \Delta^+(j)} x_{ij}^k = 1 \quad \forall j \in V \setminus \{0\} \quad (1.36)$$

$$\sum_{j \in \Delta^+(i)} x_{ij}^k - \sum_{j \in \Delta^-(i)} x_{ij}^k = 0 \quad \forall i \in V, \forall k \in T \quad (1.37)$$

$$r_i - r_j \geq (d_j + q^{|T|}) \sum_{k \in T} x_{ij}^k - q^{|T|} \quad \forall i \in V \setminus \{0\}, \forall j \in \Delta^+(i) \quad (1.38)$$

$$r_i \leq \sum_{k \in T} \sum_{i \in \Delta^-(j)} q_k x_{ij}^k \quad \forall j \in V \setminus \{0\} \quad (1.36)$$

$$x_{ij}^k \in \{0,1\} \quad \forall (i,j) \in E, \forall k \in T \quad (1.37)$$

$$r_j \geq 0 \quad \forall j \in V \quad (1.38)$$

Las variables de decisión son binarias (x_{ij}^k) e indican si el arco (i,j) es utilizado por algún vehículo K para cubrir el trayecto, mientras que R_i nos indica la carga acumulada hasta el nodo i .

La función objetivo (1.35) mide el costo total o las emisiones totales producidas por el sistema de distribución de la organización, dependiente del ruteo realizado. En (1.36) son las clásicas restricciones, donde se pide como base que cada cliente sea visitado, luego en (1.37) dice que si es visitado un nodo i por un vehículo K , entonces debe ser abandonado por el mismo. Finalmente (1.38), (1.39) y (1.40) limitan los movimientos de R_i , y (1.41) evita los sub-recorridos.

10.2.2.2.4. Problema del agente viajero considerando Ventanas de Tiempo (VRPTW)

Considera básicamente la misma problemática que un VRP normal, pero con la condicionante que los clientes, poseen ciertos periodos de tiempo, en donde están dispuestos a aceptar los productos del proveedor.

El principal objetivo es minimizar la cantidad de vehículos utilizados para este fin, el tiempo que emplean para realizar esta tarea y el tiempo disponible para abastecer a los otros clientes.

VRPTW (por sus siglas en inglés *The Vehicle Routing Problems with Time Windows*), al trabajarlo de forma matemática en una ejemplo genérico en donde el intervalo de las ventanas de tiempo está determinado por $[e_i, l_i]$, utilizando los nodos 0 y $n+1$ para representar al depósito y el conjunto K para representar a los vehículos como generalidad, y no como los tipos que existiesen de estos, entonces, el problema se formula para una flota de vehículos posiblemente heterogénea, de la siguiente manera (Cordeau & et.al., 1999)

Función Objetivo

$$\text{Min} \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in K} c_{ij}^k x_{ij}^k \quad (1.42)$$

Restricciones

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in \Delta^-(i)} x_{ij}^k = 1 \quad \forall i \in V \setminus \{0, n+1\} \quad (1.43)$$

$$\sum_{j \in \Delta^+(0)} x_{oj}^k = 1 \quad \forall k \in K \quad (1.44)$$

$$\sum_{j \in \Delta^+(i)} x_{ij}^k - \sum_{j \in \Delta^-(i)} x_{ij}^k = 0 \quad \forall k \in K, i \in V \setminus \{0, n+1\} \quad (1.45)$$

$$\sum_{i \in V \setminus \{0, n+1\}} d_i \sum_{j \in \Delta^+(i)} x_{ij}^k \leq q^k \quad \forall k \in K \quad (1.46)$$

$$y_j^k - y_i^k \geq s_i + t_{ij}^k - M(1 - x_{ji}^k) \quad \forall i, j \in V \setminus \{0, n+1\}, k \in K \quad (1.47)$$

$$e_i \leq y_i^k \leq l_i \quad \forall i \in V \setminus \{0, n+1\}, k \in K \quad (1.48)$$

$$x_{ij}^k \in \{0,1\} \quad \forall (i,j) \in E, k \in K \quad (1.49)$$

$$y_i^k \geq 1 \quad \forall i \in V \setminus \{0, n+1\}, k \in K \quad (1.50)$$

La variable x_{ij}^k actúa como variable principal, que determina si el arco (i,j) es utilizado por el vehículo K que realiza la distribución. La Variables y_i^k indica la hora de arribo al cliente i cuando es visitado por el vehículo k. La función objetivo (1.42) es el costo total de las rutas. La primera restricción (1.43) señala que los K vehículos deben visitar a todos los clientes i. Las restricciones (1.44) y (1.45) determinan que cada vehículo $k \in K$ recorren el arco existente entre cada nodo. (1.46) es la restricción de capacidad, y las demás son las mismas que en casos anteriores, tanto de sub-recorridos y ventanas de tiempo.

10.2.3. Heurísticas para el VRP

Las heurísticas son formas menos complejas de abordar la solución de diferentes problemáticas relacionadas a asignaciones de recursos o distribución de flotas para el ruteo. Generalmente no revisten mayor dificultad, pero requieren cierto conocimiento de Teoría de Grafos. Usualmente el resultado obtenido mediante estas formulaciones no es el óptimo, sin embargo, mediante procesos iterativos, pueden ir mejorando a través del tiempo.

10.2.3.1. Método Cluster First - Route second

Los métodos asignar primero y rutear después (cluster first - route second) proceden en dos fases. Primero se busca generar grupos de clientes, también llamados *clusters*, que estarán en una misma ruta en la solución final. Luego, para cada *cluster* se crea una ruta que visite a todos sus clientes. Las restricciones de capacidad son consideradas en la primera etapa, asegurando que la demanda total de cada cluster no supere la capacidad del vehículo.

Por lo tanto, construir las rutas para cada *cluster* es un TSP que, dependiendo de la cantidad de clientes en el *cluster*, se puede resolver en forma exacta o aproximada. (Cadillo, 2011)

10.2.3.1.1. Heurística de barrido o Sweet

Los *clusters* se forman girando una semirrecta con origen en el depósito e incorporando los clientes “barridos” por dicha semirrecta hasta que se viole la restricción de capacidad. Cada *cluster* es luego ruteado resolviendo un TSP de forma exacta o aproximada.

Este algoritmo puede aplicarse en problemas planos, es decir, en los que cada nodo se corresponde con un punto en el plano y las distancias entre ellos se definen como la distancia euclidiana. Se supone que cada cliente i está dado por sus coordenadas polares (ρ_i, θ_i) en un sistema que tiene al depósito como origen (Olivera, 2012).

Gillet y Miller (1974), proponen los siguientes pasos para su aplicación (Gilber, 1974):

Paso 1 (inicialización): Ordenar los clientes según θ de manera creciente. Si dos clientes tienen igual valor de θ , colocar primero el de menor valor de ρ . Seleccionar un cliente w para comenzar y hacer $k := 1$ y $C_k := \{w\}$

Paso 2 (selección). Si todos los clientes pertenecen a algún cluster, ir a 3. Si no, seleccionar el siguiente cliente W_i . Si W_i puede ser agregado C_k sin violar las restricciones de capacidad, hacer $C_k := C_k \cup \{W_i\}$. Si no, hacer $k := k + 1$ y crear un nuevo cluster $C_k := \{W_i\}$. Ir a 2.

Paso 3 (optimización). Para cada cluster C_k para $t = 1, \dots, k$, resolver un TSP con sus clientes.

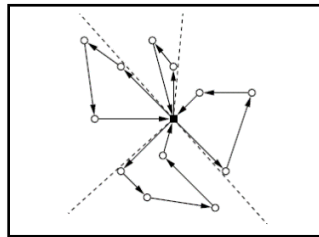


Figura 102: Ejemplo aplicación algoritmo del barrido

Fuente: (López, Salas, & Murillo, 2013)

El procedimiento descrito anteriormente debe ser repetido n veces, por cada nuevo cliente que se requiera incluir a la ruta.

10.2.3.1.2. Heurística de asignación generalizada de Fisher y Jaikumar

Proponen generar los clusters resolviendo un Problema de Asignación Generalizada (GAP) sobre los clientes. Primero se fijan K clientes semilla s_k con $k = 1, \dots, K$ sobre la base de los cuales se construirán los clusters.

En una segunda fase, se decide qué clientes asignar a cada uno de los clusters de modo de no violar la capacidad del vehículo, resolviendo un GAP que se define a continuación:

Función Objetivo

$$\text{Min} \sum_{k=1}^K \sum_{i \in V \setminus \{0\}} d_{ik} x_{ik} \quad (1.51)$$

Restricciones

$$\sum_{k=1}^K x_{ik} = 1 \quad \forall i \in V \setminus \{0\} \quad (1.52)$$

$$\sum_{i \in V \setminus \{0\}} q_{ik} x_{ik} \leq 1 \quad \forall k = 1, \dots, K \quad (1.53)$$

$$x_{ik} \in \{0,1\} \quad \forall i \in V \setminus \{0\} \forall k = 1, \dots, K \quad (1.54)$$

Las variables indican si el cliente X_{ik} es asignado al *cluster* k . Al igual que en los anteriores modelo, el objetivo es minimizar el costo total de la asignación, como se indica en la función objetivo. Además cada cliente es asignado a exactamente un *cluster*. Y la demanda de un conjunto de clientes no podrá superar la capacidad del vehículo destinado a la alimentación del *cluster* señalado.

A continuación se muestra cómo realizar el paso a paso para la puesta en marcha de la heurística:

Paso 1 (inicialización). Formar K clusters e inicializar cada uno con un cliente s_k ($k = 1, \dots, K$).

Paso 2 (asignación). Resolver el Problema de Asignación Generalizada (GAP) para decidir a qué cluster es asignado cada cliente.

Paso 3 (ruteo). Para cada cluster, resolver un TSP con sus clientes.

10.2.4. Heurística de Branch and Bound

El método de Branch and Bound (o Ramificación y Acotamiento) es un algoritmo diseñado para la resolución de modelos de Programación Entera. Su operatoria consiste en linealizar el modelo de Programación Entera, es decir, resolver éste como si fuese un modelo de Programación Lineal y luego generar cotas en caso que al menos una variable de decisión (entera) adopte un valor fraccionario.

El algoritmo genera en forma recursiva cotas (o restricciones adicionales) que favorecen la obtención de valores enteros para las variables de decisión. En este contexto resolver el modelo lineal asociado a un modelo de Programación Entera se conoce frecuentemente como resolver la relajación continua del modelo entero.

Si en una solución dos rutas diferentes $(1, \dots, i, 1)$ y $(1, \dots, j, \dots, 1)$ pueden ser combinadas formando una nueva $(1, \dots, i, j, \dots, 1)$, el ahorro expresado en este caso en forma de distancia obtenido por dicha unión es:

$$s_{ij} = c_{\bar{n}} + c_{ij} - c_{ij}$$

En esto caso los arcos que se dejan de usar serían $(i,0)$ y $(0,j)$, y se crearía el (i,j) . Gráficamente se puede apreciar de la siguiente forma:

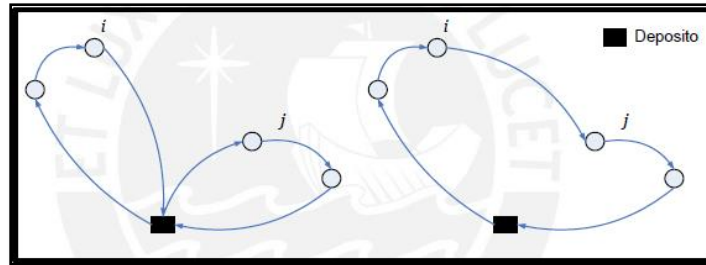


Figura 103: Ruteo antes y después de aplicar Heurística Brauch and Bound

Fuente: (Cadillo, 2011)

10.2.5. Metodología DMAIC

DMAIC, es una metodología desarrollada por Motorola a principios de los 90's, la primer letra "D" fue agregada por General Electric, la cual comprende una estrategia de 5 pasos estructurados de aplicaciones generales.

En six sigma se sigue el logro de los diferentes proyectos mediante esta metodología.

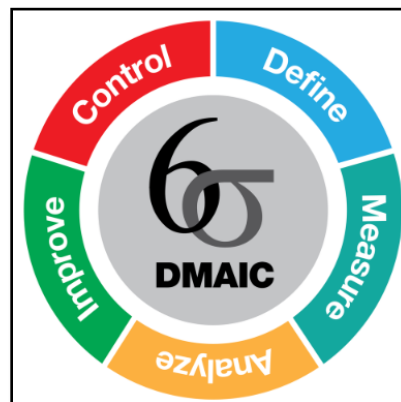


Figura 104: Metodología DMAIC

Fuente: www.gembaacademy.com

Definir

Es la fase inicial de la metodología, en donde se identifican posibles proyectos de mejora dentro de una compañía y en conjunto con la dirección de la empresa se seleccionan aquellos que se juzgan más prometedores.

Medir

Una vez definido el problema a atacar, se debe de establecer que características determinan el comportamiento del proceso.

Analizar

Esta etapa tiene como objetivo analizar los datos obtenidos del estado actual del proceso y determinar las causas de este estado y las oportunidades de mejora. En esta fase se determina si el problema es real o es solo un evento aleatorio que no puede ser solucionado usando DMAIC.

Mejorar

Una vez que se ha determinado que el problema es real y no un evento aleatorio, se deben identificar posibles soluciones. En esta etapa se desarrollan, implementan y validan alternativas de mejora para el proceso. Para hacer esto se requiere de una lluvia de ideas que genere propuestas, las cuales deben ser probadas usando corridas piloto dentro del proceso.

Controlar

Finalmente, una vez que encontrada la manera de mejorar el desempeño del sistema, se necesita encontrar como asegurar que la solución pueda sostenerse sobre un período largo de tiempo. Para esto debe de diseñarse e implementarse una estrategia de control que asegure que los procesos sigan corriendo de forma eficiente.

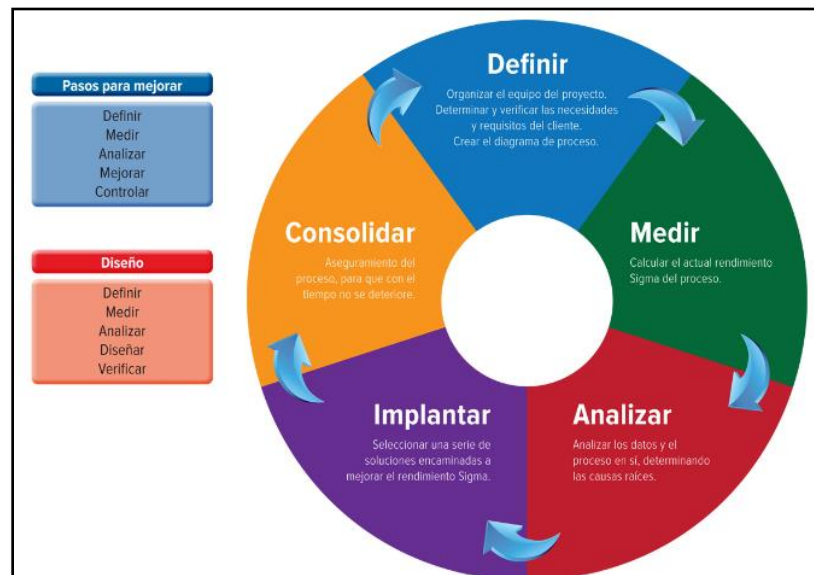


Figura 105: Esquemización modelo DMAIC

Fuente: www.gembaacademy.com

10.3. Anexo 3: Emisiones totales de los CD en Chile CCU S.A.

Tabla 39: Emisiones totales de cada CD de CCU Chile

CD	2015												2016				
	ENERO	FEBR.	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.	ENERO	FEBR.	MARZO	ABRIL	
Arica	34	38	35	33	33	31	37	33	45	38	38	46	34	38	35	33	580 t CO2e
Iquique	70	73	74	74	74	73	70	79	80	79	74	75	70	73	74	74	1.189 t CO2e
Antofagasta	113	260	194	180	180	256	254	190	212	223	113	212	113	260	194	180	3.136 t CO2e
Calama	39	39	36	36	36	45	32	45	50	33	33	598	39	39	36	36	1.171 t CO2e
Copiapó	111	112	112	112	112	112	110	109	120	100	103	121	111	112	112	112	1.783 t CO2e
Coquimbo	96	99	94	96	95	100	99	97	101	97	94	100	96	99	94	96	1.553 t CO2e
Illapel	15	16	15	15	15	12	18	13	20	15	12	20	15	16	15	15	248 t CO2e
Cervecera	499	494	489	485	482	479	476	475	473	467	463	457	458	454	451	449	7.551 t CO2e
Modelo	532	536	537	521	492	522	500	549	509	511	507	512	532	536	537	521	8.354 t CO2e
Curauama	174	182	177	177	177	170	182	184	176	185	171	171	174	182	177	177	2.887 t CO2e
Rancagua	158	160	156	155	153	158	157	150	154	157	150	154	158	160	156	155	2.490 t CO2e
Talca	161	158	154	157	155	151	167	165	158	163	156	150	161	158	154	157	2.523 t CO2e
Chillán	55	55	56	55	56	57	59	50	58	54	53	50	55	55	56	55	878 t CO2e
Talcahuano	180	180	178	181	180	165	177	176	180	160	161	180	180	180	178	181	2.817 t CO2e
Los Angeles	75	75	74	73	73	79	77	79	77	73	77	73	75	75	74	73	1.201 t CO2e
Temuco	129	129	131	131	131	120	127	139	126	130	120	139	129	129	131	131	2.073 t CO2e
Osorno	60	60	61	59	59	55	65	61	67	58	60	56	60	60	61	59	961 t CO2e
Valdivia	50	52	50	51	51	55	56	61	57	58	60	56	50	52	50	51	863 t CO2e
Puerto Montt	75	76	76	74	70	78	77	83	73	60	75	73	75	76	76	74	1.192 t CO2e
Castro	25	27	25	25	25	29	26	24	24	29	21	22	25	27	25	25	405 t CO2e
Coyhaique	23	23	24	23	23	30	29	24	22	28	21	22	23	23	24	23	387 t CO2e
Ovalle	115	115	115	115	115	113	115	110	114	115	110	110	115	115	115	115	1.821 t CO2e
Santiago Sur	174	173	175	175	175	171	163	174	170	170	177	163	174	173	175	175	2.758 t CO2e
Llay Llay	94	92	93	94	95	101	104	99	102	102	96	99	94	92	93	94	1.542 t CO2e

Fuente: Elaboración propia en base a información de DMAC

10.4. Anexo 4: Clientes del estudio

Tabla 40: Clientes utilizados en la memoria

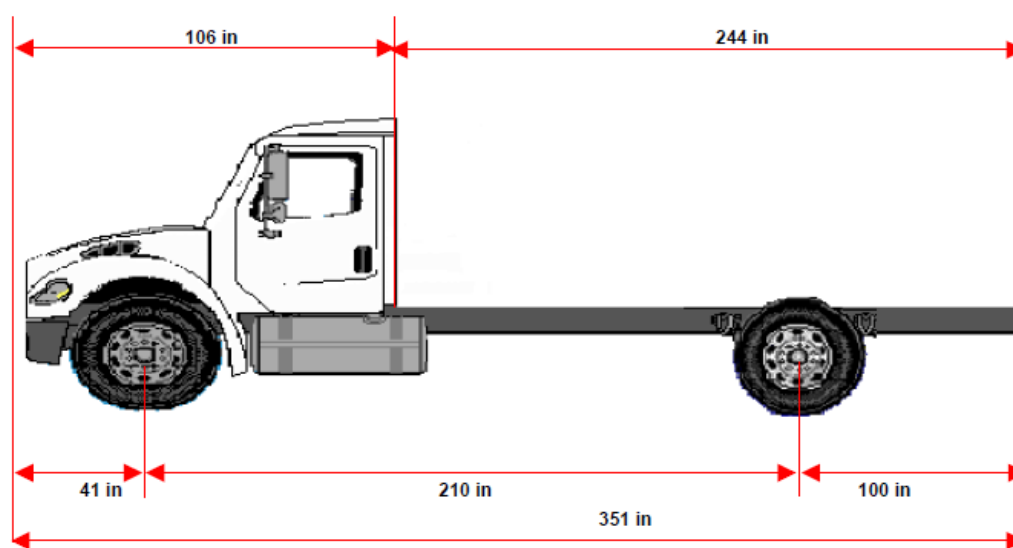
Cluster	Cliente	Ubicación	Vendedor	Transportista
Cluster 1	Cliente01	Santelices 641, Isla de Maipo	Juan Pablo Jaque	Empresa Tptes. A
Cluster 1	Cliente02	Manuel Rodríguez 693, Isla de Maipo, XIII Metropolitana de Santiago	Alejandro Covarrubia	Empresa Tptes. A
Cluster 1	Cliente03	Dieciocho de Septiembre, Paine, Región Metropolitana, Chile	Alejandro Covarrubia	Empresa Tptes. A
Cluster 1	Cliente04	San Martín 174, Buin	Juan Pablo Jaque	Empresa Tptes. A
Cluster 1	Cliente05	Bernardo O'Higgins 200, Peñaflor, Talagante	Alejandro Covarrubia	Empresa Tptes. A
Cluster 1	Cliente06	Vicuña Mackenna 2003, Peñaflor	Alejandro Covarrubia	Empresa Tptes. A
Cluster 1	Cliente07	Balmaceda 503, Peñaflor	Juan Pablo Jaque	Empresa Tptes. A
Cluster 1	Cliente08	Alcalde Luis Araya Cereceda 1047, Peñaflor	Juan Pablo Jaque	Empresa Tptes. A
Cluster 1	Cliente09	José Manuel Balmaceda 899, Buin	Juan Pablo Jaque	Empresa Tptes. A
Cluster 2	Cliente10	Av. Los Pajaritos 1948, Maipú	Alejandro Covarrubia	Empresa Tptes. A
Cluster 2	Cliente11	Av. Calera de Tango - Esquina Lonquen, Calera de Tango, Región Metropolitana	Alejandro Covarrubia	Empresa Tptes. A
Cluster 2	Cliente12	Avenida Padre Hurtado 13694, San Bernardo	Luis Aguilera	Empresa Tptes. A
Cluster 2	Cliente13	Eucaliptus 273, San Bernardo, Región Metropolitana	Alejandro Covarrubia	Empresa Tptes. A
Cluster 2	Cliente14	Arturo Prat 117, San Bernardo	Juan Pablo Jaque	Empresa Tptes. A
Cluster 2	Cliente15	Alcalde Luis Infante 1320, Ciudad Satélite, Maipú	Alejandro Covarrubia	Empresa Tptes. A
Cluster 2	Cliente16	Av. Aeropuerto, Cerrillos.	Juan Pablo Jaque	Empresa Tptes. A
Cluster 2	Cliente17	Gran Avenida Jose Miguel Carrera 9863, El Bosque	Alejandro Covarrubia	Empresa Tptes. A
Cluster 2	Cliente18	Gran Avda. Jose Miguel Carrera 1044, El bosque	Juan Pablo Jaque	Empresa Tptes. A
Cluster 3	Cliente19	Av. El Rosal 3999, Maipú, Región Metropolitana	Alejandro Covarrubia	Empresa Tptes. A
Cluster 3	Cliente20	Tres Pte 2600, Maipú	Alejandro Covarrubia	Empresa Tptes. A
Cluster 3	Cliente21	Unimarc, Maipú	Luis Aguilera	Empresa Tptes. A
Cluster 3	Cliente22	Avenida Américo Vespucio, Maipú, Región Metropolitana	Alejandro Covarrubia	Empresa Tptes. A
Cluster 3	Cliente23	Segunda Transversal 4090, Maipú	Luis Aguilera	Empresa Tptes. A
Cluster 3	Cliente24	Av. José Joaquín Prieto 5531, El Bosque	Alejandro Covarrubia	Empresa Tptes. A
Cluster 3	Cliente25	Carlos Valdovinos 2020, San Joaquín	Diego Araneda	Empresa Tptes. A
Cluster 3	Cliente26	Santa Rosa 2055, La Cisterna	Diego Araneda	Empresa Tptes. B
Cluster 3	Cliente27	San Diego 2115, Santiago	Roberto Evans	Empresa Tptes. B
Cluster 4	Cliente28	Puerto Madero 9710, Pudahuel	Mario Rubio	Empresa Tptes. B
Cluster 4	Cliente29	Diez de Julio Huamachuco 1625, Santiago	Rodrigo Saud	Empresa Tptes. B
Cluster 4	Cliente30	Padre Alonso de Ovalle 730, Santiago	Rodrigo Saud	Empresa Tptes. B
Cluster 4	Cliente31	San Martín 35, Santiago	Rodrigo Saud	Empresa Tptes. B
Cluster 4	Cliente32	Huérfanos 1437, Santiago	Diego Araneda	Empresa Tptes. B

Cluster	Cliente	Ubicación	Vendedor	Transportista
Cluster 4	Cliente33	Merced 560, Santiago	Rodrigo Saud	Empresa Tptes. B
Cluster 4	Cliente34	Santo Domingo 1031, Santiago	Rodrigo Saud	Empresa Tptes. B
Cluster 4	Cliente35	Veintiuno de Mayo 819, Santiago	Roberto Evans	Empresa Tptes. B
Cluster 4	Cliente36	San Pablo 2398, Santiago	Jesse Moreno	Empresa Tptes. B
Cluster 5	Cliente37	Portugal 634, Santiago	Rodrigo Saud	Empresa Tptes. B
Cluster 5	Cliente38	Antonio Varas 2284, Ñuñoa	NN	Empresa Tptes. H
Cluster 5	Cliente39	Santa Beatriz 44	NN	Empresa Tptes. H
Cluster 5	Cliente40	Avenida Nueva Providencia 2178, Providencia	Rodrigo Navarro	Empresa Tptes. H
Cluster 5	Cliente41	Avenida Nueva Providencia 75, Providencia	NN	Empresa Tptes. H
Cluster 5	Cliente42	Marchant Pereira 150, Providencia	NN	Empresa Tptes. H
Cluster 5	Cliente43	El Bosque Norte 422, Las Condes	NN	Empresa Tptes. H
Cluster 5	Cliente44	Suecia 361, Providencia	NN	Empresa Tptes. H
Cluster 5	Cliente45	Eduardo Castillo Velasco 5500, Ñuñoa	NN	Empresa Tptes. H
Cluster 6	Cliente46	Camino Los Trapenses 3515, Lo Barnechea	Rodrigo Navarro	Empresa Tptes. B
Cluster 6	Cliente47	La Dehesa 1445, Lo Barnechea	Rodrigo Navarro	Empresa Tptes. B
Cluster 6	Cliente48	Lo Barnechea 1593	Victor Inostroza	Empresa Tptes. B
Cluster 6	Cliente49	Avenida Las Condes 12207, Las Condes	Rodrigo Navarro	Empresa Tptes. B
Cluster 6	Cliente50	Eduardo Marquina 3932, Vitacura	Rodrigo Navarro	Empresa Tptes. B
Cluster 6	Cliente51	Presidente Riesco 2965, Las Condes	NN	Empresa Tptes. H
Cluster 6	Cliente52	Nueva Providencia 2671, Providencia	NN	Empresa Tptes. H
Cluster 6	Cliente53	Avenida El Salto 2506, Recoleta	Roberto Evans	Empresa Tptes. B
Cluster 6	Cliente54	Presidente Eduardo Frei Montalva 8301, Quilicura	Mario Rubio	Empresa Tptes. B

Fuente: Elaboración propia en base a información de DMAC

10.5. Anexo 5: Camiones

Motor		Transmisión	
Modelo	Detroit MBE 900 EPA 98	Caja de cambios	MBT 660S-60 (06 Vel)
Tipo	6 Cil en línea con Turbo e Intercooler	Embrague	ZF SACHS 395
Potencia	210 HP @ 2.200 r.p.m.	Eje Delantero	MFS 12-143 @ 12.000 Lb
Torque	605 Lb/ft @ 1.200 r.p.m.	Eje Trasero	MERITOR RS-23-161 @ 23.000 Lb
Cilindrada	6.370 c.c.	Reducción eje Trasero	6,14
Alternador	LN 12V 160A	Suspensión	
Batería	2 x 12V Alliance	Delantera	De resortes Taperleaf, 12.000 Lb con amortiguadores telescópicos
Arranque	Delco 12V 29 MT	Trasera	De resortes Multi Leaf 23.000 Lb, rango variable
		<u>Opción</u>	Aire 23.000 Lbs
Dirección		Sistema Frenos	
Tipo	TRW THP 60	Eje Delantero	MERITOR 15" x 4" Q+ Tipo Leva Libre Asbesto
		Eje Trasero	MERITOR 16,5" x 7" Q+ Tipo Leva Libre Asbesto
		Freno Adicional	Freno motor Top Brake + Obstrucción Gases Escape
Chasis		<u>Características</u>	
Dimensiones	11/32" x 3-1/2" x 10-15/16"		Lineas de aire de nylon reforzado
	120 KSI		Depósitos de aire construidos en acero, todos con cables y válvulas de drenaje manual
Tanque Combustible	1 x Estanque 80 Galones		Secador de aire con calefacción para sistema de alimentación de aire.
	Rectangular con filtro Separador		Frenos de tambor en todos los ejes
	Agua/Combustible		
Llantas y Neumáticos		Freno Estacionamiento	
Llantas Delanteras	Llantas Disco 8,25 x 22,5 10 Pernos		Camara de Resorte Automáticas Longstroke en eje trasero
Neumaticos Delanteros	11R22,5 16 Telas , Direccionales		
Llantas Traseras	Llantas Disco 8,25 x 22,5 10 Pernos		
Neumáticos Traseros	11R22,5 16 Telas, Traccionales		
Pesos Chasis cabina		Capacidades	
Eje Delantero	5.896 Lb (2.677 Kg)	Eje Delantero	12.000 Lb (5.448 Kg)
Tandem Trasero	4.146 Lb (1.882 Kg)	Tandem Trasero	23.000 Lb (10.442 Kg)
Total	10.042 Lb (4.559 Kg)	Total	35.000 Lb (15.890 Kg)
Capacidad de Carga	24.958 Lb (11.331 Kg)		
Cabina	Cabina convencional 106", montada sobre cojinetes de aire, Calefacción, Defroster		
	Paquete aislación para cabina, cinturón de seguridad de tres puntas, para conductor y acompañante, visera exterior		
	Corta corriente montado en Caja Baterías, radio con parlantes,		





— M2 106 4x2 MBE 210 —

(CHASIS M2 106 4X2 35K MBE 210)

KAUFMANN

Distribuidor General Autorizado de Mercedes-Benz y Freightliner en Chile

VENTAS: Av. Gladys Marin 5830. Estación Central - Santiago. Teléfono: 02-7202000. E-mail: consultas@kaufmann.cl
SUCURSALES: Arica, Iquique, Calama, Antofagasta, Copiapó, La Serena, Valparaíso, Placilla, Nos, Curicó, Talca, Linares, Chillán, Rancagua, Concepción, Los Angeles, Temuco, Valdivia, Castro, Osorno, Llanquihue y Punta Arenas.
www.kaufmann.cl

10.6. Anexo 6: Visitas de los camiones a cada cliente (ene 2015 – abril 2016)

Tabla 41: Histórico de compra de los clientes

Clúster	Cliente	Transportista	Día Visita	Pedido Histórico Mín. (Cajas)	Pedido Histórico Máx. (Cajas)
Cluster 1	Cliente01	Empresa Tptes. A	Martes-Sabado	5	9
Cluster 1	Cliente02	Empresa Tptes. A	Martes-Sabado	6	10
Cluster 1	Cliente03	Empresa Tptes. A	Martes-Sabado	5	10
Cluster 1	Cliente04	Empresa Tptes. A	Martes-Sabado	7	9
Cluster 1	Cliente05	Empresa Tptes. A	Martes-Sabado	5	10
Cluster 1	Cliente06	Empresa Tptes. A	Martes-Sabado	6	9
Cluster 1	Cliente07	Empresa Tptes. A	Martes-Sabado	7	10
Cluster 1	Cliente08	Empresa Tptes. A	Martes-Sabado	8	9
Cluster 1	Cliente09	Empresa Tptes. A	Martes-Sabado	6	10
Cluster 2	Cliente10	Empresa Tptes. A	Martes-Sabado	6	9
Cluster 2	Cliente11	Empresa Tptes. A	Martes-Sabado	5	10
Cluster 2	Cliente12	Empresa Tptes. A	Martes-Sabado	5	9
Cluster 2	Cliente13	Empresa Tptes. A	Martes-Sabado	5	9
Cluster 2	Cliente14	Empresa Tptes. A	Martes-Sabado	7	10
Cluster 2	Cliente15	Empresa Tptes. A	Martes-Sabado	8	9
Cluster 2	Cliente16	Empresa Tptes. A	Martes-Sabado	5	10
Cluster 2	Cliente17	Empresa Tptes. A	Martes-Sabado	7	10
Cluster 2	Cliente18	Empresa Tptes. A	Martes-Sabado	5	9
Cluster 3	Cliente19	Empresa Tptes. A	Martes-Sabado	7	10
Cluster 3	Cliente20	Empresa Tptes. A	Martes-Sabado	7	10
Cluster 3	Cliente21	Empresa Tptes. A	Martes-Sabado	8	9
Cluster 3	Cliente22	Empresa Tptes. A	Martes-Sabado	8	9
Cluster 3	Cliente23	Empresa Tptes. A	Martes-Sabado	8	10
Cluster 3	Cliente24	Empresa Tptes. A	Martes-Sábado	7	9
Cluster 3	Cliente25	Empresa Tptes. A	Martes-Sábado	6	9
Cluster 3	Cliente26	Empresa Tptes. B	Martes-Sábado	5	9
Cluster 3	Cliente27	Empresa Tptes. B	Martes-Sábado	8	10
Cluster 4	Cliente28	Empresa Tptes. B	Martes-Sábado	6	9
Cluster 4	Cliente29	Empresa Tptes. B	Martes-Sábado	7	10
Cluster 4	Cliente30	Empresa Tptes. B	Martes-Sábado	6	10
Cluster 4	Cliente31	Empresa Tptes. B	Martes-Sábado	6	10
Cluster 4	Cliente32	Empresa Tptes. B	Martes-Sábado	5	9
Cluster 4	Cliente33	Empresa Tptes. B	Martes-Sábado	7	10
Cluster 4	Cliente34	Empresa Tptes. B	Martes-Sábado	6	9
Cluster 4	Cliente35	Empresa Tptes. B	Martes-Sábado	6	10
Cluster 4	Cliente36	Empresa Tptes. B	Martes-Sábado	7	9
Cluster 5	Cliente37	Empresa Tptes. B	Martes-Sábado	7	10
Cluster 5	Cliente38	Empresa Tptes. H	Martes-Sábado	8	10
Cluster 5	Cliente39	Empresa Tptes. H	Martes-Sábado	5	9

Clúster	Cliente	Transportista	Día Visita	Pedido Histórico Mín. (Cajas)	Pedido Histórico Máx.(Cajas)
Cluster 5	Cliente40	Empresa Tptes. H	Martes-Sábado	6	10
Cluster 5	Cliente41	Empresa Tptes. H	Martes-Sábado	5	10
Cluster 5	Cliente42	Empresa Tptes. H	Martes-Sábado	7	10
Cluster 5	Cliente43	Empresa Tptes. H	Martes-Sábado	8	9
Cluster 5	Cliente44	Empresa Tptes. H	Martes-Sábado	7	9
Cluster 5	Cliente45	Empresa Tptes. H	Martes-Sábado	8	10
Cluster 6	Cliente46	Empresa Tptes. B	Martes-Sábado	5	10
Cluster 6	Cliente47	Empresa Tptes. B	Martes-Sábado	7	10
Cluster 6	Cliente48	Empresa Tptes. B	Martes-Sábado	6	9
Cluster 6	Cliente49	Empresa Tptes. B	Martes-Sábado	7	10
Cluster 6	Cliente50	Empresa Tptes. B	Martes-Sábado	7	9
Cluster 6	Cliente51	Empresa Tptes. H	Martes-Sábado	6	10
Cluster 6	Cliente52	Empresa Tptes. H	Martes-Sábado	8	9
Cluster 6	Cliente53	Empresa Tptes. B	Martes-Sábado	5	9
Cluster 6	Cliente54	Empresa Tptes. B	Martes-Sábado	7	9

Elaboración propia en base a información de DMAC

10.7. Anexo 7: Desarrollo cluster 2, 3, 4, 5 y 6 para modelo de Clarke & Wright

Cluster 2

La tabla 42 detalla las distancias entre sí de todos los puntos involucrados (CD y clientes) del cluster 2.

Tabla 42: Matriz de distancias (km) de Cluster 2

Clientes	Cliente11	Cliente12	Cliente14	Cliente13	Cliente15	Cliente17	Cliente18	Cliente16	Cliente10
CD	35,6	29,8	29,2	27,7	30,5	25,3	30,0	20,0	23,4
Cliente11		20,1	14,5	13,3	10,4	21,5	19,5	17,4	15,1
Cliente12	20,1		3,4	5,1	14,7	4,6	4,3	13,0	14,3
Cliente14	14,5	3,4		2,2	14,8	5,7	5,3	10,9	15,8
Cliente13	13,3	5,1	2,2		17,9	7,7	2,2	11,6	16,5
Cliente15	10,4	14,7	14,8	17,9		14,4	15,0	12,4	9,0
Cliente17	21,5	4,6	5,7	7,7	14,4		1,5	6,9	14,7
Cliente18	32,0	1,8	1,6	3,7	15,0	1,5		8,3	13,2
Cliente16	17,4	13,0	10,9	11,6	12,4	6,9	8,3		5,9
Cliente10	15,1	14,3	15,8	16,5	9,0	14,7	13,2	5,9	

Fuente: Elaboración propia de acuerdo a ubicación de los clientes

En la tabla 43 se resaltan en amarillo los mayores ahorros para formar la ruta óptima del cluster 2.

Tabla 43: Matriz de ahorros (km) de Cluster 2

Clientes	Cliente11	Cliente12	Cliente14	Cliente13	Cliente15	Cliente17	Cliente18	Cliente16	Cliente10
Cliente11		45,3	50,3	50,0	55,7	39,4	46,1	38,2	43,9
Cliente12	45,3		55,6	52,4	45,6	50,5	55,5	36,8	38,9
Cliente14	50,3	55,6		54,7	44,9	48,8	53,9	38,3	36,8
Cliente13	50,0	52,4	54,7		40,3	45,3	55,5	36,1	34,6
Cliente15	55,7	45,6	44,9	40,3		41,4	45,5	38,1	44,9
Cliente17	39,4	50,5	48,8	45,3	41,4		53,8	38,4	34,0
Cliente18	46,1	55,5	53,9	55,5	45,5	53,8		41,7	40,2
Cliente16	38,2	36,8	38,3	36,1	38,1	38,4	41,7		37,5
Cliente10	43,9	38,9	36,8	34,6	44,9	34,0	40,2	37,5	

Fuente: Elaboración propia

La tabla 43 referida a los ahorros permite realizar las iteraciones respectivas, que se detallan a continuación:

Modelo inicial:

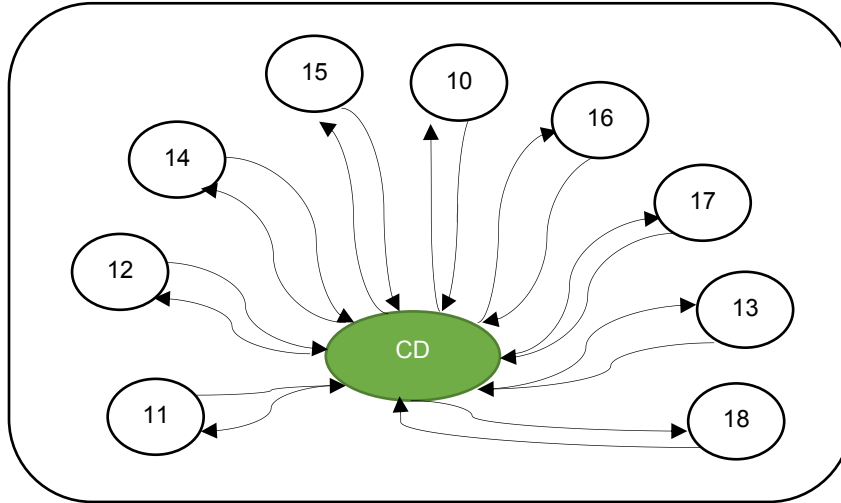


Figura 106: Modelo inicial cluster 2 – C&W

Fuente: Elaboración propia

Primera iteración:

Ahorro de 55,7 km. para ir del cliente 11 al 15.

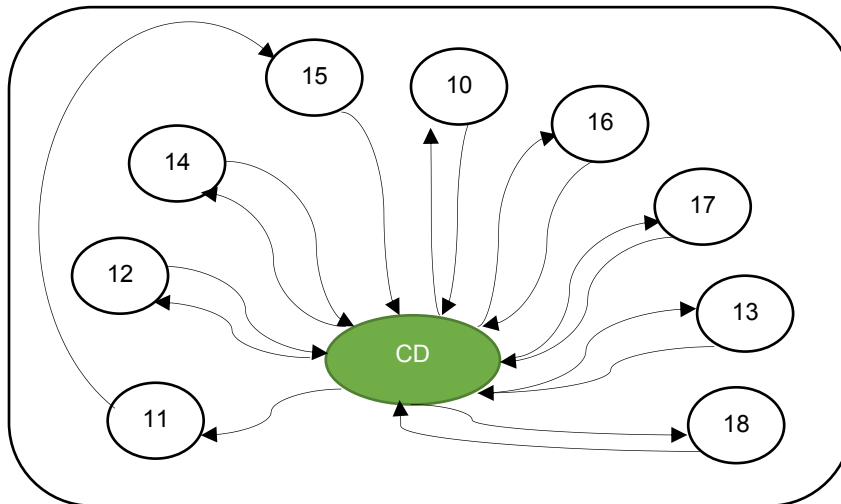


Figura 107: Primera iteración cluster 2 – C&W

Fuente: Elaboración propia

Segunda iteración:

Ahorro de 50,3 km. para ir del cliente 14 al 11.

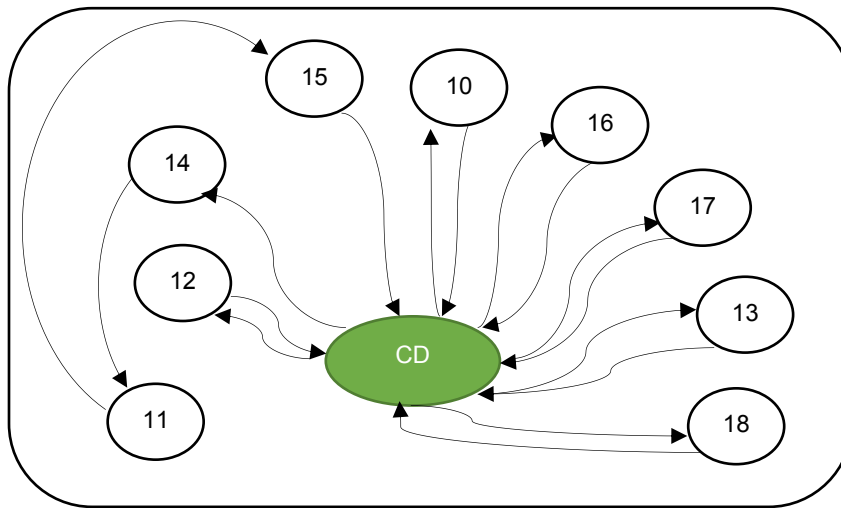


Figura 108: Segunda iteración cluster 2 – C&W
Fuente: Elaboración propia

Tercera iteración:

Ahorro de 55,6 km para ir del cliente 12 al 14.

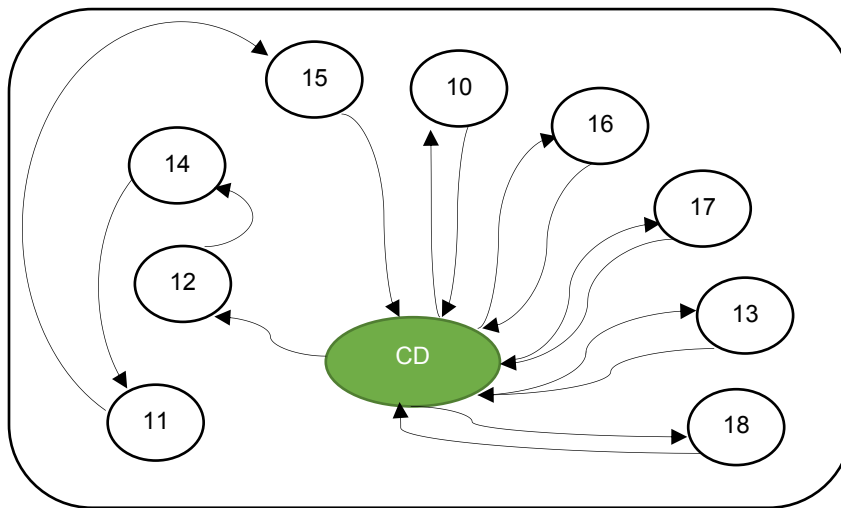


Figura 109: Tercera iteración cluster 2 – C&W
Fuente: Elaboración propia

Cuarta iteración:

Ahorro de 55,5 km. para ir del cliente 18 al 12.

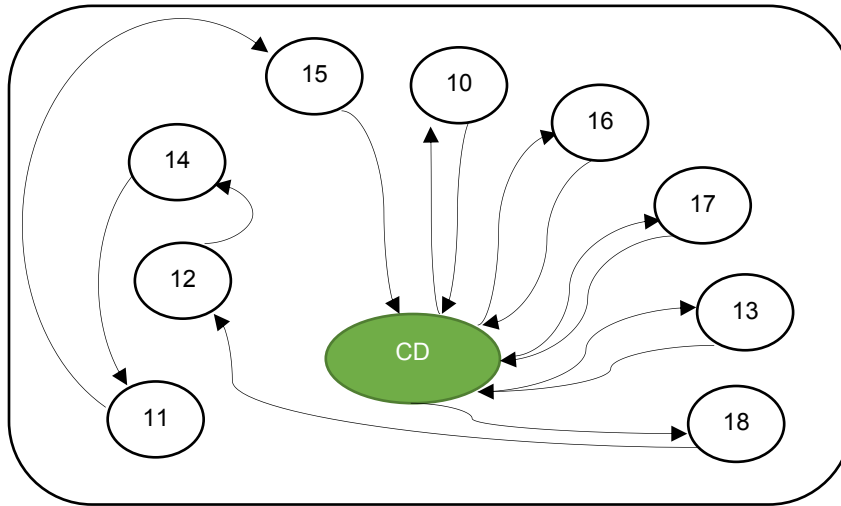


Figura 110: Cuarta iteración cluster 2 – C&W

Fuente: Elaboración propia

Quinta iteración:

Ahorro de 55,5 km. para ir del cliente 13 al 18.

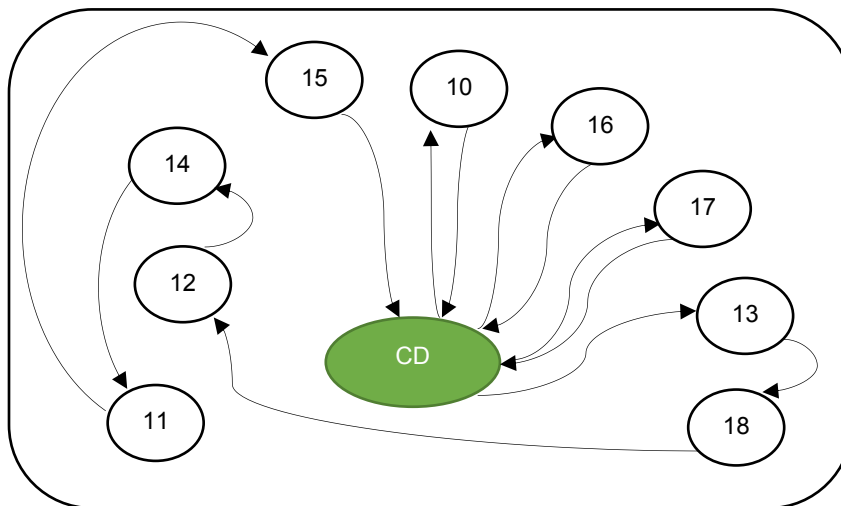


Figura 111: Quinta iteración cluster 2 – C&W

Fuente: Elaboración propia

Sexta iteración:

Ahorro de 45,3 km. para ir del cliente 17 al 13.

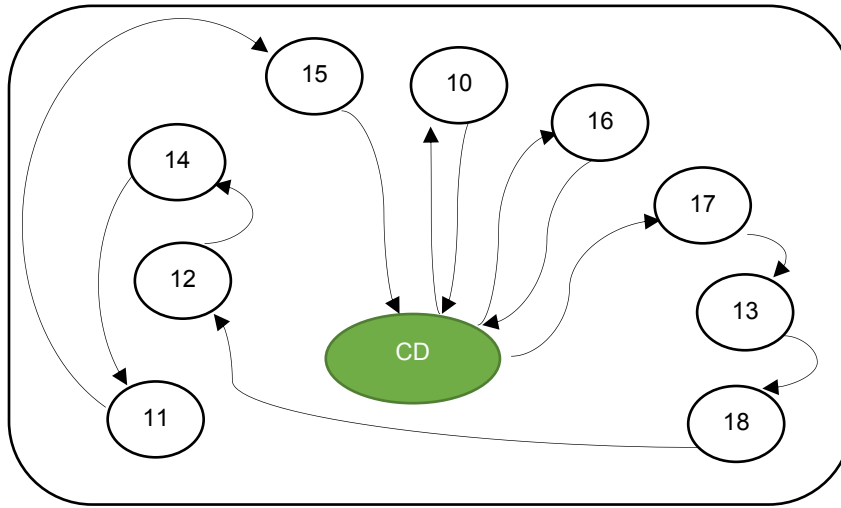


Figura 112: Sexta iteración cluster 2 – C&W

Fuente: Elaboración propia

Séptima iteración:

Ahorro de 44,9 km. para ir del cliente 15 al 10.

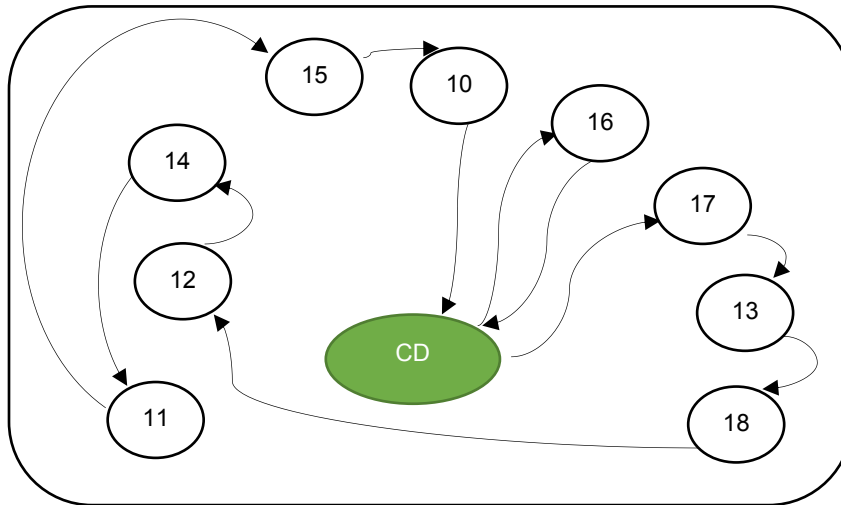


Figura 113: Séptima iteración cluster 2 – C&W

Fuente: Elaboración propia

Octava iteración:

Por último, el cliente que falta por visitar es el 16 y el ahorro de 38,4 km., con el cliente 17 hace que el 16 sea el primero en visitar de este clúster.

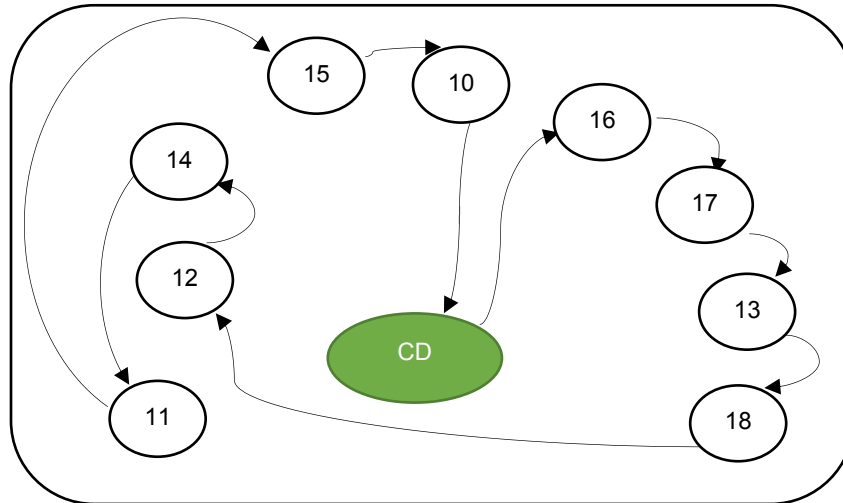


Figura 114: Octava iteración cluster 2 – C&W

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, la ruta óptima para el cluster 2 tiene un total de 99,3 km con la salida de un camión desde la Planta de Quilicura, pasando a visitar a todos los clientes y regresar al mismo punto de origen. La representación gráfica de la ruta se aprecia en la Figura 115, y a continuación se detalla el orden de visita:

12. Planta Quilicura CCU (CD)
13. Cliente16
14. Cliente17
15. Cliente13
16. Cliente18
17. Cliente12
18. Cliente14
19. Cliente11
20. Cliente15
21. Cliente10
22. Planta Quilicura CCU (CD)

CD – 16 – 17 – 13 – 18 – 12 – 14 – 11 – 15 – 10 – CD

Ruta de cluster 2 a seguir:

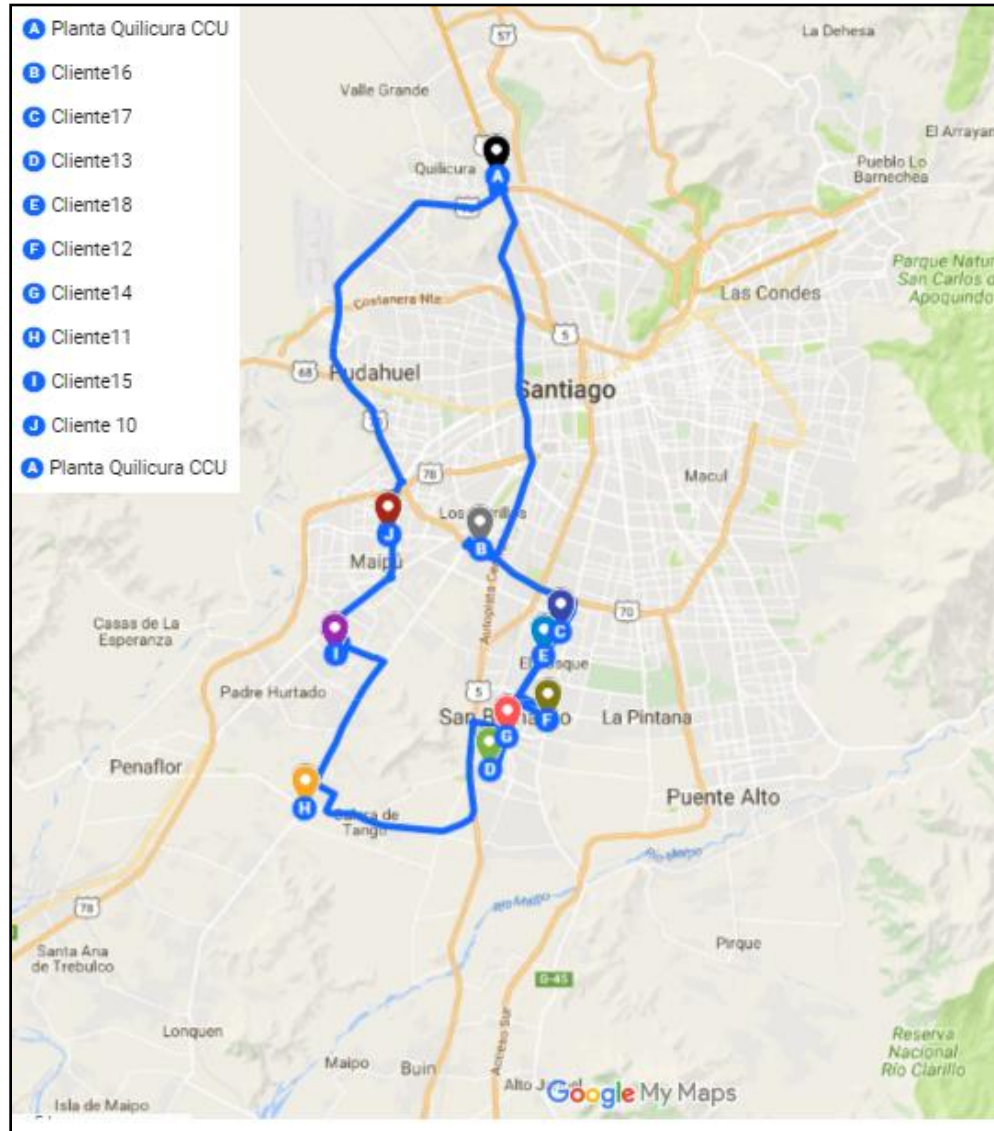


Figura 115: Ruta óptima de cluster 2 – C&W

Fuente: Elaboración propia (<https://www.google.com/maps/d/u/1/edit?authuser=1&mid=18BetP-dxLjAWPHkyXtkIW6LxcsE&ll=-33.57500767307924%2C-70.70490415&z=11>)

Cluster 3

La tabla 44 detalla las distancias entre sí de todos los puntos involucrados (CD y clientes) del cluster 3.

Tabla 44: Matriz de distancias (km) de Cluster 3

Clientes	Cliente21	Cliente20	Cliente19	Cliente23	Cliente22	Cliente24	Cliente25	Cliente26	Cliente27
CD	27,7	24,6	22,5	21,7	22,1	27,0	16,0	16,9	16,2
Cliente21		1,1	6,2	6,6	7,6	17,7	13,9	18,0	15,7
Cliente20	1,1		5,9	6,3	5,0	16,4	13,6	16,1	15,4
Cliente19	6,2	5,9		4,8	4,1	14,9	12,0	14,6	13,9
Cliente23	6,6	6,3	4,8		1,5	12,4	8,8	12,3	11,6
Cliente22	7,6	5,0	4,1	1,5		13,3	10,7	13,2	12,5
Cliente24	17,7	16,4	14,9	12,4	13,3		3,2	6,2	5,3
Cliente25	13,9	13,6	12,0	8,8	10,7	3,2		2,9	2,1
Cliente26	18,0	16,1	14,6	12,3	13,2	6,2	2,9		1,6
Cliente27	15,7	15,4	13,9	11,6	12,5	5,3	2,1	1,6	

Fuente: Elaboración propia de acuerdo a ubicación de los clientes

En la tabla 45 se resaltan en amarillo los mayores ahorros para formar la ruta óptima del cluster 3.

Tabla 45: Matriz de ahorros (km) de Cluster 3

Clientes	Cliente21	Cliente20	Cliente19	Cliente23	Cliente22	Cliente24	Cliente25	Cliente26	Cliente27
Cliente21		51,2	44,0	42,8	42,2	37,0	29,8	26,6	28,2
Cliente20	51,2		41,2	40,0	41,7	35,2	27,0	25,4	25,4
Cliente19	44,0	41,2		39,4	40,5	34,6	26,5	24,8	24,8
Cliente23	42,8	40,0	39,4		42,3	36,3	28,9	26,3	26,3
Cliente22	42,2	41,7	40,5	42,3		35,8	27,4	25,8	25,8
Cliente24	37,0	35,2	34,6	36,3	35,8		39,8	37,7	37,9
Cliente25	29,8	27,0	26,5	28,9	27,4	39,8		30,0	30,1
Cliente26	26,6	25,4	24,8	26,3	25,8	37,7	30,0		31,5
Cliente27	28,2	25,4	24,8	26,3	25,8	37,9	30,1	31,5	

Fuente: Elaboración propia

La tabla 45 referida a los ahorros permite realizar las iteraciones respectivas, que se detallan a continuación:

Modelo inicial:

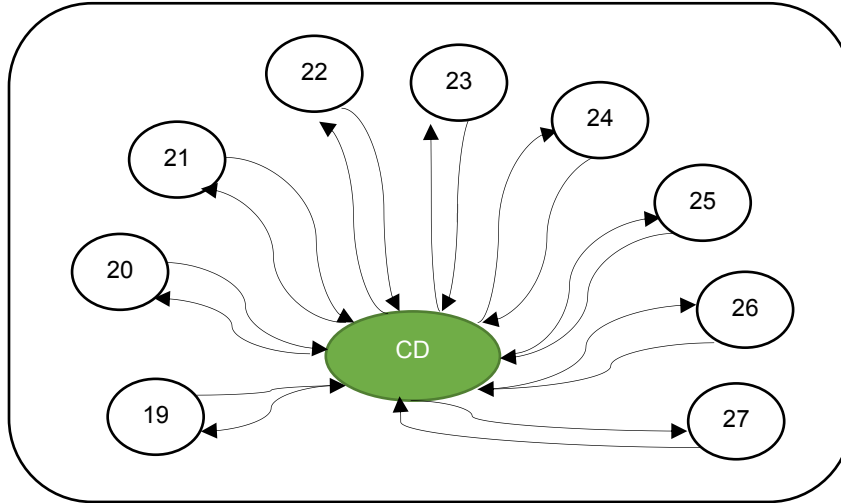


Figura 116: Modelo inicial cluster 3 – C&W

Fuente: Elaboración propia

Primera iteración:

Ahorro de 51,2 km. para ir del cliente 21 al 20.

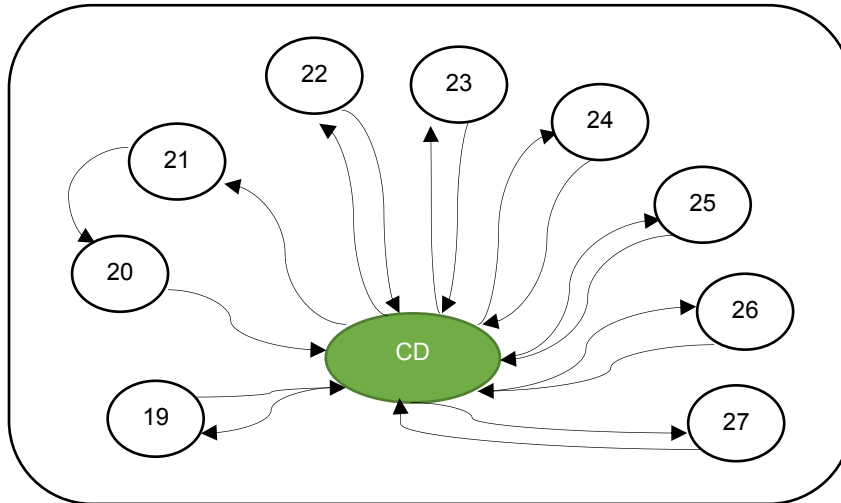


Figura 117: Primera iteración cluster 3 – C&W

Fuente: Elaboración propia

Segunda iteración:

Ahorro de 44 km. para ir del cliente 19 al 21.

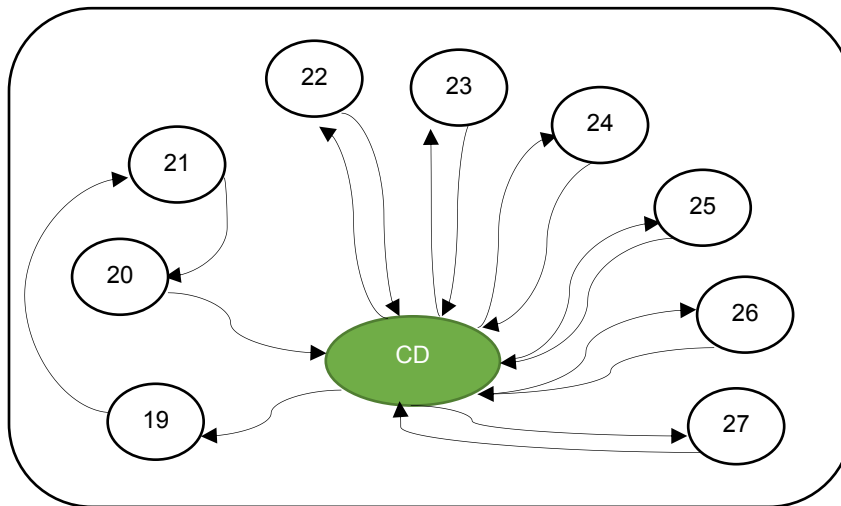


Figura 118: Segunda iteración cluster 3 – C&W
Fuente: Elaboración propia

Tercera iteración:

Ahorro de 41,7 km. para ir del cliente 20 al 22.

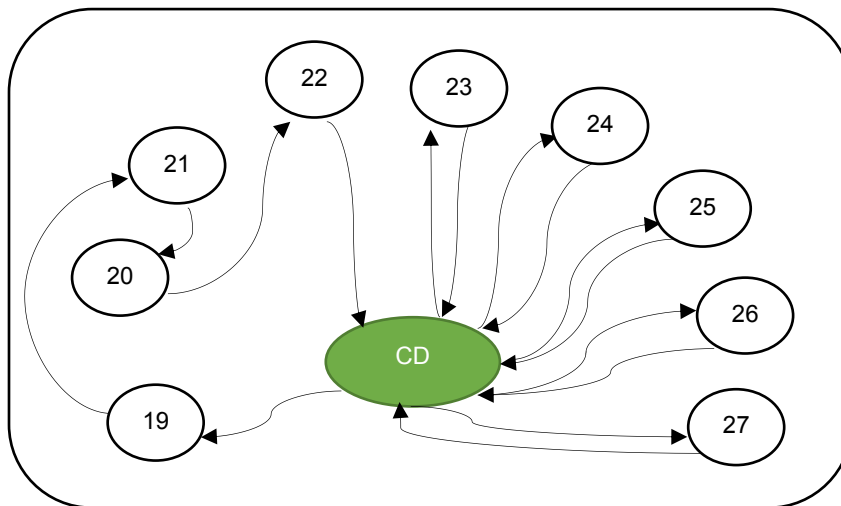


Figura 119: Tercera iteración cluster 3 – C&W
Fuente: Elaboración propia

Cuarta iteración:

Ahorro de 42,3 km. para ir del cliente 22 al 23.

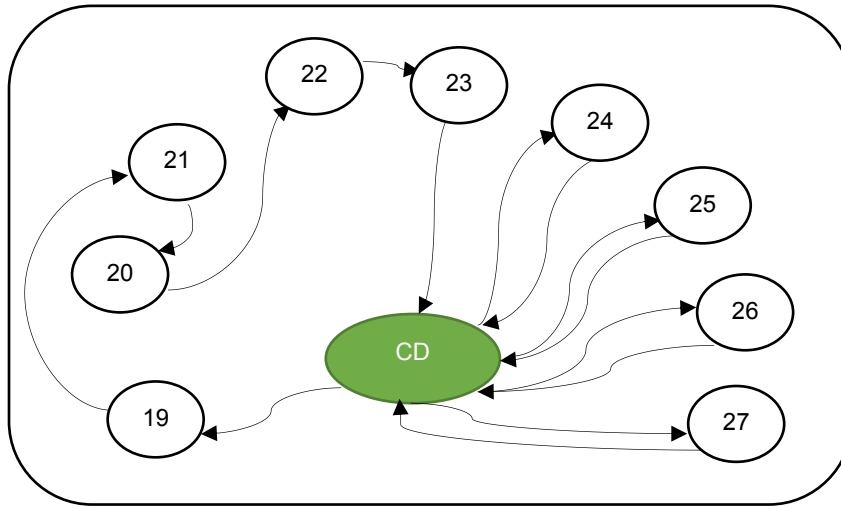


Figura 120: Cuarta iteración cluster 3 – C&W

Fuente: Elaboración propia

Quinta iteración:

Ahorro de 36,3 km. para ir del cliente 23 al 24.

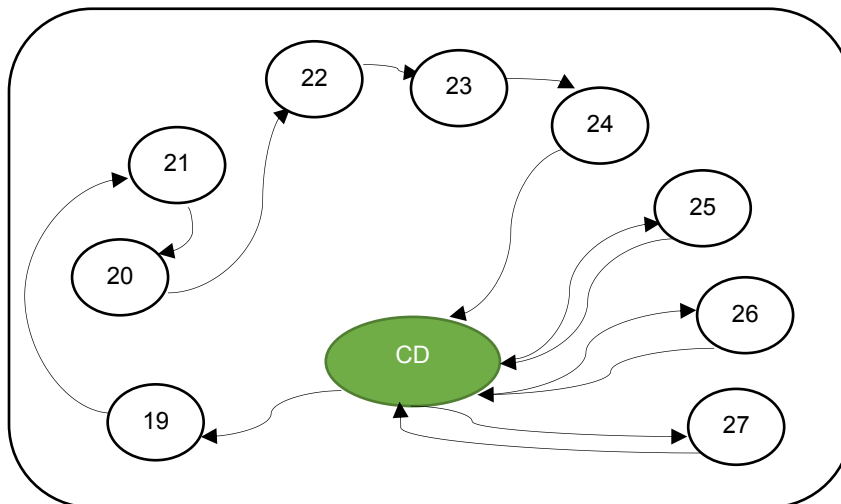


Figura 121: Quinta iteración cluster 3 – C&W

Fuente: Elaboración propia

Sexta iteración:

Ahorro de 39,8 km. para ir del cliente 24 al 25.

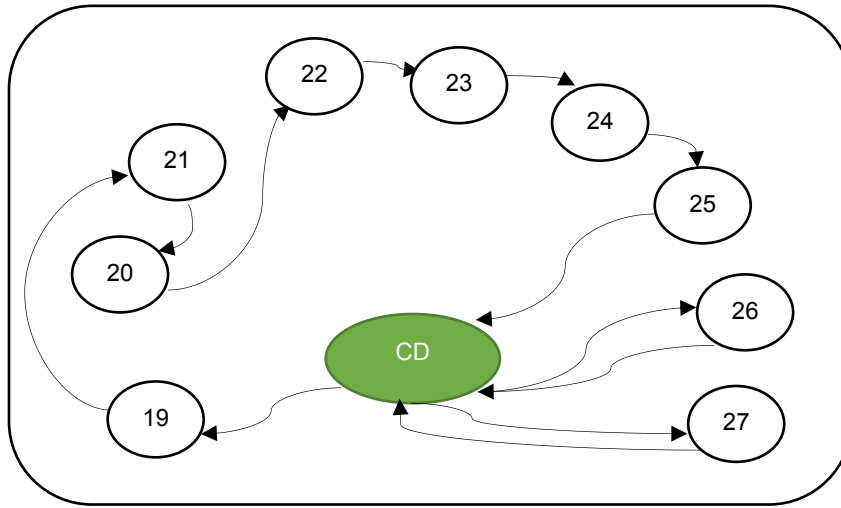


Figura 122: Sexta iteración cluster 3 – C&W

Fuente: Elaboración propia

Séptima iteración:

Ahorro de 30,1 km. para ir del cliente 25 al 27.

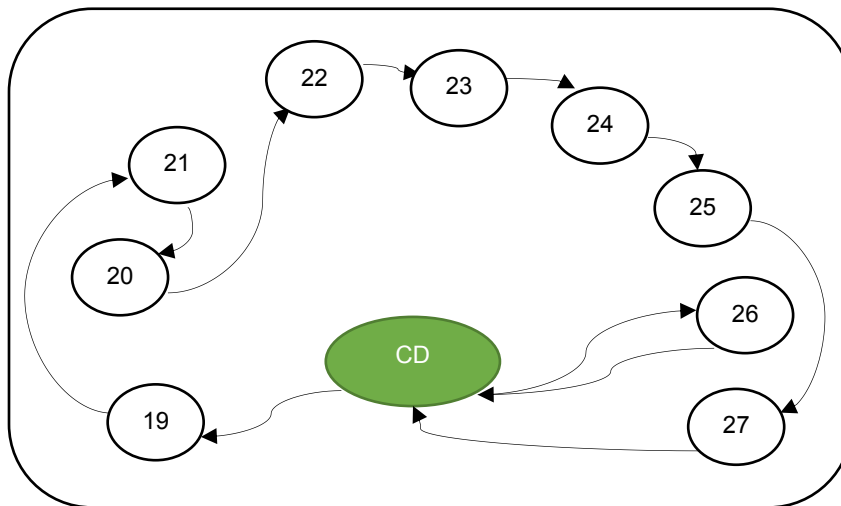


Figura 123: Séptima iteración cluster 3 – C&W

Fuente: Elaboración propia

Octava iteración:

Por último, el ahorro de 31,5 km. para ir del cliente 27 al 26.

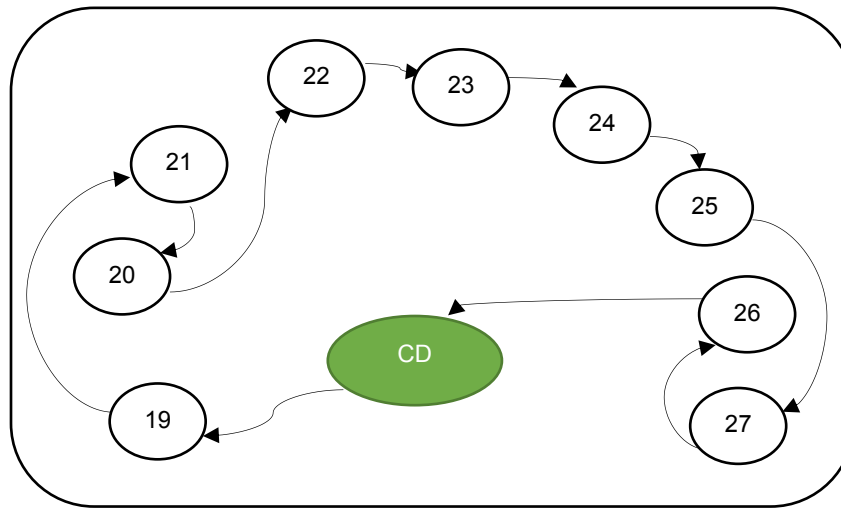


Figura 124: Octava iteración cluster 3 – C&W

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, la ruta óptima para el cluster 3 tiene un total de 72,5 km con la salida de un camión desde la Planta de Quilicura, pasando a visitar a todos los clientes y regresar al mismo punto de origen. La representación gráfica de la ruta se aprecia en la Figura 125, y a continuación se detalla el orden de visita:

12. Planta Quilicura CCU (CD)
13. Cliente19
14. Cliente21
15. Cliente20
16. Cliente22
17. Cliente23
18. Cliente24
19. Cliente25
20. Cliente27
21. Cliente26
22. Planta Quilicura CCU (CD)

CD – 19 – 21 – 20 – 22 – 23 – 24 – 25 – 27 – 26 – CD

Ruta a seguir de cluster 3:

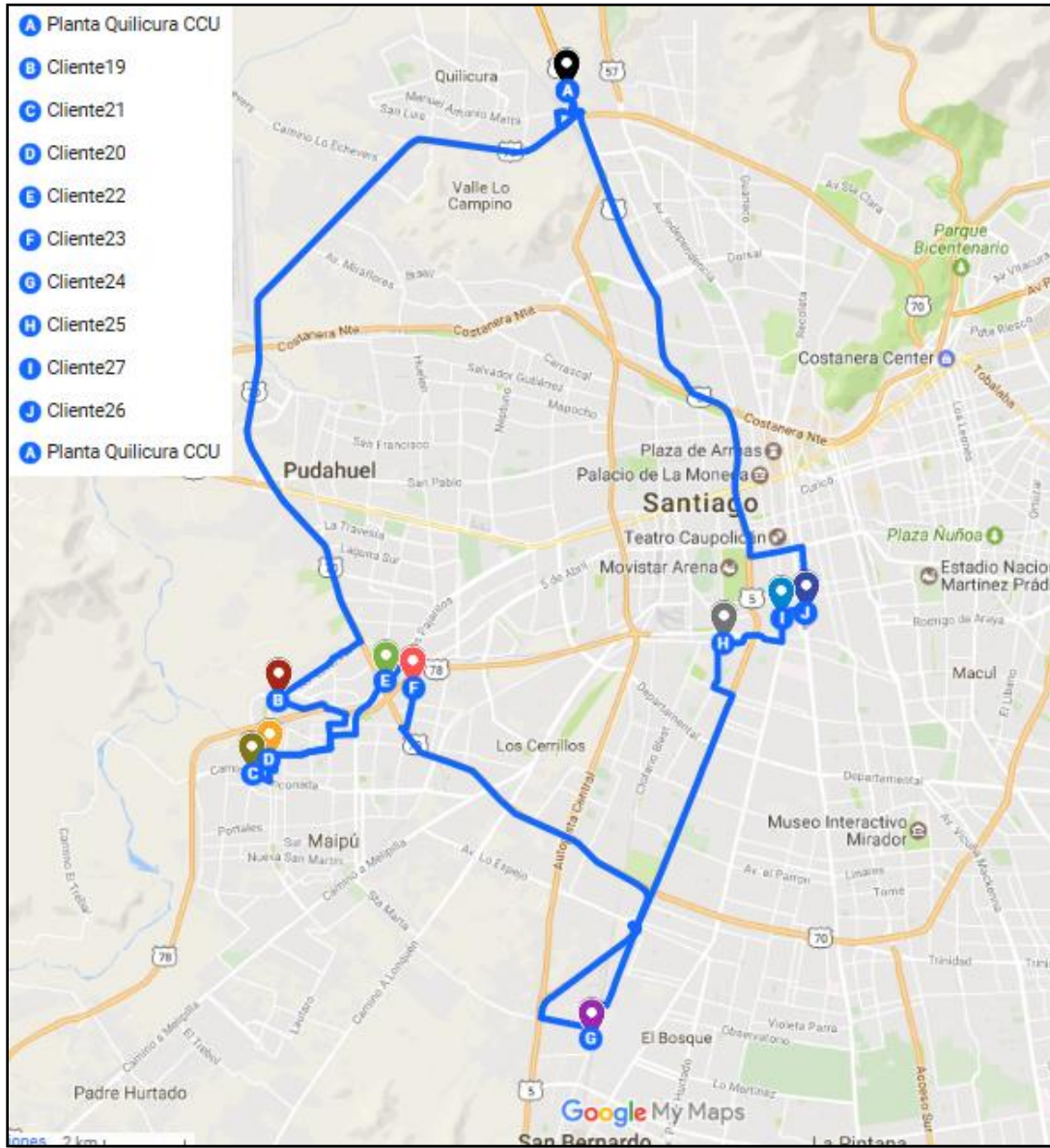


Figura 125: Ruta óptima de cluster 3 – C&W

Fuente: Elaboración propia (<https://www.google.com/maps/d/u/1/edit?authuser=1&mid=18BetP-dxLjAWPPhyXtkIW6LxcsE&ll=-33.57500767307924%2C-70.70490415&z=11>)

Cluster 4

La tabla 46 detalla las distancias entre sí de todos los puntos involucrados (CD y clientes) del cluster 4.

Tabla 46: Matriz de distancias (km) de Cluster 4

Clientes	Cliente28	Cliente36	Cliente35	Cliente34	Cliente33	Cliente32	Cliente30	Cliente31	Cliente29
CD	17,6	11,4	11,1	11,9	12,2	11,5	13,0	11,5	12,7
Cliente28		13,7	14,9	19,3	15,2	13,8	14,3	13,8	14,0
Cliente36	13,7		1,9	2,7	2,9	2,3	3,8	2,2	3,6
Cliente35	14,9	1,9		0,7	1,0	1,6	1,7	2,1	3,4
Cliente34	19,3	2,7	0,7		1,7	1,0	2,3	1,4	2,7
Cliente33	15,2	2,9	1,0	1,7		2,0	2,2	2,0	3,4
Cliente32	13,8	2,3	1,6	1,0	2,0		2,0	0,5	1,7
Cliente30	14,3	3,8	1,7	2,3	2,2	2,0		1,7	2,4
Cliente31	13,8	2,2	2,1	1,4	2,0	0,5	1,7		1,3
Cliente29	14,0	3,6	3,4	2,7	3,4	1,7	2,4	1,3	

Fuente: Elaboración propia de acuerdo a ubicación de los clientes

En la tabla 47 se resaltan en amarillo los mayores ahorros para formar la ruta óptima del cluster 4.

Tabla 47: Matriz de ahorros (km) de Cluster 4

Clientes	Cliente28	Cliente36	Cliente35	Cliente34	Cliente33	Cliente32	Cliente30	Cliente31	Cliente29
Cliente28		15,3	13,8	10,2	14,6	15,3	16,3	15,3	16,3
Cliente36	15,3		20,6	20,6	20,7	20,6	20,6	20,7	20,5
Cliente35	13,8	20,6		22,4	22,3	21,0	22,4	20,5	20,4
Cliente34	10,2	20,6	22,4		22,4	22,5	22,6	22,0	21,9
Cliente33	14,6	20,7	22,3	22,4		21,7	23,0	21,7	21,5
Cliente32	15,3	20,6	21,0	22,5	21,7		22,5	22,6	22,5
Cliente30	16,3	20,6	22,4	22,6	23,0	22,5		22,8	23,3
Cliente31	15,3	20,7	20,5	22,0	21,7	22,6	22,8		22,9
Cliente29	16,3	20,5	20,4	21,9	21,5	22,5	23,3	22,9	

Fuente: Elaboración propia

La tabla 47 referida a los ahorros permite realizar las iteraciones respectivas, que se detallan a continuación:

Modelo inicial:

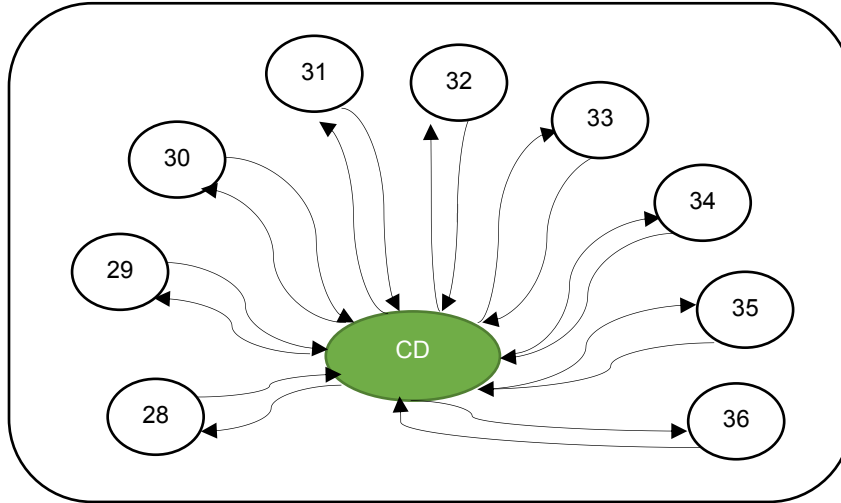


Figura 126: Modelo inicial cluster 4 – C&W

Fuente: Elaboración propia

Primera iteración:

Ahorro de 23,3 km. para ir del cliente 30 al 29.

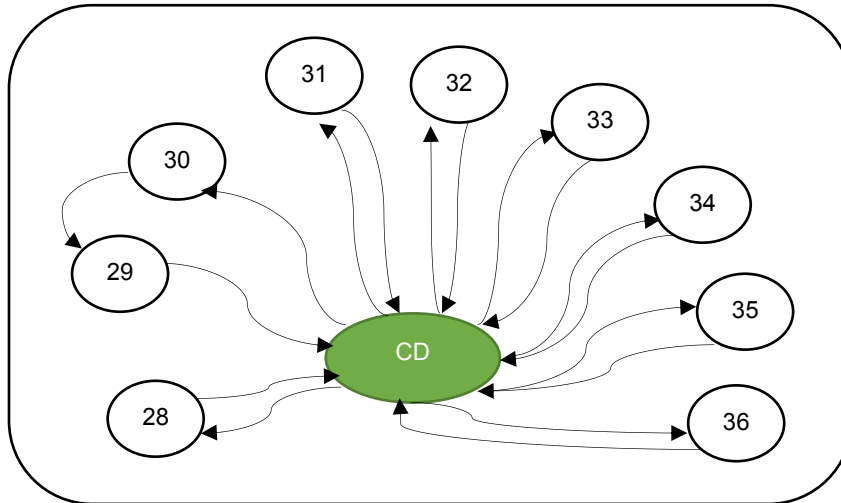


Figura 127: Primera iteración cluster 4 – C&W

Fuente: Elaboración propia

Segunda iteración:

Ahorro de 23 km. para ir del cliente 33 al 30.

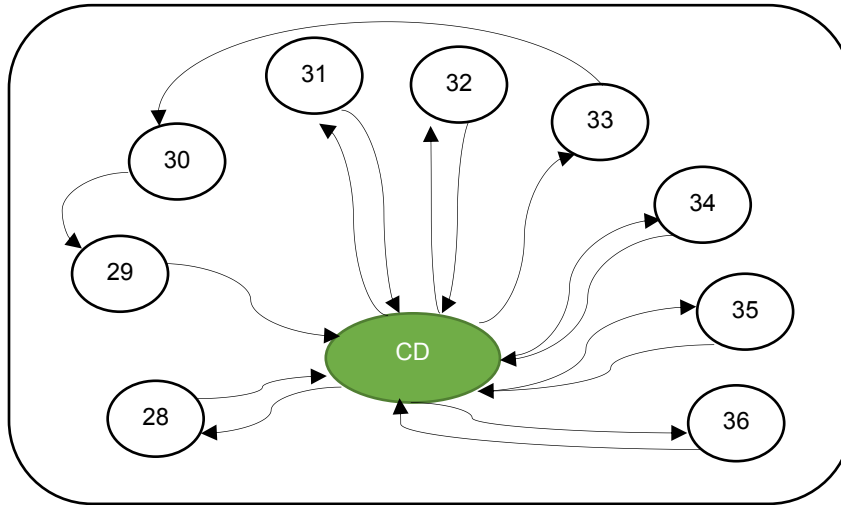


Figura 128: Segunda iteración cluster 4 – C&W
Fuente: Elaboración propia

Tercera iteración:

Ahorro de 22,9 km. para ir del cliente 29 al 31.

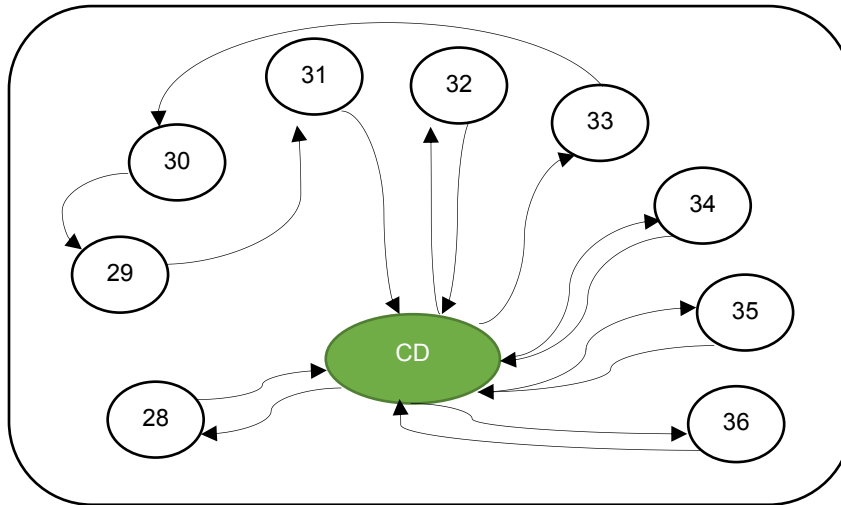


Figura 129: Tercera iteración cluster 4 – C&W
Fuente: Elaboración propia

Cuarta iteración:

Ahorro de 22,6 km. para ir del cliente 31 al 32.

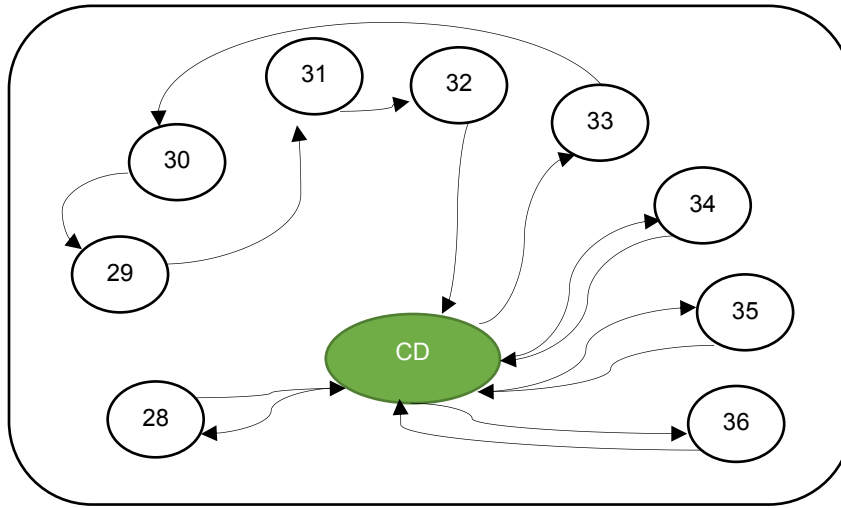


Figura 130: Cuarta iteración cluster 4 – C&W

Fuente: Elaboración propia

Quinta iteración:

Ahorro de 22,5 km. para ir del cliente 32 al 34.

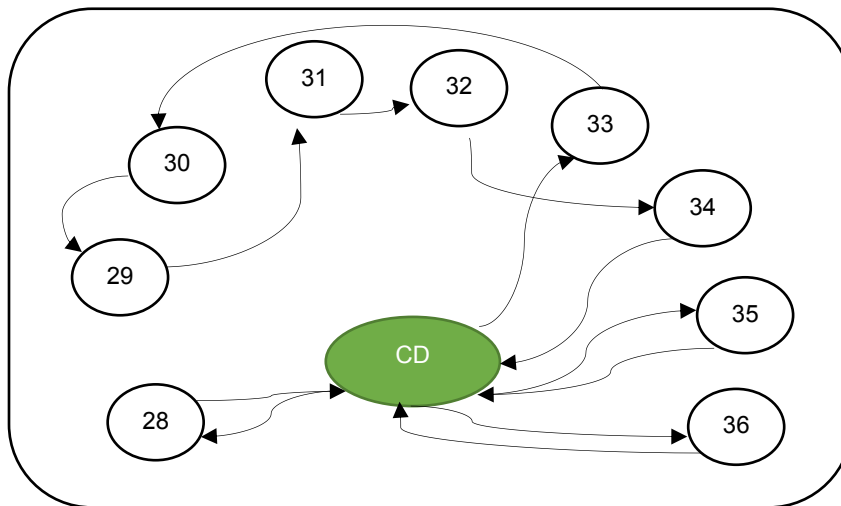


Figura 131: Quinta iteración cluster 4 – C&W

Fuente: Elaboración propia

Sexta iteración:

Ahorro de 22,4 km. para ir del cliente 34 al 35.

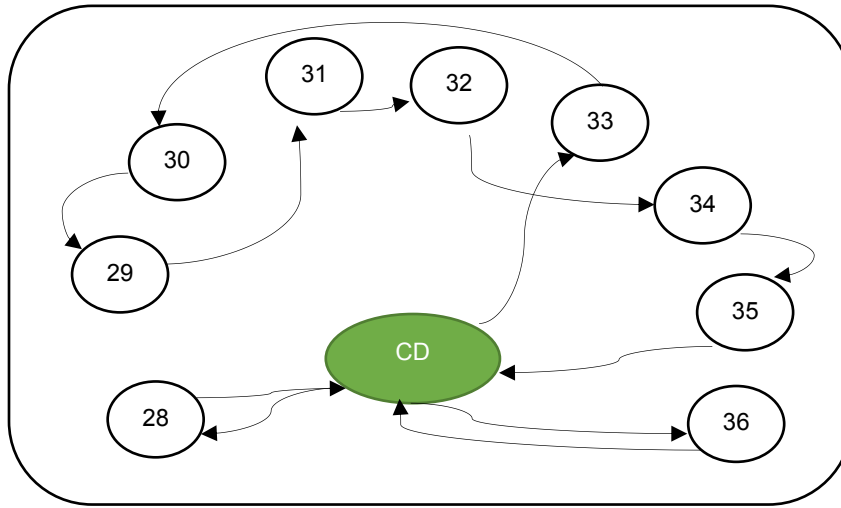


Figura 132: Sexta iteración cluster 4 – C&W

Fuente: Elaboración propia

Séptima iteración:

Ahorro de 20,7 km. para ir del cliente 36 al 33.

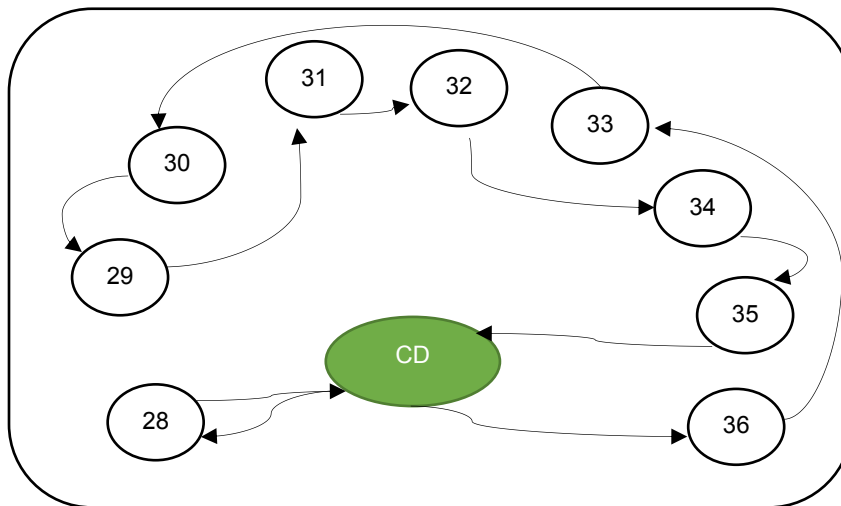


Figura 133: Séptima iteración cluster 4 – C&W

Fuente: Elaboración propia

Octava iteración:

Por último, el ahorro de 15,3 km. para ir del cliente 28 al 36.

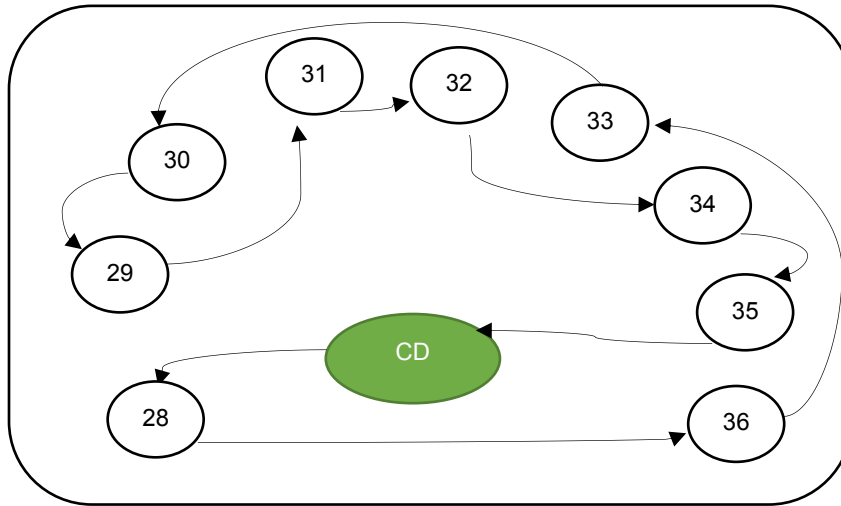


Figura 134: Octava iteración cluster 4 – C&W

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, la ruta óptima para el cluster 4 tiene un total de 53,3 km con la salida de un camión desde la Planta de Quilicura, pasando a visitar a todos los clientes y regresar al mismo punto de origen. La representación gráfica de la ruta se aprecia en la Figura 135, y a continuación se detalla el orden de visita:

12. Planta Quilicura CCU (CD)
13. Cliente28
14. Cliente36
15. Cliente33
16. Cliente30
17. Cliente29
18. Cliente31
19. Cliente32
20. Cliente34
21. Cliente35
22. Planta Quilicura CCU (CD)

CD – 28 – 36 – 33 – 30 – 29 – 31 – 32 – 34 – 35 – CD

Ruta a seguir de cluster 4:

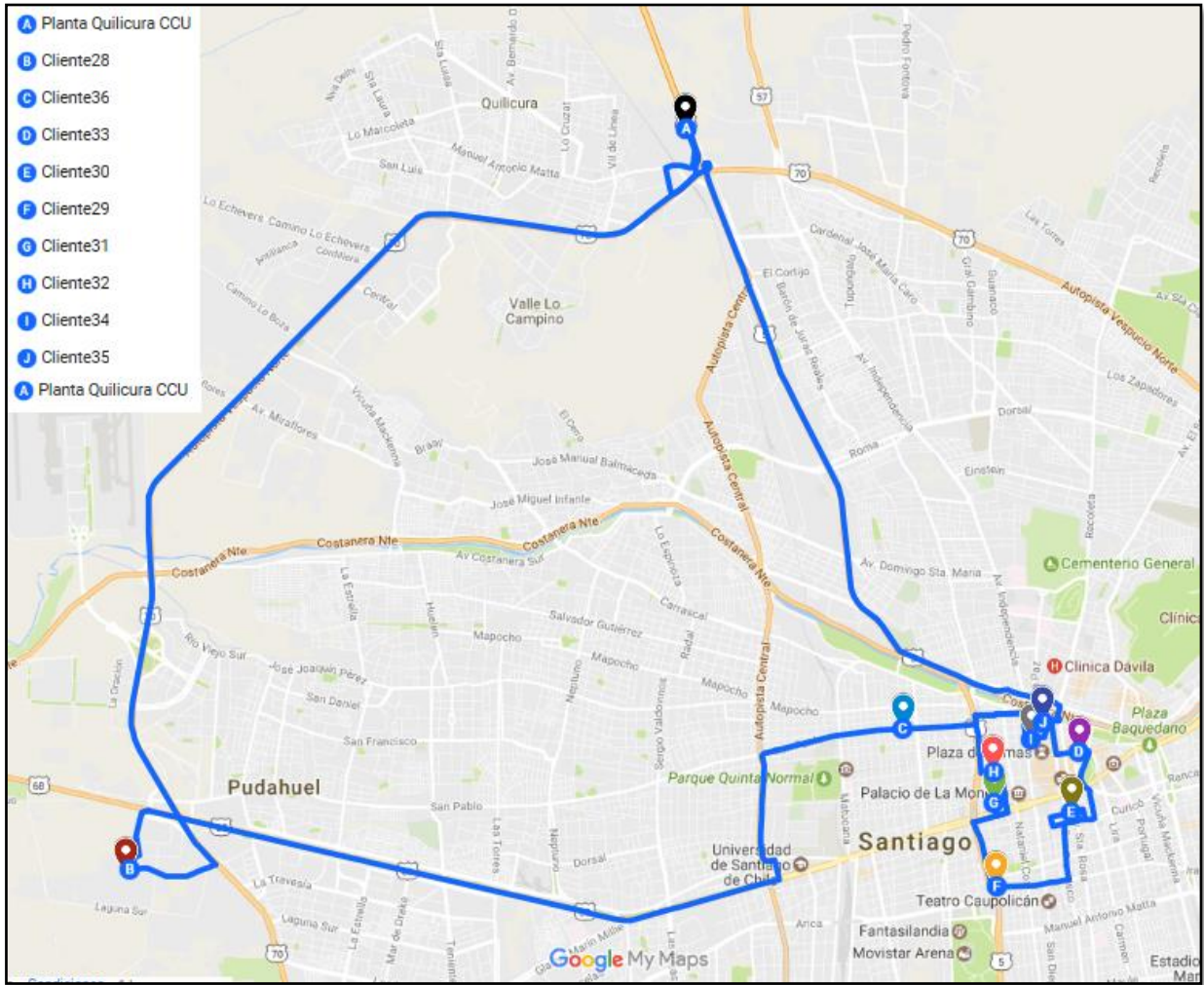


Figura 135: Ruta óptima de cluster 4 – C&W

Fuente: Elaboración propia (<https://www.google.com/maps/d/u/1/edit?authuser=1&mid=18BetP-dxLjAWPHkyXtkIW6LxcsE&ll=-33.57500767307924%2C-70.70490415&z=11>)

Cluster 5

La tabla 48 detalla las distancias entre sí de todos los puntos involucrados (CD y clientes) del cluster 5.

Tabla 48: Matriz de distancias (km) de Clúster 5

Clientes	Cliente37	Cliente45	Cliente38	Cliente41	Cliente42	Cliente43	Cliente44	Cliente39	Cliente40
CD	14,2	20,1	17,1	13,9	14,5	14,1	14,1	14,5	14,6
Cliente37		6,2	3,0	5,8	4,6	6,0	5,3	4,0	4,7
Cliente45	6,2		4,3	6,3	6,6	5,7	6,3	6,8	7,0
Cliente38	3,0	4,3		4,7	2,8	4,1	3,7	2,4	3,2
Cliente41	5,8	6,3	4,7		1,9	2,0	1,3	2,0	1,3
Cliente42	4,6	6,6	2,8	1,9		2,2	1,1	0,6	0,6
Cliente43	6,0	5,7	4,1	2,0	2,2		1,3	2,7	2,0
Cliente44	5,3	6,3	3,7	1,3	1,1	1,3		2,1	1,4
Cliente39	4,0	6,8	2,4	2,0	0,6	2,7	2,1		1,8
Cliente40	4,7	7,0	3,2	1,3	0,6	2,0	1,4	1,8	

Fuente: Elaboración propia de acuerdo a ubicación de los clientes

En la tabla 49 se resaltan en amarillo los mayores ahorros para formar la ruta óptima del cluster 5.

Tabla 49: Matriz de ahorros (km) de Cluster 5

Clientes	Cliente37	Cliente45	Cliente38	Cliente41	Cliente42	Cliente43	Cliente44	Cliente39	Cliente40
Cliente37		28,1	28,3	22,3	24,1	22,3	23,0	24,7	24,1
Cliente45	28,1		32,9	27,7	28,0	28,5	27,9	27,8	27,7
Cliente38	28,3	32,9		26,3	28,8	27,1	27,5	29,2	28,5
Cliente41	22,3	27,7	26,3		26,5	26,0	26,7	26,4	27,2
Cliente42	24,1	28,0	28,8	26,5		26,4	27,5	28,4	28,6
Cliente43	22,3	28,5	27,1	26,0	26,4		26,9	25,9	26,7
Cliente44	23,0	27,9	27,5	26,7	27,5	26,9		26,5	27,3
Cliente39	24,7	27,8	29,2	26,4	28,4	25,9	26,5		27,3
Cliente40	24,1	27,7	28,5	27,2	28,6	26,7	27,3	27,3	

Fuente: Elaboración propia

La tabla 49 referida a los ahorros permite realizar las iteraciones respectivas, que se detallan a continuación:

Modelo inicial:

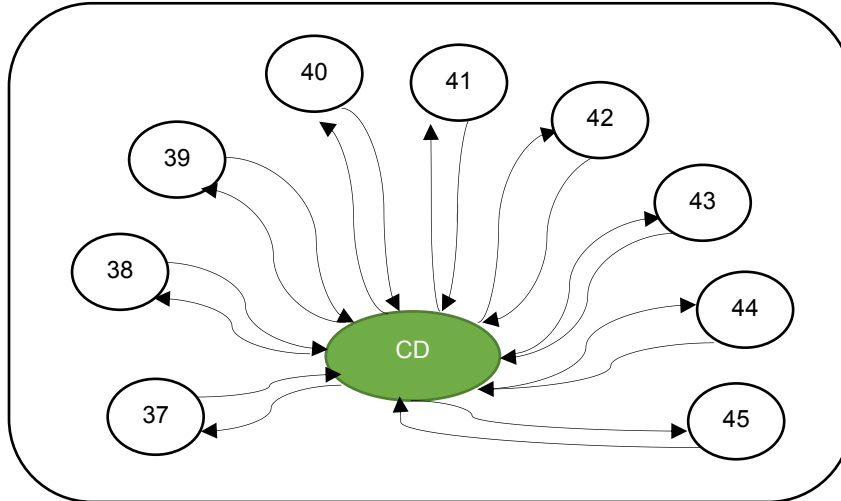


Figura 136: Modelo inicial cluster 5 – C&W

Fuente: Elaboración propia

Primera iteración:

Ahorro de 32,9 km. para ir del cliente 45 al 38.

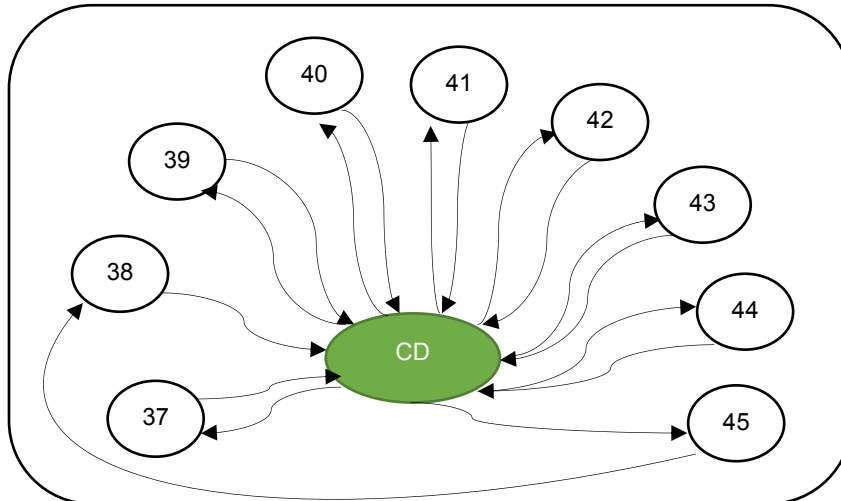


Figura 137: Primera iteración cluster 5 – C&W

Fuente: Elaboración propia

Segunda iteración:

Ahorro de 29,2 km. para ir del cliente 38 al 39.

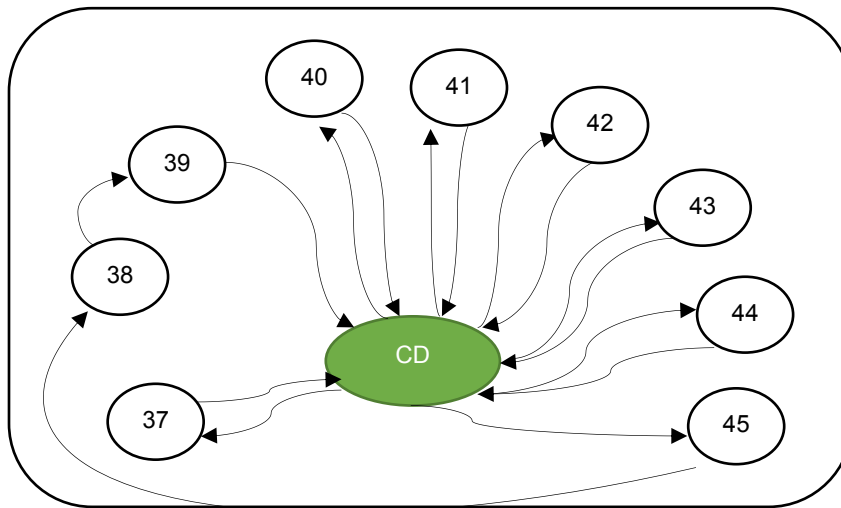


Figura 138: Segunda iteración cluster 5 – C&W
Fuente: Elaboración propia

Tercera iteración:

Ahorro de 28,5 km. para ir del cliente 43 al 45.

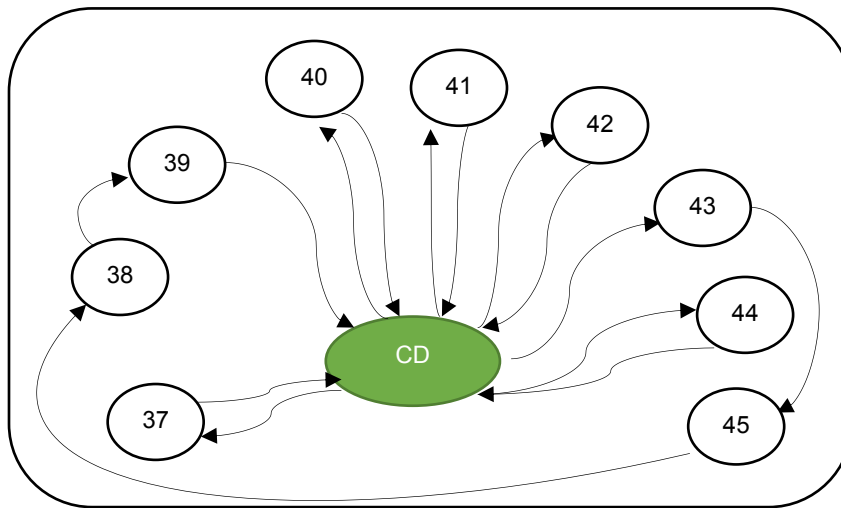


Figura 139: Tercera iteración cluster 5 – C&W
Fuente: Elaboración propia

Cuarta iteración:

Ahorro de 28,4 km. para ir del cliente 39 al 42.

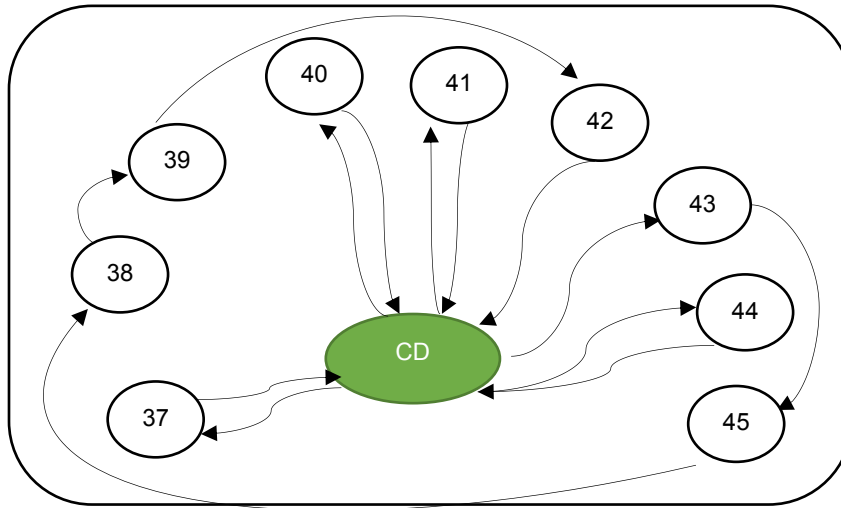


Figura 140: Cuarta iteración cluster 5 – C&W

Fuente: Elaboración propia

Quinta iteración:

Ahorro de 28,6 km. para ir del cliente 42 al 40.

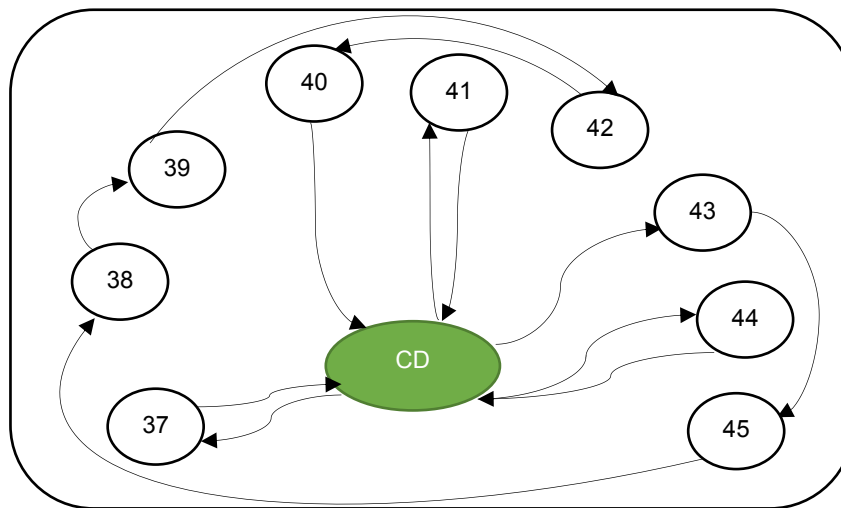


Figura 141: Quinta iteración cluster 5 – C&W

Fuente: Elaboración propia

Sexta iteración:

Ahorro de 27,3 km. para ir del cliente 40 al 44.

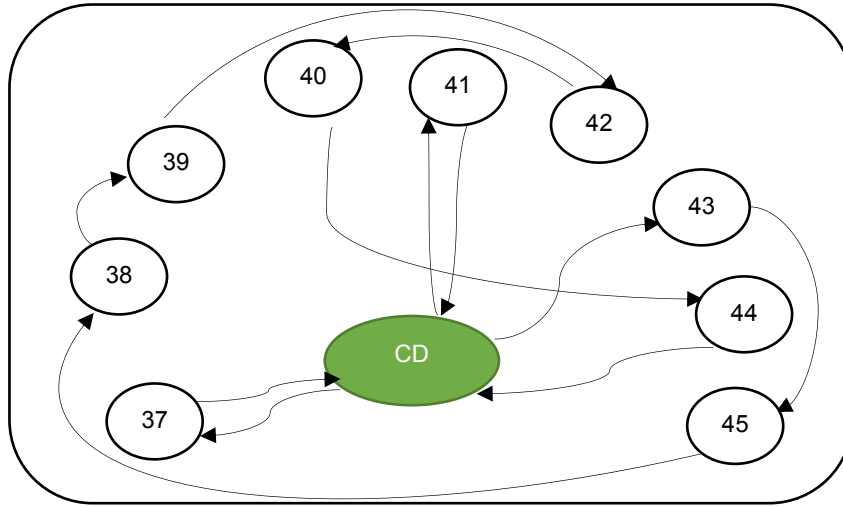


Figura 142: Sexta iteración cluster 5 – C&W

Fuente: Elaboración propia

Séptima iteración:

Ahorro de 26,7 km. para ir del cliente 44 al 41.

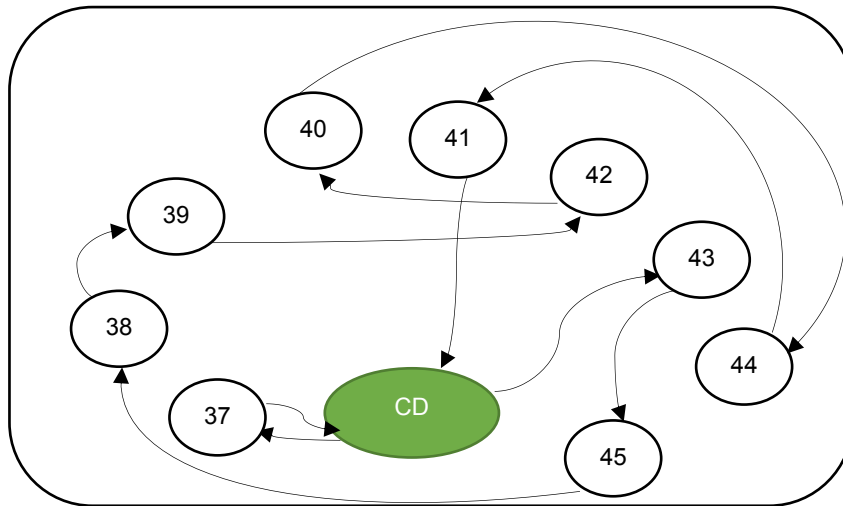


Figura 143: Séptima iteración cluster 5 – C&W

Fuente: Elaboración propia

Octava iteración:

Por último, el ahorro de 2,3 km. para ir del cliente 41 al 37.

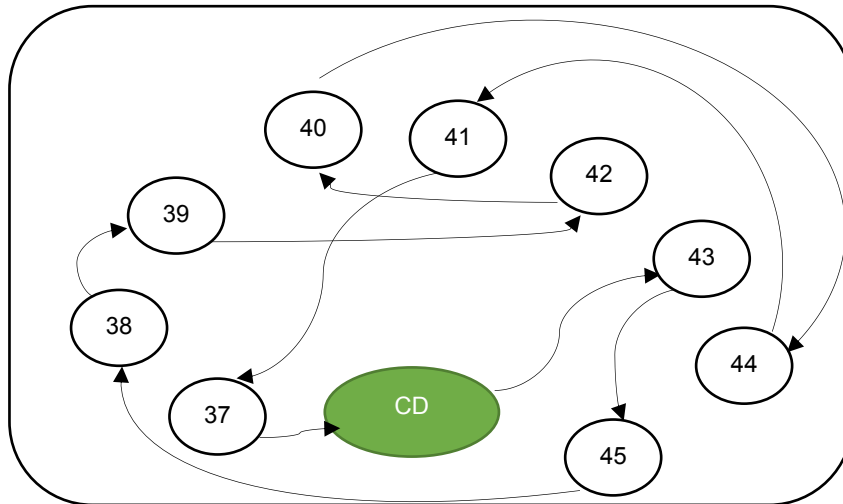


Figura 144: Octava iteración cluster 5 – C&W

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, la ruta óptima para el cluster 5 tiene un total de 50,4 km con la salida de un camión desde la Planta de Quilicura, pasando a visitar a todos los clientes y regresar al mismo punto de origen. La representación gráfica de la ruta se aprecia en la Figura 145, y a continuación se detalla el orden de visita:

12. Planta Quilicura CCU (CD)
13. Cliente43
14. Cliente45
15. Cliente38
16. Cliente39
17. Cliente42
18. Cliente40
19. Cliente44
20. Cliente41
21. Cliente37
22. Planta Quilicura CCU (CD)

CD – 43 – 45 – 38 – 39 – 42 – 40 – 44 – 41 – 37 – CD

Ruta a seguir de cluster 5:

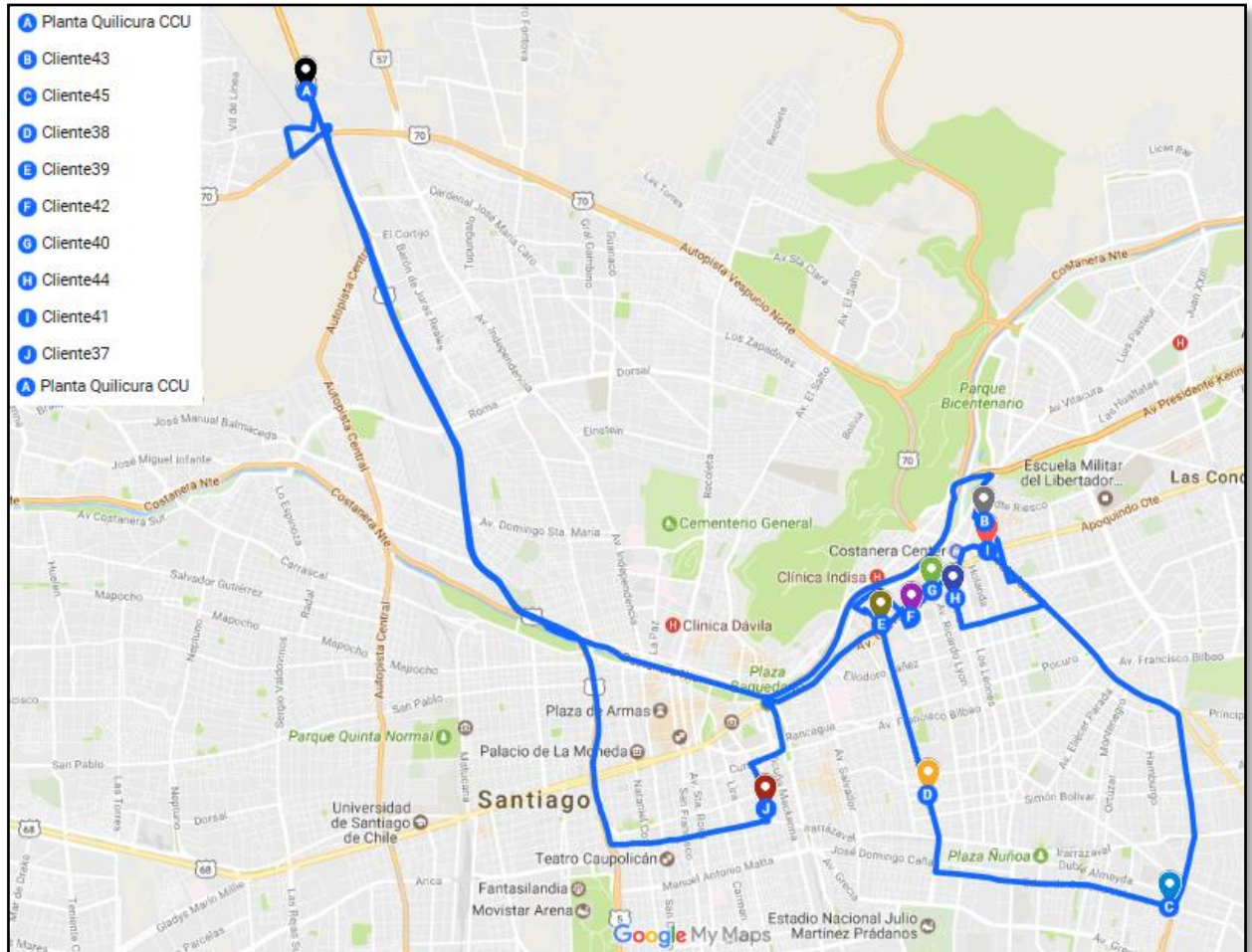


Figura 145: Ruta óptima de cluster 5 – C&W

Fuente: Elaboración propia (<https://www.google.com/maps/d/u/1/edit?authuser=1&mid=18BetP-dxLjAWPHkyXtkIW6LxcsE&ll=-33.57500767307924%2C-70.70490415&z=11>)

Cluster 6

La tabla 50 detalla las distancias entre sí de todos los puntos involucrados (CD y clientes) del cluster 5.

Tabla 50: Matriz de distancias (km) de Cluster 6

Clientes	Cliente52	Cliente51	Cliente53	Cliente50	Cliente46	Cliente47	Cliente49	Cliente48	Cliente54
CD	14,0	14,8	10,6	14,2	23,5	22,7	21,3	23,5	3,3
Cliente52		1,2	5,7	3,2	13,5	12,4	10,1	13,2	13,5
Cliente51	1,2		6,5	2,4	12,7	14,3	9,2	15,1	13,5
Cliente53	5,7	6,5		6,0	15,3	14,5	13,1	15,3	9,5
Cliente50	3,2	2,4	6,0		11,3	10,6	8,5	11,3	13,4
Cliente46	13,5	12,7	15,3	11,3		5,4	5,8	6,2	25,5
Cliente47	12,4	14,3	14,5	10,6	5,4		2,5	2,1	24,6
Cliente49	10,1	9,2	13,1	8,5	5,8	2,5		3,1	23,7
Cliente48	13,2	15,1	15,3	11,3	6,2	2,1	3,1		25,4
Cliente54	13,5	13,5	9,5	13,4	25,5	24,6	23,7	25,4	

Fuente: Elaboración propia de acuerdo a ubicación de los clientes

En la tabla 51 se resaltan en amarillo los mayores ahorros para formar la ruta óptima del cluster 6.

Tabla 51: Matriz de ahorros (km) de Cluster 6

Clientes	Cliente52	Cliente51	Cliente53	Cliente50	Cliente46	Cliente47	Cliente49	Cliente48	Cliente54
Cliente52		27,6	18,9	25,0	24,0	24,3	25,2	24,3	3,8
Cliente51	27,6		18,9	26,6	25,6	23,2	26,9	23,2	4,6
Cliente53	18,9	18,9		18,8	18,8	18,8	18,8	18,8	4,4
Cliente50	25,0	26,6	18,8		26,4	26,3	27,0	26,4	4,1
Cliente46	24,0	25,6	18,8	26,4		40,8	39,0	40,8	1,3
Cliente47	24,3	23,2	18,8	26,3	40,8		41,5	44,1	1,4
Cliente49	25,2	26,9	18,8	27,0	39,0	41,5		41,7	0,9
Cliente48	24,3	23,2	18,8	26,4	40,8	44,1	41,7		1,4
Cliente54	3,8	4,6	4,4	4,1	1,3	1,4	0,9	1,4	

Fuente: Elaboración propia

La tabla 51 referida a los ahorros permite realizar las iteraciones respectivas, que se detallan a continuación:

Modelo inicial:

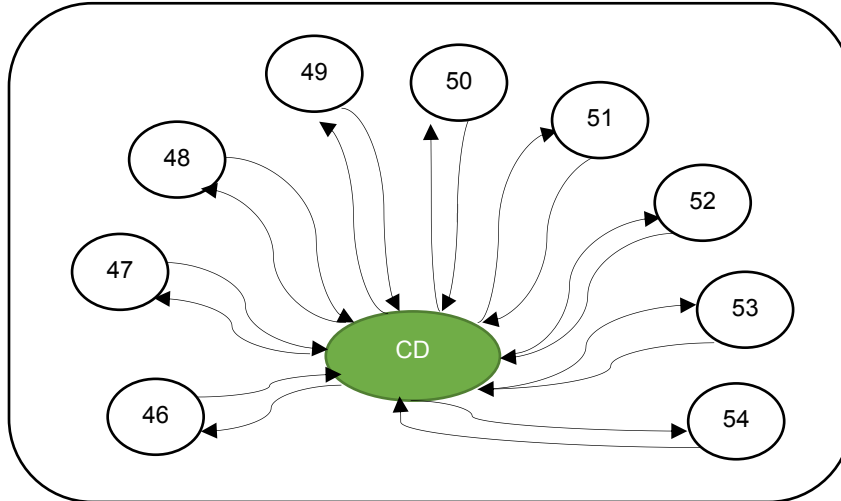


Figura 146: Modelo inicial cluster 6 – C&W

Fuente: Elaboración propia

Primera iteración:

Ahorro de 44,1 km. para ir del cliente 47 al 48.

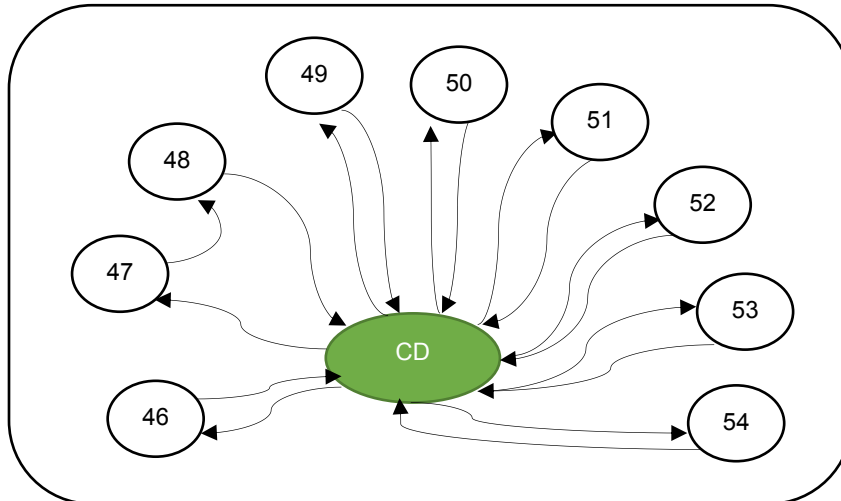


Figura 147: Primera iteración cluster 6 – C&W

Fuente: Elaboración propia

Segunda iteración:

Ahorro de 41,7 km. para ir del cliente 48 al 49.

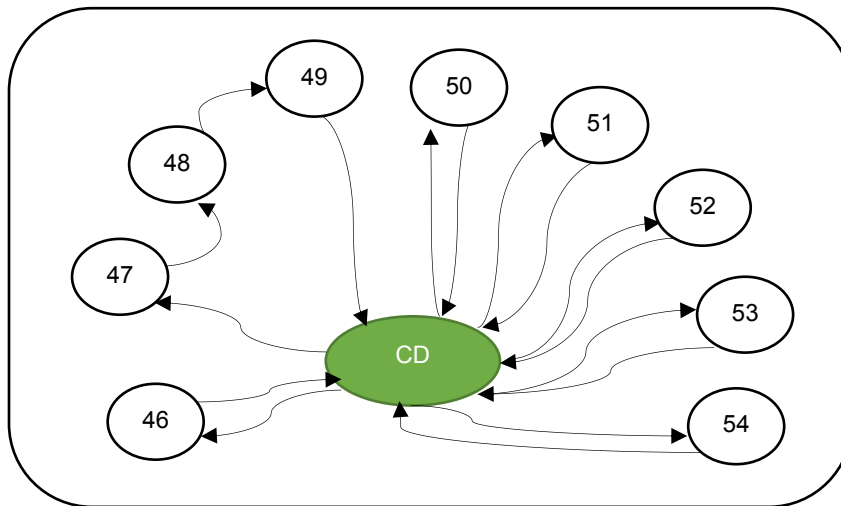


Figura 148: Segunda iteración cluster 6 – C&W
Fuente: Elaboración propia

Tercera iteración:

Ahorro de 40,8 km. para ir del cliente 46 al 47.

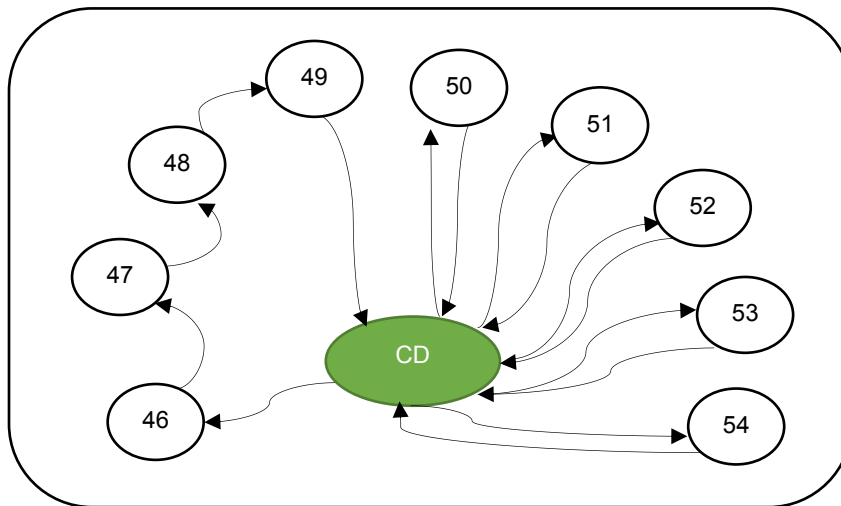


Figura 149: Tercera iteración cluster 6 – C&W
Fuente: Elaboración propia

Cuarta iteración:

Ahorro de 27 km. para ir del cliente 49 al 50.

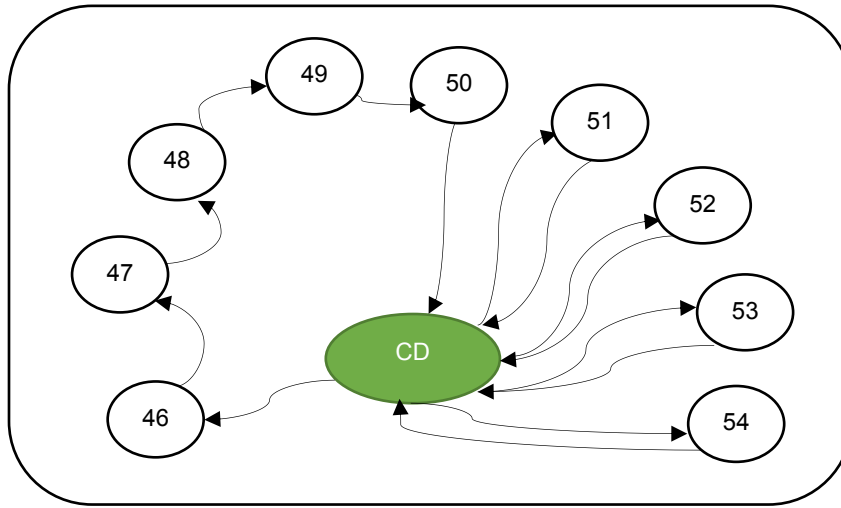


Figura 150: Cuarta iteración cluster 6 – C&W
Fuente: Elaboración propia

Quinta iteración:

Ahorro de 26,6 km. para ir del cliente 50 al 51.

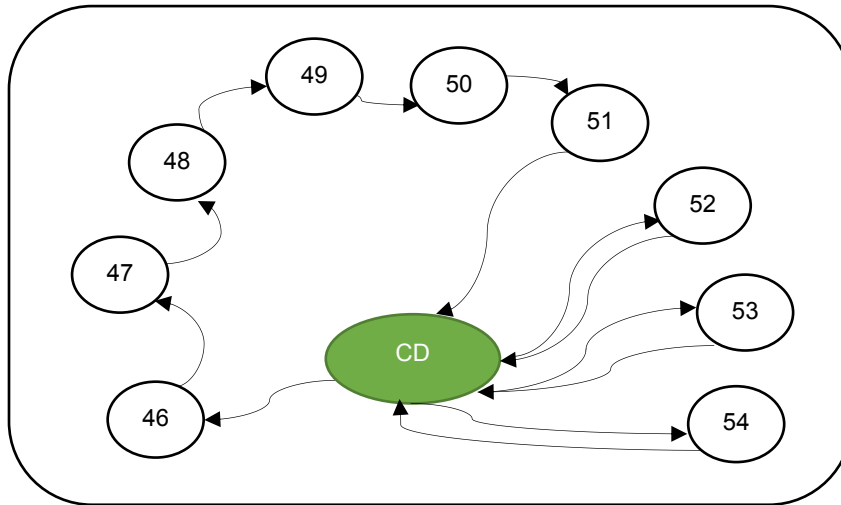


Figura 151: Quinta iteración cluster 6 – C&W
Fuente: Elaboración propia

Sexta iteración:

Ahorro de 27,6 km. para ir del cliente 51 al 52.

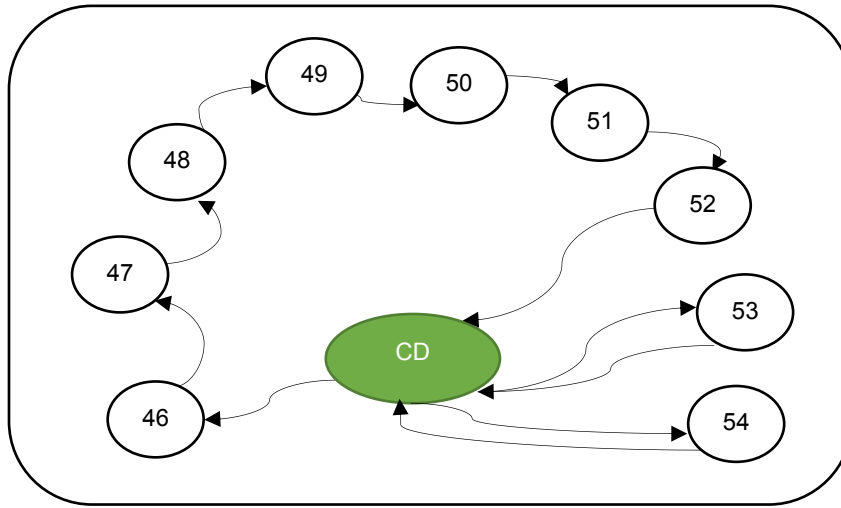


Figura 152: Sexta iteración cluster 6 – C&W

Fuente: Elaboración propia

Séptima iteración:

Ahorro de 18,9 km. para ir del cliente 52 al 53.

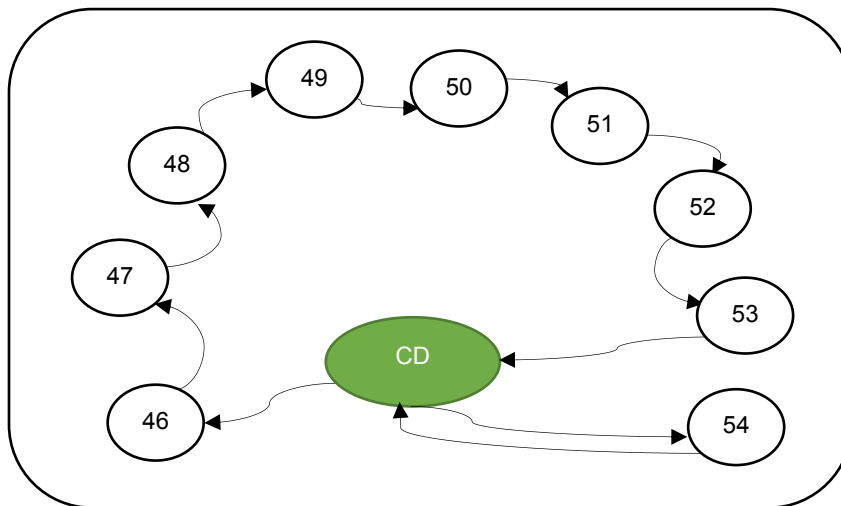


Figura 153: Séptima iteración cluster 6 – C&W

Fuente: Elaboración propia

Octava iteración:

Por último, el ahorro de 4,4 km. para ir del cliente 53 al 54.

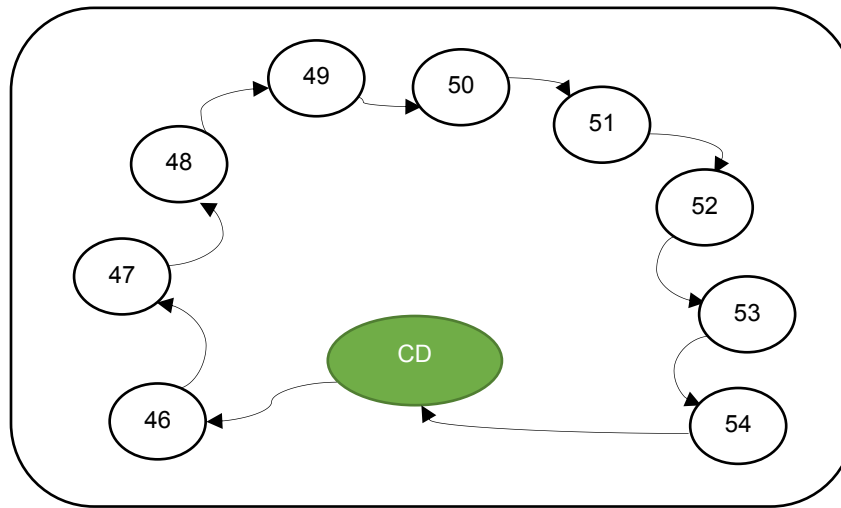


Figura 154: Octava iteración cluster 6 – C&W

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, la ruta óptima para el cluster 6 tiene un total de 64,7 km con la salida de un camión desde la Planta de Quilicura, pasando a visitar a todos los clientes y regresar al mismo punto de origen. La representación gráfica de la ruta se aprecia en la Figura 155, y a continuación se detalla el orden de visita:

12. Planta Quilicura CCU (CD)
13. Cliente46
14. Cliente47
15. Cliente48
16. Cliente49
17. Cliente50
18. Cliente51
19. Cliente52
20. Cliente53
21. Cliente54
22. Planta Quilicura CCU (CD)

CD – 46 – 47 – 48 – 49 – 50 – 51 – 52 – 53 – 54 – CD

Ruta a seguir de cluster 6:

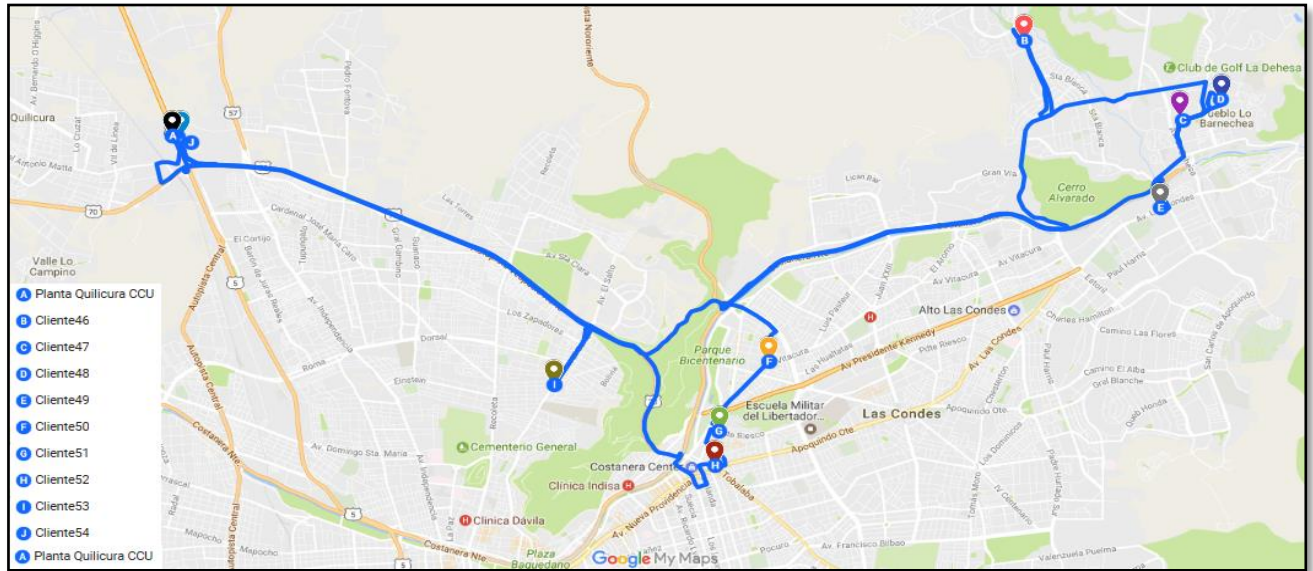


Figura 155: Ruta óptima de cluster 6 – C&W

Fuente: Elaboración propia (<https://www.google.com/maps/d/u/1/edit?authuser=1&mid=18BetP-dxLjAWPHkyXtkIW6LxcsE&ll=-33.57500767307924%2C-70.70490415&z=11>)

10.8. Anexo 8: Tabla para cálculo IPC de tasa de descuento

		UTM (1)	UTA (2)	Indice de Precios al Consumidor (IPC)	Variación Porcentual		
				Valor en puntos	Mensual (3)	Acumulado 2011 (4)	Últimos 12 meses (5)
				-6			
2011	Enero	37.643	451.716	102,76	0,3	0,3	2,7
	Febrero	37.681	452.172	102,98	0,2	0,5	2,7
	Marzo	37.794	453.528	103,77	0,8	1,3	3,4
	Abril	37.870	454.440	104,10	0,3	1,6	3,2
	Mayo	38.173	458.076	104,52	0,4	2,0	3,3
	Junio	38.288	459.456	104,70	0,2	2,2	3,4
	Julio	38.441	461.292	104,83	0,1	2,3	2,9
	Agosto	38.518	462.216	105,00	0,2	2,5	3,2
	Septiembre	38.557	462.684	105,52	0,5	3,0	3,3
	Octubre	38.634	463.608	106,03	0,5	3,5	3,7
	Noviembre	38.827	465.924	106,37	0,3	3,8	3,9
	Diciembre	39.021	468.252	107,02	0,6	4,4	4,4
2012	Enero	39.138	469.656	107,11	0,1	0,1	4,2
	Febrero	39.373	472.476	107,53	0,4	0,5	4,4
	Marzo	39.412	472.944	107,70	0,2	0,6	3,8
	Abril	39.570	474.840	107,76	0,1	0,7	3,5
	Mayo	39.649	475.788	107,79	0,0	0,7	3,1
	Junio	39.689	476.268	107,47	-0,3	0,4	2,7
	Julio	39.689	476.268	107,46	0,0	0,4	2,5
	Agosto	39.570	474.840	107,69	0,2	0,6	2,6
	Septiembre	39.570	474.840	108,52	0,8	1,4	2,8
	Octubre	39.649	475.788	109,13	0,6	2,0	2,9
	Noviembre	39.966	479.592	108,64	-0,5	1,5	2,1
	Diciembre	40.206	482.472	108,61	0,0	1,5	1,5
2013	Enero	40.005	480.060	108,80	0,2	0,2	1,6
	Febrero	40.005	480.060	108,93	0,1	0,3	1,3
	Marzo	40.085	481.020	109,35	0,4	0,7	1,5
	Abril	40.125	481.500	108,82	-0,5	0,2	1,0
	Mayo	40.286	483.432	108,81	0,0	0,2	0,9
	Junio	40.085	481.020	109,51	0,6	0,8	1,9
	Julio	40.085	481.020	109,79	0,3	1,1	2,2
	Agosto	40.326	483.912	110,06	0,2	1,3	2,2

	Septiembre	40.447	485.364	110,65	0,5	1,9	2,0
	Octubre	40.528	486.336	110,80	0,1	2,0	1,5
	Noviembre	40.731	488.772	111,22	0,4	2,4	2,4
	Diciembre	40.772	489.264	111,88	0,6	3,0	3,0
2014	Enero	40.935	491.220	101,69	0,2	0,2	3,0
	Febrero	41.181	494.172	102,18	0,5	0,7	3,4
	Marzo	41.263	495.156	103,04	0,8	1,5	3,9
	Abril	41.469	497.628	103,68	0,6	2,1	5,0
	Mayo	41.801	501.612	104,03	0,3	2,5	5,4
	Junio	42.052	504.624	104,08	0,1	2,5	4,8
	Julio	42.178	506.136	104,32	0,2	2,8	4,7
	Agosto	42.220	506.640	104,66	0,3	3,1	4,8
	Septiembre	42.304	507.648	105,54	0,8	4,0	5,1
	Octubre	42.431	509.172	106,64	1,0	5,1	6,1
	Noviembre	42.770	513.240	106,66	0,0	5,1	5,7
	Diciembre	43.198	518.376	106,22	-0,4	4,6	4,6
2015	Enero	43.198	518.376	106,30	0,1	0,1	4,5
	Febrero	43.025	516.300	106,68	0,4	0,4	4,4
	Marzo	43.068	516.816	107,35	0,6	1,1	4,2
	Abril	43.240	518.880	107,97	0,6	1,6	4,1
	Mayo	43.499	521.988	108,16	0,2	1,8	4,0
	Junio	43.760	525.120	108,68	0,5	2,3	4,4
	Julio	43.848	526.176	109,14	0,4	2,7	4,6
	Agosto	44.067	528.804	109,88	0,7	3,4	5,0
	Septiembre	44.243	530.916	110,44	0,5	4,0	4,6
	Octubre	44.553	534.636	110,89	0,4	4,4	4,0
	Noviembre	44.776	537.312	110,86	0,0	4,4	3,9
	Diciembre	44.955	539.460	110,87	0,0	4,4	4,4
2016	Enero	44.955	539.460	111,39	0,5	0,5	4,8
	Febrero	44.955	539.460	111,70	0,3	0,7	4,7
	Marzo	45.180	542.160	112,13	0,4	1,1	4,5
	Abril	45.316	543.792	112,49	0,3	1,5	4,2
	Mayo	45.497	545.964	112,75	0,2	1,7	4,2
	Junio	45.633	547.596	113,25	0,4	2,1	4,2
	Julio	45.724	548.688	113,53	0,2	2,4	4,0
	Agosto	45.907	550.884	113,58	0,0	2,4	3,4
	Septiembre	45.999	551.988	113,86	0,2	2,7	3,1
	Octubre	45.999	551.988	114,05	0,2	2,9	2,8
	Noviembre	46.091	553.092	114,11	0,1	2,9	2,9
				Promedio	0,6		

Elaboración propia en base a información de DMAC