



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE ECONOMÍA Y NEGOCIOS
ESCUELA DE ECONOMÍA Y ADMINISTRACIÓN**

Sistema de distribución de productos de consumo masivo en el canal HORECA

**Seminario para optar al título de
Ingeniero Comercial, Mención Administración**

Participantes:

Sebastián I. Marín Moraga

Profesores:

Alfredo Parra Rosales

Juan Pablo Torres Cepeda

Santiago, Marzo 2016

I.	CONTENIDOS	
II.	AGRADECIMIENTOS.....	5
III.	RESUMEN.....	6
	A. RESUMEN EJECUTIVO.....	6
	B. ABSTRACT	6
IV.	PRIMERA PARTE	7
	A. HISTORIA	7
	1. <i>Negocio en Chile</i>	7
	2. <i>Socio estratégico y principal proveedor</i>	8
	3. <i>Organización</i>	9
	B. EL CANAL DE DISTRIBUCIÓN	9
	1. <i>El canal HORECA</i>	9
	2. <i>EGC SA y el canal HORECA</i>	11
	C. PRODUCTOS.....	12
	1. <i>Familia de Productos</i>	12
	2. <i>Marcas y Productos especiales</i>	14
	3. <i>Fijación de Precios</i>	14
	D. GESTIÓN DE CLIENTES.....	16
	E. INVENTARIO	16
	1. <i>Almacenamiento de Productos</i>	16
	2. <i>Procesos clave para un Camarón tipo</i>	17
	3. <i>Procesos clave para un Pescado tipo</i>	19
	F. DESAFÍOS EN EL CORTO Y MEDIANO PLAZO.....	20
V.	SEGUNDA PARTE:	22
	A. SÍNTESIS	22
	B. PROPÓSITO DEL CASO DE ESTUDIOS	23
	C. EL PROBLEMA LOGÍSTICO DE RUTEO	23
	1. <i>Introducción</i>	23
	2. <i>Características del ejercicio</i>	23
	3. <i>Marco teórico</i>	24
	4. <i>Planteamiento del problema</i>	26
	D. DESARROLLO DEL PROBLEMA	27

1.	<i>Usando Excel</i>	27
2.	<i>Usando TSP Solver and Generator</i>	32
VI.	CONCLUSIONES	36
VII.	BIBLIOGRAFÍA	37

II. AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mi familia por su apoyo durante toda mi estadía universitaria, a Carla por su soporte, a Ignacio por su ayuda, a los profesores Alfredo y Juan Pablo y a todo aquel que se sentó a mi lado a estudiar o a reír durante mi paso por FEN.

III. RESUMEN

A. Resumen Ejecutivo

En el presente trabajo se presenta la solución de un problema operativo de una empresa con respecto a la logística detrás de un problema de ruteo de vehículos. Este problema es modelado bajo la metodología del problema del vendedor viajero para el caso real de una empresa, EGC SA, una distribuidora de alimentos de consumo masivo operando en el canal HORECA. La finalidad del estudio es encontrar la ruta óptima de distribución, es decir, minimizar la distancia que debe recorrer el repartidor sin dejar de visitar a ningún cliente. Se busca de esta manera optimizar un proceso clave para la empresa y poder así incidir directamente en la productividad de la organización.

Para lograr estos objetivos, se resuelve el problema utilizando una hoja de cálculo de Excel y su herramienta Solver y el programa de optimización TSP Solver and Generator.

B. Abstract

This study presents the solution to firm's operative problem regarding the logistic behind a vehicle routing problem. This problem is modeled under the traveler salesman problem and applied to a real firm, EGC SA, a distributor of massive consumption products serving HORECA channel. The objective of this study is to find the optimal distribution route consisting in minimizing the distance traveled when visiting every client by one vehicle. This aims to optimize a key process for the company so it can influence directly on the firm's productivity. For the achievement of this objectives, the problem is solved using en Excel worksheet and the Solver tool and the TSP Solver and Generator software.

V. PRIMERA PARTE

A. Historia

Empagran Ecuador es una empresa con más de 30 años en el mercado ecuatoriano dedicado a la acuicultura. Está posicionada entre los mayores exportadores de camarones en Ecuador y es capaz de cubrir los principales mercados del mundo como lo son Estados Unidos, Europa y Asia.

Hoy en día, la empresa tiene integrados todos los procesos de la producción del camarón en sus operaciones. Se trabaja con una infraestructura de producción enfocada en el control de costos y supervisión de calidad en cada fase de la elaboración. Anualmente se producen más de 9 millones de kilos de camarón en 3500 hectáreas de piscinas plantadas. Se comercializan camarones en todo el mundo con una alta orientación hacia la calidad y se cuenta con una planta que posee todas las certificaciones internacionales como las HACCP, ISO y las normativas para la venta en Estados Unidos (FDA) y la Comunidad Económica Europea.

EGC SA (Empagran Chile SA) comenzó el año 2006 siendo la primera subsidiaria de Empagran Ecuador en Latino América sumándose a las ya existentes en España y Estados Unidos. Se escogió llegar a Chile por dos razones de técnicas importantes. Primero, por la estabilidad económica del país y segundo, por el Tratado de Libre Comercio vigente entre Chile y Ecuador, el cual permite importar sin aranceles entre los países.

La principal motivación para abrir en Chile por parte de los accionistas fue el posicionamiento que existe en el mercado chileno del “camarón ecuatoriano”, una concepción positiva del producto y con un enorme potencial comercial.

1. *Negocio en Chile*

EGC SA está dedicada hoy a la importación y comercialización directa de todo tipo de pescados y mariscos congelados, especializándose en el canal de distribución HORECA, formado por hoteles, restaurantes y casinos, para así servir a las empresas

que forman el segmento conocido como FOOD SERVICE. El sistema de ventas es directo, se realiza a través de vendedores propios. La distribución también es directa, con una flota de camionetas integradas con sistema de refrigeración para realizar un despacho punto a punto dado los requerimientos de cada cliente. Los camarones son traídos exclusivamente de Ecuador, cumpliendo toda la normativa sanitaria vigente en Chile, mientras que los pescados y mariscos son en una alta medida de origen chileno por lo que se le compran a productores nacionales.

EGC SA es propiedad de dos socios, uno local y Empagran Ecuador. El socio local administra la totalidad del negocio reportándose mensualmente al socio ecuatoriano. Por tanto, la camaronera en Ecuador, es para el negocio en Chile un socio estratégico que genera un elemento diferenciador con respecto a su competencia. Así, EGC SA cuenta con un abastecimiento continuo de productos generando una situación extremadamente relevante para ganarse un espacio y respeto dentro del mercado chileno.

2. Socio estratégico y principal proveedor

Como he mencionado anteriormente, EGC SA cuenta con un socio estratégico, la camaronera Empagran Ecuador. Esto es una fuente de ventaja competitiva para EGC SA ya que mantiene una estrecha relación con su principal proveedor. De esta manera, EGC SA tiene beneficios que difícilmente otro competidor tenga.

EGC SA es capaz de esta manera de asegurar en un alto porcentaje la continuidad de sus productos, factor que es clave en este negocio. A su vez cuenta con facilidades o licencias al realizar pedidos. Se pueden modificar contenedores a última hora, solicitar contenedores boutiques (con productos diferentes y no de un solo tipo) y flexibilidad en las fechas de los embarques. Se puede ofrecer a grandes clientes un empaquetado personalizado con marcas propias, cosa que por ejemplo hacen Unimarc y Tottus. Otro aspecto beneficioso de la relación es que EGC SA obtiene precios competitivos y controlados, lo que le permite apaciguar las variaciones relacionadas al precio del camarón a nivel internacional y cuenta con las certificaciones internacionales que Empagran Ecuador posee. Estos beneficios le permiten a EGC SA posicionarse como un competidor potente en Chile además de tener una

oferta más amplia de productos, una mayor flexibilidad en la planificación y mayor precisión en el abastecimiento de productos.

3. Organización

EGC SA está ubicada físicamente en la comuna de Peñalolén, en la ciudad de Santiago de Chile y cuenta con una oficina, frigorífico y galpón. Allí es donde funcionan las siguientes áreas de la empresa; gerencia general, gerencia de ventas y de operaciones.

La gerencia general se dedica a planificar, controlar y coordinar las compras con los proveedores, líneas de crédito, fechas de pago, renovación de stock y determinar los lineamientos comerciales para el área de ventas.

El área de ventas tiene a su cargo el equipo de vendedores, quienes deben cumplir las metas de ventas mensuales estipuladas por la gerencia y ampliar la cartera de clientes. Además, este área, se dedica a reclutar y capacitar constantemente la fuerza de ventas.

La gerencia de operaciones se dedica a coordinar el despacho de los productos a los clientes, el cual debe ser de forma oportuna y eficaz. Otra de las tareas de este departamento es la de realizar rutas diarias y coordinar a la flota de camionetas y choferes para hacer eficiente la distribución y así maximizar el número de entregas diarias. Además controla y gestiona los inventarios en bodega.

B. El canal de distribución

1. El canal HORECA

El canal HORECA es el canal donde se comercializan productos alimenticios de consumo directo y masivo. El término HORECA es un acrónimo de la agrupación de los sectores que lo forman, Hotelería, Restaurantes y Casinos. Se logra así un circuito que conecta productores e intermediarios con el conjunto de empresas que ofrece productos alimenticios preparados fuera de casa, lo que se conoce también como FOOD SERVICE, que

está formado por restaurantes, bares, cadenas de comida rápida, cafeterías, comedores de colegios y empresas, hospitales y hoteles.

Este canal funciona en un sector que está compuesto por una gran variedad de empresas con distintas dimensiones, perfiles y enfoques. Las empresas que forman el canal tienen necesidades en común que son independientes a su tamaño, perfil o foco. En general, el éxito de una empresa que opera en este canal depende de tres variables clave propias del negocio, enumeradas a continuación y en orden de incidencia en el rendimiento de las empresas distribuidoras:

- Continuidad
- Calidad
- Precio

La primera y más importante variable es la **continuidad**. Esta se refiere a la capacidad del proveedor de asegurarle al cliente un flujo determinado de productos, es decir, que los productos demandados estén siempre disponibles sin importar el día de la semana y menos la época del año. Esta variable demanda mucho esfuerzo por parte de las empresas ya que deben planificar bien sus inventarios para evitar quiebres de stocks y anticiparse a periodos de baja oferta de productos como son las vedas, para pecados y mariscos, o demoras en las importaciones por problemas aduaneros o climáticos. Esta es la principal razón por la cual los clientes se cambian de proveedores, lo que permite afirmar que en el canal HORECA la fidelización de clientes es media-baja.

A la variable continuidad le sigue en importancia la **calidad** de los productos. Este factor es importante para un gran segmento de clientes. Por lo general en el canal HORECA se trabaja con materias primas o insumos de calidad aceptable hacia arriba. Son clientes muy puntuales los que optan por productos de menor calidad, casos en que se busca sólo priorizar el bajo costo de sus productos finales.

Por último está la variable **precio**. En este canal es muy importante que los precios de compra de insumos sean competitivos y que se reflejen de cierta manera las otras dos variables (continuidad y calidad) en el precio final. Es así como el precio no determina por sí solo los resultados de las empresas. Serán casos muy puntuales donde esta variable

incida más que la continuidad en el rendimiento de una empresa distribuidora en particular.

En el canal HORECA se espera de los proveedores que estos puedan abastecer la demanda adecuadamente según la época del año y de forma dinámica. En Chile las pequeñas, medianas y grandes empresas productoras de alimentos de consumo masivo tienen como objetivo central la venta de sus productos en grandes cadenas de supermercados con grandes pedidos e ingresos por alto volumen. Por estas razones se explicarán las características que diferencian al canal HORECA del canal supermercadista.

Los clientes en HORECA:

1. No planifican la reposición de los productos.
2. Su capacidad de almacenamiento es baja.
3. Trabajan con bajos volúmenes de reposición pero con alta frecuencia semanal.
4. Tienen un horario de atención para distribuidores amplio pero con restricción el el horario de almuerzo.

Los distribuidores en HORECA:

1. Necesitan transportes de fácil movilidad, por lo que grandes camiones no sirven.
2. Necesitan transportes que cuenten con refrigeración a -18°C.
3. Las cargas en bodega y frigoríficos debe ser especializada ya que las cargas son parcializadas y no mediante pallets.

Nombradas las características naturales del canal HORECA y sus diferencias con el canal supermercadista, queda en evidencia la complejidad que éste canal de distribución representa para las empresas y la dificultad e incompatibilidad que existe al tratar de cubrir ambos canales distributivos a la vez.

2. EGC SA y el canal HORECA

En lo que respecta a EGC SA, cabe mencionar que no existen empresas especializadas en la distribución de productos, secos o congelados, en el canal HORECA. Las empresas

productoras de alimentos de consumo masivo que tienen distribución propia están programadas para trabajar con el canal supermercadista o de supermercados. Esta necesidad del mercado local por una buena distribución de alimentos de consumo masivo en el canal HORECA es el motivo por el cual EGC SA ha sido bastante exitoso en el desarrollo de su sistema de distribución logrando ventajas competitivas, pero donde aún queda bastante por avanzar.

Hasta antes de la entrada de EGC SA, la distribución de pescados y mariscos era muy informal ya que incluso se llegaba a despachar en taxi y sin la refrigeración necesaria.

La continuidad del producto y su calidad no estaban aseguradas ni certificadas por los organismos de salud correspondientes. Además los tiempos de entrega no se adecuaban a las necesidades propias del canal.

Hoy en día esto ha ido avanzando paulatinamente y se puede señalar que se han subido varios peldaños en términos de calidad y certificaciones en el país.

El motivo por el que EGC SA se decidió por el canal HORECA es que había una gran necesidad del mercado, la cual se estaba satisfaciendo a niveles precarios. La empresa pretendía atender y contar con una amplia cartera de clientes que estaban siendo mal atendidos, logrando que el negocio no dependiera de un solo cliente en particular (cosa que ocurre en el canal supermercadista). Hoy se cuenta con mas de 500 clientes activos, lo que permite tener una cartera bastante diversificada y con ello evitar cualquier presión sobre precios y demanda. Los principales clientes se reparten entre restaurantes de comida chilena, peruana, italiana, japonesa, hoteles y varios distribuidores a niveles regionales.

C. Productos

1. Familia de Productos

EGC SA agrupa su oferta de productos en tres categorías o familias las cuales se detallarán a continuación:

- Camarones ecuatorianos
- Pescados y mariscos

- Carne, quesos y aceite de oliva

Estas tres familias de productos tienen una clientela en común, lo que permite reducir el costo de distribución por punto de venta.

Tabla 1: Proporción de familia de productos en ventas totales para el año 2014

PRODUCTO	VENTA AÑO (\$CLP)	PROPORCIÓN (%)
Camarón	2.143.000	70,54
Pescados y Mariscos	894.000	29,46
Total	3.038.000	100

Fuente 1: Elaboración propia con datos otorgados por EGC SA

El camarón que se ofrece es un producto de primera calidad. Se venden productos de distintos calibres (tamaño), el cual siempre es homogéneo, es decir, que en un kilo de producto se encontrarán sólo camarones del mismo tamaño. Esto permite a los clientes tener un control y cálculo exacto de las unidades ofrecidas por plato y poder calcular un rendimiento por kilo de camarones agilizando el proceso de planificación y control en sus cocinas. Por otra parte, se ofrecen camarones con valor agregado donde destacan los camarones sin cáscara y desvenados, facilitando el trabajo en la cocina y optimizando la hora de trabajo por empleado.

En lo que al despacho concierne, la empresa les asegura a sus clientes un despacho oportuno y a un horario conveniente para ellos, logrando superar una de las grandes falencias que había en el mercado antes de la llegada de EGC SA.

Por último EGC SA es capaz de asegurar con un alto porcentaje de confianza la continuidad de sus productos básicamente por la relación que mantiene con Empagran Ecuador, su socio y principal proveedor.

Los clientes disfrutaban de una oferta más amplia de productos ofrecidos al contar la empresa con pescados, mariscos, quesos, carne de res, etc. y no limitarse solamente a los camarones. EGC SA busca con esto llegar a sus clientes con una oferta más variada de productos, enriqueciendo de esta manera el servicio ofrecido.

2. Marcas y Productos especiales

En la única familia de productos en la que EGC SA trabaja con marcas es en los camarones. Se ofrece la marca SAN CAMARÓN, la cual es sin glaseo (kilo neto de producto) y la marca SILVER con 20% de glaseo (800 gr netos de producto) y las marcas propias de supermercados como lo son TENTO para UNIMARC y TOTTUS.

En el resto de las familias de productos, no se trabaja con marcas ya que los productos se venden como genéricos ya que el mercado donde se opera, en general, las marcas no son valoradas por los clientes y de esta forma no agregan valor a las empresas distribuidoras.

3. Fijación de Precios

La variable más determinante para todos los productos que importa a EGC SA es el tipo de cambio. Esta variable afecta principalmente a los camarones, los cuales representan un 70,54% de los productos que la empresa comercializa. Esto significa que al momento de costear el producto y determinar el precio de venta a público se debe aplicar un margen de seguridad por tipo de cambio que permita mantener un porcentaje adecuado de contribución para la empresa.

Por otro lado, la fijación de precios en los camarones está anclada al precio internacional de este producto, el cual se transa como un *commodity*. Dicho precio internacional depende en gran medida de las fluctuaciones de la demanda del mercado Chino, el cual representa aproximadamente un 40% del total del mercado mundial. Estos dos factores son los que determinan la base del valor de compra del camarón. Para determinar los precios finales de venta, está la habilidad de cada empresa para rebajar sus costos, los cuales van desde el flete marítimo hasta la mantención de los productos en los frigoríficos.

En EGC SA el mayor costo está dado por el mantenimiento del producto en las cámaras de frío o frigoríficos, por lo que la rotación y la velocidad de venta es clave para poder mantener estos costos a niveles razonables. Por ejemplo, todos los años hay muchas empresas o pequeños emprendedores que importan contenedores de camarones para vender sólo en las fiestas de fin de año (época del año con alta demanda por camarón),

calculando que sería un “buen negocio” por el atractivo margen de contribución ya que la demanda por camarón es particularmente alta. Pero lo que no se toma en cuenta es el costo de refrigeración ya que si no se tienen las ventas concretadas, los costos empiezan a reducir este atractivo margen. Todo sin considerar el costo financiero que probablemente también deben asumir con sus acreedores.

EGC SA ajusta sus precios de camarones mensualmente dado que esta familia de productos presenta un nivel de rotación media. Esto siempre y cuando el tipo de cambio no fluctúe considerablemente. En esos casos se toma acción de inmediato.

En el caso de los pescados y mariscos, los precios están determinados por las temporadas o vedas que cada producto tiene, a excepción del Salmón el cual se produce todo el año en Chile pero que a su vez depende del precio internacional al cual se transa.

El precio está fuertemente determinado por la calidad del producto y su glaseo. El glaseo consiste en el porcentaje de agua congelada por kilo de producto. Este glaseo tiene directa relación con el precio de venta a público en EGC SA. Por ejemplo, en un producto con un 10% de glaseo por kilo, el precio de venta a público será un 10% menos que el valor neto por kilo de producto. En esta familia de productos los precios se ajustan mensualmente debido a que, al igual que los camarones, presentan un nivel de rotación medio.

La carne de vacuno depende también del tipo de cambio en la fijación de precios ya que es un producto importado de países como Paraguay, Brasil y en menor medida Argentina. Como este producto tiene una alta rotación, los precios son ajustados todas las semanas.

Por último, para los quesos y aceite de oliva, los precios son más estables ya que los insumos productivos de éstos productos son 100% nacionales y quedan exentos a la variable tipo de cambio. La estabilidad de precios de esta familia de producto tiene un horizonte medio de 6 meses de duración.

En el costeo de todos los productos se incluye un porcentaje cercano al 3% adicional por concepto de despacho sin diferenciar el destino del despacho dentro de Santiago y la V y VI región. Para el resto de las regiones el costo de despacho es traspasado directamente a los clientes de acuerdo a lo que cobra la empresa transportista interurbana por este concepto.

D. Gestión de Clientes

Las áreas con mayor contacto con los clientes son la Gerencia de Ventas y Gerencia de Operaciones. El área de Ventas se encarga de generar y recibir las ordenes de compra, mantener reuniones periódicas con los diversos clientes e informar de ofertas y nuevos productos incorporados a la cartera de productos.

Operaciones se encarga principalmente del despacho hacia los clientes y de recepcionar inquietudes u observaciones por parte de éstos y así poder canalizarlos al área de Ventas con el fin de poder ofrecer el mejor servicio posible.

En lo que al monitoreo de envíos concierne, a diario se arma una ruta lógica por cada camioneta repartidora para optimizar el tiempo ya que los despachos deben ser recepcionados en un lapso no superior a 4 horas por la naturaleza del canal HORECA, ya que no se atiende a proveedores en horario de almuerzo. Los choferes son los encargados de informar sobre cualquier dificultad en la entrega de los productos. Ellos se reportan al jefe de operaciones, quien a su vez debe informar al área de ventas para regularizar la situación con el cliente.

E. Inventario

1. Almacenamiento de Productos

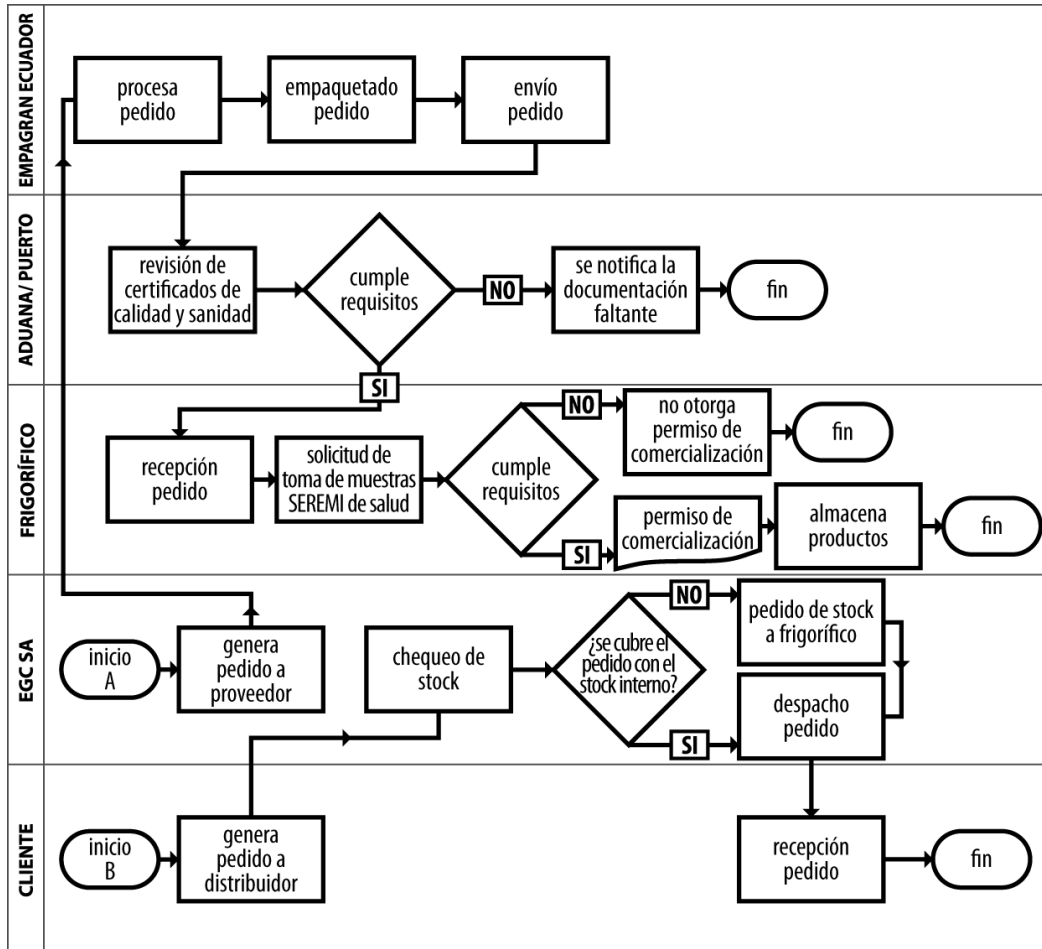
En EGC SA se trabaja con 2 bodegas, un frigorífico externo el cual es subcontratado y uno propio. El frigorífico externo (FRIO FORT), ubicado en Buín, es donde se recepcionan los contenedores de camarones que llegan al puerto de Valparaíso desde Ecuador. Allí se gestiona el inventario con un sistema de control SAP el cual le permite a EGC SA consultar el inventario diariamente y de forma remota. Allí, EGC SA trabaja con un contenedor con capacidad de 18 toneladas donde solo almacena camarones. Este inventario tiene una duración promedio de 4 semanas, las mismas 4 semanas que tarda en llegar un envío desde Ecuador. De esta manera se evitan los quiebres de stock y también se evitan los excesos de inventario dada la experiencia en el mercado chileno que la empresa tiene.

Por otra parte, en la oficina de EGC SA ubicada en la comuna de Peñalolén, se cuenta con una cámara de frío con capacidad de 20 toneladas aproximadamente. En un principio se contaba con una cámara de frío con capacidad de 10 toneladas la cual fue incrementada el año 2013 a la capacidad actual. Aquí se reciben los camarones solicitados al frigorífico y el resto de las familias de productos que la empresa ofrece y que necesitan de almacenamiento en frío. Es en este lugar donde los productos son ingresados al sistema computacional de la empresa. Dentro de esta bodega se mantiene un inventario que consiste aproximadamente en 10 toneladas de camarones, 9 toneladas de pescados y mariscos y el resto que se reparte entre carnes y quesos.

2. Procesos clave para un Camarón tipo

La Figura 1 muestra un diagrama de flujo para la categoría de productos camarones ecuatorianos y que incluyen un despacho hacia los clientes finales por parte de EGC SA. De esta forma se pretende ilustrar la actividad de pedido de productos al proveedor y el proceso de venta de los productos finales como también los distintos agentes involucrados en dichos procesos.

Figura 1: Diagrama de Flujo de los procesos de compra y venta de un Camarón tipo



Fuente 2: Elaboración propia con datos otorgados por EGC SA

En la figura, el Inicio A representa el pedido de productos a Empagran Ecuador, mientras que el Inicio B representa el pedido de productos desde los Clientes de EGC SA y la distribución de éstos.

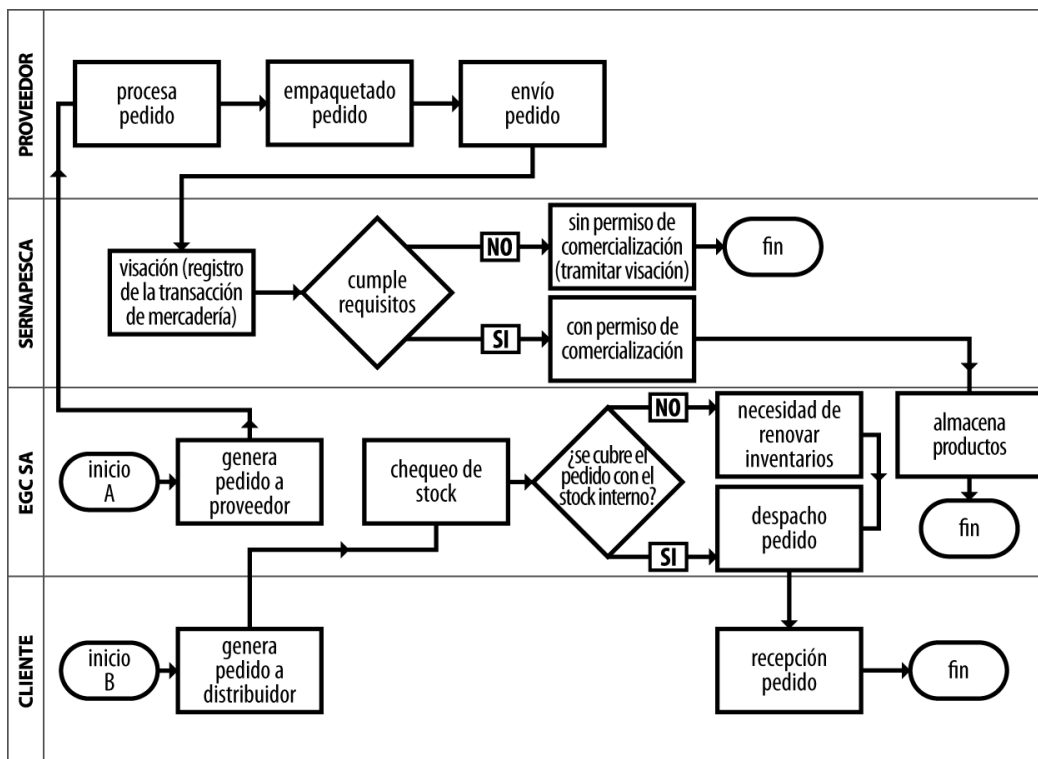
Una vez que EGC SA realiza un pedido a Empagran Ecuador, son ellos los que preparan los contenedores para ser enviados y recepcionados en el puerto de Valparaíso en Chile. Es allí donde personal de Aduanas registra lo enviado y revisa las certificaciones correspondientes para aprobar la importación y cobrar el IVA correspondiente. Una vez aprobada la certificación, los productos pueden ser derivados al frigorífico externo en la comuna de Buin, lugar donde la SEREMI de Salud solicita una toma de muestras de los

productos alimenticios importados para poder autorizar su comercialización en Chile. Una vez obtenida la autorización de la SEREMI de Salud, los productos quedan almacenados y listos para ser vendidos. Cuando un cliente realiza un pedido de Camarones, EGC SA revisa en dónde tiene almacenados los productos demandados. En caso de no tener stock en la cámara de frío interna, se solicitan los productos al frigorífico externo para posteriormente despacharle al cliente.

3. Procesos clave para un Pescado tipo

La Figura 2 también muestra el proceso de compra a proveedores y de venta a clientes pero para un Pescado tipo comercializado por EGC SA.

Figura 2: Diagrama de Flujo de los procesos de compra y venta de un Pescado tipo



Fuente 3: Elaboración propia con datos otorgados por EGC SA

En la figura, el Inicio A representa el pedido de productos un proveedores de pescados tipo que tiene EGC SA, mientras que el Inicio B representa el pedido originado por los Clientes de EGC SA y el despacho de los productos.

Los Pescados que EGC SA ordena a sus proveedores son visados por SERNAPESCA, organización nacional que fiscaliza el cumplimiento de las normas pesqueras y de acuicultura en Chile. Este permiso (visa) consiste en un registro de la transacción de mercadería, en este caso, entre proveedor y distribuidor. Luego de este trámite, los productos están autorizados para ser comercializados y almacenados en la cámara de frío interna que EGC SA posee en sus instalaciones.

Una vez que un cliente realiza un pedido a EGC SA, éste debe contar con un stock necesario para poder cumplir con lo solicitado por el cliente. De lo contrario deberá realizar una orden de compra a su proveedor de pescados, cosa que demora tiempo y generaría un malestar en el cliente ya que la empresa no pudo asegurarle la continuidad del pescado solicitado. Esta situación ocurre en contadas ocasiones y se asocia a periodos de vedas en los pescados, situaciones en que EGC SA se prepara de antemano planificando el stock de productos antes de los periodos de vedas.

F. Desafíos en el corto y mediano plazo

Para fines del año 2015, donde la situación de la economía del país no ha sido la más favorable para los negocios, EGC SA tiene en pausa todo plan de expansión en infraestructura. Aún así la empresa está en la búsqueda de hacer su negocio más sólido. Es así como actualmente se están evaluados nuevos productos para ser incluidos en la cartera de la empresa.

En este contexto se puede afirmar que dadas las fortalezas de EGC SA, su *know how* en la distribución y el marco competitivo donde se sitúa, hay incentivos a indagar en un sistema de distribución más especializado y eficiente el cual le permita a la empresa seguir creciendo, aumentar la captación de clientes y lograr distribuir más y más productos en el canal HORECA. De esta manera se podrá lograr un blindaje considerable además de los beneficios monetarios que la empresa podría obtener. Sin duda el mercado chileno de

distribución de productos de consumo masivo en el canal HORECA está bastante poco desarrollado por lo que surge una oportunidad de negocios que será capaz de satisfacer una necesidad manifiesta.

VI. SEGUNDA PARTE:

A. Síntesis

En un contexto donde EGC SA busca fortalecerse como empresa de distribución en el canal HORECA, surge el problema de cómo llevar a la práctica dicha intención. En la actualidad, los pedidos son recepcionados vía correo electrónico para dejar un respaldo de los mismos. Luego se chequea el stock disponible para poder procesar cada pedido. Finalmente son despachados según una ruta planeada por el jefe de distribución, quien diseña cada ruta de forma manual agrupando cada despacho por el criterio de la comuna. EGC SA cuenta con 4 camionetas climatizadas que salen una vez al día a repartir a 20 puntos en promedio de lunes a sábado. Las camionetas son operadas por 2 personas; un chofer y un ayudante, el cual se encarga de la entrega de productos.

Para comenzar este proceso de fortalecimiento de la empresa, se entiende que EGC SA debe poder destacarse aún más, potenciando sus propias cualidades que le han generado ventajas competitivas en el sector. Aún así, el buen sistema de distribución de productos congelados utilizado hasta entonces no considera algún método de optimización. Es por esto que asoma la exigencia de contar con un sistema de optimización en las rutas de despacho. Con esto se puede ser más eficiente en el proceso de entrega, en el tiempo de utilización de las camionetas, lo que se traduce en una reducción del costo promedio de despacho por producto. Entonces, para comenzar un proceso de fortalecimiento del negocio, la empresa presenta la problemática de ruteo de vehículos, un problema sobre cómo poder hacer que su despacho de productos sea lo más óptimo, lógico y más eficiente posible para poder contar con costos más bajos y un proceso de despacho destacado que apoye las actividades comerciales de EGC SA

B. Propósito del caso de estudios

Para poder llegar a una solución de la problemática de logística presentada, se busca diseñar una ruta de entrega que minimice los costos de transporte. Se trabajará con el modelo del vendedor viajero el cual es capaz de optimizar el problema planteado.

C. El problema logístico de ruteo

1. Introducción

Para modelar el caso como un problema del vendedor viajero, se utilizará la información proporcionada por EGC SA, basada en en los 20 clientes de mayor facturación durante los meses de Agosto, Septiembre y Octubre de 2015 situados geográficamente en la región metropolitana de Santiago, la cual será utilizada para ejecutar el modelo y resolverlo en una hoja de cálculo del programa Excel y usando la herramienta Solver. Por otro lado y para poder contrastar los resultados, se ejecutará el problema usando TSPSG (Travelling Salesman Problem Solver and Generator), programa gratuito que resuelve exclusivamente problemas de vendedor viajero.

2. Características del ejercicio

Para plantear el problema se define el viaje como la visita de un repartidos o chofer a los 20 clientes ubicados en la región teniendo en cuenta a EGC SA como origen y fin de toda ruta potencialmente óptima que una camioneta realizará al visitar a estos clientes en un mismo día y recorrido. Además, el modelo de vendedor viajero a utilizar exige una matriz de distancias ente puntos. Para construir esta matriz de 21 x 21, se utilizaron las direcciones de todos los puntos y se registró la menor distancia en kilómetros entre éstos con la ayuda

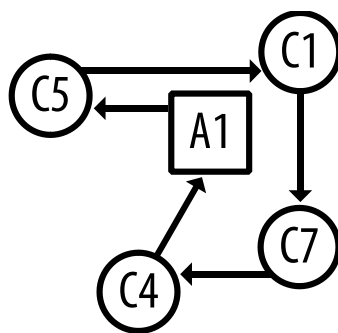
del programa Maps de Google¹ y sin considerar otras variables como el tráfico o el uso de carreteras dentro de la ciudad de Santiago. El modelo utiliza estas distancias entre clientes como costo de transporte. Para modelar como un problema del vendedor viajero se asume que la carga y recorrido de cada camioneta, es decir su capacidad, es infinita. En este caso el problema del vendedor viajero es equivalente al problema de ruteo de vehículos. Como ya se mencionó, el problema se resolverá usando dos softwares distintos. Una hoja de cálculo de Excel con su complemento Solver y TSPSG.

3. Marco teórico

En el problema del vendedor viajero o TSP por sus siglas en inglés, se deben transportar bienes entre un *almacén o bodega y clientes*, por medio de una flota de *vehículos* a través de una *red de caminos*. Estos bienes pueden ser transportados tanto de bodega a clientes o viceversa.

En la Figura 3 se presenta un TSP tipo con su solución. A1 corresponde a la bodega de origen, mientras que C5, C1, C7 y C4 son los clientes visitados en orden según el resultado de la optimización.

Figura 3: TSP tipo con solución



El problema del vendedor viajero TSP queda definido de la siguiente manera. Sea una red $G = [N, A, C]$ que está definida por un conjunto de N nodos, y A el conjunto de arcos, y $D =$

¹ <https://www.google.cl/maps>

$[d_{ij}]$ la matriz de costos. Eso es, d_{ij} el costo de moverse desde el nodo i al nodo j , del restaurante $n^{\circ}2$ al restaurante $n^{\circ}5$ por ejemplo. La variable de decisión x_{ij} será binaria y tomará el valor 1 cuando se seleccione un arco para ir de i a j y 0 cuando el arco no es seleccionado.

TSP requiere un ciclo Halmiltoniano en G de mínimo costo, es decir, un ciclo que pasa a través de cada nodo i de N exactamente una vez. Condición necesaria para que la optimización arroje un resultado lógico e interpretable. El modelo matemático queda expresado entonces:

Minimizar

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{ij} x_{ij}$$

Sujeto a:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (\mathbf{R1})$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (\mathbf{R2})$$

$$X_{i,j} = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases} \quad (\mathbf{R3})$$

Si es necesario romper un *subtour*;

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_{ij} \leq n - 1 \quad (\mathbf{R4})$$

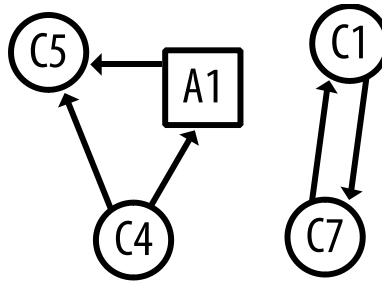
Donde:

d_{ij} = costo de ir del lugar i al lugar j

x_{ij} = variable de decisión

La Figura 4 representa dos *subtours* formados por dos subconjuntos de $N\{A1, C1, C4, C5, C7\}$.

Figura 4: Subtour tipo



4. Planteamiento del problema

El problema ahora consiste en determinar el orden en el que se deben visitar los 20 clientes desde el origen, en nuestro caso, EGC SA y pasando sólo una vez por cada cliente ubicado en Santiago. Todo con la finalidad de minimizar el costo del final recorrido y asumiendo que dicha ruta debe ser cubierta por una camioneta. Todos los clientes y EGC SA conforman el conjunto de todos los nodos N .

$$N\{1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21\}$$

El nodo 1 representa el origen y punto de distribución EGC SA y el resto de los números representan los clientes a visitar. La matriz de distancias (costos de transporte) se presenta a continuación en la Tabla 2.

Tabla 2: Matriz de distancias (kms.)

CÓDIGO CLIENTE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1	10000	8.9	17.1	7.2	7.4	4.6	11.6	7.7	7.3	17.2	6.4	7.6	3.5	6.3	5.4	31.3	32.2	9.4	4.1	8.6	9.5
2	8.9	10000	3.4	3.8	5.7	6.5	4.5	3.9	5.6	11.7	3.3	7.3	6.1	3.6	1.8	36.9	13.2	13.3	9.3	6.2	10.7
3	17.1	3.4	10000	0.7	1.9	5.7	7.3	1.1	1.8	15.7	3.2	4.2	4.3	5.9	4.1	35.5	14.5	16.4	6.2	3	5.1
4	7.2	3.8	0.7	10000	1.2	6.3	7.3	1.1	1.1	15.3	3.3	3.5	4.6	5.9	4.1	37.3	16.7	17.7	6.4	2.3	4.4
5	7.4	5.7	1.9	1.2	10000	7.2	9.4	2.2	0.079	17.7	4.4	2.3	5.8	7.1	5.4	37.2	19.2	38.1	6.3	2.3	4.2
6	4.6	6.5	5.7	6.3	7.2	10000	8.5	5.4	7.4	8.9	3.9	9.6	2.4	3.5	5.2	30.7	15.1	9.3	7.3	8.6	15.8
7	11.6	4.5	7.3	7.3	9.4	8.5	10000	6.8	8.5	7.9	6	11.9	8.2	5.5	4.6	44.5	9.5	20.4	11.8	9.9	15.4
8	7.7	3.9	1.1	1.1	2.2	5.4	6.8	10000	1.8	13	3.2	4.2	4.3	5.9	4.2	35.5	14.5	17.3	6.2	3	5.1
9	7.3	5.6	1.8	1.1	0.079	7.4	8.5	1.8	10000	17.6	4.6	2.4	5.8	7.1	5.3	37.1	22	17.8	6.3	2.3	4.3
10	17.2	11.7	15.7	15.3	17.7	8.9	7.9	13	17.6	10000	9.4	23.2	9.6	7	8	42	9.2	18	19.6	15.9	21.4
11	6.4	3.3	3.2	3.3	4.4	3.9	6	3.2	4.6	9.4	10000	8.2	3.4	3.4	2.5	36.5	13.6	12.4	6.9	6.4	8.5
12	7.6	7.3	4.2	3.5	2.3	9.6	11.9	4.2	2.4	23.2	8.2	10000	8.2	10	8.2	37.8	20.1	17.5	5.9	2.2	3.1
13	3.5	6.1	4.3	4.6	5.8	2.4	8.2	4.3	5.8	9.6	3.4	8.2	10000	4.1	5.8	33.3	15.7	13.6	5.1	7.8	9.9
14	6.3	3.6	5.9	5.9	7.1	3.5	5.5	5.9	7.1	7	3.4	10	4.1	10000	1.7	34	12.2	10.4	8.2	7.8	10.8
15	5.4	1.8	4.1	4.1	5.4	5.2	4.6	4.2	5.3	8	2.5	8.2	5.8	1.7	10000	35.7	10.9	11.8	8.7	6.7	10.2
16	31.3	36.9	35.5	37.3	37.2	30.7	44.5	35.5	37.1	42	36.5	37.8	33.3	34	35.7	10000	50.5	24.7	34.4	38.2	40.3
17	32.2	13.2	14.5	16.7	19.2	15.1	9.5	14.5	22	9.2	13.6	20.1	15.7	12.2	10.9	50.5	10000	22	17.8	17.6	25.4
18	9.4	13.3	16.4	17.7	38.1	9.3	20.4	17.3	17.8	18	12.4	17.5	13.6	10.4	11.8	24.7	22	10000	13	17.3	18.2
19	4.1	9.3	6.2	6.4	6.3	7.3	11.8	6.2	6.3	19.6	6.9	5.9	5.1	8.2	8.7	34.4	17.8	13	10000	6.1	7
20	8.6	6.2	3	2.3	2.3	8.6	9.9	3	2.3	15.9	6.4	2.2	7.8	7.8	6.7	38.2	17.6	17.3	6.1	10000	2.1
21	9.5	10.7	5.1	4.4	4.2	15.8	15.4	5.1	4.3	21.4	8.5	3.1	9.9	10.8	10.2	40.3	25.4	18.2	7	2.1	10000

Fuente 4: Elaboración propia con datos otorgados por EGC SA en Excel

D. Desarrollo del problema

1. Usando Excel

Para proceder a solucionar el problema del vendedor viajero en Excel, se debe modelar el problema en la hoja de cálculo. En la Tabla 3 se presenta la matriz de celdas variables como el rango **F36:Z56**. La restricciones (**R1**) y (**R2**) del modelo matemático se representa en el rangos **D36:D56** y **F34:Z34**, los que son iguales a los rangos **E36:E56** y **F35:Z35** respectivamente y que que corresponden a la suma de las filas. Como el propósito es que el vehículo retorne al nodo origen se debe crear una restricción para cerrar el circuito, donde la suma de los valores de las celdas variables debe ser igual al número de nodos contenidos en N, lo que queda representado por **Z56** y **AA34**. Por último, la restricción (**R4**) sólo se utiliza cuando aparece un *subtour*.

Tabla 3: Matriz de variables sin resolver

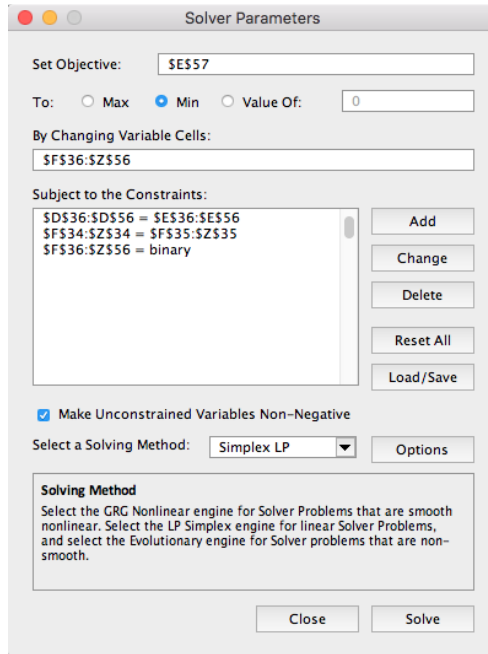
32	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA
33	MATRIZ DE CELDAS		MOD. CLIENTE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	SUMAR2:
34	VARIABLES		ESICIÓN (R2)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-
35	MOD. CLIENTE	ESICIÓN (R1)	LÍMITES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
36	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
37	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
38	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
39	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
40	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
41	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
42	7	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
43	8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
44	9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
45	10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
46	11	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
47	12	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
48	13	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
49	14	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
50	15	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
51	16	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
52	17	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
53	18	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
54	19	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
55	20	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
56	21	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
57	FN. OBJETIVO:		-																						SUMAR1: -

Fuente 5: Elaboración propia con datos otorgados por EGC SA en Excel

La función objetivo se ve representada por la celda **E57** y es el producto de la matriz de distancias con la matriz de variables.

Las matrices, las restricciones y función objetivo se introducen en la herramienta Solver de Excel como se ilustra en la Figura 5.

Figura 5: Solver inicial



Fuente 6: Excel

Los resultados al resolver el problema entregan *subtour*. Un *subtour* debe entenderse como viajes parte de la ruta total. Recordar que se pretende que el resultado óptimo sea una ruta que logre visitar en un solo viaje a los 20 clientes ya definidos. La Tabla 4 representa, a modo de ejemplo, las tres rutas que la iteración 6 arroja.

Tabla 4: Subtours - iteración nº 6

ITERACIÓN 6									
SUBTOUR	NODOS								
1	1	19	13	6	18	1	1		
2	2	7	17	10	14	15	11	2	
3	3	4	9	5	12	21	20	8	3

Fuente 7: Excel

Los *subtours* son ilustrados en tablas para visualizar los resultados de cada iteración. Estos hacen que se tengan que adicionar un conjunto de restricciones para poder romperlos y así

ir restando *subtours* hasta quedar con una sola ruta. Las nuevas restricciones se muestran en la Tabla 5.

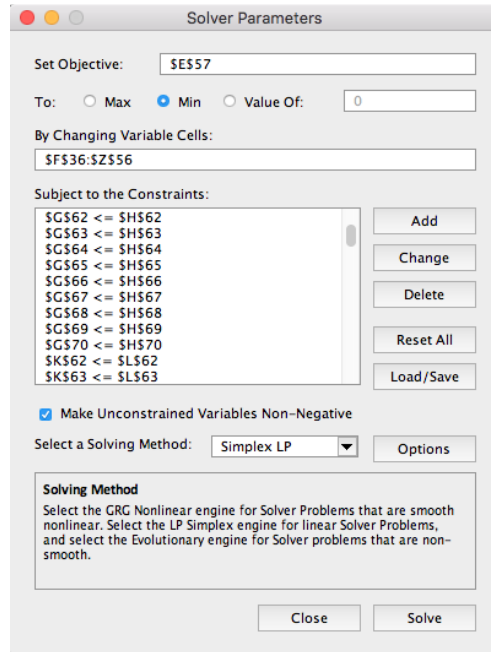
Tabla 5: Nuevas restricciones de la iteración nº 3

ITERACIÓN 3		
SUBTOUR	RESTRICCIÓN	VALOR
1	6	5
2	4	3
3	2	1
4	3	2
5	3	2
6	3	2

Fuente 8: Excel

La columna **Restricción** lleva el valor del número de arcos que forman el *subtour*. Este valor es el resultado de la suma las referencias de celda que forman el *subtour* dentro de la matriz de variables, es decir, la suma de los resultados de la iteración separados por *subtours*. En la columna **Valor** se pone el número que debe alcanzar la restricción (***n-1 arcos***). Las nuevas restricciones en el Solver se presentan enmarcadas en el rectángulo de la Figura 6.

Figura 6: Solver con restricciones de subtours



Fuente 9: Excel

Al ejecutar el Solver con las nuevas restricciones se obtiene un nuevo grupo de *subtour* que deben ser derribados sumando un nuevo grupo de restricciones que vienen del análisis de la iteración anterior. Este proceso descrito se repite tantas veces sea necesario hasta llegar a la solución que garantiza un solo tour.

La Tabla 6 muestra la matriz de celdas variables formando un tour y cumpliendo todas las restricciones del problema. Esta solución se logró luego de 9 iteraciones. De esta forma se alcanza una ruta de **129.279** kilómetros para el recorrido que minimiza el costo de transporte pasando por 20 clientes en un solo recorrido. La secuencia de la ruta queda como; **1, 19, 12, 21, 20, 5, 9, 4, 8, 3, 2, 7, 17, 10, 14, 15, 11, 13, 6, 16, 18, 1**. Este resultado es presentado al final de la Tabla 6.

Tabla 6: Matriz de variables final y tour óptimo - Iteración nº 9

32	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	
33	MATRIZ DE CELDAS		ÓD. CLIENTE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	SUMAR2:	
34	VARIABLES		ESICIÓN(R2)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	21
35	ÓD. CLIENTE	ESICIÓN(R1)	LÍMITES	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
36	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
37	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
38	3	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
39	4	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
40	5	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
41	6	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
42	7	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
43	8	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
44	9	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
45	10	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
46	11	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
47	12	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
48	13	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
49	14	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
50	15	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
51	16	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
52	17	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
53	18	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
54	19	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
55	20	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
56	21	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
57	FN. OBJETIVO:		129.279																						SUMAR1:	21
	TOUR ÓPTIMO			1	19	12	21	20	5	9	4	8	3	2	7	17	10	14	15	11	13	6	16	18	1	

Fuente 10: Elaboración propia con datos otorgados por EGC SA en Excel

Cabe mencionar que para poder ejecutar el problema planteado se debió trabajar con la extensión para Solver de Excel llamada **Premium Solver Platform** ya que la versión que es incluida en Excel tradicional no permite operar con tantas variables. Es decir, el problema que se intenta resolver no es posible ejecutarlo sin dicha herramienta adicional. Esta puede descargarse de <http://www.solver.com/premium-solver-pro-software>, en la modalidad de prueba por 15 días o pagar por la licencia del programa.

2. Usando TSP Solver and Generator

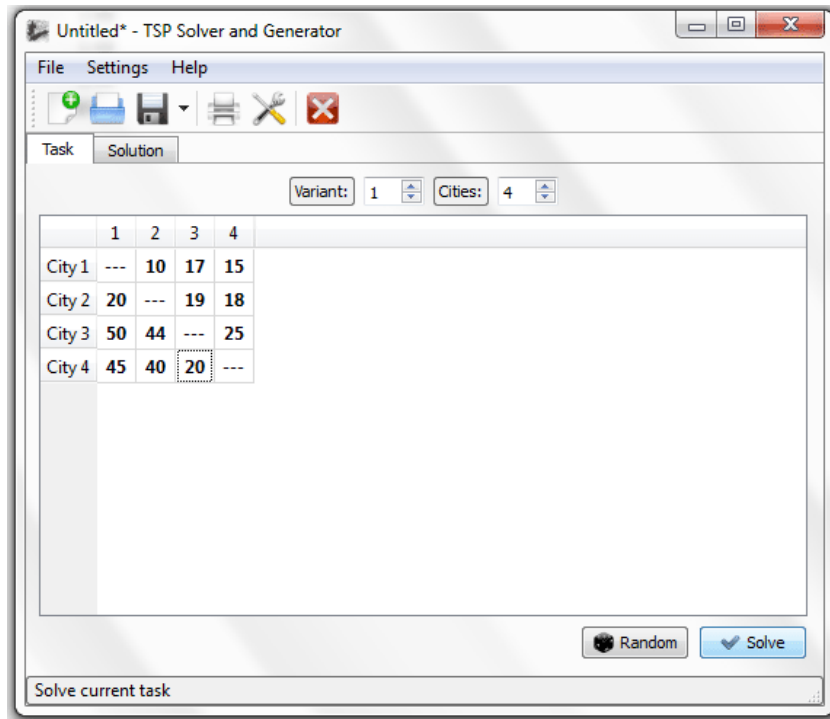
TSP es un programa gratuito creado para resolver problemas del vendedor viajero utilizando un algoritmo de Ramificación y Poda (*Branch and Bound* en inglés) como método de resolución. Se puede descargar de la página <http://tspg.info/>.

El programa utiliza como *inputs* el número de lugares a visitar, los que llama *Cities*, y una matriz de distancias. El programa arroja como resultado una ruta óptima además del costo

(distancia mínima), las matrices de resultados de las iteraciones paso a paso y un gráfico con la respuesta del problema.

La interfaz del programa al momento de imputarle los datos de la matriz de distancias se muestra en la Figura 7.

Figura 7: TSP interfaz – Ejemplo matriz de distancias de 4 x 4



Fuente 11: Programa TSP Solver and Generator

La matriz de distancias es la misma utilizada al solucionar el problema con Excel y por lo tanto el número de cada *City* representa el mismo cliente que en el caso trabajado con Excel. Dicha matriz se detalla, a continuación, en la Tabla 7. Estos datos deben ser ingresados manualmente por el usuario ya que el programa no permite importar datos desde Excel de forma directa o pegar la matriz desde la hoja de cálculo.

Tabla 7: Matriz de distancias de TSP

Variant #99 Task	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Task:	---	8.90	17.10	7.20	7.40	4.60	11.60	7.70	7.30	17.20	6.40	7.60	3.50	6.30	5.40	31.30	32.20	9.40	4.10	8.60	9.50				
	8.90	---	3.40	3.80	5.70	6.50	4.50	3.90	5.60	11.70	3.30	7.30	6.10	3.60	1.80	36.90	13.20	13.30	9.30	6.20	10.70				
	17.10	3.40	---	0.70	1.90	5.70	7.30	1.10	1.80	15.70	3.20	4.20	4.30	5.90	4.10	35.50	14.50	16.40	6.20	3	5.10				
	7.20	3.80	0.70	---	1.20	6.30	7.30	1.10	1.10	15.30	3.30	3.50	4.60	5.90	4.10	37.30	16.70	17.70	6.40	2.30	4.40				
	7.40	5.70	1.90	1.20	---	7.20	9.40	2.20	0.08	17.70	4.40	2.30	5.80	7.10	5.40	37.20	19.20	38.10	6.30	2.30	4.20				
	4.60	6.50	5.70	6.30	7.20	---	8.50	5.40	7.40	8.90	3.90	9.60	2.40	3.50	5.20	30.70	15.10	9.30	7.30	8.60	15.80				
	11.60	4.50	7.30	7.30	9.40	8.50	---	6.80	8.50	7.90	6	11.90	8.20	5.50	4.60	44.50	9.50	20.40	11.80	9.90	15.40				
	7.70	3.90	1.10	1.10	2.20	5.40	6.80	---	1.80	13	3.20	4.20	4.30	5.90	4.20	35.50	14.50	17.30	6.20	3	5.10				
	7.30	5.60	1.80	1.10	0.08	7.40	8.50	1.80	---	17.60	4.60	2.40	5.80	7.10	5.30	37.10	22	17.80	6.30	2.30	4.30				
	17.20	11.70	15.70	15.30	17.70	8.90	7.90	13	17.60	---	9.40	23.20	9.60	7	8	42	9.20	18	19.60	15.90	21.40				
	6.40	3.30	3.20	3.30	4.40	3.90	6	3.20	4.60	9.40	---	8.20	3.40	3.40	3.50	36.50	13.60	12.40	6.90	6.40	8.50				
	7.60	7.30	4.20	3.50	2.30	9.60	11.90	4.20	2.40	23.20	8.20	---	8.20	10	8.20	37.80	20.10	17.50	5.90	2.20	3.10				
	3.50	6.10	4.30	4.60	5.80	2.40	8.20	4.30	5.80	9.60	3.40	8.20	---	4.10	5.80	33.30	15.70	13.60	5.10	7.80	9.90				
	6.30	3.60	5.90	5.90	7.10	3.50	5.50	5.90	7.10	7	3.40	10	4.10	---	1.70	34	12.20	10.40	8.20	7.80	10.80				
	5.40	1.80	4.10	4.10	5.40	5.20	4.60	4.20	5.30	8	3.50	8.20	5.80	1.70	---	35.70	10.90	11.80	8.70	6.70	10.20				
	31.30	36.90	35.50	37.30	37.20	30.70	44.50	35.50	37.10	42	36.50	37.80	33.30	34	35.70	---	50.50	24.70	34.40	38.20	40.30				
	32.20	13.20	14.50	16.70	19.20	15.10	9.50	14.50	22	9.20	13.60	21.10	15.70	12.20	10.90	50.50	---	22	17.80	17.60	25.40				
	9.40	13.30	16.40	17.70	38.10	9.30	20.40	17.30	17.80	18	12.40	17.50	13.60	10.40	11.80	24.70	22	---	13	17.30	18.20				
	4.10	9.30	6.20	6.40	6.30	7.30	11.80	6.20	6.30	19.60	6.90	5.90	5.10	8.20	8.70	34.40	17.80	13	---	6.10	7				
	8.60	6.20	3	2.30	2.30	8.60	9.90	3	2.30	15.90	6.40	2.20	7.80	7.80	6.70	38.20	17.60	17.30	6.10	---	2.10				
	9.50	10.70	5.10	4.40	4.20	15.80	15.40	5.10	4.30	21.40	8.50	3.10	9.90	10.80	10.20	40.30	25.40	18.20	7	2.10	---				
Variant #99 Solution																									
Step #1																									

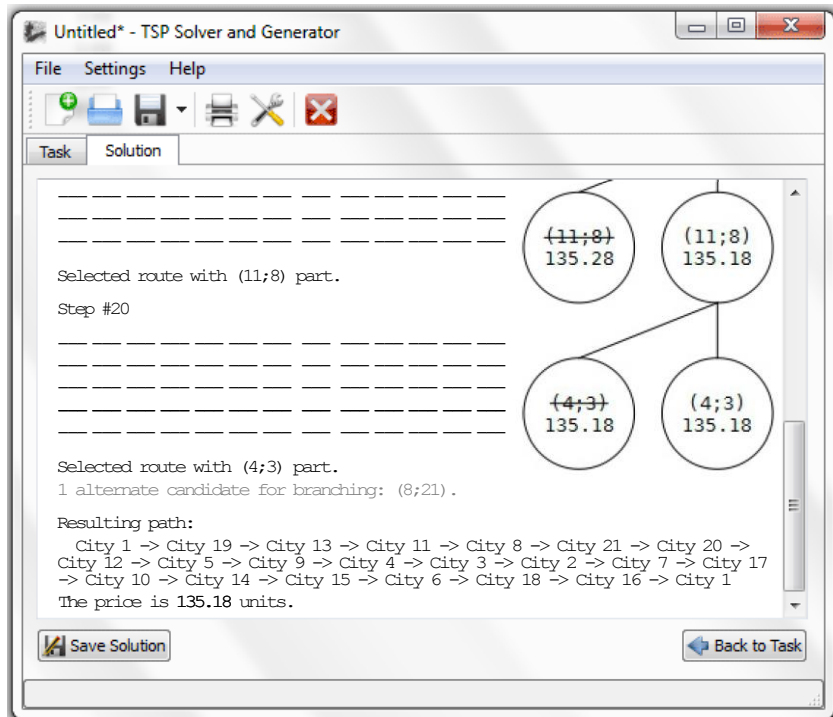
Fuente 12: Programa TSP Solver and Generator

Una vez que la matriz de distancias es ingresada, basta con apretar el botón *Solve* y TSP comienza a resolver el problema de vendedor viajero utilizando el algoritmo indicado. El resultado de la optimización mediante TSP es de **135.180** kilómetros. La secuencia de visitas a clientes o *Cities* es como sigue; **1, 19, 13, 11, 8, 21, 20, 12, 5, 9, 4, 3, 2, 7, 17, 10, 14, 15, 6, 18, 16, 1**. Los resultados se muestran en la Figura 8.

Los resultados pueden ser guardados por el usuario en el formato binario interno del programa, guardados en PDF, HTML u ODF como también imprimirlos.

El programa puede ser ejecutado en varios sistemas operativos tales como Windows, Windows mobile y Linux.

Tabla 8: TSP interfaz - Resultados



Fuente 13: Programa TSP Solver and Generator

VIII. CONCLUSIONES

A modo de conclusión, debemos centrarnos primero en la comparación de los resultados de ambos métodos de resolución para el problema del vendedor viajero planteado. Las rutas óptimas resultantes son **129.279** kilómetros utilizando Solver de Excel y **135.180** usando el programa TSP, mostrando una variación de **5.9** kilómetros, lo que permite afirmar que ambos resultados son igualmente válidos y la diferencia recae en el algoritmo detrás de cada resolución; el del *problema del vendedor viajero* en el caso de Solver y el de *ramificación y poda* para el caso de TSP Solver and Generator.

Teniendo en cuenta la gran cantidad de kilómetros recorridos para cubrir a los 20 mejores clientes de ECG SA dentro de la ciudad de Santiago de Chile, se puede afirmar que un método de optimización de rutas sí es efectivo para la empresa y contribuye positivamente en el área de planificación y logística al reducir los costos de distribución por producto, optimizando y siendo eficiente en todo el proceso de despacho.

En la práctica, ambos métodos de resolución descritos en la presente tesis presentan un grado de dificultad medio. En el caso de Solver de Excel, el tiempo empleado para poder iterar las veces que demande cada problema, 9 en este caso, es considerable. Determinar las nuevas restricciones producto de cada iteración en la forma de *subtours* no es directa. No es una labor automática y hay una propensión hacia el error de cómputo (error humano). De todas maneras este error no forma parte de los factores a considerar al evaluar la efectividad del modelo presentado.

Este factor humano también está presente al ejecutar el programa TSP, ya que la matriz de distancias debe ser imputada manualmente. Al igual que en el caso anterior, este factor no es uno a considerar y no afecta la validez general del resultado.

Considerando el tiempo empleado, TSP resulta ampliamente mejor que Solver de Excel ya que el programa arroja una solución óptima en cuestión de segundos. Una vez introducida la matriz de distancias, el problema queda prácticamente resuelto lo que permite al usuario agilizar el proceso de toma de decisiones. TSP cuenta con una interfaz amigable y resulta mucho más intuitivo para el usuario que Solver de Excel.

En términos de la implementación de estos métodos de optimización, se determinó que Solver de Excel no es viable su uso complejo y el tiempo empleado. No resulta intuitivo para el usuario y si bien, logra solucionar el problema del vendedor viajero optimizando la ruta, en la práctica su implementación no ayuda al diario operar de EGC SA, ya que se deben determinar 4 rutas de 20 puntos de despacho diarios, puntos que cambian según cliente.

Como el tiempo de la implementación es clave para que el proceso sea eficiente, se recomienda el uso del programa TSP para la optimización de rutas. Su factor más determinante es la capacidad de resolver el problema de ruteo en cuestión de segundos, de forma intuitiva y directa para el usuario.

Con respecto a las condiciones en las que se proyectaron los resultados, considerar que mientras el recorrido se realice en condiciones normales, es decir, factores como el tráfico, clima, problemas mecánicos o urgencias del momento no incidan en la ruta, se tendrán las reducciones de distancia y costo planteados.

Por último, señalar que este tipo de problema como lo es el del vendedor viajero, no aplica exclusivamente para el despacho de productos congelados en el canal HORECA, sino que puede ampliarse a cualquier otro problema que se tenga de distribución, siempre y cuando cumpla con las características que este requiere o sea similar al planteado en este estudio.

IX. BIBLIOGRAFÍA

Chase, R.B., Jacobs, F.R. y Aquilano,: “Administración de Operaciones. Producción y N.J.

Chopra, S. y Meindl, P.: “Administración de la Cadena de Suministro. Estrategia, Planeación y Operación” (Prentice Hall)

Coyle, J., Langley, C. y Gibson, B.: “Administración de la Cadena de Suministro”, (Cengage).