

ANÁLISIS Y OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE DISTRIBUCIÓN FÍSICA PARA UNA EMPRESA COMERCIALIZADORA DE PRODUCTOS METALÚRGICOS

Nicolao García, José Ignacio; Zárate, Claudia¹; Esteban Alejandra²; Pérez Burgardt Tomás³; Roch, Yago⁴.*

*Universidad Nacional de Mar del Plata, Facultad de Ingeniería,
Departamento de Ingeniería Industrial.*

Av. Juan B. Justo 4302

**jngarcia@fi.mdp.edu.ar*

¹cnzarate@fi.mdp.edu.ar

²aesteban@fi.mdp.edu.ar

³perezthomas@hotmail.com

⁴yagomr@hotmail.com

RESUMEN

Todas las empresas desarrollan sus actividades inmersas en un entorno que condiciona su funcionamiento. En la actualidad las estrategias para mejorar su competitividad a través del marketing y la producción casi han sido agotadas por lo que las empresas se cuestionan cuáles son las nuevas estrategias que podrían mejorar su gestión para obtener una ventaja competitiva.

El presente trabajo tuvo como objetivo mejorar el proceso de distribución de los productos a los clientes de una empresa distribuidora a través de la aplicación de técnicas analíticas para mejorar el Nivel de Servicio, como así también disminuir los costos que implica dicha función.

A partir del análisis de los datos históricos de la empresa fue posible crear diversas alternativas de zonificación y metodologías de distribución, en búsqueda de perfeccionar el proceso de distribución. Mediante la integración de tres programas, AutoCAD, Excel y WinQSB, se desarrolló una herramienta informática que permite obtener un recorrido optimizado y la hoja de ruta.

La mejora se obtuvo no sólo en función de la zonificación, sino que también fue producto de la aplicación de técnicas de ruteo y la optimización de la gestión y administración del proceso.

PALABRAS CLAVE: distribución, ruteo, zonificación, recorrido, optimización.

1. INTRODUCCIÓN

La organización en la cual se desarrolló este trabajo es una empresa ubicada en la localidad de Mar del Plata y dedicada a la venta y distribución al por mayor de artículos de ferretería, pinturería y áridos en la provincia de Buenos Aires. Los artículos de ferretería incluyen herramientas, grifería plástica, bulonería, escaleras y productos para riego, entre otros. Los productos de pinturería engloban a pinturas para interior y exterior, esmaltes, enduños y barnices. Los áridos incluyen cemento, arena, mezcla, cal, tierra refractaria y yeso.

La empresa, de aquí en adelante denominada PBR S.R.L, posee como prioridad competitiva la entrega a tiempo de los productos que vende.

PBR S.R.L cuenta con una amplia experiencia de 25 años en el negocio. La actividad se desarrolla en un almacén de 1100 m² ubicado en las afueras de la ciudad que consta de estacionamiento propio para vehículos y dos galpones para el almacenaje de los productos.

El proceso que se analizó y optimizó, es el limitado al envío del pedido al cliente, dado que es considerado por los dueños como el de mayor incidencia en los costos generales de la logística de la organización.

Una vez que el pedido ha sido recepcionado y consolidado, se confecciona diariamente el recorrido de distribución, determinándose el orden en el que serán visitados cada uno de los clientes, especificando además la cantidad de bultos que conforman cada pedido.

Actualmente la entrega de los pedidos, se realiza según dos criterios: la zona geográfica en la que se encuentra el cliente y el día de la semana que realiza el pedido.

De acuerdo al primer criterio, la ciudad se encuentra dividida en dos grandes zonas, una denominada Norte y otra Centro Sur tal como se detalla en la Figura 1.



Figura 1 Zonificado de la distribución

La distribución se lleva a cabo de lunes a sábados de manera alternada entre las zonas Norte y Centro Sur modificando su alcance de acuerdo a cada uno de los días de la semana, de acuerdo a lo indicado en la Tabla 1, y que en este trabajo se denomina Distribución Cero, a efectos de una rápida identificación.

Tabla 1 Distribución Cero

DÍA	ZONA
LUNES	Centro Sur y Batán
MARTES	Norte y Ruta 2
MIÉRCOLES	Centro Sur y San Patricio (Ruta 11)
JUEVES	Norte y Santa Clara
VIERNES	Centro sur (solo ciudad de Mar del Plata, sin zonas aledañas)
SÁBADO	Norte y Sierra de los Padres

Esta distribución permite un servicio de respuesta al cliente o Nivel de Servicio en un período máximo de 48 horas cuando se trata de zona Centro Sur y Zona Norte, al cual corresponden el

mayor porcentaje de los clientes. Esto no ocurre con las zonas más lejanas, como lo son Sierra de los Padres, Santa Clara, Batán, Ruta 2 y San Patricio donde el Nivel de Servicio es de 1 semana.

1.1. Planteo de la problemática

La estrategia de una empresa con las características planteadas debe estar alineada con el objetivo de situar los productos en manos de los clientes en forma cada vez más rápida, segura y al menor costo.

La entrega de los productos está subcontratada a una empresa de distribución. Esta empresa recoge los productos del almacén y los distribuye. Diariamente, al inicio de cada jornada, el personal de la empresa se reúne conjuntamente con el chofer del vehículo de la empresa subcontratada a fin de determinar el recorrido que se llevará a cabo para la distribución de los artículos. Dicho recorrido se confecciona a partir de la información vinculada a la ubicación de los clientes y en base a la experiencia adquirida a lo largo de los años en el desarrollo de la actividad. Esto trae como consecuencia una alta incertidumbre en el cumplimiento de los objetivos, en el sentido de que depende mayormente de la experiencia del encargado de la distribución y del chofer que ocasionalmente concurre a realizar el servicio.

Atendiendo al incremento sostenido de la demanda de pedidos registrados en el último año, resulta necesario que la empresa considere la aplicación de nuevas técnicas, procedimientos y herramientas para poder mantener o incrementar el Nivel de Servicio que la caracteriza y al mismo tiempo reducir los costos operativos.

El presente trabajo tiene como objetivo optimizar el proceso de distribución de los productos a los clientes a través de la aplicación de técnicas analíticas de ruteo que permitan mejorar el Nivel de Servicio, como así también disminuir los costos que implica dicha función.

2. MARCO TEÓRICO

Con el término logística se designa el conjunto de actividades que se ocupan de la administración del flujo total de materiales (y del flujo de información a él asociado) que suceden en la empresa. Entendida así, la gestión logística se encarga de planificar, ejecutar y controlar, de una forma eficiente, todas las actividades relacionadas con el flujo de materias primas, componentes, inventarios en curso, productos terminados, servicios e información relacionada, desde el punto de origen al de consumo (incluyendo los movimientos internos y externos, y los de entrada y salida) con el fin de satisfacer las necesidades del cliente.

Las empresas gastan mucho tiempo buscando la manera de diferenciar sus productos de los de sus competidores. Cuando la administración reconoce que la logística y la cadena de suministros afectan a una parte importante de los costos de una empresa y que el resultado de las decisiones que toma en relación con los procesos de la cadena de suministros reedita en diferentes niveles de servicio al cliente, está en posición de usar esto de manera efectiva para penetrar nuevos mercados, para incrementar la cuota de mercado y para aumentar los beneficios. Es decir, una buena dirección de la logística puede no sólo reducir costos, sino también generar un incremento en las ventas.

Para poder llevar a cabo las actividades logísticas relacionadas con la distribución es necesario gestionar, además del flujo físico de productos, un flujo de información. Sin duda, uno de los principales componentes del flujo de información está constituido por los pedidos de los clientes. Su importancia reside en el hecho de que los pedidos ponen en marcha el proceso de distribución física, es decir, representan el gatillo que sirve para disparar el proceso, al mismo tiempo que resultan vitales para mantenerlo en marcha.

La rapidez y la calidad de este flujo de información tiene una influencia directa sobre el Nivel de Servicio que la empresa proporciona a sus clientes, al mismo tiempo que repercute fuertemente en los costos de todas las actividades de distribución física e, incluso, en los de otras actividades que no forman parte de esta área.

Así, pueden formularse los objetivos del sistema de distribución como "proporcionar un determinado Nivel de Servicio al cliente con el mínimo costo".

2.1. Nivel de Servicio

El servicio al cliente es uno de los temas de mayor trascendencia. Existe una coincidencia casi unánime a la hora de resaltar su importancia por sus repercusiones directas sobre la cuota de mercado, los costos totales de distribución física y, como consecuencia, la rentabilidad final de la empresa.

A este servicio derivado de la distribución física se le designa con el término servicio al cliente, y a su grado de calidad es a lo que se denomina habitualmente Nivel de Servicio (NS). Por tanto, el NS no es más que una medida de la forma en que la empresa se comporta con sus clientes, de cómo les está atendiendo, en lo que a distribución física se refiere [1].

Se abordará el concepto de servicio al cliente desde un enfoque que contempla el comportamiento del subsistema de distribución física en su tarea de cumplimentar los pedidos de los clientes. Pero

debe tenerse en cuenta que el Nivel de Servicio es afectado por la actuación del sistema global al que pertenece la distribución física: el sistema logístico.

Las formas de definir y medir el Nivel de Servicio de cada organización deberán ser adecuadas a sus necesidades.

Una forma de definición de NS suele ser el Tiempo del ciclo pedido-entrega o también llamado plazo de entrega. El mismo se puede descomponer a efectos de analizarlo, en cuatro etapas:

- Tiempo de transmisión del pedido. Es el que transcurre entre la emisión de un pedido por el cliente y su recepción en el departamento correspondiente de la empresa.
- Tiempo de tratamiento del pedido. Es el necesario para efectuar las operaciones de tratamiento del pedido y el que se precisa antes de poder iniciar su preparación en el almacén. El tratamiento del pedido está compuesto por una serie de operaciones que es necesario efectuar antes de proceder a su preparación en el almacén. Estas operaciones incluyen la corrección de errores en códigos, cantidades, descuentos, el control de crédito del cliente, la comprobación de que hay existencias disponibles y la edición del documento de preparación.
- Tiempo de preparación y consolidación del pedido. Es el tiempo necesario para efectuar dichas operaciones. La preparación del pedido consiste en recoger de las estanterías del almacén los diferentes artículos que forman parte del mismo y, si es necesario, proceder a su embalaje, pesado, etc. Mediante la consolidación se persigue efectuar la expedición del pedido en unión de otros destinados al mismo cliente, a la misma zona geográfica y al mismo transportista, con el fin de disminuir el costo de transporte.
- Tiempo de entrega. Es el tiempo que se consume al entregar el producto al cliente. Está compuesto principalmente por tiempo de tránsito, pero también incluye tiempos de espera de carga y descarga y, a menudo, tiempos de transbordo de un vehículo a otro.

A la medición y análisis de estos cuatro tiempos, y a efectos de medición del NS, deben agregarse:

- Fiabilidad del plazo de entrega. Este elemento tiene en cuenta el grado de cumplimiento del plazo de entrega prometido por la empresa. Puede medirse como porcentaje de pedidos entregados dentro de plazo.
- Fiabilidad del inventario. Este elemento consta de una serie de parámetros referidos a la eficacia del inventario como fuente inmediata de suministro. Entre otros, el porcentaje de roturas de stock, pedidos servidos sin completar, pedidos no servidos y demanda no atendida. En otras palabras, es una medida de la confianza que se puede depositar en el inventario, es decir, la confianza en disponer del producto cuando se necesite.

2.2. El costo del servicio al cliente

En mayor medida que cualquier otro factor, el nivel proporcionado de servicio logístico al cliente afectará en forma notable el diseño del sistema. Cuando se presionan los niveles hacia sus límites superiores, los costos de logística se elevarán a una razón desproporcionada con respecto del NS. Por ello, la primera preocupación en la planeación estratégica de logística deberá ser el adecuado establecimiento de los niveles de servicio al cliente [2].

El servicio al cliente incluye la disponibilidad de inventario, la velocidad de entrega, y la rapidez y precisión para cumplir con un pedido. Los costos asociados a estos factores se incrementan a mayor ritmo a medida que el NS al cliente se eleva. Por ello, los costos de distribución serán muy sensibles ante el NS proporcionado al cliente, en especial si éste ya se encuentra alto.

Diversos autores, [2,3], coinciden en el modelo que siguen la relación entre ambas variables y tiene un comportamiento similar al que se muestra en la Figura 2.

A medida que se incrementan los Niveles de Servicio al cliente, los costos se incrementarán pero a una velocidad mayor. Este es un fenómeno general que se observa en la mayoría de las actividades económicas. Los costos crecen en forma exponencial a medida que el NS aumenta, dando por resultado la curva en la forma que se muestra en dicha figura.

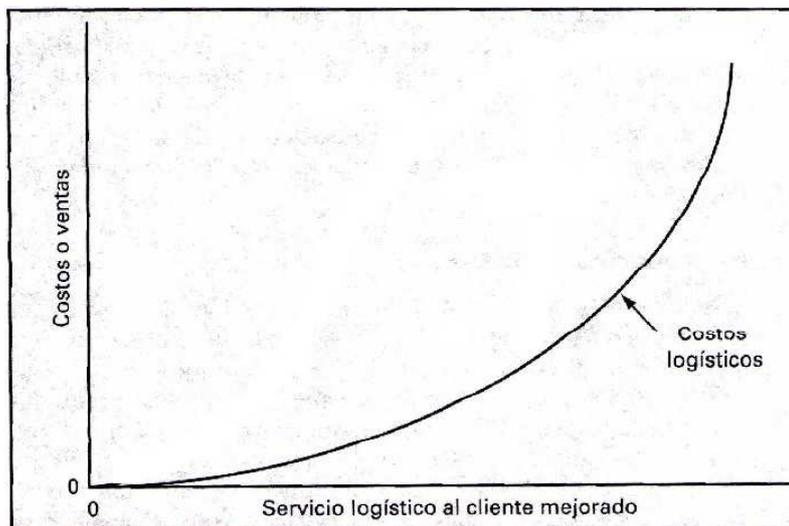


Figura 2 Variación del costo a diferentes Niveles de Servicio

2.3. Planificación de rutas de distribución de los pedidos

Debido a que el costo de transporte origina una parte sustancial de los costos totales de la distribución física, una de las tareas fundamentales del sistema de transporte es mejorar la eficiencia de su funcionamiento mediante la plena utilización del equipo y del personal de transporte.

El tiempo que las mercancías permanecen en tránsito condiciona el número de envíos que pueden hacerse con un vehículo en un periodo de tiempo determinado y afecta los costos totales de transporte de todos los envíos. Para reducir los costos de transporte y para mejorar el servicio al cliente, es preciso buscar rutas de distribución que minimicen el tiempo de viaje, la distancia recorrida o el costo de transporte.

Se entiende por ruta de distribución, la trayectoria que recorre cada vehículo cargado, desde el punto o almacén de origen, visitando todos los puntos de entrega de mercancías, hasta su retorno al punto de partida.

Para planificar o diseñar las rutas de distribución es necesario conocer todas las variables que intervienen en el problema, entre las principales pueden destacarse:

- Situación del punto o almacén de origen.
- Número de puntos de entrega.
- Situación de los puntos de entrega.
- Frecuencia de las entregas.
- Tamaño de las entregas.
- Tiempo empleado (transporte entre puntos, más descarga).

Para resolver el problema de planificación de rutas de distribución se puede utilizar el método denominado Agente Viajero.

2.3.1 El problema del agente viajero

El problema del agente viajero o TSP por sus siglas en inglés, constituye la situación general y de partida para formular otros problemas combinatorios más complejos, aunque más prácticos, como el ruteo de vehículos y la programación de tareas dependientes del tiempo de alistamiento. En el TSP se dispone de un solo vehículo que debe visitar a todos los clientes en una sola ruta y a costo mínimo. No suele haber un depósito (y si lo hubiera, no se distinguiría de los clientes), no hay demanda asociada a los clientes y tampoco hay restricciones temporales.

Denotaremos por $\Delta^+(i)$ y $\Delta^-(i)$ al conjunto de nodos adyacentes e incidentes al nodo i según las Ecuaciones (1,2), es decir,

$$\Delta^+(i) = \left\{ j \in V \mid i, j \in E \right\} \quad (1)$$

$$\Delta^-(i) = \left\{ j \in V \mid i, j \in E \right\} \quad (2)$$

De manera similar, el conjunto de arcos incidentes hacia el exterior e interior del nodo i se definen como puede observarse en las Ecuaciones (3,4).

$$\delta^+(i) = \{(i, j) \in E\} \quad (3)$$

$$\delta^-(i) = \{(i, j) \in E\} \quad (4)$$

El problema puede formularse matemáticamente mediante programación lineal entera (PLE) como sigue [4], Ecuaciones (5-9):

Minimizar:

$$\sum_{(i,j) \in E} c_{ij} x_{ij} \quad (5)$$

Sujeto a:

$$\sum_{j \in \Delta^+(i)} x_{ij} = 1 \quad \forall i \in V \quad (6)$$

$$\sum_{(i,j) \in \Delta^-(i)} x_{ij} = 1 \quad \forall i \in V \quad (7)$$

$$\sum_{i \in S, j \in \Delta^+(i) \setminus S} x_{ij} \geq 1 \quad \forall S \subset V \quad (8)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall (i,j) \in E \quad (9)$$

Uno de los métodos más utilizados para resolver el TSP es el método de ramificación y acotamiento (Branch & Bound).

El método de Ramificación y Acotamiento consiste en dividir el conjunto de soluciones factibles para un programa de programación en enteros en subconjuntos menores (ramificación). Luego, se utilizan diversas reglas para (1) identificar los subconjuntos que es más probable que contengan la solución óptima y (2) identificar los subconjuntos que no es necesario explorar más porque no es posible que contengan la solución óptima.

Se obtiene una cota superior para la mejor solución en cada subconjunto resolviendo una Relajación de Programación Lineal, que es el programa que se obtiene al eliminar los requisitos de enteros para las variables de decisión. En los casos que la solución de tal relajamiento da como resultado la solución en enteros, se llega a la mejor solución del subconjunto y se obtiene una cota inferior para el subconjunto. La mejor de las soluciones enteras factibles (considerando todos los subconjuntos) es la solución óptima.

2.4. División geográfica por zonas o zonificación

2.4.1 Zonificación por regresión

Esta técnica estadística utilizada para estudiar la relación entre las variables permite, a partir de una gráfica de dispersión de los puntos de la ubicación de los clientes, trazar su correspondiente recta de regresión. Describiendo el comportamiento de la nube de puntos, en este caso los posibles destinos de la distribución se dividen en dos grupos dependiendo si se encuentran por encima o debajo de ella.

2.4.2 Zonificación por Análisis de Cluster o Clustering

El análisis cluster es una técnica de Data Mining de clasificación automática de datos. Su finalidad esencial es revelar concentraciones en los datos (casos o variables) para su agrupamiento eficiente en clusters (o conglomerados) según su homogeneidad. El agrupamiento puede realizarse tanto para casos como para variables, pudiendo utilizarse variables cualitativas o cuantitativas. Los grupos de casos o variables se realizan basándose en la proximidad o lejanía de unos con otros, por lo cual es esencial el uso adecuado del concepto de distancia. Es fundamental que los elementos dentro de un cluster sean homogéneos y lo más diferentes posibles de los contenidos en otros clusters [5].

El algoritmo de las K-medias, utilizado en hallar clusters, es el más importante desde los puntos de vista conceptual y práctico. Considera inicialmente unas medias arbitrarias y, mediante pruebas sucesivas, contrasta el efecto que sobre la varianza residual tiene la asignación de cada uno de los puntos a cada uno de los grupos. El valor mínimo de varianza determina una configuración de nuevos grupos con sus respectivas medias. Se asignan otra vez todos los puntos a estos nuevos centroides en un proceso que se repite hasta que ninguna transferencia puede ya disminuir la varianza residual; o se alcance otro criterio de parada: un número limitado de pasos de iteración o, simplemente, que la diferencia obtenida entre los centroides de dos pasos consecutivos sea menor que un valor prefijado. El procedimiento configura los grupos maximizando, a su vez, la distancia entre sus centros de gravedad. Como la varianza total es fija, minimizar la residual hace máxima la factorial o intergrupos. Y puesto que minimizar la varianza residual es equivalente a

conseguir que sea mínima la suma de distancias al cuadrado desde los casos a la media del cluster al que van a ser asignados, es esta distancia euclídea al cuadrado la utilizada por el método, ver Ecuación (10).

$$d(i,j)^2 = \sum (X_{ik} - X_{jk})^2 \quad (10)$$

3. METODOLOGÍA

El trabajo se desarrolló de acuerdo al proceso que se describe a continuación:

1. Relevamiento de los datos actuales de la empresa: nivel de ventas, localización de los clientes y volumen de los pedidos.
2. Obtención de la Semana Tipo, en la cual se promediaron las ventas por cliente y por día, a partir del análisis de los datos de los últimos 4 años.
3. Cálculo de costo y NS actual, obtenido de aplicar la metodología que utiliza la organización para Semana Tipo.
4. Obtención de nuevas alternativas de zonificación como resultado de la aplicación de la técnica de regresión y el método de K-medias.
5. Planteo y evaluación de alternativas diseñadas a partir de combinar las tres zonificaciones -actual, por regresión y por clustering- con distintos tipos de Distribución -Distribución Cero y distribuciones Mixtas-. La evaluación se realiza a través del cálculo de:
 - Distancia Recorrida (DR) [Km] como indicador directo del costo de transporte.
 - Nivel de Servicio obtenido NS
6. Selección de la “mejor” alternativa

La recopilación de toda la información necesaria para poder llevar a cabo el trabajo se realizó en base a entrevistas con el personal y con el aporte de documentos y reportes generados por el sistema de base de datos utilizado por la empresa.

A lo largo del desarrollo del trabajo estos datos fueron procesados y analizados con la utilización de diversos softwares, tales como

- AutoCAD, para el relevamiento de las zonas geográficas de distribución,
- WinQSB - Network Modeling (NET)- para la generación de la solución al problema del agente viajero (TSP)
- MATLAB se utilizó para aplicar la técnica de clustering como una de las alternativas planteadas de zonificación.

Los cálculos requeridos de distancias y costos se realizaron aplicando una herramienta diseñada para este caso en particular, mediante programación en Excel. Su funcionamiento se desarrolla en el anexo.

4. DESARROLLO

4.1. Cálculo del Nivel de Servicio

PBR S.R.L. define el NS como el grado de fiabilidad del plazo de entrega. Este indicador puede medirse como porcentaje de pedidos entregados dentro del plazo asegurado por la empresa [1].

La empresa define un plazo máximo de entrega de 48 horas, que bajo la metodología de distribución y zonificación actual se cumple en el 100% de los casos, suponiendo que siempre existe disponibilidad de stock.

Se procede a definir un indicador de NS% que permita cuantificar el servicio al cliente de las distintas alternativas de recorrido propuestas, ver Ecuación (11)

$$NS\% = \frac{2 \text{ porcentaje de envíos en 24hs} + \text{ porcentaje de envíos en 48hs}}{2} \quad (11)$$

De esta definición se desprende:

- El máximo valor que puede tomar NS es 1, y corresponde a un NS de 100%.
- Las entregas más rápidas (en 24hs.) tienen un impacto más significativo en forma directa en el valor de NS, que las entregas en 48 horas.

4.2. Caso Cero: Zonificación actual con diagrama de recorrido realizado por la empresa

Respondiendo al criterio que utiliza la empresa para zonificar, se simuló la distribución de los pedidos de acuerdo a la Distribución Cero (Tabla 1).

Considerando aquellos pedidos que se determinaron para el día lunes de la Semana Tipo, solo se tomaron en cuenta aquellos correspondientes a dicha zona. Los pertenecientes a la Zona Norte, quedaron pendientes para ser entregados el día martes.

El recorrido del día martes quedó entonces conformado por aquellos clientes que pertenecen a la Zona Norte sumándole a éstos, los pendientes del día lunes. El mismo procedimiento se realizó a través de cada uno de los días de la semana. Posteriormente, el listado de pedidos a distribuir cada día, fue entregado al departamento de Preparación de Pedidos de PBR S.R.L. con el objetivo que la empresa establezca, en base a su procedimiento normal de trabajo, el orden en el que visitarían cada uno de los destinos. De esta forma, se obtuvo la caracterización del procedimiento actual de la empresa a través de los parámetros seleccionados: la distancia recorrida y el NS obtenido. El resultado se presenta en la Tabla 2.

Tabla 2 Caso Cero - Zonificado y procedimiento actual

ZONIFICADO ACTUAL	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	TOTAL SEMANAL	NIVEL DE SERVICIO
DESTINOS	9	8	11	10	14	8		
DR(km)	34,27	15,98	38,23	18,53	47,86	18,03	172,9	
DEMORA 24 h (D24)	9	5	5	4	6	4	33	55%
DEMORA 48 h (D48)		3	6	6	8	4	27	45%
								NS=0,78

4.3. Zonificación

Las Figuras 3 y 4 muestran los resultados de aplicar la técnica de Regresión y la de clusterización, respectivamente, con objeto de dividir la región en dos sectores.



Figura 3 Zonificación por regresión



Figura 4 Zonificación por clustering

4.4. Planteo y Evaluación de alternativas

En la Tabla 3 se detallan las 6 alternativas que se plantearon

Tabla 3 Alternativas planteadas y evaluadas

Alternativa	Zonificación	Cálculo de distancia recorrida	Distribución
1	Actual	TSP	Cero
2	Regresión	TSP	Cero
3	Clusters	TSP	Cero
4	Actual	TSP	Mixta 1
5	Actual	TSP	Mixta 2
6	No	TSP	Mixta 3

5. RESULTADOS

En Tabla 4 se presentan los resultados obtenidos para los parámetros que se evaluaron en cada una de las alternativas planteadas.

Tabla 4 Evaluación de alternativas

Alternativa	DR [km]	D48 [%]	D24 [%]	NS
1	155.63	45	55	0.78
2	166,68	52	48	0.74
3	156,18	58	42	0.71
4	159.44	34	66	0.83
5	166.28	27	78	0.9
6	194.94	0	100	1

Analizando los resultados de la alternativa 1, es evidente y esperable que el NS se mantiene constante ya que no existe modificación alguna en los clientes afectados por la distribución. La aplicación del método de ruteo del problema de agente viajero dio como resultado una distancia total recorrida de 155,63 km, es decir una diferencia de 17,27 km respecto del Caso Cero, equivalente a una reducción del 9,9% en la cantidad de kilómetros recorridos durante la semana simulada.

La nueva alternativa (alternativa 2) surgida por la zonificación aplicando el método del análisis de regresión lineal condujo a caídas en el NS y crecimiento de costos operativos por la suba en la cantidad de kilómetros necesaria para colocar los productos en manos del cliente.

Por otro lado, analizando la Alternativa 3, se observa:

- Una disminución de aproximadamente 10 km en la distancia con respecto al zonificado de la alternativa 2, y una diferencia menor al kilómetro comparando con la alternativa 1.
- Una merma importante en la calidad del servicio, la postergación de entregas a las 48 horas pasa a ser del 58% de los pedidos, incrementándose en 6 puntos con respecto a la última alternativa y en 13 con respecto a la del zonificado actual. Esto se refleja en el NS de 0,71.

A partir de la evaluación de la cantidad de pedidos se consideró realizar una distribución que se denominó Mixta 1, la cual consiste en una distribución mixta, es decir, en ambas zonas, los días viernes y sábados. Los días viernes porque es la jornada en la cual se envía mercadería solo a la localidad de Mar del Plata sin la inclusión de zonas aledañas y los sábados porque es el día en el que se registran menor cantidad de pedidos. Esta distribución es la que se llamó como Mixta 1 (alternativa 4), en ella se advierte:

- En referencia a la longitud del trayecto, un incremento en el valor de 3,8 km respecto de la alternativa 1.
- El NS toma un valor de 0,83. La proporción de clientes a los cuales se les brinda una respuesta colocando el pedido dentro de las 24 horas muestra una mejoría del 11%, ya que crece del 55% anterior al actual 66%.

La alternativa 5, muestra un notable incremento en el NS elevando su valor a 0,90. Se denominó Distribución Mixta 2 y consiste en realizar la distribución mixta los días miércoles y sábados. La distancia recorrida es por 10,65 km superior a la alternativa de mínimo recorrido, pero sigue siendo mejoradora respecto al Caso Cero ya que se encuentra 6,62 km por debajo de la misma.

Llevando al límite el concepto de NS que se introdujo, se propone la alternativa 6 (Distribución Mixta 3) que implica que todos los clientes reciban el pedido a lo sumo a 24 horas de haberse realizado el mismo, independientemente de su ubicación, es decir, no existe zonificación. Naturalmente, esta alternativa llevó el NS al valor de 1 y la distancia recorrida a tales efectos ascendió a 194,4 km, lo que significa un aumento de alrededor del 25% de la distancia recorrida en la alternativa 1.

5.1. Análisis integral de las alternativas

Para poder realizar una evaluación integral de las alternativas se graficaron los resultados de las mismas en la Figura 5.

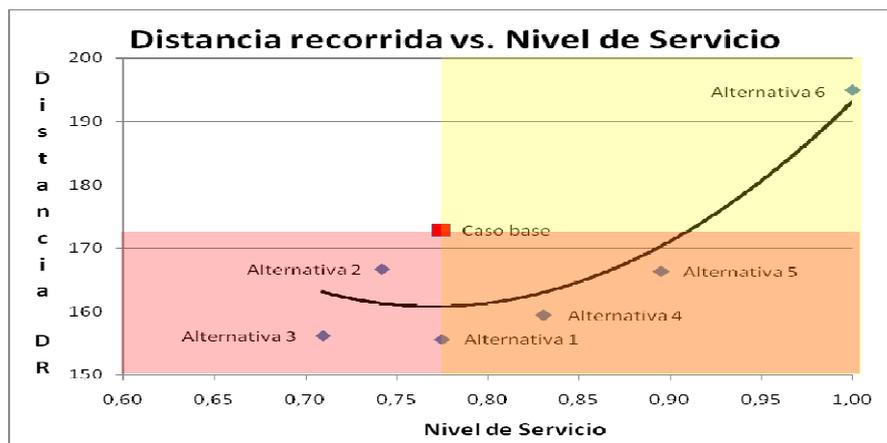


Figura 5 Resultado de las alternativas analizadas

Existen dos alternativas que determinan los límites. Por un lado la aplicación del método de TSP a la zonificación actual -alternativa 1- que minimizó las distancias, y por el otro la alternativa 6 -sin zonificar-, que incrementa el NS a su máximo posible.

Si bien ambas alternativas son superadoras en una de las variables, lo hacen a costa de la otra, interpretándolo como un costo de oportunidad. Es decir, no es posible incrementar el NS sin incurrir en un incremento de la distancia y todos sus costos operativos relacionados. A medida que los niveles de actividad se incrementan para cumplir con los mayores niveles de servicio al cliente, los costos se incrementan a un ritmo creciente [2].

A partir de los valores obtenidos en los parámetros de análisis de este trabajo para las distintas alternativas, se trazó una línea de tendencia que describe cómo varían los kilómetros recorridos con el aumento del NS. Se puede observar un ajuste de los resultados obtenidos con el modelo que plantean diversos investigadores del tema, tal como se presentó en la Figura 2.

El punto rojo señala la situación actual, un recorrido semanal de 172,9 km y un NS de 0,78. A su vez se distinguen dos zonas coloreadas, una amarilla que delimita el área en la cual se ubican las alternativas que son mejoradoras – alternativas 4, 5 y 6 – con respecto al NS, y una roja que delimita aquellas que reducen la cantidad de kilómetros del recorrido – alternativas 1, 2, 3, 4 y 5 –. Si se tiene en cuenta la reducción de la distancia recorrida, son elegibles todas las opciones a excepción de la alternativa 6 que queda fuera de la zona roja.

Incorporando la variable de la mejora en el NS, las alternativas elegibles son los métodos mixtos, alternativas 4 y 5, ubicados en la zona anaranjada de la figura (intersección de las zonas amarilla y roja).

Si bien la alternativa 6 es superadora respecto del NS, el producto que ofrece PBR S.A. es un servicio que actualmente no tiene una gran competencia en la región, lo suficientemente diferenciado, ya sea desde el punto de vista del bien que distribuye como así también la importante trayectoria que posee la empresa. Esto indica que el producto no pueda ser imitado fácilmente y en consecuencia, en el entorno actual, la organización puede permitirse un NS menor a la unidad.

6. RESUMEN Y CONCLUSIONES

A partir de la aplicación de diversas técnicas derivadas de la Investigación Operativa y de la Inteligencia Computacional fue posible mejorar el sistema de distribución de productos en una pequeña empresa.

Se plantearon 6 alternativas resultado de la combinación de distintas zonificaciones y distintos sistemas de distribución. Cada una fue evaluada con los parámetros correspondientes de Nivel de Servicio (NS) y Distancia Recorrida (DR).

Los parámetros de cada alternativa se compararon con los parámetros correspondientes a la alternativa que se denominó Caso Cero, que es la alternativa que actualmente desarrolla la empresa.

Atendiendo al entorno y tipo de producto que suministra la empresa, se selecciona como mejor alternativa, el zonificado actual con una metodología de distribución mixta los días miércoles y sábados – alternativa 5 –, generando un incremento en el NS de 0,78 a 0,90 (15,4%) y reduciendo la distancia recorrida de 172,9 km a 166,28 km (9,6%), respecto del Caso Cero.

También es conveniente mencionar que la alternativa 6 es una opción a tener en cuenta frente a la aparición de competidores y la posible sustituibilidad de los productos. El costo adicional en el que se incurre para aumentar en un punto el NS y llevarlo de 0,90 (alternativa 5) a 1 (alternativa 6) es

de \$2233 anuales. A pesar del importante aumento en los costos es una acción muy valiosa a considerar frente al ingreso o acciones de la competencia que harían que PBR S.R.L. se sitúe en una posición fuerte en el mercado.

Se demostró a través de un caso real, la variación exponencial de los costos logísticos (considerados como proporcionales a la distancia recorrida) con el aumento del NS

Finalmente, con la integración de tres programas, AutoCAD, Excel y WinQSB, fue posible desarrollar una herramienta informática para una pequeña empresa, cuyo tamaño no justifica la adquisición de software específico.

La utilización de la herramienta conduce a la obtención de un recorrido optimizador respecto al que se genera hoy en base a la experiencia, y además, evita posibles confusiones generadas por la confección manual. La nueva hoja de ruta contiene mayor información del recorrido y el tiempo empleado para su generación es menor. La utilización de la herramienta puede ser llevada a cabo por cualquier miembro de la empresa, dejando de depender del empleado experimentado que diseña las rutas de distribución. De esta forma se produce un beneficio tanto en el aspecto del diseño de la ruta de distribución como así también en cuanto a la gestión y la administración del proceso.

7. REFERENCIAS

- [1] Gutierrez Casas, Gil; Prida Romero, Bernardo. (1998). *Logística y distribución física*. Madrid. Primera edición. Mc Graw Hill.España.
- [2] Ballou, Ronald H. (2004). *Logística. Administración de la cadena de suministro*. México. Quinta edición. PEARSON Educación. México.
- [3] Christopher, Martin. (2005). *Logistics And Supply Chain Management*. Gran Bretaña. Tercera edición. Prentice Hall. Gran Bretaña.
- [4] Clarke, G.; Wright, J.(1964). "Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points". *Operations Research*, Issue 12, pp. 568 - 581. Estados Unidos.
- [5] Pérez López, César; Santín González, Daniel. (2008). *Minería de datos. Técnicas y herramientas*. Madrid. Primera edición. Thomson Ediciones Paraninfo S.A. Madrid. España.

8. ANEXO

Metodología y funcionamiento de la herramienta informática

El planteo de las diferentes alternativas se efectuó en base a la Semana Tipo de pedidos. Cada una de estas alternativas, según el criterio de zonificación adoptado en ellas, dio como resultado un listado detallado de los clientes a los cuales se les entrega un pedido. Es decir, para las 6 propuestas de distribución planteadas en el trabajo se obtuvo un listado de los clientes a los que se debe entregar el pedido en cada uno de los días de la semana. Esto implica que en *total* se realizaron 36 simulaciones de distribución diferentes.

El Caso Cero fue un caso particular que se analizó en forma separada dado que no se aplicó para el ruteo la técnica de TSP. Tal como se aclara en el cuerpo del trabajo, el listado de clientes y entregas plasmados en la Semana Tipo, fue resuelta por el departamento de Preparación de Pedidos de PBR S.R.L. El empleado encargado de diagramar el recorrido brindó el orden en el que visitarían cada uno de los destinos en base a su experiencia y procedimiento normal de trabajos. A partir de estos datos se ubicaron los datos brindados en el mapa en AutoCAD. Luego se trazaron las 6 polilíneas cerradas con origen y fin en la distribuidora y que pasan por cada uno de los clientes en el orden establecido por el empleado. A partir de la división de la longitud de las polilíneas por el factor de escala del mapa, se obtuvo la distancia del recorrido de las distintas jornadas de distribución.

Las 36 simulaciones correspondientes a las 6 alternativas planteadas, se llevaron a cabo a través de una herramienta informática, creada especialmente para el caso, que utiliza conjuntamente tres programas: AutoCAD, Microsoft Excel y WinQSB.

El primer paso consistió en poder obtener las distancias entre todos los puntos involucrados en el recorrido, los clientes destinatarios y la distribuidora. Para ello se desarrolló una personalización de AutoCAD que permitió conocer las coordenadas de cada uno de los puntos en un entorno gráfico al ubicar a los clientes y la empresa en un mapa de la ciudad. Mediante lenguaje de programación se creó un archivo de texto puro con extensión MNU y MNS que generó las macros necesarias y modificó la interfaz del programa con nuevos menús desplegables y una barra de herramientas especial.

A partir de aquí se trabajó con Excel que opera en función de toda la información recabada respecto de la ubicación de los puntos del recorrido ingresados en AutoCAD. La planilla permitió capturar dicha información, procesarla para poder obtener la matriz de distancias entre todos los puntos y codificarla para que luego WinQSB pudiera resolver el problema del agente viajero. Esto se llevó a cabo mediante la creación de diversas macros a través del lenguaje de programación Visual Basic.

Una vez incorporada la información de los destinos posibles, el paso siguiente fue seleccionar a aquellos clientes que eran parte del recorrido de la jornada a simular. Dicha jornada de distribución surgió del planteamiento de cada una de las diversas alternativas y criterios, obteniéndose de esta manera las 36 diferentes simulaciones anteriormente mencionadas. A partir del listado de clientes de la jornada y la información de su ubicación se ejecutó el módulo Networking Modeling de WinQSB que genera un recorrido optimizador de distancia que permite la comparación de las alternativas.

En este punto ya se generó la solución del recorrido de la jornada y Excel debía capturar la solución y presentarla a través de la generación de la hoja de ruta. Esto permitió determinar la distancia total del recorrido y conjuntamente con el cálculo del NS comparar las distintas alternativas planteadas.

La planilla de Excel mostró los resultados de la simulación mediante una nueva macro que generó la hoja de ruta que se utilizó luego para el armado de la distribución.

De esta manera se procedió con las 36 diferentes simulaciones, una por cada uno de los días de la semana de las 6 alternativas planteadas.

A partir de todas las simulaciones llevadas a cabo se confeccionó una tabla con la semana de distribución acorde a cada criterio y la distancia empleada, permitiendo además calcular el NS según si la demora en la entrega del pedido era de 24 o 48 horas.