



“Estudio del problema de la asignación de carga para rutas de autoventa en empresas de consumo masivo”

Javier Sánchez Nevárez, Jorge Abad Morán

Instituto de Ciencias Matemáticas
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)
Campus Gustavo Galindo, Km. 30.5 Vía Perimetral
Apartado 09-001-5863, Guayaquil, Ecuador
Octubre 2010 – Guayaquil, Ecuador

Resumen

El presente artículo trata acerca del estudio e identificación de los elementos que intervienen en el problema de asignar carga en rutas de autoventa para luego proponer un método que permita realizar esta tarea causando un impacto económico positivo en las empresas de consumo masivo que usen autoventa como sistema de distribución. Se concentra además en el diseño de un modelo de programación matemática que considere todos los aspectos posibles del sistema de autoventa, desarrollando un modelo general y extensiones que se adaptan a las posibles variaciones del sistema. Con la finalidad de probar la aplicabilidad de los modelos, estos se implementaron usando la data real de una empresa de consumo masivo y se estimó el impacto económico obtenido con la aplicación de cada extensión. El resultado obtenido fue una mejora en la rentabilidad de la operación de autoventa, al mismo tiempo que se observó que el método es práctico para su implementación y uso.

Palabras claves: Autoventa, Demanda, Costos, Problema del Vendedor de Periódicos, Intervalos de Predicción, Programación Matemática, Proceso Estocástico.

1. Definición y Objetivos

El sistema de autoventa, también llamado venta convencional, es un sistema de venta en donde un vendedor a cargo de una unidad de transporte (carretilla, moto, camioneta, camión o incluso a pie) debe recorrer una zona asignada a él, y vender los productos que lleva consigo.

Mediante entrevistas realizadas en 18 empresas de consumo masivo, en la cuales se emplea el sistema de autoventa, se constató que en la mayoría de los casos, la decisión de qué y cuánto producto se cargará en el transporte, es tomada por los choferes-vendedores, ya que estos poseen el conocimiento de la demanda de los sectores que atienden y de esta manera solicitan a un operador,

por medio de una solicitud (muchas veces verbal), se embarquen a su unidad de transporte los productos y las cantidades sugeridas por ellos.

Esta práctica, provoca altos costos de oportunidad, ya que el vendedor no considera todas las variables que explican el comportamiento de la demanda en cada sector que visita, y peor, de cada uno de los productos (sino solamente de los de mayor rotación). Por otro lado, el vendedor no considera la rentabilidad de los productos que lleva, ni los costos de almacenaje y transportación de cada uno. Es decir, la carga no busca rentabilidad sino cubrir más o menos la demanda.

El objetivo general de este trabajo es estudiar las variables que intervienen en el problema de la asignación de carga para los sistemas de autoventa



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA



y proponer soluciones a la asignación de carga para el sistema, basadas en la formulación de un modelo matemático de optimización, que considere los elementos del sistema con propuestas innovadoras que provoquen un impacto económico positivo en los resultados de las operaciones de los sistemas de autoventa.

Específicamente este estudio busca:

- Elaborar un modelo de programación matemática prototipo general para la asignación de carga.
- Elaborar extensiones a la formulación del modelo propuesto con análisis de costos.
- Medir el impacto de usar las técnicas propuestas mediante la simulación de casos reales.

2. Estudio de la problemática: elementos claves

2.1. Procesos

Los procesos recurrentes en la operación de autoventa son:

- Pronóstico de venta
- Asignación de la carga sujeta a restricciones
- Venta en el campo
- Descarga al retorno

2.2. Demanda

La estimación de la demanda y su función de distribución de probabilidades permiten conocer el potencial de venta de la zona, así como estimar los retornos y las ventas perdidas en una operación de autoventa.

2.3. Costos

Los costos asociados a la asignación de la carga identificados en este trabajo son:

- Operación de carga y descarga
- Retorno: Obsolescencia del producto, maltrato, re-empaque, tratamientos especiales, costo del dinero invertido en el inventario que retorna.
- Ventas perdidas: Costo de oportunidad.
- Combustible y mantenimiento

2.4. Margen de ganancia del producto

Cada producto que carga la unidad de transporte tiene una rentabilidad particular, la combinación de estos y sus cantidades escogidas, tiene un impacto directo sobre la ganancia obtenida en la ruta.

2.5. Presencia de marca

Existen estrategias de cobertura, segmentación de mercado, canales de distribución o imagen de marcas, que buscan que ciertos productos no falten en el mercado. Esto representa una restricción más al problema, y aunque pueden representar costos adicionales en la operación, también buscan beneficios de largo plazo

2.6. Canibalismo

En los mercados se pueden manejar múltiples tipos de productos, aquellos que compiten entre sí, como los sustitutos o B-brands. Cargar o no la unidad de transporte con estos tiene un efecto sobre la demanda de otros productos en el mercado

2.7. Enganche

Se va a definir al factor enganche como una medida en la que es necesario tener stock de un producto para impulsar la venta de otros (productos complementarios), esta es una razón mínima entre las cantidades de dicho producto con las de otro.

2.8. Capacidades

Las capacidades se basan esencialmente en el volumen y peso de productos que puede manejar una unidad de transporte. Este elemento tiene un manejo muy complejo ya que el volumen efectivo usado por los productos depende de la morfología de estos.

2.9. Oferta de productos

Este es un elemento que se puede manejar fácilmente, pues se trata de establecer la cantidad de producto disponible para embarcar.

2.10. Transporte

Cuando se tiene una flota de unidades de transporte heterogénea, el problema podría incluir la decisión de qué unidad va a cargar, con qué productos y para cuál zona, decisión que enfrenta algunas restricciones.

3. Modelos de Operación

3.1. Autoventa acompañada

Consiste en utilizar un vendedor especializado como copiloto y, de esta manera, quitarle esta responsabilidad al chofer. La idea es concentrar los esfuerzos para el abastecimiento de un sector o zona en una persona que no tiene que, además de vender, preocuparse del activo de la empresa (camión) y como consecuencia podría mejorar la ejecución de la venta en el punto y los pronósticos para que el vehículo sea cargado.

3.2. Autoventa y toma de pedidos



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA



En esta modalidad el autovendedor al mismo tiempo que ejecuta la venta, pide al cliente que le diga cuanto más o menos va a pedir la próxima vez que lo visite. Esta es una operación que va encaminada a mejorar la estimación de carga para la ruta.

3.3. Autoventa con recarga

Esta es una modalidad que supone que el autovendedor tiene la posibilidad de cargar más producto si es que este se le agota. Se encontraron dos tipos dentro de esta modalidad:

- Bodegas satélites fijas: En la que existe una bodega con producto en las cercanías del sector de atención, y cuya finalidad es la de abastecer producto al transporte que los solicita.
- Bodegas satélites móviles: Existe una unidad móvil con producto, cuya finalidad es la de alcanzar al transporte que solicita producto ahorrándole el tiempo de traslado.

3.4. Autoventa-entrega:

En esta modalidad también llamada mixta, una porción de la carga está destinada a clientes que hicieron su pedido con anticipación (entrega de preventa) y otra a un sector donde por algún factor no es posible el método de preventa.

4. Fundamento teórico

4.1. Modelo del vendedor de periódicos

Es posible establecer una analogía entre el proceso de autoventa y los procesos de abastecimiento de productos de una bodega, si se considera a la unidad de transporte como una bodega móvil. Con base en esto, y dado que se considera a la demanda como un elemento que tiene un componente aleatorio, para este estudio se escogerá como modelo base el modelo llamado "problema del vendedor de periódicos", el cual minimiza los costos a partir de una función de costos que depende de la demanda y la cantidad cargada.

4.2. Pronóstico de la demanda

Los modelos teóricos de predicción, basados en distribuciones de probabilidad permiten establecer los valores esperados de la venta, retornos o ventas perdidas para eventos discretos dentro del espacio muestral, usando la definición de sus intervalos de predicción. En este trabajo se revisa el fundamento teórico de los modelos de regresión, suavización exponencial,

autoregresivos y media móvil, con la finalidad de mostrar que su base teórica permite definir sus intervalos de predicción y por lo tanto discretizar todo el espacio muestral de la demanda.

4.3. Programación estocástica

La programación estocástica es una rama de la programación matemática donde los parámetros del modelo son variables aleatorias.

Cuando los resultados del proceso estocástico son independientes del modelo de optimización, es posible crear un conjunto finito de eventos, donde los vectores de costos o ganancias, son el resultado de los posibles estados, los cuales tienen asociada una probabilidad de ocurrencia. Los posibles estados probabilísticos se muestran como un espacio muestral, cuya dimensión está definida, lo que permite aproximar (de manera discreta), la realidad del universo investigado.

5. Formulación del problema de asignación

5.1. Notación

VARIABLES:

x_{ij} : Variable binaria que indica si el nivel de confianza c_i será escogido para cargar unidades del producto j para la zona i .

y_{ij} : Variable binaria que indica si la unidad de transporte i se asigna a la zona j .

ÍNDICES:

j : Producto

i : Zona

k : Vehículo

c_i : Nivel de Confianza

r_i : Bodega de recargue

PARÁMETROS:

v_j : Volumen del producto

w_j : Peso del producto

cap_k : Capacidad volumétrica del vehículo

cap_k : Capacidad en peso del vehículo

q_j : Cantidad mínima a llevar del producto a la zona

u_j : Margen de Utilidad del producto



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA



: Valor esperado de la venta del producto en la zona dado que se ha cargado unidades del producto para la zona a un nivel de confianza

: Valor esperado del retorno del producto en la zona dado que se ha cargado unidades del producto para la zona a un nivel de confianza

: Cantidad de producto destinado a la zona a nivel de confianza

: Cantidad máxima de producto en bodega, limita la cantidad de producto que se puede cargar

: Costo por unidad de producto cargada

: Costo por unidad de producto descargada (retorno) que contiene el costo financiero por unidad y el costo operativo de la descarga

: Costo asociado al vehículo al ser asignado a la zona

: Factor de Enganche del producto con el producto

: Factor de canibalismo del producto con el producto, que es un porcentual.

: Capacidad volumétrica de la bodega satélite

: Binario, determina si la bodega esta asignada a la zona

: Costo de la recarga para una zona.

Cantidad de producto destinado a la zona cargado para el primer viaje.

5.2. Formulación básica

Restricciones

Para toda zona se debe asignar solamente un vehículo

Para todo vehículo se debe asignar solamente una zona

Para toda zona asignada al vehículo la suma de los volúmenes no debe exceder a la capacidad del vehículo.

Para toda zona asignada al vehículo la suma de los pesos no debe exceder a la capacidad del vehículo.

Para toda zona la cantidad de producto no debe ser inferior a un mínimo establecido.

Para todo producto y para toda zona, se debe escoger solo un solo nivel de confianza

Para todo producto la suma de las cantidades escogidas para cada zona no debe exceder al stock en bodega.

Función Objetivo

Maximizar:

5.3. Extensión I: costos de mantenimiento de la flota de vehículos

Maximizar:

Sujeto a:



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA



5.4. Extensión II: Costos de carga y descarga

Maximizar:

Sujeto a:

5.6. Extensión IV: Efecto canibalismo

Maximizar:

Sujeto a:

5.5. Extensión III: Factor enganche

Maximizar:

Sujeto a:

5.7. Extensión V: Estrategias de cobertura

Maximizar:

Sujeto a:



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA



resultados por el modelo, hubo ocasiones en que la carga que se planificó en el escenario real, superó a los resultados del modelo.

Fue posible comprobar que estos resultados no se dieron por el azar, puesto que la probabilidad de obtener un resultado como este (tasa de éxito = 88.9%) o uno mejor, dada la suposición de que este resultado se obtuvo por el azar (que es lo mismo que asumir que la probabilidad de tener éxito en cada operación es de 0.5), es igual a $8.04888E-22$, lo cual es evidencia de que el modelo es el responsable de los logros obtenidos.

5.8. Extensión VI: Bodegas satélites

Maximizar:

Sujeto a:

6.1. Margen de utilidad bruta

ZONA	MARGEN REAL	MARGEN SIMULADO			
		BASICO	EXT. I	EXT. II	EXT. IV
1	\$ 27,832	\$ 28,928	\$ 28,928	\$ 28,328	\$ 28,328
2	\$ 56,328	\$ 59,465	\$ 59,471	\$ 59,062	\$ 59,062
3	\$ 57,669	\$ 60,485	\$ 60,469	\$ 60,382	\$ 60,382
4	\$ 66,602	\$ 72,102	\$ 72,150	\$ 71,965	\$ 71,965
5	\$ 69,075	\$ 78,753	\$ 78,762	\$ 78,506	\$ 87,347
TOTAL	\$ 277,505	\$ 299,734	\$ 299,779	\$ 298,242	\$ 307,084
PROMEDIO	\$ 55,501	\$ 59,947	\$ 59,956	\$ 59,648	\$ 61,417

6.2. Indicadores de retorno

ZONA	REAL	% RETORNO SIMULADO			
		BASICO	EXT. I	EXT. II	EXT. IV
1	43.6%	63.1%	63.1%	48.3%	48.3%
2	32.9%	44.0%	44.0%	41.9%	41.9%
3	20.7%	39.8%	39.3%	37.5%	37.5%
4	26.0%	37.6%	38.1%	36.0%	36.0%
5	18.6%	35.7%	35.7%	34.6%	55.3%
TOTAL	27.0%	42.8%	42.8%	38.6%	45.2%

6.3. Indicadores de quiebre de stock

ZONA	REAL	% QUIEBRES DE STOCK EN RUTA			
		BASICO	EXT. I	EXT. II	EXT. IV
1	28.7%	2.0%	2.0%	8.4%	8.4%
2	27.4%	6.2%	6.2%	8.7%	8.7%
3	52.2%	10.4%	10.7%	10.3%	10.3%
4	49.6%	7.3%	7.0%	7.9%	7.9%
5	63.8%	26.4%	26.4%	26.1%	8.0%
TOTAL	44%	10%	10%	12%	9%

6.4. Utilidad neta

ZONA	UTILIDAD				
	REAL	BASICO	EXT. I	EXT. II	EXT. IV
1	\$ 26,424	\$ 26,182	\$ 26,197	\$ 26,926	\$ 26,862
2	\$ 54,776	\$ 57,270	\$ 57,251	\$ 57,256	\$ 57,284
3	\$ 56,441	\$ 57,795	\$ 57,844	\$ 58,044	\$ 58,020
4	\$ 65,280	\$ 69,786	\$ 69,770	\$ 69,993	\$ 70,012
5	\$ 67,823	\$ 76,186	\$ 76,227	\$ 76,177	\$ 83,383
TOTAL	\$ 270,744	\$ 287,220	\$ 287,289	\$ 288,395	\$ 295,561
PROMEDIO	\$ 54,149	\$ 57,444	\$ 57,458	\$ 57,679	\$ 59,112

7. Conclusiones y recomendaciones

7.1. Conclusiones

- El problema de asignación de carga para rutas de autoventa contiene elementos que dependen de las variaciones en los modelos de operación.

6. Aplicación de los modelos

Como resultado de la aplicación de los modelos propuestos, se obtuvo el 88.9% de operaciones exitosas, lo cual indica que, aunque en la mayor parte de las operaciones se vieron mejorados los



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA



- Las utilidades generadas en los escenarios simulados, fueron mínimo del 6.1% superiores a lo generado en la realidad, llegando a un máximo del 9.2% por encima del escenario real, además de obtener una tasa de éxito del 82.2% al 88.9%, demostrando así ser efectivos.
- Los modelos propuestos en este estudio se pudieron implementar sin contratiempos. Se concluye que este es un método práctico para resolver este problema.
- No siempre los mejores índices estuvieron relacionados a los mejores resultados en cuanto a utilidad.
- Las variables económicas que conforman la función objetivo, deben ser cuidadosamente escogidas a fin de generar soluciones que mejoren significativamente las operaciones.
- El problema estocástico de asignación de cargas se puede resolver formulando primero de manera externa el proceso estocástico, para luego usar programación lineal binaria para resolverlo como un problema determinístico en forma de escenarios.
- El método de estimación de la demanda es un factor decisivo en los resultados del modelo, ya que el dimensionamiento del espacio de probabilidades alimenta al modelo para la toma de decisiones.
- El modelo produce mejores resultados a pesar de que los modelos de pronósticos son los mismos que los utilizados originalmente, esto se explica por la efectividad del modelo.
- La obtención del cálculo de volúmenes de carga podría llegar a ser muy complicado si la topología de unidades de carga y almacenamiento no está estandarizada.
- Las empresas ecuatorianas tienen una gran oportunidad de mejorar sus procesos de autoventa a través de técnicas de optimización, mejorando las decisiones que se toman al momento de asignar carga a sus vehículos, puesto que en todas las operaciones que se revisaron durante el periodo de investigación para el desarrollo de este trabajo, los operadores de distribución se centraban en el pronóstico de la demanda y la minimización de los retornos como camino para maximizar la utilidad esperada, sin considerar los márgenes de utilidad generados por producto y sus probabilidades de venderse.

7.2. Recomendaciones

- Considerar el control de valores aberrantes para mejorar las estimaciones y por lo tanto los resultados.
- Es importante considerar la automatización de los procesos de cálculo y recolección de datos para que la implantación de estas técnicas tenga la dinámica necesaria para ser utilizada en el consumo masivo, donde se debe decidir acerca de la carga para múltiples rutas todos los días a nivel país.
- Es necesario realizar un estudio de volumetría en los productos y/o estandarizar las unidades de carga y/o almacenamiento y estudiar los métodos de cálculo de utilización del espacio frente a condiciones complejas.
- Los sistemas de costeo ABC ayudan a medir con más certeza los parámetros de costos y en el desarrollo de las simulaciones en este trabajo, facilitaron el levantamiento de información.
- El modelo extensión VI fue desarrollado en dos partes, sin embargo se puede formular como un solo modelo considerando las distribuciones de probabilidad de la demanda por ventanas horarias, sin embargo, los errores de muestreo y de aproximación serían mayores, así como la varianza de la estimación total de la demanda.
- Es interesante que se realice un estudio objetivo acerca de las condiciones sobre las cuales se deba escoger entre un sistema y otro.

8. Referencias

- Javier F. Sánchez Nevárez (2010), *Estudio del problema de la asignación de carga para rutas de autoventa en empresas de consumo masivo*, Tesis de Postgrado, Maestría en control de operaciones y gestión logística, ICM, ESPOL.
- Ignacio Soret Los Santos (2006), *Logística y Marketing para la Distribución Comercial*, 3era edición, ESIC Editorial.
- Jordi Pau i Cos y Ricardo de Navascués (1998), *Manual de Logística Integral*, Ediciones Díaz de Santos.
- Luis Aníbal Mora García (2008), *Gestión Logística Integral*, Ecoe Ediciones.
- David de la Fuente García, José Parreño Fernández, Isabel Fernández Quesada, Raúl Pino Diez, Alberto Gómez Gómez, Javier Puente García (2008), *Ingeniería de Organización en la Empresa: Dirección de*



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA



- Operaciones*, Ediciones de la Universidad de Oviedo.
- Salvador Miquel Peris, Francisca Parra Gerrero, Christian Lhermie, Maria Jose Miguel Romero (2006), *Distribución Comercial* - 5ta edición, ESIC Editorial.
 - Yu Ermoliev (1988), *Numerical Techniques for Stochastic Optimization*, Springer-Verlag.
 - Peter Kall and Stein W. Wallace (1994), *Stochastic Programming*, John Wiley.
 - Bovas Abraham, Johannes Ledolter (2005), *Estistical Methods for Forecasting*, John Wiley & Sons.
 - Hanke, John E. (2006), *Pronósticos en los negocios* - 8ava edición, Pearson Educación.
 - Rob J. Hyndman, Anne B. Koheler, J. Keith Ord, Ralph D. Snyder (2008), *Forecasting with exponential Smoothing*, Springer-Verlag.
 - Gerhard Tintner (1940), *The Variate Difference Method*, Cowles Commission and the Department of Economics and Sociology, Iowa State College.
 - Jesus Velasquez Bermúdez (2005), *Optimización Estocástica Multi-etapa con Manejo de Riesgo*, Trabajo de investigación para optar al título de Doctor en Ingeniería mención Sistema Energéticos, Medellín, Universidad Nacional de Colombia.
 - Anton J. Kleywegt and Alexander Shapiro (2000), *Stochastic Optimization*, School of Industrial and Systems Engineering, Georgia Institute of Technology, 2000.
 - Van-Nam Huynh, Jonathan Lawry, Yoshiteru Nakamori, Masahiro Inuiguchi (2010), *Integrated Uncertainty Management and Applications*, Springer-Verlag.

M.Sc. Jorge Abad Morán

Director de Tesis