

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL



INSTITUTO DE CIENCIAS MATEMÁTICAS

ESCUELA DE GRADUADOS

TESIS DE GRADUACIÓN

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

“MÁGISTER EN CONTROL DE OPERACIONES Y GESTIÓN LOGÍSTICA”

TEMA

**“ESTUDIO DEL PROBLEMA DE LA ASIGNACIÓN DE CARGA PARA RUTAS DE
AUTOVENTA EN EMPRESAS DE CONSUMO MASIVO”**

AUTOR

JAVIER FERNANDO SÁNCHEZ NEVÁREZ

Guayaquil – Ecuador

2010

Agradecimientos

A Dios, por la oportunidad de vivir cada día; a mi esposa e hija, por su apoyo y motivación para ser cada vez una mejor persona; a mi padre y a mi madre, por su constante ejemplo y consejos de vida; a mis colegas y socios, por darme la oportunidad de trabajar con ellos y aprender cada día un poco más; a la Escuela Superior Politécnica del Litoral, por poner a disposición de los que conformamos nuestra sociedad sus servicios, tan llenos de valor para el crecimiento de la comunidad.

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mi amada esposa, a mi hija y a mi hijo, a quien conoceré en poco tiempo.

TRIBUNAL DE GRADUACION



M.Sc. Washington Armas

PRESIDENTE DEL
TRIBUNAL



M.Sc. Jorge Abad

DIRECTOR DE
TESIS



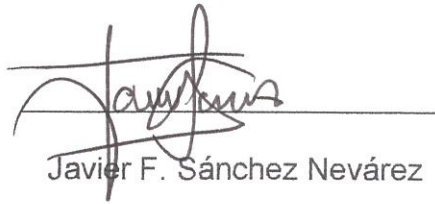
M.Sc. Daniel Agreda

VOCAL 1

DECLARACION EXPRESA

responsabilidad del contenido de esta tesis de postgrado, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”.

glamento de graduación de la ESPOL.



Javier F. Sánchez Nevárez

Índice general

Índice general.....	I
Índice de tablas y gráficos.....	IV
1. Definición y Objetivos.....	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Justificación e importancia.....	3
1.3. Objetivo General.....	4
1.4. Objetivos específicos.....	5
1.5. Metodología.....	5
2. Estudio de la problemática: elementos claves	7
2.1. La problemática básica.....	7
2.2. La demanda.....	8
2.3. Costos Fijos y variables.....	9
2.4. Margen de ganancia del producto	12
2.5. Presencia de marca.....	13
2.6. Efecto Canibalismo.....	13
2.7. Factor enganche.....	13
2.8. Capacidades.....	14
2.9. Oferta de productos.....	14
2.10. El transporte	14
3. Modelos de Operación.	16
3.1. Autoventa acompañada.....	16

3.2. Autoventa y toma de pedidos	16
3.3. Autoventa con recarga	17
3.4. Autoventa-Entrega.....	18
4. Fundamento Teórico	19
4.1. Modelo del vendedor de periódicos.....	19
4.2. Pronostico de la demanda.....	22
4.2.1. Modelos de Regresión.....	22
4.2.2. Suavización exponencial	24
4.2.3. Modelos ARIMA.....	28
4.3. Programación estocástica	34
5. Formulación del problema de asignación.....	36
5.1. Formulación Básica	36
5.1.1. Variables.....	40
5.1.2. Índices	40
5.1.3. Parámetros	41
5.1.4. Restricciones	41
5.1.5. Función Objetivo.....	42
5.2. Extensión I: Costos de mantenimiento de la flota de vehículos.....	43
5.3. Extensión II: Costos de carga y descarga (procesos en el despacho) ...	45
5.4. Extensión III: Factor enganche	46
5.5. Extensión IV: Efecto Canibalismo.....	47
5.6. Extensión V: Estrategias de cobertura	49
5.7. Extensión VI: Bodegas Satélites.....	50
6. Aplicación de los modelos.....	53

6.1. Simulación usando el modelo básico	54
6.2. Simulación usando el modelo Extensión I	57
6.3. Simulación usando el modelo Extensión II	61
6.4. Simulación usando el modelo Extensión VI.....	65
7. Conclusiones y recomendaciones.....	69
7.1. Conclusiones	69
7.2. Recomendaciones	71
Bibliografía.....	73

Índice de tablas y gráficos

1.4	Flujo metodológico	6
6.1	Margen de ganancia bruta – Modelo básico	54
6.2	Indicador de retorno – Modelo básico	55
6.3	Indicador de quiebre de stock en ruta – Modelo básico.....	55
6.4	Índice de operaciones exitosas – Modelo básico.....	56
6.5	Costos asociados al tratamiento del retorno – Modelo básico	56
6.6	Costos de mantenimiento de vehículos y combustible – Modelo básico.....	57
6.7	Resultados de la utilidad usando el modelo básico	57
6.8	Margen de ganancia bruta – Modelo Ext. I	58
6.9	Indicador de retorno - Modelo Ext. I	59
6.10	Indicador de quiebre de stock en ruta - Modelo Ext. I	59
6.11	Índice de operaciones exitosas – Modelo Ext. I	59
6.12	Costos asociados al tratamiento del retorno – Modelo Ext. I	60
6.13	Costos de mantenimiento de vehículos y combustible – Modelo Ext. I	60
6.14	Resultados de la utilidad usando el modelo Ext. I	60
6.15	Margen de ganancia bruta – Modelo Ext. II	61
6.16	Indicador de retorno - Modelo Ext. II	62
6.17	Indicador de quiebre de stock en ruta - Modelo Ext. II	62
6.18	Índice de retorno – Comparativo modelos: básico y Ext. II	62
6.19	Índice de quiebres de stock – Comparativo modelos: básico y Ext. II	63
6.20	Índice de operaciones exitosas – Modelo Ext. II	63

6.21	Costos asociados al tratamiento del retorno – Modelo Ext. II	63
6.22	Costos de mantenimiento de vehículos y combustible – Modelo Ext. II	64
6.23	Resultados de la utilidad usando el modelo Ext. II	64
6.24	Margen de ganancia bruta – Modelo Ext. VI	65
6.25	Indicador de retorno - Modelo Ext. VI	66
6.26	Indicador de quiebre de stock en ruta - Modelo Ext. VI	66
6.27	Índice de retornos – Comparativo modelos: básico, Ext. I, Ext. II, Ext. VI ..	66
6.28	Índice de quiebres de stock – Comparativo modelos: básico, Ext. I, Ext. II, Ext. VI	67
6.29	Costos asociados al tratamiento del retorno – Modelo Ext. VI	67
6.30	Costos de mantenimiento de vehículos y combustible – Modelo Ext. VI	67
6.31	Resultados de la utilidad usando el modelo Ext. VI	68
6.32	Utilidad generada – Comparativo modelos: básico, Ext. I, Ext. II, Ext. VI	68

1. Definición y Objetivos

1.1. Introducción

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 consigo¹. Existen algunas variantes, las que se pueden clasificar de acuerdo a la definición de algunos factores como:

- Asignación de zonas: Donde al autovendedor podría tener asignada una zona específica y bien delimitada (zonas blindadas) dentro de la cual le corresponde vender los productos que lleva consigo solamente dentro de esta.
- Asignación de cartera de clientes: Una operación de autoventa podría tener asignada una cartera específica de clientes, a los que debe visitar con una frecuencia determinada, y en un orden específico. A la lista de clientes que debe visitar en un día específico y ordenada en una secuencia cronológica de visita se le va a llamar ruta de visita, la cual tiene como objetivo minimizar los traslados entre clientes y así optimizar tiempos y otros costos asociados al recorrido del autovendedor.

En Base a esta definición, se podría citar algunos ejemplos de operaciones donde se usa este sistema:

- El vendedor de periódicos que camina por las esquinas de una vía transitada a primera hora en la mañana con la finalidad de vender el diario a las personas que pasan por la vía, debe considerar su capacidad de carga frente a la demanda diaria. Así mismo la administración del diario debe cuidar no darle muchos periódicos y evitar así las devoluciones por no concreción de ventas, lo que causa

¹ Manuel Artal Castells(1999). Dirección de ventas. Editorial ESIC

un desperdicio. Esta es una operación, donde el producto caduca muy rápidamente y los periódicos sobrantes representan una pérdida total del producto. Al producto sobrante se le va a llamar “retorno de autoventa”.

- El vendedor de helados que con un carrito lleva helados a una zona específica, la que debe recorrer con el afán de vender los productos que lleva consigo. El vendedor debe considerar la capacidad de carga de su carrito, y decidir qué productos llevar con la finalidad de satisfacer el gusto de sus clientes y al mismo tiempo buscar la mejor rentabilidad en su operación, puesto que unos que le dejan un mejor margen que otros, aunque no siempre los que ofrecen un mayor margen son los que tienen mayor demanda.
- El vendedor de bebidas refrescantes (colas, jugos, aguas), que lleva los productos por medio de un camión, especialmente diseñado para llevar este tipo de mercadería, aprovechando al máximo la capacidad volumétrica de carga de la unidad de transporte. Este vendedor tiene las mismas preocupaciones que los anteriores, pues la compañía donde trabaja, generalmente le paga basado en un modelo de comisiones por volumen de ventas. La compañía, por su parte, está interesada en sacarle el mejor provecho posible a la operación, puesto que vender más no necesariamente significa mejorar la rentabilidad de la operación.

El sistema de autoventa es usado principalmente en mercados donde el tamaño de las transacciones es muy pequeño, la dispersión de los puntos a distribuir es alta y/o existe un grado importante de informalidad en el manejo de los negocios por parte de los clientes, y en ocasiones, en mercados nuevos o inexplorados, por ejemplo en zonas rurales o en las periferias de las ciudades².

² Basado en los datos recogidos por el autor mediante entrevistas a 18 empresas de consumo masivo en Quito y Guayaquil

1.2. Justificación e importancia

Según datos obtenidos mediante entrevistas a 18 empresas ecuatorianas, el sistema de venta preferido para el consumo masivo es el de preventa, sin embargo, el sistema de autoventa es usado para atender alrededor de un 20% del mercado. Los motivos por los cuales se usa este sistema, según representantes de estas empresas, son: el grado de informalidad de ciertos mercados, el bajo tamaño de las transacciones, la incursión en mercados inexplorados, y la existencia de regiones con una alta dispersión entre puntos de venta.

Las empresas escogidas para este estudio, según el ranking de las 400 empresas más grandes del Ecuador del año 2009 publicado por la revista EKOS³, representan el 8.9% del total de ventas del ranking y sus ventas durante el año 2009 fueron de 3.621 millones de dólares.

En este sistema de venta, la asignación de productos a los camiones es un problema con el cual las empresas deben enfrentarse a diario, y acerca del cual no se encuentra literatura que provea de un método técnico para ejecutar este proceso de manera eficiente.

En la gran mayoría de las empresas estudiadas se realiza esta tarea por medio de los choferes-vendedores, que 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).

³ Revista "Ekos negocios", No. 183, Julio 2009

Las consecuencias de esta práctica son:

- Pérdida de presencia de ciertos productos de poca rotación, pero que satisfacen nichos específicos de mercado.
- Pérdidas en venta por no llevar suficiente stock para atender al mercado.
- Altos retornos por llevar cantidades muy superiores a la demanda.

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.

La maximización de la rentabilidad esperada de la carga mejoraría la rentabilidad de la operación, y en consumo masivo, donde este sistema atiende a alrededor del 32% de los puntos de venta⁴ (detallistas), resulta relevante la optimización del proceso.

Es así que en este trabajo se estudiará en primer lugar la complejidad total del problema “tropicalizado” a la realidad de nuestras empresas y mercados, pormenorizando las variables que maneja durante las actividades de impacto económico del sistema y sus variantes, para luego, a través de técnicas de optimización, formular un modelo que permita mejorar los resultados de la operación de autoventa.

1.3. Objetivo General

Estudiar las variables que intervienen en el problema de la asignación de carga para los sistemas de autoventa 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.

⁴ Basado en los datos recolectados por el autor en 18 empresas de consumo masivo

1.4. Objetivos específicos

- 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.

1.5. Metodología

Para establecer una definición y planteamiento general del problema que surge al operar con sistemas de autoventa se hizo un reconocimiento de los hechos fundamentales que caracterizan a este fenómeno a través de la observación, y entrevistas con operadores, y administradores en mandos medios y altos de aéreas de distribución y comercialización en empresas de consumo masivo donde se usa el sistema de autoventa.

Una vez reconocidos los elementos relacionados al problema básico, se buscó modelos teóricos que se asemejen conceptualmente a los fenómenos que ocurren en los procesos del sistema de autoventa, como por ejemplo, los relacionados a la demanda, control de inventarios y optimización de costos.

Luego, a partir del análisis y la síntesis de los elementos del sistema, se adaptó el marco teórico de los modelos encontrados al problema, lo que permitió el diseño de un modelo teórico general, a partir del cual se desarrollaron extensiones encaminadas a la formulación del problema considerando factores adicionales a la conceptualización general.

Para lograr medir el impacto de la utilización de los métodos de asignación de carga formulados, se obtuvo información real de las operaciones de autoventa durante tres meses, de donde se tomo dos meses para obtener estimaciones de la demanda, y el último mes se uso para establecer comparaciones entre lo que la empresa, de donde provienen los datos, hace y los resultados de usar la formulación obtenida en este estudio.

Para establecer una medida de impacto del uso de la formulación propuesta en este trabajo, se usó para la estimación de la demanda, el mismo modelo de pronóstico utilizado en la operación real, y así no incorporar en los resultados factores que provoquen una mejora en los resultados que no sean propiamente los del modelo formulado.

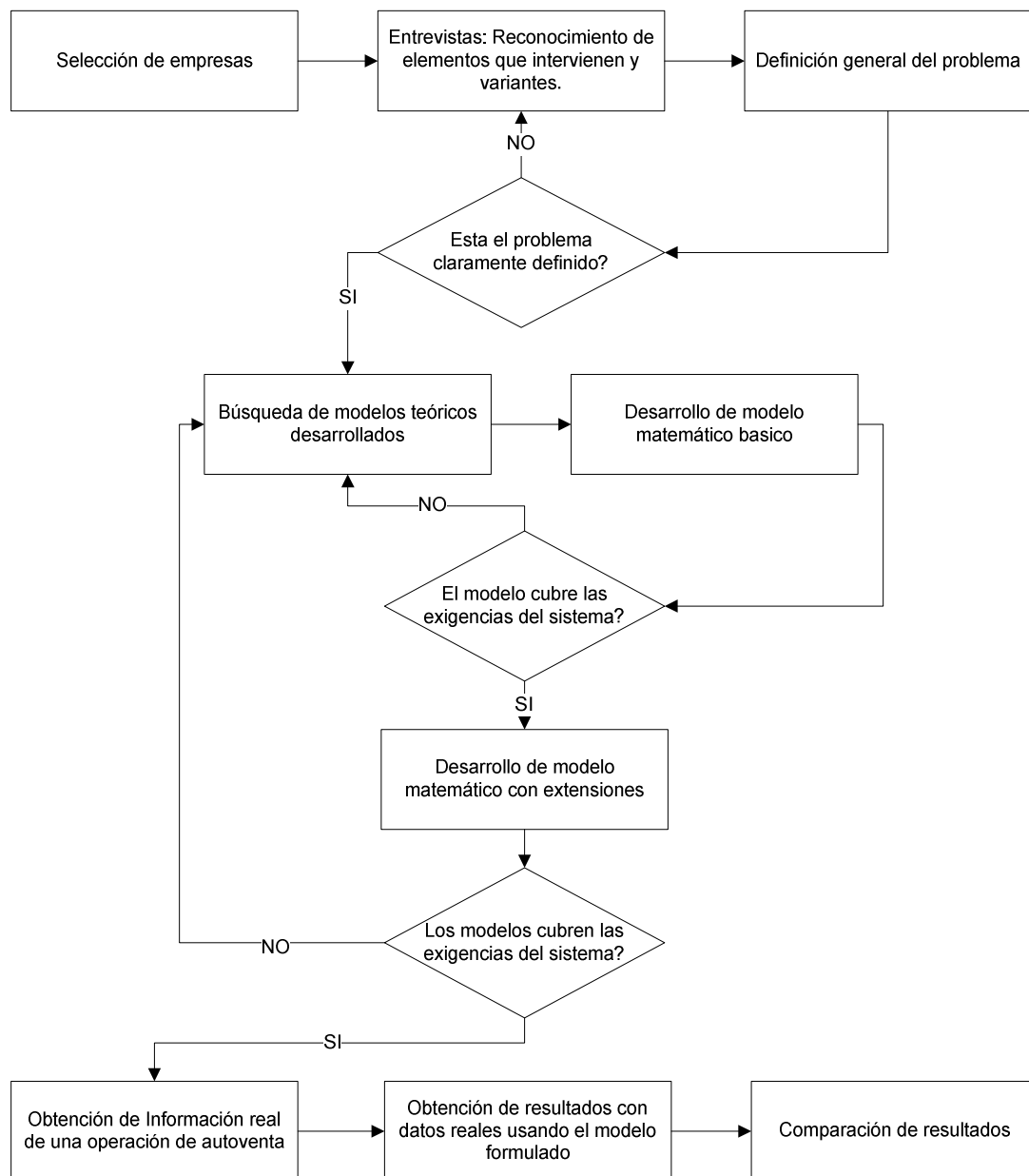


Gráfico 1.4: Flujo metodológico

2. Estudio de la problemática: elementos claves

2.1. La problemática básica

Mediante la observación in situ de las operaciones en empresas investigadas, lo que comúnmente se busca en autoventa es obtener la máxima venta posible por ruta, y al mismo tiempo reducir el retorno ocasionado por el exceso de carga. Para lograr estos objetivos se debe primero identificar los elementos que intervienen en el proceso:

- La oferta y la demanda: Básico para determinar la cantidad de producto de cada tipo que se puede y debe llevar.
- La capacidad del vehículo: El mayor de los problemas asociado a este elemento ocurre cuando la demanda esperada supera a la capacidad de carga del transporte.
- Los costos asociados al proceso: Carga y descarga, retornos, ventas perdidas, combustible y mantenimientos.

Los procesos comunes observados en estas empresas fueron:

- Pronostico de venta: En muchos casos es efectuado por el “autovendedor” según su experiencia.
- Asignación de la carga sujeta a restricciones: tarea que generalmente está a cargo de un operador en aquellas empresas donde existe un sistema de soporte para estas operaciones o directamente por la persona que despacha los vehículos. Esta tarea considera información como Disponibilidad de producto, Capacidad de carga de las unidades de transporte, segmentación de mercados, cobertura, imagen, etc. Existen operaciones donde se llevan estándares de cobertura por producto, basados en que debe haber presencia de ciertos productos por imagen o por la existencia de una estrategia de canales, la cual puede implicar que en clientes puntuales no debe faltar ciertas marcas o empaques en particular.
- Venta: Parte del objetivo es mejorar la venta al reducir la probabilidad de quedarse sin stock en cada producto. El aumento de las ventas

está también asociada a la gestión que hace el vendedor en el mercado con los clientes (trato, negociación, métodos para llamar la atención, merchandising, etc.)

- Descarga al retorno (del producto no vendido): Parte del objetivo es reducir el retorno, los cuales generan costos por inventario, re-embalaje, daño, por tareas de recepción, etc.

Existen dentro del problema múltiples objetivos que cumplir, y que son antagónicos, como disminuir la probabilidad de quedarse sin stock, y disminuir el retorno esperado, maximizando la rentabilidad de la operación.

2.2. La demanda⁵

La demanda es un elemento que tiene un comportamiento aleatorio. En una operación de autoventa con rutero, cada cliente tiene una demanda esperada, sin embargo, en este estudio se va a definir a la zona como el elemento demandante, ya que el estimador de esta demanda, que es la venta promedio, tiene siempre menor varianza (o a lo mucho igual) que la suma de los estimadores del valor esperado de la demanda en cada cliente.

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

Existen muchos métodos para determinar la demanda entre los que se puede nombrar a las series temporales, los métodos, suavización exponencial, etc. Todos ellos basados en el conocimiento de la función de distribución de probabilidades de sus componentes aleatorios.

En este estudio se hace énfasis en la estimación de la distribución de probabilidades de la demanda o sus componentes aleatorios, ya que este conocimiento será la base para estimar devoluciones esperadas y ventas perdidas por no tener suficiente stock.

⁵ Logística y Marketing para la Distribución Comercial, 3era edición, Ignacio Soret Los Santos, ESIC Editorial, 2006

Un problema común en los procesos estimación de la demanda en consumo masivo, es el ruido provocado por ciertos datos a los que se les llamara “aberrantes” o “extremos”, que son aquellos cuyo comportamiento provocan grandes errores en la estimación y son causados por situaciones inusuales. Por ejemplo si un heladero pasa por una esquina, donde hay un evento inusual (como una celebración de una fiesta infantil) y la venta asciende a niveles inesperados, podría ser una situación que no se presenta si no una vez cada año. Este dato como componente de la historia provocaría desviaciones inusuales en los resultados de la estimación.

La estimación de la función de distribución de probabilidades de la demanda es una herramienta que ayuda a esquivar estos datos, y obtener así la estimación que se necesita para la operación.

2.3. Costos Fijos y variables⁶

Son muchos los costos asociados a una ruta de autoventa, sin embargo es importante clasificarlos en fijos y variables, ya que muchos de estos costos son inherentes a la tarea de asignación de carga.

- Costos fijos: Son independientes de la carga que lleve la ruta y de la asignación que se haga de los vehículos a la zona de venta, sin embargo, podrían conducir a tomar la decisión de no salir en una ruta si es que estos superan a la ganancia obtenida por la venta. Por otro lado, no salir en la ruta provocaría situaciones o consecuencias no favorables para la sostenibilidad de un mercado, razón por la cual es materia de otro estudio una herramienta que permita decidir si el sistema de autoventa es el adecuado para dicho nicho. Esto posiblemente es parte del debate que en muchas ocasiones se da al momento de elegir entre uno u otro sistema de venta para atacar un mercado (preventa, televenta, etc⁷). Ejemplos de estos costos son el

⁶ Luis Aníbal Mora García(2008). Gestión Logística Integral. Ecoe Ediciones

⁷ Manuel Artal Castells(1999). Dirección de ventas. Editorial ESIC

costo del vendedor, ayudantes, seguro de vehículos, alquileres y tarifas, amortización, administración, etc.

- Costos variables: Son los costos que dependen de la asignación de carga que se haga, entre ellos están los costos de procesos como carga-descarga, gestión de venta, tiempos, obsolescencia, inventario para retorno, etc. Todos estos costos se trataran como elementos del problema.

Los costos de carga y descarga

Es un costo variable. Depende de la cantidad de productos que se embarquen a la unidad de transporte. La cantidad de mercadería que se carga a la unidad podría tener implicaciones sobre el costo de la operación, esto podría depender de la dificultad con que se cargue o descargue un producto en particular. Se puede concluir también que una mezcla de muchas variedades de productos tiene implicaciones sobre el costo de carga o descarga si las unidades de almacenamiento se deben manipular independientemente. Este costo tiene especial importancia cuando se habla del retorno, puesto que sería ideal no tener que descargar nada después de la operación (aunque vender todo podría implicar ventas perdidas en el mercado).

El retorno

Ya se mencionó el costo de la descarga por el retorno, sin embargo el retorno tiene más costos ocultos. La frase que se suele usar cuando hay retorno es “la mercadería sale a pasear por gusto”. Pero qué implicaciones tiene esta frase: el retorno implica que se debe tener un espacio en las unidades de transporte asignado a este, esto podría llevar al investigador a la conclusión de que existen capacidades de almacenamiento en el transporte subutilizadas, sin embargo, el retorno es útil, por decirlo de alguna manera, pues es una especie de stock de seguridad que protege a la oferta de quedarse sin productos para vender en la ruta, así, un costo imputable al retorno es el costo del dinero invertido en ese inventario.

Otro costo asociado al retorno es la obsolescencia del producto, el maltrato por manipulación y/o los procesos de re-embalaje, cuarentena o tratamientos especiales que se les debe dar a estos. En este sentido cada producto podría manejar un costo de retorno particular.

El costo por ventas perdidas

En muchas operaciones se suele buscar la minimización del retorno, pero salir con lo justo implica dejar de vender. Los modelos de pronóstico de la demanda llevan a que, para tener un 100% de seguridad de que no falte un producto, se necesitaría un número infinito de unidades de este.

Un indicador que se suele llevar en la rutas de autoventa es el de fuera de stock, o stocks reducidos, los que indica si la cantidad de producto llevado en la unidad de transporte fueron o no suficientes para abastecer el mercado. Se basa en la hipótesis de que si una unidad regresa sin stock en un producto, este ha dejado de vender. La pregunta que se les viene a la cabeza a los administradores es ¿en qué cliente se les acabo el stock?. La respuesta puede basarse en la estimación de la cantidad producto que se dejo de vender por no tener suficiente stock. En este estudio se propondrá medir la venta perdida en base a la distribución de probabilidades de la demanda, la cual “sin hilar tan fino” permitirá llegar al valor esperado de la venta perdida.

Combustible y mantenimiento

Los costos por combustible y mantenimiento tienen cierta relación con la carga del vehículo en el sentido de que mientras mayor peso se lleva, el consumo de combustible es mayor, así como el desgaste de las piezas del vehículo. Por la minucia con la que la relación peso/costo debería ser calculada, en este estudio se considerarán a estos costos como independientes de la carga, a fin de no llevar al modelo a cometer errores.

Sin embargo tienen un impacto importante, ya que dependen del rendimiento de los vehículos y su estado, y si se consideran factores

como distancias a recorrer, sus costos variarán de acuerdo a las características de la ruta asignada. Es posible que intuitivamente se busque asignar los vehículos con menores rendimientos a las rutas que menor distancia deban recorrer, sin embargo, la capacidad de carga de este, podría sugerir cambiar de parecer al mejorar los valores esperados de la venta.

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.

Adicionalmente, es posible que el hecho de distribuir óptimamente los productos, dado que se tiene limitaciones en la oferta (producción o inventario en el centro de distribución), implique que el análisis de carga se debe hacer en conjunto para el conglomerado de rutas y no a cada ruta en forma independiente, ya que esto podría provocar que se use todo el producto para una ruta y no se use en otra donde la esperanza de venta sea mayor (o que la varianza del estimador de la demanda sea menor provocando menos retorno).

En ciertos casos es posible que le sea mejor al vendedor o a la compañía no embarcar ciertos productos, ya que le resta capacidad al vehículo para llevar otros con más esperanza de venta, y que requieren un mayor stock de seguridad. Este tema incluso podría llevar a concluir que existen productos que es mejor no comercializar, sin embargo existen más elementos qué mirar antes de tomar una decisión como esta. Esto se podría analizar como otro caso de estudio interesante para el sector del consumo masivo, dada la cantidad importante de productos que esta área comercializa y distribuye.

2.5. Presencia de marca⁸

En ciertas operaciones, 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 que nuestra problemática no considera. La formulación propuesta permitirá medir el costo ocasionado por respetar estas políticas.

2.6. Efecto 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. Si el efecto está medido o se manejan hipótesis de este efecto basados en estudios de mercado y comportamientos de este, es posible incluir este elemento en una formulación que permita controlar la pérdida de ventas de productos “más preciados” por otros cuyo rendimiento es menor.

2.7. Factor 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. Por ejemplo, si no se cargan al menos dos unidades de un producto “X” no se podrá vender ni un solo producto “Y”, ya que su factor de enganche es de dos a uno. Este factor aparece en la medida en que se comercialicen productos complementarios al interés del mercado atendido.

⁸ Distribución Comercial, 6ta edición, Salvador Miquel Peris, Francisca Parra Guerrero, Christian Lhermie y Ma. José Miquel Romero, ESIC Editorial, 2008

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. El buen manejo de las unidades de almacenamiento descomplica mucho el cálculo de la utilización de capacidades volumétricas. Un método es por ejemplo la normalización o estandarización de las unidades de carga y/o almacenamiento o también los diseños de las unidades de transportación.

Por otro lado, la capacidad del vehículo, al limitar la cantidad de productos que se pueden transportar, limita el stock de seguridad (asociado a las ventas perdidas y al retorno) y por lo tanto puede ser un factor clave la asignación de un vehículo con la capacidad apropiada a una zona de venta.

En el tiempo, la falta de capacidad, la cual se hace evidente cuando los índices de quiebres de stock son altos, y al mismo tiempo los vehículos se utilizan casi al 100% de su capacidad, podría llevar otra vez al debate de si la autoventa es el sistema adecuado para atender el nicho de mercado objetivo.

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. Sin embargo para efectos de usar un modelo que planifique cargas rápida y dinámicamente, se requiere un sistema de información así mismo dinámico que provea al modelo de los datos requeridos.

2.10. El transporte⁹

El diseño de las unidades de transporte tiene un papel importante en el manejo de las capacidades de carga, por lo que es un tema que se debe

⁹ Logística y Marketing para la Distribución Comercial, 3era edición, Ignacio Soret Los Santos, ESIC Editorial, 2006

analizar con el afán de maximizar las capacidades. 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.

La asignación de los vehículos generalmente es fija en estas operaciones, ya que existen factores que a criterio de las administraciones motivan a las empresas a llevar una asignación fija de la unidad de transporte a una zona en particular. Los factores recopilados durante este estudio fueron:

- Las características de las unidades para afrontar la topología del sector a visitar, como por ejemplo zonas con caminos dañados, empinados, o peligrosas. Frente a este factor, como parte de la flota de vehículos, existen unidades con características particulares que le permiten cubrir su zona sin inconvenientes de traslado.
- Se considera que asignar una unidad a un chofer específico, mejora la gestión de mantenimiento y cuidado de la unidad de transporte, ya que este activo tendría un responsable fijo que conoce a la unidad y sus especificaciones técnicas estándares y de estado actual. Al mismo tiempo el vendedor, que también es quien conduce el vehículo, está atado una zona específica por el conocimiento que este ha desarrollado a través del tiempo, el cual se considera como factor de mucha importancia para la gestión de venta.

3. Modelos de Operación.

Con el afán de explorar diferentes modelos de operación y por lo tanto factores que podrían formar parte de la formulación, en este estudio se ha recopilado información acerca de diferentes prácticas y variaciones al sistema que se encuentran operando en nuestro medio¹⁰.

3.1. Autoventa acompañada

El autovendedor, generalmente además de sus obligaciones en la venta de productos, tiene como responsabilidades cuidar de su unidad de carga, darle ciertos mantenimientos, velar por el buen estado de su carga, etc.

La modalidad de 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.

Por otro lado, el chofer se concentra en el cuidado de su unidad, y deja de tener un papel protagónico en el conocimiento de la zona, como consecuencia se facilita la asignación de unidades a estas, en forma dinámica, es decir habilita la asignación de vehículos con capacidades de carga particulares necesarias para atender una zona durante una operación particular, sin necesidad de cambiar al vendedor de esta, situación que fue mencionada en el numeral 2.10 como una restricción al problema de asignación de unidades de transporte.

3.2. Autoventa y toma de pedidos

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

¹⁰ Basado en información recopilada por el autor acerca de las prácticas de autoventa en empresas ecuatorianas

que lo visite. Esta es una operación que va encaminada a mejorar la estimación de carga para la ruta. Se puede usar como variable asociada a la demanda real para mejorar la estimación de los pronósticos.

Es usada en los casos donde la operación de autoventa tiene una cartera de clientes asociada y una frecuencia de visita determinada, de esta manera el cliente sabe cuándo será la próxima vez que llegue la visita del autovendedor, así mismo el autovendedor sabe para qué día está destinada la información que está recolectando.

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, la formulación propuesta en una de sus extensiones podría planificar esta recarga considerando sus costos asociados. En esta modalidad, el combustible y el tiempo si son costos que dependen de la carga propuesta por el modelo. Sin embargo se considera que la bodega está en la cercanía de la zona que el autovendedor debe atender y que el tiempo adicional invertido en esta operación no provocará sectores sin atender. En esta modalidad se encontró dos tipos.

3.3.1. Bodegas satélites

Consiste en la implementación de bodegas con producto en las cercanías de un grupo de zonas, esta modalidad se puede emplear como la respuesta a un alza de la demanda por temporadas (por ejemplo en la temporada navideña). Implica además que la bodega satélite administre el stock adecuadamente considerando sus capacidades.

3.3.2. Bodegas satélites móviles

Consiste a poner una unidad de transporte como servidor de producto a otras unidades de transporte en las cercanías de un grupo de zonas, esta modalidad podría abarcar un número mayor de estas, dado que la bodega se puede mover. Adicionalmente esta modalidad provoca menores costos por tiempos, ya que los vehículos no deben ir a buscar

la bodega, si no que la bodega los va a buscar a ellos. Su mayor limitación radica en la capacidad de almacenamiento.

3.4. Autoventa-Entrega¹¹

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 (dispersión de los clientes, informalidad, comunicación). En esta modalidad la capacidad disponible de la unidad de transporte es una variable aleatoria que depende de las cantidades prevendidas y sus volúmenes (es decir depende de las cantidades a entregar)

¹¹ Manual de Logística Integral, Jordi Pau i Cos y Ricardo de Navascués, 1998 Ediciones Díaz de Santos

4. Fundamento Teórico

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, se va a desarrollar la formulación a partir de los modelos de control de inventario, donde se busca optimizar los niveles de inventario a través de minimizar los costos asociados al abastecimiento.

Dado que se considera a la demanda como un elemento que tiene un componente aleatorio, este estudio se concentra en los modelos estocásticos de abastecimiento, y dado que los periodos de visita a cada zona son regulares, se considerará al periodo de abastecimiento como constante.

Un modelo básico que resuelve el problema de abastecimientos con demandas aleatorias es el modelo llamado “problema del vendedor de periódicos” (Newsvendor problem), el cual minimiza los costos a partir de una función de costos que depende de la demanda y la cantidad cargada.

4.1. Modelo del vendedor de periódicos¹²

El modelo básico del vendedor de periódicos (Newsvendor problem) supone que el vendedor compra periódicos al proveedor a un costo, se coloca un pedido a un precio superior al costo al inicio del periodo y solo se puede satisfacer la demanda en ese periodo (es decir el retorno se vuelve obsoleto). El vendedor tiene la oportunidad de devolver los periódicos sobrantes y recibe a cambio un valor por unidad inferior al costo del diario.

Para esta operación el vendedor debe decidir cuánto periódico llevar a vender, puesto que la demanda es una variable aleatoria.

Notación

x : La demanda es una variable aleatoria con función de densidad de probabilidad $f(x)$ y función de distribución $F(x)$.

¹² Stochastic Optimization, Anton J. Kleywegt and Alexander Shapiro, 2000, School of Industrial and Systems Engineering, Georgia Institute of Technology

P : Precio de venta por unidad.

C : Costo que paga el vendedor por unidad para abastecerse.

s : Valor que devuelve el proveedor por unidad sobrante.

Q : *Variable* de decisión, cantidad de unidades que se comprarán al principio del período.

Función Objetivo

Maximizar:

$$G(Q) = E[(p - c) \min(Q, x) + (s - c) \max(0, Q - x)]$$

Donde el término $(p - c) \min(Q, x)$ representa el margen de ganancia obtenido por la venta, y el término $(s - c) \max(0, q - x)$ representa el costo del excedente (retorno).

Sea $f(x)$ la función de densidad de la demanda y $F(x)$ su distribución de probabilidades acumulada, se puede escribir la función objetivo como:

$$\begin{aligned} & \int_0^{\infty} (p - c) \min(Q, x) f(x) dx + \int_0^{\infty} (s - c) \max(0, Q - x) f(x) dx \\ \Rightarrow & (p - c) \left(\int_0^Q x f(x) dx + \int_Q^{\infty} Q f(x) dx \right) + (s - c) \int_0^Q (Q - x) f(x) dx \\ \Rightarrow & p \left(\int_0^Q x f(x) dx + \int_Q^{\infty} Q f(x) dx \right) - c \left(\int_0^Q x f(x) dx + Q(1 - F(Q)) \right) \\ & + s \left(QF(Q) - \int_0^Q x f(x) dx \right) - c \left(QF(Q) - \int_0^Q x f(x) dx \right) \\ \Rightarrow & p \left(\int_0^Q x f(x) dx + \int_Q^{\infty} Q f(x) dx \right) \\ & - c \left(\int_0^Q x f(x) dx + Q(1 - F(Q)) + QF(Q) - \int_0^Q x f(x) dx \right) \\ & + s \left(QF(Q) - \int_0^Q x f(x) dx \right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&\Rightarrow p \left(\int_0^Q xf(x)dx + \int_Q^\infty Qf(x)dx \right) - c \left(\int_0^Q xf(x)dx + Q - \int_0^Q xf(x)dx \right) \\
&\quad + s \left(QF(Q) - \int_0^Q xf(x)dx \right) \\
&\Rightarrow p \left(\int_0^Q xf(x)dx + \int_Q^\infty Qf(x)dx \right) - cQ + s \left(QF(Q) - \int_0^Q xf(x)dx \right) \\
&\Rightarrow p \left(E[x] - \int_Q^\infty xf(x)dx + \int_Q^\infty Qf(x)dx \right) - cQ + s \left(QF(Q) - \int_0^Q xf(x)dx \right) \\
&\Rightarrow p \left(E[x] - \left(\int_Q^\infty xf(x)dx - \int_Q^\infty Qf(x)dx \right) \right) - cQ + s \left(QF(Q) - \int_0^Q xf(x)dx \right) \\
&\Rightarrow p \left(E[x] - \int_Q^\infty (x - Q)f(x)dx \right) - cQ + s \left(QF(Q) - \int_0^Q xf(x)dx \right)
\end{aligned}$$

Para encontrar el máximo de la función objetivo se debe buscar Q tal que satisfaga $G'(Q) = 0$. Usando el teorema fundamental del cálculo se obtiene:

$$\begin{aligned}
G'(Q) &= p(Qf(Q) + 1 - Qf(Q) - F(Q)) - c + s(Qf(Q) + F(Q) - Qf(Q)) \\
&\Rightarrow G'(Q) = p - pF(Q) - c + sF(Q)
\end{aligned}$$

De allí, se puede deducir que el máximo ocurre cuando se escoge Q de tal manera que la probabilidad de que la demanda no exceda Q es:

$$F(Q) = \frac{c - p}{s - p}$$

Q entonces, es el inverso de la función de distribución de probabilidades acumulada de la variable aleatoria “demanda”, y de allí que es importante la estimación de esta.

Se puede observar también que hallar el máximo de la función objetivo utilidad, es equivalente a hallar el mínimo de la función de costos ya que el valor esperado de la demanda está dado, y su derivada es cero.

A esta medida se la puede denominar como el nivel de servicio y su complemento es la probabilidad de obtener ventas perdidas.

Por lo tanto es posible mirar al problema de obtener una cantidad óptima a cargar como un problema de obtención de una confianza optima para el stock.

4.2. Pronostico de la demanda¹³

Se ha dicho en el capitulo dos que es importante estimar la distribución de probabilidades de la demanda, y para esto se dispone de algunos modelos dentro de los cuales se nombrarán algunos con la finalidad de establecer algunos conceptos que ayudaran, en la formulación, a controlar la operación de autoventa.

4.2.1. Modelos de Regresión

Son modelos donde a partir de variables explicativas $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_p)$ es posible estimar el valor de una variable de interés y .

Definiendo al vector de variables explicativas como X y a un vector de parámetros B entonces podemos escribir el modelo de regresión general como:

$$y_t = f(X_t; B) + \varepsilon_t$$

Donde el término ε es una variable aleatoria.

Los supuestos del modelo son:

$$E[\varepsilon_t] = 0$$

$$var(\varepsilon_t) = \sigma^2$$

ε_t no depende de t

$Cov(\varepsilon_t, \varepsilon_{t-k}) = 0$ para $k \neq 0$ (errores no correlacionados)

ε_t tiene una distribución normal

Así podemos nombrar algunos modelos de regresión:

Modelo de media constante: $y_t = \beta_0 + \varepsilon_t$

¹³ Statistical Methods for Forecasting, Bovas Abraham, Johannes Ledolter, 2005, John Wiley & Sons

Regresión lineal simple: $y_t = \beta_0 + \beta_1 x_t + \varepsilon_t$

Modelo de crecimiento exponencial: $y_t = \beta_0 e^{\beta_1 x_t} + \varepsilon_t$

Modelo cuadrático: $y_t = \beta_0 + \beta_1 x_t + \beta_2 x_t^2 + \varepsilon_t$

Modelo lineal con dos variables: $y_t = \beta_0 + \beta_1 x_{t,1} + \beta_2 x_{t,2} + \varepsilon_t$

Modelo cuadrático con dos variables: $y_t = \beta_0 + \beta_1 x_{t,1} + \beta_2 x_{t,2} + \beta_{11} x_{t,1}^2 + \beta_{22} x_{t,2}^2 + \beta_{12} x_{t,1} x_{t,2} + \varepsilon_t$

Es importante notar que todos estos modelos tienen un solo término aleatorio y basados en el supuesto de normalidad, es posible estimar los valores esperados de las funciones objetivos y un intervalo de predicción con una confianza de $1 - \alpha$.

Así, el modelo general de regresión lineal múltiple se puede escribir como:

$$y_t = \beta_0 + \beta_1 x_{t,1} + \beta_2 x_{t,2} + \dots + \beta_p x_{t,p} + \varepsilon_t$$

En forma vectorial:

$$y_t = X'_t B + \varepsilon_t$$

La estimación de y_t :

$$\hat{y}_t = X'_t \hat{B}$$

Y su intervalo de predicción:

$$y_{t,\alpha} = \hat{y}_t \pm t_{\alpha/2}^{n-p-1} s \sqrt{1 + X'_t (X'X)^{-1} X_t + \varepsilon_t}$$

Donde t sigue una distribución de probabilidades de Student y:

$$X = \begin{pmatrix} 1 & x_{1,1} & \dots & x_{1,p} \\ 1 & x_{2,1} & & x_{2,p} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ 1 & x_{n,1} & & x_{n,p} \end{pmatrix}$$

Es posible entonces, usando la función de distribución acumulada de Student calcular el nivel de confianza para que el límite superior de $y_{t,\alpha}$ tenga un valor Q determinado:

$$Q = \hat{y}_t + t_\alpha^{n-p-1} s \sqrt{1 + X'_t (X'X)^{-1} X_t} + \varepsilon_t$$

$$\Rightarrow t_\alpha^{n-p-1} s \sqrt{1 + X'_t (X'X)^{-1} X_t} + \varepsilon_t = Q_t - \hat{y}_t$$

$$\Rightarrow t_\alpha^{n-p-1} = \frac{Q_t - \hat{y}_t}{s \sqrt{1 + X'_t (X'X)^{-1} X_t}}$$

$$\Rightarrow F(t_\alpha^{n-p-1}) = 1 - \alpha$$

De esta forma $1 - \alpha$ seria la probabilidad de que y_t no exceda a Q .

4.2.2. Suavización exponencial

Dada una serie de tiempo $(z_1, z_2, z_3, \dots, z_n)$, supongamos el modelo:

$$y_t = \beta + \varepsilon_t$$

Estimando β por medio de minimos cuadrados, el valor estimado para el tiempo $n + l$ seria:

$$\hat{z}_n(l) = \hat{\beta} = \bar{z} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n z_t$$

Si se pronostica para el periodo $n + l$ (paso l) con datos hasta el periodo n , pasado el tiempo, llegamos a conocer el valor real de z_{n+l} , entonces utilizando solamente el pronóstico y el valor real en el tiempo $n + l$ para estimar el valor de $z_{n+1}(l)$:

$$\hat{z}_{n+1}(l) = \frac{1}{n+1} \sum_{t=1}^{n+1} z_t$$

$$\Rightarrow \hat{z}_{n+1}(l) = \frac{n}{n+1} \hat{z}_n(l) + \frac{1}{n+1} z_{n+l}$$

$$\Rightarrow \hat{z}_{n+1}(l) = \hat{z}_n(l) + \frac{1}{n+1} (z_{n+l} - \hat{z}_n(l))$$

Ponderando la observación t por un factor ω^{n-t} donde $|\omega| < 1$, utilizando mínimos cuadrados ponderados, se puede demostrar que:

$$\hat{z}_n(l) = \hat{\beta}_n = c \sum_{t=0}^{n-1} \omega^t z_{n-t}$$

Donde:

$$c = \frac{1}{1 + \omega + \dots + \omega^{n-1}} = \frac{1}{\frac{1 - \omega^n}{1 - \omega}} = \frac{1 - \omega}{1 - \omega^n}$$

Si ω es menor que uno en magnitud, el termino ω^n es muy cercano a cero para n grande y se puede aproximar c por $1 - \omega$. Entonces se puede escribir:

$$\hat{z}_n(l) = \hat{\beta}_n = (1 - \omega) \sum_{t=0}^{n-1} \omega^t z_{n-t}$$

$$\Rightarrow \hat{z}_n(l) = (1 - \omega)z_n + (1 - \omega)\omega \sum_{t=0}^{(n-1)-1} \omega^t z_{n-t-1}$$

$$\Rightarrow \hat{z}_n(l) = (1 - \omega)z_n + \omega \hat{\beta}_{n-1}$$

La ecuación anterior es válida para todo n excepto para $n = 1$, por lo tanto se debe escoger un $\hat{\beta}_0$ como valor inicial. Notar que cuando n es grande el valor de $\hat{\beta}_0$ afecta poco al pronóstico, sin embargo un buen valor inicial podría ser $\hat{\beta}$ o z_1 .

Los valores de $\hat{\beta}_n$ dependen del valor que se escoja de ω . Para elegir este valor se puede escoger ω tal que minimice la suma cuadrática del error:

$$SCE(\omega) = \sum_{t=1}^n (z_t - \beta_{t-1})^2$$

El modelo anterior se conoce como de suavización exponencial simple.

Modelo de suavización exponencial general

El modelo de suavización exponencial simple parte del modelo de regresión de media constante. Extendiendo el modelo de media

constante para incluir al tiempo como variable explicativa como un modelo de regresión múltiple se puede escribir:

$$z_{n+j} = \sum_{i=1}^m \beta_i f_i(j) + \varepsilon_{n+j} = \mathbf{f}'(j)\boldsymbol{\beta} + \varepsilon_{n+j}$$

Se puede suponer que existe una matriz $\mathbf{L}$ tal que $\mathbf{f}'(j+1) = \mathbf{L}\mathbf{f}(j)$, puesto que funciones tipo exponencial, polinomios, senos, cosenos, y combinaciones lineales de estos satisfacen esta condición.

Si $\boldsymbol{\beta}$ fuera conocido el pronóstico de la observación $n+l$ sería:

$$z_n(l) = \sum_{i=1}^m \beta_i f_i(l) = \mathbf{f}'(l)\boldsymbol{\beta}$$

Como $\boldsymbol{\beta}$ no es conocido, estimándolo por mínimos cuadrados se obtiene:

$$\hat{\boldsymbol{\beta}} = \mathbf{F}^{-1}\mathbf{h}$$

Donde:

$$\mathbf{h} = \sum_{j=0}^{n-1} \mathbf{f}(-j)z_{n-j}$$

$$\mathbf{F} = \sum_{j=1}^n \mathbf{f}(j-n)\mathbf{f}'(j-n) = \sum_{j=0}^{n-1} \mathbf{f}(-j)\mathbf{f}'(-j)$$

Como se hizo en el modelo simple, se pondera la observación t con el factor ω^{n-t} y se obtiene que:

$$\hat{\boldsymbol{\beta}}_n = \mathbf{F}_n^{-1}\mathbf{h}_n$$

Donde:

$$\mathbf{h}_n = \sum_{j=0}^{n-1} \omega^j \mathbf{f}(-j)z_{n-j}$$

$$\mathbf{F}_n = \sum_{j=0}^{n-1} \omega^j \mathbf{f}(-j)\mathbf{f}'(-j)$$

En el caso de suavización exponencial simple se encontró una relación recursiva en la que se expresa $\hat{\beta}_{n+1}$ en términos de $\hat{\beta}_n$, se puede obtener la misma relación en el caso general:

$$\hat{\beta}_{n+1} = \mathbf{F}_{n+1}^{-1} \mathbf{h}_{n+1}$$

Donde:

$$\mathbf{h}_{n+1} = \mathbf{f}(0)z_{n+1} + \omega \mathbf{L}^{-1} \mathbf{h}_n$$

$$\mathbf{F}_{n+1} = \omega^n \mathbf{f}(-n) \mathbf{f}'(-n) + \mathbf{F}_n$$

Cuando n es grande, el término $\omega^n \mathbf{f}(-n) \mathbf{f}'(-n)$ es un valor muy cercano a cero, por lo que simplificándolo como el límite cuando n tiende al infinito:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \mathbf{F}_{n+1} = \mathbf{F}_n = \mathbf{F}$$

Se puede escribir:

$$\hat{\beta}_{n+1} = \mathbf{F}^{-1} \mathbf{f}(0) z_{n+1} + \omega \mathbf{F}^{-1} \mathbf{L}^{-1} \mathbf{h}_n$$

Y el pronóstico para el paso l , $z_{n+1}(l)$ sería:

$$z_{n+1}(l) = \mathbf{f}'(1) \hat{\beta}_{n+1}$$

Se puede hablar de suavización exponencial doble, triple, etc., según sea el modelo de regresión base que se escoja:

$$z_{n+j} = \beta_0 + \beta_1 j + \varepsilon_{n,j} \quad \text{Suavización exponencial doble}$$

$$z_{n+j} = \beta_0 + \beta_1 j + \beta_2 j^2 + \varepsilon_{n,j} \quad \text{Suavización exponencial triple}$$

Intervalos de predicción

Para obtener los intervalos de predicción, se necesita la varianza del residuo dada por:

$$\text{var}(e_n(l)) = \sigma^2 \mathbf{f}'(l) \text{var}(\hat{\beta}_n) \mathbf{f}(l)$$

$$\Rightarrow \text{var}(e_n(l)) = \sigma^2 (1 + \mathbf{f}'(l) \mathbf{F}^{-1} \mathbf{F}_* \mathbf{F}^{-1} \mathbf{f}(l))$$

$$\Rightarrow \text{var}(e_n(l)) = \sigma^2 c_l^2$$

Utilizando esta varianza se puede hallar el intervalo:

$$z_n(l) \pm N_{\alpha/2} \sigma c_l$$

Donde $N_{\alpha/2}$ es una variable aleatoria con función de distribución de probabilidades normal estándar.

Para estimar σ se usa:

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{\hat{\sigma}_e^2}{c_l^2}$$

Donde:

$$\hat{\sigma}_e^2 = \frac{\sum_{t=1}^n (z_t - \hat{z}_t)^2}{n}$$

De la misma forma que se hizo en los modelos de regresión, es posible entonces, usando la función de distribución acumulada normal estándar, calcular el nivel de confianza para que el límite superior de $z_n(l)$ tenga un valor Q determinado:

$$Q = z_n(l) + N_{\alpha} \sigma c_l$$

$$\Rightarrow F(z_{\alpha}) = 1 - \alpha$$

De esta forma $1 - \alpha$ sería la probabilidad de que $z_n(l)$ no exceda a Q .

4.2.3. Modelos ARIMA

Una serie de tiempo observada $(z_1, z_2, z_3, z_4, \dots, z_n)$ puede ser considerada como la ocurrencia de un evento particular de un proceso estocástico, donde el evento tiene una distribución de probabilidades multivariada $P(z_1, z_2, z_3, z_4, \dots, z_n)$.

Una clase particular de estos procesos estocásticos se da cuando la distribución conjunta del proceso en cualquier serie de tiempos $((t_1, t_2, t_3, t_4, \dots, t_m))$, es la misma que la distribución conjunta de probabilidades de los tiempos $(t_1 + k, t_2 + k, t_3 + k, t_4 + k, \dots, t_m + k)$, para cualquier k arbitrario.

Cuando esta condición es verdadera para todo m se dice que el proceso es fuertemente estacionario o estrictamente estacionario. Si $m = 2$, entonces la distribución conjunta de z_t y z_{t-k} , no depende del tiempo, es decir es la misma para todo t y la covarianza entre las dos observaciones tampoco depende del tiempo sino de k (la distancia entre ellas), esto es:

$$COV(z_1, z_{1+k}) = COV(z_2, z_{2+k}) = \dots = COV(z_n, z_{n+k}) = \gamma_k$$

Y se dice que el proceso es débilmente estacionario.

En un proceso estacionario la media es constante y no depende de t , y la covarianza depende solo de k y $VAR(z_t) = COV(z_t, z_t) = \gamma_0$.

Se denomina autocorrelación de desfase k :

$$\rho_k = \frac{COV(z_t, z_{t+k})}{\sqrt{VAR(z_t)VAR(z_{t+k})}} = \frac{\gamma_k}{\sqrt{\gamma_0\gamma_0}} = \frac{\gamma_k}{\gamma_0}$$

George Udny Yule (1921, 1927) demostró que una serie de tiempos, cuyos valores sucesivos están correlacionados, puede ser representada como una combinación lineal de una secuencia de variables aleatorias no correlacionadas. Esta representación fue confirmada luego por Herman Wold, quien demostró (1938) que en todo proceso estacionario no determinístico, $z_t - \mu$ puede ser escrito como combinación lineal de una secuencia de variables aleatorias no correlacionadas, esto es:

$$z_t - \mu = a_t + \Psi_1 a_{t-1} + \Psi_2 a_{t-2} + \dots$$

Donde las variables aleatorias $a_t, t = \pm 1, \pm 2, \dots$ son una secuencia de variables con media 0, varianza constante y

$$COV(a_t, a_{t-k}) = E[a_t a_{t-k}] = 0$$

La Secuencia a_t se la conoce como ruido blanco, y la varianza y la covarianza de z_t se puede escribir en términos de los coeficientes Ψ_t .

$$\gamma_k = E[(z_t - \mu)(z_{t-k} - \mu)]$$

$$\Rightarrow \gamma_k = E[(a_t + \Psi_1 a_{t-1} + \dots + \Psi_k a_{t-k} + \Psi_{k+1} a_{t-k-1} + \dots)(a_{t-k} + \Psi_1 a_{t-k-1} + \dots)]$$

$$\Rightarrow \gamma_k = \sigma^2(\psi_k + \psi_1\psi_{k+1} + \psi_2\psi_{k+2} + \dots)$$

$$\Rightarrow \gamma_k = \sigma^2 \sum_{j=0}^{\infty} \psi_j \psi_{j+k}$$

Esto implica que

$$\rho_k = \frac{COV(z_t, z_{t+k})}{\sqrt{VAR(z_t)VAR(z_{t+k})}} = \frac{\sum_{j=0}^{\infty} \psi_j \psi_{j+k}}{\sum_{j=0}^{\infty} \psi_j^2}$$

Como las sumatorias son infinitas, es necesario asumir que estas tienen convergencia absoluta, es decir $\sum_{j=0}^{\infty} |\psi_j| < \infty$, esta condición es equivalente al supuesto de estacionariedad.

Procesos Autoregresivos

Si $\psi_j = \phi^j$, para $j = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ entonces se puede escribir:

$$z_t - \mu = a_t + \phi^1 a_{t-1} + \phi^2 a_{t-2} + \dots$$

$$\Rightarrow z_t - \mu = a_t + \phi(a_{t-1} + \phi^1 a_{t-2} + \phi^2 a_{t-3} + \dots)$$

$$\Rightarrow z_t - \mu = \phi(z_{t-1} - \mu) + a_t$$

Esta es la representación de un modelo autoregresivo de primer orden denotado por AR(1). Donde:

$$\gamma_k = \sigma^2 \sum_{j=0}^{\infty} \psi_j \psi_{j+k} = \sigma^2 \sum_{j=0}^{\infty} \phi^j \phi^{j+k} = \frac{\sigma^2 \phi^k}{1 - \phi^2} \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

Y

$$\rho_k = \phi^k \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

Así, se puede escribir los modelos:

$$AR(2): z_t - \mu = \phi_1(z_{t-1} - \mu) + \phi_2(z_{t-2} - \mu) + a_t$$

Donde

$$\gamma_0 = \phi_1 \gamma_1 + \phi_2 \gamma_2 + \sigma^2 \quad k = 0$$

$$\gamma_k = \phi_1 \gamma_{k-1} + \phi_2 \gamma_{k-2} \quad k = 1, 2, \dots$$

$$\rho_k = \phi_1 \rho_{k-1} + \phi_2 \rho_{k-2} \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

$$AR(p): z_t - \mu = \phi_1(z_{t-1} - \mu) + \phi_2(z_{t-2} - \mu) + \dots + \phi_p(z_{t-p} - \mu) + a_t$$

Donde:

$$\gamma_0 = \phi_1 \gamma_1 + \phi_2 \gamma_2 + \dots + \phi_p \gamma_p + \sigma^2 \quad k = 0$$

$$\gamma_k = \phi_1 \gamma_{k-1} + \phi_2 \gamma_{k-2} + \dots + \phi_p \gamma_{k-p} \quad k = 1, 2, \dots$$

$$\rho_k = \phi_1 \rho_{k-1} + \phi_2 \rho_{k-2} + \dots + \phi_p \rho_{k-p} \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

Las primeras p ecuaciones resultantes de $\rho_k = \phi_1 \rho_{k-1} + \dots + \phi_p \rho_{k-p}$ se denominan las Ecuaciones de Yule-Walker, las cuales se pueden utilizar para determinar el orden del proceso autoregresivo, estimando las autocorrelaciones parciales de orden k , ϕ_{kk} , las cuales se definen como la correlación entre la observación en el tiempo t y la observación en el tiempo $t - k$.

$$\rho_1 = \phi_{k1} + \phi_{k2} \rho_1 + \dots + \phi_{kk} \rho_{k-1}$$

$$\rho_2 = \phi_{k1} \rho_1 + \phi_{k2} + \dots + \phi_{kk} \rho_{k-2}$$

⋮

$$\rho_k = \phi_{k1} \rho_{k-1} + \phi_{k2} \rho_{k-2} + \dots + \phi_{kk}$$

Procesos de media móvil

Otra clase de procesos parte de la combinación lineal de los procesos estacionarios, definiendo un numero finito de ψ_i diferentes de cero ($\psi_i = -\theta_i$).

A estos procesos se los denomina de media móvil de orden q o $MA(q)$ y están dados por:

$$z_t - \mu = a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2} - \dots - \theta_q a_{t-q}$$

Así, se pueden escribir los procesos:

$$MA(1): \quad z_t - \mu = a_t - \theta_1 a_{t-1}$$

$$\text{MA}(2): \quad z_t - \mu = a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2}$$

$$\text{MA}(q): \quad z_t - \mu = a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2} - \dots - \theta_q a_{t-q}$$

Donde sus autocovarianzas son:

$$\gamma_0 = (1 + \theta_1^2 + \dots + \theta_q^2) \sigma^2 \quad k = 0$$

$$\gamma_k = (-\theta_k + \theta_1 \theta_{k+1} + \dots + \theta_{q-k} \theta_q) \sigma^2 \quad k = 1, 2, \dots, q$$

Y sus autocorrelaciones:

$$\rho_k = \frac{-\theta_k + \theta_1 \theta_{k+1} + \dots + \theta_{q-k} \theta_q}{1 + \theta_1^2 + \dots + \theta_q^2} \quad k = 1, 2, \dots, q$$

$$\rho_k = 0 \quad k > q$$

Los modelos media móvil se pueden representar como procesos autoregresivos de orden infinito, a esto se le llama “invertir” el modelo. El modelo es invertible si las raíces de la ecuación $1 - \theta_1 x - \theta_2 x^2 - \dots - \theta_q x^q = 0$, están fuera del círculo unitario (son mayores que uno en magnitud).

Procesos autoregresivos de media móvil

El modelo autoregresivos de media móvil o $\text{ARMA}(p, q)$, se puede escribir como:

$$z_t - \mu = \phi_1(z_{t-1} - \mu) + \dots + \phi_p(z_{t-p} - \mu) + a_t - \theta_1 a_{t-1} - \dots - \theta_q a_{t-q}$$

Donde sus autocovarianzas son:

$$\gamma_k = \phi_1 \gamma_{k-1} + \phi_2 \gamma_{k-2} + \dots + \phi_p \gamma_{k-p} \quad k > q$$

Y sus autocorrelaciones:

$$\rho_k = \phi_1 \rho_{k-1} + \phi_2 \rho_{k-2} + \dots + \phi_p \rho_{k-p} \quad k > q$$

Esto implica que las autocorrelaciones de un modelo $\text{ARMA}(p, q)$ siguen el mismo patrón de las autocorrelaciones de un modelo $\text{AR}(p)$ para $k > q - p$, y sus autocorrelaciones parciales siguen el mismo patrón que el de las autocorrelaciones parciales de un modelo $\text{MA}(q)$ para $k \leq p - q$.

En general un modelo AR de alto orden o uno MA de alto orden se puede expresar como un modelo ARMA de bajo orden.

Modelo autorregresivo integrado de media móvil

Los modelos ARMA describen procesos estacionarios, es decir la media, la varianza y las autocovarianzas no varían en el tiempo, sin embargo existen muchas series que no son estacionarias.

Gerhard Tintner (1940), Akiva Moiseevich Yaglom (1955), y Box y Jenkins (1976), argumentaron que secuencias homogéneas no estacionarias pueden ser transformadas en estacionarias haciendo diferenciaciones sucesivas de las series. Considerando el operador:

$$\nabla = 1 - B$$

Donde B es un operador de desplazamiento hacia atrás tal que:

$$B^m z_t = z_{t-m}$$

De esta manera es posible transformar una serie no estacionaria z_t en una estacionaria w_t tomando las diferencias:

$$w_t = \nabla^d z_t = (1 - B)^d z_t$$

De esta manera el modelo ARMA(p, q):

$$w_t - \mu = \phi_1(w_{t-1} - \mu) + \dots + \phi_p(w_{t-p} - \mu) + a_t - \theta_1 a_{t-1} - \dots - \theta_q a_{t-q}$$

Es llamado autoregresivo integrado de media móvil de orden (p, d, q) o ARIMA(p, d, q).

Intervalos de predicción

La incertidumbre asociada a la predicción puede ser calculada a través de los intervalos de predicción, los cuales nos dan límites con un nivel de confianza para cada predicción individual. Asumiendo que los a_t 's están normalmente distribuidos, se pueden calcular los intervalos para el paso l a un nivel de confianza de $1 - \alpha$ usando:

$$z_n(l) \pm u_{\alpha/2} \{VAR(e_n(l))\}^{1/2}$$

Donde $u_{\alpha/2}$ es el valor de la distribución acumulada normal estándar inversa con probabilidad $\alpha/2$, y:

$$VAR(e_n(l)) = \sigma^2(1 + \psi_1^2 + \psi_2^2 + \dots + \psi_{l-1}^2)$$

De aquí que los intervalos de predicción se pueden estimar sustituyendo los parametros $z_n(l)$ y $VAR(e_n)$ por sus estimados:

$$\hat{z}_n(l) \pm u_{\alpha/2} \{\widehat{VAR}(e_n(l))\}^{1/2}$$

4.3. Programación estocástica¹⁴

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

Se define entonces al problema general de programación estocástica P como:

$$\begin{cases} P := \max/\min g_0(x, \tilde{\epsilon}) \\ \text{s.a.} \\ g_i(x, \tilde{\epsilon}) \leq 0; i = 1, \dots, m \\ x \in X \subset \mathfrak{R}^n \end{cases}$$

Donde $\tilde{\epsilon}$ es un vector aleatorio que varia sobre el espacio muestral Ξ , cuya familia de eventos F tiene una distribución de probabilidades P en F dada, por lo tanto para todo subconjunto de eventos $A \subset \Xi$ que pertenecen a F , la probabilidad $P(A)$ es conocida.

Cuando los resultados¹⁵ del proceso estocástico son independientes del modelo de optimización, es posible crear un conjunto finito de estados (eventos), donde los vectores de costos o ganancias, son el resultado de los

¹⁴ Stochastic Programming, Peter Kall and Stein W. Wallace, 1994, John Wiley

¹⁵ Optimización Estocástica Multi-etapa con Manejo de Riesgo, Trabajo de investigación para optar al título de Doctor en Ingeniería mención Sistema Energéticos, Ing. Jesus Velasquez Bermúdez, Medellín, 2005, Universidad Nacional de Colombia

posibles estados, los cuales tienen asociada una probabilidad de ocurrencia.

En estos modelos de optimización, 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.

La probabilidad de ocurrencia de cada elemento del espacio muestral puede ser obtenida a partir de la formulación explícita del proceso estocástico, o a partir de modelos de simulación que representen apropiadamente el proceso y puedan generar distribuciones empíricas que se ajusten a este.

La relación entre el modelo del proceso estocástico y el de optimización se puede realizar por medio de conjuntos de estado de los vectores de costos y/o de los vectores de recursos, que se asumen son el resultado de la realización del proceso estocástico.

5. Formulación del problema de asignación

5.1. Formulación Básica

En base al esquema de autoventa, se debe considerar que las unidades de transportación tienen capacidades limitadas de carga. Considerando este elemento, se puede reformular el modelo del vendedor de periódicos de la siguiente manera:

Maximizar

$$G(Q) = E[(p - c) \min(Q, x) + (s - c) \max(0, Q - x)]$$

Sujeto a:

$$Vol(Q) \leq CapV(U)$$

$$Pes(Q) \leq CapP(U)$$

Donde $Vol(Q)$ y $Pes(Q)$ son el volumen y el peso respectivamente asociados a la cantidad Q de productos a cargar en la unidad U , y $CapV(U)$ y $CapP(U)$ son las capacidades volumétricas y de peso respectivamente asociados a la unidad de transporte U .

En adelante se usará M para el margen de ganancia por producto $(p - c)$ y el costo asociado al retorno no tiene un valor de salvataje como en el problema del vendedor de periódicos, así que se denotará al valor del retorno como CR . El sistema de autoventa supone que se debe decidir cuánto se cargara para cada producto i , por lo que la formulación se puede escribir como:

Notación:

i : Producto

V_i : Venta del producto i

R_i : Retorno del producto i

M_i : Margen de ganancia del producto i

Q_i : Variable de decisión que contiene la cantidad de unidades del producto i que se debe cargar

Función objetivo:

Maximizar:

$$\begin{aligned} E \left[\sum_i (M_i \min(Q_i, x_i) - CR_i \max(0, Q_i - x_i)) \right] \\ = \sum_i M_i E[V_i] - \sum_i CR_i E[R_i] \end{aligned}$$

Que en términos simples es la suma de los márgenes de ganancia de la veta esperada menos los costos esperados del retorno. Cabe resaltar que ambos términos están asociados a la cantidad de unidades cargadas de cada producto.

Sujeto a:

$$\sum_i Vol(Q_i) \leq CapV(U)$$

$$\sum_i Pes(Q_i) \leq CapP(U)$$

A diferencia del problema del vendedor de periódicos este es un modelo que no se puede resolver como una formulación independiente para cada producto i ya que la utilización de las capacidades de almacenamiento de la unidad limita la cantidad de productos que se puede cargar.

Ahora se considerará también como parte del problema básico, la planificación de múltiples zonas de autoventa, lo que conlleva a resolverlo considerando las cantidades de producto que se debe ofertar en cada una de estas (o a cada unidad de transporte, si se considera que las unidades tienen una asignación fija a una zona en particular). Por otra parte la oferta en la bodega podría ser limitada y podría existir competencia por productos entre zonas. La idea es asignar los productos y sus cantidades a las unidades de transporte de tal forma que se minimicen los costos por tener un mejor esperado en ventas (o una menor varianza en la variable demanda). También se debe considerar que por presencia de marca,

cuidado y sostenibilidad de la porción de mercado residente en la zona, ninguna unidad debe dejar de salir al mercado a vender, por lo que se definirá cantidades mínimas a carga por producto y por zona.

Notación:

z : Zona de venta

$R_{i,z}$: Retorno del producto i la zona z

$Qmin_{i,z}$: Cantidad mínima a llevar del producto i a la zona z

$x_{i,z}$: Variable aleatoria de la demanda del producto i en la zona z

$CapV_z$: Capacidad volumétrica del Vehículo asignado a la zona z

$CapP_z$: Capacidad en peso del Vehículo asignado a la zona z

Vol_i : Volumen del producto i

Pes_i : Peso del producto i

$V_{i,z}$: Venta del producto i en la zona z

Variable de decisión

$Q_{i,z}$: Cantidad del producto i asignada a la zona z

Función Objetivo

$$\sum_i \sum_z M_i E[V_{i,z}] - \sum_i \sum_z CR_i E[R_{i,z}]$$

Sujeto a:

$$\sum_i Vol_i Q_{i,z} \leq CapV_z ; \forall z$$

$$\sum_i Pes_i Q_{i,z} \leq CapP_z ; \forall z$$

$$Q_{i,z} \geq Qmin_{i,z} ; \forall i \forall z$$

Para que la formulación considere el uso de una flota de transporte con capacidades heterogéneas y la posibilidad de asignar el vehículo más conveniente de acuerdo a la operación que se está planificando, puesto que

una zona con mayor demanda esperada requerirá de un vehículo con mayor capacidad de carga, se añadirá a la formulación nuevas variables de decisión:

Notación

$CapV_v$: Capacidad volumétrica del vehículo v

$CapP_v$: Capacidad en peso del vehículo v

$V_{i,z}$: Venta del producto i en la zona z

$R_{i,z}$: Retorno del producto i en la zona z

Variables de decisión

$Q_{i,z}$: Cantidad de unidades del producto i que se debe cargar para la zona z

$UZ_{z,v}$: Variable binaria que indica si la unidad de transporte v se asigna a la zona z .

Función Objetivo:

$$\sum_i \sum_z M_i E[V_{i,z}] - \sum_i \sum_z CR_i E[R_{i,z}]$$

Sujeto a:

$$\sum_i Vol_i Q_{i,z} \leq \sum_v UZ_{z,v} CapV_v ; \forall z$$

$$\sum_i Pes_i Q_{i,z} \leq \sum_v UZ_{z,v} CapP_v ; \forall z$$

$$Q_{i,z} \geq Qmin_{i,z} ; \forall i \forall z$$

$$\sum_v UZ_{z,v} = 1 ; \forall z$$

$$\sum_z UZ_{z,v} = 1 ; \forall v$$

En la formulación desarrollada, forma parte de la función objetivo los valores esperados de las variables aleatorias venta y retorno (recordar que estas

están en función de la demanda que es aleatoria), los cuales dependen de la cantidad $Q_{i,z}$ que se cargue. Estas cantidades a su vez están restringidas por las capacidades de las unidades de transporte que se usen. Estos valores esperados están en función del nivel de confianza con que se estime la demanda (límite superior del intervalo de predicción).

Si se hace a $Q_{i,z}$ un parámetro que depende del nivel de confianza dado por los límites de predicción (según el modelo de predicción que se este usando), se puede decir que el nivel de confianza es el que estaría restringido por las capacidades de los vehículos, así denotando $Q_{i,z,\alpha}$ como la cantidad de producto i para la zona z que se va a cargar con un nivel de confianza $1 - \alpha$, se puede escribir:

$$E[V](\alpha) = E[\min(Q_\alpha, x)] = \int_0^{Q_\alpha} xf(x)dx + \int_{Q_\alpha}^{\infty} Q_\alpha f(x)dx = E[V_\alpha]$$

$$\Rightarrow E[V_{i,z}](\alpha) = E[V_{i,z,\alpha}]$$

$$E[R](\alpha) = E[\max(0, Q_\alpha - x)] = \int_0^{Q_\alpha} (Q_\alpha - x)f(x)dx = E[R_\alpha]$$

$$\Rightarrow E[R_{i,z}](\alpha) = E[R_{i,z,\alpha}]$$

5.1.1. Variables

Contendrán la información decisión tomada al asignar carga a las rutas.

$X_{i,z,\alpha}$: Variable binaria que indica si el nivel de confianza $1 - \alpha$ será escogido para cargar $Q_{i,z,\alpha}$ unidades del producto i para la zona z

$UZ_{z,v}$: Variable binaria que indica si la unidad de transporte v se asigna a la zona z .

5.1.2. Índices

i : Producto

z : Zona

v : Vehículo

α : Nivel de Confianza

5.1.3. Parámetros

Vol_i : Volumen del producto i

Pes_i : Peso del producto i

$CapV_v$: Capacidad volumétrica del vehículo v

$CapP_v$: Capacidad en peso del vehículo v

$Qmin_{i,z}$: Cantidad mínima a llevar del producto i a la zona z

M_i : Margen de Utilidad del producto i

$EV_{i,z,\alpha}$: Valor esperado de la venta del producto i en la zona z dado que se ha cargado $Q_{i,z,\alpha}$ unidades del producto i para la zona z a un nivel de confianza $1 - \alpha$

$ER_{i,z,\alpha}$: Valor esperado del retorno del producto i en la zona z dado que se ha cargado $Q_{i,z,\alpha}$ unidades del producto i para la zona z a un nivel de confianza $1 - \alpha$

$Q_{i,z,\alpha}$: Cantidad de producto i destinado a la zona z a $1 - \alpha$ nivel de confianza

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

5.1.4. Restricciones

Asignación de vehículos a zonas

Para toda zona z se debe asignar solamente un vehículo v

$$\sum_v UZ_{z,v} = 1 ; \forall z$$

Para todo vehículo v se debe asignar solamente una zona z

$$\sum_z UZ_{z,v} = 1 ; \forall v$$

Capacidades de carga

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

$$\sum_i \sum_{\alpha} Vol_i Q_{i,z,\alpha} X_{i,z,\alpha} \leq \sum_v U_{Z,z,v} CapV_v ; \forall z$$

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

$$\sum_i \sum_{\alpha} Pes_i Q_{i,z,\alpha} X_{i,z,\alpha} \leq \sum_v U_{Z,z,v} CapP_v ; \forall z$$

Mantenimiento del mercado: Mínimos de producto requerido

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

$$\sum_{\alpha} Q_{i,z,\alpha} X_{i,z,\alpha} \geq Qmin_{i,z} ; \forall i \forall z$$

Elección del nivel de confianza

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

$$\sum_{\alpha} X_{i,z,\alpha} = 1 ; \forall i \forall z$$

Stock en bodega

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

$$\sum_z Q_{i,z,\alpha} X_{i,z,\alpha} \leq Stock_i ; \forall i \forall \alpha$$

5.1.5. Función Objetivo

Nótese que la función objetivo no siempre es lineal, puesto que es un valor esperado que depende de la función de probabilidades. Sin embargo en esta formulación se ha definido $Q_{i,z,\alpha}$ como un parámetro

dependiente del índice α , por lo tanto los valores esperados de los términos de la función objetivo se pueden calcular fuera de la formulación pasando así a formar parte del conjunto de parámetros del índice α .

El objetivo consiste en maximizar la utilidad asociada a los ingresos generados por la venta de los productos y a los costos de la operación, cada término de la función tiene por lo tanto una connotación económica específica en la función de utilidad.

A continuación se detallan los términos de la función objetivo.

Utilidad bruta de la operación:

$$\sum_i \sum_z \sum_\alpha M_i EV_{i,z,\alpha} X_{i,z,\alpha}$$

Costos asociados al retorno:

$$- \sum_i \sum_z \sum_\alpha CR_i ER_{i,z,\alpha} X_{i,z,\alpha}$$

5.2. Extensión I: Costos de mantenimiento de la flota de vehículos

En ciertas operaciones de autoventa la flota de vehículos es heterogénea, sus capacidades son diferentes entre sí, y sus rendimientos y costos de mantenimiento (como combustible, aceite, llantas, mano de obra, etc.) también. Las rutas que ejecutan a su vez también tienen condiciones diferentes, como por ejemplo la distancia a recorrer. Por lo tanto se puede concluir que se podría escoger un vehículo de mayor capacidad para una zona con mayor volumen esperado de ventas con la esperanza de vender más sin considerar que el vehículo escogido podría tener un bajo rendimiento provocando costos adicionales a la operación en detrimento de la utilidad.

En este ejemplo quizás hubiese sido más conveniente la elección de un vehículo con mejor rendimiento aunque su capacidad sea un poco menor que la del primero.

Los costos asociados a los vehículos, y que dependen de la zona a la se le asigne, son por lo tanto los que en esta extensión tienen efecto sobre la utilidad neta de la operación.

Cabe notar que la administración, puede estudiar la sensibilidad del modelo a estos costos para tomar decisiones tan importantes como por ejemplo comprar vehículos nuevos.

En este escenario, la formulación contiene parámetros adicionales y la función objetivo cambia al añadir los costos asociados a los vehículos.

Parámetros

$CV_{z,v}$: Costo asociado al vehículo v al ser asignado a la zona z

Formulación

Maximizar:

$$\begin{aligned} & \sum_i \sum_z \sum_\alpha M_i EV_{i,z,\alpha} X_{i,z,\alpha} - \sum_i \sum_z \sum_\alpha CR_i ER_{i,z,\alpha} X_{i,z,\alpha} \\ & - \sum_z \sum_v UV_{z,v} CV_{z,v} \end{aligned}$$

Sujeto a:

$$\sum_v UZ_{z,v} = 1 ; \forall z$$

$$\sum_z UZ_{z,v} = 1 ; \forall v$$

$$\sum_i \sum_\alpha Vol_i Q_{i,z,\alpha} X_{i,z,\alpha} \leq \sum_v UZ_{z,v} CapV_v ; \forall z$$

$$\sum_i \sum_\alpha Pes_i Q_{i,z,\alpha} X_{i,z,\alpha} \leq \sum_v UZ_{z,v} CapP_v ; \forall z$$

$$\sum_{\alpha} Q_{i,z,\alpha} X_{i,z,\alpha} \geq Qmin_{i,z} ; \forall i \forall z$$

$$\sum_{\alpha} X_{i,z,\alpha} = 1 ; \forall i \forall z$$

$$\sum_z Q_{i,z,\alpha} X_{i,z,\alpha} \leq Stock_i ; \forall i \forall \alpha$$

5.3. Extensión II: Costos de carga y descarga (procesos en el despacho)

Esta extensión formula el problema de forma que considera los costos de carga y descarga de los productos, es posible que existan productos cuya carga en el vehículo sea muy laboriosa, en cuyo caso, frente a un valor esperado de venta muy bajo se decida no cargarlo.

Así mismo, los costos del retorno podrían incluir el costo asociado al trabajo provocado por la descarga de cada producto, costos de saneamiento de producto o pérdida total. Es importante hacer notar que el costo del retorno en autoventa tiene como elemento importante al costo asociado a la inversión en materia prima y elaboración del producto, ya que al retornar, dicha inversión tiene connotaciones financieras importantes.

Parámetros

CC_i : Costo por unidad de producto i cargada

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

Formulación

Maximizar:

$$\begin{aligned} & \sum_i \sum_z \sum_{\alpha} M_i EV_{i,z,\alpha} X_{i,z,\alpha} - \sum_i \sum_z \sum_{\alpha} CR_i ER_{i,z,\alpha} X_{i,z,\alpha} \\ & - \sum_i \sum_z \sum_{\alpha} CC_i Q_{i,z,\alpha} X_{i,z,\alpha} \end{aligned}$$

Sujeto a:

$$\sum_v UZ_{z,v} = 1 ; \forall z$$

$$\sum_z UZ_{z,v} = 1 ; \forall v$$

$$\sum_i \sum_\alpha Vol_i Q_{i,z,\alpha} X_{i,z,\alpha} \leq \sum_v UZ_{z,v} CapV_v ; \forall z$$

$$\sum_i \sum_\alpha Pes_i Q_{i,z,\alpha} X_{i,z,\alpha} \leq \sum_v UZ_{z,v} CapP_v ; \forall z$$

$$\sum_\alpha Q_{i,z,\alpha} X_{i,z,\alpha} \geq Qmin_{i,z} ; \forall i \forall z$$

$$\sum_\alpha X_{i,z,\alpha} = 1 ; \forall i \forall z$$

$$\sum_z Q_{i,z,\alpha} X_{i,z,\alpha} \leq Stock_i ; \forall i \forall \alpha$$

5.4. Extensión III: Factor enganche

Esta extensión, supone que existe un factor enganche causado por la existencia de productos complementarios, es decir existe una relación entre productos que restringe o facilita la venta de estos.

Para formular este escenario se propone un parámetro nuevo que establece el factor que existe entre cada par de productos y una restricción asociada con las variables de decisión de elección del nivel de confianza $1 - \alpha$.

Si el factor enganche del producto i con el producto j es dos, significa que que la venta máxima que se esperaría tener del producto j es de dos veces la cantidad cargada del producto i .

Parámetros

$FE_{i,j}$: Factor de Enganche del producto i con el producto j

Formulación

Maximizar:

$$\sum_i \sum_z \sum_\alpha M_i EV_{i,z,\alpha} X_{i,z,\alpha} - \sum_i \sum_z \sum_\alpha CR_i ER_{i,z,\alpha} X_{i,z,\alpha}$$

Sujeto a:

$$\sum_v UZ_{z,v} = 1 ; \forall z$$

$$\sum_z UZ_{z,v} = 1 ; \forall v$$

$$\sum_i \sum_\alpha Vol_i Q_{i,z,\alpha} X_{i,z,\alpha} \leq \sum_v UZ_{z,v} CapV_v ; \forall z$$

$$\sum_i \sum_\alpha Pes_i Q_{i,z,\alpha} X_{i,z,\alpha} \leq \sum_v UZ_{z,v} CapP_v ; \forall z$$

$$\sum_\alpha Q_{i,z,\alpha} X_{i,z,\alpha} \geq Qmin_{i,z} ; \forall i \forall z$$

$$\sum_\alpha X_{i,z,\alpha} = 1 ; \forall i \forall z$$

$$\sum_z Q_{i,z,\alpha} X_{i,z,\alpha} \leq Stock_i ; \forall i \forall \alpha$$

$$\sum_\alpha FE_{i,j} Q_{j,z,\alpha} X_{j,z,\alpha} \geq \sum_\alpha EV_{i,z,\alpha} X_{i,z,\alpha} ; \forall i \forall j \forall z$$

Donde la ultima restricción establece la relación del factor enganche con la venta esperada. Notar que para hacer que el factor enganche no tenga efecto sobre el producto j debe contener un valor cercano al infinito.

5.5. Extensión IV: Efecto Canibalismo

El efecto canibalismo producido por la competencia entre productos sustitutos es a veces medido en función de la experiencia o de estudios de mercado en algunas empresas de consumo masivo.

Este es un parámetro que denota que por cada unidad de un producto en particular que se vende en una zona, resta la venta en un porcentual a otro producto, al mismo tiempo que aumenta el retorno.

En la formulación propuesta se agregará a la función objetivo los componentes adicionales que intervienen en la utilidad esperada, y que se activan cuando este factor está presente.

Parámetros

$FC_{i,j}$: Factor de canibalismo del producto i con el producto j , que es un porcentual.

Formulación

Maximizar:

$$\begin{aligned} & \sum_i \sum_z \sum_\alpha M_i EV_{i,z,\alpha} X_{i,z,\alpha} - \sum_i \sum_z \sum_\alpha CR_i ER_{i,z,\alpha} X_{i,z,\alpha} \\ & - \sum_i \sum_j \sum_z \sum_\alpha M_i FC_{i,j} EV_{j,z,\alpha} X_{j,z,\alpha} \\ & - \sum_i \sum_j \sum_z \sum_\alpha CR_i FC_{i,j} EV_{j,z,\alpha} X_{j,z,\alpha} \end{aligned}$$

Sujeto a:

$$\sum_v UZ_{z,v} = 1 ; \forall z$$

$$\sum_z UZ_{z,v} = 1 ; \forall v$$

$$\sum_i \sum_\alpha Vol_i Q_{i,z,\alpha} X_{i,z,\alpha} \leq \sum_v UZ_{z,v} CapV_v ; \forall z$$

$$\sum_i \sum_\alpha Pes_i Q_{i,z,\alpha} X_{i,z,\alpha} \leq \sum_v UZ_{z,v} CapP_v ; \forall z$$

$$\sum_\alpha Q_{i,z,\alpha} X_{i,z,\alpha} \geq Qmin_{i,z} ; \forall i \forall z$$

$$\sum_{\alpha} X_{i,z,\alpha} = 1 ; \forall i \forall z$$

$$\sum_z Q_{i,z,\alpha} X_{i,z,\alpha} \leq Stock_i ; \forall i \forall \alpha$$

5.6. Extensión V: Estrategias de cobertura

En los diferentes mercados, productos y marcas que compiten por su posición en este, por este motivo existen estrategias de presencia, es decir se procura que ciertos productos, familias de productos, o marcas tengan presencia constante en el mercado.

Para controlar este requerimiento se recurrirá a la restricción que establece los mínimos de productos a cargar en la formulación básica, por lo que la formulación no cambia, si no el criterio con que se establecen estos mínimos.

Formulación

Maximizar:

$$\sum_i \sum_z \sum_{\alpha} M_i EV_{i,z,\alpha} X_{i,z,\alpha} - \sum_i \sum_z \sum_{\alpha} CR_i ER_{i,z,\alpha} X_{i,z,\alpha}$$

Sujeto a:

$$\sum_v UZ_{z,v} = 1 ; \forall z$$

$$\sum_z UZ_{z,v} = 1 ; \forall v$$

$$\sum_i \sum_{\alpha} Vol_i Q_{i,z,\alpha} X_{i,z,\alpha} \leq \sum_v UZ_{z,v} CapV_v ; \forall z$$

$$\sum_i \sum_{\alpha} Pes_i Q_{i,z,\alpha} X_{i,z,\alpha} \leq \sum_v UZ_{z,v} CapP_v ; \forall z$$

$$\sum_{\alpha} Q_{i,z,\alpha} X_{i,z,\alpha} \geq Qmin_{i,z} ; \forall i \forall z$$

$$\sum_{\alpha} X_{i,z,\alpha} = 1 ; \forall i \forall z$$

$$\sum_z Q_{i,z,\alpha} X_{i,z,\alpha} \leq Stock_i ; \forall i \forall \alpha$$

5.7. Extensión VI: Bodegas Satélites

Como se vio en el capítulo tres, la utilización de bodegas satélites es una solución al problema de las capacidades de los vehículos que pueden limitar las ventas.

Para esta extensión se considerará que estas bodegas están asignadas a zonas por cercanía, el tiempo no es un factor limitante, las bodegas tienen una capacidad limitada y la recarga tendrá asociado un costo.

El sentido común nos lleva a sugerir cargar lo que más se pueda en el primer viaje, sin embargo se debe cuidar de llevar todos los productos en cantidades razonables, puesto que la venta de un producto no es necesariamente uniforme a lo largo del tiempo que transcurre en la ruta y no se conoce la distribución de probabilidades de la demanda dada la hora del día. Así, se debería cargar porciones de productos tal que su valor esperado en ventas sea lo suficientemente grande como para no perder ventas mientras el vehículo va haciendo espacio para la recarga.

En este modelo se propone correr el modelo como si no se tuvieran la bodegas de recargue, por ejemplo usando el modelo básico, esto asegura tener un stock variado, con buenas posibilidades de venderse y con buenos márgenes de ganancia al arrancar la ruta.

Al obtener los resultados, se toman estos como la respuesta a la carga inicial del vehículo. Así, esta extensión se formula usando esta respuesta inicial como un parámetro adicional y adicionando nuevas restricciones.

Índices

b: Bodega de recargue

Parámetros

$CapV_b$: Capacidad volumétrica de la bodega satélite b .

$AsigBod_{b,z}$: Binario, determina si la bodega b esta asignada a la zona z .

$CostRec$: Costo de la recarga para una zona.

$Q'_{i,z}$: Cantidad de producto i destinado a la zona z cargado para el primer viaje.

Formulación

Maximizar:

$$\sum_i \sum_z \sum_\alpha M_i EV_{i,z,\alpha} X_{i,z,\alpha} - \sum_i \sum_z \sum_\alpha CR_i ER_{i,z,\alpha} X_{i,z,\alpha} - \sum_z CostRec Recar_z$$

Sujeto a:

$$\sum_v UZ_{z,v} = 1 ; \forall z$$

$$\sum_z UZ_{z,v} = 1 ; \forall v$$

$$\sum_i \sum_\alpha Vol_i Q_{i,z,\alpha} X_{i,z,\alpha} \leq 2 \sum_v UZ_{z,v} CapV_v ; \forall z$$

$$\sum_i \sum_\alpha Pes_i Q_{i,z,\alpha} X_{i,z,\alpha} \leq 2 \sum_v UZ_{z,v} CapP_v ; \forall z$$

$$\sum_i \sum_\alpha \sum_z Vol_i (Q_{i,z,\alpha} - Q'_{i,z}) X_{i,z,\alpha} AsigBod_{b,z} \leq CapV_b ; \forall b$$

$$\sum_i \sum_\alpha Vol_i (Q_{i,z,\alpha} - Q'_{i,z}) X_{i,z,\alpha} AsigBod_{b,z} \leq Recar_z CapV_b ; \forall b$$

$$\sum_i \sum_\alpha Vol_i (Q_{i,z,\alpha} - Q'_{i,z}) X_{i,z,\alpha} AsigBod_{b,z} \geq Recar_z ; \forall z \forall b$$

$$\sum_\alpha Q_{i,z,\alpha} X_{i,z,\alpha} \geq Qmin_{i,z} ; \forall i \forall z$$

$$\sum_{\alpha} Q_{i,z,\alpha} X_{i,z,\alpha} \geq Q'_{i,z} ; \forall i \forall z$$

$$\sum_{\alpha} X_{i,z,\alpha} = 1 ; \forall i \forall z$$

$$\sum_z Q_{i,z,\alpha} X_{i,z,\alpha} \leq Stock_i ; \forall i \forall \alpha$$

El resultado de esta formulación dará las cantidades totales por producto que se cargarán al vehículo junto con la bodega satélite asignada a este. La partición de la carga, es decir qué y cuánto se cargará inicialmente, está dado por el parámetro $Q'_{i,z,\alpha}$, así lo que se recargará, es decir, lo que se debe llevar a las bodegas satélites, se puede resolver restando las cantidades totales de las cargas iniciales.

6. Aplicación de los modelos

Con el objetivo de comprobar la factibilidad de implementación de las formulaciones propuestas, probar la practicidad del modelo sugerido, evidenciar que el método propuesto mejoraría el resultado de las operaciones y medir el impacto en las operaciones al usar estas técnicas, se simuló las operaciones de autoventa usando datos reales de una empresa de consumo masivo.

Para esto se tomo información real de tres meses de las operaciones en un sistema de autoventa para cinco zonas, cuyas rutas salen diariamente a vender seis días a la semana. Las rutas están previamente definidas sobre las zonas de venta preestablecidas.

La información contiene los datos de la carga y la venta producida por día, zona y producto. Los dos primeros meses se usaron como variables que explican el comportamiento de la demanda en los días futuros, dejando el último mes como la base de comparación para establecer las diferencias resultantes de la aplicación del modelo propuesto, esto es, 135 operaciones para simular (que son las combinaciones zona-día). También se obtuvo la información de las capacidades volumétricas y rendimientos en combustible (\$/Km) de los cinco camiones asignados a las zonas, los productos que se comercializan, con sus márgenes de ganancia, y costos asociados al retorno.

Para medir los resultados obtenidos se estimó la venta esperada dado que el modelo cargó Q unidades para el producto i , la zona z , para cada uno de los días del último mes de historia. La demanda esperada para cada producto en cada zona y cada día, se calculó considerando que cuando la carga real es mayor que la venta real, entonces la demanda es igual a la venta real, y cuando la carga real es igual a la venta real, entonces la demanda esperada es igual a la esperanza condicional de la demanda dado que esta es mayor o igual a la venta real, este cálculo fue posible ya que la demanda fue modelada y su distribución de probabilidades es conocida, y está basada en los límites de predicción del modelo.

El modelo de pronósticos utilizado para establecer los límites de predicción es el mismo modelo que usa la empresa en mención, esto con la finalidad de no incorporar ruido en la medición de resultados, es decir que los resultados obtenidos al usar el modelo no están explicados por mejoras en los sistemas de pronósticos.

Una vez estimada la demanda es posible hacer el cálculo de la venta en los escenarios simulados, pues si la demanda es menor que Q , el resultado esperado es vender la demanda y el retorno sería igual a Q menos la demanda, y si la demanda es mayor o igual que Q , el resultado esperado es vender Q y el retorno sería igual a cero.

6.1. Simulación usando el modelo básico

En el escenario real, los vehículos están previamente asignados, sin embargo para la ejecución de esta simulación, se dejó que el modelo determine la mejor asignación de los camiones basado en sus capacidades volumétricas. Esto es uno de factores que aprovecha el modelo para mejorar la venta y, por lo tanto, la utilidad.

6.1.1. Resultados

La tabla 6.1 muestra los resultados obtenidos del margen de ganancia resultante del margen por producto menos el costo del inventario, sin considerar los costos de retornos y, de mantenimiento y combustible. La finalidad de mostrar los datos sin considerar estos costos, es la de poder observar el efecto del modelo sobre las variables que controla el modelo, excluyendo los costos ocasionados por no controlar estos parámetros, puesto que la formulación básica propuesta no los considera.

ZONA	MARGEN REAL	MARGEN SIMULADO	% VAR
1	\$ 27,832	\$ 28,928	3.9%
2	\$ 56,328	\$ 59,465	5.6%
3	\$ 57,669	\$ 60,485	4.9%
4	\$ 66,602	\$ 72,102	8.3%
5	\$ 69,075	\$ 78,753	14.0%
TOTAL	\$ 277,505	\$ 299,734	8.0%
PROMEDIO	\$ 55,501	\$ 59,947	

Tabla 6.1: Margen de ganancia bruta – Modelo básico

Como se observa en la tabla 6.1, se obtuvo el 8% de margen adicional, es decir USD\$ 22,229.00 adicionales en las 5 zonas durante un mes de operación.

Las siguientes tablas muestran los resultados por zona obtenidos en dos indicadores comúnmente revisados por la empresa para controlar sus operaciones de autoventa, estos son el retorno y porcentajes de quiebres de stock en ruta:

ZONA	% RETORNO REAL	% RETORNO SIMULADO	% VAR
1	43.6%	63.1%	44.86%
2	32.9%	44.0%	33.76%
3	20.7%	39.8%	92.87%
4	26.0%	37.6%	44.87%
5	18.6%	35.7%	91.99%
TOTAL	27.0%	42.8%	58.4%

Tabla 6.2: Indicador de retorno – Modelo básico

ZONA	# QUIEBRES DE STOCK EN RUTA		% QUIEBRES DE STOCK	
	REAL	SIMULADO	REAL	SIMULADO
1	388	27	29%	2%
2	427	97	27%	6%
3	681	135	52%	10%
4	786	115	50%	7%
5	841	348	64%	26%
TOTAL	3123	722	44%	10%

Tabla 6.3: Indicador de quiebre de stock en ruta – Modelo básico

Como se puede apreciar en las tablas 6.2 y 6.3, el retorno aumenta del 42.8% al 58.4%, sin embargo el índice de quiebres de stock se reduce drásticamente, este último resultado explica la mejora en ventas.

Definiendo como “operación exitosa” al evento en donde la utilidad simulada usando el modelo propuesto supera a la utilidad real obtenida en una zona y día específicos, se obtuvo el índice de operaciones exitosas.

# de operaciones totales	135
# de operaciones exitosas	120
% de operaciones exitosas	88.9%

Tabla 6.4: Índice de operaciones exitosas –
Modelo básico

La tabla 6.4 muestra que se obtuvo el 88.9% de operaciones exitosas, lo cual indica que, aunque en la mayor parte de las operaciones se vieron mejorados los resultados por el modelo, hubo ocasiones en que la carga que se planificó en el escenario real, superó a los resultados del modelo.

Alguien podría entonces sugerir que este resultado se debe al azar, sin embargo, 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.

El costo de no considerar los mantenimientos, combustibles y tratamiento del retorno (costos de re-embalaje y por pérdida del producto) en el modelo, se muestra en las tablas 6.5 y 6.6.

ZONA	REAL	SIMULADO	% VAR
1	\$ 1,122	\$ 2,445	117.9%
2	\$ 1,144	\$ 1,876	63.9%
3	\$ 867	\$ 2,322	167.7%
4	\$ 1,100	\$ 2,025	84.1%
5	\$ 644	\$ 1,975	206.6%
TOTAL	\$ 4,878	\$ 10,642	118.2%
PROMEDIO	\$ 976	\$ 2,128	

Tabla 6.5: Costos asociados al tratamiento del retorno –
Modelo básico

ZONA	REAL	SIMULADO	% VAR
1	\$ 286	\$ 301	5.2%
2	\$ 407	\$ 319	-21.5%
3	\$ 361	\$ 368	1.8%
4	\$ 222	\$ 291	31.3%
5	\$ 608	\$ 592	-2.5%
TOTAL	\$ 1,883	\$ 1,871	-0.6%
PROMEDIO	\$ 377	\$ 374	

Tabla 6.6: Costos de mantenimiento de vehículos y combustible – Modelo básico

En la tabla 6.5 se observa el incremento del costo asociado al retorno. Este incremento esta explicado por el aprovechamiento que le da el modelo a las capacidades de los vehículos, poniendo un stock de seguridad que le permita no perder ventas (especialmente en los productos con mayor rotación y/o mayor margen).

En cuanto a los costos de combustible y mantenimiento, estos no tienen variación significativa con los datos reales (tabla 6.6).

La tabla 6.7 muestra los resultados obtenidos sobre la utilidad neta de la operación, ahora sí, considerando los costos asociados.

ZONA	UTILIDAD REAL	UTILIDAD SIMULADA	% VAR
1	\$ 26,424	\$ 26,182	-0.9%
2	\$ 54,776	\$ 57,270	4.6%
3	\$ 56,441	\$ 57,795	2.4%
4	\$ 65,280	\$ 69,786	6.9%
5	\$ 67,823	\$ 76,186	12.3%
TOTAL	\$ 270,744	\$ 287,220	6.1%
PROMEDIO	\$ 54,149	\$ 57,444	

Tabla 6.7: Resultados de la utilidad usando el modelo básico

6.2. Simulación usando el modelo Extensión I

Aunque el rendimiento se puede explicar por otras variables adicionales al combustible (como por ejemplo el aceite, mantenimientos, etc.), en esta simulación se usó la información de rendimiento en combustible de los vehículos, ya que fue la información que estuvo disponible. El rendimiento por kilómetro expresado de unidades monetarias, podría tener un efecto

importante sobre la decisión de asignación del vehículo una zona específica y en un día específico, puesto que las rutas por zona y por día cambian, así la asignación de un vehículo que tiene mayor capacidad volumétrica y que debería ser asignado a una zona cuyo valor esperado en ventas es grande, podría tener efectos significativos sobre la utilidad de la operación si es que la ruta que le toca recorrer tiene grandes distancias y el rendimiento del vehículo es bajo.

6.2.1. Resultados

Al final de proceso de simulación, como se puede apreciar en la tabla 6.8, se obtuvo el 8% de margen bruto adicional, esto es USD\$ \$ 22,274.00 adicionales en las 5 zonas durante un mes de operación, situación que no representa diferencia significativa con los resultados obtenidos utilizando el modelo básico.

ZONA	MARGEN REAL	MARGEN SIMULADO	% VAR
1	\$ 27,832	\$ 28,928	3.9%
2	\$ 56,328	\$ 59,471	5.6%
3	\$ 57,669	\$ 60,469	4.9%
4	\$ 66,602	\$ 72,150	8.3%
5	\$ 69,075	\$ 78,762	14.0%
TOTAL	\$ 277,505	\$ 299,779	8.0%
PROMEDIO	\$ 55,501	\$ 59,956	

Tabla 6.8: Margen de ganancia bruta- Modelo Ext. I

Con respecto a los indicadores de retornos y quiebres de stock, tampoco se ven diferencias importantes en comparación con los resultados de la aplicación de modelo básico. Las siguientes tablas muestran los resultados por zona:

ZONA	% RETORNO REAL	% RETORNO SIMULADO	% VAR
1	43.6%	63.1%	44.86%
2	32.9%	44.0%	33.77%
3	20.7%	39.3%	90.31%
4	26.0%	38.1%	46.61%
5	18.6%	35.7%	91.95%
TOTAL	27.0%	42.8%	58.3%

Tabla 6.9: Indicador de retorno - Modelo Ext. I

ZONA	# QUIEBRES DE STOCK EN RUTA		% QUIEBRES DE STOCK	
	REAL	SIMULADO	REAL	SIMULADO
1	388	27	29%	2%
2	427	96	27%	6%
3	681	140	52%	11%
4	786	111	50%	7%
5	841	348	64%	26%
TOTAL	3123	722	44%	10%

Tabla 6.10: Indicador de quiebre de stock en ruta - Modelo Ext. I

Usando esta extensión, se obtuvo el 88.9% de operaciones exitosas (tabla 6.11), que comparado con el porcentaje obtenido en el modelo básico, no representa diferencia significativa.

# de operaciones totales	135
# de operaciones exitosas	120
% de operaciones exitosas	88.9%

Tabla 6.11: Índice de operaciones exitosas –
Modelo Ext. I

Los costos causados por el tratamiento que se le da al retorno disminuyen con relación al modelo básico según se puede apreciar en la tabla 6.12, sin embargo, este resultado no se debe a la utilización de el modelo, ya que este no controla este parámetro.

ZONA	REAL	SIMULADO	% VAR
1	\$ 1,122	\$ 2,445	117.9%
2	\$ 1,144	\$ 1,877	64.0%
3	\$ 867	\$ 2,272	162.0%
4	\$ 1,100	\$ 2,067	87.9%
5	\$ 644	\$ 1,974	206.6%
TOTAL	\$ 4,878	\$ 10,635	118.0%
PROMEDIO	\$ 976	\$ 2,127	

Tabla 6.12: Costos asociados al tratamiento del retorno –
Modelo Ext. I

Los costos asociados al combustible de los vehículos tampoco muestran diferencia importante en comparación con el escenario real, ni en comparación con el escenario resultante de la utilización del modelo básico (tabla 6.13).

ZONA	REAL	SIMULADO	% VAR
1	\$ 286	\$ 286	0.0%
2	\$ 407	\$ 342	-15.8%
3	\$ 361	\$ 354	-2.2%
4	\$ 222	\$ 313	41.2%
5	\$ 608	\$ 560	-7.8%
TOTAL	\$ 1,883	\$ 1,855	-1.5%
PROMEDIO	\$ 377	\$ 371	

Tabla 6.13: Costos de mantenimiento de vehículos y
combustible – Modelo Ext. I

Como resultado final, no se obtuvo diferencias significativas con relación a la utilización del modelo básico, esto se debe a que los costos por combustibles, representaron en el escenario real, el 0.68% de la utilidad neta.

ZONA	UTILIDAD REAL	UTILIDAD SIMULADA	% VAR
1	\$ 26,424	\$ 26,197	-0.9%
2	\$ 54,776	\$ 57,251	4.5%
3	\$ 56,441	\$ 57,844	2.5%
4	\$ 65,280	\$ 69,770	6.9%
5	\$ 67,823	\$ 76,227	12.4%
TOTAL	\$ 270,744	\$ 287,289	6.1%
PROMEDIO	\$ 54,149	\$ 57,458	

Tabla 6.14: Resultados de la utilidad usando el modelo Ext. I

6.3. Simulación usando el modelo Extensión II

En este modelo se consideran los costos asociados al tratamiento del retorno. Particularmente en el negocio de la empresa donde se obtuvo los datos, cierta tipología de productos que se manejan producen altos costos en este rubro, pues el empaque de estos provoca que la probabilidad de que se dañe, sea alta y generalmente se debe re-empacar los productos que salen cargados en un vehículo y regresan. Esto provoca malestar en el departamento de despacho, el que continuamente reclama al departamento de distribución por los “altos retornos” (se remarca “altos retornos” ya que esta es una medida subjetiva, pues en esta empresa no se ha medido el impacto que tiene la reducción del índice de retorno sobre las ventas), percepción ocasionada por la tareas adicionales provocadas por los procesos de re-embalaje.

6.3.1. Resultados

Como se puede observar en la tabla 6.15, al final de proceso de simulación se obtuvo el 7.5% de margen adicional, esto es USD\$ 20,737.00 adicionales, margen inferior al obtenido en los dos modelos anteriores. Sin embargo, esto es consistente con el modelo, ya que al agregarle los costos por pérdida y re-procesos del retorno, el modelo embarca menos producto, aumentando la probabilidad de quedarse sin stock en la ruta.

ZONA	MARGEN REAL	MARGEN SIMULADO	% VAR
1	\$ 27,832	\$ 28,328	1.8%
2	\$ 56,328	\$ 59,062	4.9%
3	\$ 57,669	\$ 60,382	4.7%
4	\$ 66,602	\$ 71,965	8.1%
5	\$ 69,075	\$ 78,506	13.7%
TOTAL	\$ 277,505	\$ 298,242	7.5%
PROMEDIO	\$ 55,501	\$ 59,648	

Tabla 6.15: Margen de ganancia bruta- Modelo Ext. II

A continuación, en las siguientes tablas se detallan los indicadores de retornos y quiebres de stock.

ZONA	% RETORNO REAL	% RETORNO SIMULADO	% VAR
1	43.6%	48.3%	10.85%
2	32.9%	41.9%	27.39%
3	20.7%	37.5%	81.57%
4	26.0%	36.0%	38.56%
5	18.6%	34.6%	85.98%
TOTAL	27.0%	38.6%	42.7%

Tabla 6.16: Indicador de retorno - Modelo Ext. II

ZONA	# QUIEBRES DE STOCK EN RUTA		% QUIEBRES DE STOCK	
	REAL	SIMULADO	REAL	SIMULADO
1	388	114	29%	8%
2	427	136	27%	9%
3	681	134	52%	10%
4	786	125	50%	8%
5	841	344	64%	26%
TOTAL	3123	853	44%	12%

Tabla 6.17: Indicador de quiebre de stock en ruta - Modelo Ext. II

Al considerar los costos adicionales por retornos, el modelo es más cuidadoso al momento de asignar carga con los retornos esperados, esto es notorio en los resultados obtenidos, ya que los retornos bajan considerablemente y los quiebres de stock aumentan. Sin embargo el porcentaje de variación no es el mismo como se aprecia en las tablas 6.18 y 6.19, pues mientras que para el retorno, el modelo extensión II provoca el 10% de reducción de retornos, los quiebres de stock aumentan el 20% con relación al modelo básico.

ZONA	% RETORNO SIMULADO		% VAR
	BASICO	EXT. II	
1	63.1%	48.3%	-23.5%
2	44.0%	41.9%	-4.8%
3	39.8%	37.5%	-5.9%
4	37.6%	36.0%	-4.4%
5	35.7%	34.6%	-3.1%
TOTAL	42.8%	38.6%	-10%

Tabla 6.18: Índice de retorno – Comparativo modelos:
básico y Ext. II

ZONA	% QUIEBRES DE STOCK		% VAR
	BASICO	EXT. II	
1	2.0%	8.4%	322.2%
2	6.2%	8.7%	40.2%
3	10.4%	10.3%	-0.7%
4	7.3%	7.9%	8.7%
5	26.4%	26.1%	-1.1%
TOTAL	10%	12%	20%

Tabla 6.19: Índice de quiebres de stock - Comparativo
modelos: básico y Ext. II

En la tabla 6.20 se observa que el porcentaje de operaciones exitosas cae en relación a los modelos anteriores, sin embargo sigue siendo evidente la influencia del modelo sobre los resultados.

# de operaciones totales	135
# de operaciones exitosas	111
% de operaciones exitosas	82.2%

Tabla 6.20: Índice de operaciones
exitosas – Modelo Ext. II

Los costos del tratamiento del retorno resultaron mayores que en el escenario real (tabla 6.21), resultado que indica que fue preferible protegerse de la venta perdida que protegerse de los altos retornos, pues , se pierde más dinero por dejar de vender que por tratar el retorno.

ZONA	REAL	SIMULADO	% VAR
1	\$ 1,122	\$ 1,128	0.6%
2	\$ 1,144	\$ 1,504	31.5%
3	\$ 867	\$ 2,017	132.6%
4	\$ 1,100	\$ 1,707	55.2%
5	\$ 644	\$ 1,770	174.7%
TOTAL	\$ 4,878	\$ 8,127	66.6%
PROMEDIO	\$ 976	\$ 1,625	

Tabla 6.21: Costos asociados al tratamiento del retorno –
Modelo Ext. II

Sin embargo, estos costos son inferiores al escenario simulado con el modelo básico (24% menor), lo cual indica que sí se encontraron oportunidades en cuanto al control del retorno.

Los costos asociados al combustible de los vehículos disminuyen con relación a los escenarios anteriores, según se ve en la tabla 6.22, pero como ya se había mencionado, este rubro tiene una muy baja representatividad en relación a la función objetivo.

ZONA	REAL	SIMULADO	% VAR
1	\$ 286	\$ 273	-4.4%
2	\$ 407	\$ 302	-25.7%
3	\$ 361	\$ 320	-11.3%
4	\$ 222	\$ 265	19.6%
5	\$ 608	\$ 559	-7.9%
TOTAL	\$ 1,883	\$ 1,720	-8.6%
PROMEDIO	\$ 377	\$ 344	

Tabla 6.22: Costos de mantenimiento de vehículos y combustible – Modelo Ext. II

La tabla 6.23 muestra un incremento en la utilidad con relación al escenario real, esto es 0.4% adicional al resultado del modelo básico (El resultado del modelo básico fue de 6.1%, ver tabla 6.7).

ZONA	UTILIDAD REAL	UTILIDAD SIMULADA	% VAR
1	\$ 26,424	\$ 26,926	1.9%
2	\$ 54,776	\$ 57,256	4.5%
3	\$ 56,441	\$ 58,044	2.8%
4	\$ 65,280	\$ 69,993	7.2%
5	\$ 67,823	\$ 76,177	12.3%
TOTAL	\$ 270,744	\$ 288,395	6.5%
PROMEDIO	\$ 54,149	\$ 57,679	

Tabla 6.23: Resultados de la utilidad usando el modelo Ext. II

El incremento en utilidad con respecto al modelo básico se explica principalmente por el ahorro obtenido al considerar los costos adicionales de operación en la descarga y re-empaque de producto. Los costos adicionales asociados al tratamiento del retorno representaron aproximadamente el 1.8% de la utilidad en el escenario real, el 3.7% de

la utilidad en el modelo básico de autoventa y el 2.8% de la utilidad usando la extensión II del modelo.

6.4. Simulación usando el modelo Extensión VI

Aunque en el escenario real no se usan bodegas satélites, vamos a suponer que se tienen dos bodegas satélites, esta suposición es realista, pues está basada en la ubicación geográfica de las zonas de venta, y por tanto de las rutas. La idea es determinar la utilidad adicional obtenida, y compararla con los resultados de las simulaciones hechas con las otras extensiones (es decir bajo el supuesto de no tener bodega satélites), y así determinar cuánto dinero adicional quedaría para alquilar o implementar bodegas satélites cercanas a las zonas de venta como base para decidir si es conveniente o no trabajar mediante este sistema.

6.4.1. Resultados

En la tabla 6.24 se muestra un incremento en el margen bruto obtenido usando esta extensión con respecto al escenario real y con respecto a los modelos anteriores.

ZONA	MARGEN REAL	MARGEN SIMULADO	% VAR
1	\$ 27,832	\$ 28,328	1.8%
2	\$ 56,328	\$ 59,062	4.9%
3	\$ 57,669	\$ 60,382	4.7%
4	\$ 66,602	\$ 71,965	8.1%
5	\$ 69,075	\$ 87,347	26.5%
TOTAL	\$ 277,505	\$ 307,084	10.7%
PROMEDIO	\$ 55,501	\$ 59,947	

Tabla 6.24: Margen de ganancia bruta - Modelo Ext. VI

Se puede observar que los resultados en el margen no varían mucho en todas las zonas excepto en la zona 5, que es la única zona que utilizaría la bodega de recargue. El volumen de carga que movería diariamente esta bodega, sería aproximadamente 54 m³ con un máximo de 73 m³.

Como consecuencia del aumento de la carga (tabla 6.25), el índice de retorno, tiene importantes variaciones en la zona 5.

ZONA	% RETORNO REAL	% RETORNO SIMULADO	% VAR
1	43.6%	48.3%	10.85%
2	32.9%	41.9%	27.39%
3	20.7%	37.5%	81.57%
4	26.0%	36.0%	38.56%
5	18.6%	55.3%	197.37%
TOTAL	27.0%	45.2%	67.2%

Tabla 6.25: Indicador de retorno - Modelo Ext. VI

ZONA	# QUIEBRES DE STOCK EN RUTA		% QUIEBRES DE STOCK	
	REAL	SIMULADO	REAL	SIMULADO
1	388	114	29%	8%
2	427	136	27%	9%
3	681	134	52%	10%
4	786	125	50%	8%
5	841	106	64%	8%
TOTAL	3123	615	44%	9%

Tabla 6.26: Indicador de quiebre de stock en ruta - Modelo Ext. VI

Al comparar los índices de retorno con los de los modelos anteriores, se puede observar en la tabla 6.27 cómo el índice se eleva en la zona 5.

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

Tabla 6.27: Índice de retornos – Comparativo modelos: básico, Ext. I, Ext. II, Ext. VI

Al mismo tiempo que los quiebres de stock en ruta caen para ubicarse un nivel muy parecido a las otras zonas (tabla 6.28).

ZONA	% QUIEBRES DE STOCK EN RUTA			
	BASICO	EXT. I	EXT. II	EXT. VI
1	2.0%	2.0%	8.4%	8.4%
2	6.2%	6.2%	8.7%	8.7%
3	10.4%	10.7%	10.3%	10.3%
4	7.3%	7.0%	7.9%	7.9%
5	26.4%	26.4%	26.1%	8.0%
TOTAL	10%	10%	12%	9%

Tabla 6.28: Comparativo del índice de quiebres de stock – Modelos:
básico, Ext. I, Ext. II, Ext. VI

En cuanto a los costos por tratamiento del retorno y de combustibles, no se observa diferencias importantes con relación a los modelos anteriores (tablas 6.29 y 6.30).

ZONA	REAL	SIMULADO	% VAR
1	\$ 1,122	\$ 1,128	0.6%
2	\$ 1,144	\$ 1,504	31.5%
3	\$ 867	\$ 2,017	132.6%
4	\$ 1,100	\$ 1,707	55.2%
5	\$ 644	\$ 3,434	433.3%
TOTAL	\$ 4,878	\$ 9,792	100.7%
PROMEDIO	\$ 976	\$ 1,958	

Tabla 6.29: Costos asociados al tratamiento del retorno –
Modelo Ext. VI

ZONA	REAL	SIMULADO	% VAR
1	\$ 286	\$ 337	18.0%
2	\$ 407	\$ 273	-32.7%
3	\$ 361	\$ 344	-4.7%
4	\$ 222	\$ 246	11.2%
5	\$ 608	\$ 529	-12.9%
TOTAL	\$ 1,883	\$ 1,731	-8.1%
PROMEDIO	\$ 377	\$ 346	

Tabla 6.30: Costos de mantenimiento de vehículos y
combustible – Modelo Ext. VI

El resultado final obtenido fue de 9.2% de utilidad adicional sobre la utilidad generada en el escenario real (tabla 6.31), esto gracias a la

utilización de una bodega de recargue para la zona 5. Esto es USD\$ 24,817.00 adicionales sobre la utilidad real.

ZONA	UTILIDAD REAL	UTILIDAD SIMULADA	% VAR
1	\$ 26,424	\$ 26,862	1.7%
2	\$ 54,776	\$ 57,284	4.6%
3	\$ 56,441	\$ 58,020	2.8%
4	\$ 65,280	\$ 70,012	7.2%
5	\$ 67,823	\$ 83,383	22.9%
TOTAL	\$ 270,744	\$ 295,561	9.2%
PROMEDIO	\$ 54,149	\$ 59,112	

Tabla 6.31: Resultados de la utilidad usando el modelo Ext. VI

Sin embargo para considerar la apertura de esta bodega es necesario calcular la utilidad proporcionada por la utilización de esta y descartar las ganancias (o ahorros) generadas por una mejor asignación de la carga.

Para lograr descartar factores que no sean los del aumento de la capacidad de carga, se comparan en la tabla 6.30 las utilidades generadas en los modelos anteriores junto con el modelo extensión VI.

ZONA	UTILIDAD				
	REAL	BASICO	EXT. I	EXT. II	EXT. VI
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

Tabla 6.32: Utilidad generada – Comparativo modelos: básico, Ext. I, Ext. II y Ext. VI

De la tabla 6.30 se concluye que la mejor operación sin usar bodegas de recargue, produce US\$ 288,395.00, mientras que la operación usando la bodega de recargue produce US\$ 295,561.00, es decir US\$ 7,166.00 adicionales. Por lo tanto la implementación de una bodega de recargue para esta zona, tendría como punto de equilibrio esta cifra y cualquier costo adicional, representa una pérdida para la operación de las rutas en estas zonas.

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. Por ejemplo, las operaciones con bodegas de recargue ofrecen un solución interesante para aumentar la capacidad de carga de los vehículos agregando nuevos elementos al problema.
- 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, pues los resultados de las simulaciones evidencian un efecto sobre la utilidad en los escenarios simulados.
- Los modelos propuestos en este estudio se pudieron implementar sin contratiempos. El solver utilizado se demoró en promedio 35 segundos para encontrar una solución con una cercanía relativa a la mejor solución (gap relativo¹⁶) del 0.01%, llegando al óptimo absoluto en el 76% de las veces. Se concluye que este es un método práctico para resolver este problema.
- Los índices de retornos lucieron desmejorados en los escenarios simulados, no así los de quiebres de stock. Sin embargo, en los ejercicios simulados, no siempre los mejores índices estuvieron relacionados a los mejores resultados en cuanto a utilidad. Por ejemplo, los resultados obtenidos usando el modelo de extensión II fueron mejores que los del modelo de extensión I, aunque los niveles de quiebres de stock aumentaron. Esto se debe a que la mejor utilidad es generada en un nivel específico de retornos y quiebres de stock, el cual está dado por la distribución de probabilidades de la

¹⁶ www.gams.com/dd/docs/solvers/allsolvers.pdf

demanda y el margen propiciado por la venta de cada unidad (no siempre reducir el retorno o reducir el nivel de quiebres de stock es lo mejor).

- El modelo de extensión I, que considera dentro de la función objetivo los costos por combustible, no produjo un resultado significativamente mejor que el modelo básico dada la poca importancia que tienen estos costos sobre la oportunidades encontradas en la venta y el aprovechamiento del margen por producto. Es importante concluir, por lo tanto, que 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. Existen métodos técnicos muy elaborados, sin embargo es posible usar también distribuciones empíricas.
- 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 al asignar las cargas considerando los márgenes de ganancia por producto y las probabilidades asociadas a las demandas. Esta es una tarea que el simple modelo de pronósticos no considera.
- Para el desarrollo de las simulaciones el cálculo de la volumetría del producto fue relativamente sencillo ya que sus unidades de carga tienen una topología simple, sin embargo la obtención de este

parámetro 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

- Los modelos fueron resueltos basados en la distribución de probabilidades de la demanda según modelos de regresión lineal múltiple sin filtrar los posibles valores aberrantes, aun así los resultados fueron satisfactorios. Es recomendable considerar el control de valores aberrantes para mejorar las estimaciones y por lo tanto los resultados.
- La automatización de los procesos de cálculo y recolección de datos es fundamental 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.
- El cálculo de la utilización volumétrica del vehículo es un problema difícil de resolver cuando las unidades de carga no están estandarizadas y la topología de estas es compleja. Para la aplicabilidad de las restricciones de capacidad volumétrica de carga en el vehículo, es necesario realizar un estudio de volumetría en los productos y/o estandarizar las unidades de carga y/o

almacenamiento. Es recomendable estudiar los métodos de cálculo de utilización del espacio frente a condiciones complejas.

- La calidad de información que se obtenga al momento de definir los parámetros es fundamental para que el modelo tome decisiones acertadas. Los sistemas de costeo ABC¹⁷ 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. Para esto se necesitarían las distribuciones de probabilidad por ventanas horarias, lo cual es difícil de conseguir, y por otro lado, los errores de muestreo y de aproximación serían mayores, así como la varianza de la estimación total de la demanda. Se debe considerar esto si se quiere construir un modelo basado en las distribuciones de probabilidades por ventanas horarias.
- Durante las entrevistas que se hicieron en este estudio, el sistema de autoventa fue muy criticado en comparación a la preventa. Es interesante que se realice un estudio objetivo acerca de las condiciones sobre las cuales se deba escoger entre un sistema y otro.

¹⁷ Luis Aníbal Mora García (2008). Gestión Logística Integral. Ecoe Ediciones

BIBLIOGRAFIA

- [1] Ignacio Soret Los Santos (2006), *Logística y Marketing para la Distribución Comercial*, 3era edición, ESIC Editorial.
- [2] Jordi Pau i Cos y Ricardo de Navascués (1998), *Manual de Logística Integral*, Ediciones Díaz de Santos.
- [3] Luis Aníbal Mora García (2008), *Gestión Logística Integral*, Ecoe Ediciones.
- [4] 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 Operaciones*, Ediciones de la Universidad de Oviedo.
- [5] Salvador Miquel Peris, Francisca Parra Gerrero, Christian Lhermie, Maria Jose Miguel Romero (2006), *Distribución Comercial* - 5ta edición, ESIC Editorial.
- [6] Yu Ermoliev (1988), *Numerical Techniques for Stochastic Optimization*, Springer-Verlag.
- [7] Peter Kall and Stein W. Wallace (1994), *Stochastic Programming*, John Wiley.
- [8] Bovas Abraham, Johannes Ledolter (2005), *Estatistical Methods for Forecasting*, John Wiley & Sons.
- [9] Hanke, John E. (2006), *Pronósticos en los negocios* - 8ava edición, Pearson Educación.
- [10] Rob J. Hyndman, Anne B. Koheler, J. Keith Ord, Ralph D. Snyder (2008), *Forecasting with exponential Smoothing*, Springer-Verlag.
- [11] Gerhard Tintner (1940), *The Variate Difference Method*, Cowles Commission and the Department of Economics and Sociology, Iowa State College.
- [12] 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.

- [13] Anton J. Kleywegt and Alexander Shapiro (2000), *Stochastic Optimization*, School of Industrial and Systems Engineering, Georgia Institute of Technology, 2000.
- [14] Van-Nam Huynh, Jonathan Lawry, Yoshiteru Nakamori, Masahiro Inuiguchi (2010), *Integrated Uncertainty Management and Applications*, Springer-Verlag.