Modelo de inventarios para una empresa de distribución de flores en la Florida

Trabajo de Tesis
presentado al
Departamento de Ingeniería Industrial

por

Juan Pablo Sáenz Corredor

Asesor: Germán Riaño Mendoza, Ph.D.

Para optar al título de
Ingeniero Industrial

Ingeniería Industrial
Universidad de Los Andes
Julio 2007

Modelo de inventarios para una empresa de distribución de flores en la Florida

Aprobado por:

____

Ciro Alberto Amaya Guio, Ph.D., Jurado

____

Germán Riaño Mendoza, Ph.D., Asesor

Fecha de Aprobación ____________________

Para aquel que "en su manto y sobre el muslo lleva escrito este nombre:

REY DE REYES Y SEÑOR DE SEÑORES."

Apocalipsis 19: 16

Única fuente de vida.

Reconocimientos

Agradezco a mi asesor Germán Riaño quien me guió a lo largo éste proyecto.

A Iván Sáenz y todas las personas de Sunset Bouquet, quienes confiaron en mí y me proporcionaron toda la información que requerí para llevar a cabo el trabajo.

A Adriana Puig, Alejandro Niño, Andrés Corredor, Camilo Zorro, Juan Manuel Torrado, Laura Londoño, Laura Restrepo, Lina María Caamaño, Victor Paba y la gente de Salto al Vacío que me apoyó durante el desarrollo del proyecto.

A mis padres y hermanos que siempre han estado ahí para mí.

Tabla de Contenido

Lista de Tablas

Capítulo I

Introducción

Sunset Bouquet es una empresa de distribución de flores establecida en el año 2004 con base en Miami, Florida, Estados Unidos. Comercializa sus productos en 80 estaciones de servicio distribuidas desde Sanford hasta Palmetto Bay. La distribución de sus productos (ramos sencillos, ramos de tres rosas, ramos de seis rosas, ramos de doce rosas y ramos mixtos) se hace por medio de un sistema de venta en consignación. En éste, la empresa semanalmente surte cada una de las estaciones con la cantidad de producto que espera vender y recoge lo que no se haya vendido para desecharlo.

Por este motivo resulta crítico para la empresa saber qué cantidad de producto debe llevar a cada uno de sus puntos de venta. Si se lleva demasiado, habrá sobrantes que se pudrirán, mientras que si se lleva muy poco no se satisfará adecuadamente la demanda y se perderán ventas potenciales.

Hasta el momento la forma en que se decide con qué cantidad de producto surtir cada una de las estaciones de servicio está basada en la experiencia, el tamaño de las estaciones y el número promedio de transacciones que se llevan a cabo diariamente en cada una de éstas.

En el desarrollo de este proyecto modelamos el manejo de inventarios de Sunset Bouquet para evaluar el sistema actual de surtido a las estaciones y ofrecer una opción más eficiente, mediante el uso del modelo de inventarios del repartidor de periódicos, en el cual se definen los costos asociados al exceso y al defecto de producto y se minimizan de acuerdo con la distribución de la demanda.

Determinar la distribución de la demanda de un producto resulta ser más complejo que sólo el obtener las cifras históricas de ventas. La información que el registro histórico de ventas de un producto provee acerca de la demanda generalmente está censurada. Es decir, que en el momento en que se venden todas las existencias disponibles, se puede saber que su demanda del producto para el período en cuestión es por lo menos igual a las ventas, pero no se puede saber con certeza cuánto es.

De tal forma que al suponer que la demanda de un producto es igual a sus ventas, lo más probable es que ésta se esté subestimando. Cualquier estimador que se construya asumiendo que la distribución de la demanda se puede tomar directamente a partir de estos datos, va a estar sesgado y la información que desde allí se infiera no se ajustará a la realidad.

La forma de solucionar este problema es usando un estimador estadísticamente robusto que tenga en cuenta que los datos disponibles son censurados. Nosotros usamos el estimador del límite de los productos de Kaplan-Meier. Éste es un estimador construido a partir de estimadores binomiales y probabilidades condicionales, cuyo sesgo es negligible y cuya varianza es la mínima entre los que manejan datos censurados.

El desarrollo del modelo de inventarios para el caso de Sunset Bouquet muestra cómo el manejo de inventarios que lleva a cabo la compañía, aunque está alrededor del 90 % del óptimo, les significa un sobre costo total de aproximadamente diez mil dólares anuales. La implementación de nuestro modelo le generará a la compañía un incremento en sus ingresos netos equivalente al 5.48 % de sus ventas del año 2006.

Capítulo II

Modelo del repartidor de periódicos

2.1. Modelos de inventario

Los modelos de inventario se usan para manejar de la mejor manera posible los recursos que se han de adjudicar a la administración del inventario de una empresa. Por medio de estos se busca encontrar las respuestas adecuadas a las siguientes preguntas:

- ¿Cuánto Comprar?
- ¿Cuándo Comprar?
- ¿Qué costos se asocian a éstas decisiones de compra?
- ¿Cuál es la combinación de las respuestas a las preguntas anteriores que cumple con los requisitos de los clientes?

2.2. Modelo del repartidor de periódicos

El modelo del repartidor de periódicos es uno de los modelos de inventarios más simples que están sujetos a una demanda incierta. Este modelo lo encontramos en Riaño [4], quien lo explica de la siguiente manera:

> Joe Stoch trabaja vendiendo periódicos en la calle todas los días. En la mañana visita su proveedor quien le suministra tantos periódicos como desee a un costo c para que los venda a un precio p durante el día. Al final del día los periódicos que sobren sólo valen por su papel

y tienen un valor de salvamento s. La demanda durante el día es una variable aleatoria D, pero a través de un cuidadoso análisis estadístico Joe ha llegado a la conclusión de que la distribución de probabilidad de la demanda cada día es la misma $F(x) = P\{D \leq x\}$. Supondremos que $p > c$ y $c > s$, pues en caso contrario la solución sería trivial.

Joe debe decidir cada día cuántos periódicos adquirir de su proveedor. La respuesta natural parecería ser que Joe debe llevar una cantidad $Q = E(D)$. De hecho esa sería la respuesta correcta si D fuera una constante. Pero esto ignora por completo la estructura económica del problema y la naturaleza aleatoria de la demanda. En efecto, podría darse el caso de que sea más rentable llevar una cantidad considerable de sobra, aun arriesgándose a no venderlos. O, por el contrario, si los costos de adquisición fuesen muy altos, podría ser preferible llevar pocos periódicos para tener certeza de venderlos todos (y arriesgarse a perder ventas potenciales).

Llamemos Q la cantidad que Joe compra. Observe que si $Q > D$ entonces $Q - D$ representa la cantidad de periódicos que lleva de exceso. Por cada uno de ellos Joe incurre un costo de $c_o = c - s$. Por el contrario si $Q < D$ entonces $D - Q$ representa la cantidad que Joe dejó de vender y por cada uno de ellos incurre en un costo de oportunidad igual al margen de utilidad que deja de percibir, es decir, $c_s = p - c$. (Se usan c_o y c_s por sus nombres en inglés, *overage* y *shortage*, respectivamente). Utilizaremos la notación x^+ para representar la parte positiva de x, es decir

$$x^+ = \max(x, 0) = \begin{cases} x & x \geq 0 \\ 0 & x < 0. \end{cases}$$

Con esta notación la función total de costos se puede escribir como

$$C(Q) = c_o E[(Q - D)^+] + c_s E[(D - Q)^+]. \tag{1}$$

Aunque, claramente,la cantidad de periódicos es una variable discreta, por facilidad supondremos que la demanda tiene una distribución continua con función de densidad de probabilidad (fdp) dada por

$$f(x) = \frac{dF(x)}{dx}.$$

Por lo tanto, la función de costos que queremos minimizar es

$$\begin{aligned} C(Q) &= c_o \int_{-\infty}^{\infty} (Q-x)^+ f(x)dx + c_s \int_{-\infty}^{\infty} (x-Q)^+ f(x)dx \\ &= c_o \int_{0}^{Q} (Q-x)^+ f(x)dx + c_s \int_{Q}^{\infty} (x-Q)^+ f(x)dx, \end{aligned} \quad (2)$$

donde el segundo resultado se obtiene al partir el rango de integración $(0, \infty)$ en dos: para los valores menores y los mayores a Q. Para minimizar esta función de costos debemos derivar con respecto a Q e igualar a cero. El resultado es

$$\begin{aligned} C'(Q) &= c_o \int_{0}^{Q} f(x)dx - c_s \int_{Q}^{\infty} f(x)dx \\ &= c_o F(Q) - c_s[1 - F(Q)]. \end{aligned}$$

Al igualar a cero se obtiene el Q óptimo de acuerdo con el siguiente resultado: La solución al problema del vendedor de periódicos con demanda continua viene dada por el valor Q^* que satisface

$$F(Q^*) = \alpha, \quad (3)$$

donde $\alpha = \frac{c_s}{c_s+c_o}$.

Como $F(x)$ es una distribución continua, entonces es creciente en el rango de D. Esto implica que, al menos en principio, es invertible y por lo tanto hay un único punto que satisface la Ecuación (3). En la práctica, puede ser necesario usar un procedimiento numérico para calcular el valor óptimo.

Para garantizar que este punto crítico es un mínimo, debemos demostrar que $C''(Q^*) \geq 0$. En efecto,

$$C''(Q) = (c_o + c_s)f(Q),$$

que naturalmente es positivo para todo Q en el rango de D pues es el producto de dos cantidades positivas.

Este modelo aplica, naturalmente, con otros productos, y no sólo con periódicos. En resumen, los supuestos del modelo son:

- Un único producto perecedero.
- Un único período.
- Capacidad de adquisición infinita (es decir, no hay restricción física ni de presupuesto).
- Demanda aleatoria, pero de distribución conocida.
- Costos lineales tanto como por defecto como por exceso.

Lo que hace más difícil su aplicabilidad en un ambiente real es suponer que la distribución de demanda es conocida. Por ejemplo: si el producto en cuestión es un producto perecedero de temporada navideña típicamente el historial de ventas de las últimas navidades no nos garantizará que la demanda de esta navidad sea igual.

2.2.1. Ventas y Demanda

Aún si hay un historial de ventas de muchos días que se puedan suponer similares a éste (como es el caso de Joe y sus periódicos), observe que este historial es de *ventas*, no de *demanda*. Es decir, en aquellos días en que Joe vendió todos los periódicos que llevó no sabemos cuál hubiese sido la demanda total. Sólo sabemos que fue de *al menos* la cantidad Q que él llevó. Para aquellos días en los que vendió menos que la cantidad Q, entonces sí se tiene el valor de la demanda. Pareciera que lo que Joe debe hacer es tomar únicamente los datos para los días en que la demanda igualó ventas, y hacer una prueba de bondad de ajuste sólo con esos datos. Esto sería incorrecto, pues subestimaría la verdadera demanda. Por fortuna, este es un tema bien estudiado en estadística y se conoce como datos censurados (*censored data* en inglés) y por lo tanto la solución a este dilema es conocida.

2.2.2. Versión Discreta

Se puede demostrar que si la demanda tiene la distribución $p_n = P\{D = n\}$ entonces la cantidad óptima viene dada por

$$Q^* = \text{mín}\{k : F(k) \geq \alpha\}, \tag{4}$$

donde $F(k)$ es la función de distribución acumulada correspondiente a la demanda. Para utilizar esta fórmula se calcula p_k y $F(k)$ para valores sucesivos de k hasta encontrar el primer k que satisface

$$F(k-1) < \alpha \leq F(k).$$

2.2.3. Evaluación de Costos

Para evaluar el costo óptimo se puede usar la Ecuación (2). Sin embargo, si la distribución es conocida uno puede evitar el cálculo de la integral usando la función de pérdida de primer orden que definimos a continuación.

Definición 2.1 *Para cualquier variable X (sin importar si es discreta o continua) con distribución F, la función de pérdida de primer orden se define como*

$$F^1(t) = E[(X-t)^+]. \tag{5}$$

En el caso continuo esto corresponde a

$$F^1(t) = \int_t^\infty (x-t)f(x)dx$$

donde $f(t)$ es la densidad correspondiente, mientras que en el caso discreto es

$$F^1(k) = \sum_{n=k}^{\infty}(n-k)p_n,$$

donde $p_n = P\{X = n\}$.

Esta función es usada con frecuencia en Teoría de Inventarios y en otros campos. La ventaja de expresar la función de costos en términos de la función de pérdida es que dicha función está tabulada para muchas distribuciones conocidas. La ecuación de costos del problema del repartidor de periódicos, se puede escribir de la siguiente manera:

$$C(Q) = c_o[Q - E(D)] + (c_s + c_o)F^1(Q). \tag{6}$$

Capítulo III

Estimación no paramétrica con base en datos incompletos

En muchos problemas de estimación es muy difícil, o incluso imposible, tomar mediciones completas de todos los miembros de una muestra aleatoria. Por ejemplo en pruebas de seguimiento médico, para determinar la distribución de los tiempos de supervivencia M luego de una operación, el contacto con algunos individuos de la muestra se perderá antes de su muerte, mientras que otros morirán por causas que hacen que no sea conveniente considerar el caso de manera igual a los demás. Aún cuando estas situaciones hacen que los datos de los tiempos de supervivencia resulten incompletos es deseable calcular la función de distribución de probabilidad de los mismos $F(k) = P\{M < k\}$, sin hacer ningún supuesto sobre la forma de la función $F(k)$.

Para determinar la función de distribución de probabilidad de variables aleatorias para las cuales se tienen muestras aleatorias incompletas Kaplan y Meier [2] desarrollaron el estimador del límite de los productos PL (*Product-Limit* en inglés) que se presenta a continuación.

3.1. Formulación del problema de estimación

Cuando se tiene una muestra aleatoria de N valores $K_1, K_2, \cdots, K_N$ de una variable aleatoria K, la función de distribución muestral $\widehat{F}(k)$ está definida como aquella función que le asigna una probabilidad de $1/N$ a cada uno de los valores de la muestra, de tal forma que $\widehat{F}(k)$ es igual a $1/N$ por la cantidad de valores de la muestra que son menores que el argumento k.

Las muestras se consideran incompletas cuando no se tiene la muestra aleatoria $K_1, K_2, \cdots, K_N$ de valores de la variable aleatoria K (los cuales llamaremos tiempos de vida), sino los *tiempos de vida observados*

$$k_i = \text{mín}(K_i, L_i), \qquad i = 1, 2, \cdots, N. \tag{7}$$

Donde L_i son los *límites de observación*, valores de otra variable aleatoria lo cuales suponemos ser independientes de K_i. Para cada ítem de la muestra sabemos si se tiene

$$K_i \leq L_i, \qquad k_i = K_i \text{ (una } \textit{muerte}\text{)}$$

o

$$L_i < K_i, \qquad k_i = L_i \text{ (una } \textit{pérdida}\text{)}.$$

Normalmente se definen los K_i y los L_i de tal forma que son necesariamente no negativos. Además los ítemes de la muestra se dividan en dos clases mutuamente excluyentes, muertes y pérdidas, donde una pérdida por definición previene que se conozca el K_i correspondiente.

3.2. Estimador del límite de los productos de Kaplan-Meier

Usaremos la función de supervivencia $P(k) = P\{M > k\}$ la cual da la probabilidad poblacional de supervivencia más allá de k, en lugar de la función de distribución de probabilidad $F(k) = 1 - P(k)$ puesto que es conveniente para el uso del estimador PL. Además definimos $\widehat{P}(k)$ como el estimador PL de $P(k)$, $P^*(k)$ como el estimador de muestra reducida RS (*Reduced-Sample* en inglés) de $P(k)$ y $n(k)$ como el número de ítemes observados y supervivientes en el momento k, al restar las muertes (más no pérdidas) en k mismo.

El estimador PL se basa en el siguiente procedimiento:

(a) La escala de tiempo se divide en intervalos elegidos de manera apropiada, $(0, u_1), (u_1, u_2), \cdots$.

(b) Para cada intervalo (u_{j-1}, u_j) se estima $\beta_j = P_j/P_{j-1}$, la proporción de ítemes vivos inmediatamente después de u_{j-1} que sobreviven más allá de u_j.

(c) Si k es un punto de división la proporción de la población $P(k)$ se calcula como el producto de de los β_j estimados para todos los intervalos anteriores a k.

El estimador PL se obtiene al seleccionar intervalos en (a) de tal forma que la estimación en (b) es binomial, y así no hay que hacer supuestos sobre la forma funcional. La condición para esto es que dentro de cada intervalo se puedan segregar las muertes y las pérdidas de manera conocida. Inicialmente se puede asumir que ningún intervalo contiene tanto muertes como pérdidas, de tal forma que si al número en observación justo luego de u_{j-1} se le refiere como n_j, y se observan δ_j muertes en el intervalo (u_{j-1}, u_j), entonces el estimador es

$$\hat{\beta}_j = (n_j - \delta_j)/n_j = n'_j/n_j,$$

donde n'_j es el número en observación justo después de las δ_j muertes. Sin embargo, si el intervalo sólo contiene pérdidas, pero al menos un ítem de la muestra sobrevive, el estimador $\hat{\beta}_j = 1$.

El estimador PL esta dado por

$$\widehat{P}(k) = \prod_{j=1}^{t}(n'_j/n_j), \quad \text{con} \quad u_t = k, \quad n'_j = n_j - \delta_j. \tag{8}$$

Si el mayor tiempo de supervivencia observado k^* corresponde a una pérdida, la Ecuación (7) no se debe usar con $k > k^*$; en este caso se puede considerar que $P(k)$ está entre 0 y $P(k^*)$, pero no está definido de una manera más cercana.

3.3. Ejemplo del estimador PL

Consideraremos la siguiente situación: Una muestra aleatoria de 100 ítemes es puesta a prueba al inicio del año 2005; durante ese año 70 ítemes mueren y 30 sobreviven. Al final de ese año hay una muestra más grande disponible y 200 ítemes más son puestos a prueba. Durante el 2006, 15 ítemes de la primera muestra y 150 ítemes de la segunda muestra mueren, dejando a 15 y 50 respectivamente. Al final del 2006, es deseable estimar la proporción $P(2)$ de ítemes de la población que sobreviven dos o más años.

Se supone que la probabilidad de supervivencia depende de la duración de la prueba, en lugar del año, de tal forma que los datos se organizan como en la Tabla 1.

Muestra	I	II
Cantidad inicial	100	200
Muertes durante el primer año	$\underline{70}$	$\underline{150}$
Sobrevivientes al primer año	30	50
Muertes durante el segundo año	$\underline{15}$	
Sobrevivientes al segundo año	15	

Tabla 1: Ejemplo para el estimador PL

Este ejemplo es tal, que es fácil hacer un estimador $P^*(2) = 15/100 = 0.15$ a partir de la primera muestra únicamente. Este es un estimador de muestra reducida RS puesto que ignora los 200 ítemes que fueron probados únicamente durante el 2006. Este es un estimador legítimo cuando la muestra reducida es en si misma una muestra aleatoria.

Inquiriremos si la segunda muestra, la cual solo estuvo a prueba durante un año, nos ayuda a dilucidar el estimador $P(2)$. es claro que debemos asumir que ambas muestras han sido tomadas de una misma población, una suposición que el estimador RS $P^*(2)$ evitó. De cualquier manera, los estimadores $P(1)$ de cada una de las muestras, a saber 0.30 y 0.25, no son lo suficientemente diferentes como para contradecir esta suposición. Al combinar las dos muestras obtenemos el estimador

$$\widehat{P}(1) = P^*(1) = (30 + 50)/(100 + 200) = 0.2\dot{6}$$

para $P(1)$. Este resultado agota la utilidad de la segunda muestra para nuestro propósito actual, pero es útil puesto que es ventajoso usar la primera muestra para calcular la probabilidad condicional de sobrevivir al segundo año dado que se ha sobrevivido al primero $P(2)/P(1)$, en lugar de usarla para estimar P(2) en sí mismo. Este estimador es

$$\widehat{P}(2)/\widehat{P}(1) = 15/30 = 0.50, \text{de dónde}$$

$$\widehat{P}(2) = 0.2\dot{6} \times 0.50 = 0.1\dot{3},$$

un ejemplo muy sencillo del estimador PL.

3.4. Media y varianza del estimador PL

En la Sección 6 de [2], Kaplan y Meier demuestran que el estimador PL es un estimador consistente, que tiene un sesgo despreciable y desarrollan una aproximación asintótica

$$\widehat{V}[\widehat{P}(k)] \doteq \widehat{P}^2(t)\sum_1^t[\frac{\delta_j}{n_j}(n_j - \delta_j)] = \widehat{P}^2(k)\sum_1^t(\frac{1}{n'_j} - \frac{1}{n_j}) \tag{9}$$

para la varianza del mismo.

El tiempo de vida promedio $\widehat{\mu}$ del estimador PL es definido como la media del estimador PL de la distribución. Es bien conocido (y fácil de probar, al integrar por partes) que la media de una variable aleatoria no negativa es igual al área bajo la su correspondiente función de supervivencia. De tal forma que

$$\widehat{\mu} = \int_0^\infty \widehat{P}(k)dk.$$

Es claro que si $\widehat{P}(k)$ no está determinado en todas partes, $\widehat{\mu}$ no esta definido. En casos en los que la probabilidad de que un resultado sea indeterminado es pequeña, tanto $\widehat{P}(k)$ como $\widehat{\mu}$ son prácticamente insesgados.

Capítulo IV

Modelo Sunset Bouquet

Sunset Bouquet es una empresa de distribución de flores establecida en 2004 con base en Miami, Florida. Esta empresa comercializa sus productos en 80 estaciones de servicio distribuidas desde Sanford en el centro del estado, hasta Palmetto Bay en el sur. La distribución de sus productos (ramo sencillo, ramo de tres rosas, ramo de seis rosas, ramo de doce rosas y ramo mixto) se hace por medio de un sistema de venta en consignación, en el cual la empresa semanalmente surte cada estación con la cantidad de cada uno de sus productos que espera vender, y si hay productos que no se hayan vendido los recoge para desecharlos. Veremos que efectos tiene la implementación del modelo del repartidor de periódicos en esta empresa.

4.1. Supuestos del modelo

Como ya hemos visto anteriormente el modelo del repartidor de periódicos tiene los siguientes supuestos:

- Un único producto perecedero.
- Un único período.
- Capacidad de adquisición infinita (es decir, no hay restricción física ni de presupuesto).
- Demanda aleatoria, pero de distribución conocida.
- Costos lineales tanto como por defecto como por exceso.

Veamos en que medida se cumplen estos supuestos en el caso de Sunset Bouquet y que repercusiones puede tener esto en la aplicabilidad del modelo.

4.1.1. Un único producto perecedero

Según este supuesto cada vez que se use el modelo este se debe restringir a solo un producto, de tal forma que es un error agrupar dos productos diferentes y usar un solo modelo. En el caso de Sunset Bouquet, como hay cinco productos diferentes, se deben hacer cinco modelos para así cumplir con este supuesto.

4.1.2. Un único período

Este supuesto se refiere a los límites temporales del modelo, según esto todo lo que ocurre en el modelo debe hacerlo en el mismo período, de tal forma que los productos que no se vendan en un período han de perecer durante el mismo, y ningún producto se ha de poder vender por su precio de venta en ningún período siguiente. La totalidad de los productos que perecieron en un período determinado se han de vender por su valor de salvamento al final del mismo.

En el caso de Sunset Bouquet este supuesto se cumple con un período semanal. El servicio en cada punto de venta se hace de manera semanal, en este la estación de servicio se surte con productos nuevos y los productos que no se hayan vendido son recogidos para ser desechados, independientemente del aspecto de los mismos y de que exista la posibilidad de que estos sean vendidos en la semana siguiente, puesto que estos productos "viejos" (que ya llevan una semana en la estación de servicio) comprometen la calidad del agua en la cual estén puestos, poniendo en riesgo el cumplimiento de los estándares de calidad y tiempo de vida de los productos "nuevos" que acaban de ingresar a la estación.

4.1.3. Capacidad de adquisición infinita

Este supuesto garantiza que el modelo de inventario llegue a una solución aplicable en la práctica. Aunque en el caso de Sunset Bouquet existen restricciones físicas en cuanto a la capacidad de distribución de productos, puesto que el vehículo con el cual estos se distribuyen tiene una capacidad determinada; no creemos que la solución que entregue el modelo supere esta restricción. De todas formas si esto resulta ser un problema, sus implicaciones serán contempladas.

En cuanto a la restricción de presupuesto, dado que la empresa tiene una buena línea de crédito con su proveedor de productos, el capital necesario para pagar los mismos ha de ser suficiente. De todas formas si el capital necesario para implementar la solución dada por el modelo supera la línea de crédito que la empresa tiene con su proveedor, se contemplará el costo de capital asociado al financiamiento de la compra de productos y sus implicaciones en cuanto a la solución, y si esta sigue siendo la óptima.

4.1.4. Demanda aleatoria, pero de distribución conocida.

Este supuesto es el más importante del modelo, y sobre el que se centra su desarrollo. Si la demanda no fuera aleatoria sino que esta estuviera determinada, no tendría sentido hacer todo el esfuerzo de modelar el manejo del inventario, puesto que siempre se ha de suplir la cantidad de producto Q tal que $Q = D$; ahora si la distribución de la demanda no fuera conocida no habría suficiente información para hacer un modelo estadísticamente robusto, y el modelo sería tan bueno como cualquier otro.

Para cumplir con este supuesto se va a hacer uso del estimador PL de Kaplan-Meier para estimar la función de distribución de la demanda con base en la información de las ventas de las semanas que se pueden suponer como parte de una misma variable aleatoria, es decir se excluyen las semanas de las siguientes fechas:

- Día de San Valentín (14 de febrero)
- Día de la Madre (segundo domingo de mayo)
- Día de acción de gracias (tercer jueves de noviembre)
- Día de Navidad (25 de diciembre)
- Día de Año Nuevo (1 de enero)

puesto que en estas hay un incremento en la demanda de los productos, y no se puede considerar como parte de la misma variable aleatoria que el resto de las semanas del año.

4.1.5. Costos lineales tanto como por defecto como por exceso.

Este supuesto es muy importante en el desarrollo del modelo, puesto que hace que los costos de exceso c_o y de oportunidad c_s sean independientes de la cantidad de producto Q. Según esto en el modelo no hay descuentos por volumen de compra, y que el valor unitario de salvamento es independiente de la cantidad a salvar. Este supuesto se cumple en el caso de Sunset Bouquet puesto que no tiene descuentos por volumen de compra y por la forma en que maneja los productos que no se han vendido luego de su período de ventas el valor de salvamento de los mismos siempre es igual.

4.2. Parámetros del modelo

La aplicación del modelo del repartidor de periódicos requiere de la definición de los siguientes parámetros:

- Costo de oportunidad c_s.
- Costo de exceso c_o.
- La función de distribución de probabilidad de la demanda $F(Q)$.

4.2.1. Costo de oportunidad c_s

El costo de oportunidad c_s está definido como aquella utilidad que se deja de percibir por aquellos productos que se habrían vendido si hubiesen estado disponibles para la venta, además de los costos intangibles asociados con la inhabilidad de satisfacer los deseos de los clientes potenciales. Se supone que el valor del *good will* (costos intangibles) perdido por que alguien llegue una estación de servicio buscando alguno de los productos y no haya disponibilidad del mismo es de \$0.00, puesto que, según la empresa estos casos solo se presentan en las semanas que están excluidas del modelo, mientras que en el resto de semanas no se dan. Aquellas personas que planean comprar este tipo de productos no hacen estas compras en estaciones de servicio sino en alguna floristería y aquellos que compran los productos de la empresa no lo hacen de manera planeada, sino que la calidad de los mismos los hace incurrir en su compra, aunque estas personas hayan entrado a la tienda de la estación de servicio por razones diferentes.

Producto	Costo	Precio de Venta	c_s
Ramo de una rosa	$ 0.90	$ 2.33	$ 1.43
Ramo de tres rosas	$ 1.72	$ 4.67	$ 2.95
Ramo de seis rosas	$ 2.66	$ 7.01	$ 4.35
Ramo de doce rosas	$ 4.95	$ 10.13	$ 5.18
Ramo mixto	$ 3.60	$ 7.79	$ 4.19

Tabla 2: Costo de oportunidad por producto

En la Tabla 2 podemos ver el valor que toma c_s para cada uno de los productos de Sunset Bouquet.

4.2.2. Costo de exceso c_o

El costo de exceso c_o está definido como aquel costo en el que se incurre al disponer algún producto para la venta que no es vendido durante el período, y del cual se recupera solo una cantidad correspondiente a su valor de salvamento s. En el modelo usaremos un valor de salvamento de $ 0.00 puesto que aunque algunos de los productos que no han sido vendidos durante su período semanal de venta se le pueden regalar a alguno de los trabajadores de las estaciones de servicio o pueden ser llevados a sus casas por los empleados de la empresa esto genera un beneficio que, según la empresa, no pueden cuantificar, el resto de los productos que no son vendidos durante su período semanal de venta deben ser desechados y en lugar de ser salvados por algún valor hacen que los empleados de la empresa incurran en más trabajo, generando costos contemplados en el salario del empleado. De tal forma que el costo de exceso c_o es igual al costo de adquisición de los productos c. La Tabla 3 muestra los costos de exceso.

Producto	Costo	Salvamento	c_o
Ramo de una rosa	\$ 0.90	\$ -	\$ 0.90
Ramo de tres rosas	\$ 1.72	\$ -	\$ 1.72
Ramo de seis rosas	\$ 2.66	\$ -	\$ 2.66
Ramo de doce rosas	\$ 4.95	\$ -	\$ 4.95
Ramo mixto	\$ 3.60	\$ -	\$ 3.60

Tabla 3: Costos de exceso c_o

4.2.3. La función de distribución de probabilidad de la demanda $F(D)$

La función de la distribución de la demanda para cada uno de los productos de la empresa en cada una de las estaciones de servicio fue calculada por medio de un estimador PL de Kaplan-Meier con base en la información de ventas disponible, además de la información de la censura de la demanda; esto es en que ocasiones la demanda de productos fue igual o superior a la cantidad de productos que la empresa dispuso para la venta, de tal forma que se solo se conoce que la demanda es por lo menos igual a esa cantidad, pero no se puede determinar con certeza.

9	4	3	5*	4	8	3	2	4	6*	5	3	5*	4	6*
4	4	3	4	5	9	4	3	5	4	1	2	5*	3	5
7	3	4	3	3	5	5	3	5	6*	6*	2	5*	4	3
10*	4	5*	1	4	2	1	5*	5	4	3	3*	5*	6*	5
4	6*	4	5	4	8	1	3	5	5	2	3*	5*	4	5
10*	2	5*	2	5	5	2	3	3	5	5	2	5*	4	6
2	2	2	4	5	5	5*	1	4	4	6	3	5*	3	2
10*	4	2	4	3	3	5*	3	5*	6*	4	3	5	6*	6*
2	0	5*	4	6*	9	5	3	4	6*	5	2	4	5	3

Tabla 4: Ventas de ramos de una rosa en la estación BP 5114

La Tabla 4 nos muestra la información de las ventas para una de las estaciones de servicio, la estación BP 5114, para los ramos de una rosa. Los datos que salen con un asterisco, son aquellos datos en los que la información de la demanda está censurada puesto que se vendieron todos los ramos que se dispusieron para la venta en aquella semana.

k	$F(k)$
0	0.0074
1	0.0444
2	0.1630
3	0.3333
4	0.5455
5	0.7197
6	0.7452
7	0.7735
8	0.8301
9	0.9151

Tabla 5: Función de distribución del la demanda de ramos de una rosa en la estación BP 5114

La Tabla 5 nos muestra la función de distribución del la demanda correspondiente a los ramos de una rosa en la estación BP 5114, la cual se construye con la información de la Tabla 4. El resto de las funciones de distribución de la demanda, para cada uno de los productos en cada una de las estaciones de servicio, no son presentadas por solicitud de Sunset Bouquet.

4.3. Aplicación del modelo

Como vimos en la Sección 2.2.2 la cantidad óptima de cada uno de los productos a distribuir Q^* es aquella que satisface la Ecuación (3) de tal forma que se requiere calcular el valor de α correspondiente a cada uno de los productos, La Tabla 6 muestra estos valores.

Producto	c_s	c_o	α
Ramo de una rosa	\$ 1.43	\$ 0.90	0.6137
Ramo de tres rosas	\$ 2.95	\$ 1.72	0.6317
Ramo de seis rosas	\$ 4.35	\$ 2.66	0.6205
Ramo de doce rosas	\$ 5.18	\$ 4.95	0.5114
Ramo mixto	\$ 4.19	\$ 3.60	0.5379

Tabla 6: Cálculo de α

Las Tablas 7, 8 y 9 muestran las cantidades Q de productos distribuidos por la empresa para cada tipo de producto y las cantidades de producto óptimas Q^* que se deben distribuir en cada una de las diferentes tiendas. Los campos de las tablas que aparecen con un guión (-) son así puesto que ese producto no se distribuye en esa tienda y no hay información para construir su función de distribución de probabilidad.

Estación	Una rosa		Tres rosas		Seis rosas		Doce rosas		Ramo mixto	
	Q	Q^*	Q	Q^*	Q	Q^*	Q	Q^*	Q	Q^*
BP Store # 5130	6	6	1	2	1	1	3	3	3	4
BP Store # 5365	6	5	1	1	1	1	0	1	1	2
Sunset Chevron	0	4	1	1	1	1	3	2	3	3
BP Store # 5363	12	7	2	3	2	2	6	4	6	6
BP Store # 5299	6	5	1	1	1	1	1	1	1	2
BP Store # 5121	6	6	1	2	1	1	2	1	3	2
BP Store # 5118	6	6	1	1	1	1	2	1	2	2
BP Store # 5357	6	5	2	2	2	2	0	1	1	1
BP Store # 5262	6	4	2	2	2	1	0	1	0	2
BP Store # 5119	12	8	2	2	2	1	4	2	4	3
BP Store # 5298	6	4	1	1	1	1	0	1	1	2
Hialeah Gardens Amoco	6	5	1	2	1	1	2	1	2	2
Medley Valero	6	4	2	2	2	2	-	-	1	1
Exxon Paradise Gas Station	6	4	1	1	1	1	2	1	2	2
Mobil At Doral	-	-	3	2	3	2	3	2	3	3
BP Store # 5275	6	5	1	1	1	1	2	1	1	2

Tabla 7: Cantidades actuales Q y óptimas Q^* para los diferentes tipos de ramos - Estaciones Miami Sur

Con esta información y usando la evaluación de costos presentada en la Sección 2.2.3 podemos calcular la diferencia entre los costos de distribuir la cantidad óptima de productos en lugar de las cantidades actuales, para cada uno de los escenarios. Calculamos la diferencia en costos puesto que no podemos evaluar el costo de cada alternativa de distribución puesto que la Ecuación (6) requiere los parámetros $E(D)$ y $F^1(Q)$, los cuales no conocemos en todos los casos puesto que la función de distribución de la demanda $F(D)$ no está completamente definida para cada uno de los productos en cada una de las estaciones de servicio.

La diferencia en el costo entre dos soluciones diferentes Q y Q^* está dada por:

$$\begin{aligned} C(Q) - C(Q^*) &= c_o[Q - E(D)] + (c_s + c_o)(F^1(Q)) - [c_o[Q^* - E(D)] + (c_s + c_o)(F^1(Q^*))] \\ &= c_o[Q - E(D) - Q^* + E(D)] + (c_s + c_o)(F^1(Q) - F^1(Q^*)) \\ &= c_o[Q - Q^*] + (c_s + c_o)(F^1(Q) - F^1(Q^*)). \end{aligned} \tag{10}$$

La diferencia entre $F^1(Q)$ y $F^1(Q^*)$ esta dada por:

$$\begin{aligned} F^1(Q) - F^1(Q^*) &= \sum_{n=Q}^{\infty}(n-Q)p_n - \sum_{n=Q^*}^{\infty}(n-Q^*)p_n \\ &= \sum_{n=Q}^{Q^*-1}(n-Q)p_n + \sum_{n=Q^*}^{\infty}(n-Q)p_n - \sum_{n=Q^*}^{\infty}(n-Q^*)p_n \\ &= \sum_{n=Q}^{Q^*-1}(n-Q)p_n + \sum_{n=Q^*}^{\infty}[(n-Q^*) + (Q^*-Q)]p_n - \sum_{n=Q^*}^{\infty}(n-Q^*)p_n \\ &= \sum_{n=Q}^{Q^*-1}(n-Q)p_n + \sum_{n=Q^*}^{\infty}(n-Q^*)p_n + \sum_{n=Q^*}^{\infty}(Q^*-Q)p_n - \sum_{n=Q^*}^{\infty}(n-Q^*)p_n \\ &= \sum_{n=Q}^{Q^*-1}(n-Q)p_n + \sum_{n=Q^*}^{\infty}(Q^*-Q)p_n \\ &= \sum_{n=Q}^{Q^*-1}(n-Q)p_n + (Q^*-Q)\sum_{n=Q^*}^{\infty}p_n \\ &= \sum_{n=Q}^{Q^*-1}(n-Q)p_n + (Q^*-Q)[1 - F(Q^*-1)]. \end{aligned} \tag{11}$$

Usando las Ecuaciones (10) y (11) podemos construir las Tablas 10, 11 y 12 donde se muestra la diferencia en costo asociada a tomar la decisión de distribuir la cantidad óptima Q^* en lugar de la cantidad actual Q. Aquí encontramos que la disminución total de costo asciende a \$ 216.34 semanales o \$ 10,167.88 al año.

Puesto que la solución óptima implica que se distribuya una cantidad total de productos inferior a la que la empresa está distribuyendo actualmente el costo de compra asociado a la distribución óptima es menor al costo de compra actual y el espacio necesario para distribuir la cantidad óptima de productos es menor que el que se está usando actualmente, de tal forma que no hay restricciones físicas ni financieras que impidan la aplicación de la solución del modelo.

Estación	Una rosa		Tres rosas		Seis rosas		Doce rosas		Ramo mixto	
	Q	Q^*	Q	Q^*	Q	Q^*	Q	Q^*	Q	Q^*
BP Store # 5109	6	5	2	2	2	1	-	-	1	1
BP Store # 5283	6	5	1	1	1	1	1	1	1	1
BP Store # 5289	6	5	1	2	1	1	2	2	2	2
BP Store # 5257	12	9	2	2	2	2	6	3	6	5
BP Store # 5114	6	5	1	1	1	1	2	1	2	2
BP Store # 5113	12	9	2	2	2	2	4	2	4	4
BP Store # 5139	12	11	2	2	2	2	2	2	2	3
BP Store # 5369	6	5	1	1	1	1	1	1	2	2
BP Store # 5249	6	6	1	1	1	2	1	1	2	2
BP Store # 5116	12	9	2	2	2	2	4	2	4	5
BP Store # 5347	6	5	1	2	1	1	0	1	1	1
BP Store # 5204	12	10	2	3	2	2	4	4	4	6
BP Store # 5216	6	6	1	1	1	1	-	-	1	1
BP Store # 5213	6	5	1	2	1	1	1	1	1	1
BP Store # 5112	12	7	2	2	2	1	2	2	2	3
Oasis Texaco	6	5	1	2	1	1	1	1	1	1
BP Store # 5128	12	5	2	2	2	1	2	1	2	3
PGA Shell	6	5	1	2	1	1	1	1	1	1
BP Store # 5219	6	4	1	2	1	1	1	2	1	1
BP Store # 5223	6	4	1	1	1	1	1	1	1	2
BP Store # 5250	6	5	1	1	1	1	1	1	1	3
BP Store # 5286	6	5	1	1	1	1	2	1	2	2
BP Store # 5222	6	6	1	1	1	1	-	-	1	1
BP Store # 5135	6	5	1	1	1	1	2	1	2	2
BP Store # 5246	6	5	1	1	1	1	2	0	2	2
BP Store # 5247	6	5	1	1	1	1	-	-	1	1
BP Store # 5243	6	5	2	2	2	1	-	-	2	1
BP Store # 5282	6	5	2	2	2	1	0	1	2	2
BP Store # 5236	6	5	1	1	1	1	1	1	1	1
BP Store # 5288	6	5	1	1	1	1	-	-	2	2
BP Store # 5284	6	4	1	1	1	1	1	1	1	2
BP Store # 5346	6	5	1	1	1	1	0	1	1	1
BP Store # 5287	6	4	1	1	1	1	0	1	2	2
BP Store # 5233	6	5	1	1	1	1	-	-	2	2

Tabla 8: Cantidades actuales Q y óptimas Q^* para los diferentes tipos de ramos - Estaciones Miami Norte

Estación	Una rosa		Tres rosas		Seis rosas		Doce rosas		Ramo mixto	
	Q	Q^*	Q	Q^*	Q	Q^*	Q	Q^*	Q	Q^*
BP Store # 5368	8	8	2	2	1	1	0	1	1	1
BP Store # 5150	12	10	2	2	2	2	2	2	2	2
BP Store # 5129	8	7	2	2	1	1	0	1	1	1
BP Store # 5137	12	10	2	2	2	1	2	1	2	1
BP Store # 5136	12	6	2	1	1	0	1	1	2	2
BP Store # 5078	8	7	2	1	1	1	0	0	2	2
BP Store # 5127	12	9	4	2	2	1	2	1	4	2
BP Store # 5115	8	7	2	2	1	1	-	-	1	1
BP Store # 5378	12	8	2	2	1	1	-	-	1	1
BP Store # 5344	8	10	2	2	1	1	1	1	2	2
BP Store # 5088	12	9	2	2	1	1	1	1	2	2
BP Store # 5138	12	9	2	2	2	1	2	1	4	2
BP Store # 5099	12	7	2	1	1	1	2	1	2	1
BP Store # 5031	8	7	1	1	1	1	0	1	1	1
BP Store # 5068	12	9	2	2	1	1	1	1	2	2
BP Store # 5094	8	6	2	1	1	1	0	0	1	1
BP Store # 5085	12	10	1	1	1	0	2	2	2	2
BP Store # 5067	12	12	2	2	1	1	1	1	2	2
BP Store # 5090	8	10	1	2	1	1	0	1	1	1
BP Store # 5318	8	10	2	2	1	2	1	2	2	2
BP Store # 5375	12	8	2	2	1	1	1	1	1	1
BP Store # 5343	12	7	2	1	1	1	1	1	1	2
BP Store # 5071	8	7	2	2	1	1	1	1	2	1
BP Store # 5074	8	7	1	1	1	1	1	1	1	1
BP Store # 5309	12	10	2	2	2	2	2	2	2	2
BP Store # 5337	12	11	2	2	1	1	1	1	2	2
BP Store # 5313	12	10	2	2	2	1	2	1	2	1
BP Store # 5066	8	8	1	2	1	2	0	2	1	1
BP Store # 5296	12	11	2	2	1	2	1	2	1	3
BP Store # 5131	8	9	2	3	1	1	1	2	1	3

Tabla 9: Cantidades actuales Q y óptimas Q^* para los diferentes tipos de ramos - Estaciones Orlando

Estación	Una rosa	Tres rosas	Seis rosas	Doce rosas	Ramo mixto
BP Store # 5130	$ -	$ 0.82	$ -	$ -	$ 0.40
BP Store # 5365	$ 0.48	$ -	$ -	$ 3.13	$ 1.01
Sunset Chevron	$ 3.63	$ -	$ -	$ 3.15	$ -
BP Store # 5363	$ 1.65	$ 0.66	$ -	$ 3.82	$ -
BP Store # 5299	$ 0.50	$ -	$ -	$ -	$ 0.15
BP Store # 5121	$ -	$ 0.21	$ -	$ 0.55	$ 1.18
BP Store # 5118	$ -	$ -	$ -	$ 1.27	$ -
BP Store # 5357	$ 0.06	$ -	$ -	$ 0.72	$ -
BP Store # 5262	$ 0.62	$ -	$ 0.36	$ 2.44	$ 4.71
BP Store # 5119	$ 1.78	$ -	$ 0.27	$ 5.96	$ 0.47
BP Store # 5298	$ 1.03	$ -	$ -	$ 3.08	$ 0.12
Hialeah Gardens Amoco	$ 0.31	$ 0.42	$ -	$ 1.40	$ -
Medley Valero	$ 0.42	$ -	$ -	$ -	$ -
Exxon Paradise Gas Station	$ 0.71	$ -	$ -	$ 0.81	$ -
Mobil At Doral	$ -	$ 0.60	$ 1.63	$ 2.19	$ -
BP Store # 5275	$ 0.23	$ -	$ -	$ 0.45	$ 1.63

Tabla 10: Disminución del costo asociado a distribuir la cantidad óptima Q^* en lugar de la cantidad actual Q para cada tipo de ramo - Estaciones Miami Sur

Estación	Una rosa	Tres rosas	Seis rosas	Doce rosas	Ramo mixto
BP Store # 5109	$ 0.36	$ -	$ 0.51	$ -	$ -
BP Store # 5283	$ 0.19	$ -	$ -	$ -	$ -
BP Store # 5289	$ 0.17	$ 0.27	$ -	$ -	$ -
BP Store # 5257	$ 1.25	$ -	$ -	$ 7.03	$ 0.37
BP Store # 5114	$ 0.25	$ -	$ -	$ 0.76	$ -
BP Store # 5113	$ 1.00	$ -	$ -	$ 0.45	$ -
BP Store # 5139	$ 0.06	$ -	$ -	$ -	$ 1.87
BP Store # 5369	$ 0.32	$ -	$ -	$ -	$ -
BP Store # 5249	$ -	$ -	$ 0.65	$ -	$ -
BP Store # 5116	$ 0.72	$ -	$ -	$ 0.79	$ 0.70
BP Store # 5347	$ 0.15	$ 0.05	$ -	$ 2.31	$ -
BP Store # 5204	$ 0.64	$ 0.51	$ -	$ -	$ 1.87
BP Store # 5216	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -
BP Store # 5213	$ 0.42	$ 0.53	$ -	$ -	$ -
BP Store # 5112	$ 2.18	$ -	$ 0.20	$ -	$ -
Oasis Texaco	$ 0.34	$ 0.16	$ -	$ -	$ -
BP Store # 5128	$ 3.43	$ -	$ 0.19	$ 0.75	$ 0.97
PGA Shell	$ 0.31	$ 0.49	$ -	$ -	$ -
BP Store # 5219	$ 0.39	$ 0.36	$ -	$ 0.99	$ -
BP Store # 5223	$ 0.35	$ -	$ -	$ -	$ 1.34
BP Store # 5250	$ 0.26	$ -	$ -	$ -	$ 5.37
BP Store # 5286	$ 0.46	$ -	$ -	$ 1.26	$ -
BP Store # 5222	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -
BP Store # 5135	$ 0.30	$ -	$ -	$ 0.12	$ -
BP Store # 5246	$ 0.61	$ -	$ -	$ 2.85	$ -
BP Store # 5247	$ 0.16	$ -	$ -	$ -	$ -
BP Store # 5243	$ 0.28	$ -	$ 0.60	$ -	$ 0.48
BP Store # 5282	$ 0.45	$ -	$ 1.30	$ 1.74	$ -
BP Store # 5236	$ 0.39	$ -	$ -	$ -	$ -
BP Store # 5288	$ 0.30	$ -	$ -	$ -	$ -
BP Store # 5284	$ 0.84	$ -	$ -	$ -	$ 0.09
BP Store # 5346	$ 0.51	$ -	$ -	$ 3.89	$ -
BP Store # 5287	$ 0.69	$ -	$ -	$ 2.95	$ -
BP Store # 5233	$ 0.56	$ -	$ -	$ -	$ -

Tabla 11: Disminución del costo asociado a distribuir la cantidad óptima Q^* en lugar de la cantidad actual Q para cada tipo de ramo - Estaciones Miami Norte

Estación	Una rosa	Tres rosas	Seis rosas	Doce rosas	Ramo mixto
BP Store # 5368	$ -	$ -	$ -	$ 7.52	$ -
BP Store # 5150	$ 0.76	$ -	$ -	$ -	$ -
BP Store # 5129	$ 0.23	$ -	$ -	$ 4.26	$ -
BP Store # 5137	$ 0.51	$ -	$ 2.02	$ 3.50	$ 1.37
BP Store # 5136	$ 2.91	$ 0.16	$ 0.32	$ -	$ -
BP Store # 5078	$ 0.36	$ 0.64	$ -	$ -	$ -
BP Store # 5127	$ 1.67	$ 0.85	$ 1.26	$ 1.33	$ 3.31
BP Store # 5115	$ 0.28	$ -	$ -	$ -	$ -
BP Store # 5378	$ 1.50	$ -	$ -	$ -	$ -
BP Store # 5344	$ 1.00	$ -	$ -	$ -	$ -
BP Store # 5088	$ 1.52	$ -	$ -	$ -	$ -
BP Store # 5138	$ 1.15	$ -	$ 0.32	$ 3.60	$ 5.53
BP Store # 5099	$ 2.44	$ 0.16	$ -	$ 2.61	$ 2.30
BP Store # 5031	$ 0.08	$ -	$ -	$ 0.84	$ -
BP Store # 5068	$ 1.30	$ -	$ -	$ -	$ -
BP Store # 5094	$ 0.19	$ 1.00	$ -	$ -	$ -
BP Store # 5085	$ 0.87	$ -	$ 0.66	$ -	$ -
BP Store # 5067	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -
BP Store # 5090	$ 0.68	$ 0.91	$ -	$ 4.50	$ -
BP Store # 5318	$ 1.00	$ -	$ 2.25	$ 1.38	$ -
BP Store # 5375	$ 1.85	$ -	$ -	$ -	$ -
BP Store # 5343	$ 2.05	$ 0.16	$ -	$ -	$ 0.04
BP Store # 5071	$ 0.28	$ -	$ -	$ -	$ 0.00
BP Store # 5074	$ 0.28	$ -	$ -	$ -	$ -
BP Store # 5309	$ 0.71	$ -	$ -	$ -	$ -
BP Store # 5337	$ 0.03	$ -	$ -	$ -	$ -
BP Store # 5313	$ 1.30	$ -	$ 1.10	$ 2.61	$ 1.80
BP Store # 5066	$ -	$ 0.44	$ 0.34	$ 2.76	$ -
BP Store # 5296	$ 0.12	$ -	$ 0.46	$ 1.38	$ 2.88
BP Store # 5131	$ 0.10	$ 0.15	$ -	$ 1.56	$ 4.74

Tabla 12: Disminución del costo asociado a distribuir la cantidad óptima Q^* en lugar de la cantidad actual Q para cada tipo de ramo - Estaciones Orlando

Capítulo V

Conclusiones y Trabajo Futuro

El modelo del repartidor de periódicos provee una solución eficaz al problema del manejo de inventarios de Sunset Bouquet. Según la simulación realizada se podría generar un aumento en ingresos netos igual al 5.48 % de las ventas del año 2006 de la compañía.

Además vimos que la información usualmente conocida con respecto a la demanda de un producto es la información de sus ventas, la cual por lo general provee información censurada, por lo tanto esta debe ser estudiada de manera cuidadosa. Asumir que el comportamiento de la demanda de un producto es exactamente igual al comportamiento de sus ventas seguramente subestimará la demanda y conducirá a estimaciones sesgadas y carentes de robustez estadística.

También vimos el estimador del límite de los productos de Kaplan-Meier, el cual es uno de los estimadores con los que se pueden manejar de manera estadísticamente robusta muestras aleatorias con elementos censurados.

Algunos nuevos proyectos que se pueden realizar con base en esté incluyen:

- Proyectos en los que se manejen los costos de transporte a cada una de las tiendas como costos de preparación (Hillier y Lieberman [1]), de tal forma que se pueda determinar si se deben surtir todas las estaciones de servicio en cada uno de los períodos o no.

- Proyectos en los que se estudie el período manejado en el modelo, de tal forma que se puedan reducir el número de visitas anuales a cada una de las estaciones de servicio, sin afectar que se cumpla con la demanda ni deteriorar la calidad de los productos.

- Proyectos en los que se optimice la ruta de distribución de los productos, teniendo en cuenta las restricciones físicas de capacidad de distribución de los mismos.
- Proyectos en los que el costo de distribución de los productos sea incluido como parte variable del costo de los mismos de tal forma que la cantidad de producto a distribuir y la ruta de distribución de los mismos tengan una relación de interdependencia.

Referencias

[1] Frederick S. Hillier and Gerald J. Lieberman. *Introduction to Operations Research*. McGraw-Hill, 2004.

[2] E. L. Kaplan and Paul Meier. Nonparametric estimation from incomplete observations. *Journal of the American Statistical Asociation*, 53:457 – 481, June 1958.

[3] Steven Nahmias. *Análisis de la Producción y las Operaciones*. Compañía Editorial Continental, S. A. de C.V., 1999.

[4] Germán Riaño. Modelos probabilísticos con aplicaciones. Universidad de los Andes, Ingeniería Industrial, feb 2007.