

Optimización de márgenes de contribución en servicios de alimentación chilenos, modelando el abastecimiento de componentes dependientes de la demanda de minutas

Optimização da margem de contribuição nos serviços alimentares chilenos, modelando a oferta de componentes dependentes da procura de o fornecimento de componentes de minutos dependentes da procura

Fernando Alonso Rojas Zúñiga

Doctor en Management

Institución: Universidade de Valparaíso

Dirección: Gran Bretaña, 1093, Playa Ancha, Valparaíso, Chile

Correo electrónico: fernando.rojas@uv.cl

RESUMEN

Introducción: El presente trabajo considera modelos de abastecimiento para materias primas usadas en servicios de alimentación, a partir de la demanda de menús, para optimizar márgenes de contribución. Método: La metodología planteada usa modelos autoregresivos integrados de medias móviles con covariables (ARIMAX) para pronosticar la demanda de materias primas (componentes). El modelo de inventario considera que las demandas están correlacionadas dentro del surtido de componentes usadas para producir el menú. Un sistema “assemble to-order” es aplicado a un servicio de alimentación chileno. Objetivo: Maximizar márgenes de contribución del servicio por medio de la minimización de costos de comprar, almacenar y ordenar estas componentes. Resultados: Se logró maximizar los márgenes de contribución promedio en un 6,78% mediante el uso de modelos de abastecimiento para componentes con revisión continua y perecederas en un solo período, y de 5,42% usando modelos de revisión periódica y perecederas, ambos casos en una muestra de 7 componentes utilizadas en 9 menús por 36 semanas. Conclusiones: Tanto los niveles de inventario como las reposiciones de las componentes son optimizadas mediante demandas de otras componentes con el objetivo de asegurar su simultánea disponibilidad.

Palabras clave: ARIMAX, assemble to-order, márgenes de contribución, servicios de alimentación.

RESUMO

Introdução: Este documento considera modelos de fornecimento de matérias-primas utilizadas nos serviços alimentares, a partir da procura de ementas, para otimizar as margens de contribuição. Método: A metodologia proposta utiliza a média móvel integrada autoregressiva com modelos de covariáveis (ARIMAX) para prever a procura de matérias-primas (componentes). O modelo de inventário considera que as exigências estão correlacionadas dentro do sortido

de componentes utilizados para producir o menu. Um sistema de montagem por encomenda é aplicado a um serviço alimentar chileno. Objectivo: Maximizar as margens de contribuição de serviço, minimizando os custos de aquisição, armazenamento e encomenda destes componentes. Resultados: As margens médias de contribuição foram maximizadas em 6,78% utilizando modelos de sourcing para componentes continuamente revistos e perecíveis num único período, e em 5,42% utilizando modelos de revisão periódica e perecíveis, ambos os casos numa amostra de 7 componentes utilizados em 9 menus durante 36 semanas. Conclusões: Tanto os níveis de inventário como o reabastecimento de componentes são optimizados pela procura de outros componentes, a fim de assegurar a sua disponibilidade simultânea.

Palavras-chave: ARIMAX, montagem por encomenda, margens de contribuição, serviços alimentares.

Tesouro de términos y símbolos

Términos	Símbolos
<p>ARIMAX : Modelo predictivo de una variable aleatoria en serie de tiempo que ocupa autoregresión(la misma variable en tiempos previos), integración (diferenciación de la variable para alcanzar estado estacionario), y medias móviles para ponderar del error de la autoregresión.</p> <p>Assemble to-order: Modelo de ensamble a la orden, donde los productos finales se montan en un pedido que considera múltiples componentes, y donde una ruptura de abastecimiento en una componente puede retrasar la entrega del producto final.</p> <p>Componente: Materia prima (en este caso previamente fabricada y abastecida por un proveedor), para elaborar un producto final que será entregado al usuario.</p> <p>Lead time: Tiempo de entrega del proveedor de una componente.</p> <p>Minuta: Platos preparados u otras preparaciones culinarias, elaborados y/o distribuidos de acuerdo a estándares técnicos nutricionales y sanitarios nacionales o internacionales.</p> <p>SAN: Organización, que tiene como finalidad elaborar y/o distribuir alimentación científicamente planificada destinada a pacientes hospitalizados, pacientes ambulatorios, usuarios sanos o clientes en general.</p>	<p>ρ_{ix}= correlación entre las demandas de minutas que usan la componente i, con otras minutas que usan el resto de los componentes x.</p> <p>λ^i= tasa de demanda de minutas que usan la componente i</p> <p>λ= tasa de demanda de las minutas totales preparadas</p> <p>λ_i = Cantidad de minutas en que participa la componente i, en el período establecido para la demanda de las minutas.</p> <p>$E(QDt, i)$= Tasa de demanda esperada para la componente i, en el período establecido para la demanda de las minutas.</p>

1 INTRODUCCIÓN

El presente trabajo propone modelos de inventario de materias primas usadas por servicios de alimentación y nutrición (SAN) para optimizar sus

márgenes de contribución, y se encuentra dirigido a profesionales del área operaciones y abastecimiento de estos servicios, así como a la comunidad académica que realiza investigación de operaciones. Las materias primas abastecidas son las componentes de una minuta (plato de comida) que forman el surtido de inventario y que llamaremos en adelante simplemente como "componentes".

Tales componentes se demandan y abastecen en relación a un producto final (minuta), que se debe elaborar y vender, considerando que por la industrialización de su cadena de suministro su tiempo de latencia en el abastecimiento es relativamente rápido, pero sus períodos de almacenamiento varían acorde a sus condiciones de perecibilidad, las que son fundamentales de respetar desde el punto de vista sanitario y de la calidad del servicio entregado (Rojas, Leiva, Wanke & Marchant, 2015).

En su mayoría, los SAN chilenos pertenecen al grupo de pequeñas y medianas empresas (PYMEs). En general este tipo de servicios atiende grupos de personas en regímenes cerrados (instituciones, colegios, universidades, hospitales, entre otros), y las minutas a preparar en forma diaria son estandarizadas y definidas bajo consideraciones técnicas nutricionales, con márgenes de contribución bajos en torno al 25-40% de la venta según el nivel socioeconómico de los grupos atendidos. Actualmente, los problemas de estos servicios son su despreocupación en la gestión de la cadena de suministro de componentes que son necesarias para la producción del servicio (Zaldaña & María, 2011). La literatura acerca de actividades de abastecimiento de los SAN no es muy extensa y está limitada principalmente a servicios de hotelería, gastronomía y turismo (Morillo, 2009). Sin embargo, los SAN han mostrado un gran crecimiento en países en desarrollo como Chile (Astete & Guevara, 2014).

La estructura de este artículo continúa con la sección 2 con una revisión de la literatura, donde en primer lugar se presentan consideraciones de correlación entre la demanda de productos y componentes, luego se muestra un modelo de pronóstico para la demanda de componentes y finalmente, como esta previsión se utiliza para modelar el abastecimiento y optimizar los márgenes de

contribución. En la sección III se presenta la metodología usada en el estudio, y en la IV se muestran algunos hallazgos preliminares. En la Sección 5 se discuten los resultados. Finalmente, en la Sección 6 se comentan las conclusiones, implicaciones y limitaciones derivadas, así como las áreas de investigación futura.

2 ESTADO DEL ARTE

2.1 CORRELACIÓN ENTRE LA DEMANDA DE PRODUCTOS Y COMPONENTES.

En los SAN es posible considerar el producto final (minuta o menú) como un ensamblaje de componentes requeridos para cumplir ciertas especificaciones. Esto se puede abordar a través del sistema “assemble to order” (ATO) -o de ensamblaje bajo pedido u orden-, en que los productos finales se montan en un pedido que considera múltiples componentes, y donde una ruptura de abastecimiento en una componente puede retrasar la entrega del producto final. Esto está directamente relacionado al grado de satisfacción del cliente (Agrawal & Cohen, 2001; Lu & Song, 2005).

Es posible tener un estudio más detallado de los temas relativos a ATO revisando Song & Zipkin (2003). Los supuestos aplicables a SAN por este tipo de modelos son (Lu & Song, 2005):

- a) La correlación entre las demandas de un producto o minuta (p) $QV_{t,m}$ y de una componente (i) $QD_{t,i}$, ambas en un tiempo (t), está dada por

$$\text{Corr}(QV_{t,m}, QD_{t,i}) = \frac{E(QV_{t,m} \times QD_{t,i}) - (\mu_{t,m} \mu_{t,i})}{(\sigma_{t,m} \sigma_{t,i})}, \quad (1)$$

donde $\mu_{t,m} = E(QV_{t,m})$ corresponde al valor esperado de la demanda de m en un tiempo t y $\sigma_{t,m}$ es la desviación estándar de la demanda de m en un tiempo t ; la misma notación es válida para el caso de i .

- b) Existe una probabilidad fija (q^i) de que la orden de producción sea de un set de productos de tipo i (es decir, minutas que utilizarán la

componente i), con tasa de demanda λ^i (superíndice indica flujo de minutos) correspondiente a un proceso Poisson. La misma analogía es aplicable al set de productos que ocupan el resto de los componentes x (cuya demanda esperada es λ^x) y aquellos que demandan tanto i como x conjuntamente (con tasa de demanda esperada λ^{ix}). Estos elementos probabilísticos y la demanda total del set de minutos (λ) se relacionan mediante $\lambda^i = q^i \lambda$, $\lambda^x = q^x \lambda$ y $\lambda^{ix} = q^{ix} \lambda$, lo que conduce a

$$\lambda = \lambda^i + \lambda^x + \lambda^{ix} = \lambda(q^i + q^x + q^{ix}), \quad (2)$$

donde $q^i + q^x + q^{ix} = 1, \forall i$ y $\forall x \in P$.

c) La correlación (ρ_{ix}) entre las demandas de minutos que usan i (λ^i) con otras minutos que usan el resto de los componentes x (λ^x) puede expresarse tanto en función de la probabilidad de demanda conjunta de i y x (q^{ix}), como en relación a la demanda total de productos (minutas) que contienen sólo i en un tiempo t (representado por λ^i , donde el subíndice indica flujo relacionado a los componentes) y λ . Estas correlaciones están dadas por

$$\rho_{ix} = \text{Corr}(\lambda^i, \lambda^x) = \frac{2q^{ix} - \lambda^i - \lambda^x}{\sqrt{(\lambda^i - \lambda^i)^2 + (\lambda^x - \lambda^x)^2}} = \frac{2q^{ix} - \lambda^i - \lambda^x}{\sqrt{(\lambda^i - \lambda^i)^2 + (\lambda^x - \lambda^x)^2}} \quad (3)$$

d) Para generar nuevos pedidos, todas las demandas de productos previas deben estar satisfechas.

2.2 PRONÓSTICO DE TASAS DE DEMANDA DE COMPONENTES ASOCIADAS A PRODUCTOS

Los modelos de pronósticos para demanda de las componentes permiten anticipar el comportamiento futuro, considerando la variabilidad existente en la demanda. Estos modelos son útiles para planificar la producción y el abastecimiento. Existen modelos causales que usan como herramienta básica

modelos de regresión lineal simple o múltiple, mientras que las series de tiempo utilizan valores ordenados en el tiempo o rezagos regulares de la misma variable que se desea pronosticar. Por su parte, existen algunos modelos de pronóstico que contienen, además de las componentes autoregresivas, covariables (Avellaneda, Ochoa & García, 2012).

Los modelos de Box-Jenkins son metodologías autoregresivas de amplio uso en series de tiempo. Estos modelos pueden operar con cualquier serie: de tipo estacionaria o no estacionaria (Prabakaran et al, 2013). Los modelos autoregresivos integrados con promedio móvil y covariables, denominados ARIMAX (p, d, q, n), parecen ser adecuados para el pronóstico de demanda de componentes en SAN, donde p es la cantidad de componentes autorregresivas, d corresponde al número de diferenciaciones de la serie requeridas para alcanzar la estacionariedad, q son los componentes de medias móviles y n las variables regresoras o covariables. El modelo de pronóstico de demanda de componentes está dado por

$$dt,j = \delta + \phi_1 dt-1,i + \dots + \phi_p dt-p,i + \epsilon_t + \theta_1 \epsilon_{t-1} + \dots + \theta_q \epsilon_{t-q} + \beta_1 QV_{t,1} + \dots + \beta_m QV_{t,m}, \quad (4)$$

donde δ es una constante (drift), dt,j es la serie estacionaria de orden d para la demanda de i ($dt,j = \Delta^d QD_{t,i}$), ϵ_t es un error aleatorio con distribución normal de media cero, varianza constante y covarianza cero. Los parámetros θ_q representan las componentes de media móvil. El número de rezagos (q) determina el orden del modelo de media móvil. Finalmente, los m elementos del set de minutas han sido incorporados como variables regresoras en el modelo de pronóstico de demanda de cada componente i , cuyos parámetros de regresión se denotan por β_m . En el caso de series estacionarias diferenciadas de orden d , los pronósticos de demanda en cada período de demanda t ($E(QD_{t,i})$) cubren desde $t=0, 1, 2, \dots, tA_j$ (período de aprovisionamiento de la componente i) y pueden calcularse desde

$$E(QD_{t,i}) = E(dt,i) + E^d(QD_{t-1,i}), \quad t = 0,1,2,\dots,tA_i. \quad (5)$$

2.3 MODELOS DE ABASTECIMIENTO EN SAN

Los modelos de abastecimiento usan herramientas matemáticas y estadísticas para resolver el problema de adquisición de componentes, minimizando los costos asociados con compras, almacenamiento, generación de órdenes de compra y desabastecimiento, entre otros (Blankley, Khouja & Wiggins, 2008). Según los períodos de revisión del stock disponible, los modelos pueden ser de revisión continua o periódica. En los primeros, se trata de fijar una cantidad a comprar que optimice los mencionados costos en conjunto. En el segundo caso, el tiempo de ciclo es fijado para ordenar cantidades variables que se requerirán según la demanda acumulada durante el período de revisión y aprovisionamiento (Lee & Lee, 2013).

Para modelos de revisión continua probabilísticos para multi-productos sin restricciones a la minimización de costos en SAN, se considera la existencia de una cantidad económica de pedido fija para la componente i (QA_i) y un punto de reorden (r_i) o nivel del inventario para colocar un nuevo pedido, dados por

$$QA_i = \sqrt{2CO_i E(QDt, i)/CA_i}, \quad (6)$$

donde QA_i corresponde a la cantidad económica de pedido para i , $E(QDt, i)$ es el pronóstico de la tasa de demanda modelado en la expresión (5), CO_i corresponde al costo de ordenar el elemento i , CA_i corresponde al costo de almacenar el elemento i . Tanto CO_i como CA_i pueden ser determinados como constantes para todo el surtido de componentes i (Rojas, Leiva, Wanke & Marchant, 2015).

$$r_i = E(QDt, i) * l_i + k_i \sigma_{l,t,i}, \quad (7)$$

donde l_i corresponde al tiempo de latencia (lead time) o tiempo transcurrido entre la generación de un orden de compra para i y su disposición

real para el ensamble en la preparación de la minuta, k_i corresponde a un factor asociado con un determinado nivel de servicio del ciclo, y σ_{l_i} es la desviación estándar de las cantidades de componentes demandadas durante el tiempo de latencia ($\sigma_{l_i} = \sqrt{l_i} \times \sigma_{t,i}$).

En modelos de revisión periódica probabilísticos para multi-productos sin restricciones para la minimización de costos en SAN, se considera un tiempo de aprovisionamiento (tA_i) que optimiza conjuntamente los costos de compra, almacenamiento y ordenar, además de un nivel máximo de inventario de i a alcanzar (Max_i), que sea capaz de cubrir la demanda pronosticada ($E(QDt, i)$) durante los períodos l_i (lead time del proveedor) y el tiempo de aprovisionamiento (tA_i), más un stock de seguridad del modelo de revisión periódica ($ssrp$), necesario para afrontar la variabilidad de la demanda. Los parámetros de este modelo se expresan mediante

$$tA_i = \sqrt{2CO_i / CA_i E(QDt, i)}, \quad (8)$$

$$Max_i = (tA_i + l_i) E(QDt, i) + ssrp, \quad (9)$$

$$ssrp = k_i \sqrt{(l_i + tA_i) \sigma_{t,i}^2} \quad (10)$$

Existen modelos de abastecimiento y/o producción especialmente formulados para componentes y productos perecederos en un solo período. En este modelo de utilidad para componentes perecibles, debemos encontrar la cantidad óptima a preparar para la demanda de una minuta m en un tiempo t (1 día) denominada Y^m , con media ($\mu_{t,m}$) y desviación estándar ($\sigma_{t,m}$), lo cual se realiza según

$$Y^m = \mu_{t,m} + z_m \sigma_{t,m}, \quad (11)$$

donde $z_m = \Phi^{-1} \left(\frac{bm}{hm+bm} \right)$, con z_m correspondiendo a un percentil de la distribución de la variable $QV_{t,m}$ para el argumento ($bm/(hm+bm)$), el que

supone una razón crítica entre la ganancia de preparar una minuta más (b_m) y la valorización de la pérdida por no contar con una minuta dado que su demanda es variable ($h_m + b_m$). El argumento de esta función inversa de probabilidad es determinable empíricamente. La probabilidad de in-stock de una minuta es $P(Y^m < QV_{t,m}) = b_m / (h_m + b_m)$. En el caso de estimar $p(\text{in-stock})$ para una suma de minutas (desde $m=1 \dots n_m$), esta se calcula ocupando un ponderador de la demanda de m (p_m) en relación al total de demandas de las minutas a sumar, dado por

$$p_m = \frac{QV_{t,m}}{\sum_{m=1}^{n_m} QV_{t,m}} \quad (12)$$

La expresión siguiente muestra el cálculo de la probabilidad in-stock en una suma de minutas

$$P\left(\sum_{m=1}^{n_m} Y_m < \sum_{m=1}^{n_m} QV_{t,m}\right) = \sum_{m=1}^{n_m} \left(\frac{p_m b_m}{h_m + b_m} \right) \quad (13)$$

Para detalles de este modelo favor revisar Hillier & Lieberman (2005, pp. 961-975).

Los modelos de abastecimiento de revisión continua y para componentes perecederos en un solo período nos llevan a obtener cantidades óptimas a abastecer, mientras que en el caso del modelo de revisión periódica tenemos tiempos óptimos de reabastecimiento. En todos los casos estas estimaciones pueden ser ocupadas para obtener márgenes de contribución maximizados y comparar los resultados entre los modelos de abastecimiento ocupados para el surtido de componentes. Finalmente, la validez externa de la propuesta a establecer por un modelo de inventario estará limitada por la posibilidad de reproducir los resultados en empresas de similares características de tipo de usuarios y minutas preparadas, surtido de componentes, nivel socioeconómico de los grupos atendidos, márgenes de contribución basales, consideraciones

regionales de la alimentación, tanto nacionales como internacionales, por lo que entenderemos que los resultados no podrán ser generalizables a todos los SAN.

3 METODOLOGÍA

3.1 MODELADO DEL ABASTECIMIENTO DE COMPONENTES

Se propone determinar la tasa de demanda pronosticada para las componentes necesarias para lograr las minutas deseadas ($E(QDt, i)$), utilizando el modelo ARIMAX señalado en (5). La probabilidad de demanda conjunta de las componentes i y x , se expresa a continuación para minutas (que van de 1 a n) y donde participa el elemento i :

$$q^{ix} = \sum_{i=1}^n q^i = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda^i}{\lambda}. \quad (14)$$

Reemplazando (14) en (3), obtenemos la correlación ρ_{ix} , y a su vez al conocer ésta podemos obtener λ_i (cantidad de minutas en que participa la componente i en un tiempo t), desde

$$\lambda_i = \lambda / (2 - \rho_{ix}). \quad (15)$$

Al dividir el pronóstico esperado para la demanda de i en un tiempo t (expresado en (5)), el cual está relacionado con las minutas donde este participa sobre la esperanza de λ_i , podemos obtener una proporción esperada para el uso de este componente en particular. A esta proporción la denominaremos $P(i/m)$, la cual se expresa como

$$P\left(\frac{i}{m}\right) = \frac{E(QDt, i)}{E(\lambda_i)} = \frac{E(QDt, i)}{E(\lambda)} (2 - \rho_{ix}). \quad (16)$$

En el caso de componentes percederas en un solo período, la cantidad óptima a abastecer en cada período (Y^m), se obtiene multiplicando la cantidad óptima de minutas a preparar (Y^m) expresada en (11) por $P(i/m)$. Lo anterior se

expresa como

$$Y^i = Y^m P \left(\frac{i}{m} \right) \quad (17)$$

En nuestro caso debemos considerar un período de latencia para el abastecimiento del componente i (l_i), más un solo período fijo para el aprovisionamiento, por lo que la demanda durante este período (DLY^i), es fácilmente obtenible desde

$$DLY^i = Y^i(l_i + 1). \quad (18)$$

En el modelo señalado la aleatoriedad de la demanda ha sido cubierta por la cantidad óptima Y^m , la cual hace cubrir la demanda en el nivel in-stock requerido según la razón crítica de la(s) minuta(s) donde participa i , no necesitando incluir un término de stock de seguridad adicional. En este modelo la cantidad a abastecer, corresponde a la diferencia entre DLY^i menos el saldo almacenado de i ocupado en la preparación de m en el tiempo t ($R_{t,m,i}$). La cantidad a abastecer ($QA_{t,i}$), en este modelo es equivalente a

$$QA_{t,i} = (DLY^i - R_{t,m,i}) Z_{t,m,i}, \quad (19)$$

donde $Z_{t,m,i}$ es una variable binaria que toma el valor de 1 si hay abastecimiento de i el día t para la preparación de m , y el valor de 0 en otro caso.

En el caso de modelos para componentes no perecibles (de revisión continua), la cantidad óptima a abastecer ($QA_{t,i} = Q_{Ai}$) y el punto de reordenamiento (ri) serán los expresados en (6) y (7) respectivamente.

En el caso del modelo de revisión periódica, el nivel máximo de inventario de la componente i a alcanzar (Max_i) será determinado como lo expresado en (9), mientras que las cantidades a abastecer ($QA_{t,i}$) luego del período de aprovisionamiento (tA_i), establecido en (8), se determinarán según

$$QA_{t,i} = (Max_i - R_{t,m,i}) Z_{t,m,i}, \quad (20)$$

donde $R_{t,m,i}$ y $Z_{t,m,i}$ fueron definidas en (19).

3.2 OPTIMIZACIÓN DE MÁRGENES DE CONTRIBUCIÓN

Los ingresos generados por la venta de $m \in M = \{1, \dots, nm\}$, en períodos t , se obtendrán desde la expresión

$$I_{t,m} = P_{t,m} QV_{t,m}, \quad (21)$$

donde $I_{t,m}$ es el ingreso en el día t por la venta de m , $P_{t,m}$ es el precio de m el día t , y $QV_{t,m}$ es la cantidad de m vendidas el día t .

Los costos de compra de $i \in I = \{1, \dots, ni\}$, requeridos por $m \in M = \{1, \dots, nm\}$, preparadas el día t , se obtendrán aplicando la expresión

$$\sum_{t=1}^{365} \sum_{m=1}^{nm} \sum_{i=1}^{ni} C_{t,m,i} = \sum_{t=1}^{365} \sum_{m=1}^{nm} \sum_{i=1}^{ni} CN_{t,m,i} QA_{t,i} Z_{t,m,i} \quad (22)$$

$i=1$ i que participe en m , donde $C_{t,m,i}$ corresponde al costo de compra de i , el día t de preparación de m . $CN_{t,m,i}$ es el costo neto de i el día t de preparación de m , y $QA_{t,i}$ corresponde a la cantidad abastecida (en datos reales), ó a abastecer en forma óptima para i el día t de preparación de m .

Los costos de almacenar anualmente $i \in I = \{1, \dots, ni\}$, requeridos por $m \in M = \{1, \dots, nm\}$, se obtendrán aplicando la expresión

$$\sum_{t=1}^{365} \sum_{m=1}^{nm} \sum_{i=1}^{ni} CA_{t,m,i} = 1/2 \sum_{t=1}^{365} \sum_{m=1}^{nm} \sum_{i=1}^{ni} CA_{t,m,i} QA_{t,i} Y_{t,m,i} \quad (23)$$

$\forall i$ que participe en m , donde $CA_{t,m,i}$ corresponde al costo de almacenar i , el día t de preparación de m , $QA_{t,i}/2$ corresponde a la cantidad almacenada (saldo) de i , el día t de preparación de m , y $CA_{t,m,i}$ corresponde al costo constante de almacenar i , el día t de preparación de m , La variable $Y_{t,m,i}$, corresponde a

una variable binaria que toma valor 1 en el caso de existir almacenamiento de saldos de i , el día t de preparación de m , el día t , y de 0 en caso contrario. Note que independientemente del modelo de abastecimiento a asignar, es posible demostrar que el saldo medio almacenado es equivalente a la mitad de la cantidad abastecida ($\frac{Q_{At,i}}{2}$), para los modelos de revisión periódica y percedero

en un solo período, y $\frac{Q_{Ai}}{2}$ para el modelo de revisión continua.

Los costos de ordenar anuales para $i \in I = \{1, \dots, ni\}$, requeridos por $m \in M = \{1, \dots, nm\}$, se obtendrán aplicando la expresión

$$\sum_{t=1}^{365} \sum_{m=1}^{nm} \sum_{i=1}^{ni} CO_{t,m,i} = \sum_{t=1}^{365} \sum_{m=1}^{nm} \sum_{i=1}^{ni} CO_i O_{t,m,i} X_{t,m,i} \quad (24)$$

$\forall i$ que participe en m , donde CO_i corresponde al costo diario de una orden de i ,

$O_{t,m,i}$ corresponde a la cantidad de órdenes i , el día t de preparación de m . La variable $X_{t,m,i}$ corresponde a una variable binaria que toma valor 1 en el caso de existir generación de órdenes de compra para i , el día t de preparación de m , y de 0 en caso contrario. Note que independientemente del modelo de abastecimiento a asignar, es posible demostrar que la cantidad de órdenes de compra a realizar ($O_{t,m,i}$) son equivalentes a la proporción entre el pronóstico de demanda esperada del componente i ($E(QDt, i)$), y la cantidad abastecida del mismo elemento, esto es $O_{t,m,i} = E(QDt, i)/Q_{At,i}$.

Los márgenes de contribución ($MC_{t,m}$) considerados para el total de $m \in M = \{1, \dots, nm\}$, maximizados por los modelos de abastecimiento aplicables a $i \in I = \{1, \dots, ni\}$, se obtendrán aplicando la expresión

$$Max [MC_{t,m}] = Max \left\{ \sum_{t=1}^{365} \sum_{m=1}^{nm} MC_{t,m} = \sum_{t=1}^{365} \sum_{m=1}^{nm} I_{t,m} - \left(\sum_{t=1}^{365} \sum_{m=1}^{nm} \sum_{i=1}^{ni} C_{t,m,i} + CA_{t,m,i} + CO_{t,m,i} \right) \right\} \quad (25)$$

4 ANÁLISIS DE DATOS

4.1 COMPONENTES Y RECOLECCIÓN DE DATOS

Se seleccionó un set de minutas compuesto por 8 preparaciones demandadas en

25 días, las cuales requieren 9 componentes, obtenidos durante el 12 de noviembre de 2011 la 31 de mayo del 2012 en el SAN de atención cerrada del personal del Hospital Carlos Van Buren de Valparaíso, Chile, el cual muestra un margen de contribución promedio en torno al 30% de las ventas, ya que atiende a un nivel socio-económico medio-bajo. Los datos pertenecen al proyecto DIUV 14/2009, financiado por la Dirección de Investigación de la Universidad de Valparaíso, Chile.

4.2 MODELADO DE LA TASA DE DEMANDA DE MATERIAS PRIMAS (COMPONENTES), CONSIDERANDO CO-VARIACIÓN DE LAS MINUTAS

Se determinó la tasa de demanda conjunta que tendrían los componentes necesarios para lograr el (los) producto(s) final(es) deseado(s), utilizando un modelo ARIMAX. El tratamiento general de los datos a modelar consiste en: a) verificar la estacionariedad de la serie, diferenciándola hasta alcanzar esta condición; b) identificar un modelo autoregresivo y de medias móviles para los residuos de la serie estimada, lo cual puede llevarse a cabo por examen de un correlograma parcial y total, c) estimar los parámetros que caracterizan el proceso propuesto como generador de los datos, y d) verificar que se cumplan las hipótesis de estimación de los parámetros por minimización de cuadrados de los errores o máxima verosimilitud (Akowemo & Povinelli, 2014).

4.3 MODELOS ATO DE GESTIÓN DE INVENTARIOS CON COVARIABLES

Según las características de la componente *i* analizada (fruta, verdura, carne, abarrote), se asignó un modelo de optimización en sistema ATO, considerandolas correlaciones de su tasa de demanda diaria. Los modelos de gestión asignados fueron: percedero en un solo período para frutas, verduras y carnes, y no percederos (RC: revisión continua y RP: revisión periódica) para

abarroses.

5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 LA ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DEL SET DE DATOS SE PRESENTA EN TABLA 1.

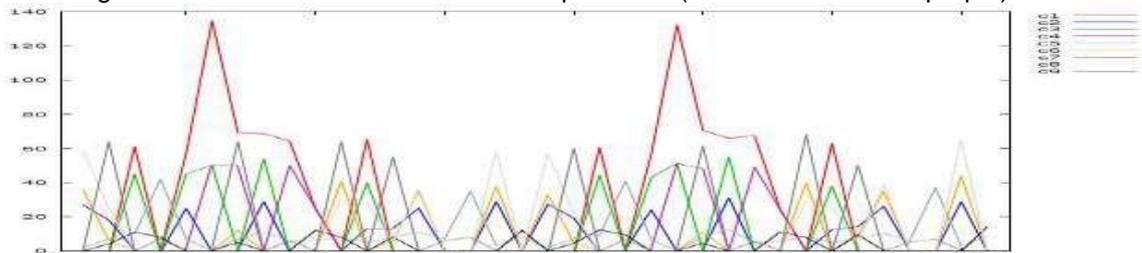
Tabla 1. Estadística descriptiva de la variable demanda de componentes y minutos del set de datos

Componente (C), Minuta (M)	Demanda promedio (unidades/día)	Mínima demanda (unidades/ día)	Máxima demanda (unidades/ día)	DS demanda (unidades/ día)	C.V	Coefficiente de Asimetría	Coefficiente e de Curtosis
C1	30,13	0,00	134,70	39,14	1,30	1,04	0,28
C2	10,07	0,00	31,20	12,21	1,21	0,55	-1,44
C3	12,92	0,00	55,00	21,33	1,65	1,05	-0,79
C4	9,64	0,00	51,00	19,02	1,97	1,55	0,55
C5	10,15	0,00	42,00	10,70	1,05	2,16	3,44
C6	9,74	0,00	44,00	15,60	1,60	1,25	-0,22
C7	3,91	0,00	14,00	4,89	1,25	0,69	-1,12
C8	13,43	0,00	65,00	20,71	1,54	1,28	0,29
C9	14,96	0,00	68,30	25,16	1,68	1,33	-0,11
M1	98,56	0,00	481,00	187,38	1,90	1,35	-0,15
M2	86,58	0,00	444,00	166,83	1,92	1,43	0,18
M3	86,14	0,00	497,00	169,36	1,96	1,54	0,60
M4	83,33	0,00	469,00	166,12	1,99	1,59	0,70
M5	87,55	0,00	410,00	117,96	1,34	1,18	0,53
M6	116,42	0,00	460,00	190,93	1,64	1,01	-0,94
M7	85,301	0,00	490,00	173,37	2,05	1,65	0,90

(Fuente: Elaboración Propia)

En la figura 1, se muestra un gráfico de serie temporal para las demandas diarias de las 9 componentes en 36 semanas.

Figura 1: tasa de demanda diaria de componentes (fuente: Elaboración propia).



En la tabla 2 se presentan los principales resultados para el modelo de pronóstico ARIMAX y el valor esperado de los componentes utilizados por día ($E(QDt, i)$)

Tabla 2. Resultados de modelos de abastecimiento asignados a los componentes del set de datos

Componentes (Ci)	Correlación componentes i con resto de componentes (x) del set de minutos (pix)	Modelo de pronóstico ARIMAX (p=número de autoregresores, d=número de diferenciaciones, q=medias móviles, n=regresores externos)	Cantidad promedio de componentes utilizados por día pronosticado ($E(QDt, i)$) (Unidades/día)
C1	0,4756	p=6, d=2, q=5, n=7(M1 a M7)	30,21
C2	0,2398	p=6, d=0, q=0, n=6((M1, M2, M3, M5, M6, M7))	10,06
C3	0,3054	p=6, d=0, q=3, n=6(M1, M2, M3, M5, M6, M7)	12,92
C4	0,2329	p=6, d=2, q=3, n=5(M1, M2, M3, M5, M6)	9,36
C5	0,7131	p=0, d=0, q=0, n=1(M3)*	10,15
C6	0,4468	p=3, d=1, q=2, n=5(M1, M2, M4, M5, M6)	9,86
C7	0,4440	p=2, d=0, q=1, n=6(M1, M2, M3, M4, M6, M7)	3,41
C8	0,4253	p=3, d=0, q=0, n=5(M1, M2, M3, M4, M7)	10,82
C9	0,2341	p=2, d=0, q=0, n=3(M1, M3, M5)	14,95



Componentes (C_i)	Modelo de abastecimiento asignado	Cantidad Óptima a abastecer (DLY ² para modelo perecibles, $Q A t, i$ para modelo no perecible de RC, y Max, para modelo no perecible de RP (Unidades)	Punto de reordenamiento para modelo no perecible $RC(\tau_i)/$ Tiempo de reaprovisiona- miento óptimo para modelo no perecible $RP(\bar{T}A_0)$ (Unidades)/(Años)	Márgen de Contribución Optimizado de Minutas $M_{i,m}$ en las que participan componentes C_i $RC/RP(USD\$)$	Márgen de Contribución Real de Minutas $M_{i,m}$ en las que participan componentes $C_i(USD\$)$	Porcentaje de Optimización, modelos RC/RP (%)
C1	Perecible	62,27	NA	309,99/304,72	305,92	1,33/-0,39
C2	Perecible	6,37	NA	713,86/703,46	617,14	15,67/13,99
		2778,85	69,40/	90,83/89,51	61,1	
C3	No Perecible (RC/RP)	2850,52	0,59			48,66/46,49
C4	No Perecible	2364,73/	43,30/	606,45/599,09	232,3	161,06/157,89
	(RC/RP)	2392,80	0,69			
C5	Perecible	11,92	NA	1766,22/1761,93	1622,9	8,83/8,57
C6	Perecible	11,04	NA	5682,94/5613,93	5364,99	5,93/4,64
C7	Perecible	5,74	NA	11989,08/11814,38	11825,07	1,39/-0,09
C8	Perecible	8,62	NA	238,2/235,31	206,9	15,13/13,73
	No Perecible	2989,19/	69,4/	257,52/255,64	42,42	
C9	(RC/RP)	3034,04	0,55			507,07/502,65
TOTAL				21655,09/2133,67	20278,84	6,78/5,42

(Fuente: Elaboración propia). RC=revisión continua RP=revisión periódica

A continuación se resumen los principales hallazgos preliminares:

- El modelado de la demanda de los componentes correlacionados con las demandas de minutas, optimizó entre un 5,42-6,78% los márgenes promedio de contribución de los SAN muestreados comparando los resultados reales y los modelados.
- Las cantidades de componentes a abastecer mediante el ajuste de modelos noperecibles, fueron considerablemente mayores que la tasa de demanda correlacionada a las minutas.
- Las cantidades a abastecer en modelos de RC fueron menores que en RP y por lo tanto, los márgenes de contribución son mayores en el primer caso.
- Las componentes que se ajustan al modelo de bienes

percederos de un solo período, presentaron una cantidad optimizada a abastecer similar a su tasa de demanda correlacionada a las minutas.

6 CONCLUSIONES E IMPLICACIONES

El hallazgo a) está en concordancia con lo mencionado por autores como Ramanathan (2006), quien ocupando modelos de programación lineal, relacionó la minimización de costos de inventarios a una maximización de los márgenes de contribución, en productos críticos para el surtido de inventarios.

El hallazgo b) se explicaría porque estas componentes se pueden almacenar por un tiempo prolongado, condición que se aprovecha para disminuir el costo en el que se incurre cuando se genera una orden. Los resultados comparados entre modelos no perecibles planteados en c) se darían a raíz de que en RP la variabilidad de la demanda hace considerar stock de seguridad para los períodos de latencia y aprovisionamiento, mientras que en RC solo consideramos *lead time* del proveedor (Lee & Lee, 2013).

Por su parte, el hallazgo d) se explicaría debido a que éstos son materiales que tienen un período de caducidad bajo (entre ellos frutas, verduras y carnes), con un período de almacenaje que no permite tiempos prolongados, por lo que el modelo de ajuste debiera ser bastante acertado para este tipo de productos, con una reposición acotada y con niveles mínimos de stock en el almacenamiento, que contribuyen a la mejora de los costos de almacenamiento en comparación a la situación real (Hillier & Lieberman, 2005).

Los principales supuestos y limitaciones de nuestra metodología son: i) la aleatoriedad de la demanda de productos finales (minutas), explica la demanda de componentes, ii) la serie de tiempo de demandas de componentes considera elementos autoregresivos endógenos y la demanda de minutas como variables exógenas predeterminadas, iii) el tiempo de latencia de los proveedores es constante, iv) la necesidad de determinar los costos de ordenar y almacenar componentes. Las principales limitaciones de la metodología tienen que ver con considerar una forma más pertinente al cálculo de los costos relativos a la gestión de almacenar y ordenar cada componente. Existen restricciones de validez



interna de la propuesta que están dadas por los supuestos de distribuciones de probabilidad de los procesos involucrados, linealidad de las relaciones entre variables, así como la posibilidad de contar con datos de registros confiables de cantidades demandadas de minutas, componentes, y sus respectivos costos y precios de venta.

REFERENCIAS

Agrawal, M., Cohen, M. (2001): "Optimal material control and performance evaluation in an assembly environment with component commonality", *Naval Research Logistics*, volumen N° 48, Junio, pp. 409–429.

Akouemo, H. N., & Povinelli, R. J. (2014, July). Time series outlier detection and imputation. In *PES General Meeting| Conference & Exposition, 2014 IEEE*(pp. 1-5). IEEE.

Astete, A., & Guevara, C. (2014). *AG FOODS Parte I y II* (Doctoral dissertation, Universidad de Chile).

Avellaneda, J. A., Ochoa, C. M., & García, J. C. F. (2012). Comparación entre un sistema neuro difuso auto organizado y un modelo ARIMAX en la predicción de series económicas volátiles. *Ingeniería*, 17(2), 26-34.

Bedoya, J., Barrera, M (2005): "Programación dinámica estocástica aplicada al problema del despacho hidrotérmico". *Scientia et Technica*, volumen N° 28, Junio. pp.53-58.

Blankley, A., Khouja, M., Wiggins, C. (2008): "An investigation into the effect of full-scale supply chain management software adoptions on inventory balances and turns". *Journal of Business Logistics*, volumen N° 29, Junio. pp. 201-224.

Hillier F, Lieberman GJ (2005): "Introduction to Operational Research". McGraw Hill: New York, 9th Ed. pp. 185-245.

Lee, M. H., & Lee, D. J. (2013). A Multi-item Stochastic Demand Periodic Review System with a Budget Constraint. *Journal of Next Generation Information Technology*, 4(8).

Lu, Y., Song, J-S., Yao, D.D. (2005): "Backorder minimization in multiproduct assemble-to-order systems". *IIE Transaction*, volume N° 37, Junio. pp. 763-774.

Martin, Q. (2003) *Investigación Operativa*. Ed. Pearson. Ciudad de México. Volumen N° 11, Junio. pp.286 – 287.

Morillo, M. (2009): "Costos del servicio de alimentos y bebidas en establecimientos de alojamientos turísticos". *Visión Gerencial*, volumen N° 2, Diciembre. pp. 304-327.

Prabakaran, K., Sivapragasam, C., Jeevapriya, C., & Narmatha, A. (2013). Forecasting cultivated areas and production of wheat in India using ARIMA model. *Golden Research Thoughts*, 3(3), 2231-5063.

Ramanathan, R. (2006): "ABC inventory classification with multiple-criteria using weighted linear optimization". Computers and Operations Research, volume N° 33, Diciembre. pp. 695-700.

Rojas, F. Leiva, V. Wanke, P., Marchant, C. (2015): "Optimization of a contribution margin foodservice, by modeling the demand for independent components". Revista Colombiana de Estadística. 38, 1-30.

Song, J.S., Zipkin, P. (2003): "Supply chain operations: assemble to-order systems. In "Supply Chain Management", De Kok, T., Graves, S. (eds.), North-Holland, Amsterdam, The Netherlands, Ch. 11.

Zaldaña, A., & María, A. (2011): "Plan de Negocios para la Elaboración de Jugos Naturales a Base de Frutas y Hortalizas". Revisado 27-11-2014, acceso en (http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2011/cf-ayala_az/pdfAmont/cf-ayala_az.pdf)