

Preservación de Productos Perecederos en una Cadena Logística de Frío

Capel, María Mercedes (*), Russo, Alfredo

Universidad Tecnológica Nacional, FRBA
Medrano 951. Capital Federal
(*) mercedescapel@hotmail.com

RESUMEN

El trabajo tiene por objetivo analizar un modelo econométrico para determinar los parámetros a tener en cuenta en una cadena logística de frío para alimentos perecederos a fin de que ellos se conserven y lleguen al consumidor final en la cantidad y calidad requeridas, resguardando la integridad de los mismos.

El modelo usado aquí ha sido tomado del desarrollado por Verbic (2006) en base a desarrollos anteriores de Grubbström (1960) Bogataj (2004) y el mismo Verbic (2004). Se trata de un modelo econométrico que considera en primer término un sistema MRP para el cálculo de necesidades de producción, luego un sistema de ecuaciones diferenciales lineales para expresar la descomposición parcial de los alimentos durante el transporte y la recomposición del mismo por acciones correctivas.

Los parámetros clave a tener en cuenta en el modelo son la *intensidad de deterioro*, que está relacionada con la refrigeración y/o adición de conservantes; el *efecto de la conservación* de los productos perecederos, que se refiere a mantener la calidad máxima de los alimentos en todos los eslabones de la cadena logística; y el *retraso de activación del efecto de conservación*.

Los valores de estos parámetros determinarán el efecto global de los productos perecederos en la cadena logística de frío.

También, hay que tener en cuenta que actualmente se trabaja con mucha integración entre todos los eslabones que componen la cadena logística de frío, lo cual es indispensable para alcanzar el objetivo de que los alimentos perecederos lleguen adecuadamente al consumidor final y sean seguros para su salud, hoy los alimentos se transportan por rangos de temperaturas requeridos y no por tipos de productos.

En el trabajo que aquí se expone se analiza la posibilidad de adaptar el mismo modelo econométrico para productos alimenticios perecederos en nuestro país.

Palabras Clave: cadena logística de frío, productos perecederos, transporte refrigerado

1. INTRODUCCION

La cadena de frío es de particular importancia en la logística de la mayoría de los productos alimenticios, especialmente en nuestro país donde las distancias entre las zonas de producción y las de consumo suelen ser particularmente grandes.

En el mundo, Grubbström y colaboradores (1960 citado por Bogataj- 2004 y 199) desarrollaron un modelo matemático basado en consideraciones econométricas para representar, no solamente la logística en sí sino la cadena de suministro completa, desde la fabricación hasta la entrega al consumidor.

Dye y Hsieh (2011) optimizan los tiempos de reposición de stocks y el grado de deterioro, como variables para maximizar el beneficio obtenido a lo largo de la cadena de suministros, mientras

otros autores, como Shabani et al (2012) desarrollan un sistema de benchmarking para reducir el tiempo en las góndolas de los artículos perecederos.

Básicamente el modelo econométrico de Grubbström describe a la producción como un sistema MRP que representa por medio a una matriz de Insumo Producto, de dónde proviene el nombre de modelo econométrico. A la descomposición parcial de los alimentos durante las etapas de la cadena de suministro y a su recomposición mediante el frío o mediante aditivos aceptados por la legislación, cuya naturales y acción está fuera de este trabajo, los modela mediante un sistema de ecuaciones diferenciales lineales, que resuelve usando la Transformada de Laplace, en esta etapa tiene en cuenta un tiempo de retardo τ , cuya naturaleza discutiremos más adelante.

En principio, alcanza a definir el comportamiento de la red por medio de tres parámetros clave.

Esos tres parámetros clave mencionados en la literatura por Verbic (2006) serán expuestos y explicados en el siguiente trabajo, que tiene por objetivo mostrar el impacto de cada uno en las diferentes etapas de una cadena logística de frío de alimentos perecederos, en primer término y estudiar su aplicabilidad a la situación de las cadenas logísticas refrigeradas en nuestro país para el transporte de alimentos perecederos.

Consideramos que los alimentos pueden tener dos estados posibles, desde el punto de vista de la calidad: 'Buen Estado' y 'Deteriorado', dando ello como resultado cuatro estados de transición posibles desde el punto de vista de una representación como Cadena de Markov (los mismos se encuentran representados en la Fig.1):

- a. Que el alimento pase de un Buen Estado y se mantenga en Buen Estado
- b. Que el alimento pase de un Buen Estado a un estado Deteriorado
- c. Que el alimento pase de un Estado Deteriorado y se mantenga en Estado Deteriorado
- d. Que el alimento pase de Estado Deteriorado a un Buen Estado

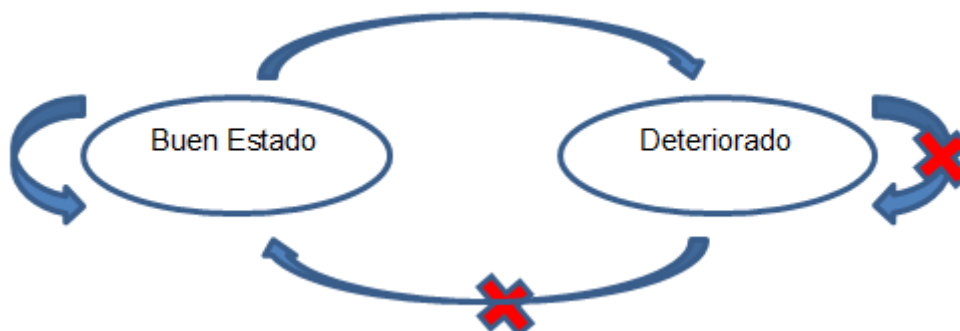


Fig.1 Diagrama de estados de Transición de los alimentos

De los estados mencionados arriba hay dos que no son posibles, y que debido a ello cuando se representen en las matrices de estados de transición se corresponderán con valores cero.

Los mismos son que un alimento deteriorado pase a buen estado, debido a que una vez que se encuentra en mal estado es imposible que pase a un buen estado, y por otro lado que un alimento en estado deteriorado pase a estado deteriorado.

El modelo de la cadena logística tomado en este trabajo tiene las siguientes etapas (un esquema se encuentra en la Fig.2):

- a) *Manufactura*
- b) *Distribución Intermedia*

- c) Almacenamiento
- d) Distribución Final



Fig.2 Esquema de la Cadena Logística

1. DESARROLLO DEL MODELO

La ecuación básica según Verbic (2006) y Bogotaj (2004) es:

$$\mathbf{S} = (\mathbf{I} - \mathbf{H}) \mathbf{P} - \mathbf{F} \quad (1)$$

Ecuación matricial donde \mathbf{S} es el vector del inventario por unidad de tiempo, \mathbf{I} una matriz unidad, \mathbf{H} la matriz de insumo-producto del sistema productivo, \mathbf{P} el vector de producción bruta por unidad de tiempo, \mathbf{F} el vector de entrega por unidad de tiempo, $\mathbf{H.P}$ es la demanda interna por unidad de tiempo y $(\mathbf{I} - \mathbf{H}) \mathbf{P}$ la producción neta por unidad de tiempo.

Tal como está escrita la expresión responde a un flujo que describe la producción y la distribución. La demanda \mathbf{D} tiene que ser satisfecha por las entregas \mathbf{F} con un cierto nivel de cumplimiento β , es decir, con una cierta probabilidad $p = 1 - \beta$ de quedarse sin suministro. Cada una de las funciones puede cumplirse en lugares diferentes, lo que da lugar al transporte o distribución a lo largo de la cadena de suministro. Justamente en ese transporte es cuando puede ocurrir el deterioro y las medidas correctivas o paliativas del deterioro deben aplicarse.

2.1 Vector de deterioro y regeneración de los atributos del alimento \vec{X}_k

El vector de estado del sistema \vec{X}_k contiene dos componentes: $\vec{X}_{1,k}(t)$ que representa la cantidad de producto en buen estado en el tiempo t en la etapa k y $\vec{X}_{2,k}(t)$ que representa la cantidad de producto deteriorado en el tiempo t en la etapa k .

$$\vec{X}_k(t) = \begin{bmatrix} \vec{X}_{1,k}(t) \\ \vec{X}_{2,k}(t) \end{bmatrix} \quad (2)$$

En esta representación compacta el estado indicado por el subíndice 1 es el Buen Estado y el representado por el subíndice 2 el Estado deteriorado.

2.2 Intensidad del deterioro

En los trabajos de Verbic (2004,2006) se muestra la matriz (A_k) para representar los cuatro estados, en lo que se refiere a intensidad de deterioro de los alimentos.

$$A_k \vec{X}_k(t) = \begin{bmatrix} a_{11,k} & a_{12,k} \\ a_{21,k} & a_{22,k} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_{1,k}(t) \\ X_{2,k}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11,k}X_{1,k}(t) + a_{12,k}X_{2,k}(t) \\ a_{21,k}X_{1,k}(t) + a_{22,k}X_{2,k}(t) \end{bmatrix} \quad (3)$$

Debido a que, como se mencionó anteriormente, una vez el alimento está deteriorado nos encontramos en un estado absorbente, los valores $a_{12,k}$ y $a_{22,k}$ son cero, resultando la matriz la siguiente:

$$A_K \vec{X}_k(t) = \begin{vmatrix} -a_{11,k} & 0 \\ a_{21,k} & 0 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} X_{1,k}(t) \\ X_{2,k}(t) \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} -a_{11,k}X_{1,k}(t) \\ a_{21,k}X_{1,k}(t) \end{vmatrix} \quad (4)$$

Dónde $-a_{11,k}$ debe ser negativo porque la fracción del alimento deteriorado, expresada por $1 + -a_{11,k}$ debe ser menor que 1, es decir, una parte del alimento se deteriora y el resultado final, tiene que ser una cantidad de alimento en Buen Estado menor o igual que la inicial, al finalizar el proceso. En este caso, debe tenerse en cuenta que el modelo es econométrico y por lo tanto busca un balance entre el costo del deterioro y los costos de mantenimiento y de restauración de la calidad.

2.3 Efecto de Conservación y Retraso en su Activación

En la literatura de Verbic (2004,2006) se muestra la matriz (B_K) para representar los cuatro estados, en lo que se refiere al efecto de la conservación de los alimentos. Este parámetro está estrechamente relacionado con el tiempo de retraso en la activación de la conservación.

$$B_K \vec{X}_k(t) = \begin{vmatrix} b_{11,k}(t) & b_{12,k}(t) \\ b_{21,k}(t) & b_{22,k}(t) \end{vmatrix} \begin{vmatrix} X_{1,k}(t) \\ X_{2,k}(t) \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} b_{11,k}(t)X_{1,k}(t) + b_{12,k}(t)X_{2,k}(t) \\ b_{21,k}(t)X_{1,k}(t) + b_{22,k}(t)X_{2,k}(t) \end{vmatrix} \quad (5)$$

Debido al estado de muerte una vez deteriorado el alimento, los valores $b_{12,k}$ y $b_{22,k}$ son cero. Por otro lado cada etapa considerada ($X_{1,k}$ y $X_{2,k}$) tiene en cuenta el tiempo de retraso en la activación del efecto de la conservación (tk), es decir con la adición de conservantes y/o refrigeración. Por lo tanto la matriz resulta ser la siguiente:

$$B_K(t) \vec{X}_k(t-t_k) = \begin{vmatrix} b_{11,k} & 0 \\ -b_{21,k} & 0 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} X_{1,k}(t-t_k) \\ X_{2,k}(t-t_k) \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} b_{11,k}X_{1,k}(t-t_k) \\ -b_{21,k}X_{1,k}(t-t_k) \end{vmatrix} \quad (6)$$

Donde otra vez, el coeficiente $-b_{21,k}$ es negativo por las mismas razones, pero simétricas en este caso, por las que habíamos mencionado en el caso anterior.

Debe tenerse en cuenta que los coeficientes A_K y B_K son respectivamente los de deterioro y de regeneración del alimento, por efecto de las acciones externas que se ejercen sobre el mismo.

2.4 Efecto Global

El efecto global para evaluar la estabilidad de los alimentos perecederos en una cadena logística de frío, tal como se representa en la literatura de Verbic, es a través de la siguiente ecuación diferencial lineal de primer orden:

$$\frac{d\vec{X}_k(t)}{dt} = A_K \vec{X}_k(t) + B_K(t) \vec{X}_k(t-t_k) \quad (7)$$

La ecuación de arriba se corresponde con la suma del efecto del grado de la intensidad de deterioro de los alimentos ' A_K ' (tomando los términos negativos) y el efecto de la conservación, ' $B_K(t)$ ' (tomando los términos positivos).

Si se consideran constantes los coeficientes A_K y B_K frente al tiempo y el resto de las condiciones invariables, es posible definir un coeficiente combinado (A_K+B_K) que puede extraerse de esta expresión como factor común.

A continuación se describen las diferentes etapas de la cadena logística de frío de alimentos perecederos con el objetivo de que en cada una de ella se tengan en cuenta puntos clave a fin de lograr que el resultado de la ecuación 6 minimice el costo de la preservación a lo largo de la cadena de frío.

3. MANUFACTURA

En el proceso productivo es importante la aplicación adecuada de conservantes a los alimentos, con el objetivo de minimizar la intensidad de deterioro y maximizar el tiempo de conservación del mismo. Cada alimento deberá tener la cantidad y tipo de conservantes adecuados, lo cual no forma parte del siguiente estudio tal como lo hemos establecido más arriba.

Tal como se menciona en los trabajos de M.Iijima, S. Komatsu y S.Katoh (1996) es recurrente que el consumidor elija los alimentos de acuerdo a la fecha de producción, por eso es importante diseñar un sistema integrado de ventas y producción con tiempos de entrega cortos.

Debido a que también el mercado cambia permanentemente y está cada vez más diversificado, las industrias están tendiendo a producir tamaños de lotes más pequeños y productos con ciclos de vida cortos. En este sentido vemos que la intensidad del deterioro se ve beneficiada debido a que los tiempos que transcurren desde que se produce el alimento hasta que llega al consumidor tiende a reducirse, con lo cual el alimento está en un estado bueno. Desde el punto de vista de la conservación, vemos que al reducirse el tiempo del ciclo de vida, la cantidad de conservantes, entendiendo por éstos la adición de los mismos y/o de refrigeración, deberá ser menor, provocando que el alimento llegue más fresco al consumidor final, punto que no es de menor importancia para los mismos hoy en día.

Las industrias que combinan la aplicación de MRP (Push-Type) y Kanban (Pull-Type) se llaman sistemas de producción híbridos.

Como sabemos el MRP es un sistema que determina las cantidades de materias primas, componentes, subensambles y ensambles requeridos en casa semana del horizonte de planeamiento a fin de mejorar el servicio al cliente en lo que hace no sólo al cumplimiento de la cantidad requerida sino también acortando los plazos de entrega, punto que nos interesa porque al reducir este tiempo el impacto en la intensidad del deterioro es positivo, debido a que el tiempo entre la fecha de producción y la fecha en la que el alimento está disponible para el consumidor final es menor.

Por otra parte el sistema Kanban tiene 3 principales objetivos: visualizar el trabajo y las fases del ciclo de producción, determinar el límite del trabajo en proceso (work in process) y medir el tiempo en completar una tarea (lead time). En este sentido es importante tener conocimiento del lead time para saber el tiempo que se tarda en entregar el pedido desde el momento que fue solicitado, lo cual ya se mencionó la importancia que tiene en la intensidad del deterioro y el efecto de la conservación.

3. LOGISTICA

En este punto vamos a considerar todo traslado que no sea logística interna, esto es tanto una vez que el producto es producido y trasladado para almacenamiento como cuando es trasladado hasta los distribuidores, que se corresponde con la etapa final de nuestro modelo, representado en la Fig.2.

Quiero hacer referencia a la importancia de hacer un buen modelo de las rutas de transporte que hay que abarcar para acortar el tiempo lo máximo posible, a fin de que los alimentos tengan más tiempo de vida útil en las últimas etapas de la cadena logística.

Además, hacer una ruta óptima tiene la ventaja de que provoca un menor costo.

Por otro lado, es importante contar con los medio de transporte adecuados. En algunos casos es necesario utilizar camiones refrigerados con compartimentos de diferentes temperaturas con paredes y separadores eutécticos.

5. ALMACEN

En la investigación realizada por Zhaotong Lian, Xiaoming Liu, Ning Zhao (2009) se describen las distintas consideraciones que tuvieron diferentes autores sobre modelos de inventarios para productos perecederos.

En nuestro modelo vamos a considerar que:

- a. La vida útil del producto tiene una función exponencial negativa, con lo cual debe ser despacha del almacén lo antes posible a fin de que haya tiempo suficiente para que llegue al consumidor final en un estado bueno, tanto en lo que hace a deterioro y conservación; es decir no estar próximo al punto crítico donde el producto ya está deteriorado.

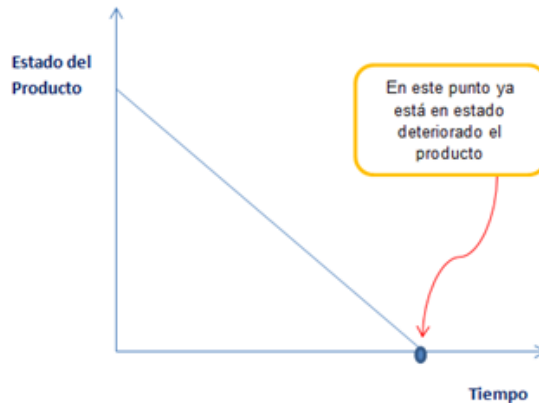


Fig.3 Gráfico Ciclo de Vida del Producto

- b. Otro punto que consideramos importante a tener en cuenta en esta etapa de la cadena logística a fin de lograr el mejor resultado global de los parámetros clave es la realización de una buena predicción, para saber con la mayor precisión posible las tendencias del mercado, y evitar tiempos largos de duración de los productos en el almacenamiento, que como vimos anteriormente perjudica tanto a la intensidad del deterioro como al efecto de la conservación. También, como vimos que el mercado está cambiando de tendencias rápidamente, es recomendable tomar horizontes pequeños para proyectar la demanda del mercado.

Kalpakam y Arivarignan (1988) estudiaron la demanda como una función de Poisson.

Como sabemos la distribución de Poisson se corresponde con observación de la realización de hechos durante un cierto período de tiempo de naturaleza aleatoria, en nuestro caso este no debería ser muy amplio debido al análisis que se hizo en el punto 2 de Manufactura sobre las consecuencias que ocasionaría en el pronóstico de demanda tomar intervalos tiempo amplios, debido a los cambios bruscos en las tendencias del mercado.

$$P(\xi = k) = \left(e^{-\lambda} \frac{\lambda^k}{k!} \right) \quad (8)$$

- λ es un parámetro positivo que representa el número de veces que se espera que ocurra el fenómeno en un intervalo de tiempo dado.
 - k es el número de ocurrencias del evento, es decir el número de veces que se demanda nuestro producto.
- c. El sistema de inventario que debe elegirse es el FIFO (First In, First Out), por la importancia que tiene que el ítem salga lo antes posible del almacén.

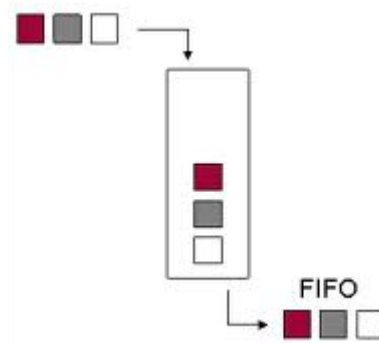


Fig.5 Esquema del Sistema de Inventario FIFO

- d. En la literatura de modelos de inventario estocásticos, por lo general, se asume que en el momento del reaprovisionamiento la cantidad pedida es suministrada por completo.

6. CONCLUSIONES

El modelo econométrico de Grubbstrom, implementado en Eslovenia por Bogataj y por Verbic es factible de aplicar en Argentina, país que pertenece a las Economías Emergentes en el mismo nivel que Eslovenia, por lo que, en desarrollos posteriores, se espera aplicarlo a un caso práctico asociado con una industria del tipo de la de lácteos.

Las limitaciones al tiempo en góndolas de los productos enfriados deben incorporarse como una práctica necesaria para reducir los costos de enfriamiento y conservación.

La planificación de la cadena completa de suministro de productos enfriados así como las prácticas de restauración de la condición de producto en Buen Estado merecen estudios posteriores a esta presentación y que sean continuaciones de los que aquí se inician.

Finalmente la inclusión de procesos estocásticos en el modelado de demanda y producción de productos perecederos puede tener un impacto significativo en las reducciones de costos de éstos.

7. REFERENCIAS

- [1] Verbic, M. (2006) "Discussing the Parameters of Preservation of Perishable Goods in a Cold Logistic Chain Model". *Institute for Economic Research, Slovenia*.
- [2] Verbic, M. (2004) *Econometric Estimation of Parameters of Preservation of Perishable Goods in Cold Logistic Chains – White Paper- University of Ljubljana, Slovenia*
- [3] Bogataj, M., Bogataj, L. and Vodopivec, R. (2004). "Stability of Perishable Goods in Cold Logistic Chains". *Faculty of Economics, Ljubljana*.
- [4] Zhaotong Lian, Xiaoming Liu and Ning Zhao (2009). "A perishable inventory model with Markovian renewal demands". *Faculty of Business Administration, University of Macau, Macau SAR, China*.
- [5] Iijima, M., Komatsu, S. and Kato, S. (1996). "Hybrid just-in-time logistics systems and information networks for effective management in perishable food industries". *Faculty of Economics, Yokkaichi University, Japan; Faculty of Management Information Systems; Nogyo University of Commerce and Business Administration; Kanehatsu Systems Co. Ltd.*
- [6] Kalpakam, S. and Shanthi, S. (2000). "A perishable System with Modified Base Stock Policy and Random Supply Quantity". *Department of Mathematics, Indian Institute of Technology, India*.
- [7] Grubbström, A. (1999) A net present value approach to safety stocks in a multi-level MRP system - *Int. J. Production Economics*

- [8] Chung-Yuan Dye ^a, Tsu-Pang Hsieh - An optimal replenishment policy for deteriorating items with effective investment in preservation technology - European Journal of Operational Research
- [9] Shabani, A et al - A new benchmarking approach in Cold Chain - Applied Mathematical Modelling

Agradecimientos

A la Universidad Tecnológica Nacional, Regional Buenos Aires por financiar este trabajo.