

## Caso de estudio

# Análisis de series de tiempo en el pronóstico de la demanda de almacenamiento de productos perecederos



Arturo Contreras Juárez<sup>a,\*</sup>, Catya Atzir Zuñiga<sup>b</sup>, José Luis Martínez Flores<sup>c</sup> y Diana Sánchez Partida<sup>d</sup>

<sup>a</sup> Estudiante, Doctorado en Logística y Dirección de la Cadena de Suministros, Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, Puebla, México

<sup>b</sup> Profesora-investigadora, Departamento de Posgrados, Universidad Aeronáutica en Querétaro, Querétaro, México

<sup>c</sup> Investigador nacional nivel 1, Sistema Nacional de Investigadores del CONACyT, Puebla, México

<sup>d</sup> Profesora-investigadora, Posgrado en Logística y Dirección de la Cadena de Suministro, Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, Puebla, México

## INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

## Historia del artículo:

Recibido el 15 de agosto de 2016

Aceptado el 17 de noviembre de 2016

On-line el 8 de diciembre de 2016

## Códigos JEL:

L15

L23

L25

## Palabras clave:

Almacenamiento

Cadena de frío

Pronósticos

Series de tiempo

Productos perecederos

## JEL classification:

L15

L23

L25

## Keywords:

Storage

Cold chain

Forecasts

Time-series

Perishable products

## RESUMEN

Los pronósticos son una herramienta que proporciona un estimado cuantitativo de la probabilidad de eventos futuros. La relevancia de incorporar pronósticos en la demanda de almacenamiento en productos perecederos dentro de la cadena de frío deriva de su importancia económica y social. Este caso de estudio presenta una empresa con tendencia de crecimiento dedicada al almacenamiento de productos perecederos e incorpora técnicas de pronósticos de series de tiempo, en el volumen de ingreso y egreso de los productos en una cámara frigorífica, con el fin de estimar el volumen de almacenamiento para prever los requerimientos de instalaciones adicionales, personal y materiales necesarios para la movilidad de los productos.

© 2016 Universidad ICESI. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

## Analysis of time-series on the forecast of the demand of storage of perishable products

## ABSTRACT

The forecasts are a tool that provide an estimated quantitative of the probability that future events occur. The relevancy of incorporating forecasts in the demand of storage in perishable products inside the cold chain, drifts of both its economic and social importance. This case of study presents a company with growth trend devoted to the storage of perishable products, and identifies that the applied forecasts nowadays do not contemplate methodological technologies. The present article incorporates technologies of forecasts of time-series in the volume of revenue and expenditure in a cold-storage room, in order to estimate the volume of storage to foresee the requirements of personnel and materials needed for the mobility of the products.

© 2016 Universidad ICESI. Published by Elsevier España, S.L.U. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

\* Autor para correspondencia. 21 Sur 1103, CP 72410 Puebla, México.  
Correio electrónico: [arturo.contreras@upaep.edu.mx](mailto:arturo.contreras@upaep.edu.mx) (A. Contreras Juárez).

## Análise de séries temporais na previsão da procura para o armazenamento de mercadorias perecíveis

### R E S U M O

#### Classificações JEL:

L15  
L23  
L25

#### Palavras-chave:

Armazenamento  
Cadeia de frio  
Previsão  
Séries temporais  
Produtos perecíveis

As previsões são uma ferramenta que fornece uma estimativa quantitativa da probabilidade de que os eventos futuros terão lugar. A relevância de incorporar previsões da demanda por armazenamento de produtos perecíveis dentro da cadeia de frio, deriva da sua importância econômica e social. Este estudo de caso apresenta uma empresa com tendência de crescimento dedicada ao armazenamento de produtos perecíveis e incorpora técnicas de previsão de séries temporais, volume de entrada e saída de produtos em armazenamento a frio, a fim de estimar o volume de os requisitos de armazenamento para fornecer facilidades adicionais, pessoais e materiais, necessárias para a mobilidade dos produtos.

© 2016 Universidad ICESI. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este é um artigo Open Access sob uma licença CC BY (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

## 1. Introducción

Los alimentos perecederos requieren de un especial cuidado que asegure la prolongación de su vida útil, garantizando su disponibilidad a través del adecuado almacenamiento. Actualmente, esta necesidad se hace más notoria, por los cambios en los hábitos de los consumidores y su tendencia al aumento del consumo tanto de productos congelados como frescos. De acuerdo con la *Food and Agriculture Organization* (FAO), la demanda de los productos perecederos es constante a lo largo del tiempo, no siendo así su producción, por lo que el almacenamiento es comúnmente utilizado para asegurar el aprovisionamiento de los mercados por el mayor tiempo posible; también puede ser usado como «una estrategia para diferir la oferta del producto hasta que el mercado se encuentre desabastecido y de esta manera obtener mejores precios» (López, 2003, p. 49).

Así, las exigencias alimenticias demandadas por la sociedad actual hacen que con mayor frecuencia se construyan más y mejores centros logísticos y almacenes, los cuales además del propio hecho de acumular gran cantidad de productos alimenticios perecederos, permitan distribuir los productos con mayor rapidez a los diversos puntos de consumo a los que sirven. Por lo tanto, la temperatura juega un papel crucial en el manejo, procesamiento, distribución y almacenamiento de dichos productos. Un adecuado control de temperatura es imprescindible para que los productos alimenticios perecederos maximicen su vida útil y que a su vez esto permita una adecuada comercialización de los mismos. Al respecto, «se calcula que alrededor de 30% de la producción alimentaria mundial pasa por algún tipo de tratamiento frigorífico, y cerca de 40% de los alimentos consumidos en los países desarrollados se someten a algún método de conservación» (Medina, 2009, p. 1013).

Adicionalmente, Medina (2009) hace referencia a la importancia económica que tiene la cadena de frío en el plano mundial, la cual calcula tener un valor aproximado de 80.660 millones de dólares anuales, sin contar el mercado farmacéutico. De acuerdo con datos del Instituto Internacional del Frío, las pérdidas de productos alimenticios derivadas del manejo, almacenamiento y transporte inadecuados en los países en desarrollo ascienden hasta un 50%, mientras que en naciones avanzadas con instalaciones frigoríficas adecuadas solo alcanzan cerca del 10% (Medina, 2009).

Los almacenes son parte fundamental en el desarrollo, tanto de estrategias en la cadena de suministro como en la logística. En este sentido, Pindyck y Rubinfeld (2001) mencionan que los almacenes están involucrados tanto en las diferentes etapas de la cadena de suministro, como en los distintos procesos internos de las empresas, por el aprovisionamiento, manipulación de materiales, y el almacenamiento o aseguramiento de los productos. De

esta forma, «el diseño de las cámaras debe garantizar la calidad del producto en aras de un adecuado servicio al cliente, satisfaciendo los requerimientos térmicos y la accesibilidad al producto en las cámaras para lograr la preparación de los pedidos y una expedición ágil de los mismos» (Sarroca y Torres, 2006, p. 31). No obstante, «en nuestro entorno, el dimensionamiento de las necesidades de almacenamiento futuro no están soportadas debidamente por datos y pronósticos precisos. Por el contrario, se suelen hacer simplificaciones basadas en supuestos y percepciones personales, lo cual conlleva a un sobredimensionamiento o a quedarse cortos en el espacio al corto plazo y en consecuencia mayores gastos de operación» (Muñoz, 2014, p. 3).

Por lo tanto, existe una serie de iniciativas para enfrentar la incertidumbre y un mejoramiento en el desempeño en la cadena de abastecimiento y la exactitud del pronóstico, donde la idea principal es que los tomadores de decisiones trabajen en toda la cadena para determinar las estrategias de inventarios y reaprovisionamiento a través de la recuperación y análisis de datos históricos, conocidos como series de tiempo, estableciendo una coordinación con los pronósticos (Arango, Adame y Zapata, 2010).

Dado lo anterior, se debe tener en cuenta que «el objetivo de un pronóstico es posibilitar las decisiones sobre el futuro y proporcionar una estimación del riesgo involucrado en la decisión» (Erossa, 2004, p. 58). De esta manera, la importancia de un pronóstico deriva en que las imprecisiones no se pueden separar de la realidad, haciendo que todas las organizaciones operen en un ambiente de inseguridad. Por esto, para disminuir el riesgo en la toma de decisiones gerenciales u operacionales y poder modelar lo que pasará en el futuro, así como para matizar esa percepción de incertidumbre, es importante hacer uso de toda la información disponible actual y del pasado, y no solo basarse en supuestos, con el fin de evitar malas decisiones; también se debe considerar que los modelos de toma de decisiones se apegan a la realidad de la empresa y no a la del entorno, pues una creencia racional no necesariamente es una creencia verdadera (Arrendondo y Vázquez, 2013). Por consiguiente, «la consideración primordial en la elección de un método de pronóstico es que los resultados deben facilitar el proceso de la toma de decisiones de la organización» (Hanke y Wichern, 2006, p. 5).

En este sentido, los pronósticos aplicados a la demanda de almacenamiento permiten determinar, de manera eficiente, tanto el tamaño del almacén como el diseño interior de una nueva instalación, o en instalaciones ya existentes, el desarrollar un plan de mejora en el diseño interior que soporte el crecimiento esperado, lo cual permita anticiparse a las necesidades de los clientes o consumidores, enfocándose en incrementar las ganancias con un alto nivel de servicio. Específicamente, «la predicción de corto plazo es

utilizada para planificar la operación del sistema, mientras que la predicción de largo plazo es usada habitualmente como un insumo en las decisiones de expansión en capacidad de generación y del sistema de distribución» (Velázquez, Franco y García, 2009, p. 39).

Dada la importancia del almacenaje de dichos productos en países en desarrollo, como México, el presente artículo se orienta al uso y aplicación de técnicas de pronósticos de series de tiempo, mediante el análisis de información pasada, permitiendo seleccionar la técnica de pronóstico con el fin de estimar el volumen de ingresos y egresos de productos alimenticios perecederos en cámaras frigoríficas de un almacén en una empresa mexicana. Dichos pronósticos buscan valorar el volumen de movilidad de ingresos y egresos en los productos perecederos, validando la capacidad a la que trabaja dicha cámara e identificando si es necesario instalaciones adicionales para el manejo de la creciente demanda, así como la orientación a los tomadores de decisiones en los requerimientos de personal y recursos necesarios para una mejor movilidad de los productos.

El caso de estudio está estructurado de la siguiente manera: en la segunda sección se describen los aportes más relevantes de las técnicas de pronósticos, se justifica la importancia de planear con pronósticos y se revisa la metodología seleccionada en la aplicación del caso de estudio. La tercera sección describe el caso de estudio, respetando el acuerdo de confidencialidad con la empresa, y se realiza la discusión de los primeros resultados del análisis de la información. Finalmente, en la cuarta y quinta secciones, se analizan los resultados obtenidos, se revisan futuras líneas de trabajo y se plantean preguntas de discusión.

## 2. Marco teórico

Los autores Hanke y Wichern (2006) mencionan que para que las organizaciones grandes, medianas o pequeñas, privadas o públicas, puedan reducir el grado de incertidumbre causado por el cambio constante del entorno, deben respaldar sus decisiones en algo más que la experiencia o la intuición, deben respaldarlo en la elaboración de pronósticos precisos y confiables que sean suficientes para satisfacer las necesidades en la planeación de la organización.

Por su parte, Torres (2011) menciona que en la práctica es posible clasificar estos planes en múltiples tipos; sin embargo, solo se hará énfasis en delimitar algunas de las áreas dentro de la empresa donde es necesaria la intervención de un pronóstico. Para Arango et al. (2010) estas aplicaciones pueden ser muy diversas, como predecir el presupuesto de ventas, o bien estimar el tipo y número de operaciones para producir un producto, o quizá apoyar el estudio de mercado para la incorporación de nuevos productos, almacenaje o servicios de la empresa, el cual es esencial para una eficiente cadena de suministro. La idea principal de esta filosofía es que se trabaje mancomunadamente en toda la cadena para determinar las estrategias de inventario y reaprovisionamiento que más beneficios tengan para todos los participantes que realicen esfuerzos para alinear sus pronósticos y, consecuentemente, lograr la disminución de inventarios y aumentar así la rentabilidad para todos los participantes.

La utilización de sistemas de pronósticos en modelos de gestión de inventarios ha sido estudiada e implementada por varios expertos. Al respecto, Gutiérrez y Vidal (2008) mencionan que los sistemas tradicionales de control de inventarios utilizan técnicas como la suavización exponencial para pronosticar la demanda de productos de alta rotación como los productos perecederos. Por su parte, Gallego y Toktay (2003) pronostican las demandas estacionarias de productos de alta rotación mediante el uso de pronósticos dinámicos, mientras que Vidal, Londoño y Contreras (2004) utilizan las técnicas de pronósticos en diversas operaciones de industrias locales de productos perecederos; particularmente, estos autores

aplican técnicas de pronósticos sencillas como la suavización exponencial y promedios móviles simples para el departamento de compras de una bodega central de productos. Así, la elección del método a utilizar depende de diversos factores tales como el contar con información histórica, el tipo de producto y el uso que la empresa desea darle a los pronósticos. Ante ello, cada empresa deberá evaluar sus características y definir qué método es el más adecuado.

Complementando lo anterior, se debe tener en cuenta que «diferentes metodologías de predicción basadas en el modelado matemático se han desarrollado en las últimas décadas. Estas pueden ser clasificadas en dos vertientes: la primera intenta proveer mecanismos que ayuden al experto a racionalizar el proceso de selección de variables relevantes y construcción de pronósticos, permitiendo depurar el conocimiento explícito que hay sobre la variable financiera o económica considerada; mientras que en la segunda vertiente se intenta limitar o eliminar la participación del juicio del experto, por lo que se intenta construir los modelos a partir del conocimiento oculto presente en la información histórica» (Velázquez, Dyner y Souza, 2006, p. 139).

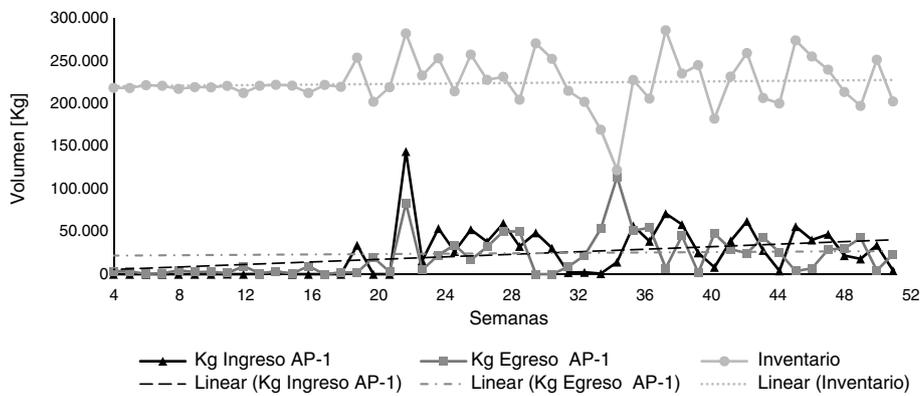
Los métodos de pronósticos se pueden clasificar en 3 grupos: cualitativos, de proyección histórica, y causales. Respecto a los métodos cualitativos, «utilizan el juicio, la intuición, las encuestas o técnicas comparativas para generar estimados cuantitativos acerca del futuro» (Ballou, 2004, p. 291); por lo tanto, se deben utilizar cuando los datos históricos del producto son escasos o nulos, como en el caso de productos nuevos o ante cambios en la política gubernamental. Entre los métodos cualitativos más utilizados se tiene el método de las expectativas del usuario, método de la opinión de la fuerza de ventas y método Delphi, los cuales «se usan cuando resulta difícil establecer las tendencias claves a partir de indicadores simplificados o cuando no se dispone de datos» (Medina y Ortégón, 2006, p. 217).

Por el contrario, los métodos de proyección histórica «se utilizan cuando existen datos históricos disponibles. Los modelos de series de tiempo predicen valores futuros para la variable de interés basándose exclusivamente en el patrón histórico de esa variable, suponiendo que ese patrón histórico continuara» (Masini y Vázquez, 2014, p.25). Los métodos basados en datos históricos, considerados como el método de series de tiempo, consisten en el uso de métodos analíticos, para poder determinar las tendencias y las variaciones estacionales. De esta forma, cuando se trabaja con series de tiempo, una de las preguntas más importantes que se debe hacer el investigador sobre esta es: ¿cuál es el proceso generador de datos (en inglés, *data generating process* [DGP]) del que proviene la muestra estudiada? La aproximación convencional es tratar de detectar los diferentes componentes del DGP. Típicamente, se consideran 4 componentes: la tendencia, la parte cíclica, el componente puramente aleatorio y el componente estacional (Alonso y Arcila, 2013).

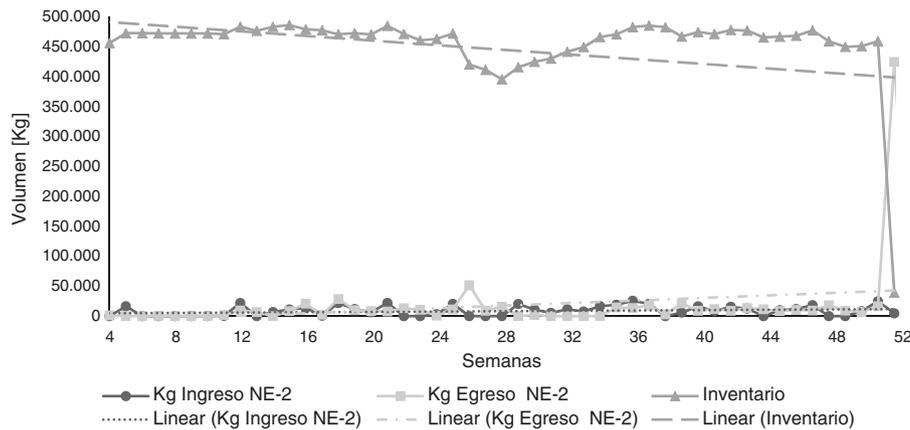
Los pronósticos realizados mediante el uso de estos métodos tienen la premisa de que se mantendrá la tendencia que se ha venido dando, con lo cual se obtienen pronósticos que son bastante precisos en el corto plazo. Entre estos se tienen las técnicas de promedio móvil simple, promedio móvil ponderado, suavización exponencial, suavización exponencial ajustada a la tendencia, método estacional multiplicativo y series de tiempo con influencias estacionales y de tendencia, entre otras.

Los métodos causales, por su parte, asumen que el factor que va a ser pronosticado exhibe una relación causa-efecto con una o más variables independientes. El propósito de los modelos causales es describir la forma de relación entre las variables y usarla para predecir valores futuros de la variable dependiente. Dentro de los métodos causales más utilizados se encuentran las técnicas de regresión y las técnicas econométricas.

En la investigación del presente caso de estudio se aplican técnicas de pronósticos cuantitativos basadas en el análisis de datos



**Figura 1.** Ingresos y egresos del producto AP-1 de la cámara n.º 2.  
Fuente: elaboración propia con base en información de la empresa.



**Figura 2.** Ingresos y egresos del producto NE-2 de la cámara n.º 2.  
Fuente: elaboración propia con base en información de la empresa.

históricos del comportamiento de ingresos y egresos de los productos perecederos de una cámara frigorífica, divididos en 52 periodos (semanas), correspondientes a datos históricos proporcionados por una empresa de productos perecederos, los cuales presentan una tendencia lineal creciente (como se puede observar en las figuras 1 y 2). A partir del análisis se aplican las siguientes técnicas de series de tiempo con el fin de elaborar un estado comparativo e identificar la técnica que proporciona el mejor resultado: promedio móvil simple, promedio móvil ponderado, suavización exponencial y suavización exponencial ajustada, las cuales se describen a continuación.

Inicialmente, el método de promedio simple «es una técnica adecuada cuando se han estabilizado las fuerzas que generan las series a pronosticar y cuando por lo general, no cambia el entorno donde existe la serie» (Hanke y Wichern, 2006, p. 105); en este se utilizan datos recientes para reducir el efecto de las fluctuaciones aleatorias y responder al cambio en el proceso de una manera más rápida. Así, el promedio móvil está dado por la suma de los últimos  $N$  datos, como se muestra en la ecuación 1.

$$M_T = \frac{1}{N} (d_{T-N+1} + d_{T-N+2} + \dots + d_T) = \frac{1}{N} \tag{1}$$

donde  $M_T$  es el valor del promedio móvil;  $N$  se refiere al número de periodos que se quiere considerar en el promedio móvil;  $d_T$  es la demanda histórica en el periodo  $T$  y  $T$  es el proceso en el que se encuentra el periodo.

Por otra parte, la técnica de promedio móvil ponderado «utiliza las ponderaciones con la evaluación subjetiva del analista acerca de la importancia de los datos más recientes y los datos más antiguos

al formular un pronóstico» (Masini y Vázquez, 2014, p. 41). El promedio móvil ponderado de la demanda se calcula multiplicando cada periodo por un factor de ponderación, y dividiendo el resultado entre la suma de todos los factores ponderados, como se observa en la ecuación 2.

$$\dot{X}_t = \frac{\sum_{i=1}^n C_i * X_{t-1}}{\sum_{i=1}^n C_i} \tag{2}$$

donde  $\dot{X}_t$  se refiere al promedio móvil ponderado de la demanda en unidades en el periodo  $t$ ;  $C_i$  es el factor de ponderación, y  $X_{t-1}$  es la demanda real en unidades de los periodos anteriores a  $t$ .

Posteriormente, la técnica de suavización exponencial está basada en el análisis de los errores de los pronósticos (Snyder, 2002), en el que se asigna un mayor peso al último valor en la serie de tiempo y después, progresivamente, se asignan pesos más pequeños a los valores más antiguos (ecuación 3).

$$\dot{X}_t = \dot{X}_{t-1} + (\alpha * (x_{t-1} - \dot{X}_{t-1})) \tag{3}$$

donde  $\dot{X}_t$  es el promedio de ventas en unidades en el periodo  $t$ ;  $\dot{X}_{t-1}$  se refiere al pronóstico de ventas en unidades del periodo  $t-1$ ;  $X_{t-1}$  son las ventas reales en unidades en el periodo  $t-1$ , y  $\alpha$  es el coeficiente de suavización (se encuentra entre 0 y 1).

Finalmente, la técnica de suavización exponencial ajustada usa valores recientes en la serie de tiempo para estimar cualquier tendencia ascendente o descendente (Snyder, 2002); adicionalmente, tiende a seguir un número considerable pero definido de periodos, en los que la tendencia se define como el cambio promedio del siguiente valor en una serie de tiempo (ecuaciones 4 a 6).

Pronóstico del periodo  $t$ ,

$$\hat{x}_t = \hat{z}_t + T_t. \quad (4)$$

Serie suavizada exponencialmente,

$$\hat{z}_t = \alpha(\hat{x}_{t-1}) + [(1 - \alpha)(\hat{z}_{t-1} + T_{t-1})]. \quad (5)$$

Estimado de la tendencia,

$$T_t = \beta(\hat{z}_t - \hat{z}_{t-1}) + [(1 - \beta)(T_{t-1})] \quad (6)$$

donde  $\hat{x}_t$  es el pronóstico del periodo  $t$ ;  $\hat{x}_{t-1}$  es el pronóstico del periodo  $t-1$ ;  $\hat{z}_t$  es la suavización exponencial del periodo  $t$ ;  $\hat{z}_{t-1}$  es la suavización exponencial del periodo  $t-1$ ;  $T_t$  corresponde a la tendencia del periodo  $t$ ;  $T_{t-1}$  corresponde a la tendencia del periodo  $t-1$ ;  $\alpha$  es el coeficiente de suavización (entre 0,0 y 1,0), y  $\beta$  es el coeficiente de suavización para la tendencia (entre 0,0 y 1,0).

Dado lo anterior, calcular y determinar un margen de error en todas las técnicas de pronósticos aplicadas adquiere una gran importancia, ya que el tamaño y la persistencia de los errores de predicción y la incertidumbre futura dependen de patrones endógenos y exógenos, así como del ingreso de datos erróneos y del seleccionar una técnica de pronóstico equivocada; por ello es preciso reconocer y disminuir los errores. De una forma general, el error se define como la diferencia entre el valor del pronóstico y lo que realmente ocurrió en dicho periodo, como se observa en la ecuación 7, donde se denomina  $e_t$  al error del pronóstico, el cual se define como:

$$e_i = A_i - F_i \quad (7)$$

donde  $A_i$  se refiere a la demanda real en el periodo  $i$  y  $F_i$  es el pronóstico realizado para el periodo  $i$ .

En este orden de ideas, existen diversas maneras de calcular y analizar el error; dentro de las técnicas más comunes se tienen la desviación media absoluta (DMA), la desviación típica de los errores y el error absoluto medio porcentual (MAPE). Para este caso de estudio, el error se calcula mediante la DMA acompañada de la señal de rastreo, ya que dicha técnica es comúnmente utilizada.

La DMA es una de las formas más populares para el cálculo del error debido a que es fácil de comprender y de aplicar. Esta se define como el promedio de todos los errores de la proyección en valores absolutos, es decir, independientemente de que los errores sean positivos o negativos (ecuación 8).

$$DMA = \sum_{i=1}^n \frac{|A_i - F_i|}{n} \quad (8)$$

donde  $n$  se refiere a la cantidad de periodos considerados;  $A_i$  es la demanda real en el periodo  $i$  y  $F_i$  es el pronóstico realizado para el periodo  $i$ .

Adicional a la DMA se calcula la señal de rastreo (conocida también como señal de seguimiento o *tracking signal* [TS]), la cual es una medida de desempeño que permite medir la desviación del pronóstico respecto a variaciones en la demanda. Esta señal permite ajustar la DMA, es decir, el pronóstico está sobre o bajo la demanda real al considerar valores positivos o negativos. Para calcular la señal de rastreo se debe realizar el procedimiento que se encuentra en la ecuación 9.

$$TS = \frac{\sum_{i=1}^n E_i - A_i}{DMA} \quad (9)$$

donde  $E_i$  se refiere a la demanda real del periodo  $i$ ;  $A_i$  es la demanda prevista del periodo  $i$  y  $n$  son los periodos.

De esta forma, Fogarty, Blackstone y Hoffmann (2014) utilizan este criterio para seleccionar el mejor pronóstico, en el que los errores muy grandes, interpretados como los más graves en el pronóstico, están dados por el mayor valor absoluto, mientras que el valor más pequeño es el que se considera como mejor criterio al

momento de seleccionar el método más adecuado del pronóstico (Corres, Esteban, García y Zarate, 2009).

En el presente caso de estudio, los datos que se consideraron para las técnicas de pronósticos son: para promedio móvil,  $n=3$ ; en el promedio móvil ponderado, su factor de ponderación fue  $C_i = 20\%$  para el periodo más lejano,  $30\%$  para el periodo intermedio y  $50\%$  para el periodo más reciente, lo cual es coherente con lo mencionado por Sipper y Bulfin (1998), quienes señalan que los periodos más recientes suavizan las fluctuaciones. Por otra parte, para la técnica de suavización exponencial  $\alpha$  fue 0,1, 0,2 y 0,3; y para la suavización exponencial ajustada, se consideraron constantes de suavización tanto de  $\alpha$  como de  $\beta$  de 0,1, 0,2, 0,3, considerando la selección de estas constantes como criterios de precisión, respuesta de impulso y capacidad de amortiguación de ruido (Fogarty et al., 2014).

### 3. Caso de estudio

En la presente sección se estudia una empresa dedicada al almacenaje a temperaturas controladas, servicios de refrigeración, congelación, maquila en frío, servicio de distribución especializada y almacenaje en seco, enfocada principalmente al almacenamiento de productos alimenticios perecederos en 9 cámaras frigoríficas. En las temperaturas controladas se proporciona la requerida por el cliente, congelación rápida a temperaturas de hasta  $-40^\circ\text{C}$ , y conservación del producto a temperaturas de  $-18^\circ\text{C}$  a  $-25^\circ\text{C}$ . A través de la maquila en frío se genera valor agregado mediante el servicio solicitado por el cliente, control y seguimiento del inventario de los clientes, punto de verificación y centro de certificación sanitaria. Los productos almacenados en las cámaras frigoríficas están clasificados principalmente en familias de lácteos, carnes y jugos.

En el proceso de control de los inventarios en el almacenamiento de las cámaras frigoríficas la empresa no utiliza metodologías cuantitativas de apoyo para estimar el volumen de ingresos y egresos de productos en las cámaras frigoríficas. La estimación está basada en la experiencia de los encargados, la cual presenta en algunos casos desorganización en el movimiento y acomodo de los productos perecederos colocando tarimas de producto en los pasillos, provocando tiempos prolongados en el acceso y ubicación de los mismos, así como incremento de los tiempos laborales, cayendo en jornadas de 12, 14 y hasta de 16 horas.

El caso de estudio resalta la importancia del análisis de datos de series de tiempo para la toma de decisiones en el almacenamiento de productos perecederos; ante esto, Muñoz (2014, p. 3) menciona que «el dimensionamiento de las necesidades del almacenamiento futuro, no están soportadas debidamente por datos y pronósticos precisos, por el contrario, se suelen hacer simplificaciones basadas en supuestos y percepciones personales, lo cual conlleva a un sobre dimensionamiento o a quedarse cortos en el espacio al corto plazo y en consecuencia mayores gastos de operación».

En el presente caso será factor de estudio el desarrollo de las operaciones de los administradores del almacén y el desconocimiento de herramientas adecuadas para el análisis de datos, que permita una adecuada planeación de los requerimientos futuros en el almacenamiento en los productos perecederos, lo cual ha impedido la generación de una visión de crecimiento en el corto, mediano y largo plazo.

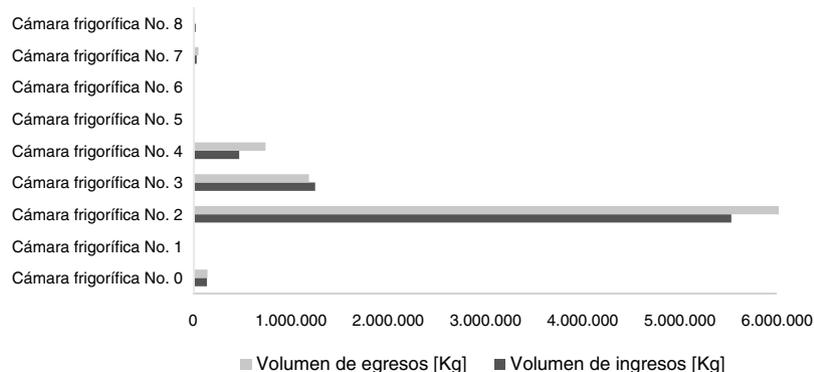
La empresa cuenta con 9 cámaras frigoríficas; la tabla 1 describe la capacidad máxima de almacenamiento por cámara, así como el número de órdenes y el volumen de ingreso y egreso generados en un periodo de 12 meses.

Por otra parte, la figura 3 comprende el volumen de ingreso y egreso en cada cámara, en donde se destaca el alto número de movimientos que se presentan en la cámara frigorífica n.º 2. Esta cámara

**Tabla 1**  
Volumen de ingresos y egresos de productos referentes a las órdenes de movimiento generadas

Número de cámara frigorífica	Capacidad máxima (kg)	Número de órdenes de ingreso	Número de órdenes de egreso	Volumen de ingresos (kg)	Volumen de egresos (kg)
Cámara frigorífica n.º 0	833.000	44	167	136.381	141.931
Cámara frigorífica n.º 1	2.880.000	2	9	10.015	7.581
Cámara frigorífica n.º 2	1.850.000	709	6.103	5.530.819	6.107.746
Cámara frigorífica n.º 3	1.086.000	181	1.470	1.250.434	1.187.331
Cámara frigorífica n.º 4	1.727.000	45	993	468.435	740.029
Cámara frigorífica n.º 5	548.000	2	16	6.939	11.493
Cámara frigorífica n.º 6	0	0	0	0	0
Cámara frigorífica n.º 7	4.915.000	3	66	31.351	48.799
Cámara frigorífica n.º 8	3.288.000	2	11	20.842	12.862
Capacidad total de las cámaras	17.127.000	988	8.835	7.455.215	8.257.772

Fuente: elaboración propia con base en información de la empresa.

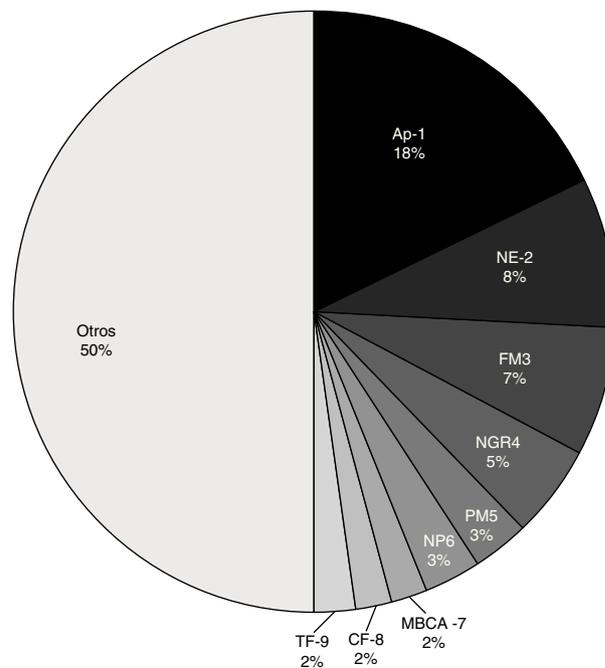


**Figura 3.** Volumen de ingreso y egreso de producto en cada cámara.  
Fuente: elaboración propia con base en información de series de tiempo obtenida de la empresa.

representó en el periodo de estudio el 64,31% de ingreso y el 73,96% de egreso del total del volumen de movimiento.

Por el alto volumen de rotación de productos en ingreso y egreso que presenta la cámara frigorífica n.º 2, esta se elige para mostrar los beneficios obtenidos en la aplicación de las técnicas de pronósticos. Debido a la alta diversidad de productos que se manejan en la empresa, se aplica una clasificación ABC (por sus siglas en inglés de *activity based costing*) con el fin de identificar los productos que tienen un impacto importante en el volumen global del inventario. La **figura 4** muestra la participación de cada producto en el inventario de la cámara frigorífica n.º 2. Dado lo anterior, se identifica una variedad de 360 productos, de los cuales los productos denominados como AP-1 y NE-2 representan el 18,4 y 8,0%, respectivamente. Por otro lado, 7 productos representan el 23,2% y el resto, que equivale a 351 productos, representan el 50,4%. Debido a la alta participación de los productos AP-1 y NE-2 en el inventario, representando el 26,4% del total, se han seleccionado estos productos para presentar de manera cuantitativa en esta investigación la aplicación de las técnicas de pronósticos.

Las **figuras 1 y 2** muestran el comportamiento histórico de los productos AP-1 y NE-2, respectivamente. El inventario del producto AP-1 está representado por el 15% del total de los productos, equivalente a 222.000 kg. En las **figuras 1 y 2** se representa el volumen en kg de producto que ingresa y egresa en la cámara n.º 2. Particularmente, en la **figura 1**, se observa que hasta la semana 20 el producto AP-1 presenta un nivel de inventario relativamente constante; sin embargo, a partir de dicha semana, se observa una alta variación entre los ingresos y los egresos, la cual está representada por un mayor ingreso sobre los egresos, cuantificado en 102.633 kg, y es particularmente sobre la semana 34 cuando presenta la menor cantidad de dicho producto en inventario, siendo este aproximadamente de 122.077 kg. También se observa que en la semana 37 presenta



**Figura 4.** Representación ABC de inventario de la cámara frigorífica n.º 2.  
Fuente: elaboración propia con base en información de la empresa.

la mayor cantidad de inventario con un total de 286.017 kg, mientras que el mayor movimiento de producto se encuentra entre la semana 21 y la semana 45, teniendo una media de movimiento diario de 33.111,7 kg de producto.

El comportamiento del producto NE-2 se ha representado en la figura 2, en la que se observa una situación totalmente diferente a la del producto AP-1. Se muestra que desde el inicio del periodo hasta la semana 51 el inventario del producto oscila entre 450.000 y 500.000 kg, donde el inventario inicial es de 444.000 kg, representando el 30% del inventario total de los productos en la cámara frigorífica. La cantidad de este producto en el almacén durante el periodo de análisis es constante, excepto en las semanas 24–33, que es cuando se presenta la mayor movilidad del producto, con un ingreso superior de 306 kg, con respecto al egreso. Cabe notar que la semana 28 presenta uno de los inventarios más bajos del periodo, con una cantidad de 395.394 kg. Además, uno de los niveles de inventario más alto se ubicó en la semana 24, con la cantidad de 531.771 kg. Particularmente, en la semana 52, la última del periodo, se presenta una drástica caída del inventario del producto, quedando un 4% del inventario del producto NE-2. Finalmente, el promedio del inventario para ese periodo fue de 432.335 kg.

Con la identificación de las líneas de tendencia creciente en los ingresos y egresos de los productos perecederos AP-1 y NE-2, se corrobora la necesidad de aplicar técnicas de pronósticos de series de tiempo, ya descritas en la sección 2.

Con los volúmenes de movimiento de los productos AP-1 y NE-2 representados en las figuras 1 y 2, se visualiza que el volumen de movimiento es diferente para cada producto. En el caso del producto AP-1, este presenta un incremento de volumen de movimiento a partir de la semana 18 hasta la semana 52, por lo tanto es importante conocer el pronóstico con el fin de identificar si esta variabilidad permanecerá para los próximos periodos y mejorar la planeación en la movilidad del producto. En el caso del producto NE-2, se visualiza un volumen de movimiento estable en las primeras semanas y una variabilidad de movimiento considerable, aproximadamente a la mitad del periodo, visualizando el mayor volumen de movimiento en la última semana. Debido al comportamiento observado, se reconoce la necesidad de implementar técnicas de pronósticos, con el propósito de conocer si estos incrementos aleatorios en el volumen de movimiento de ingresos y egresos de los productos AP-1 y NE-2 permanecerán y reconocer la influencia que tendrán en el requerimiento de recursos para su movimiento en los próximos 4 periodos, para de esta forma dar soporte al personal encargado en la toma de decisiones e identificar los requerimientos, como la cantidad de materiales, herramientas y personal necesarios para la movilidad del volumen de los productos. Por lo tanto, este trabajo contribuye a pronosticar los volúmenes de movimiento en kilogramos, para los ingresos

y egresos de los productos AP-1 y NE-2, durante los siguientes 4 periodos, representados por las semanas 53, 54, 55 y 56.

#### 4. Discusión

Las tablas 2 y 3 muestran los resultados obtenidos de las 4 técnicas de pronósticos aplicadas, representadas en la sección 2, para los volúmenes de movimiento de los productos AP-1 y NE-2 de la cámara frigorífica n.º 2. Inicialmente, la tabla 2 ilustra el pronóstico de volumen de ingreso del producto AP-1 para las semanas 53 a 56. De esta forma, para la semana 53 se predicen 11.474 kg a través de la técnica de promedios móviles ponderados, observando que este es el volumen más pequeño pronosticado; mediante la técnica de suavización exponencial ajustada, se presenta un volumen con el valor más alto representado por 81.572 kg, y con la técnica de promedios móviles ponderados se presenta el error más pequeño comparativamente con las otras 3 técnicas aplicadas, siendo de 0,97, y la DMA relacionada con este valor es de 17.127 kg, lo cual implica una tendencia sobrestimada del pronóstico. Dicho de otra manera, el pronóstico será de forma positiva o creciente con base en los datos históricos. Adicionalmente, se identifica que, para las semanas 53, 54 y 55, el error más bajo lo representa la técnica de promedios móviles ponderados. De esta manera se identifica que los datos obtenidos del pronóstico del volumen de ingresos del producto AP-1 con la técnica de promedios móviles ponderados son los más aceptables para considerar dentro de la planeación de movilidad.

Por su parte, la tabla 3 muestra los pronósticos de egresos del producto AP-1. A diferencia de los ingresos, en los que la técnica con el error más bajo identificado es la técnica de promedios móviles ponderados, en los egresos el error más pequeño se presenta en la técnica de suavización exponencial ajustada, con un valor de 0,13. Dicha técnica prevé que los kilogramos de egreso del producto AP-1 para los periodos antes mencionados son de 50.183, 51.323, 52.462, y 53.601 kg, respectivamente. Dado lo anterior, se identifica que los pronósticos obtenidos de la semana 53 a la 56 representan un incremento de egreso del 3,4% promedio. Así mismo, se identifica que a medida que se incrementan los periodos a pronosticar el error también crece, lo que indica que el pronóstico puede ser menos acertado al incrementar los periodos pronosticados.

Las tablas 4 y 5 presentan el volumen de ingreso y egreso del producto NE-2. La tabla 4 muestra que el error más ajustado para el volumen de ingreso corresponde al de la técnica de promedios móviles ponderados, considerando para la semana 53 un valor de

**Tabla 2**  
Pronósticos de ingreso para el producto AP-1 de la cámara n.º 2

Técnica	Semana 53		Error		Semana 54		Error		Semana 55		Error		Semana 56		Error	
	Ingresos (kg)	DMA	ST	Ingresos (kg)	DMA	ST	Ingresos (kg)	DMA	ST	Ingresos (kg)	DMA	ST	Ingresos (kg)	DMA	ST	
Promedios móviles	15.694	17.209	1,33	9.579	16.865	1,36	11.331	16.534	1,39	12.201	16.216	1,42	12.201	16.216	1,42	
Promedios móviles ponderados	11.474	17.127	0,97	9.364	16.784	0,99	9.960	16.455	1,01	10.014	16.139	1,03	10.014	16.139	1,03	
Suavización exponencial	18.721	15.437	4,04	18.721	15.140	4,12	18.721	14.854	4,20	18.721	14.579	4,28	18.721	14.579	4,28	
Suavización exponencial ajustada	81.572	20.132	18,62	83.550	19.753	18,91	85.528	19.387	19,34	87.506	19.034	19,63	87.506	19.034	19,63	

Fuente: elaboración propia con base en la aplicación de las técnicas de pronósticos.

**Tabla 3**  
Pronósticos de egreso para el producto AP-1 de la cámara n.º 2

Técnica	Semana 53		Error		Semana 54		Error		Semana 55		Error		Semana 56		Error	
	Egresos (kg)	DMA	ST	Egresos (kg)	DMA	ST	Egresos (kg)	DMA	ST	Egresos (kg)	DMA	ST	Egresos (kg)	DMA	ST	
Promedios móviles	12.607	16.523	0,39	15.322	16.193	0,40	12.543	15.875	0,41	13.490	15.570	0,41	13.490	15.570	0,41	
Promedios móviles ponderados	13.480	16.516	0,41	13.916	16.185	0,42	13.068	15.868	0,43	13.419	15.563	0,43	13.419	15.563	0,43	
Suavización exponencial	18.732	14.422	3,69	18.732	14.145	3,76	18.732	13.878	3,83	18.732	13.621	3,91	18.732	13.621	3,91	
Suavización exponencial ajustada	50.183	15.776	0,132	51.323	15.478	0,135	52.462	15.191	0,138	53.601	14.915	0,142	53.601	14.915	0,142	

Fuente: elaboración propia con base en la aplicación de las técnicas de pronósticos.

**Tabla 4**  
Pronósticos de ingreso para el producto NE-2 de la cámara n.º 2

Técnica	Semana 53			Semana 54			Semana 55			Semana 56		
	Ingresos (kg)	Error		Ingresos (kg)	Error		Ingresos (kg)	Error		Ingresos (kg)	Error	
		DMA	ST									
Promedios móviles	9.882	7.741	1,44	4.897	7.586	1,47	4.926	7.437	1,50	6.568	7.294	1,53
Promedios móviles ponderados	5.742	7.960	0,79	3.672	7.801	0,81	3.750	7.648	0,82	4.056	7.501	0,84
Suavización exponencial	6.992	7.067	3,30	6.992	6.931	3,36	6.992	6.800	3,43	6.992	6.674	3,49
Suavización exponencial ajustada	15.822	7.299	12,0	15.987	70.23	12,2	16.152	6.893	12,4	16.317	6.768	12,7

Fuente: elaboración propia con base en la aplicación de las técnicas de pronósticos.

**Tabla 5**  
Pronósticos de egresos para el producto NE-2 de la cámara n.º 2

Técnica	Semana 53			Semana 54			Semana 55			Semana 56		
	Egresos (kg)	Error		Egresos (kg)	Error		Egresos (kg)	Error		Egresos (kg)	Error	
		DMA	ST									
Promedios móviles	153.909	17.313	17,70	199.703	16.967	18,06	124.521	16.634	18,42	159.378	16.314	18,78
Promedios móviles ponderados	154.480	18.768	12,43	154.765	18.393	12,68	132.201	18.032	12,94	143.435	17.685	13,19
Suavización exponencial	101.245	16.196	20,84	101.245	15.885	21,25	101.245	15.585	21,65	101.245	15.296	22,06
Suavización exponencial ajustada	15.347	13.710	26,12	15.458	13.451	26,63	15.568	13.202	27,14	15.679	12.962	27,64

Fuente: elaboración propia con base en la aplicación de las técnicas de pronósticos.

0,79 con respecto al 1,44 de la técnica de promedios móviles. La misma técnica de promedios móviles ponderados determina el error más pequeño para las semanas 54, 55 y 56, recomendando esta técnica en los pronósticos de ingreso del producto NE-2. Adicionalmente, se observa que a medida que se pronostica un periodo el error aumenta, lo que no sucede así con el volumen de kilogramos de ingresos pronosticados. La técnica recomendada para los ingresos del producto NE-2 indica que a partir del pronóstico de la semana 53 a la 56 hay una reducción en los kilogramos de ingreso del 25% de promedio.

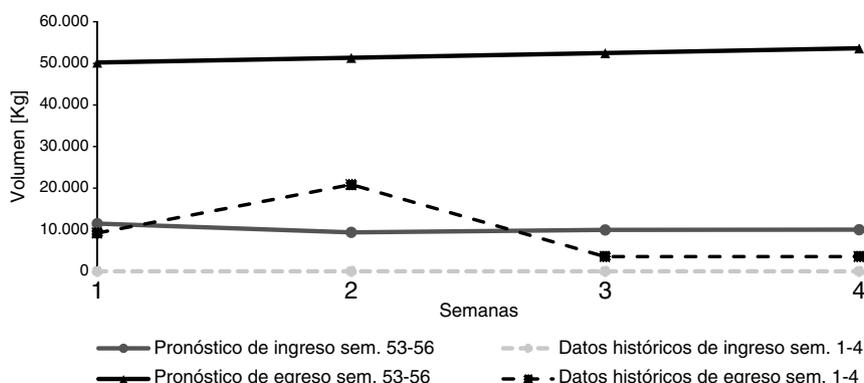
El volumen de egreso del producto NE-2 representado en la tabla 5 muestra que la técnica de pronóstico con el error más pequeño está representada en promedios móviles ponderados, identificando que los volúmenes de egreso pronosticados son superiores a los ingresos en los 4 periodos pronosticados, con un promedio de diferencia por los 4 periodos de 567.660 kg. Adicionalmente, se identifica que con los pronósticos en los volúmenes de ingreso y egreso se puede determinar un inventario inicial del producto NE-2.

Por otra parte, las figuras 5 y 6 ilustran una comparación entre los pronósticos del volumen de ingreso y egreso de los productos AP-1 y NE-2 de las semanas 53 a la 56 versus el volumen de las semanas 1 a la 4. Inicialmente, en la figura 5 se muestran de forma gráfica los pronósticos de las semanas 53 a la 56 del producto AP-1. El pronóstico de este producto estima un ingreso promedio de 10.000 kg. Por su parte, el pronóstico de egresos estima alrededor de 52.000 kg por periodo, lo que significa un aumento promedio de

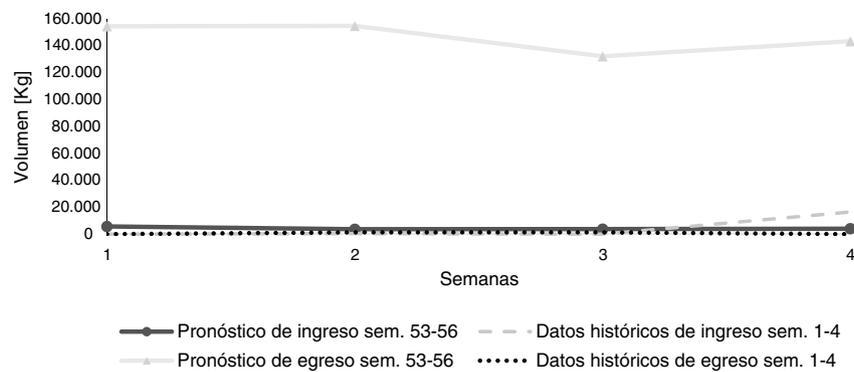
42.000 kg comparado con el mismo periodo del año anterior. Es de notar que el comportamiento de los egresos de este producto en su periodo análogo, es decir, en las semanas 1-4, tiene una notoria caída en las semanas 3 y 4, manteniéndose el nivel del inventario en 3.500 kg aproximadamente, y presentando el mayor ingreso en la semana 4 con 16.532,2 kg; este comportamiento es diferente al pronosticado para las semanas 55 y 56.

Por su parte, la figura 6 muestra los pronósticos del producto NE-2. Como se puede apreciar, los ingresos pronosticados, para las semanas 53-56, son muy similares a los de las semanas 1-4, con una variación de ingreso promedio de 500 kg entre cada semana. Sin embargo, los egresos pronosticados tienen un comportamiento muy diferente a los obtenidos en los primeros 4 periodos, siendo pronosticado un volumen de egresos entre 154.000 y 143.000 kg, donde el mayor egreso será demandado en la semana 2, con un volumen de 154.765 kg, y el menor volumen demandado se visualiza en la semana 3, con 132.201 kg.

De los resultados obtenidos se estima, para el periodo de análisis, un volumen promedio de ingreso del producto AP-1 de 10 toneladas (ton), y un egreso promedio de este mismo producto de 52 ton, lo que significa que los egresos superan a los ingresos en un 80,2%. En el caso del producto NE-2 se pronostica un ingreso promedio de 4,3 ton y un egreso promedio de 146,2 ton, lo que representa una salida del producto de 97,3% con respecto a los ingresos. Resumiendo, en ambos productos se pronostican egresos superiores a los ingresos. Además, se identificó un incremento de egreso del producto AP-1 de 43 ton, con respeto a los datos históricos en el



**Figura 5.** Producto AP-1.  
Fuente: elaboración propia.



**Figura 6.** Producto NE-2.  
Fuente: elaboración propia.

mismo periodo. Por su parte, en el producto NE-2 se presenta un incremento promedio de 145,6 ton.

El análisis de resultados obtenidos permite planear acciones y estrategias que satisfagan la demanda de egreso de los productos analizados, así como las herramientas y personal requerido para su almacenamiento y movilidad de los productos.

De forma particular, se destaca que para los 4 periodos de estudio, los volúmenes de egreso de los productos seleccionados son superiores a los volúmenes de ingreso, con un promedio de 183.600 kg de producto. Este desabastecimiento representa el 99,5% de los productos. De los resultados obtenidos, se puede destacar el comportamiento de uno de los productos, el AP-1, el cual contrasta con los datos históricos analizados ya que el movimiento en el egreso hasta las primeras 18 semanas es casi nulo y, posteriormente, a partir de la semana 19, muestra una tendencia creciente de egresos. Respecto al producto NE-2, se estima un crecimiento promedio en el egreso de 146.200 kg, respecto a los ingresos, para los 4 periodos de análisis.

Esta situación, aunada al comportamiento al final del periodo de estudio, en que el inventario fue casi nulo, prevén un desabastecimiento de producto NE-2 en la cámara, por lo que el desabastecimiento de ambos productos representa una disminución en el volumen en inventario total de casi un 10% de producto en la cámara. Dicho de otro modo, se predice que la capacidad total de la cámara será ocupada en un 63% del volumen total.

Este pronóstico permite conocer un estimado y tomar decisiones en cuanto a los recursos requeridos en personal, vehículos, materiales, herramientas, etc., así como la elaboración del plan de almacenamiento y movilidad anual, mensual, semanal.

Como parte de las bondades en los resultados obtenidos de la aplicación de las técnicas de pronósticos, se destaca que permiten conocer la capacidad a la que se trabaja permitiendo diseñar nuevas estrategias para ingresar nuevos productos, con el fin de utilizar al máximo la capacidad de la cámara frigorífica.

Con la elaboración de esta investigación se demuestra la utilidad que tienen los pronósticos para la toma de decisiones en diversas áreas y la planeación de actividades en empresas de almacenamiento y movilidad de productos perecederos. Como consecuencia, se minimiza la incertidumbre en las operaciones y se permite una planeación más detallada de los procesos. Por lo tanto, la planeación y administración de los inventarios, o movimientos de volúmenes de producto en el almacén de productos perecederos, pueden realizarse de una forma más eficiente y confiable.

Como trabajo futuro, se pretende utilizar los pronósticos como herramienta de análisis de diversas estrategias en las que la gestión de los recursos juega un papel fundamental. Estas estrategias deberán tomar en cuenta diversas características de los productos, como dimensiones, pesos, rotación del producto, fechas de caducidad, así como las características de sus propiedades perecederas.

Adicionalmente, las estrategias tomarán en cuenta estas características para proponer un nuevo *lay-out* de las cámaras, donde se permita la zonificación para la recepción, acomodo y salida de los productos perecederos de las diferentes cámaras frigoríficas, considerando la asignación de personal y montacargas requeridos para la movilidad del producto, asignación de cámara frigorífica, acomodo e identificación de los productos en los racks, que busque minimizar el tiempo de acomodo de los productos o maximice el costo de almacenamiento.

## 5. Preguntas de discusión

- ¿Cuál es el alcance de los pronósticos de series de tiempo en el almacenamiento y volumen de movilidad de productos perecederos?
- Con respecto al marco global de consumo y movilidad de productos perecederos, ¿por qué sería económicamente importante integrar pronósticos en la gestión de sus inventarios?
- Con los datos obtenidos de las técnicas de pronósticos de series de tiempo, ¿qué otra metodología propondría para minimizar el riesgo en la toma de decisiones en las planeaciones futuras?
- De acuerdo con la información proporcionada por la empresa y con base en los resultados obtenidos, ¿qué otras variables se deben incorporar al caso de estudio para elaborar pronósticos y simular escenarios futuros?

## Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

## Bibliografía

- Alonso, J. y Arcila, A. (2013). Empleo del comportamiento estacional para mejorar el pronóstico de un commodity: el caso del mercado internacional de azúcar. *Estudios Gerenciales*, 29(129), 406–4015.
- Arango, M., Adame, W. y Zapata, C. (2010). Gestión cadena de abastecimiento — logística con indicadores bajo incertidumbre, caso aplicado sector panificador Palmira. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 20(1), 97–115.
- Arrendondo, F. y Vázquez, J. (2013). Un modelo de análisis racional para la toma de decisiones gerenciales, desde la perspectiva elsteriana. *Cuadernos de Administración*, 26(46), 135–158.
- Ballou, R. H. (2004). *Logística. Administración de la cadena de suministro* (5.ª ed.). México D.F.: Pearson Educación.
- Corres, A., Esteban, A., García, J. y Zarate, C. (2009). Análisis de series temporales. *Ingeniería Industrial*, 8(1), 21–33.
- Erossa, V. (2004). *Proyectos de inversión en ingeniería: su metodología*. México D.F.: Limusa.
- Fogarty, D., Blackstone, J. y Hoffmann, T. (2014). *Administración de la producción e inventarios* (2.ª ed.). México D.F.: Patria.
- Gallego, G. y Toktay, L. (2003). All-or-nothing ordering. Under a capacity constraint and forecast of stationary demand [consultado 13 Oct 2015]. Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/81ef/e6d84d9fc4414d3685bf018fc4ff35d46ed4.pdf>

- Gutiérrez, V. y Vidal, C. (2008). Modelos de gestión de inventarios en cadenas de abastecimiento: revisión de la literatura. *Revista Facultad Ingeniería Universidad de Antioquia*, 43, 134–149.
- Hanke, J. E. y Wichern, D. W. (2006). *Pronósticos en los negocios* (8.ª ed.). México D.F.: Pearson Educación.
- López, C. (2003). Manual para la preparación y venta de frutas y hortalizas: del campo al mercado. *Boletín de servicios agrícolas de la FAO*, 151, 49–50.
- Masini, J. y Vázquez, F. (2014). Compendio de modelos cuantitativos de pronósticos [consultado 20 Dic 2015]. Disponible en: <https://books.google.com.mx/books?id=fnLcBQAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q=los%20metodos%20&f=false>
- Medina, S. (2009). Las cadenas de frío y el transporte refrigerado en México. *Comercio Exterior*, 59(12), 1010–1017.
- Medina, J. y Ortegón, E. (2006). *Manual de prospectiva y decisión estratégica*. Santiago de Chile: Naciones Unidas, CEPAL, ILPES.
- Muñoz, A. (2014). Metodología para el dimensionamiento de almacenes basado en la estimación de la demanda para el sector cosmético. Universidad Militar Nueva Granada [consultado 14 Ene 2016]. Disponible en: <http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/12624/1/ART%C3%8DCULO%20FINAL.pdf>
- Pindyck, S. y Rubinfeld, L. (2001). *Econometría, modelos y pronósticos: pronósticos con un modelo de regresión de una sola ecuación* (4.ª ed.). México, D.F.: McGraw Hill.
- Sarroca, R. y Torres, M. (2006). *Manipulación y almacenamiento de alimentos*. La Habana: Logicuba.
- Sipper, D. y Bulfin, R. (1998). *Planeación y control de la producción* (1.ª ed.). México D.F.: McGraw-Hill.
- Snyder, R. (2002). Forecasting sales of slow and fast moving inventories. *European Journal of Operational Research*, 140(3), 684–699.
- Torres, M. (2011). Pronósticos, una herramienta clave para la planeación de las empresas. Instituto Tecnológico de Sonora [consultado 12 Ene 2016]. Disponible en: [http://itson.mx/publicaciones/pacioli/Documents/no71/47a..pronosticos,\\_una\\_herramienta\\_clave\\_para\\_la\\_planeacion\\_de\\_las\\_empresas.pdf](http://itson.mx/publicaciones/pacioli/Documents/no71/47a..pronosticos,_una_herramienta_clave_para_la_planeacion_de_las_empresas.pdf)
- Velázquez, J. D., Dyner, R. I. y Souza, R. C. (2006). Políticas para la integración del juicio experto y los pronósticos estadísticos en el marco organizacional. *Estudios Gerenciales*, 99(22), 131–150.
- Velázquez, J., Franco, C. y García, H. (2009). Un modelo no lineal para la predicción de la demanda mensual de electricidad en Colombia. *Estudios Gerenciales*, 25(112), 37–54.
- Vidal, C. J., Londoño, J. C. y Contreras, F. (2004). Aplicación de los modelos de inventario en una cadena de abastecimiento de productos de consumo masivo con una bodega y N Puntos de venta. *Ingeniería y Competitividad*, 6(1), 35–52.