

Gestión de Inventarios para distribuidores de productos perecederos

Inventory Management for distributors of perishable products

John Willmer Escobar*
Universidad del Valle (Colombia)

Rodrigo Linfati**
Universidad del Bío-Bío (Chile)

Wilson Adarme Jaimes***
Universidad Nacional de Colombia

* Doctor en investigación de operaciones, Universidad de Bologna (Italia). Magíster en Ingeniería Industrial, Universidad del Valle (Colombia). Especialista en Finanzas, Universidad del Valle. Profesor medio tiempo de la Universidad del Valle con intereses de investigación enfocados en el diseño e implementación de algoritmos exactos y heurísticos para problemas de optimización combinatoria y análisis de riesgo financiero. Universidad del Valle, Departamento de Contabilidad y Finanzas, Facultad de Ciencias de la Administración. john.wilmer.escobar@correounivalle.edu.co.

** Doctor en Automatización e Investigación de Operaciones en la Universidad de Bologna (Italia). Sus intereses de investigación incluyen el diseño e implementación de algoritmos exactos y heurísticos para problemas de optimización combinatoria y sus aplicaciones en problemas reales. Universidad del Bío-Bío, Departamento de Ingeniería Industrial, Chile. rlinfati@ubiobio.cl

*** Doctor en Ingeniería industria y Organizaciones, Universidad Nacional de Colombia, Colombia. Magíster en Ingeniería Industrial, Universidad del Valle (Colombia). Profesor tiempo completo, Universidad Nacional de Colombia. Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Ingeniería Industrial. wadarme@unal.edu.co.

Correspondencia: John Willmer Escobar. Calle 4B n° 36-00, Sede San Fernando, edificio 124. Cali (Colombia). Tel-Fax. +572 5585937.

Resumen

Este artículo considera el problema de determinar la mejor política de administración de inventarios para productos perecederos en compañías comercializadoras de pescado. El objetivo fundamental es encontrar la política de inventario con stock de seguridad para un modelo probabilístico que maximice la utilidad diaria esperada, considerando que los productos son perecederos y, por lo tanto, solo pueden estar almacenados por un máximo número de días. Se propone una metodología basada en Simulación Montecarlo. Experimentos computacionales usando instancias reales obtenidas de una compañía comercializadora de pescado en el mercado colombiano muestran la eficiencia y la efectividad de la metodología propuesta basada en la maximización de utilidad neta esperada.

Palabras clave: gestión de inventarios, productos perecederos, simulación Montecarlo.

Abstract

This paper considers the problem of determining the best inventory management policy for perishable products on fish trading companies. The main objective is to determine the inventory management policy with safety stock for a probabilistic model, which maximizes the expected daily profit by considering the product, by considering that the products are perishables and only could be stored for a maximum number of days. This paper proposes a methodology based on Montecarlo simulation. Computational experiments using real world data from a fish trading company in the Colombian market shows the efficiency and the effectiveness of the proposed methodology based on the maximization of the average net profit.

Keywords: inventory management, Montecarlo simulation, perishable products.

Fecha de recepción: 27 de abril de 2016
Fecha de aceptación: 25 de agosto de 2016

INTRODUCCIÓN

La pesca y la acuicultura representan dos importantes actividades para el desarrollo productivo del sector agropecuario en Colombia. Ambos sectores han presentado un crecimiento sostenido durante los últimos cinco años, según la Corporación Colombiana Internacional [1]; se estima que para 2030 la oferta de pescado aumente en un 60 %, lo cual equivale aproximadamente a 285 000 toneladas. En la actualidad, la actividad pesquera colombiana está dividida en un 88 % industrial y un 12 % artesanal [1]. La globalización y la apertura de libre mercados requiere la implementación de acciones que permitan mejorar el proceso de toma de decisiones a todo nivel tanto estratégicas, como tácticas-operativas, en particular para la administración y control de inventario. La permanencia de las empresas en el mercado puede estar asociada al uso de métodos analíticos para el soporte apropiado en la toma de decisiones.

La administración adecuada de la cadena de suministro se ha constituido en una herramienta indispensable para su desarrollo, en la que la idea fundamental es maximizar el valor para el cliente final mediante la integración de actividades desde la adquisición de la materia prima al proveedor hasta el proceso de distribución [2] - [6].

En la distribución de productos perecederos, un elemento fundamental es la calidad del producto. La rapidez y la eficiencia son factores claves en el diseño de la red de suministro; el no cumplimiento de fechas y horas, además de las pérdidas económicas, puede generar problemas de salud pública. La entrega oportuna y el mantenimiento de la cadena del frío son vitales para el éxito comercial de una red de productos perecederos. Por ejemplo, un producto de pesca congelado es aquel que su temperatura no es superior a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Un producto refrigerado (fresco) es aquel que ha sido sometido a la acción de frío hasta alcanzar una temperatura de cero a cuatro grados centígrados ($0\text{ a }4\text{ }^{\circ}\text{C}$); adicional a ello, el número de días desde la captura hasta el consumo debe ser menor a cuatro [7].

Este artículo está relacionado con el diseño de una política de administración y control de inventarios para compañías comercializadoras de pescado fresco; los análisis realizados por otros autores no son ser específicos para este nicho de mercado, por ello se propone utilizar una simulación Montecarlo

para analizar un conjunto de escenarios identificados en la investigación de campo. El objetivo principal es maximizar la rentabilidad esperada de las empresas cumpliendo con diversos niveles de calidad y satisfacción de los clientes. La contribución radica en proponer un método de administración y control de inventarios eficaz para el sector.

El modelo propuesto se desarrolló e implementó en Microsoft Excel®, para facilitar el acceso a pymes comercializadoras de pescado. En particular se evalúa la aplicabilidad y efectividad de un modelo de inventarios considerando variabilidad de la demanda y variabilidad del *lead time* (“tiempo total de ciclo”) para la toma de decisiones tácticas y operativas en compañías comercializadoras de pescado en el territorio colombiano.

En general, las órdenes de compra de estas compañías en el suroccidente colombiano son emitidas a proveedores localizados en puertos como Tumaco y Buenaventura. Dichos proveedores comienzan a recolectar los productos para el proceso de entrega de órdenes. Este proceso se ve afectado durante el año por temporadas climáticas que generan abundancia o escasez de producto, lo cual afecta directamente el “lead time”. Este considera la sumatoria de los tiempos de tránsito, tiempo de cargue y descargue, tiempo de manejo en terminales y tiempo de preparación de la orden.

El transporte de abastecimiento se realiza por vía aérea o terrestre dependiendo de la ubicación del puerto. Para el transporte aéreo se utilizan embalajes con materiales especiales. En el transporte terrestre, los productos se llevan en camiones isotermos y se usa hielo como elemento conservante de la temperatura interna de refrigeración. Los tiempos de carga y descarga para las compañías comercializadoras de pescado en general son despreciables en relación con el tiempo en tránsito.

En la sección 2 de este artículo se presenta la revisión de la literatura relacionada con la administración y control de inventarios. En la 3 se describe la metodología propuesta para la atención de la problemática, incluyendo el proceso de abasto llevado a cabo en las comercializadoras de productos perecederos (pescado). En la sección 4 se presentan los resultados, y finalmente, en la 5 se presentan las conclusiones y trabajos futuros.

Revisión de la literatura

Existen diversas metodologías para la administración de inventarios de productos perecederos. La literatura relacionada con la administración de inventarios de productos como pescado fresco es escasa, por lo tanto se ha realizado una revisión genérica de los aspectos relacionados con la administración y control de inventarios de productos perecederos.

En las metodologías cuantitativas analizadas para la administración de inventario se pueden distinguir tres categorías: métodos heurísticos, modelos analíticos y modelos de simulación.

Métodos heurísticos

Los métodos heurísticos tratan de buscar una buena solución aproximada a la problemática de administración de inventarios de productos perecederos, sin la posibilidad de garantizar que dicha solución sea la óptima. Una de las principales ventajas de esta metodología consiste en que permite obtener soluciones de buena calidad en tiempos de cómputo razonables.

En [8] se considera el problema de determinar la cantidad a ordenar y la política de revisión interna para productos perecederos bajo el precepto de que el "lead time" es positivo. Un modelo heurístico (R, T) es propuesto considerando los costos de mantenimiento de inventario, demanda insatisfecha y disposición de productos perecederos.

En [9] se describe el problema de transporte de un conjunto de productos perecederos desde un origen hasta un destino con el objetivo de minimizar la suma de los costos de inventario y transporte.

En [10] se propone una heurística para la administración del reabastecimiento de productos perecederos considerando el ciclo de vida de los productos.

En [11] se presenta una heurística para sistemas de producción-inventario estocásticos. De igual forma, otro algoritmo heurístico que considera asignación de inventario y decisiones de precios para productos perecederos puede ser consultado en [12].

Muchos de los trabajos considerados en esta categoría utilizan datos determinísticos para la administración del inventario. Sin embargo, las variables asociadas al problema considerado en este trabajo son de naturaleza estocástica, lo cual hace necesario el uso de herramientas cuantitativas probabilísticas.

Modelos analíticos

Diversos modelos analíticos (con uso de modelos matemáticos) han sido propuestos para la solución de problemáticas relacionadas con la administración de inventarios de productos perecederos.

En [13] se propone un modelo de revisión continua de productos perecederos para determinar la mejor política (Q,r) , considerando un “lead time” positivo cuando el costo total promedio por unidad de tiempo es minimizado.

En [14] se estudia la problemática del proceso estocástico asociado con la determinación del nivel de inventario de un sistema de revisión continua (S, s) para productos perecederos.

En [15] se propone un modelo de inventario para un producto perecedero con dos tipos de clientes: alta y baja prioridad.

En [16] se considera el problema de la determinación de la cantidad a ordenar de productos perecederos en supermercados.

En [17] es desarrollado un modelo extendido del tipo EOQ (del inglés “Economic Order Quantity”: Cantidad Económica de Pedido) para productos perecederos con demanda dependiente del inventario.

Finalmente, en [14] se proponen ecuaciones necesarias para determinar el periodo de revisión y la cantidad óptima de pedido para un problema de un solo producto con un tiempo de vida de dos periodos.

Recientemente otros modelos analíticos para el problema de administración de inventarios de productos perecederos han sido propuestos por [19] - [24].

La principal problemática del uso de modelos analíticos para la solución del problema considerado en este trabajo radica en que las variables consi-

deradas son de naturaleza estocástica, lo cual implicaría el uso de técnicas avanzadas de solución y *software* especializado que normalmente no están al alcance de las compañías colombianas, particularmente las denominadas pymes (pequeñas y mediana empresas) .

Modelos de simulación

Los enfoques de simulación para la administración y control de inventarios de productos perecederos se han direccionado principalmente en dos categorías: modelos de simulación discretos y modelos de simulación Montecarlo.

En la categoría de modelos de simulación discretos, de acuerdo con [25], se examina la relación entre inexactitud y desarrollo en una cadena de abastecimiento. Se consideró la simulación de un caso de tres eslabones con un solo producto.

En [26] se presenta un enfoque de simulación para un modelo predictivo de control de políticas de inventario en condiciones de incertidumbre de la demanda.

Finalmente, en [2] se estudia la problemática de decisiones de reabastecimiento de una compañía considerando demanda estocástica, utilizando un esquema de simulación y optimización.

En la categoría de modelos de simulación Montecarlo, en [27] estudian la robustez de un modelo de inventario de múltiples escalones usando el sistema de inventario (R,Q).

En [28] se modela mediante simulación Montecarlo la problemática de la variabilidad en el ciclo de vida del inventario.

En [29] se investiga el efecto de los productos perecederos en el costo total del sistema logístico, beneficio neto, nivel de inventario promedio y nivel de servicio en un sistema de distribución de dos eslabones.

En [30] se considera el problema clásico de un modelo de inventario para un solo periodo con demandas probabilísticas en sucesivos ciclos de inventarios.

Finalmente, en [31] se estudia el balance entre el costo de mantenimiento de inventario y el costo del inventario. Un modelo de simulación es construido para valorar las estrategias (R,S) y (Q,R).

En particular, en la literatura consultada de modelos de simulación Montecarlo para administración de inventarios no se encontraron investigaciones que consideren todas las características asociadas al problema considerado en este trabajo.

METODOLOGÍA

De acuerdo con la revisión de la literatura y la situación objeto de análisis, se ha propuesto una metodología basada en simulación Montecarlo para la solución de la problemática debido a su robustez y a la facilidad de la implementación para pequeñas y medianas empresas, que son en su mayoría las que conforman el sector pesquero colombiano.

La clave de la simulación Montecarlo consiste en crear un modelo analítico del sistema que se quiere analizar, identificando aquellas variables de entrada del modelo. Una vez identificadas dichas variables se realizan experimentos consistentes en: i) generar muestras aleatorias (valores concretos) para las variables de entrada y ii) analizar el comportamiento del sistema ante los valores generados. Tras repetir n veces este experimento se dispondrá de n observaciones sobre el comportamiento del sistema, lo cual será de utilidad para entender el funcionamiento del mismo; obviamente, este análisis será tanto más preciso cuanto mayor sea el número de experimentos que se ejecuten.

Para probar la bondad de la metodología propuesta se seleccionó una compañía del sector de comercialización de pescado, la cual es representativa por su nivel de ventas. El modelo de simulación Montecarlo se desarrolló en varias etapas, y en cada una de ellas se especifica la adaptación a la compañía caso de estudio.

Proceso de abasto

El proceso de pedido y abastecimiento de productos para empresas comercializadoras de pescado se describe a continuación. El inventario final de cada producto en cada período t se ha definido por la ecuación (1).

$$\text{Inventario final}_t = \text{Compras}_t - \text{Ventas}_t - \text{Mermas}_t + \text{Inventario final}_{t-1} \quad (1)$$

Donde Compras_t corresponde a la cantidad comprada de cada producto en el periodo t , Ventas_t a las unidades vendidas en el periodo t y Mermas_t corresponde a la cantidad de producto que se desecha por factores de calidad en el periodo t ; por ejemplo, en el caso del pescado, el producto es desechado por estar almacenado más de 4 días. En algunos periodos de tiempo t , la cantidad $\text{Inventario final}_t$ puede ser negativa, lo cual indica escasez debido a problemas de variabilidad del tiempo de tránsito o incremento de las mermas de productos. Valores negativos indicarían producto faltante. En particular, dos factores que influyen para la existencia de los faltantes son la variabilidad de la demanda de los productos y la variabilidad del “lead time” de los proveedores.

La principal preocupación de las compañías comercializadoras de pescado en Colombia es determinar la cantidad que se va a ordenar de cada producto en cada periodo considerando la variabilidad de la demanda y la variabilidad del “lead time”, de manera que se maximicen las utilidades por periodo. Este problema se torna más complejo para productos perecederos, debido a que estos pueden alcanzar un alto grado de obsolescencia en tiempos relativamente cortos.

En general, las compañías utilizan un sistema de control de inventario probabilístico (s, S) para todos sus productos. En este sistema, s es equivalente al punto de reorden, o sea, el nivel de inventario efectivo para el cual debe emitirse una nueva orden, y S es el nivel máximo de inventario hasta el cual se debe ordenar productos. En particular, en el sistema (s, S) , cada vez que el inventario efectivo llega al nivel del punto de reorden s o está por debajo de él se ordena una cantidad tal que se incremente el inventario efectivo hasta el nivel máximo S . La cantidad que se va a ordenar depende del inventario efectivo y del nivel máximo S , por lo tanto, puede variar entre un período y otro. En esta metodología, las cantidades que se va a ordenar generalmente son variables [8]. En el sistema (s, S) se consideran costos de pedido, costos de mantenimiento de inventario y costos de adquisición.

En el momento en que se genere una merma (producto que está almacenado por más de 4 días) se causa una pérdida equivalente al costo de compra más el costo de mantención de inventario por el número de días. Cuando

ocurre un “stockout” (“falta de inventario”) debido a la variabilidad del “lead time”, el cliente generalmente cancela la orden y la venta se pierde. En este caso en particular se deja de percibir la utilidad neta por la venta del producto.

RESULTADOS

Determinación de distribuciones de probabilidad de demanda y “lead time”

En particular se ha determinado la distribución probabilística de los datos de demanda y “lead time” para cada uno de los productos usando información histórica. Para tal fin se utilizó la función de autoajuste del *software* CrystalBall®. La información de demanda se ha considerado en kilogramos de producto y el “lead time” en días. Para el cálculo de la distribución de los datos de demanda y “lead time” se ha utilizado información histórica diaria de los últimos 2 años de operación de la compañía.

En la tabla 1 se muestran los resultados obtenidos para los datos de demanda de los 4 productos representativos de la compañía (Merluza, Mero-Cherna, Pargo Platero y Corvina). Estos productos han sido seleccionados con base en una clasificación ABC considerando el % de aporte a las ventas como criterio principal.

Para cada producto se ha seleccionado la distribución de probabilidad con mayor “ranking”. Este es determinado por pruebas de bondad y ajuste: Anderson-Darling, Kolmogorov-Smirnov y Chi-cuadrado. Como se puede observar en la tabla 1, tres de los productos siguen una distribución probabilística de demanda Weibull y uno de ellos una distribución de demanda Rayleigh. La distribución de probabilidad del “lead time” corresponde a una función de probabilidad uniforme entre un valor mínimo y un valor máximo (para el caso de estudio se ha considerado entre 1 y 3 días).

Tabla 1. Distribución probabilística de demanda para los productos principales de la compañía caso de estudio

Distribuciones Probabilidad	Producto 1 (Merluza)			Producto 2 (Mero-Cherna)		
	Parámetros	Ranking (%)	Criterio	Parámetros	Ranking (%)	Criterio
Rayleigh	(60.,20.5)	100.00	No rechazar	(59.,21.6)	92.80	No rechazar
LogLogistic	(60.,1.73,23.3)	37.40	No rechazar	(59.,2.76, 25.5)	47.00	No rechazar
Weibull	(6.,1.53,27.7)	21.30	Rechazar	(59.,2.08,30.8)	100.00	No rechazar
Beta	(6.,65.2,1.17,11.96)	8.20	Rechazar			
Uniforme	(6.,65.2)	7.91	Rechazar			
Pearson				(59.,2.12,2.75,2.11)	53.10	No rechazar
Erlang				(59.,4.,7.4)	44.90	No rechazar

Distribuciones Probabilidad	Producto 3 (Pargo Platero)			Producto 4 (Corvina)		
	Parámetros	Ranking (%)	Criterio	Parámetros	Ranking (%)	Criterio
Rayleigh	(33.,26.3)	9.55	No rechazar	(38., 26.3)	9.35	No rechazar
LogLogistic	(33.,3.35,33.3)	66.50	No rechazar	(33.,3.35,33.3)	66.50	No rechazar
Weibull	(33.,2.45,38.2)	79.90	No rechazar	(33.,2.45,38.2)	79.90	No rechazar
Beta	(33.,101.2,2.27,2.55)	25.50	No rechazar	(33.,101.2,2.27,2.55)	25.50	No rechazar
Uniforme						
Pearson				(33.,985,3.54,103)	8.08	No rechazar
Erlang						

Determinación de datos de entrada

En la actualidad, la compañía es proveedora de pescado para grandes superficies a lo largo del territorio colombiano. Los proveedores se encuentran localizados en Buenaventura y Tumaco, los cuales suministran todos los tipos de productos que se comercializan.

Los datos de entrada considerados en el modelo de simulación son: precio de compra, precio de venta, costo de colocar una orden de pedido, costo de mantenimiento de inventario e inventario inicial para cada tipo de producto.

Las tablas 2 y 3 muestran a modo de ejemplo los datos de entrada del modelo de simulación para el producto Mero-Cherna.

En la tabla 2, la primera fila (Adquisición) corresponde al costo de compra; la segunda (Pedido) indica el costo de colocar y procesar una orden; la tercera (Mantenimiento) corresponde al costo de mantenimiento de producto en inventario, y la última columna (Valor Venta) menciona el precio de venta del producto por kilogramo. Nótese que solo ocurre el costo de pedido si se coloca una orden de pedido, y los costos de mantenimiento solo si se debe dejar producto en inventario.

En la tabla 3, la primera columna (Símbolo) corresponde a la notación utilizada para los días de almacenamiento; la segunda (Días de Almacenamiento) corresponde a los días de inventario del producto. Nótese que el número máximo de días que se puede mantener bajo condiciones adecuadas el producto es 4 días. Después de 4 días se convierte en merma y es desechado. Finalmente, la tercera (Inventario Inicial) indica la cantidad de producto (kg) en inventario para cada una de las posibles combinaciones.

Tabla 2. Parámetros iniciales de producto Mero-Cherna

Adquisición [\$/kg.]	7.276
Pedido [\$/Orden]	500
Mantenimiento [\$/día*kg]	1.097
Valor Venta [\$/kg.]	15.600

Tabla 3. Inventario inicial de producto Mero-Cherna

Símbolo	Días	Inventario Inicial [kg.]
	Almacenamiento	
I_0	0	0
I_1	1	60
I_2	2	40
I_3	3	0
I_4	4	5

Determinación de variables de entrada

El modelo de simulación Montecarlo considera la demanda diaria de producto y el "lead time" de cada orden como variables de entrada aleatorias. Una vez determinadas las distribuciones de probabilidad de demanda de cada producto y el "lead time" de cada orden, se generan números aleatorios para las variables de entrada utilizando el *software* CrystalBall®. En particular se han generado simulaciones de la información diaria para un mes completo de operación de una compañía.

Para el caso de estudio, el análisis estadístico de las ventas anteriores del producto Mero-Cherna reveló que la demanda diaria en las instalaciones centrales puede ser aproximada a través de una distribución Weibull (tabla 1). De igual manera, el "lead time" de una orden de pedido se distribuye uniformemente entre 1 y 3 días. La orden se hace siempre al inicio del día para ser entregada por el proveedor en la mañana siguiente.

Determinación de variables de decisión y variable de salida

El modelo de simulación considera como variables de decisión s y S y como variable de salida la utilidad diaria promedio. En particular, la idea general es determinar la mejor política de inventarios (s, S) que maximice la ganancia diaria esperada; considerando que el máximo tiempo de permanencia de un producto en inventario es de 4 días. El producto que supere los 4 días de almacenamiento pierde las cualidades básicas para el consumo humano, por tanto debe ser desechado y se considera una merma.

Para efectos de análisis de la mejor política de inventario (s, S) en la empresa piloto se han considerado cinco opciones: (10,20), (10,50), (20,90), (10,30) y (10,40). Por ejemplo, la política 1 indica que se debe colocar una orden hasta completar una cantidad equivalente a 20 kg, cuando el inventario sea igual o menor a 10 kg. En particular se desea evaluar políticas experimentales que en general son determinadas por las gerencias de la compañía de este sector. En concreto, se evaluaron las políticas determinadas por la gerencia de esta compañía.

Modelo de simulación

En la tabla 4 se muestra un ejemplo de una réplica del modelo de simulación para el producto Mero-Cherna en la compañía piloto. Los datos obtenidos se han determinado con base en la política $s=10$ kg y $S=50$ kg. La columna 1 (Día) indica el día de operación. Las columnas 2 a 6 indican el inventario efectivo de producto con sus días de almacenamiento. Al igual que la tabla 5, I_0 indica el inventario de producto que tiene 0 días de almacenamiento, I_1 indica el inventario de producto que tiene 1 día de almacenamiento, y así sucesivamente. La columna 7 (Total) de la tabla 4 muestra la cantidad total de producto en inventario. Las columnas 8 y 9 de la tabla 4 están relacionadas con el proceso de ordenar. Cuando el valor de Total más la cantidad que se ha ordenado y se ha recibido es menor o igual que s , la columna 8 toma el valor de "Sí", de lo contrario tomaría el valor de "No". Nótese que la columna 9 (Lead Time) se activa solo si la columna 8 ha tomado un valor de "Sí". El valor del Lead Time indica el tiempo total de ciclo de la orden. Las tres columnas restantes (Demanda, Venta Real, Utilidad Neta) corresponden a la demanda en kg de producto, la venta real en kg. de producto y la utilidad promedio diaria, respectivamente.

La política de administración de inventarios se puede calcular mediante el algoritmo 1.

Tabla 4. Modelo de simulación para el producto Mero-Cherna

Día	Inventario Neto					Total [kg.]	Ordenar Pedido		Demanda [kg.]	Venta Real [kg.]	Utilidad Neta [\$]
	I ₀ [kg.]	I ₁ [kg.]	I ₂ [kg.]	I ₃ [kg.]	I ₄ [kg.]		Si/ No	Lead Time [días]			
1	0	60	40	0	5	105	No		12	12	-15.291
2	0	0	60	33	0	93	No		30	30	147.714
3	0	0	0	60	3	63	No		40	40	263.869
4	0	0	0	0	23	23	No		18	18	124.610
5	0	0	0	0	0	0	Si	2	22	0	-500
6	0	0	0	0	0	0	Si	2	16	0	-500
7	50	0	0	0	0	50	No		18	18	94.991
8	50	32	0	0	0	82	No		38	38	226.377
9	0	44	0	0	0	44	No		50	44	318.010
10	0	0	0	0	0	0	Si	2	26	0	-500
11	0	0	0	0	0	0	Si	1	24	0	-500
12	100	0	0	0	0	100	No		20	20	56.790
13	0	80	0	0	0	80	No		32	32	178.624
14	0	0	48	0	0	48	No		26	26	163.781
15	0	0	0	22	0	22	No		32	22	159.005
16	0	0	0	0	0	0	Si	2	56	0	-500
17	0	0	0	0	0	0	Si	3	52	0	-500
18	50	0	0	0	0	50	No		20	20	111.640
19	0	30	0	0	0	30	No		22	22	150.229
20	50	0	8	0	0	58	No		44	44	302.652
21	0	14	0	0	0	14	No		24	14	101.185
22	0	0	0	0	0	0	Si	2	58	0	-500
23	0	0	0	0	0	0	Si	3	28	0	-500
24	50	0	0	0	0	50	No		38	38	261.481
25	0	12	0	0	0	12	No		12	12	86.730
26	50	0	0	0	0	50	No		12	12	45.044
27	0	38	0	0	0	38	No		32	32	224.698
28	0	0	6	0	0	6	Si	1	50	6	42.865
29	44	0	0	0	0	44	No		30	30	201.467
30	0	14	0	0	0	14	No		38	14	101.185

El objetivo es determinar los valores de s y S que maximicen la utilidad diaria promedio ($Utilidad_t$). Si el valor de Demanda es mayor que el valor de la columna Total, el valor de Venta Real es igual a Total. De lo contrario este será igual al valor de la Demanda.

Algoritmo Procedimiento de simulación propuesto

```

INPUT=ValorVenta, CostoAdquisicion, CostoPedido,
CostoMantenimiento,s,S
OUTPUT=Demandat,Ventast,Pedidot,Utilidadt
For t = 1...30
    temp = Demandat = RandomDemand()
    For h = 4...0
        Ih = max{ 0, Ih - temp}
        temp = min{0, Ih - temp}
    Ventast = Demandat - temp
    Merast = I4
    For h = 4...1
        Ih = Ih-1
    I0 = Pedidot
    Totalt = ∑h Ih
    If Totalt < s
        u = t + RandomLeadTime()
        Pedidou = S
    Utilidadt = (ValorVenta - CostoAdquisición) * Ventast
                - CostoPedido * Ipedidot>0
                - CostoMantenimiento * Totalt
                - CostoAdquisición * Mermast

```

Generación de réplicas y análisis de datos de salida

En un modelo de simulación, cada réplica representa una única muestra. Por tal motivo es necesario realizar un número determinado de réplicas que permita asegurar la calidad de los datos de salida. Siempre que se ejecuta una réplica se inicializan las variables de entrada y se analizan los resultados obtenidos con las variables de salida y de decisión.

En particular se han realizado 1000 réplicas del modelo de simulación con la empresa piloto para el análisis de 5 políticas de inventario (s, S). Este número resulta mayor al tamaño de muestra requerido para un muestreo aleatorio simple con un nivel de confianza del 99 %. En la tabla 5 se resumen los resultados para el caso particular del producto Mero-Cherna.

Tabla 5. Resultados del Modelo de simulación para el producto Mero-Cherna

Política	1	2	3	4	5
(s,S)	(10,20)	(10,50)	(20,90)	(10,30)	(10,40)
Media [\$]	78.516	105.151	97.407	93.762	103.73
Desviación [\$]	5.227	12.963	20.07	7.865	10.866
Coef. de Variación	6,66	12,33	20,60	8,39	10,48
Nivel Confianza [%]	95%	95%	95%	95%	95%
Límite Inferior [\$]	76.784	100.856	90.758	91.156	100.13
Límite Superior [\$]	80.247	109.445	104.056	96.367	107.33

Como se puede observar en la tabla 5, la política que maximiza la utilidad promedio (Media) es la 2. Sin embargo, la política de menor riesgo medido en términos del menor coeficiente de variación (Coef. de Variación) es la 1. Es decir, que en el caso que se decide generar la mayor riqueza diaria promedio debería optarse por considerar un nivel de inventario mínimo $s=10$ kg y un inventario máximo de $S=50$ kg. Ahora bien, si se decide implementar la política más conservadora en términos de riesgo, se debería considerar $s=10$ kg y $S=20$ kg.

En general, las bondades del modelo propuesto se basan en la representación simple y adecuada del modelamiento de la variabilidad de los datos de entrada. Sin embargo, requiere que dichos datos se puedan modelar con una distribución de probabilidad asociada con un nivel de significancia alto; siendo esta una limitante del modelo propuesto.

CONCLUSIONES

En este artículo se propone una metodología simple y efectiva para el problema de determinar una política de administración de inventarios de productos perecederos para empresas comercializadoras de pescado.

La metodología propuesta, basada en simulación Montearlo, ha sido evaluada con información real obtenida de una compañía comercializadora de pescado representativa de este sector.

Los experimentos realizados muestran que la metodología propuesta proporciona información que ayuda en el proceso de toma de decisiones táctica-operativa, eliminando las conjeturas y pensamientos intuitivos tras la implementación de técnicas y herramientas analíticas en el proceso del soporte a la toma de decisiones.

En el presente, varias compañías han extendido el uso de esta metodología a los diversos productos perecederos del mar que comercializan, y han logrado un soporte metodológico en la toma de sus decisiones de inventario. Los resultados obtenidos sugieren que la metodología puede ser aplicada para la determinación de la política de inventarios para otros productos perecederos.

Origen de subvenciones: Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el proyecto FONDECYT "Heuristic for Electric Multi Depot Vehicle Routing Problem", con código 11150370 y fecha 30 de noviembre de 2015.

REFERENCIAS

- [1] FAO, The state of world fisheries and aquaculture: Rome: Food & Agriculture Org., 2012. [Online]. Available FTP: <http://www.fao.org/docrep/016/i2727e/i2727e00.htm> File: The State of World Fisheries and Aquaculture.pdf
- [2] B. B. Keskin *et al.*, "A simulation-optimization approach for integrated sourcing and inventory decisions", *Computers & Operations Research*, vol. 37, n° 9, pp. 1648-1661, 2016. Doi:10.1016/j.cor.2009.12.012.
- [3] J. W. Escobar *et al.*, "A hybrid metaheuristic algorithm for the capacitated location routing problem", *DYNA*, vol. 82, n°189, pp. 243-251, 2015.
- [4] J. W. Escobar and R. Linfati, "Un algoritmo metaheurístico basado en recocido simulado con espacio de búsqueda granular para el problema de localización y ruteo con restricciones de capacidad", *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, vol. 11, n° 21, 2014.
- [5] J. W. Escobar, "Modelación y optimización de redes de distribución de productos de consumo masivo con elementos estocásticos", in *Proceedings of XIV Latin American Summer Workshop on Operations Research (ELAVIO)*, El Fuerte, Mexico, 2009.

- [6] J. W. Escobar *et al.*, "Optimización de redes de distribución de productos de consumo masivo en condiciones de riesgo", in *Proceedings of XXXIII Congreso Nacional de Estadística e Investigación Operativa (SEIO)*, Madrid, España, mayo de 2012.
- [7] Decreto N° 561 de 1984, Ministerio de Salud, República de Colombia, 1984.
- [8] H. N. Chiu, "A heuristic (R, T) periodic review perishable inventory model with lead times", *International Journal of Production Economics*, vol. 42, n° 1, pp. 1-15, 1995. Doi: 10.1016/0925-5273(95)00119-0.
- [9] S. Zanoni and L. Zavanella, "Single-vendor single-buyer with integrated transport-inventory system: Models and heuristics in the case of perishable goods", *Computers & Industrial Engineering*, vol. 52, n° 1, pp. 107-123, 2007. Doi:10.1016/j.cie.2006.10.005
- [10] R. A. C. M. Broekmeulen and K. H. van Donselaar, "A heuristic to manage perishable inventory with batch ordering, positive lead-times, and time-varying demand", *Computers & Operations Research*, vol. 36, n° 11, pp. 3013-3018, 2016. Doi:10.1016/j.cor.2009.01.017
- [11] A. Arreola-Risa *et al.*, "Optimizing stochastic production-inventory systems: A heuristic based on simulation and regression analysis", *European Journal of Operational Research*, vol. 213, n° 1, pp. 107-118, 2011. Doi:10.1016/j.ejor.2011.02.031
- [12] E. P. Chew *et al.*, "Joint inventory allocation and pricing decisions for perishable products", *International Journal of Production Economics*, vol. 120, n° 1, pp. 139-150, 2009. Doi:10.1016/j.ijpe.2008.07.018
- [13] H. N. Chiu, "An approximation to the continuous review inventory model with perishable items and lead times", *European Journal of Operational Research*, vol. 87, n° 1, pp. 108-93, 1995b. Doi:10.1016/0377-2217(94)00060-P
- [14] N. Ravichandran, "Stochastic analysis of a continuous review perishable inventory system with positive lead time and Poisson demand", *European Journal of Operational Research*, vol. 84, n° 2, pp. 444-457, 1995. Doi:10.1016/0377-2217(93)E0254-U
- [15] H. Ishii and T. Nose, "Perishable inventory control with two types of customers and different selling prices under the warehouse capacity constraint", *International Journal of Production Economics*, vol. 44, n° 1-2, pp. 167-176, 1996. Doi:10.1016/0925-5273(95)00102-6
- [16] O. Fujiwara *et al.*, "An optimal ordering and issuing policy for a two-stage inventory system for perishable products", *European Journal of Operational Research*, vol. 99, n° 2, pp. 412-424, 1997. Doi:10.1016/S0377-2217(95)00365-7

- [17] B. C. Giri and K. S. Chaudhuri, "Deterministic models of perishable inventory with stock-dependent demand rate and nonlinear holding cost", *European Journal of Operational Research*, vol. 105, n°3, pp. 467-474, 1998. Doi:10.1016/S0377-2217(97)00086-6
- [18] C. L. Williams and B. E. Patuwo, "A perishable inventory model with positive order lead times", *European Journal of Operational Research*, vol. 116, n° 2, pp. 352-373, 1999. Doi:10.1016/S0377-2217(98)00105-2
- [19] M. Ferguson *et al.*, "Note: An application of the EOQ model with nonlinear holding cost to inventory management of perishables", *European Journal of Operational Research*, vol. 180, n° 1, pp. 485-490, 2007. Doi:10.1016/j.ejor.2006.04.031
- [20] K. Graddy and G. Hall, "A dynamic model of price discrimination and inventory management at the Fulton fish market", *Journal of Economic Behavior & Organization*, vol. 80, n° 1, pp. 6.19, 2011. Doi:10.1016/j.jebo.2010.08.018
- [21] J. C. Hayya *et al.*, "Cost relationships in stochastic inventory systems: A simulation study of the (S, S=1, t=1) model," *International Journal of Production Economics*, vol. 130, n° 2, pp. 196-202, 2011. Doi:10.1016/j.ijpe.2010.12.012
- [22] T. Wang, "Joint advertising and ordering strategies for perishable product under general demand", *Artificial Intelligence and Computational Intelligence*. Berlin-Heidelberg: Springer, 2011, pp. 525-532.
- [23] Y. Duan *et al.*, "Inventory models for perishable items with inventory level dependent demand rate", *Applied Mathematical Modelling*, vol. 36, n° 10, pp. 5015-5028, 2016. Doi:10.1016/j.apm.2011.12.039
- [24] P. Ignaciuk and A. Bartoszewicz, "LQ optimal sliding-mode supply policy for periodic-review perishable inventory systems", *Journal of the Franklin Institute*, vol. 349, n° 4, pp. 1561-1582, 2016. Doi:10.1016/j.jfranklin.2011.04.003
- [25] E. Fleisch and C. Tellkamp, "Inventory inaccuracy and supply chain performance: A simulation study of a retail supply chain", *International Journal of Production Economics*, vol. 95, n° 3, pp. 373-385, 2005. Doi:10.1016/j.ijpe.2004.02.003
- [26] J. D. Schwartz *et al.*, "Simulation-based optimization of process control policies for inventory management in supply chains", *Automatica*, vol. 42, n° 8, pp. 1311-1320, 2016. Doi:10.1016/j.automatica.2006.03.019
- [27] Y-S. Tee and M. D. Rossetti, "A robustness study of a multi-echelon inventory model via simulation", *International Journal of Production Economics*, vol. 80, n° 3, pp. 265-277, 2002. Doi:10.1016/S0925-5273(02)00259-1
- [28] G. W. Sonnemann *et al.*, "Uncertainty assessment by a Monte Carlo simulation in a life cycle inventory of electricity produced by a waste incinerator",

Journal of Cleaner Production, vol. 11, n° 3, pp. 279-292, 2003. Doi:10.1016/S0959-6526(02)00028-8

- [29] K. Kanchanasuntorn and A. Techanitisawad, "An approximate periodic model for fixed-life perishable products in a two-echelon inventory-distribution system", *International Journal of Production Economics*, vol. 100, n° 1, pp. 101-115, 2006. Doi:10.1016/j.ijpe.2004.10.010
- [30] I. S. Kevork, "Estimating the optimal order quantity and the maximum expected profit for single-period inventory decisions", *Omega*, vol. 383, n° 4, pp. 218-227, June 2010. Doi:10.1016/j.omega.2009.09.005
- [31] D. Fu-gui, L. Hui-mei, and L. Bing-de, "Agent-based simulation model of single point inventory system", *Systems Engineering Procedia*, vol. 4, pp. 298-304, 2012. Doi:10.1016/j.sepro.2011.11.079