

Dinámica de sistemas para la administración del riesgo en la cadena de suministro en escenarios de producción híbridos MTS/MTO con productos de vida útil corta

*System dynamics for supply chain risk management in hybrid MTS/MTO
production scenarios with short shelf-life products*

Gloria Milena Osorno-Osorio¹  <https://orcid.org/0000-0003-1554-3457>

Lucas Ramírez Rodríguez²  <https://orcid.org/0000-0002-3824-1497>

Carmen Elena Patiño-Rodríguez²  <https://orcid.org/0000-0001-6040-4734>

Recibido 13 de Marzo de 2023, aceptado 18 de diciembre de 2023

Received: March 13, 2023 Accepted: December 18, 2023

RESUMEN

En este artículo se presenta un modelo para la Administración del Riesgo en la Cadena de Suministro (SCMR) que tiene por objetivo desarrollar una metodología de abastecimiento de materias primas para definir políticas de gestión del flujo de materiales, bajo escenarios híbridos Make to order (MTO) y Make to Stock (MTS), que consideran el análisis de los riesgos y costos operacionales de abastecimiento de productos con vida útil corta. Se identifican y miden los riesgos de acuerdo con los criterios de posicionamiento de inventarios, mediante un modelo de Dinámica de Sistemas (DS) que varía la demanda y los niveles de producción en contextos valorizados. El modelo muestra que el uso de una metodología híbrida disminuye los costos operativos y mejora el indicador de nivel de servicio. La evaluación de diferentes configuraciones para establecer el punto de posicionamiento del inventario en condiciones particulares de los procesos de planificación y logística en una CS, es la principal contribución de la metodología propuesta. Esta metodología fue evaluada en una empresa colombiana de productos alimenticios con vida útil corta.

Palabras clave: SCRM, MTO, MTS, vida útil corta, dinámica de sistemas.

ABSTRACT

This article introduces a Supply Chain Risk Management (SCMR) model aiming to develop a raw material sourcing methodology to define material flow management policies under hybrid Make to Order (MTO) and Make to Stock (MTS) scenarios, which consider the analysis of risks and operational costs of supplying products with short shelf life. This model identifies and measures risks according to inventory positioning criteria, using a System Dynamics (SD) model that varies demand and production levels in value-adjusted contexts. The model shows that a hybrid methodology decreases operating costs and improves the service level indicator. The main contribution of the proposed methodology is the assessment of different configurations to establish the inventory positioning point in particular conditions of the planning and logistics processes in a CS. The methodology was assessed in a Colombian company of food products with short-term shelf life.

Keywords: SCRM, MTO, MTS, short shelf-life, system dynamics.

¹ Unidad Central del Valle del Cauca. Ingeniería Industrial. GEIPRO. Tuluá, Colombia. E-mail: gosorno@uceva.edu.co

² Universidad de Antioquia. Ingeniería Industrial. ALIADO. Medellín, Colombia.

E-mail: lucasrr.91@gmail.com; elena.patino@udea.edu.co

* Autor de correspondencia: gosorno@uceva.edu.co

INTRODUCCIÓN

Se ha evidenciado en diferentes partes del mundo, alteraciones en las condiciones de vida generadas por los efectos del cambio climático, los altos volúmenes de contaminación medioambiental y la pérdida progresiva de la diversidad, lo cual aumenta la vulnerabilidad y hace relevante la necesidad de analizar las Cadenas de Suministro (CS) a partir de la identificación, evaluación y administración del riesgo [1].

Las prácticas de producción, almacenamiento y transporte en las CS requieren desarrollar metodologías para la evaluación del riesgo soportadas en herramientas cuantitativas [2].

La administración de la CS y la investigación asociada al riesgo se ha trabajado usando el término SCRM por sus siglas en inglés *Supply Chain Risk Management* [3], [4].

Varios autores han definido SCRM con aplicaciones en diferentes contextos y eslabones de la CS [5], [6]. El SCRM se define en función de la probabilidad y el impacto que genera la ocurrencia de eventos inesperados con efectos adversos en aspectos estratégicos, tácticos u operacionales [7], [8].

En determinados procesos productivos, la naturaleza intrínseca de los productos involucra una exposición significativa a diversos riesgos. Las organizaciones especializadas en la manipulación y transformación de alimentos enfrentan condiciones adversas inherentes a la industria, agravadas por la perecibilidad de los materiales. Este contexto condiciona la configuración de sus procesos. Por ejemplo, para prolongar la vida útil de los materiales, se necesita establecer, mantener y mejorar de manera continua una cadena de frío óptima, adaptada a las exigencias específicas de cada producto, lo que se traduce en un aumento de los costos asociados con la gestión del inventario. Esta gestión es un aspecto crítico al abordar los desafíos globales previamente expuestos. Su planificación adecuada puede tener un impacto positivo en los indicadores operativos y estratégicos. Además, determinar el punto y la cantidad de inventario a posicionar o almacenar se convierte en un reto para las CS.

En la gestión del riesgo existen factores como, el comportamiento del consumidor, la variabilidad de la demanda y los efectos del deterioro del producto

que se pueden modelar para facilitar la programación de la producción con el objetivo de minimizar la exposición al riesgo, especialmente en contextos de problemas que consideran varios productos, líneas de producción y períodos incorporando en la función objetivo componentes que incluyen la vida útil de la materia prima. Estos problemas se han trabajado por medio de modelos multiobjetivo, comparando valores financieros con valores asociados a la vida útil [9], [10], [11].

La aplicación de Dinámica de Sistemas (DS) para modelar riesgos en las CS brinda oportunidades de investigación. La DS ofrece beneficios, tales como la capacidad para establecer interrelaciones entre las variables, la capacidad de verificar la sensibilidad de los resultados y la facilidad en la construcción y comprensión de la estructura de la CS [12]-[15]. El presente trabajo responde a la pregunta ¿Cómo minimizar los riesgos y costos operacionales a partir de una metodología para el abastecimiento de materias primas en CS de productos con vida útil corta y que operan bajo políticas *Make to Order* (MTO) y *Make to Stock* (MTS)?

Mediante la DS, se simularon diferentes escenarios para el control del flujo de materia prima con corto ciclo de vida y que es usada en la producción de alimentos. La principal contribución de la metodología propuesta está en determinar los niveles de posicionamiento de inventarios. Se identifican, evalúan y mitigan los riesgos que generan pérdida de material y afectan el nivel de servicio. Se comparan y validan tres configuraciones: MTO, MTS según *Demand Driven Material Requirements Planning* (DDMRP) y MTS según cobertura.

El documento se divide en seis secciones. Inicialmente se describe el contexto teórico enfocado a la Administración del Riesgo en CS. Posteriormente, se presenta la metodología para desarrollar el modelo de SCRM. Luego, se aborda el modelo de simulación explicando la hipótesis dinámica, las variables y parámetros del modelo. Finalmente, se presenta la discusión a partir de la validación del modelo, análisis de escenarios y conclusiones del estudio.

ADMINISTRACIÓN DEL RIESGO EN CS

En esta sección se aborda el contexto teórico para los conceptos de riesgo, SCRM, vida útil corta y

administración del flujo de material e inventarios bajo las metodologías MTS y MTO.

Para entender la relevancia y la interrelación entre las palabras clave se usó el software VOSviewer® (Figura 1).

La identificación del riesgo como área de estudio en las CS de alimentos [16] se vincula con la ubicación de sus eslabones y la exigencia de tener datos en las etapas iniciales de la CS, facilitando la activación de las secuencias de producción mediante el suministro de materias primas [17]-[20].

Las primeras fuentes de riesgo en CS se asocian a los proveedores y se desarrollan modelos que facilitan la evaluación y selección de proveedores en función de su cumplimiento [21], [22]. La literatura reporta el uso de herramientas semicuantitativas como el Proceso de Análisis Jerárquico (AHP), TOPSIS (*Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution*) Lógica Difusa (*Fuzzy Logic*) [23], [24], [25]. El análisis y la medición del riesgo, se realiza a partir de modelos cuantitativos y cualitativos basados en técnicas de optimización con diferentes criterios y objetivos [26], [27].

La evolución de la SCRM continua con la inclusión de riesgos derivados de fluctuaciones en la demanda y *lead time*. Se aplican metodologías orientadas a la minimización de los costos o la maximización de

los beneficios financieros. Las metodologías usadas con mayor frecuencia fueron: *Game Theory* (GT), *Fuzzy Optimization* (FO), *Goal Programming* (GP), *Mixed-Integer Linear Programming* (MILP), *Linear Programming* (LP), Simulación y Programación Difusa [28], [29], [30].

Al analizar la evolución de los conceptos asociados a SCRM se identifican oportunidades de investigación en temáticas sobre la administración del riesgo que involucra aspectos de sostenibilidad [26], [31], [32], [33]. Se encontraron trabajos basados en criterios e indicadores para seleccionar proveedores, examinar la necesidad de espacio para el acopio de productos con fechas de caducidad, investigar la evolución de la trazabilidad en CS en la industria alimenticia, reconocer las prácticas en la gestión sostenible de CS y explorar metodologías para categorizar y comprender las relaciones causales en CS [34]-[38].

Se puede deducir que los sistemas que combinan MTO/MTS están siendo objeto de investigación mediante diversas técnicas. Son pocos los estudios que cuantifican el riesgo como una función entre la probabilidad y la consecuencia de alguna disrupción en la CS.

Para sintetizar en el análisis y en la medición del riesgo, se encuentran modelos de simulación, de optimización y estadísticos.

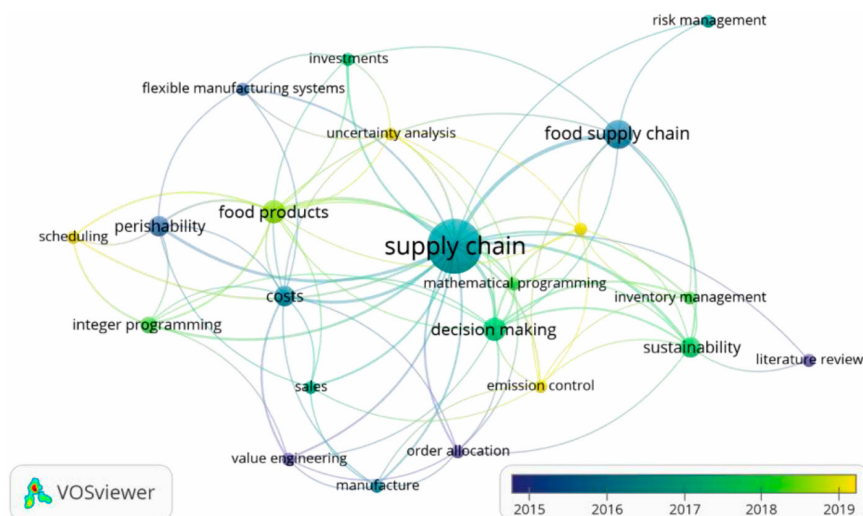


Figura 1. Red bibliométrica del SCRM.

En los modelos estadísticos, se destacan *Probabilistic Models* (PM), *Multiple Regression Techniques* (MRT), *Structural Equations* (SE), *Bayesian Networks* (BN) y *Probabilistic Risk Assessment* (PRA).

En los modelos de simulación, sobresalen las metodologías Monte Carlo, *Discrete Event* (DE), y *Agent-Based* (AB). En los modelos matemáticos, los más recurrentes son *Dynamic Models*, *Stochastic Programming* (DMSP), *Data Envelopment Analysis* (DEA), *Robust Optimization* (RO) y *Evolutionary Multiobjective Optimization* (EMO) [26],[39]. Todos estos modelos pueden integrar reglas de priorización de Demanda y de Precio para lograr eficiencias en los costos operativos y un aumento en el volumen de pedidos [13].

En las ubicaciones de la CS que consideran puntos de desacople, el inventario se administra bajo un sistema MTS, mientras que en los lugares que no se almacena inventario, la gestión se lleva a cabo mediante la política de inventario MTO. En relación a los sistemas que combinan políticas MTO y MTS se evidencian trabajos con enfoque en tecnologías emergentes y efectos en la reducción de costos e incremento en los niveles de servicio. La configuración de estaciones de trabajo con máquinas paralelas o en serie y el uso de metodologías para el seguimiento y monitoreo de indicadores de desempeño entre los que se destacan el índice de ocupación, nivel de producto final, número de órdenes de pedidos, tiempo de entrega y nivel de servicio, han sido estudiadas e influyen en las decisiones estratégicas que se toman con relación al posicionamiento de inventario y determinan el *lead time* para el cliente [40]-[45].

La vida útil es el periodo durante el cual un producto mantiene sus propiedades físicas y químicas en ausencia de contaminantes, patógenos u otras sustancias que puedan representar un peligro para la salud.

A través de los años los productos perecederos han recibido diversas clasificaciones en función del tipo de perecibilidad y el tipo de producto. En la categoría perecibilidad se encuentran la de vida útil fija y variable, descomposición directa, agotamiento físico, obsolescencia, rentabilidad y con limitaciones en la regulación [9], [11], [46], [47].

La carne es un producto perecedero de vida útil variable, que presenta deterioro físico con el paso del tiempo y que al final de su vida útil es considerado un obsoleto que pierde sus características fisicoquímicas, microbiológicas y organolépticas, luego de lo cual no puede ser utilizado para el consumo humano.

Lo anterior, permite el diseño de políticas óptimas de reabastecimiento de inventario de materia prima, al identificar el mayor número de factores para la ubicación estratégica del inventario, bajo indicadores de eficiencia y de productividad [48].

A partir de la literatura estudiada se encuentra que las temáticas desarrolladas se pueden consolidar en localización de eslabones e información compartida, configuración de abastecimiento y producción, poder de negociación, además, de la identificación de fuentes de riesgo asociadas con los proveedores y el desarrollo de modelos.

Además, un sistema productivo puede pasar de un modelo MTO a un modelo MTS al incorporar variables como la demanda para decidir el punto en cuál se debe localizar el inventario. En un mismo sistema pueden coexistir las dos modelos que requieren de políticas basadas en metodologías como Demand Driven MRP (DDMRP) para gestionar los inventarios [29].

METODOLOGÍA

Se desarrollaron cinco etapas metodológicas que se abordan a partir de los conceptos teóricos de SCRM. El punto de partida de la metodología es describir y comprender las propiedades de la CS. En una segunda etapa, se reconocen los factores de riesgo que pueden afectar la producción para medir, analizar y generar estrategias de mitigación del riesgo. Por último, se evalúan diferentes escenarios financieros sobre la materialización del riesgo (Figura 2).

En cada etapa metodológica se usaron diferentes técnicas para la recopilación sistemática de respuestas a preguntas predefinidas. Además de diálogo directo entre el equipo investigador y los expertos para obtener información detallada que se complementó con la revisión de la literatura. De allí, se definieron los criterios y parámetros que se analizaron en el modelo de DS y se obtuvo un registro sistemático de comportamientos y condiciones de operaciones,

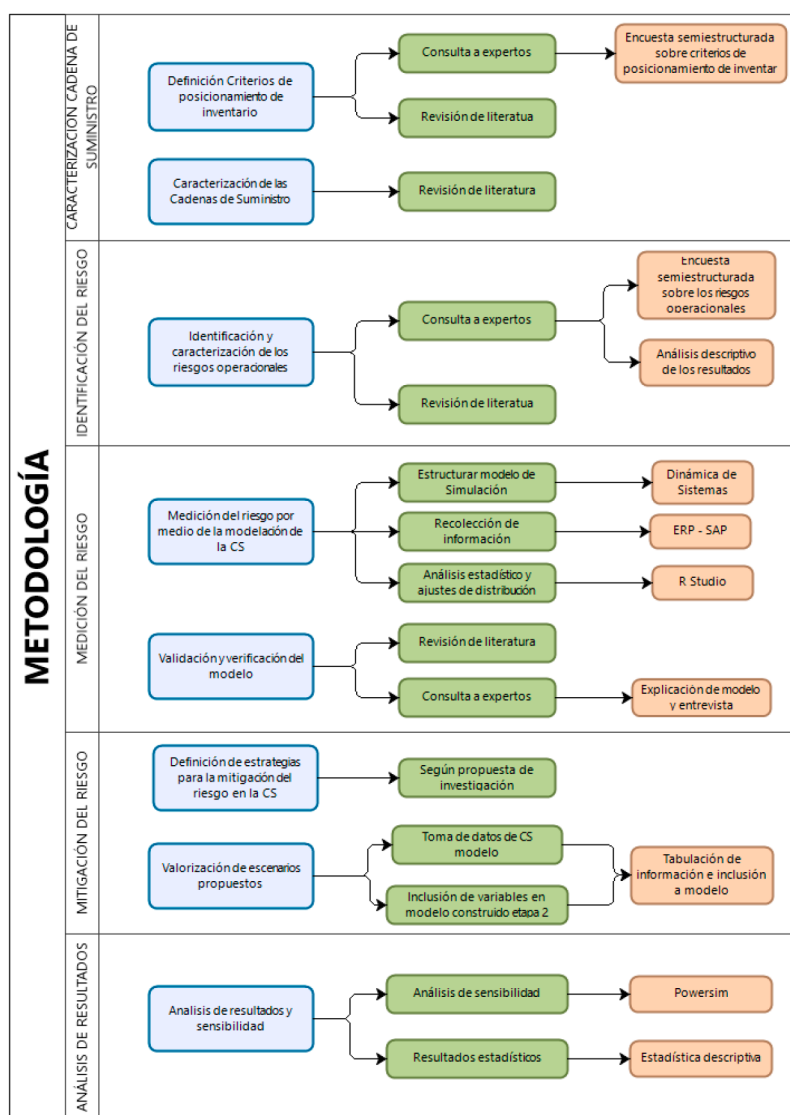


Figura 2. Descripción de las etapas metodológicas desarrolladas en el trabajo.

así como revisión y extracción de información de documentos existentes, como artículos técnicos, informes, archivos o registros.

La primera etapa está asociada con la Caracterización de la CS e incluye la definición de los criterios de posicionamiento de inventario que dependen de la metodología usada para formular las políticas de administración de inventarios y, la comprensión de las características claves de la CS. Las variables relevantes son identificadas después de establecer los criterios de posicionamiento.

Posteriormente, en la segunda etapa, se identifica el riesgo con la opinión de expertos que diligenciaron encuestas semiestructuradas, valorando y priorizando los riesgos operativos usando la evaluación de las consecuencias y la frecuencia de ocurrencia. El valor resultante en la ecuación (1), se toma como la evaluación individual para cada riesgo, con lo cual es posible construir la matriz de riesgo.

$$C_R = \sum_{Encuestados} P_i \sum_{Encuestados} S_i \quad (1)$$

La tercera etapa corresponde a la medición del riesgo con un modelo de simulación que establece un control para el flujo de material con vida útil corta en una CS, en términos del costo y el riesgo en las operaciones. En esta etapa se toman decisiones sobre el punto de penetración de pedido, donde coinciden las necesidades de determinar las cantidades requeridas en cada nodo para el flujo *push* y el flujo *pull*. El modelo desarrollado requiere ser validado y verificado para generar confiabilidad en sus resultados [39]. Para el desarrollo de esta etapa se toma como guía la metodología propuesta por Forrester y Senge [40].

En la etapa cuatro se definen las estrategias para la mitigación del riesgo en la CS que son valorizadas con diferentes indicadores financieros. El modelo desarrollado fue validado en dos fases y verificado para generar confiabilidad en sus resultados [39]. Se validó, la estructura del modelo donde se evaluó la arquitectura, se verificaron los parámetros bajo condiciones extremas, los límites al igual que la consistencia dimensional del modelo. La validación del comportamiento consideró un análisis de la capacidad de reproducibilidad, predicción, comportamiento anómalo del sistema y la sensibilidad del modelo.

Por último, las estrategias para la mitigación del riesgo en la CS se valoraron con diferentes parámetros de costos operativos y costos generados por la ocurrencia del riesgo.

La etapa cinco, corresponde al análisis de resultados y de sensibilidad de los escenarios analizados en el modelo.

MODELO DE DS PARA EL POSICIONAMIENTO DE INVENTARIOS

Para realizar la caracterización de la CS se consideran dos aspectos, el primero de ellos la definición de los criterios para el posicionamiento de inventario, a partir de ellos se define el segundo aspecto asociado a las características y parámetros en la CS. Adicionalmente, para realizar la modelación DS para la administración del riesgo en la CS en escenarios de producción híbridos MTS/MTO con productos de vida útil corta fue necesario identificar los riesgos que se pueden materializar en la CS.

Los criterios para el posicionamiento de inventarios fueron validados por personas expertas mediante el uso de la metodología de AHP y corresponden a *lead time*, apalancamiento y flexibilidad de inventario, pedidos de venta (horizonte), variabilidad externa, tiempo tolerado por el cliente y protección de la operación crítica, siendo los dos últimos los más relevantes para los expertos, como se muestra la Tabla 1 del Apéndice.

Los parámetros y las características clave en la CS, el número de niveles, las unidades de medidas correspondientes, la identificación, valoración y clasificación de los riesgos, así como las consecuencias de su materialización, permitieron la generación de la hipótesis dinámica, fundamentada en siete componentes principales y sus interacciones (Figura 3).

El modelo tiene dos ciclos de balance. El primer ciclo está relacionado con la producción de material refrigerado (B1), vinculado al proceso de transformación y cuyo inventario al vencerse, influye negativamente en el cumplimiento de los pedidos. En el segundo ciclo se analiza la producción de materia prima congelada (B2). La variable Costos es usada para unificar los flujos de causalidad del proceso y su impacto con relación a los riesgos operativos. El vencimiento de la materia prima aumenta el impacto en el proceso productivo y tiene relación con la disponibilidad de materia prima refrigerada. Este riesgo se podría controlar incrementando la cantidad de materia prima congelada y adicionando costos al proceso productivo. En el mismo sentido, los faltantes de materia prima y los vencimientos generan incumplimientos en la producción; lo cual se puede contrarrestar teniendo inventario de materia prima

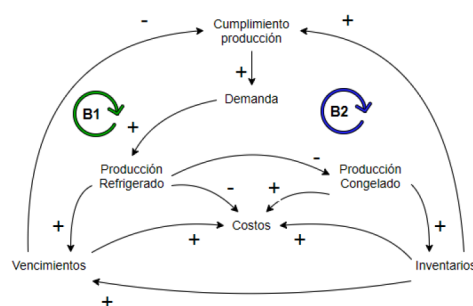


Figura 3. Componentes e interacción en la hipótesis dinámica [29].

congelada. Se puede concluir, que las variaciones en el costo permiten analizar financieramente las variables de la operación y del riesgo, así como describir el nivel de impacto que tienen los vencimientos y los agotados en la toma de decisiones.

Las cantidades a producir y consumir se toman de forma independiente, con la misma función de densidad de probabilidad e iguales parámetros (Figura 4).

En la Figura 5 se evidencian las decisiones a tomar relacionadas con la cantidad de la Materia Prima Cárnica (MPC) a refrigerar o congelar en el Punto de Penetración de Pedido.

El proceso de descongelación de MPC activa el proceso logístico de almacenamiento, modificando el estado de la vida útil de MPC (Figura 6).

La materia prima que se refrigera directamente es controlada por orden de llegada y por el tiempo que queda para vencerse e influye en los traslados que se deben realizar entre la planta de deshuese y la planta de producción (Figura 7).

Seguidamente, es necesario modelar, el flujo de consumo de la MPC remanente que se puede transformar, pero con disminución en su vida útil (Figura 8).

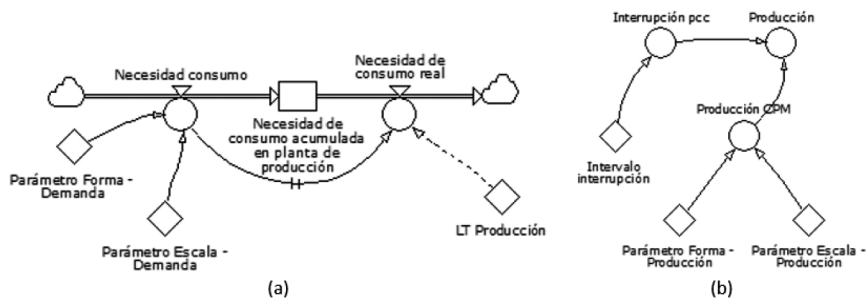


Figura 4. (a) Necesidades de consumo. (b) Cantidad a producir [29].

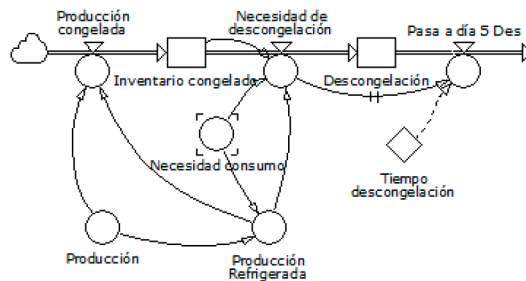


Figura 5. Cantidad de MPC a refrigerar o congelar [29].

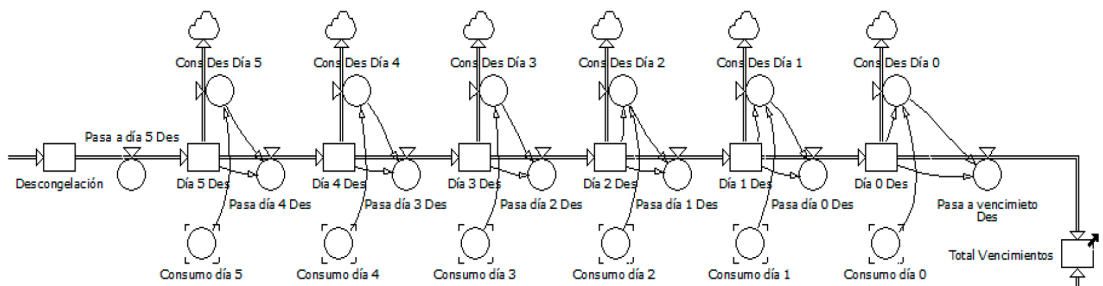


Figura 6. Flujo de MPC descongelada [29].

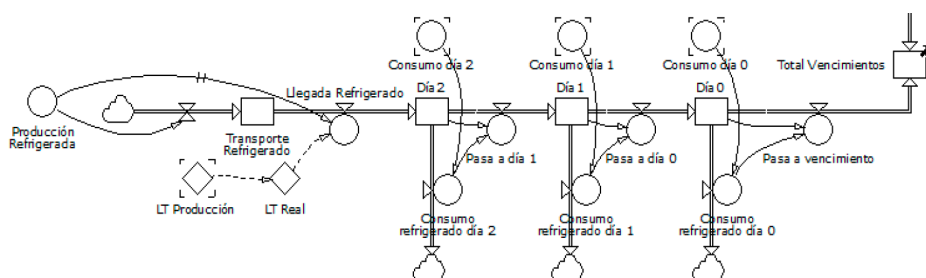


Figura 7. Flujo de MPC refrigerada [29].

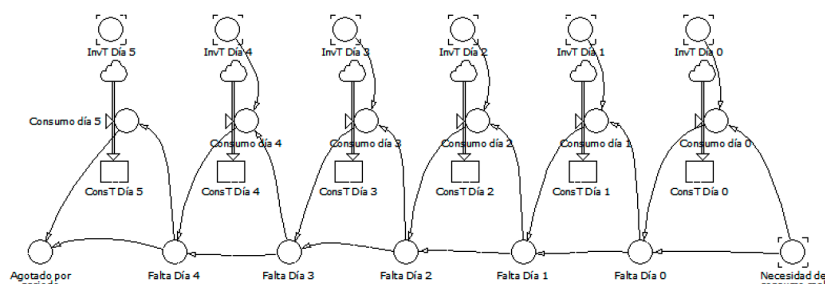


Figura 8. Flujo del consumo de la MPC remanente [29].

En la Figura 9 se explican las relaciones existentes entre los asociados al proceso. El costo de inventario refrigerado es afectado por el costo de inventario congelado. El costo total de descongelación es afectado por el número de días remanentes de la MPC y el costo unitario asociado a este proceso. Además, el costo total de vencimientos depende de la cantidad de MPC vencida. El costo total de

agotados depende de la cantidad de MPC faltante y del tiempo de ciclo.

La metodología MTS según DDMRP utiliza cuatro franjas de colores. Para lo cual se calcula el promedio de los últimos 15 días de la demanda (*ADU*) (Figura 10a), tiempo entre órdenes (*F*), *lead time* (*LT*) y las constantes de variabilidad para el

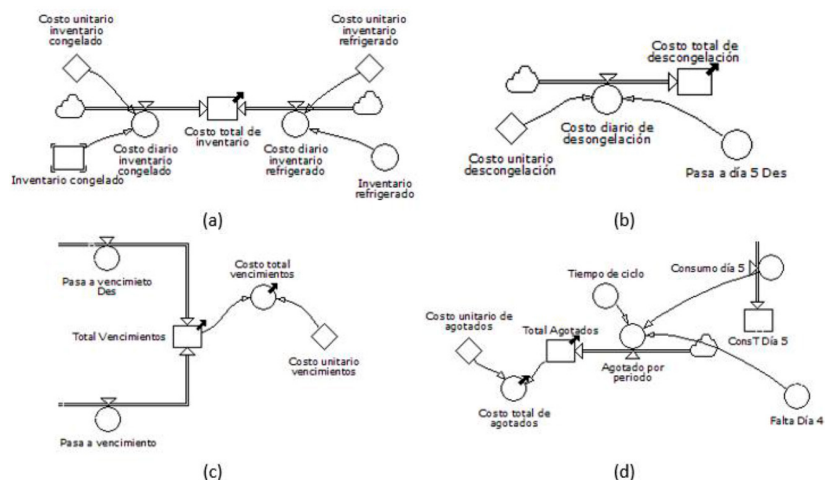


Figura 9. Componentes del costo: a) Inventario, b) Descongelación, c) Vencimientos, d) Agotados [29].

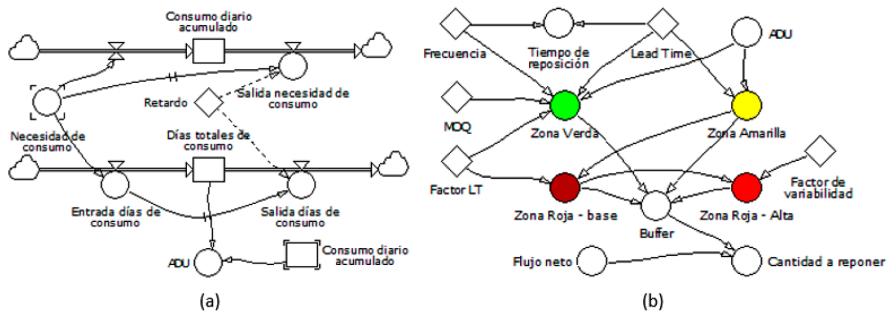


Figura 10. Componentes del amortiguador de la política MTS según DDMRP. (a) ADU, (b) MPC a reponer [29].

Lead Time (δ) y para la demanda (γ). Estas cuatro franjas se pueden explicar de la siguiente manera:

- Franja Verde: $FV = \max \{MOQ, ADU \cdot F, \delta \cdot LT\}$.
- Franja Amarilla: $FA = ADU \cdot LT$.
- Franja Roja Inferior: $FRI = (ADU \cdot LT) \cdot \delta$.
- Franja Roja Superior: $FRS = [(ADU \cdot LT) \cdot \delta] \cdot \gamma$.

La sumatoria de las franjas genera el amortiguador de inventario (AI). La diferencia entre el inventario existente y el inventario en tránsito determina la cantidad de MPC a reabastecer (Figura 10b).

Para la metodología MTS según cobertura, el cálculo del ADU es útil para determinar el amortiguador [29]. La diferencia entre el valor del amortiguador y el inventario en tránsito definen la cantidad de MPC a reabastecer (Figura 11).

La metodología propuesta refuerza la importancia de vincular en la modelación los costos y el riesgo operacional conjuntamente. El modelo de DS

incluye los niveles de las características de la MPC. Además, permite el seguimiento del porcentaje de consumo considerando la vida útil, monitoreado diariamente. Sin embargo, no considera el lugar de almacenamiento de la materia prima, y es una oportunidad de trabajo futuro.

DISCUSIÓN

Para validar el modelo se modificaron los valores de la demanda y de la producción con el fin de observar las alteraciones en el costo acumulado del inventario. Ante un incremento extremo en la demanda de la MPC, queda sin existencias el inventario final. El aumento en la producción de la MPC, genera mayor nivel de vencimiento y de inventario. La prueba de los límites del modelo permite concluir que las decisiones tomadas en el abastecimiento se ven influenciadas por los requerimientos diarios en la planta de producción y no obedece a una planeación a mediano plazo. A partir del análisis de resultados se verifica consistencia dimensional.

Se modifican los parámetros del consumo y la producción en la distribución probabilística que presenta un mejor ajuste a los datos. La Figura 12 presenta el cambio de las variables en las políticas analizadas e indica que no hay variación en el vencimiento del material, al modificar los parámetros de las distribuciones de probabilidad de la producción y demanda. Además, muestra el comportamiento de los agotados ante variaciones en parámetros de producción y consumo, evidenciando mayor sensibilidad a estas variaciones.

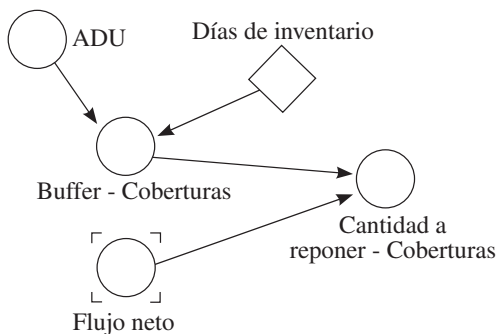


Figura 11. Amortiguador politica MTS según cobertura [29].

En este sentido, la política MTS según DDMRP evidencia pequeños cambios en la demanda, en la



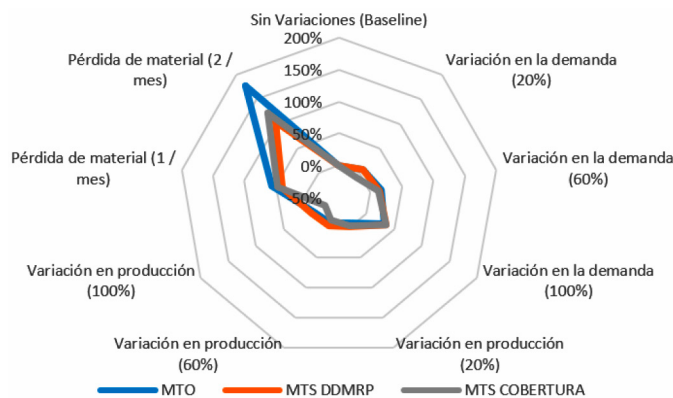
Figura 12. Análisis de sensibilidad de las políticas estudiadas. (a) Cantidades de MPC vencidas, (b) Cantidades de MPC agotadas.

producción o en las interrupciones generadas en el abastecimiento y afecta directamente las cantidades de agotados y vencimientos. Los amortiguadores definidos bajo la política MTS según cobertura, el incremento de los vencimientos y agotados son menores comparados con la política anterior.

Para la mitigación del riesgo se midió el desempeño de las políticas para el posicionamiento de inventario en la CS mediante ocho escenarios valorizados que se evaluaron respecto a una línea base, que este caso corresponde a una configuración MTO. Se plantean variaciones para la demanda (20%, 60%, 100%), la producción (20%, 60%, 100%) y la pérdida de material (1 y 2 veces por mes); teniendo

una línea base sin variaciones (0%). Los escenarios se evaluaron por medio de indicadores de costo y nivel de servicio para las configuraciones MTO, MTS DDMRP y MTS según cobertura.

Se comparan los costos de las diferentes configuraciones a partir de variaciones en la demanda y en la producción (Figura 13). Se concluye que el escenario MTS cobertura presenta un mejor desempeño cuando la variación de la demanda es 20% y 60%. Cuando la variación en la demanda es el 100% el desempeño es similar en los tres escenarios. El escenario MTS según cobertura tiene un mejor desempeño ante una variación de la producción del 60% y 100%. Con relación a la



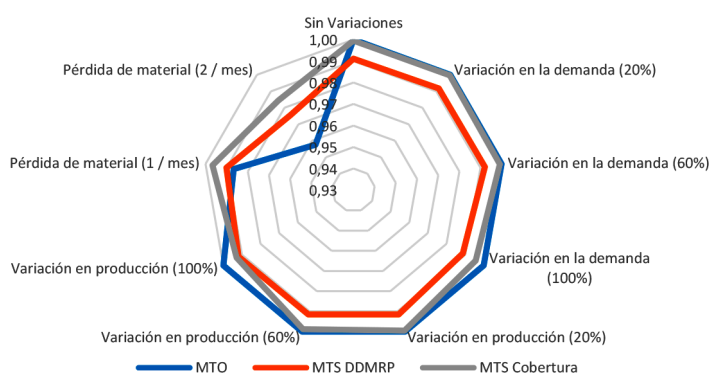


Figura 14. Indicador para el nivel de servicio.

pérdida de material el escenario MTS DDMRP tiene un mejor desempeño mientras que la configuración MTO presenta el menor desempeño por ser un escenario cuya producción se realiza bajo pedido.

El nivel de servicio se mantiene en un 100% bajo la política MTO ante aumentos en la demanda o en la producción (Figura 14). El nivel de servicio disminuye, en las políticas MTS, debido a no tener inventario disponible para atender la falta de MPC. En la simulación sin variaciones, el impacto más significativo corresponde al costo resultante ante variaciones en la demanda. Al analizar la variación en la producción, se observa que el costo se ve afectado por la necesidad de adquirir MPC a un costo diferente al inicial.

CONCLUSIONES

El modelo de DS evaluó las diferentes alternativas para el control del flujo de material con vida útil corta y se validó con información de una CS dedicada a la producción de derivados cárnicos en Colombia. La estructura del modelo de DS segmenta las operaciones logísticas y los riesgos asociados a cada una de ellas. Permite hacer un seguimiento a los niveles de consumo de MPC en relación con los días de vida útil y, analizar el impacto en los costos de descongelación, refrigeración, congelación, vencimientos y agotados.

El modelo de simulación con DS caracteriza la CS, identifica y mide el riesgo para definir políticas de abastecimiento asociadas a políticas MTO, MTS según DDMRP y MTS según cobertura que mitiguen el riesgo. Se consideraron restricciones

de vida útil modelando cambios en la demanda y en la producción para medir el grado de afectación en el indicador de nivel de servicio el cual, ante una pérdida de material, tiende a disminuir.

En términos generales, la política MTO demostró no tener capacidad para responder a las pérdidas de MPC ocasionadas por la ocurrencia del riesgo.

Los resultados mostraron la importancia de considerar la vida útil en la modelación del abastecimiento de materias primas porque desempeña un papel fundamental en los costos de la gestión logística. El trabajo con expertos permitió considerar, de forma sistémica, los criterios para identificar, medir y mitigar el riesgo. En este sentido, las pérdidas generadas por la interrupción en la cadena de frío, la desinformación en medios de comunicación y la incertidumbre en los costos de compra de MPC e insumos son los riesgos más significativos cuando se tiene MPC con vida útil corta.

Por lo tanto, este estudio sugiere evaluar el posicionamiento de inventario bajo las condiciones específicas de planeación y logística de cada CS.

REFERENCIAS

- [1] W. Chang, A. E. Ellinger, and J. Blackhurst, "A contextual approach to supply chain risk mitigation," *The International Journal of Logistics Management*, vol. 26, no. 3, pp. 642-656, 2015, doi:10.1108/IJLM-02-2014-0026.
- [2] A. Ghadge, S. Dani, M. Chester, and R. Kalawsky, "A systems approach for modelling supply chain risks," *Supply Chain*

- Management: An International Journal*, vol. 18, no. 5, pp. 523-538, 2013, doi: 10.1108/SCM-11-2012-0366.
- [3] M.C. Cooper, D.M. Lambert, and J.D. Pagh, "Supply chain management: More than a new name for logistics," *The International Journal of Logistics Management*, vol. 8, no. 1, pp. 1-14, 1997, doi: 10.1108/09574099710805556.
- [4] T.K. Das and B. Teng, "Resource and risk management in the strategic alliance making process," *Journal of Management*, vol. 24, no. 1, pp. 21-42, 1998, doi: 10.1177/014920639802400103.
- [5] W. Ho, T. Zheng, H. Yildiz, and S. Talluri, "Supply chain risk management: a literature review," *International journal of production research*, vol. 53, no. 16, pp. 5031-5069, doi: 10.1080/00207543.2015.1030467.
- [6] A. Norrman and U. Jansson, "Ericson's proactive supply chain risk management approach after a serious sub-supplier accident," *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, vol. 34, no. 5, pp. 434-456, 2004, doi: 10.1108/09600030410545463
- [7] P. Finch, "Supply chain risk management," *Supply Chain Management*, vol. 9, no. 2, pp. 183-196, 2004, doi: 10.1108/13598540410527079.
- [8] U. Jüttner, "Supply chain risk management: Understanding the business requirements from a practitioner perspective," *The International Journal of Logistics Management*, vol. 16, no. 1, pp. 120-141, 2005, doi: 10.1108/09574090510617385.
- [9] P.S. Amorim, D.J. Alem, and B. Almada Lobo, "Risk management in production planning of perishable goods," *Industrial and Engineering Chemistry Research*, vol. 52, no. 49, pp. 17538-17553, 2013, doi: 10.1021/ie402514c.
- [10] R. Sreedevi and H. Saranga, "Uncertainty and supply chain risk: The moderating role of supply chain flexibility in risk mitigation," *International Journal of Production Economics*, vol. 193, pp. 332-342, 2017, doi: 10.1016/j.ijpe.2017.07.024.
- [11] P.S. Amorim, C. Henggeler Antunes, and B. Almada Lobo, "Multi-objective lot-sizing and scheduling dealing with perishability issues," *Industrial and Engineering Chemistry Research*, vol. 50, no. 6, pp. 3371-3381, 2011, doi: 10.1021/ie101645h.
- [12] M. Saavedra, C. Fontes, and F.G. Freires, "Sustainable and renewable energy supply chain: A system dynamics overview," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 82, pp. 247-259, 2018, doi: 10.1016/j.rser.2017.09.033.
- [13] A. Alglawe, A. Schiffauerova, and O. Kuzgunkaya, "Analyzing the cost of quality within a supply chain using system dynamics approach," *Total Quality Management & Business Excellence*, vol. 30, no.15-16, pp. 1630-1653, 2019, doi: 10.1080/14783363.2017.1400376.
- [14] T. Rebs, M. Brandenburg, and S. Seuring, "System dynamics modeling for sustainable supply chain management: A literature review and systems thinking approach," *Journal of Cleaner Production*, vol. 208, pp. 1265-1280, 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2018.10.100.
- [15] G. Behzadi, M.J. O'Sullivan, T.L. Olsen, and A. Zhang, "Agribusiness supply chain risk management: A review of quantitative decision models," *Omega*, vol. 79, pp. 21-42, 2018, doi: 10.1016/j.omega.2017.07.005.
- [16] S.W. Rajurkar and R. Jain, "Food supply chain management: Review, classification and analysis of literature," *International Journal of Integrated Supply Management*, vol. 6, no. 1, pp. 33-72, 2011, doi: 10.1504/IJISM.2011.038332.
- [17] P. Kittipanya-Ngam, Y. Shi, and M.J. Gregory, "Exploring geographical dispersion in Thailand-based food supply chain (FSC)," *Benchmarking: An International Journal*, vol. 18, no. 6, pp. 802-833, 2011, doi: 10.1108/14635771111180716.
- [18] X. Cai, J. Chen, Y. Xiao, X. Xu, and G. Yu, "Fresh-product supply chain management with logistics outsourcing," *Omega*, vol. 41, no. 4, pp. 752-765, 2013, doi: 10.1016/j.omega.2012.09.004.
- [19] A. Henry and C. Wernz, "A multiscale decision theory analysis for revenue sharing in three-stage supply chains," *Annals of Operations Research*, vol. 226, no. 1, pp. 277-300, 2015, doi: 10.1007/s10479-014-1735-y.
- [20] H.T. Duong and G. Pache, "How informational integration can improve the relationship between buyer and supplier of logistical

- services: Empirical evidence from vietnam,” *Journal of Applied Business Research*, vol. 32, no. 1, pp. 341-354, 2016, doi: 10.19030/jabr.v32i1.9542.
- [21] B. Li, P. Chen, Q. Li, and W. Wang, “Dual-channel supply chain pricing decisions with a risk-averse retailer,” *International Journal of Production Research*, vol. 52, no. 23, pp. 7132-7147, 2014, doi: 10.1080/00207543.2014.939235.
- [22] N.O. Madichie and F.A. Yamoah, “Revisiting the European Horsemeat Scandal: The Role of Power Asymmetry in the Food Supply Chain Crisis,” *Thunderbird International Business Review*, vol. 59, no. 6, pp. 63-675, 2017, doi: 10.1002/tie.21841.
- [23] E. Roghanian, A. Sheykhan, and E.S. Abendankashi, “An application of fuzzy TOPSIS to improve the process of supply chain management in the food industries: A case study of protein products manufacturing company,” *Decision Science Letters*, vol. 3, no. 1, pp. 17-26, 2014, doi: 10.5267/j.dsl.2013.10.001.
- [24] M.P. Tafti, A. Baboli, J.Y. Dantan, and M. Poormassahian, “Supplier selection and order allocation for a downstream pharmaceutical supply chain considering disruption risks,” in *44th Int. Conf. CIE*, Istanbul, Turkey. Oct. 2014.
- [25] H. Sun, “Sports food safety supervision based on AHP and interval fuzzy TOPSIS,” *The Open Cybernetics and Systemics Journal*, vol. 9, no. 1, pp. 1905-1910, 2015, doi: 10.2174/1874110X01509011905.
- [26] A.H. Azadnia, M.Z. Mat Saman, and K.Y. Wong, “Sustainable supplier selection and order lot-sizing: An integrated multi-objective decision-making process,” *International Journal of Production Research*, vol. 53, no. 2, pp. 383-408, 2015, doi: 10.1080/00207543.2014.935827.
- [27] M. Magiera, “Methods of planning deliveries of food products to a trade network with the selection of suppliers and transport companies,” *Archives of Control Sciences*, vol. 28, pp. 419-442, 2018, doi: 10.24425/acs.2018.124710.
- [28] P.K. Das and N.C. Nayak, “Modelling supply chain of rice, uncertainty factors and strategic supply management,” *International Journal of Logistics Systems and Management*, vol. 27, no. 3, pp. 343-362, 2017, doi: 10.1504/IJL SM.2017.084470.
- [29] L. Ramírez, C.E. Patiño-Rodríguez, and G.M. Osorno, “Raw Material Supply Configuration with Short Shelf Life in a Production Scenario MTS/MTO Minimizing Operational Risk and Cost,” *Proc. 6th North American EIOM Conf.*, Monterrey- México, Nov. 2021, pp. 1630-1642.
- [30] H. Grillo, M. M. Alemany, and Á. Ortiz Bas, “Modelling pricing policy based on shelf-life of non homogeneous available-to-promise in fruit supply chains,” in *IFIP AICT.*, Porto, Portugal, Sept. 2016, pp. 608-617.
- [31] Z. Zhu, F. Chu, A. Dolgui, C. Chu, W. Zhou, and S. Piramuthu, “Recent advances and opportunities in sustainable food supply chain: a model-oriented review,” *International Journal of Production Research*, vol. 56, no. 17, pp. 5700-5722, 2018, doi: 10.1080/00207543.2018.1425014.
- [32] S. Parashar, G. Sood, and N. Agrawal, “Modelling the enablers of food supply chain for reduction in carbon footprint,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 275, pp. 122932, 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.122932.
- [33] M.M. Alemany, A. Estesó, Á. Ortiz, and M. del Pino, “Centralized and distributed optimization models for the multi-farmer crop planning problem under uncertainty: Application to a fresh tomato Argentinean supply chain case study,” *Computers and Industrial Engineering*, vol. 153, pp. 107048, 2021, doi: 10.1016/j.cie.2020.107048.
- [34] N.R. Galo, P.C. Ribeiro, R.C. Mergulhão y J.G. Vieira, “Selección de proveedor de servicios logísticos: alineación entre criterios e indicadores”, *Innovar*, vol. 28, no. 69, pp. 55-70, 2018, doi: 10.15446/innovar.v28n69.71696.
- [35] A.C. Juárez, C.A. Zuñiga, J.L. Flores y D.S. Partida, “Análisis de series de tiempo en el pronóstico de la demanda de almacenamiento de productos perecederos”, *Estudios Gerenciales*, vol. 32, no. 141, pp. 387-396, 2016, doi: 10.1016/j.estger.2016.11.002.
- [36] D.L. Rincón, J.E. Fonseca Ramírez y J.A. Orjuela Castro, “Hacia un Marco Conceptual Común Sobre Trazabilidad en la CS de Alimentos”, *Ingeniería*, vol. 22,

- no. 2, pp. 161-189, 2017, doi: 10.14483/udistrital.jour.reving.2017.2.a01.
- [37] E.G. Rodríguez Guevara, "Identificación de prácticas en la gestión de la CS sostenible para la industria alimenticia", *Pensamiento & Gestión*, vol. 45, pp. 129-160, 2018, doi: 10.14482/pege.45.10554.
- [38] M.A. Calderón, G. Roark, S. Urrutia, D. Paravié y C. Rohvein, "Metodología para la clasificación y diagnóstico de CS", *Revista Ciencias Estratégicas*, vol. 25, no. 38, pp. 279-298, 2017, doi: rces.v25n38.a2.
- [39] I.C. Paschalidis and S-C. Kang, "A Robust Approach to Markov Decision Problems with Uncertain Transition Probabilities," in *Proc 17th World Congr. IFAC*, vol. 41, Jul. 2008, pp. 408-413, doi: 10.3182/20080706-5-KR-1001.00069.
- [40] B. Beemsterboer, M. Land, and R. Teunter, "Hybrid MTO-MTS production planning: An explorative study," *European Journal of Operational Research*, vol. 248, no. 2, pp. 453-461, 2016, doi: 10.1016/j.ejor.2015.07.037.
- [41] B. Beemsterboer, M. Land, and R. Teunter, "Flexible lot sizing in hybrid make-to-order/ make-to-stock production planning," *European Journal of Operational Research*, vol. 260, no. 3, pp. 1014-1023, 2017, doi: 10.1016/j.ijpe.2016.12.015.
- [42] B. Beemsterboer, M. Land, R. Teunter, and J. Bokhorst, "Integrating make-to-order and make-to-stock in job shop control," *International Journal of Production Economics*, vol. 185, pp. 1-10, 2017, doi: 10.1016/j.ijpe.2016.12.015.
- [43] I. Ghalekhondabi and G.A. Süer, "Production line performance analysis within a MTS/MTO manufacturing framework: A queueing theory approach," *Production*, vol. 28, pp. 1-17, 2018, doi: 10.1590/0103-6513.20180024.
- [44] D.A. Wolfshorndl, M. Vivaldini, and J.B. Camargo, "Hybrid Production System: Perspectives in Supply Chain Risk Management," *Revista de Gestão*, vol. 26, no. 3, pp. 313-334, 2019, doi: 10.1108/REGE-01-2019-0005.
- [45] C.A. Soman, D.P. Van Donk, and G. Gaalman, "Combined make-to-order and make-to-stock in a food production system," *International Journal of Production Economics*, vol. 90, no. 2, pp. 223-235, 2004, doi: 10.1016/S0925-5273(02)00376-6.
- [46] P. Amorim, H. Meyr, and B. Almada-Lobo, "Managing perishability in production-distribution planning: A discussion and review," *Flexible Services and Manufacturing Journal*, vol. 25, no. 3, pp. 389-413, 2013, doi: 10.1007/s10696-011-9122-3.
- [47] S. Nahmias, "Perishable inventory theory: a review," *Operations Research*, vol. 30, no. 4, pp. 680-708, 1982, doi: 10.1287/opre.30.4.680.
- [48] S. Kumar, D.A. Nottestad, and J.F. Macklin, "A Profit and Loss Analysis for Make-To-Order Versus Make-To-Stock Policy-a Supply Chain Case Study," *The Engineering Economist*, vol. 52, no. 2, pp. 141-156, 2007, doi: 10.1080/00137910701328953.

APÉNDICE

Tabla 1. Revisión de la literatura sobre los criterios necesarios para posicionar inventario.

Criterios de posicionamiento de inventario	Explicación	Relevancia
Tiempo tolerado por el cliente.	Período de tiempo durante el cual los posibles clientes estarían dispuestos a esperar el bien o el servicio.	6
Tiempo potencial del mercado (lead time).	Período necesario para nuevos negocios o aumento del precio convirtiendo un cliente potencial en uno activo.	1
Pedidos de venta (horizonte).	Plazo o período de tiempo para confirmar los pedidos.	4
Variabilidad externa.	Fluctuaciones originadas por perturbaciones externas en las fuentes de abastecimiento.	3
Protección de operación crítica.	Factor que minimiza variabilidad a través de las operaciones críticas.	5
Apalancamiento y flexibilidad de inventario.	Punto en la red de distribución en el que se puede tener mayor disponibilidad de inventario para disminuir el lead time.	2