

ABASTECIMIENTO ALIMENTARIO POR ALGORITMOS HEURÍSTICOS

FOOD SUPPLY BY HEURISTIC ALGORITHMS

Chiapa Tellez Francisco Alfonso

Tecnológico Nacional de México/I.T. De Pachuca

<https://orcid.org/0009-0000-3907-5884>

francisco.ct@pachuca.tecnm.mx

Marrón Ramos Domingo Noé

Tecnológico Nacional de México/I.T. De Pachuca

<https://orcid.org/0000-0003-1964-6592>

domingo.mr@pachuca.tecnm.mx

Sánchez Hernández Abigail

Tecnológico Nacional de México/I.T. De Pachuca

<https://orcid.org/0009-0004-1606-1075>

l22200172@pachuca.tecnm.mx

Ruiz Hernández Itzel Yolozochitl

Tecnológico Nacional de México/I.T. De Pachuca

<https://orcid.org/0009-0004-4802-317X>

l22200171@pachuca.tecnm.mx

Sánchez Rosas Andrea

Tecnológico Nacional de México/I.T. De Pachuca

<https://orcid.org/0009-0005-6273-0521>

l22200173@pachuca.tecnm.mx

DOI: <https://doi.org/10.61273/neyart.v4i1.168>

| Recibido: 06/12/2025 | Aceptado: 10/02/2026 | Publicado: 14/03/2026

Esta obra está bajo
una licencia internacional
Creative Commons Atribución 4.0.



Resumen-- El abastecimiento alimentario en las PYMES de América Latina enfrenta limitaciones tecnológicas, operativas y de gestión que provocan ineficiencias, exceso de inventarios y altos costos. La literatura respalda que los modelos de revisión periódica (PRP) y las heurísticas adaptativas generan resultados robustos, aunque todavía existe una discrepancia entre la teoría y la práctica debido a la complejidad y los recursos requeridos. Como se indica, “El estudio se centra en la producción, inventario y planificación de rutas para productos perecederos en un problema de producción y enrutamiento de dos niveles.” (Wei et al., 2020, p.1). Métodos han demostrado ser efectivos incluso en pequeñas entidades, ya que “este modelo puede aplicarse eficazmente en pequeñas organizaciones con presupuestos financieros escasos y materias primas perecederas elevadas.” (Cabrera-Gala et al., 2021, p. 34). Por medio de la metodología SALSA se analizaron 66 artículos, de los cuales 12 cumplieron los criterios de inclusión, mostrando reducciones de costos del 30% al 45% y mejoras del nivel de servicio del 25% al 35% (Wei et al., 2020, p. 4). Basándose que la investigación diseña un modelo PRP combinado con heurísticas adaptativas, para maximizar el empaquetado de botanas, empleando datos reales de la demanda. El modelo asigna la carga entre operadores conservándolos por debajo del límite de 160 horas mensuales, respaldado por evidencia que señala que “los experimentos muestran que el enfoque dinámico reduce los costos de inventario y mejora los tiempos de respuesta en comparación con las políticas convencionales”. (Minner & Transchel, 2015, p. 986). Las simulaciones y análisis estadísticos confirman diferencias en eficiencia sobre métodos tradicionales ($p < 0.001$), aprobando la mejora operativa y económica. La incorporación del análisis de insumos y materias primas refuerza la coherencia del modelo con las necesidades reales de producción.

Palabras clave-- Costes; eficiencia; inventarios; métodos heurísticos; pequeñas y medianas empresas; problema de reabastecimiento periódico; productos perecederos; suministro.

Abstract-- Food supply in Latin American SMEs faces technological, operational, and management constraints that lead to inefficiencies, excess inventory, and high costs. The literature supports that periodic review (PRP) models and adaptive heuristics generate robust results, although there is still a discrepancy between theory and practice due to the complexity and resources required. As indicated, “The study focuses on production, inventory, and route planning for perishable products in a two-level production and routing problem” (Wei et al.,

Methods have proven effective even in small entities, as “this model can be effectively applied in small organizations with limited financial budgets and high perishable raw materials.” (Cabrera-Gala et al., 2021, p. 34). Using the SALSA methodology, 66 articles were analyzed, of which 12 met the inclusion criteria, showing cost reductions of 30% to 45% and service **level improvements of 25% to 35% (Wei et al., 2020, p. 4)**. Based on the research, a PRP model combined with adaptive heuristics is designed to maximize snack packaging, using real demand data. The model allocates the load among operators, keeping them below the 160-hour monthly limit, backed by evidence that “experiments show that the dynamic approach reduces inventory costs and improves response times compared to conventional policies.” (Minner & Transchel, 2015, p. 986). Simulations and statistical analyses confirm differences in efficiency over traditional methods ($p < 0.001$), approving operational and economic improvement. The incorporation of input and raw material analysis reinforces the model's consistency with actual production needs.

Keywords: Costs; efficiency; inventories; heuristic methods; small and medium-sized enterprises; periodic replenishment problem; perishable products; supply.

INTRODUCCIÓN

En América Latina, las pequeñas y medianas empresas (PYMES) del sector alimentario enfrentan limitaciones tecnológicas y de gestión que provocan ineficiencias en el abastecimiento, sobreinventario y altos costos operativos. “El estudio se centra en la producción, entrega, inventario y planificación de rutas para productos perecederos en un problema de producción y enrutamiento de dos niveles” (Wei, Guan, Liu, Gao & Zhang, 2020, p. 1).

Si bien la literatura reciente demuestra la eficacia de los modelos de revisión periódica de inventarios (PRP) y de los enfoques heurísticos adaptativos, su implementación en PYMES es limitada por la complejidad técnica y los recursos computacionales requeridos. “El problema investigado en este análisis integra y maximiza simultáneamente decisiones de producción, reabastecimiento, inventario y enrutamiento para productos perecederos” (Wei et al., 2020, p. 2). Inclusive, “se plantea una clase de políticas de nivel de inventario proyectado (PIL) que sostienen

un nivel continuo esperado de inventario disponible en el momento de cada llegada de pedido” (Bu, Gong & Yin, 2025, p. 3).

Esta brecha entre la teoría y la práctica evidencia la necesidad de soluciones tecnológicas simples, validadas y adaptables al contexto operativo de las PYMES. En este sentido, “este modelo puede aplicarse eficazmente en pequeñas organizaciones familiares con presupuestos financieros escasos y materias primas perecederas elevadas” (Cabrera-Gala et al., 2021, p. 34).

Al emplear la metodología SALSA (Search, Appraisal, Synthesis, Analysis), se realizó una revisión sistemática de 66 artículos, de los cuales 12 cumplen con los criterios de inclusión al integrar modelos de optimización, heurísticas y políticas PRP con resultados cuantitativos verificables. A partir de este marco teórico, el presente estudio busca cerrar la brecha entre la investigación científica y la realidad empresarial, planteando el diseño de un algoritmo heurístico basado en el modelo PRP que optimice el abastecimiento alimentario con mayor calidad de respuesta, menor tiempo de solución y aplicabilidad práctica en PYMES.

El objetivo de la investigación se basa en desarrollar un algoritmo que potencialice el abastecimiento por medio del análisis de bases de datos de la empresa y proveedores. Derivado de lo anterior, se propone revisar la literatura y casos de algoritmos en abastecimiento, analizar bases de datos para identificar información clave sobre pedidos, tiempos de entrega y niveles de stock, y diseñar la metodología del algoritmo.

MÉTODO.

Por tanto, esta investigación lleva a cabo el proceso de revisión aplicando el enfoque SALSA (Search, Appraisal, Synthesis, Analysis), con un enfoque cuantitativo y un diseño experimental. De igual manera, se identifican variables cruciales que se describen a continuación, las cuales son esenciales para respaldar el análisis y la interpretación de los resultados, dado que “la investigación cuantitativa de tipo experimental se caracteriza por la medición objetiva de las variables y por la manipulación deliberada de una o más variables independientes” (Hernández et al., 2018).

La fase de búsqueda se realiza en fuentes confiables de acceso abierto, utilizando repositorios académicos como Redalyc y SciELO, así como repositorios universitarios como ESPOL, PUCP, Universidad EAN, UCC y UAM. De manera complementaria, se consideran revistas científicas como *Revista Espacios*, *Dirección y Organización (DyO)* y *Revista Escolme*, además de

plataformas internacionales como ResearchGate, MDPI, arXiv y Dialnet, lo que permite acceder a investigaciones actualizadas.

En la búsqueda de los artículos se utilizan palabras clave relacionadas con optimización, modelos matemáticos de distribución, heurísticos, eficiencia, logística, cadena de suministro, abastecimiento, algoritmo, disminución de costos, eficiencia logística, distribución, flujo de materiales, productos, sector alimentario, alimentos perecederos, recolección, trazabilidad, uso de recursos y PRP (Periodic Replenishment Problem), con la finalidad de delimitar la información relevante.

Se consideran artículos publicados entre 2015 y 2025, en idioma español e inglés, obteniendo un total de 66 artículos seleccionados por su relevancia temática, los cuales fueron organizados en una tabla que incluye información como número, título, país, aplicación, objetivo, resultados y problemática.

Durante la etapa de evaluación se depuran las fuentes seleccionadas mediante la aplicación de criterios de inclusión y exclusión, con el propósito de asegurar la calidad y pertinencia de la información analizada. Con respecto a los criterios de inclusión, se seleccionan artículos con enfoque en algoritmos de optimización basados en modelos heurísticos aplicados al sector alimentario o agroalimentario, con aplicaciones relacionadas con optimización logística, abastecimiento, trazabilidad y distribución, que sustenten sus resultados mediante datos cuantitativos o propuestas metodológicas aplicables, así como el uso del Periodic Replenishment Problem (PRP) o políticas de revisión periódica en inventarios y abastecimiento, ya sea de forma explícita o como parte de modelos integrados, dado que “el Periodic Replenishment Problem es ampliamente utilizado en la optimización de inventarios y distribución” (Rusdiansyah & Tsao, 2005).

Para reforzar este enfoque, se considera el tiempo de entrega en el nivel de reabastecimiento, así como el costo unitario del inventario que varía con el tiempo de almacenamiento (Wei et al., 2020, p. 2).

Asimismo, los criterios de exclusión se basan en descartar artículos centrados en el uso de inteligencia artificial, *machine learning*, metaheurísticas avanzadas o automatización compleja, así como aquellos pertenecientes a sectores industriales distintos al alimentario, sin aplicaciones

prácticas, o donde el modelo PRP no esté vinculado a procesos de abastecimiento o inventarios periódicos.

Luego de aplicar estos criterios, se seleccionaron 12 artículos del total de 66, todos ellos vinculados con el uso del PRP o políticas de revisión periódica y aplicados en contextos de abastecimiento alimentario, agroindustrial o logístico de productos perecederos.

Tabla 1. *Artículos seleccionados sobre políticas de revisión periódica (PRP) aplicadas a inventarios perecederos en el sector alimentario.*

NOMBRE DEL ARTÍCULO	PAÍS	APLICACIÓN	ENFOQUE METODOLÓGICO	RESULTADOS DESTACADOS
Production, Replenishment and Inventory Policies	China	Inventarios perecederos en red 2 escalones	MIP + PRP + 2E-VRP; branch-and-cut	-58% tiempo cómputo; mejora sostenibilidad
Application of Periodic Review Inventories Model	México	Inventarios en empresa de alimentos	ABC + modelo (R,S)	Reducción costos y faltantes
Periodic Review for Perishable Products	Italia	Inventarios perecederos con nivel de servicio	Simulación + DOE + ANOVA + RSM	Modelos predictivos; aplicable a digital twins
Managing Perishable Inventory Systems	Hong Kong	Inventarios con tiempos de entrega	PIL/APIL	Superan políticas base-stock

Optimization Algorithm in SCM	India	Optimización SCM	LP, MIP, GA, GA-SA	GA adaptable y prevalente
Algoritmos de predicción y optimización	Perú	Cadena de suministro del efectivo	Data mining + VRP/TSP	Predicción + rutas eficientes
Conceptualización de la trazabilidad	Colombia	Trazabilidad SCM	Revisión normativa	Definición amplia; necesidad digitalización
Inventory Simulation Model (PSO)	Ecuador	Inventarios perecederos (frutas)	PSO	-20% costos; menor caducidad

Fuente: Elaboración propia.

En el periodo de síntesis después de la búsqueda de artículos, se realiza una tabla comparativa que incluye: Nombre del artículo, País, Aplicación, Objetivo, Resultados y Problemática, que nos permite organizar y analizar el contenido de los artículos.

Tabla 2 Tabla comparativa de artículos seleccionados sobre PRP en inventarios perecederos.

País	Aplicación	Método	Resultados Clave
China	Producción e inventarios perecederos	MIP + PRP + 2E-VRP	-58% tiempo cómputo; mejora sostenibilidad
México	Inventarios en empresa de alimentos	Modelo (R,S) + ABC	Reducción costos y faltantes
Italia	Inventarios perecederos con nivel de servicio	Simulación + DOE + ANOVA + RSM	Modelos predictivos; aplicable a digital twins
Hong Kong	Inventarios con tiempos de entrega	PIL/APIL	Superan políticas base-stock
India	Optimización SCM	LP, MIP, GA, GA-SA	GA adaptable y prevalente

Perú	Cadena de suministro del efectivo	Data mining + VRP/TSP	Predicción + rutas eficientes
Colombia	Trazabilidad SCM	Revisión normativa	Definición amplia; necesidad digitalización
Ecuador	Inventarios perecederos (frutas)	PSO	-20% costos; menor caducidad

***Fuente:** Elaboración propia.*

La compilación de los 12 artículos analizados son una base empírica del conocimiento actual sobre el tema de optimización de abastecimiento alimentario con herramientas como modelos matemáticos y heurísticos.

Además, se analiza un estudio sobre distintas técnicas, algoritmos y modelos matemáticos en la optimización de la SCM, y en particular se centra en el algoritmo genético. (Bandekar, 2019, p. 5079)

Identificando que, en el sector alimentario latinoamericano, el principal recurso metodológico son las heurísticas ligeras ya que permiten tener adaptabilidad y que no es necesario un alto requerimiento de infraestructura computacional. Concluyendo que los métodos heurísticos predominan en la búsqueda de soluciones orientadas a balancear la eficiencia y el tiempo de cómputo, aspecto clave en las actividades de abastecimiento alimentario debido a la presencia de variables críticas como la perecibilidad y el tiempo de entrega. En el cierre del proceso, a partir del análisis comparativo de los 12 artículos, se identifican patrones metodológicos relevantes, así como áreas poco investigadas y elementos comunes en la investigación de optimización heurística y matemática del abastecimiento alimentario. En este sentido, los modelos ofrecen ventajas para los responsables industriales, ya que permiten proporcionar estimaciones instantáneas de OUTL y DT (Solari et al., 2023, p. 8). Asimismo, el proceso SALSA permite identificar tanto avances como áreas pendientes en la investigación sobre logística y abastecimiento alimentario, lo cual se evidencia en modelos que validan estudios mediante la simulación de casos adicionales cuyos resultados se comparan con los obtenidos por estimación (Solari et al., 2023, p. 10).

Con base en esta revisión, se construyó una versión global de la aplicación de modelos de optimización y algoritmos en el sector alimentario, lo que permitió identificar puntos clave como:

Tabla 3. Comparación de métodos y complejidad en modelos de optimización aplicados al sector alimentario.

Método	Artículos	Descripción	Resultados Promedio	Complejidad
Clásicos (R,S, Base-stock)	México, Italia, Hong Kong	Políticas tradicionales ajustadas	Menos faltantes, niveles óptimos	Medio
Programación Matemática	China, India, Ecuador	LP, MIP, MOLP	(-)Costos, (+)eficiencia	Alto
Metaheurísticos	India, Ecuador, China	GA, PSO, Tabú, BFA	(-)Costos, (+)ganancias	Muy Alto
Simulación Estocástica	Italia, Ecuador	Montecarlo, DOE, ANOVA, RSM	Precisión en inventarios	Alto
Económicos	China	DCF bajo inflación	Mejora precios y ciclos	Medio-Alto
Normativos	Colombia	Revisión conceptual	Definición trazabilidad	Bajo-Medio
Predicción + Optimización	Perú	Data mining + VRP/TSP	Rutas eficientes, menor costo	Medio-Alto

Fuente. Elaboración propia.

Este resultado valida que, en los entornos agroalimentarios, existe una preferencia por modelos híbridos, donde la combinación de algoritmos de ruteo con técnicas de agrupamiento ofrece una asignación más eficiente de los recursos logísticos. Por su parte, las técnicas de solución para problemas del tipo *Traveling Salesman Problem* (TSP) y *Vehicle Routing Problem* (VRP) son relevantes para formular problemas de enrutamiento de vehículos en la cadena de suministro (Pinedo & Ramírez, 2022, p. 6).

Se comprende que este hallazgo refuerza la utilidad de algoritmos adaptables y simples para escenarios operativos con limitantes como la disponibilidad de datos y la necesidad de una toma de decisiones rápida. En este sentido, los resultados cuantitativos y cualitativos reflejan tanto impactos medibles eficiencia, costos, tiempos y niveles de servicio como contribuciones cualitativas relacionadas con mejoras en la toma de decisiones, estabilidad operativa y

sostenibilidad del sistema logístico. Tras la revisión de los artículos, fue posible clasificar los hallazgos en cuatro líneas temáticas principales. En la optimización de rutas y transporte, mediante enfoques como VRP, PSO y heurísticas glotonas, se propone un modelo de gestión de inventarios multiperiodo para productos perecederos basado en simulación (Solari et al. 2023, p. 1). En la gestión de inventarios perecederos y el abastecimiento dinámico, se aplica una política de revisión periódica para un solo producto, considerando demanda uniforme, tiempo de entrega determinista no nulo y vida útil fija (Solari et al., 2023, p. 2). Asimismo, la optimización agroindustrial y la trazabilidad alimentaria se fortalecen mediante el uso de tecnologías emergentes que permiten mayor control y eficiencia en la cadena de suministro (Conceptualización de la trazabilidad..., 2023, p. 20). Finalmente, en la gestión jerárquica y evaluación de proveedores, se señala que los sistemas de trazabilidad deben ajustarse a las características específicas de cada empresa y sector productivo para mejorar la toma de decisiones y el desempeño operativo (Conceptualización de la trazabilidad..., 2023, p. 19). Por lo anterior, las tendencias recientes evidencian una transición de los modelos exactos hacia enfoques heurísticos, orientados a soluciones más flexibles y eficientes frente a problemas críticos, priorizando el tiempo de respuesta y el desarrollo de sistemas más ágiles. No obstante, también se evidencia la ausencia de algoritmos capaces de responder de manera eficiente a los cambios en la demanda. En este sentido, el análisis detecta vacíos sustantivos que condicionan la consolidación científica del área, tales como la escasez de métricas estandarizadas para evaluar la calidad de respuesta de los algoritmos, la limitada validación empírica con información de empresas alimentarias reales y la débil incorporación de variables asociadas a trazabilidad y sostenibilidad, así como la insuficiencia de modelos adaptativos frente a variaciones en la demanda y disponibilidad en relación con lo anterior, la literatura evidencia una evolución teórica orientada al equilibrio entre exactitud y agilidad, desplazando el interés de la optimización puramente matemática hacia la eficiencia operativa. Aunque los modelos MILP siguen siendo una referencia por su precisión, su aplicación se ve limitada por los altos costos computacionales; en contraste, heurísticas simples y metaheurísticas ligeras como PSO, AHP o algoritmos de barrido ofrecen soluciones de calidad comparable en menores tiempos de cálculo. Esto se respalda al evidenciar que la integración de producción, reabastecimiento, inventario y planificación de rutas para productos perecederos aporta mayor valor en la gestión de la cadena de suministro (Wei et al., 2020, p. 8), posicionando algoritmos como PSO como herramientas

prácticas, accesibles y replicables para las PYMES del sector alimentario (Borbor-Murillo et al., 2020, p. 44). En función de estos hallazgos, el estado del arte valida que la optimización del abastecimiento alimentario se encuentra en un proceso de madurez científica orientado hacia modelos híbridos, adaptativos y sostenibles, donde una adecuada implementación de estrategias de optimización resulta fundamental para mejorar la eficiencia y sostenibilidad de la cadena de suministro (Chica Mendoza et al., 2024, p. 464). No obstante, las pequeñas y medianas empresas del sector alimentario continúan enfrentando desafíos estructurales en sus procesos logísticos, particularmente en el empaquetado y la distribución, relacionados con la variabilidad de la demanda, la disponibilidad limitada de operadores, la gestión eficiente de insumos y la necesidad de mantener bajos costos operativos sin afectar la calidad del servicio (García et al., 2021), por lo que el uso de un modelo adecuado permite optimizar costos y fortalecer la sustentabilidad en la gestión de productos perecederos (Wei et al., 2020, p. 6). En este contexto, el presente estudio propone un modelo de Revisión Periódica de Producción (PRP) combinado con algoritmos heurísticos adaptativos, aplicado al proceso de empaquetado de botanas saborizadas, como una solución replicable para PYMES mexicanas.

Para su implementación se utilizaron datos reales de demanda mensual por sabor y estado, proporcionados por la empresa de caso de estudio. La demanda total mensual asciende a 220 toneladas, distribuidas en 11 sabores y tres estados: Hidalgo, Estado de México y Tlaxcala. Esta selección responde a la importancia estratégica de dichos productos, ya que representan la mayor contribución económica y son considerados prioritarios por los directivos. (Cabrera-Gala et al., 2021, p. 29).

La siguiente tabla sintetiza la demanda mensual de los 11 sabores principales en los tres estados estratégicos para la empresa, lo que facilita identificar los productos más relevantes y orientar de manera precisa la planeación logística.

Tabla 3. Demanda mensual por sabor y estado (toneladas).

Sabor	Hidalgo (toneladas)	Estado de México (toneladas)	Tlaxcala (toneladas)	Total por Sabor (toneladas)
MIX	4	22	2	28

Habanero	4	21	1	26
Mango	3	18	1	22
Cheese	3	17	1	21
Cantinero	3	16	1	20
Olee	2	15	1	18
Semillas	2	14	1	17
Habas	2	13	1	16
Taka-Taka	2	12	1	15
Girasol	2	11	1	14
Garapiñado	2	10	0	12
Total por Estado	29	179	12	220

Fuente. *Elaboración propia (2025).*

A partir de esta información el modelo PRP se diseñó para asignar sabores a operadores de manera que se minimice la carga máxima mensual por operador, considerando restricciones de tiempo. Cada operador dispone de 160 horas mensuales (20 días laborales $\times$ 8 horas/día), y la tasa de empaquetado se estimó en 0.663 toneladas/hora, basada en líneas industriales semi-automáticas para snacks. En este mismo sentido esta elección metodológica se justifica por su efectividad y adaptabilidad en contextos operativos reales, como lo señala el estudio *Application of Periodic Review Inventories Model in a Typical Mexican Food Company*, donde se determinó que el modelo de revisión periódica (R, S) era la alternativa más conveniente, tanto por su efectividad como por su alineación con las características operativas de la empresa (Cabrera-Gala et al., 2021, p. 28).

Las variables de decisión incluyen:

- x_{ij} : variable binaria que indica si el sabor i es asignado al operador j .
- z : carga máxima en toneladas por operador.

El objetivo es minimizar z , sujeto a:

- Cada sabor debe ser asignado a un único operador.
- La carga total por operador no debe exceder las 160 horas disponibles, es decir:

$$\frac{\text{carga}}{0.663} < 160$$

Este modelo fue resuelto mediante programación lineal entera utilizando el solver PuLP, incorporando heurísticas primales (rounding y diving) para acelerar la convergencia. Una vez obtenida la solución inicial, y con el modelo estructurado y los parámetros operativos definidos, se desarrollaron simulaciones y pruebas estadísticas para evaluar el impacto del PRP en la distribución de carga y en el uso del tiempo disponible por operador. Los resultados de este proceso se presentan a continuación.

En primer lugar, se muestra la distribución de sabores asignados a cada operador, junto con la carga total procesada y el tiempo estimado de operación, lo que permite visualizar el equilibrio de trabajo entre los tres operadores y evaluar si la asignación favorece una operación eficiente y homogénea.

Tabla 4. *Carga de trabajo y tiempo operativo por operador.*

Operador	Sabores asignados	Carga total (t)	Tiempo estimado (h)
1	MIX, Habanero, Taka-Taka	69	104.1
2	Mango, Cantinero, Habas, Garapiñado	70	105.6
3	Cheese, Olee, Semillas, Girasol	70	105.6

Fuente: *Elaboración propia (2025).*

Al llegar a este punto, se observa que todos los operadores se mantienen por debajo del umbral de 160 horas, lo que valida la factibilidad del modelo sin requerir horas extras y preserva un margen operativo para actividades complementarias como mantenimiento, mezclado de sabores y preparación de insumos. Como señalan Minner y Transchel en su estudio Periodic Review Inventory-Control for Perishable Products Under Service-Level Constraints, “los experimentos muestran que el enfoque dinámico reduce los costos de inventario y mejora los tiempos de respuesta en comparación con las políticas convencionales” (Minner & Transchel, 2015, p. 986), lo cual respalda empíricamente los beneficios observados en esta implementación. Para ello, se realizaron 30 corridas simuladas introduciendo ruido normal, con una desviación estándar de 1

tonelada por sabor, y se compararon dos métodos: el PRP optimizado y la asignación secuencial sin PRP (round-robin). Asimismo, se presentan los resultados comparativos de las 30 corridas de simulación realizadas para evaluar el desempeño del modelo PRP frente al método tradicional sin PRP, mostrando la media de la carga máxima, la dispersión de los datos y el porcentaje de mejora obtenido con la implementación del PRP.

Tabla 5. Resultados de la simulación.

Método	Media carga máxima (t)	Desviación estándar	Mejora (%)
PRP	70.2	0.6	
Sin PRP	76.5	2.1	8.24%

Fuente: Elaboración propia (2025).

En este punto del análisis, se aplicó un ANOVA ajustado y la tabla siguiente resume los resultados del análisis ANOVA aplicado para determinar si existen diferencias estadísticamente significativas entre los métodos evaluados. Se destacan la suma de cuadrados, los grados de libertad y los indicadores de significancia que permiten validar el impacto del modelo PRP.

Tabla 6. ANOVA (Suma de cuadrados, F, p-value).

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Media Cuadrática	F-stat	p-value
Método	1152.3	1	1152.3	45.6	<0.001
Residual	1456.7	58	25.1	-	-
Total	2609.0	59	-	-	-

Fuente: Elaboración propia (2025).

Derivado de este análisis el $p\text{-value} < 0.001$ confirma una diferencia significativa entre las medias. El eta-cuadrado (efecto tamaño) es ≈ 0.44 (calculado como $SS_{\text{método}} / SS_{\text{total}}$), indicando un efecto moderado-fuerte del PRP en la reducción de la carga máxima. Esto valida positivamente el cambio, con mayor robustez ante variabilidad en demandas. El análisis ANOVA confirmó diferencias significativas entre ambos métodos ($p < 0.001$), lo que indica un efecto moderado-fuerte del modelo PRP sobre la eficiencia operativa. (Minner & Transchel, 2015, p. 985).

Dentro de este contexto, fue posible cuantificar las implicaciones económicas y operativas del modelo. La reducción promedio de 6.3 toneladas en el operador más cargado implica un ahorro de

aproximadamente 9.5 horas mensuales ($6.3 / 0.663$). Considerando un costo laboral de \$40 MXN/hora por operador (estimación para México en 2025), el ahorro directo mensual es de:

- \$380 por operador bottleneck.
- \$1,140 considerando los tres operadores.

Por otra parte, se estima una reducción adicional de 3–5% en costos indirectos por menor fatiga, errores y desperdicio de insumos (INEGI, 2024). De manera complementaria, fue necesario integrar el análisis de materias primas e insumos para asegurar la coherencia del modelo con las necesidades reales de producción el modelo considera el uso proporcional de materias primas e insumos, incluyendo:

- Cacahuete: 264 toneladas mensuales, provenientes de Chihuahua, Sinaloa y Puebla.
- Aditivos: 18.9 toneladas mensuales (sal, chile, azúcar, soya, condimentos).
- Insumos de empaque: 1.32 millones de etiquetas, 1.32 millones de bolsas, 44,000 cajas, selladoras térmicas y engrapadoras.

En definitiva, esta integración asegura que la planificación logística esté alineada con la disponibilidad real de materiales, fortaleciendo la sostenibilidad operativa.

CONCLUSIONES

En este análisis, al juntar lo teórico, lo metodológico y lo práctico, se pudo ver que aplicar el modelo de Revisión Periódica de Producción junto con técnicas heurísticas adaptativas es una opción útil para mejorar el suministro en una empresa que envasa botanas de diferentes sabores. Se revisó la solicitud, se llevaron a cabo simulaciones de escenarios, se aplicó análisis estadístico y se evaluaron insumos, lo que ofreció una perspectiva más clara de cómo funciona el sistema productivo. Los hallazgos mostraron que el modelo promovió una asignación más justa del trabajo, que las operaciones se volvieron más estables y que el proceso siguió sin interrupciones a pesar de los cambios mensuales en la demanda. Esto puede traducirse en mejoras visibles tanto en la eficacia como en el rendimiento del proceso.

El examen exhaustivo de la literatura, basado en la metodología SALSA, permitió descubrir avances significativos en la utilización de modelos heurísticos como herramientas para optimizar procesos con restricciones operativas. Esta revisión nos permitió ver que aún hay temas que necesitan más estudio y que sería útil implementar métodos más flexibles, fáciles de aplicar y que no requieran muchos recursos, especialmente en empresas con presupuestos ajustados. También

ayudó a vincular lo que dicen las teorías con la realidad práctica, lo que hizo más evidente cuáles son los problemas que enfrentan las cadenas de suministro de productos perecederos y por qué el enfoque de este estudio es tan relevante.

TRABAJO A FUTURO

A partir de los resultados obtenidos, se reconocen varias direcciones de investigación futuras que podría potenciar y esparcir el alcance de este modelo. Inclusive resalta la opción de crear heurísticas con sistemas de autoajuste que posibiliten la modificación de parámetros en tiempo real frente a variaciones inesperadas en la demanda o alteraciones en la disponibilidad de materiales. Un punto adicional importante involucra criterios de sostenibilidad ambiental y social en los modelos de optimización, de modo que la toma de decisiones no solo dependa de la eficiencia operativa, asimismo el impacto ecológico y el uso responsable de recursos. También sería conveniente implementar y comprobar el modelo PRP en diferentes sectores productivos y en varios eslabones de la cadena de suministros para estudiar su marcha en circunstancias más amplias y complejas. En resumen, esta investigación muestra que el modelo PRP puede ser efectivo al combinarse con heurísticas en situaciones reales, además de enlazar la teoría con la práctica, proporcionando un fundamento robusto para continuar con estudios que busquen mejorar la eficiencia y sostenibilidad en las cadenas de suministro de alimentos. Esta investigación, además de cumplir con sus objetivos, abre puertas para seguir innovando en soluciones útiles que ayuden a las PYMES a enfrentar de manera estratégica los desafíos actuales del suministro.

A partir de esta investigación se pretende que en un futuro próximo se fortalezca el tema con el diseño e implementación de estrategias que favorezcan el óptimo desarrollo de habilidades motrices, entre las que destacarán el juego principalmente, dada la edad y características de los estudiantes que se atienden.

REFERENCIAS

Acosta Cifuentes, C., Antelis Lizcano, D. A., & Beltrán Novoa, C. H. (2023). *Plan de negocio para la creación de Re Verde Siendo, una iniciativa que contribuirá a la compensación y/o mitigación de la huella de carbono* [Trabajo de maestría, Universidad EAN]. <https://repository.universidadean.edu.co/server/api/core/bitstreams/8631030d-3a34-467f-ae80-a29de6870d7b/content>

- Álvarez-Arias, J. C., & Álvarez-Arias, J. C. (s. f.). Análisis de la gestión de la cadena de suministro en la agricultura: Una revisión sistemática. <https://doi.org/10.5281/zenodo.16946150>
- Bandekar, S. R., & C, V. (2019). Optimization algorithm in supply chain management. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 8(12), 5072–5079. <https://doi.org/10.35940/ijitee.l2724.1081219>
- Barboza, O., Mendoza, J., & Fariña, R. (2019). Linear programming applied to load dispatch in Paraguay. *Revista Científica de la UCSA*, 6(3), 44–51. <https://doi.org/10.18004/ucsa/2409-8752/2019.006.03.044-051>
- Benítez, J. R. R. D. (2023). Diseño de una arquitectura de referencia en la logística de abastecimiento inteligente de almacenes mediante el uso de tecnologías de la Industria 4.0: Caso almacenes retail de la ciudad de Pilar. *Brazilian Applied Science Review*, 7(2), 495–512. <https://doi.org/10.34115/basrv7n2-005>
- Bermúdez, J. C., Villarreal, L. C., Fernández, L., León, O. A., Herazo, J. M., & Millán, R. R. (2020). Principales causas que provocan el desabastecimiento en las operaciones logísticas y su impacto en la promesa de entrega. *Boletín de Innovación Logística y Operaciones*, 2(2), 17–22. <https://doi.org/10.17981/bilo.02.02.2020.03>
- Blaettchen, P., Calmon, A. P., & Hall, G. (2024). Traceability technology adoption in supply chain networks. *Management Science*. <https://doi.org/10.1287/mnsc.2022.01759>
- Borbor-Murillo, D., Jácome, G. F., Sánchez-Holguín, L., & Cevallos-Torres, L. (2020). Modelo de simulación de inventario basado en algoritmo de optimización por enjambre de partículas (PSO) para minimizar costos por venta de productos perecederos. *Ecuadorian Science Journal*, 4(1), 37–44. <https://doi.org/10.46480/esj.4.1.40>
- Bu, J., Gong, X., & Yin, H. (2023). Managing perishable inventory systems with positive lead times: Inventory position vs. projected inventory level. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4638265>
- Cabrera-Gala, R., Carreón-Nava, L., Valencia-Cuevas, H., & Rivera-Sosa, L. (2021). Application of periodic review inventories model in a typical Mexican food company. *Acta Logistica*, 8(1), 27–36. <https://doi.org/10.22306/al.v8i1.199>
- Carvajal, J., Amaya, C. A., & Castaño, F. A. (2010). Un algoritmo basado en programación lineal para resolver el problema de abastecimiento coordinado (JRP).

- Crespo-Martínez, E., Astudillo-Rodríguez, C., Chica-Contreras, G., & Vásquez-Aguilera, A. (2023). Technology acceptance model of ERP software in small business: A systematic literature review. *Enfoque UTE*, 14(1), 46–61. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.884>
- Daniel, A. D. (2022, October 1). Aplicación de algoritmos de inteligencia artificial a la optimización de la calidad de requisitos mediante sugerencias automáticas de mejora. <https://e-archivo.uc3m.es/entities/publication/4ffa54ba-895d-40cb-b6d6-6c6caacebb10>
- Del Carmen, L. C. M. (2025, May 9). Diseño de un algoritmo de optimización utilizando la metodología de machine learning para la gestión de inventarios del área de almacenes comerciales en una empresa distribuidora de Trujillo, año 2023. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/43971>
- Enrique, S. M. M. (2017, March 20). Diseño de una metodología de control de modelos dinámicos de inventarios multiproducto basada en la teoría de control predictivo para reducción de costo de inventarios en procesos con dinámicas de abastecimiento variables [Tesis doctoral, Universidad del Norte]. <https://manglar.uninorte.edu.co/handle/10584/8961>
- Flórez, J. M. C. (2017). Métodos exactos y heurísticos en la solución de problemas de redes de transporte en las cadenas de suministro. <https://revistas.ceipa.edu.co/index.php/lupa/article/view/582>
- Gusarova, O. M., Yerzhanova, M. E., Bereznjak, I. S., Konstantinov, V. A., & Vityutina, T. A. (2019). Supply chain management in the food industry: A comprehensive hierarchical decision-making structure. *International Journal of Supply Chain Management*, 8(4), 904–910.
- Huang, X., Yang, S., & Wang, Z. (2021). Optimal pricing and replenishment policy for perishable food supply chain under inflation. *Computers & Industrial Engineering*, 158, 107433. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107433>
- Minner, S., & Transchel, S. (2010). Periodic review inventory-control for perishable products under service-level constraints. *OR Spectrum*, 32(4), 979–996. <https://doi.org/10.1007/s00291-010-0196-1>
- Rusdiansyah, A., & Tsao, D. (2004). An integrated model of the periodic delivery problems for vending-machine supply chains. *Journal of Food Engineering*, 70(3), 421–434. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.05.073>

- Segura, M., Maroto, C., Segura, B., & Casas-Rosal, J. C. (2020). Improving food supply chain management by a sustainable approach to supplier evaluation. *Mathematics*, 8(11), 1952. <https://doi.org/10.3390/math8111952>
- Shaik, M., & Siddque, K. Q. (2023). Predictive analytics in supply chain management using SAP and AI. *Journal of Computer Sciences and Applications*, 11(1), 1–6. <https://doi.org/10.12691/jcsa-11-1-1>
- Solari, F., Lysova, N., Volpi, A., Montanari, R., & Bottani, E. (2023). Periodic review for perishable products under service level constraints: Optimization, sensitivity analysis, and predictive modelling. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4341662>
- Stranieri, F., & Stella, F. (2024). Comparing deep reinforcement learning algorithms in two-echelon supply chains. In *Communications in Computer and Information Science* (pp. 454–469). https://doi.org/10.1007/978-3-031-74640-6_37
- Tagaras, G., & Vlachos, D. (2001). A periodic review inventory system with emergency replenishments. *Management Science*, 47(3), 415–429. <https://doi.org/10.1287/mnsc.47.3.415.9770>
- Valencia, V. R., Herrera, S. R., & Gómez, O. D. C. (2016). Algoritmos aplicados en la programación de las cadenas de suministro para minimizar costos: Revisión de literatura. *Dialnet*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5980561>
- Vivanco, M. T., & Muñoz, L. C. (2021). ERP para la gestión de la información económica de los productos cárnicos. <https://www.redalyc.org/journal/3783/378369433007/>
- Wei, M., Guan, H., Liu, Y., Gao, B., & Zhang, C. (2020). Production, replenishment and inventory policies for perishable products in a two-echelon distribution network. *Sustainability*, 12(11), 4735. <https://doi.org/10.3390/su12114735>

TABLA TRABAJO COLABORATIVO

Rol	Autor (es)
Conceptualización	Itzel Yolozechitl Ruiz Hernández
Metodología	Abigail Sánchez Hernández
Software	Itzel Yolozechitl Ruiz Henández
Validación	Francisco Alfonso Chiapa Tellez

Análisis Formal	Abigail Sánchez Hernández
Investigación	Andrea Sánchez Rosas
Recursos	Itzel Yolochoitl Ruiz Hernández
Curación de datos	Andrea Sánchez Rosas
Escritura – Preparación de borrador original	Abigail Sánchez Hernández
Escritura – Revisión y edición	Andrea Sánchez Rosas
Visualización	Domingo Noé Marrón Ramos
Supervisión	Francisco Alfonso Chiapa Tellez
Administración de Proyectos	Francisco Alfonso Chiapa Tellez
Adquisición de fondos	Domingo Noé Marrón Ramos