



Aplicación de investigación de operaciones en
RECOLECCIÓN TEXTIL
con logística inversa y programación lineal

APPLICATION OF OPERATIONS RESEARCH IN TEXTILE COLLECTION
WITH REVERSE LOGISTICS AND LINEAR PROGRAMMING

SENNOVA

Sistema de Investigación,
Desarrollo Tecnológico e Innovación

Mg.Ing. Manuel Méndez Flórez

Tecnológico de Costa Rica
manmendez@itcr.ac.cr



Est. Camila Isabel Ulate Chaves

Tecnológico de Costa Rica
caulate@estudiantec.cr



Est. Fabiana Arias Rosales

Tecnológico de Costa Rica
fabiana0744@estudiantec.cr



Est. Ian de Jesús Calvo Madrigal

Tecnológico de Costa Rica
iacalvo@estudiantec.cr



Est. Yurgen Isack Cambronero Mora

Tecnológico de Costa Rica
ycambronero@estudiantec.cr



1. Resumen

La industria textil se enfrenta a serios desafíos ambientales, especialmente por el modelo de “Fast Fashion” que se caracteriza por la producción masiva de ropa con un ciclo de vida corto. Este modelo promueve la cultura de “usar y tirar” que genera gran cantidad de desechos textiles y desafía los principios de la economía circular cuyo objetivo es prolongar la vida útil de los productos y reincorporar materiales al sistema industrial. Este artículo propone la logística inversa como solución para mitigar este problema enfocándose en estrategias como la remanufactura y el reciclaje. Por medio del uso de la programación lineal aplicado al problema de ruteo de vehículos (VRP), se analiza cómo optimizar las rutas de recolección de textiles posconsumo. Los resultados muestran que una planificación eficiente de las rutas puede reducir costos y mejorar la recolección, contribuyendo significativamente a la reducción de desechos y el impacto ambiental. El estudio muestra la importancia de implementar estrategias de logística inversa en la industria textil para seguir los principios de la economía circular y mitigar los efectos negativos de la moda rápida.

Palabras claves: economía circular, moda rápida, impacto ambiental, industria textil, logística inversa, programación lineal, ruteo de vehículos.

1.1. Abstract

The textile industry faces serious environmental challenges, particularly due to the “Fast Fashion” model, which is characterized by the mass production of clothing with a short lifecycle. This model promotes a “use-and-dispose” culture that generates a significant amount of textile waste and challenges the principles of the Circular Economy, which aims to extend the life of products and reincorporate materials into the industrial system. This article proposes reverse logistics as a solution to mitigate this problem, focusing on strategies such as remanufacturing and recycling. Through the use of linear programming applied to the Vehicle Routing Problem (VRP), it examines how to optimize post-consumer textile collection routes. The results show that efficient route planning can reduce costs and improve collection, significantly contributing to waste reduction and environmental impact. The study highlights the importance of implementing reverse logistics strategies in the textile industry to adhere to Circular Economy principles and mitigate the negative effects of fast fashion.

Keywords: circular economy, environmental impact, fast fashion, textile industry, reverse logistics, linear programming, vehicle routing

2. Introducción

En la actualidad, uno de los desafíos más apremiantes que enfrenta la sociedad moderna es el consumismo desenfrenado, especialmente visible en la industria textil, con la moda como un actor central. Un modelo paradigmático de este fenómeno es el “Fast Fashion” o “Moda Rápida”, que se refiere a la producción masiva de ropa a bajo costo, diseñada para ser utilizada por un breve periodo antes de ser desechada.

Este modelo promueve un ciclo de vida extremadamente corto para las prendas, lo que resulta en un aumento significativo de los desechos textiles y agrava los problemas medioambientales (Jaamaa & Kaipia, 2022). La moda rápida fomenta la cultura del “usar y tirar”, incentivada por la venta masiva a precios bajos (Sumo et al., 2023).

Esta tendencia contraviene los principios de la Economía Circular (EC), cuyo objetivo es prolongar los ciclos de vida de los productos y reincorporar los materiales al sistema industrial (Acosta Calderón & Velandia Sarmiento, 2022). Actualmente, la gestión predominante de los residuos textiles se basa en la incineración o en su disposición en vertederos, métodos que no maximizan el valor inherente de los textiles ni su durabilidad a largo plazo (Jaamaa & Kaipia, 2022).

Ante los efectos perjudiciales de la moda rápida en el mercado, surge la necesidad de enfocar la logística inversa en la industria textil, con el fin de explorar formas de maximizar la reutilización de materiales, aumentar la durabilidad de los productos y mitigar las consecuencias derivadas del alto consumo de productos textiles. Para que esto sea posible se necesitan un conjunto de políticas para abordar las causas iniciales y las posteriores de la incineración o desecho de productos y de esta manera que se promueva la reutilización, reparación y donación. (Roberts et al., 2023). La logística inversa promueve un equilibrio económico y ambiental, con el fin que esta industria sea más sostenible. (González-Castillo et al., 2023)

Considerando las implicaciones ambientales y de consumo de la moda rápida, la logística inversa se presenta como una solución viable para reducir los impactos negativos de la hiperproducción y el consumo en la industria textil. Este artículo propone la aplicación de programación lineal para optimizar el sistema de recolección domiciliar de prendas que han cumplido su ciclo de vida útil.

El objetivo es mejorar la eficiencia de la recolección de textiles posconsumo, reduciendo los costos y que promueva la

economía circular. Con la optimización de las rutas de recolección, se busca minimizar el impacto ambiental. Además, este sistema permitirá a los consumidores devolver prendas que ya no utilicen, facilitando así su reintegración en el ciclo de vida del producto y otorgándoles una segunda vida útil.

3. Metodología

1. Estrategia de búsqueda: La estrategia de búsqueda utilizada fue mediante palabras claves y conceptos principales para la investigación del tema, estas fueron: “logística inversa”, “programación lineal”, “transporte” e “industria textil”, combinando las palabras mencionadas antes, para abarcar la mayor cantidad de revistas posibles; así se identificaron los estudios más relevantes para la revisión y relacionados con la temática de la revisión bibliográfica. Se optó por revistas que fueran altamente citados y altas referencias.

2. Criterios de selección: Los artículos seleccionados fueron por medio de criterios de la relevancia con el tema relacionado en los que se analizara la logística inversa en la industria textil y la aplicación de la programación lineal en la misma. Se evaluó el resumen provisto por los autores para analizar la aplicabilidad en el contexto a investigar.

3. Recuperación de la Información: La búsqueda bibliográfica para la realización de la revisión se hizo por medio de las bases de datos Web of Science y Google Scholar, se obtuvieron las revistas científicas como la fuente principal de información. Para la realización y organización de las referencias se utilizó Mendeley.

4. Evaluación de la calidad de los artículos seleccionados: Se realizó una evaluación del resumen provisto por los autores para analizar la aplicabilidad en el contexto a investigar. Este paso permite poder encontrar información que sea de utilidad para el desarrollo de la revisión bibliográfica.

5. Análisis de la variabilidad, fiabilidad y validez de los artículos: El análisis utilizado para este trabajo fue una lectura exhaustiva

de las revistas científicas seleccionadas, analizando su contenido, resultado y conclusiones. De esta manera se puede asegurar que su contenido sea provechoso en la revisión bibliográfica.

4. Resultados

En la revisión se encontró la implementación de estrategias de logística inversa utilizadas en la industria textil incluyendo reciclaje, reutilización, remanufactura y reparación; esto permitió una reducción significativa de las emisiones de gases de efecto invernadero. Además de mejorar la eficiencia de la operación en el transporte para minimizar costos y maximizar la carga.

Figura 1.
Ciclo de logística inversa en la industria textil



Nota. Elaboración propia.

La industria textil es una de las más contaminantes actualmente debido al consumo de energía y agua dulce, reducción de materia primas y uso de fertilizantes (Yavari, 2019). La utilización de ropa de segunda mano va a permitir una reducción considerable de las emisiones que promueven el efecto invernadero en un 53% además que la contaminación de las fábricas que las producen y los procesos de producción química tendrían una reducción del 45%. Tanto promover el reciclaje como la reutilización

va a fomentar una reducción del uso de los recursos naturales para la producción de nuevas prendas de ropa (García et al., 2020).

Según la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), en la actualidad se reciclan 2.6 millones de toneladas de productos textiles por año. Se informó que el reciclaje de textiles ha tenido un gran impacto en la reducción del efecto invernadero, más que el reciclaje de otros productos más populares como lo es el plástico y el vidrio. Tanto la reutilización como el reciclaje de la ropa equivalen a retirar 1.3 millones de carros y sus emisiones de CO₂ de las carreteras de Estados Unidos según EPA (Yavari, 2019).

En la actualidad Brasil no ha logrado las metas del reciclaje la reutilización de los residuos textiles por ende debe recurrir a directamente su desecho o incineración. Brasil ha tenido una pérdida de 600 millones de dólares debido a su falta de un manejo correcto de los textiles (García et al., 2020).

Las cadenas de suministro de industria textil y de moda se alinean con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas. Se ha dejado de lado los objetivos de “Vida en el Agua y la Tierra”, “Fin de la Pobreza” y “Reducción de Desigualdades”, el manejo correcto de los desechos textiles puede ser la solución a estos objetivos que se tienen para el 2030. (Cai & Choi, 2020).

En la información mostrada anteriormente se puede recalcar la importancia de un plan de logística inversa de los textiles. Para abordar el problema de manera correcta, se propone cambiar el proceso actual de desechos de los productos textiles, centrando la interacción de los diferentes componentes textiles para aumentar la cantidad de materiales reciclados y devolverlos al proveedor considerando aspectos ambientales, económicos y sociales. (Dissanayake & Pal, 2023). Las siguientes son dos maneras en las que se aplica la logística inversa en la industria de los textiles de esta manera mitigar la alta cantidad de desechos y contaminación que estas provocan:

- **Remanufactura:** Es el proceso de la extensión del ciclo de la vida útil de un producto, esto se puede hacer por medio del desmontaje y limpieza de esta manera se va a obtener la reducción del uso de materias primas. Se enfoca en producir nuevos productos con el mismo propósito (Yavari, 2019).

- **Reparación y reutilización:** La reparación permite hacer modificaciones para arreglar productos textiles que estén dañados a su estado funcional. Reutilización se refiere a aprovechar un producto con la función que tenía antes o con una nueva y así obtener mayor vida del producto textil, también conocido como ropa de segunda mano. El problema radica en que la moda rápida es de menor calidad, y esto genera un desinterés de las personas en adquirir estos productos de segunda mano (Yavari, 2019).

- **Reciclaje:** El reciclaje y a la recuperación de textiles permiten reutilizar ropa desechada previamente (Oh & Jeong, 2014). El proceso involucra diferentes etapas desde la recolección de la ropa hasta el procesamiento al finalizar. Primeramente, se recolecta, seguidamente se clasifica en tipos, colores y condición para facilitar el proceso que sigue. Seguidamente se limpian para eliminar cualquier tipo de contaminación y finalmente se transforman los textiles en nuevas fibras para nuevos artículos, productos reciclados, materiales para el aislamiento, nuevo tejidos y relleno para muebles.

Esto se considera mucho mejor que la incineración debido a la reducción de los efectos ambientales, ya que la reutilización de ropa consume un pequeño porcentaje de la energía que es necesaria para fabricar nueva ropa (Paras et al., 2018). En Finlandia se utilizan tres métodos principales para el reciclaje textil a textil: recuperación de fibra, recuperación de polímeros y recuperación de monómeros. Estos diferentes métodos permiten un mayor aprovechamiento del residuo de los textiles dependiendo de su material. (Hinkka et al., 2023).

- **Incentivación a donaciones:** Los consumidores han mostrado últimamente una

tendencia a donar ropa cara pero la ropa barata la desechan fácilmente. Debido a esta situación las empresas han empezado a estudiar y adoptar estrategias que ayuden a la fomentación de la donación y reciclaje de prendas, dando como recompensa promociones o productos especiales (Yavari, 2019).

Las organizaciones sin fines de lucro en Finlandia están luchando en un entorno competitivo que es la industria textil, estas han aumentado su actividad comercial para que de esta manera se puedan generar ingresos y financiar el trabajo humanitario que realizan. Las cadenas de suministros inversas no solo ayudan a reducir los desechos y protección del ambiente, sino que las organizaciones sin fines de lucro en Finlandia se usan como fuente de recaudación de fondos para obras humanitarias. Estas organizaciones recogen donaciones textiles y se identifican los artículos de alto valor y las venden a tiendas de segunda mano, para obtener fondos; el resto se exporta para donaciones, reciclaje o si está en pésimas condiciones se desecha (Zhuravleva, 2024).

Es importante recalcar también las soluciones para la recolección de textiles posconsumo, luego de que el cliente haya consumido por totalidad el producto. Actualmente existen una serie de estrategias utilizadas: recolección a domicilio, puntos de entrega en tiendas o recolección en la acera. En Europa específicamente en Francia existen soluciones al transporte que incluye la recolección de textiles reutilizables como no reutilizables (Jaamaa & Kaipia, 2022).

Uno de los desafíos actuales para la planificación de las rutas para la recolección de textiles es debido a la distribución geográfica. Uno de los objetivos que la Unión Europea estableció a partir del 2025 es recoger de manera separada los textiles, de esta manera poder mejorar la remanufactura, reutilización y el reciclaje. Para que este objetivo sea cumplido de manera exitosa es de suma importancia minimizar los costos y maximizar la eficiencia en el recorrido de los transportes por los diferentes puntos de recolección y entrega del producto (Yavari, 2019).

Para poder solucionar este problema se va a aprovechar y utilizar la programación lineal, la cual nos permite diseñar rutas óptimas para los camiones recolectores, para de esta forma minimizar los costos y maximizar la eficiencia del proceso.

La Programación Lineal se refiere al conjunto de técnicas que permiten crear, analizar y resolver modelos matemáticos de carácter lineal. Estos modelos son normativos y están formados por un grupo de restricciones que deben cumplir las variables de decisión para ser válidas, junto con una función objetivo que permite evaluar la idoneidad de las posibles soluciones que satisfacen dichas restricciones (Larrañeta, 1987).

Con lo anterior definido se puede ver el problema como un Problema de Ruteo de Vehículos (VRP), este problema consiste en diseñar la ruta para un conjunto de vehículos idénticos, donde el vehículo inicia la ruta en un depósito o almacén y termina la ruta en el mismo punto de salida, para esto se selecciona un camino, el cual se encuentra conformado por un conjunto de arcos que pasan por los puntos de entrega de mercancías o bienes por los que el vehículo debe pasar, asignándole un peso de entrega sin sobrepasar la capacidad de carga (Machuca-de-Pina et al., 2018).

El problema planteado en el caso será el siguiente, hay un vehículo que es un camión recolector, que saldrá de un punto inicial (depósito o almacén de las prendas), este camión visitará varios puntos en la ciudad donde recogería los textiles (que podrían ser vecindarios y tiendas) y volverá al punto de partida para entregar todos los textiles recolectados. Ahora se buscará diseñar la ruta de tal manera que:

- Se minimice la distancia total recorrida, ya que en este tipo de problemas buscamos que el recorrido sea lo más corto posible, para así reducir los costos operativos y disminuir el impacto ambiental.
- Se cumpla con las restricciones de capacidad, ya que el camión tiene un límite de

capacidad por lo que no puede recolectar más prendas de las que puede transportar.

- Se optimice el tiempo de servicio, otro punto importante es minimizar el tiempo total de la ruta para así garantizar que la recolección se haga dentro de un tiempo razonable.

Como se mencionaba anteriormente, en un modelo de programación lineal, cada punto de recolección y cada conexión entre ellos se representará como una variable. La programación lineal les da uso a estas variables para así determinar cuál es la mejor secuencia de visitas a los puntos de recolección para así lograr el objetivo de optimización que se desea.

Al aplicar la programación lineal para resolver el problema VRP para recolección de textiles, se llegan a obtener varios beneficios tanto para la situación o problema en sí como para la empresa:

- **Reducción de costos**, al estar minimizando la distancia total del recorrido, se reduce adicionalmente los gastos tanto en combustible como en mantenimiento de los vehículos (Machuca-de-Pina et al., 2018).
- **Eficiencia en tiempo**, ya que, al estar optimizando el tiempo de ruta, esto permite realizar más ciclos de recolección en una menor cantidad de tiempo, lo que aumenta la capacidad operativa (Machuca-de-Pina et al., 2018).
- **Sostenibilidad**, al tener rutas más eficientes se contribuye también a reducir las emisiones de carbono, algo que es crucial para la gestión ambiental (Machuca-de-Pina et al., 2018).
- **Mejor gestión de recursos**, ya que la solución a este problema nos permite una planificación más efectiva del uso de la flota de los camiones, además de que se logra evitar recorridos innecesarios y se llega a maximizar la carga que se va a recolectar (Machuca-de-Pina et al., 2018).

Con lo anterior, se puede recalcar que la programación lineal es una herramienta robusta para abordar este problema de recolección de textiles ya que no solo va a optimizar la operación, sino que también contribuye a la sostenibilidad ambiental al ayudar a reducir la huella de carbono y, por el problema actual, fomentar el reciclaje eficiente de materiales textiles.

5. Conclusiones

El presente estudio ha demostrado la efectividad de la programación lineal como herramienta para optimizar las rutas de recolección de textiles posconsumo en la industria textil, alineada con los principios de la economía circular. Los resultados obtenidos refuerzan la hipótesis de que una planificación eficiente de las rutas de recolección puede reducir significativamente los costos operativos, mejorar la eficiencia en el tiempo de servicio y contribuir a la sostenibilidad ambiental al disminuir las emisiones de carbono.

La implementación de estrategias de logística inversa, como la remanufactura y el reciclaje, se presenta como una solución viable para mitigar los impactos negativos del modelo de “Fast Fashion”. Este estudio también subraya la importancia de integrar enfoques matemáticos en la gestión de la cadena de suministro inversa para maximizar la reutilización de materiales y minimizar el desperdicio textil. En resumen, la investigación valida la necesidad de adoptar prácticas de logística inversa en la industria textil para cumplir con los objetivos de sostenibilidad y eficiencia, promoviendo así un cambio hacia un modelo más circular y responsable.

6. Referencias Bibliográficas

AcostaCalderón, S. N., & VelandiaSarmiento, D. F. (2022). Metodología para la aplicación de economía circular y logística inversa en el algodón para la industria textil en Bogotá. <https://repository.uamerica.edu.co/items/903ceed5-77d0-4301-a1ad-0b349e7abb6b>

Cai, Y.-J., & Choi, T.-M. (2020). A United Nations' Sustainable Development Goals perspective for sustainable textile and apparel supply chain management. *TRANSPORTATION RESEARCH PART E-LOGISTICS AND TRANSPORTATION REVIEW*, 141. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2020.102010>

Dissanayake, K., & Pal, R. (2023). Sustainability dichotomies of used clothes supply chains: a critical review of key concerns and strategic resources. *INTERNATIONAL JOURNAL OF LOGISTICS MANAGEMENT*, 34(7), 75–97. <https://doi.org/10.1108/IJLM-10-2022-0410>

Garcia, S., Naas, I. de A., Neto, P. L. de O. C., dos Reis, J. G. M., Polvora, V. N., de Lima, L. A., Martinez, A. A. G., & Lessa, V. S. (2020). Sustainability in Fabric Chains and Garments for a Circular Economy. En B. Lalic, U. Marjanovic, D. Romero, V. Majstorovic, & G. VonCieminski (Eds.), *ADVANCES IN PRODUCTION MANAGEMENT SYSTEMS: THE PATH TO DIGITAL TRANSFORMATION AND INNOVATION OF PRODUCTION MANAGEMENT SYSTEMS, PT I* (Vol. 591, pp. 531–537). https://doi.org/10.1007/978-3-030-57993-7_60

González-Castillo, N. S., Núñez-Rodríguez, J., & Ramírez-Rojas, M. S. (2023). Implicación de la logística inversa en la sostenibilidad del sector textil: una revisión sistemática. *I+ D Revista de Investigaciones*, 18(1), 16–44.

Hinkka, V., Aminoff, A., Palmgren, R., & Heikkilä Pirjo and Harlin, A. (2023). Investigating postponement and speculation approaches to the end-of-life textile supply chain. *JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION*, 422. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138431>

Jaamaa, L., & Kaipia, R. (2022). The first mile problem in the circular economy supply chains-Collecting recyclable textiles from consumers. *WASTE MANAGEMENT*,

Larrañeta, J. (1987). Programación lineal y grafos (Número 1). Universidad de Sevilla.

Machuca-de-Pina, J. M., Dorin, M., & García-Yi, A.-I. (2018). Evaluación experimental de un modelo de programación lineal para el problema de ruteo de vehículos (VRP). *Interfaces*, 011, 103–117.

Oh, J., & Jeong, B. (2014). Profit Analysis and Supply Chain Planning Model for Closed-Loop Supply Chain in Fashion Industry. *SUSTAINABILITY*, 6(12), 9027–9056. <https://doi.org/10.3390/su6129027>

Paras, M. K., Ekwall, D., Pal, R., Curteza, A., Chen, Y., & Wang, L. (2018). An Exploratory Study of Swedish Charities to Develop a Model for the Reuse-Based Clothing Value Chain. *SUSTAINABILITY*, 10(4). <https://doi.org/10.3390/su10041176>

Roberts, H., Milios, L., Mont, O., & Dalhammar, C. (2023). Product destruction: Exploring unsustainable production-consumption systems and appropriate policy responses. *SUSTAINABLE PRODUCTION AND CONSUMPTION*, 35, 300–312. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.11.009>

Sumo, P. D., Alimo, P. K., Agyeman, S., Sumo, D. Z., Cai, L., & Ji, X. (2023). RESEARCH OPPORTUNITIES IN TEXTILE REVERSE LOGISTICS: A SYSTEMATIC REVIEW. *LOGFORUM*, 19(2), 303–315. <https://doi.org/10.17270/J.LOG.2023.841>

Yavari, R. (2019). Analysis of a Garment-oriented Textile Recycling System via Simulation Approach.

Zhuravleva, A. (2024). Reverse supply chains of non-profit organizations for textile reuse. *JOURNAL OF HUMANITARIAN LOGISTICS AND SUPPLY CHAIN MANAGEMENT*. <https://doi.org/10.1108/JHLSCM-03-2023-0018>

Fecha de recepción: 21/11/2024
Fecha de aceptación: 25/02/2025