

Logística inversa en dispositivos móviles: acercamiento a la manipulación de celulares usados

Reverse logistics with mobile devices: An approach to the manipulation of used cellphones

Antonio Enrique Fernández García, Josué David Mena González, Marco Vinicio
Rodríguez Vargas, Maximilian Latysh, Santiago Ramos Arroyo

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Estudiante de Ingeniería en Computación

antfernandez@estudiantec.cr, josmena@estudiantec.cr,
mar.rodriquez@estudiantec.cr, mlatysh@estudiantec.cr, samos@estudiantec.cr.

1. Resumen

Este artículo de revisión busca explorar el estado contemporáneo de la logística inversa particularmente en el contexto de los celulares. A esta extensión, se investiga en partes como la investigación de operaciones apoya a este procedimiento junto con métodos computacionales y software. Se analizaron varios artículos pertinentes al tema, entre los cuales se consideraron los aspectos previamente establecidos. La realización del artículo entiende que la logística inversa es necesaria en el entorno del ciclo de vida (producción, consumo, entre otros) de los dispositivos móviles, especialmente con la extensión de la investigación de operaciones mediante sistemas computacionales.

Abstract

This literature revision article seeks to explore the contemporary state of

reverse logistics, particularly in the context of mobile devices. To this extent, it investigates how operations research supports this procedure along with computational methods and related software. Several articles relevant to the topic were analyzed, among which the previously established aspects were considered. The culmination of the article shows that reverse logistics is necessary in the environment of the life cycle (production, consumption, among others) of mobile devices, especially with the extension of operations research through computational systems.

Palabras clave:

Logística inversa, dispositivos móviles, celulares, investigación de operaciones, ciencias de computación, programación lineal

Keywords:

Reverse logistics, cellphones, phones, operations research, computer science, linear programming

2. Introducción

Según Agrawal et al. (2015), la logística inversa es la planeación, implementación y control del flujo de materiales crudos de forma eficiente y económica en el proceso del inventario, productos terminados e información asociada desde el punto de consumo hasta el origen para capturar el valor y/o eliminarlo adecuadamente (p. 77). Es necesario entender que este concepto se aplica a todas las industrias contemporáneas debido al desarrollo de la civilización tecnológico-humana. Es decir, actualmente se crean muchos productos para muchos consumidores. Sin embargo, en varios contextos no se define muy bien qué pasa después del consumo del producto. En este sentido, la logística inversa busca analizar justamente el flujo reverso desde los consumidores hasta las fábricas (o centros de eliminación).

Se puede comprender que es indispensable utilizar la logística inversa en el campo de los dispositivos móviles. Esta industria crece cada día y actualmente es muy importante, como ser humano que vive en una sociedad desarrollada, poseer un celular. Esto directamente participa en la provocación que desarrolla esta industria. Considerando esto, este artículo de revisión busca presentar el estado "actual" del empleo de la logística inversa junto con los dispositivos móviles

para promover la comprensión popular del contexto en cuestión y resaltar su importancia.

3. Metodología

a. Estrategia de búsqueda

Se utilizaron palabras claves referentes al tema de la investigación, dentro de estas estuvieron: "reverse logistics", "cellphone recycling", "circular economy" y "e-waste". Se realizaron combinaciones de estas palabras y similares mediante operadores booleanos OR y AND para obtener una mejor precisión en los resultados. Se ignoraron los artículos con muy pocas citas.

b. Criterios de selección

Se utilizaron artículos en español, inglés y portugués para abarcar la mayor cantidad de información posible, se utilizó un rango de fechas del 2009 hasta el 2024 para poder contextualizar como se ha desarrollado el tema de investigación, y se eligieron los artículos con más referencias.

c. Recuperación de la información

Se usaron los motores de búsqueda de las plataformas Web of Science, Mendeley y Google Scholar debido a su amplitud de literatura académica e importancia en este campo. Para el manejo de referencias se utilizó Mendeley.

d. Evaluación de la calidad de los artículos seleccionados

Se analizó inicialmente el resumen de los autores para ver la compatibilidad de los contenidos con

nuestra investigación, en caso parecer compatible, se examinaron los contenidos de los artículos para decidir si nos iba a importar información relevante.

e. Análisis de variabilidad, fiabilidad y validez de los artículos

Se hizo un estudio del contenido de los artículos seleccionados, con énfasis su metodología, resultados y conclusiones, buscando la mayor compatibilidad entre estas, y tomando en consideración el contexto de los artículos. De este modo, se aseguró su validez y utilidad para la revisión bibliográfica.

4. Resultados

Geyer y Blass (2010) estudian la economía del reciclaje y la reutilización de teléfonos móviles, afirmando que en todo el mundo se reutilizan más de los que se reciclan. Mencionan que el número de teléfonos obsoletos ha aumentado exponencialmente desde los años 90, esto ha provocado que muchos estén en su fin de vida. Aunque tienen 10 años de vida útil, las personas suelen sustituirlos cada 1 o 2 años. Ellos señalan que, a pesar de la disposición de los usuarios de devolver sus teléfonos, estos no suelen hacerlo por la poca información sobre la recolección de sus dispositivos.

Geyer y Blass (2010) indican que los fabricantes originales de dispositivos ofrecen servicios de recolección como parte de sus políticas y han delegado estas actividades a empresas terceras

que vieron una oportunidad de negocio en esta actividad. Estos dispositivos pueden ser reutilizados o reciclados, en este último proceso se recuperan materiales como metales que tienen un gran valor e impacto ambiental

Respecto a la reutilización, los celulares cuentan con un gran mercado. Se estima que en EU alrededor del 65% de celulares recolectados son reutilizados en vez de reciclados. Acá surgen dos términos que son remodelación (necesita un reprocesamiento) y reutilización (no ocupa remanufacturar prácticamente). También se dice que también está el teléfono usado, que solo se limpia de su información interna y se vende tal y como es (Dasaklis et al., 2020). Un móvil es reutilizable dependiendo de su modelo y estado y se reciclan aquellos no salvables. Según Geyer y Blass (2010), esto nos indica que las compañías que reciclan no se encargan de recolectar, sino de recibir dispositivos (pp. 518). El mayor obstáculo de la recolección es el desconocimiento de los medios de retorno y los dueños mantienen sus dispositivos por esto.

Las actividades de reciclaje y reutilización están motivadas a cuidar el ambiente, a seguir legislaciones y seguir el mercado. Por otra parte, los principales costos del manejo de celulares en fin de uso son logística inversa y reprocesamiento (Geyer y Blass, 2010). Las mayores vías de ganancias son la venta de productos remodelados o la venta de metales

sacados de la parte de reciclaje. Los costos de la logística inversa se dividen en 3: incentivo de retorno, recolección y envío e inspección y ordenamiento. Toda esta operación en promedio (en 2006) cuesta 7 dólares por móvil en los Estados Unidos y 11 dólares en el Reino Unido. Por otra parte, las ganancias en temas del reciclaje muestran alrededor de 0.5\$ de ganancia para los celulares. El 70% de estas ganancias viene del oro contenido en estos dispositivos y en su mayoría lo que más se recicla de estos es el cobre. Con los años, la masa de teléfonos y el contenido de oro ha disminuido, lo que indica que el reciclaje solo es rentable sin proceso de recolección.

La reutilización es mucho más rentable, incluso con la logística inversa incluida y también pensando en que los precios de artefactos renovados varían según el modelo, edad y condición (Geyer y Blass, 2010). Estos aparatos reutilizados tienen precios variables. Las compañías restauradoras de teléfonos llegan a tener un beneficio de hasta 226,500 USD anuales (Curvelo Santana et al., 2021). El mayor reto para los restauradores es escoger un precio de incentivo de retorno y el sistema de recolección para maximizar la diferencia entre las reventas y el proceso de logística inversa. Hay tres estrategias para la recolección: minimizar el costo de recolección, tener un incentivo fijo sin importar el dispositivo, tener un incentivo dependiendo del dispositivo.

Con esto ocurre la canibalización que se refiere a un usuario que compraría un nuevo modelo de teléfono prefiere comprar uno renovado, lo que llevaría a la disminución de las ventas y desplazaría la producción de nuevos dispositivos (Geyer y Blass, 2010). Por esto algunas compañías fabricantes no ven con buenos ojos el tema de la restauración/reutilización de dispositivos móviles, ya que rebajaría la producción y con ello las ganancias de esta área.

El siguiente artículo en cuestión es de Allehashemi et al. (2022). Este presenta un modelo para optimizar CLSCNs (Closed-Loop Supply Chain) de dispositivos móviles, enfocado en Ontario, Canadá. El estudio resalta la creciente importancia de la logística inversa, especialmente en celulares, y justifica el modelo matemático planteado. Los principales procesos de logística inversa (remanufactura, reciclaje y eliminación) cierran el ciclo de suministro, promoviendo la productividad. Además, aborda factores como contaminación, valor de materiales crudos, legislación, y reputación popular.

El modelo optimiza varios objetivos: minimizar costos logísticos, de producción y polución de CO₂, y abordar factores cualitativos mediante el "fuzzy Quality Function Deployment" (QFD), que incorpora perspectivas subjetivas. Se emplearon "Mixed-integer linear programming" (MILP) y programación multiobjetivo con "weighted-sums" y "epsilon-constraints" para optimizar

variables como la cantidad de productos desarrollados o transportados entre ubicaciones. Artigues et al. (2015) también explican el uso de MILP para optimización sobre funciones y restricciones lineales con variables enteras.

Una vez que se obtuvieron todos los parámetros necesarios, el modelo fue resuelto utilizando el software GAMS (Allehashemi et al., 2022). Según Soroudi (2017), GAMS (General Algebraic Modeling System) es una herramienta computación que permite el desarrollo de modelos de programación matemática y su optimización (p. 1). Allehashemi et al. (2022), concluyeron que los resultados obtenidos con la solución del modelo fueron buenos y que podrían apoyar a la industria. No obstante, ellos también consideran la necesidad de extender el campo de estudio para poder encontrar modelos y métodos todavía más eficientes (pp. 10-14).

El tercer artículo de revisión se asocia a la logística inversa de los dispositivos móviles mediante la comunicación integrada del Marketing. Demajorovic et al. (2012) menciona que la comunicación integrada de marketing representa el esfuerzo de la organización para promover, a través de herramientas múltiples y de manera unificada, un mensaje único (pp.5). En adición,

Escobar Moreno (2014) señala que, la CIM es un proceso orientado a resultados a largo plazo, principalmente cuando se necesita persuadir a la audiencia para mantener su lealtad (pp. 167).

En el contexto de la logística inversa en dispositivos móviles, este principio es muy importante, principalmente porque los consumidores desconocen este proceso. La implementación efectiva de la CIM puede ser crucial para educar a los clientes sobre los procedimientos de devolución y reciclaje, garantizando su participación en dicha iniciativa.

Cuando una empresa adopta este comportamiento, proyecta de inmediato una imagen positiva a la audiencia, porque contribuye a la transparencia de sus procesos y demuestra su compromiso en reducir las consecuencias medioambientales, lo que fortalece la confianza y fidelidad de sus compradores.

Según Demajorovic et al. (2012) existen cuatro pilares de la CIM, el público, el contenido, los canales y los resultados. En el caso del público, se refiere a las audiencias interna (empleados, gerentes, etc.) y externa (clientes, consumidores, entidades externas) con las que la empresa interactúa. La comunicación debe considerar a todos los stakeholders para crear conciencia, influir en actitudes y generar comportamientos (pp. 5).

El contenido incluye ideas, conceptos y valores que son transmitidos a los consumidores, además ofrece incentivos como regalías o descuentos que premian a las personas por sus buenas acciones en favor de la empresa. Este contenido debe ser relevante, creativo, persuasivo y consistente con los valores de la audiencia, intentando que se propague de boca a boca entre las personas (pp. 5).

Los canales deben ser escogidos por su relevancia y preferencia, la idea es que estos expandan la manera de comunicarse, incluyendo todos los puntos de contacto posibles con el consumidor (pp. 6).

Por último, los resultados evalúan el programa de comunicación mediante respuestas comportamentales y resultados financieros. Se mide el retorno sobre la inversión en el consumidor y los cambios en el comportamiento, no solo las compras (pp. 6).

Teniendo en cuenta los cuatro pilares, el objetivo de la comunicación integrada de marketing es desarrollar una campaña global que logre una armonía efectiva entre la imagen de la marca y la reacción del público objetivo (Demajorovic et al. 2012).

Según (Kirchherr et al. 2017) la economía circular es un sistema económico que reemplaza el concepto de "fin de vida" de los productos reduciendo, reutilizando, reciclando y

recuperando materiales en los procesos de producción, distribución y consumo, para lograr un desarrollo sostenible que cree calidad ambiental, prosperidad económica y equidad social, beneficiando a las generaciones actuales y futuras. El artículo de Xiangru y Wei (2009) presenta el mejoramiento de la gestión de residuos electrónicos usando un sistema de logística inversa en un contexto de esta economía, la cuál es presentada como una opción sostenible y competitiva empresarialmente.

Dado este contexto, la logística inversa se vuelve significativa tanto para reducir costos, cumplir regulaciones ambientales y fortalecer la relación con los clientes dándoles un servicio más completo y consistente (Srivastava, 2007; Xiangru & Wei, 2009).

Xiangru y Wei (2009) señalan que el uso de proveedores de logística inversa de terceros ha estado en aumento. Mencionan entre sus ventajas la capacidad de personal capacitado, infraestructura y sistemas de información eficientes para su uso operativo, adicionalmente (Govindan et al, 2012) indica que las empresas pueden reducir hasta el 10% de sus costos logísticos anuales utilizando estos proveedores.

Xiangru y Wei (2009) presentan un modelo de economía circular aplicado a la logística inversa en empresas de electrónica, el cuál integra puntos de recolección, centros de

reciclaje y fábricas de procesamiento en un sistema de transporte y reciclaje optimizado. Utilizando la programación LINGO, demuestran que es posible reducir costos operativos y de transporte, lo que subraya la viabilidad y beneficios de su implementación (Cottrill, 2000; Xiangru & Wei, 2009).

Concluyendo, Xiangru y Wei (2009) reflexionan sobre el poco uso de logística inversa de terceros de China en el año del estudio, y sobre como al aplicar este tipo de logística, se maximizaría el aprovechamiento de recursos y minimizaría los desperdicios, lo cuál sería significativo para China ya que son uno de los mayores productores de electrodomésticos

El último artículo critica ciertos modelos de logística inversa de electrónicos, especialmente de dispositivos móviles, y presenta un modelo nuevo y efectivo. Janse et al. (2010) indican que a pesar de que los modelos SCOR y GSCF son útiles para análisis, carecen de profundidad en la logística inversa, ni tampoco aprovechan su potencial en el sector económico, enfatizando más las compras, fabricación y logística. Esto demuestra que los modelos existentes no cubrían todos los aspectos necesarios para mejorar la logística inversa. Aun con estas limitaciones, los modelos SCOR y GSCF son un punto de partida valioso para identificar áreas de mejora en la gestión de la logística inversa.

Como menciona Janse et al. (2010), muchas empresas no reconocen aún la logística inversa como un factor clave para optimizar procesos. Esto provoca una falta de planificación, inhibiendo procesos efectivos de devolución y reciclaje. A pesar del esfuerzo de las empresas para adaptarse al aumento de complejidad en sus cadenas de suministro, la falta de atención a la logística inversa limita la exploración de sus beneficios.

Janse et al. (2010) sugieren que la gestión del ciclo de vida del producto debe integrarse con la logística inversa como base para mejorar la eficiencia y flexibilidad de la gestión del producto. Esto ayuda a las empresas a adaptarse a los cambios en la demanda y explotar oportunidades en los mercados extranjeros.

El estudio también estableció un marco de referencia que identifica la madurez en la logística inversa y destaca obstáculos y indicadores importantes. La logística inversa mejora la competitividad de las organizaciones y permite un manejo eficiente de materiales reciclables y residuos

5. Conclusiones

Llegando a este punto es importante comprender que en primer lugar las compañías pueden ver beneficios tangibles en el reciclaje y reutilización de sus productos si tienen canales adecuados de logística inversa. En estos casos a veces es más factible optar por operaciones relativas a la

reutilización ya que sus ganancias son mayores. Por otra parte, existen modelos matemáticos que se apoyan en recursos como la programación lineal para reducir el costo y contaminación que se produce en la logística inversa de los celulares. Es de vital importancia mantener un medio donde los usuarios puedan informarse y estar pendientes de como formar parte del proceso de logística inversa para devolver dispositivos que ya no le dan uso. El marketing sería beneficioso para ayudar a informar y generar conciencia y también para ganar buena reputación como empresa. También hay que destacar que la economía circular se aplica a dispositivos móviles y otros electrónicos, lo que es positivo para el ambiente, esto es logable gracias a modelos que pueden ser programados y que se han diseñado para cumplir en países como China. Finalmente, otros autores también han contribuido con modelos y críticas a las formas de logística inversa que tienen algunas compañías. Se propone un acercamiento que mejoraría la flexibilidad de las operaciones en múltiples sectores y obtener mejores resultados en general.

6. Referencias Bibliográficas

- Agrawal, S., Singh, R. K., & Murtaza, Q. (2015). A literature review and perspectives in reverse logistics. *Resources, Conservation and Recycling*, 97, 76–92.
- Allehashemi, T., Amin, S. H., & Zolfaghari, S. (2022). A proposed multi-objective model for cellphone closed-loop supply chain optimization based on fuzzy QFD. *EXPERT SYSTEMS WITH APPLICATIONS*, 210. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.118577>
- Artigues, C., Koné, O., Lopez, P., & Mongeau, M. (2015). Mixed-integer linear programming formulations. *Handbook on Project Management and Scheduling* Vol. 1, 17–41.
- Bouchereau, V., & Rowlands, H. (2000). Methods and techniques to help quality function deployment (QFD). *Benchmarking: An International Journal*, 7(1), 8–20.
- Curvelo Santana, J. C., Guerhardt, F., Franzini, C. E., Ho, L. L., Ribeiro Junior Silvestre Eduardo Rocha and Canovas, G., Yamamura, C. L. K., Vanalle, R. M., & Berssaneti, F. T. (2021). Refurbishing and recycling of cell phones as a sustainable process of reverse logistics: A case study in Brazil. *JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION*, 283. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124585>

- Dasaklis, T. K., Casino, F., & Patsakis, C. (2020). A traceability and auditing framework for electronic equipment reverse logistics based on blockchain: the case of mobile phones. *2020 11TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFORMATION, INTELLIGENCE, SYSTEMS AND APPLICATIONS (IISA 2020)*, 295–301. <https://doi.org/10.1109/iisa50023.2020.9284394>
- Demajorovic, J., Zuniga Huertas, M. K., Boueres, J. A., da Silva, A. G., & Sotano, A. S. (2012). REVERSE LOGISTICS: HOW DO COMPANIES REPORT THE DISPOSAL OF BATTERIES AND CELL PHONES? *RAE-REVISTA DE ADMINISTRACAO DE EMPRESAS*, 52(2), 165–178. <https://doi.org/10.1590/S0034-75902012000200004>
- Escobar Moreno, N. R. (2014). Comunicación integrada de marketing: un acercamiento a la evolución del concepto. *Semestre Económico*, 17(35), 161–192.
- Geyer, R., & Blass, V. D. (2010). The economics of cell phone reuse and recycling. *INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED MANUFACTURING TECHNOLOGY*, 47(5–8, SI), 515–525. <https://doi.org/10.1007/s00170-009-2228-z>
- Govindan, K., Palaniappan, M., Zhu, Q., & Kannan, D. (2012). Analysis of third party reverse logistics provider using interpretive structural modeling. *International Journal of Production Economics*, 140(1), 204–211.
- Janse, B., Schuur, P., & de Brito, M. P. (2010). A reverse logistics diagnostic tool: the case of the consumer electronics industry. *INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED MANUFACTURING TECHNOLOGY*, 47(5–8, SI), 495–513. <https://doi.org/10.1007/s00170-009-2333-z>
- Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, 127, 221–232.
- Ponce-Cueto, E., González Manteca, J. Á., & Carrasco-Gallego, R. (2011). Reverse logistics practices for recovering mobile phones in Spain. *Supply Chain Forum: An International Journal*, 12(2), 104–114.
- Soroudi, A. (2017). Power system optimization modeling in GAMS (Vol. 78). Springer.

Xiangru, M., & Wei, S. (2009).
Construction of Third-party
Reverse Logistics About
Electronics Enterprise Based
on Circular Economy. 2009
IITA INTERNATIONAL
CONFERENCE ON
SERVICES SCIENCE,
MANAGEMENT AND
ENGINEERING,
PROCEEDINGS, 213+.
[https://doi.org/10.1109/SSME.
2009.11](https://doi.org/10.1109/SSME.2009.11)