

Decisiones en el Diseño de Redes de Logística Inversa: Propuesta de un Modelo de Decisión.

Decisions on the Design of Reverse Logistics Networks: a Proposal for a Decision Model.

Ribas I¹, Rubio S²

Abstract A configuration of reverse logistics network for end-of-use products is considered in order to establish a decision model that can help to design the network according to the characteristics of the product to be recovered. The proposed model comes from an extensive review of the literature, which proposes to consider the combination of product residual value and marginal value time of the product with the type of recovery option to design the structure.

Resumen Se considera el problema del diseño de las redes de suministro inversa para la recuperación de productos usados, con el objetivo de establecer un modelo que permita configurar la red en función las características del producto a recuperar. El modelo propuesto es el resultado de una extensa revisión de la literatura y propone el diseño de la red en función del valor residual del producto, de su “depreciación” durante el periodo de recuperación y del proceso de recuperación económica requerida (reutilización, reciclaje, refabricación).

¹Imma Ribas Vila (✉ e-mail: imma.ribas@upc.edu)
Dpto. de Organización de Empresas. Escola Tècnica Superior d'Enginyers Industrials de Barcelona. Universitat Politècnica de Catalunya. BarcelonaTech. Avda. Diagonal, 647, ed. H, P.7 08028 Barcelona.

²Sergio Rubio Lacoba (✉ e-mail: srubio@unex.es)
Escuela de Ingenierías Industriales. Universidad de Extremadura. Avda. de Elvas S/N, 06006 Badajoz.

* Esta investigación se ha desarrollado con la financiación del proyecto PLACYRES DPI2010-15614 financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad. S. Rubio agradece la financiación de la Consejería de Empleo, Empresa e Innovación del Gobierno de Extremadura a través de la ayuda ref. GR10070

Keywords: Reverse Logistics, Product Recovery Value, Marginal Value Time, EOL Product.

Palabras clave: Logística Inversa, Valor de Recuperación, Tiempo de Recuperación, Producto Fuera de Uso.

1 Introducción

El objetivo de este trabajo es proponer un sistema de apoyo a la decisión que permita identificar el tipo de sistema o red que resultaría más adecuado para la recuperación económica del valor de los productos fuera de uso (*End-Of-Life products, EOL*) en el ámbito de la gestión de la cadena de suministro.

Con este propósito, se ha realizado una amplia revisión de la literatura sobre diseño de redes inversas de suministro (redes de logística inversa) intentando encontrar elementos comunes que permitan identificar características esenciales de estas redes relativas al proceso de toma de decisiones sobre su diseño e implantación. No se trata de una cuestión sencilla ya que además de la abundante cantidad de aportaciones a la literatura sobre el diseño de redes de logística inversa o redes de distribución inversa (*reverse logistics network, RLN*), se une la propia complejidad inherente al proceso de diseño de las mismas debido, entre otras cuestiones, a que “no todas las redes de logística inversa son idénticas, ni tienen por qué serlo”(Daniel, Guide & Van Wassenhove 2002).

Parece existir cierto consenso entre la comunidad académica acerca de la relevancia que tiene el diseño de redes de logística inversa en el ámbito de la gestión de la cadena de suministro, y así, por ejemplo, (Fleischmann et al. 2001) afirman que “en las cadenas de suministro tradicionales, el diseño de la red logística tiene el reconocimiento de aspecto estratégico de máxima importancia, y de manera análoga, desarrollar una adecuada red logística tienen un impacto fundamental sobre la viabilidad económica de la cadena de suministro inversa”. Por su parte, (Akçalı, Çetinkaya & Üster 2009) también destacan la relevancia del tema, subrayando que dos de los retos más interesantes y relevantes en el diseño estratégico de las redes de logística inversa son “(i) ¿Cómo diseñar una red de logística inversa partiendo de cero? y (ii) ¿Cómo diseñar una red de logística inversa cuando ya existe una red logística tradicional (forward)?”. Se trata, por tanto, de una cuestión relevante tanto en el ámbito académico, como desde el punto de vista de las empresas interesadas en promover y desarrollar sistemas para la recuperación de productos fuera de uso, para las cuales las decisiones sobre el diseño de estos sistemas adquieren un carácter estratégico.

En este trabajo tratamos de describir los aspectos más relevantes a considerar en el diseño de redes de logística inversa, poniendo de relieve las decisiones a tomar. Para ello, a continuación se revisan algunas de las principales aportaciones académicas realizadas en los últimos años y que sirven de referencia para este tra-

bajo. En el apartado 3 se describen las decisiones que caracterizan los sistemas de logística inversa, sobre las que realizamos nuestra propuesta de modelo de decisión para su diseño. Seguidamente, en el apartado 4, presentamos la estructura propuesta y finalizamos este trabajo con las conclusiones más relevantes.

2 Revisión de la Literatura

Nuestro interés al revisar los trabajos previos sobre el diseño de RLN persigue caracterizar, de una manera genérica, los elementos básicos de dichas redes, más allá de examinar qué técnicas de análisis o metodologías se han empleado para resolver una determinada propuesta de RLN específica para una empresa, mercado o producto en particular, las cuales no siempre resultan generalizables a otros entornos.

Trabajos como los de (Thierry et al. 1995), (Fleischmann et al. 2000), (Fleischmann et al. 2001) y (Flapper, Van Nunen & Van Wassenhove 2005) han contribuido de manera significativa en este campo, proporcionando una descripción básica de redes de logística inversa, identificando aspectos comunes entre las mismas, y señalando elementos críticos en el diseño e implantación de estos sistemas. Así (Thierry et al. 1995) clasifican las RLN en función de la opción de recuperación que se le da al producto fuera de uso: 1) uso directo y reventa, 2) reparación, refabricación, restauración, canibalización y reciclaje, y 3) eliminación de residuos. (Fleischmann et al. 2000) emplean una clasificación de acuerdo a las características observadas en distintos casos de estudio, clasificando las RLN en 1) redes para la reutilización, 2) redes para la refabricación, y 3) redes para el reciclaje. Por su parte, (Flapper, Van Nunen & Van Wassenhove 2005), también describen distintas redes de logística inversa a través de *business cases*, en los que además se aportan otros elementos referidos a aspectos organizativos, medioambientales, técnicos y económicos. En el ámbito concreto de la refabricación, (Savaskan, Bhattacharya & Wassenhove 2004) estudian cuatro configuraciones para redes inversas de suministro, clasificándolas en función de su grado de centralización, y en las que el objetivo es detectar ineficiencias en el proceso de toma de decisiones descentralizadas en la red de suministro. Se entiende por redes descentralizadas las que dedican varias ubicaciones (nodos de la red) a una misma actividad, frente a las redes centralizadas en las que una misma actividad suele desarrollarse en una única instalación.

Todos estos trabajos, sin embargo, aun siendo fundamentales para el estudio del diseño de las RLN, se centran principalmente en la descripción de las características de dichas redes pero no proponen métodos o procedimientos para el diseño de tales redes. Es en este ámbito en el que se desarrolla nuestro trabajo y donde cabe señalar alguna contribución como (Barker, Zabinski 2011) quienes

proponen un modelo AHP de toma de decisiones para el diseño de redes de logística inversa a partir del análisis de diferentes casos de estudio.

En esta comunicación se propone un sistema que permita identificar el tipo de sistema o red que resultaría más adecuado para la recuperación económica del valor de los productos fuera de uso (*EOL*) y tomar las decisiones oportunas sobre el diseño de la red.

3 Decisiones en el Diseño de Redes de Logística Inversa

Probablemente, la primera cuestión que cabe plantearse a la hora de afrontar el diseño de una red de logística inversa sea la decisión de integrar esta red con la red de suministro existente constituyendo así una red de suministro cerrada (*Closed-Loop Supply Chain*, CLSC), o diseñar una red independiente para la recuperación de los productos fuera de uso. (Flapper, Van Nunen & Van Wassenhove 2005) afirman que “integrar los flujos directos e inversos de la cadena de suministro puede tener consecuencias para la estructura interna de la organización, en cuanto a su diseño, ventas, compras, sistema de producción, distribución, servicios post-venta, contabilidad, etc., así como en sus relaciones con proveedores, distribuidores y clientes”. Igualmente, (Akçali, Çetinkaya & Üster 2009) analizan también estas dos posibilidades en el diseño de redes para la recuperación de productos, señalando que “el diseño de RLN se relaciona con el establecimiento de una infraestructura para gestionar únicamente el canal inverso, mientras que el diseño de la CLSC considera la transformación de la cadena de suministro para la gestión coordinada de los canales directo e inverso”. Otros trabajos (por ejemplo, (Fleischmann et al. 1997); (Verter, Aras 2008)) también identifican como un aspecto básico del diseño de RLN la decisión relativa a si la red debe ser una estructura independiente de la red existente (*forward*) o bien debe integrarse en ella, por lo que podemos considerar este aspecto como un elemento crucial en el proceso de decisión.

En cualquier caso, tanto una RLN como una CLSC se configuran en torno a tres actividades críticas, a saber: 1) la recogida de EOL, 2) inspección y clasificación, 3) recuperación del valor (refabricación, reutilización, reciclaje). Trabajos como el de (Aras, Boyacı & Verter 2010) señalan tres decisiones estratégicas que deberán tomarse en el diseño de RLN relativas a su estructura (integrada o independiente), la estrategia de recogida más adecuada (*pick-up, drop-off*), y el establecimiento de incentivos financieros o subsidios para la recogida de los productos EOL. En este sentido, (Boyacı et al. 2008) señalan que el establecimiento de incentivos para incrementar el acopio de EOL se relaciona directamente con el sistema empleado para su recogida, de manera que un régimen de incentivos para los clientes implicaría, en una estrategia *drop-off*, una red más centralizada, con pocos centros de recogida que abarquen zonas más amplias de clientes, ya que estos es-

tarán dispuestos a desplazarse a una distancia mayor para retornar el EOL; por su parte, bajo una estrategia *pick-up*, mayores incentivos a los clientes para el retorno de EOL requieren el establecimiento de un mayor número de centros de recogida, con un área de clientes menor, con el fin de minimizar el coste de transporte; es decir, una estructura más descentralizada.

Como ya hemos apuntado, y como también remarcan (Alumur et al. 2012) “la configuración de una RLN es un problema complejo que requiere la determinación de la localización óptima y la capacidad de centros de recogida, centros de inspección, instalaciones de refabricación, y/o plantas de reciclaje”. En (Aras, Boyaci & Verter 2010) se pueden observar múltiples configuraciones de redes de logística inversa, aunque la naturaleza del producto fuera de uso y el tipo de recuperación que se le aplica tienen una relación muy importante con el diseño de la red, y ese será el punto de partida para desarrollar nuestra propuesta.

4 Una Propuesta de Modelo de Decisión para el Diseño de Redes de Logística Inversa

Como hemos venido señalando, el diseño de sistemas de logística inversa guarda una relación muy estrecha con el tipo de producto retornado y con el proceso a través del cual se recuperará el valor que dicho producto aún incorpora tras finalizar su vida útil o cuando éste deja de satisfacer las necesidades del consumidor. Para el desarrollo de nuestra propuesta, consideramos muy relevante el trabajo de (Blackburn et al. 2004) en el que se propone un modelo de diseño de RLN basado en el concepto de “*Marginal Value of Time, MVT*”, que los autores identifican con la existencia de un valor del producto retornado asociado al tiempo requerido para recuperar su valor. Así, por ejemplo, productos electrónicos como los ordenadores tienen un alto MVT porque su valor económico es muy sensible al tiempo que se tarda en recuperarlo (cuanto mayor es el tiempo de recuperación, menor valor tendrá) mientras que productos como las cámaras fotográficas desechables o las “máquinas-herramienta” tienen un MVT inferior ya que el paso del tiempo no afecta significativamente a su valor de recuperación. Esta distinción entre productos con alto y bajo MVT lo relacionan con el esquema de diseño de redes de suministro propuesto por (Fisher 1997) en el que se identifican redes “*Responsive*” frente a redes “*Efficient*”. En el caso de RLN, las redes *responsive* son las que permitirían una recuperación del valor del producto rápida mientras que las redes *efficient* serían las que se diseñarían en función de criterios de coste, lo que a la práctica lleva a redes más centralizadas en las que el plazo de recuperación del producto es mucho más largo. Estos autores emplean esta clasificación para considerar que, en el caso de productos con un alto MVT, la red más apropiada sería una red “*responsive*” de diseño descentralizado, mientras que para productos con bajo MVT la red inversa tendría un enfoque “*efficient*” de carácter centralizado.

Recientemente, (Gobbi 2011) ha analizado a través de distintos casos de estudio el diseño de la red de logística inversa, utilizando para ello los conceptos de MVT y de PRV (*Product Residual Value*), y el esquema de redes *efficient vs responsive*, concluyendo que las redes *efficient* son adecuadas para productos con bajo PRV, mientras que las *efficient* lo son para productos con bajo PRV. Sin embargo, este trabajo no permite concluir acerca de las ventajas de la centralización de operaciones en este tipo de redes, independientemente del nivel de PRV y de MVT del producto en cuestión.

Integrando el esquema de (Fisher 1997) con los trabajos de (Fleischmann et al. 2000) , (Blackburn et al. 2004, Fleischmann et al. 2000) y (Gobbi 2011) podríamos señalar elementos básicos en el proceso de toma de decisiones relativas al diseño de RLN, de acuerdo a tres niveles. En el primer nivel se clasifica el producto fuera de uso de acuerdo con su PRV (alto o bajo), mientras que en el segundo nivel se considera su tiempo de recuperación (MVT). Las diferentes configuraciones de estos dos niveles (PRV-MVT) se relacionan con el tipo de red de suministro (*responsive* o *efficient*). Así, productos con altos niveles de PRV y MVT suelen requerir una configuración de red que permita recuperar el producto en un plazo de tiempo corto (*responsive*), mientras que si el valor del producto no es tan sensible al tiempo (bajo MVT), la agilidad de la red no será una característica tan crítica (*efficient*). El tercer nivel clasifica el producto en función de la opción de recuperación económica que se le aplicará al producto (reutilización, refabricación, reciclaje), de acuerdo con la tipología propuesta por (Fleischmann et al. 2000). Un producto con altos niveles de PRV y MVT suelen estar sujetos a operaciones de refabricación para la recuperación de su valor; en cambio, las operaciones de reutilización y reciclaje para la recuperación económica de los productos fuera de uso suelen corresponder con productos con bajo PRV, independientemente de su nivel de MVT (Tabla 1).

Tabla 1 Características de las RLN

Valor PRV	Alto		Bajo
Valor MVT	Alto	Bajo	Alto / Bajo
Tipo de red	<i>Responsive</i>	<i>Efficient</i>	<i>Efficient</i>
Estructura de red	Descentralizada	Centralizada	Centralizada
recogida	Pick-up	Drop-off	Drop-off
Claificación- inspección	Centralizada	Centralizada	Centralizada
Proceso	Refabricación	Refabricación	Reuso – Reciclaje
Objetivo de la red	Economic0	Economic0	Legislación
Ejemplos	Laptops	Electrodomésticos	Papel, cristal,

Los productos con bajo valor residual no quedan diferenciados por su MTV, ya que si el producto tiene bajo PRV no parece tener demasiada importancia lo rápido o lento que se deprecie, siendo su característica esencial la de responder a un

modelo *efficient*, de estructura centralizada, cuyo objetivo es alcanzar economías de escala con el fin de minimizar costes.

5 Conclusiones

El objetivo principal de esta comunicación ha sido describir las características básicas de las redes de logística inversa para la recuperación de productos fuera de uso, con el propósito de mejorar el proceso de toma de decisiones en cuanto al diseño de las mismas, ya que éste, el diseño de las RLN, se viene señalando en la literatura como una cuestión estratégica en los procesos de recuperación de productos fuera de uso, y por tanto un aspecto clave para en el éxito de los mismos.

Con este fin hemos revisado las principales aportaciones en este sentido, identificando un conjunto de trabajos que aunque necesarios para conocer y delimitar el alcance del problema, en general, no dejan de ser trabajos que fundamentalmente describen las características de la red pero que no permiten tomar decisiones acerca de cómo diseñar e implantar este tipo de redes de distribución inversa. Este trabajo se presenta como trabajo en curso, que se encuadra dentro de un proyecto de mayor dimensión sobre el diseño de redes de suministro, por lo que algunas cuestiones no se han considerado en esta ponencia y otras se encuentran en desarrollo en estos momentos. No obstante, de la revisión bibliográfica realizada hemos podido obtener varias ideas relativas al diseño de las RLN que nos permiten señalar las siguientes conclusiones al respecto:

- Probablemente, la primera decisión relativa al diseño de RLN hace referencia a su integración o no dentro de la cadena de suministro ya existente (*forward*).
- Las decisiones relativas al diseño de la RLN pueden analizarse a través de conceptos como el PRV y el MTV, y en todo caso, la opción de recuperación del valor económico del producto fuera de uso suele quedar definida por la combinación de estos valores. De esta forma, podemos considerar tres niveles (PRV, MVT, Opción 3-R) que describen la estructura de la red y las decisiones a tomar en su diseño.
- La recuperación de productos con altos niveles de PRV y MVT suelen requerir redes *responsive* de carácter descentralizado, en las que prima la rapidez en la recuperación del valor que aún incorpora el EOL; mientras que los productos con bajo PRV suelen responder a configuraciones centralizadas de tipo *efficient*, con el objetivo de minimizar los costes de recogida, maximizando la cantidad de producto retornado.
- Las decisiones relativas a las actividades básicas en las RLN comprenden la recogida de productos fuera de uso, su inspección y clasificación y las operaciones de recuperación del valor económico de estos productos (refabricación, reutilización, reciclaje). Así, en las redes para productos con altos PRV y MVT las operaciones de recogida suelen ser realizadas a través de sistemas pick-up,

su clasificación se realiza de manera centralizada, recuperando su valor a través de operaciones de refabricación. Por su parte, las redes para recuperar productos con bajo PRV suelen utilizar sistemas drop-off para su recogida, los cuales se clasifican de manera centralizada para su posterior reciclaje o reutilización.

Naturalmente, quedan cuestiones que aún deben desarrollarse para completar el modelo de decisión que debe incorporar aspectos relativos a las tareas que apoyan el desarrollo de las actividades básicas de estas RLN como, por ejemplo, decisiones relativas al transporte de los productos a través de la red, la eliminación de productos no recuperables, así como cuestiones organizativas, de relaciones con los distintos agentes de la cadena, medioambientales, comerciales, etc, que se iremos incluyendo en posteriores trabajos.

6 Referencias

- Akçalı, E., Çetinkaya, S. & Üster, H. 2009, "Network Design for Reverse and Closed-Loop Supply Chains: An Annotated Bibliography of Models and Solution Approaches", *Networks*, vol. 53, no. 3, pp. 231-248.
- Alumur, S.A., Nickel, S., Saldanha-da-Gama, F. & Verter, V. 2012, "Multi-period reverse logistics network design", *European Journal of Operational Research*, vol. 220, pp. 67-78.
- Aras, N., Boyacı, T. & Verter, V. 2010, "Designing the Reverse Logistics Network" in *Closed-Loop Supply Chain: New Developments to Improve the Sustainability of Business Practices*, eds. M.E. Ferguson & G.C. Souza, Auerbach Publications CRC Press, , pp. 67-97.
- Barker, T. & Zabinski, Z.B. 2011, "A multicriteria decision making model for reverse logistics using analytical hierarchy process", *Omega*, vol. 39, pp. 558-573.
- Blackburn, J.D., Guide, J.V.D.R., Souza, G.C. & Van Wassenhove, L.N. 2004, "Reverse Supply Chains for Commercial Returns", *California Management Review*, vol. 46, no. 2, pp. 6-22.
- Boyacı, T., Verter, V., Toyasaki, F. & Wojanowski, R. 2008, "Collection System Design, Strategy Choice and Financial Incentives for Product Recovery", working paper. Desautels Faculty of Management, McGill University, Montreal, Canada., .
- Daniel, V., Guide, J. & Van Wassenhove, L.N. 2002, "The reverse supply chain", *Harvard Business Review*, vol. 80, no. 2, pp. 25-26.
- Fisher, M.L. 1997, "What is the Right Supply Chain for your Product?", *Harvard Business Review*, vol. 75, pp. 105-116.
- Flapper, S.D.P., Van Nunen, J.A.E.E. & Van Wassenhove, L.N. (eds) 2005, *Managing Closed-Loop Supply Chains*, Springer Berlin-Heidelberg, Germany.
- Fleischmann, M., Beullens, P., Bloemhof-Ruwaard, J.M. & Wassenhove, L.N. 2001, "The impact of product recovery on logistics network design", *Production and Operations Management*, vol. 10, no. 2, pp. 156-176.
- Fleischmann, M., Bloemhof-Ruwaard, J.M., Dekker, R., van der Laan, E., van Nunen, J.A.E.E. & Van Wassenhove, L.N. 1997, "Quantitative Models for Reverse Logistics: A Review", *European Journal of Operational Research*, vol. 103, pp. 1-17.
- Fleischmann, M., Krikke, H.R., Dekker, R. & Flapper, S.D.P. 2000, "A characterization of logistics network for product recovery", *Omega*, vol. 28, pp. 653-666.

Book of Proceedings of the 7th International Conference on Industrial Engineering and
Industrial Management - XVII Congreso de Ingeniería de Organización.

- Gobbi, C. 2011, "Designing the Reverse Supply Chain: The impact of the product residual value", . International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, vol. 41, no. 8, pp. 768-796.
- Savaskan, R.C., Bhattacharya, S. & Wassenhove, L.N. 2004, "Closed-Loop Supply Models with Product Remanufacturing", Management Science, vol. 50, no. 2, pp. 239-252.
- Thierry, M., Salomon, M., Van Nunen, J. & Van Wassenhove, L.N. 1995, "Strategic Issues in Product Recovery Management", California Management review, vol. 37, no. 2, pp. 114-135.
- Verter, V. & Aras, N. 2008, "Designing Distribution Systems with Reverse Flows", Desautels Faculty of Management, McGill University, Montreal, Canada, vol. working paper.