

Análisis de requerimientos funcionales para el desarrollo de un ERP adaptado a la gestión de la logística inversa

Analysis of functional requirements for developing a tailored ERP to manage reverse logistics

Raúl F. Oltra-Badenes¹, Hermenegildo Gil-Gómez¹, Rosana Bellver-López² y Sabina Asensio-Cuesta³

¹ Dpto. de Organización de Empresas. Universitat Politècnica de València. España. ² Dpto. de Informática de Sistemas y Computadores. Universitat Politècnica de València. España. ³ Dpto. de Proyectos de Ingeniería. Universitat Politècnica de València. España.
rauloltra@gmail.com, hgil@ai2.upv.es, rbellver@gmail.es, sasensio@dpi.upv.es

Fecha de recepción: 12-12-2011

Fecha de aceptación: 10-04-2012

Resumen: En el entorno empresarial actual, diferentes factores hacen que cada vez sea más importante el retorno y recuperación de productos, con el objetivo de recuperar valor y aumentar la rentabilidad de la empresa. En este entorno, la logística inversa (LI) cobra una importancia cada vez mayor, siendo por tanto fundamental su correcta gestión mediante sistemas de Información (SI) adecuados. Sin embargo, los SI actuales están desarrollados en base a los procesos de la logística tradicional, sin contemplar las características específicas de la LI. En este trabajo se analizan los requerimientos derivados de la gestión de la LI, con el objetivo de servir de guía para el desarrollo de un SI adecuado para la LI.

Palabras clave: logística inversa, recuperación de producto, recuperación de valor, sistemas de información, ERP.

Abstract: Nowadays, there are different economic, marketing and legislative guidelines that compel companies to collect and recover their products after using them. This is making Reverse Logistics (RL) to become increasingly important. One of the characteristic activities of RL is "Recovered Product Management". This kind of management does not exist in Forward Logistics (FL) and consequently, RL management differs from the traditional concept of logistics management. As a result, it's not possible to transfer models and traditional concepts of FL to RL, and it is therefore necessary to establish new concepts and models for management.

Therefore, RL management involves some particular processes which are different from those in traditional logistics management. Thus, the management of Information Systems (IS) must also incorporate a number of specific requirements. However, current SI are neither developed nor adapted to those specific requirements.

In the present business environment, where information is a key factor for competitiveness, IS should be able to manage all business processes, including RL specific ones. Integrating all management processes with an IS allows company managers to get the information they need in order to take the right decisions at the right times, thus increasing the productivity and the results of the company.

Currently, Enterprise Resources Planning (ERP) are the reference solution in IS worldwide. Thus the present study assumes that the analysis of RL requirements for IS must be done from the viewpoint of the ERP. This work focuses on this line of research, analyzing the requirements that RL creates for IS, as a first step in the development of an appropriate IS for their management.

This paper presents the implications that management of RL has for ERP, with the goal of providing developers of these systems an overview of the needs that RL management entails. One of the findings is that there is a need for ERP to address some specific RL requirements which are described in the paper. They arise as a consequence of particularities involved in RL processes such as disassembly and remanufacturing, calculation of forecasts, cost management and transportation planning.

The development of such requests should be addressed from a global perspective, since they all interact with each other. However, the management of disassembly and remanufacturing, are the most complex processes, and they are related to most of the other processes defined in the requirements. Thus, the development for adapting ERP to RL should start addressing the requirements for management of disassembly and remanufacturing, but always taking on account all the relationships between this process and the other requirements, especially with cost management.

Keywords: reverse logistic, product recovery, value recovery, information systems, ERP.

1. Introducción

En la actualidad, directrices económicas, de marketing y legislativas, están llevando a las empresas, cada

vez más, a la recogida y recuperación de sus productos después de su uso (Dekker et al., 2004). Esta situación provoca que la Logística Inversa (LI) esté cobrando cada vez más importancia.

La gestión de la LI conlleva una serie de procesos particulares, diferentes a los existentes en la gestión de la logística tradicional. Los procesos específicos de la LI, provocan que los Sistemas de Información (SI) para su gestión deban incorporar una serie de requerimientos específicos. Sin embargo, los SI actuales, no están desarrollados y adaptados a las necesidades específicas que la LI requiere.

En un entorno empresarial como el actual, en el que la información es un factor clave de competitividad empresarial, los SI deberían poder gestionar todos los procesos de la empresa, incluidos los procesos característicos de la LI. La gestión integrada de todos los procesos mediante un SI, permite a los directivos de la empresa disponer de la información necesaria para poder tomar las decisiones más adecuadas en cada momento, aumentando de este modo la productividad de la empresa y mejorando sus resultados.

El primer paso para poder desarrollar un SI adecuado a la gestión de la LI, es conocer la problemática concreta que dicha gestión genera. El presente artículo tiene como objetivo presentar las necesidades específicas que un SI debe cubrir para gestionar la LI. La estructura del trabajo es la siguiente: en primer lugar se describe la metodología aplicada en el trabajo. Seguidamente, se revisan conceptos fundamentales de la LI y se analizan las diferencias básicas entre la LI y la Logística Directa (LD). En el cuarto apartado, se estudia cómo los SI del tipo Enterprise Resources Planning (ERP) gestionan la LI. En el quinto apartado se analizan las implicaciones de la integración de los procesos de la LI en los SI, para en el sexto apartado identificar los requerimientos de desarrollo para la adaptación de un ERP a la gestión de la LI. Finalmente, se presentan las conclusiones del trabajo realizado.

2. Metodología

El estudio aquí presentado se enmarca dentro de un trabajo más ambicioso de investigación, en el que se va a desarrollar un SI para la gestión de empresas adaptado a la gestión de la LI, basado en un sistema ERP. Para ello, se analizan entre otras cuestiones a) cómo la LI afecta a los diferentes procesos de la empresa, b) cómo ello afecta a los ERP para la gestión de empresas, y c) cómo desarrollar un ERP para la gestión de empresa, adecuado a la gestión de la LI.

Para desarrollar un ERP adecuado a la gestión de la LI, se utiliza la metodología de desarrollo propuesta por Zhou et al. (2005), que se divide en 4 fases:

1. **Análisis de requerimientos:** En esta primera fase, se debe extraer, recoger y analizar toda la información necesaria para modelar correctamente la aplicación. Es necesario extraer dicha información del entorno real, de los futuros usuarios del sistema.
2. **El diseño conceptual:** se traducen los requerimientos funcionales del entorno real en un modelo conceptual (por ejemplo, el modelo entidad-relación (ER)) que se utiliza para describir el esquema conceptual
3. **El diseño lógico:** se traduce el diseño conceptual en el modelo de datos (por ejemplo, el modelo relacional), apoyado por el sistema de gestión de base de datos en el que se va a implementar.
4. **El diseño físico:** se transforma el esquema lógico en un esquema físico adecuado para una configuración específica.

En este trabajo se desarrolla la primera fase de dicha metodología de desarrollo correspondiente al análisis de requerimientos.

La metodología de investigación utilizada para analizar los requerimientos que un SI adaptado a la gestión de los procesos que la LI conlleva, sigue un diseño de investigación exploratorio de acuerdo con la propuesta de Malhotra y Birks (2007). El objetivo es «detectar ideas o aspectos significativos con los que conseguir un mayor conocimiento acerca de un tema específico». Este tipo de estudios se caracteriza por procesos de investigación flexibles y versátiles en los que las muestras son pequeñas y el análisis cualitativo (Fernández y García, 2007). El interés general estriba en conocer las situaciones y los problemas que se producen por la influencia de la LI en los procesos de gestión de empresa, y en consecuencia, en el descubrimiento y análisis de los requerimientos que la gestión de la LI genera en los ERP.

En este caso se ha utilizado un procedimiento de investigación cualitativa de enfoque directo, como es la entrevista en profundidad con expertos (Malhotra y Birks, 2007). Tal y como indican dichos autores, este procedimiento de investigación consiste en realizar diferentes entrevistas no estructuradas, directas y personales, en la que un entrevistador altamente capacitado interroga a una sola persona, con la finalidad de obtener información y conocimiento cualificado.

En la investigación exploratoria, la experiencia, la creatividad y el ingenio del investigador juegan un pa-

pel muy importante (Malhotra y Birks, 2007). En este caso, la investigación se basa en la experiencia de los autores como consultores de empresa y de sistemas de información durante más de 10 años, en los que han realizado entrevistas con responsables de diferentes departamentos (incluidos entre otros los departamentos de logística y de sistemas de información) en más de 50 empresas con actividades de LI.

La información así recopilada se ha completado con la obtenida a partir de artículos científicos, libros especializados, memorandos internos de empresas, publicaciones en prensa y observación directa de la gestión de diferentes organizaciones empresariales.

3. Logística Inversa

3.1. Definiciones de Logística Inversa

En la empresa moderna cada vez es más usual ver como se recuperan productos o materiales de los clientes, ya sea para recuperar valor o como servicios de postventa. Este proceso inverso se denominó «Logística Inversa» (Luttwak, 1971). Según Guide y Van Wassenhove (2002), la LI es parte de una tendencia denominada «the reverse Supply Chain», donde los fabricantes inteligentes están diseñando procesos eficaces para reusar sus productos.

Existen múltiples definiciones del concepto de logística inversa, también llamada «retrologística» o «logística de la recuperación y el reciclaje». Entre las definiciones más destacadas se encuentran las siguientes:

- La LI consiste en el proceso de planificación, ejecución y control de la eficiencia y eficacia del flujo de las materias primas, inventario en proceso, productos terminados e información relacionada, desde el punto de consumo hasta el punto de origen, con el fin de recuperar valor o la correcta eliminación (Rogers y Tibben-Lembke, 1999).
- La LI es el conjunto de actividades relacionadas con el manejo y gestión de equipos para la recuperación de productos, componentes, materiales o incluso sistemas técnicos completos (por defecto generalmente se utiliza únicamente el término de productos) (Brito et al., 2002).
- La LI supone integración de los productos usados y obsoletos de nuevo en la cadena de suministro como recursos valiosos (Dekker et al., 2004).

- La LI comprende las operaciones relacionadas con la reutilización de productos y materiales incluyendo todas las actividades logísticas de recolección, desensamblaje y proceso de materiales, productos usados, y/o sus partes, para asegurar una recuperación ecológica sostenida (REVLOG, 2004).

De estas definiciones se deduce que, de alguna forma, los diferentes autores revisados concuerdan en el concepto de la LI, como un proceso de movimiento de bienes desde su típico destino final, con el propósito de recuperar valor, asegurar su correcta eliminación, o como simple herramienta de marketing.

3.2. Diferencias entre la logística directa (LD) y logística inversa (LI)

Según las definiciones anteriores, la LI constituye un importante sector de actividad dentro de la logística, que engloba multitud de actividades. Algunas de estas actividades tienen connotaciones puramente ecológicas, como la recuperación y el reciclaje de los productos, evitando así un deterioro del medio ambiente. Otras buscan mejoras en los procesos productivos y de abastecimiento, así como mayores beneficios. Algunas de las operaciones que pueden enmarcarse dentro de la LI son: los procesos de retorno de excesos de inventario, devoluciones de clientes, productos obsoletos, inventarios sobrantes de demandas estacionales, etc., y actividades de retirada, clasificación, reacondicionamiento y reenvío al punto de venta o a otros mercados secundarios.

Mediante la LI, cuando un producto se ha devuelto a la empresa, ya se trate de una devolución dentro del período de garantía o de un producto al final de su vida útil, la empresa dispone de diversas formas de gestionarlo con vistas a recuperar parte de su valor.

Bañegil y Rubio (2005) definen el concepto de *Gestión de Productos Recuperados* como «la gestión de todos los productos, componentes y materiales desechados por los consumidores, sobre los que el fabricante tiene algún tipo de responsabilidad, y cuyo objetivo es recuperar tanto valor económico (y ecológico) como sea posible, reduciendo de esta forma la cantidad final de residuos». En base a ello, Bañegil y Rubio (2005) proponen 3 opciones de gestión de los productos recuperados, que denominan las 3-R:

1. *Reutilización*: existe un aprovechamiento integral del producto retornado una vez realizadas pequeñas operaciones de limpieza y mantenimiento.

2. *Refabricación*: se recuperan partes y componentes del producto retornado para su utilización en la fabricación de nuevos productos.
3. *Reciclaje*: se realiza una recuperación del material con el que está fabricado el producto retornado, de manera que éste pierde su identidad durante el proceso.

Estas opciones están sujetas a múltiples consideraciones: viabilidad técnica, calidad del producto, existencia de infraestructuras, costes implicados, consecuencias para el medio ambiente, etc.

Esta gestión de productos recuperados, característica de la LI, no se da en la LD, y en consecuencia, la gestión de la LI difiere del concepto tradicional de gestión logística y no es posible trasladar los modelos y conceptos tradicionales de la LD a la LI (Tibben-Lembke y Rogers 2002), sino que es necesario establecer nuevos conceptos y modelos para su gestión.

Durante años se han desarrollado conceptos y modelos para la gestión de la LD. Muchos especialistas en logística pretenden trasladar dichos modelos y conceptos de la LD a la LI; sin embargo, la LI no es necesariamente «un cuadro simétrico de logística di-

recta» (Fleischmann et al., 1997). Por ello, es necesario conocer a fondo las diferencias entre los dos campos para poder aplicar conceptos tradicionales de logística a la LI teniendo en cuenta las diferencias existentes entre ambas. Las diferencias principales comúnmente aceptadas entre ambos tipos de logística se presentan en la Tabla I.

La Tabla I pone de relieve importantes diferencias de la LI frente a la LD. Estas desigualdades hacen que su gestión tenga una serie de características particulares, que no se dan en la gestión de la LD.

Por ello, la LI ha sido objeto de numerosas investigaciones durante los últimos años. En (Rubio et al. 2006) y posteriormente en (Pokharel y Mutha 2009), se pueden encontrar revisiones de la literatura en este ámbito en las que se clasifican los trabajos de investigación en función del punto de vista desde el que se investiga la LI. Posteriormente, se han editado otros trabajos que tratan temas concretos en relación a la LI, como pueden ser las capacidades de fabricación (Benedito y Corominas 2009; Benedito y Corominas 2010) los sistemas de LI y su implicación económica (Bañegil y Rubio 2005; Tsai y Hung 2009), los efectos de la recuperación de valor sobre la función de aprovisionamiento (Fernández y García 2007), la relación de la LI con el ciclo de vida del pro-

Tabla I
Diferencias entre la LD y la LI. (Adaptada de Tibben-Lembke y Rogers (2002))

<i>Logística directa</i>	<i>Logística Inversa</i>
Previsión relativamente sencilla	Previsión compleja
Transporte de uno a muchos	Transporte de muchos a uno
Calidad de producto uniforme	Calidad de producto no uniforme
Embalaje de producto uniforme	Embalaje de producto a menudo dañado
Destino/Ruta claramente definidos	Destino/Ruta no definidos
Canal normalizado	Canal dirigido por excepciones
Opciones de disposición del producto claras	Opciones de disposición no definidas claramente
Precios relativamente uniformes	Precios dependientes de muchos factores
Importancia reconocida de la rapidez de entrega	La rapidez de entrega no es considerada como prioridad habitualmente
Los costes de distribución directa están claramente controlados por sistemas contables	Los costes de la LI son mucho menos visibles
Gestión del inventario consistente	La gestión de inventario no es consistente
Ciclo de vida de producto manejable	Gestión del ciclo de vida de producto mucho más compleja
Negociación directa entre las partes	Negociación más compleja por consideraciones adicionales
Métodos de marketing perfectamente conocidos	Marketing mucho más complejo debido a diferentes factores
Información para hacer seguimiento del producto disponible en tiempo real	Visibilidad del proceso mucho menos transparente

ducto (Hans et al. 2010), las necesidades de colaboración (Olorunniwo y Li 2010), o la gestión de artículos reutilizables en sistemas logísticos de bucle cerrado (Carrasco-Gallego y Ponce-Cueto 2010).

Sin embargo, tras realizar una revisión de la literatura especializada, no se han encontrado trabajos que analicen las implicaciones que la gestión de la LI presenta en los SI, pese a que ya hace más de una década que se detectó que uno de los problemas más graves a los que se enfrentaban las empresas en la gestión de la LI era la escasez de SI capaces de gestionar de forma adecuada sus procesos (Rogers y Tibben-Lembke 1999).

Este trabajo se centra en dicha línea de investigación, analizando los requerimientos que la LI provoca en los SI, como primer paso para el desarrollo de SI adecuados para su gestión.

4. La gestión de la LI en los sistemas ERP

En la actualidad, la solución de referencia para SI de las empresas en todo el mundo son los ERP (Grabot y Botta-Genoulaz 2005). Por ello en el presente estudio se asume que el análisis de requerimientos de la LI en los SI se debe realizar desde el punto de vista de los ERP.

Los ERP son software para la gestión de empresa, concebidos y desarrollados como sistemas de gestión genéricos, aplicables a los diferentes procesos de cualquier empresa (Fink y Markovich 2008). Sin embargo, si se analizan a nivel detallado, distintas organizaciones, que además pueden pertenecer a diferentes sectores industriales, tienen procesos de negocio diferentes (Kohavi et al., 2002). Debido a ello, también tienen requerimientos diferentes en cuanto a SI, bien sea debido a los productos, procesos, mercados o el tipo de gestión del sector en concreto. Para hacer frente a esta circunstancia, los proveedores de ERP han adoptado una estrategia de «verticalización», que parece ser una de las más evidentes tendencias en los mercados de software de empresa (Arango et al. 2010). La verticalización puede definirse como «el ajuste, modificación o ampliación de una solución ERP general a los procesos específicos de negocio de determinados sectores empresariales» (Jakupović, Pavlic y Posic 2010).

Así, una solución ERP vertical, incluirá todas aquellas características diferenciales necesarias para la gestión de unos procesos particulares. De este modo,

una solución ERP adaptada a la LI podría considerarse como una solución vertical, ya que supone su adaptación a una serie de procesos específicos.

Existen numerosos trabajos que estudian las soluciones ERP verticales existentes (Jakupovic_, Pavlic y Asenbrenner 2010) sin que en ellos se mencione solución vertical para la LI.

De cualquier forma, tras un análisis de diferentes ERP (SAP, Microsoft, SAGE, Infor, Oracle, CCS Agresso, OpenBravo, Compiere), y tras la revisión y estudio de la literatura especializada (Botta-Genoulaz et al. 2005; Ferran y Salim 2008; Gunasekaran 2009; McGaughey y Gunasekaran 2009; Arango et al. 2010; Oltra et al. 2011), se observa la falta de soluciones ERP que implementen de forma específica la LI. Por otra parte se pone de relieve la escasez de trabajos que estudien cómo se debe abordar la gestión de la LI en un sistema ERP.

Por tanto, se hace necesario el desarrollo de una solución ERP que sea capaz de gestionar la LI. Con dicho fin en el presente trabajo se sigue la metodología de desarrollo de Zhou et al. (2005) estructurada en cuatro fases: 1) Análisis de requerimientos, 2) Diseño conceptual, 3) Diseño lógico y 4) Diseño físico.

El presente estudio se centra en la primera fase de dicha metodología, el análisis de requerimientos, obteniendo la información mediante entrevistas a los futuros usuarios del sistema de diferentes organizaciones en las que se llevan a cabo procesos de LI, tal y como se ha expuesto en el apartado 2.

5. Procesos específicos de la LI y su gestión en los ERP

En este apartado se analizan los procesos de gestión característicos de la LI, con el objeto de identificar y analizar los requerimientos específicos que surgen de ellos y que deben incorporarse a una solución ERP adaptada a la LI.

Para identificar los requerimientos se han realizado entrevistas con diferentes usuarios de varias organizaciones, utilizando el procedimiento de investigación denominado «entrevista en profundidad» con expertos. En dicho procedimiento, no se debe utilizar un cuestionario formal previamente definido, ya que la entrevista debe ser fluida y flexible. Si bien resulta útil preparar una lista de temas que deberían tratarse durante la entrevista (Malhotra y Birks 2007). Como lista de temas a tratar en las entrevistas, se uti-

lizó las diferencias comúnmente aceptadas entre la LI y la LD, presentadas en la Tabla 1.

Tras las entrevistas, se concluyó que existen diferencias entre la LI y la LD que generan requerimientos para la gestión de ciertos procesos, que deben ser soportados por los ERP. A continuación se presentan y analizan los requerimientos identificados en dicha fase de entrevistas. Dicha información es completada con estudios realizados por diferentes autores.

5.1. Gestión de desmontaje y refabricación.

De las posibles opciones de gestión de productos recuperados, en la opción de «refabricación» (Bañegil y Rubio 2005), una de las fases del proceso más importantes es el desmontaje (Kokkinaki et al. 2004) en la que los productos retornados, también llamados «núcleos», se desmontan, dando lugar a un conjunto determinado de piezas, que luego son inspeccionadas y probadas. Las partes que cumplen con los estándares de calidad se almacenan para su reutilización. Las piezas con defectos leves se pueden arreglar; mientras que las piezas rechazadas por su mal estado son para el desguace. Ejemplos de ello se pueden encontrar en la gestión de electrodomésticos, cámaras fotográficas o fotocopiadoras (Bañegil y Rubio 2005; Krikke et al. 1999).

Según Kokkinaki et al. (2004) se pueden encontrar tres requisitos fundamentales para la adaptación de SI a la gestión del desmontaje.

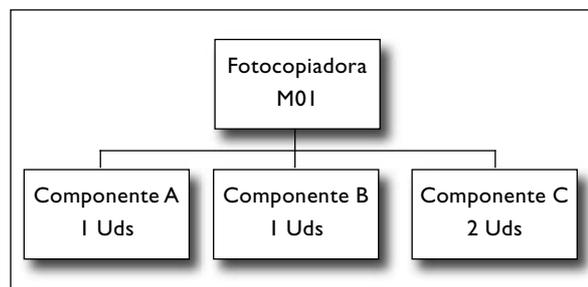
- En primer lugar, el registro adecuado de los núcleos (productos devueltos, antes del desmontaje) en el inventario del SI.
- En segundo lugar, la programación del desmontaje, un requisito que no está contemplado en los SI actuales.
- En tercer lugar, la gestión conjunta de las instalaciones de fabricación para el montaje final y para la «re-manufactura», que a menudo son compartidas.

Krikke et al. (1999) describe el proceso de recuperación de fotocopiadoras, en el que se observan los requisitos nombrados. Las fotocopiadoras que se retornan (los núcleos, antes de desmontaje), deben ser registradas e incorporadas al stock de forma adecuada. Pero hay que tener en cuenta que no entran por el proceso de compras o fabricación, sino por

un proceso de «Retorno». Además, según su estado, su destino puede ser diferente (reutilización, reparación, desmontaje, desguace, etc.). Por tanto, debe seguir un proceso diferente al de una entrada «típica» en almacén. Se debe identificar el núcleo que llega (núcleo retornado), información relativa a su origen, el estado que presenta, etc. En función de estos datos, la fotocopiadora (y sus componentes una vez desmontados), deberán seguir procesos diferentes.

En cuanto a la programación del desmontaje, Kokkinaki et al. (2004) mencionan como opción para evitar esta limitación, la posibilidad de introducir requisitos negativos a nivel de componente en las listas de materiales (en adelante BOM, del inglés Bill Of Materials). Esto significa programar una entrada en inventario a través de un consumo negativo. Es decir, se consume «-1 Uds.» de un componente, con lo que realmente, entra en inventario una Ud. del componente. Así, en el caso de ejemplo de la fotocopiadora, supongamos que su BOM es la que se presenta en la figura 1 (evidentemente es una simplificación):

Figura 1
Lista de materiales simplificada de la fotocopiadora



Al fabricar una fotocopiadora M01, habrá un consumo de 1 Ud de A, 1 Ud de B y 2 Uds de C del existente en almacén. Pero si se utilizan los requisitos negativos, al fabricar «-1 fotocopiadora M01», habrá un «consumo negativo» de sus componentes, lo que significa un alta en inventario de «1 Ud de A, 1 Ud de B y 2 Uds de C».

Esta solución para la gestión del desmontaje que se menciona en (Kokkinaki et al., 2004) no es viable, ya que no todos los componentes tienen que ser recuperados, ni tienen que seguir el mismo proceso. Puede que 1 Ud del componente C deba ser desechado, por lo que la BOM inversa (en negativo) ya no es correcta. Además, la gestión de costes sería inadecuada. En este caso, sería una orden de producción que da lugar a varios productos a partir de uno

solo, y habría que distribuir los costes entre cada uno de los productos obtenidos. Eso es inviable en los ERP actuales.

Con todo ello, el proceso de desmontaje presenta necesidades adicionales de procesos y de datos. Surge la necesidad de definir «Listas de Materiales de Recuperación» (LMR). Dichas LMR no son BOM tradicionales, sino que deben tener una estructura y modelo de datos diferentes. Además, las LMR deben ofrecer la posibilidad de tener varias versiones, correspondientes a las diferentes opciones de recuperación alternativas, que pueden abarcar diferentes grados del proceso de desmontaje, estándares de calidad, tiempos de desmontaje y rendimientos de piezas de repuesto.

En cuanto al tercer requisito expuesto en (Kokkina et al. 2004), en el caso del ejemplo, es evidente que la planificación debe tener en cuenta que algunos componentes van a ser abastecidos de fotocopiadoras retornadas. Por tanto, hay que incluir en el proceso de planificación las fotocopiadoras retornadas, las tasas de recuperación de cada componente, tiempos de reparación, desmontaje, etc., para una planificación adecuada de materiales y operaciones.

Supongamos que hay que fabricar 4 fotocopiadoras M01, que tenemos 0 Uds. de componente B en inventario y que existen en el inventario 4 fotocopiadoras retornadas.

Como dato adicional, supongamos que la tasa de recuperación de componente B es del 50%.

Con todos estos datos, la planificación debería indicar que hay que comprar 2 componentes B para poder fabricar las 4 fotocopiadoras, ya que 2 Uds. se obtienen de las fotocopiadoras retornadas en stock (evidentemente, las fotocopiadoras retornadas deben estar registradas e identificadas en el ERP, como fotocopiadoras a desmontar). Además, se deberían tener en cuenta los datos de capacidad disponible y necesaria, tanto para el desmontaje de los componentes, como para el montaje de las nuevas fotocopiadoras.

5.2. Cálculo de previsiones

El cálculo de la previsión en la LI resulta más complejo que en la LD, por la mayor incertidumbre existente en la LI (Guide et al. 2000). Sin embargo, se observan algunas tendencias generales que pueden ser utilizadas. Una de ellas es que los flujos de LI tienden

a seguir, con cierto retraso, las tendencias de los flujos directos. Por ejemplo, el flujo directo ocasionado por las ventas navideñas, es seguido después por un aumento proporcional de producto devuelto. De este modo, cuando se espera un gran volumen de ventas de un producto, también se puede esperar que esas ventas sean seguidas de un retorno de producto en gran volumen.

Si además existe refabricación, como es el caso de las fotocopiadoras anteriormente descrito, las previsiones son necesarias no sólo en base a la posible recuperación de núcleos, sino también en base a la disponibilidad y estado de los componentes para ser desmontados y reutilizados.

Todo ello hace que sea necesario hacer una previsión de la demanda calculada en base a las ventas propias, periodos de retorno y una tasa de retorno particularizada a cada producto. La planificación de la empresa debería obtenerse incluyendo esta previsión de retornos.

5.3. Gestión de costes

Los costes de la LI no son necesariamente los mismos que los costes en LD, y las prácticas más adecuadas para LD no son necesariamente las mejores para la LI.

En Tibben-Lembke y Rogers (2002) se presentan los principales costes de la LI, y su comparación con la LD. Sin embargo, la mayor parte de ellos, son diferentes en cuanto a importancia y magnitud, pero no implican requerimientos nuevos en los ERP.

Tan solo los costes de reparación y embalaje y sobre todo, los costes de desmontaje y refabricación, implican un cambio necesario en los SI. En la No se encuentra el origen de la referencia. se observan diferentes tipos de coste, y su comparación entre la LD y la LI.

Lo más destacable en el área de costes, es la necesidad de desarrollar un sistema de costes adecuado para la gestión de las LMR. El caso del desmontaje, implica una gestión de costes diferente, ya que un mismo trabajo y su coste asociado, debe ser repartido entre diferentes componentes obtenidos en una misma orden de desmontaje.

Siguiendo con el ejemplo de recuperación de fotocopiadoras de Krikke et al. (1999), supongamos que llega a la empresa una fotocopiadora M01 para su

Tabla 2
Comparación entre los costes de LD y LI. Elaboración propia

Tipo de coste	Comparativa del coste en la LI frente a la LD
Transporte	Mucho mayor
Costo de mantener inventario	Menor
Merma o (Robo)	Mucho menor
Obsolescencia	Puede ser mayor
Clasificación y diagnóstico de calidad	Mucho mayor
Manipulación	Mucho mayor
Reparación y Reembalaje	Significativo para LI, no existente LD
Desmontaje y refabricación	Significativo para LI, no existente LD

reutilización. Se desmontan los componentes y se obtienen varios componentes en función de su BOM, de los cuales se pueden recuperar 1 Ud de A y 1 Ud de C, mientras que se desechan 1 Ud de B y 1 Ud de C. Por tanto, se deben repartir los costes de todo el proceso entre los componentes A y C obtenidos, y repercutirlos sobre la fotocopiadora en la que sean montados.

5.4. Gestión del transporte

Una de las diferencias más grandes entre la LD y la LI, es el número de puntos de origen y destino (Fleischmann et al. 1997). Considerando que la LD generalmente es el movimiento de producto de un origen a muchos destinos, el movimiento inverso de un producto es el contrario, de muchos orígenes a un destino. Esta característica supone una diferencia sustancial en la gestión del transporte, y hay que tener en cuenta tanto rutas de reparto, como rutas de recogida de productos.

En principio, combinar el transporte directo e inverso puede suponer un ahorro de transporte importante, dado que con ello, se puede conseguir una optimización de costes de transporte. De esta forma, el camión que lleva productos al distribuidor, también recogería en el mismo viaje productos para ser devueltos al fabricante, con lo que se optimizaría el transporte.

Sin embargo, en muchas ocasiones, y sobre todo en venta al por menor, el transporte inverso del producto se realiza generalmente por la función logística del distribuidor que, por ejemplo, recoge los pa-

lets una vez han sido vaciados. En esos casos, la combinación y optimización del transporte directo e inverso no sería posible, ya que dependerían de dos organizaciones diferentes, que no utilizarían los mismos recursos.

6. Requerimientos de desarrollo para la adaptación del ERP

El análisis realizado sobre las necesidades específicas de la LI en los distintos procesos, pone de manifiesto la necesidad de incluir adaptaciones en los ERP, ya que estos sistemas contemplan únicamente procesos propios de la LD.

En el proceso de desmontaje y remanufactura, es necesario desarrollar en los sistemas ERP procesos adecuados para poder:

1. Registrar los núcleos a su llegada de forma adecuada, a través de un proceso de retorno de productos recuperados, en el que se identifique información como la procedencia del núcleo, el estado que presenta, el destino que va a seguir, etc. Es importante poder establecer un workflow en función de esta información, de forma que se automatice el proceso al máximo, y el ERP sea capaz de «dirigir» el núcleo retornado al proceso que corresponda en cada caso.
2. Gestionar el desmontaje y refabricación de productos. Para ello es imprescindible definir y desarrollar el concepto de LMR, en las que de un núcleo, se obtienen diferentes componentes, que pueden tener destinos diferentes (reutilización,

desmontaje, reciclaje, desguace, etc.). Cada componente debe ser registrado, y puede a su vez descomponerse en otros sub-componentes. Por tanto, deben poder tratarse de la misma forma que los núcleos, y por tanto, deben poder registrarse de forma adecuada, como se ha expuesto en el punto anterior.

3. Gestionar las instalaciones y recursos de producción de forma conjunta para la fabricación y para el desmontaje y refabricación. Para ello es imprescindible mantener en el ERP información relativa al desmontaje y refabricación, como los núcleos retornados (o en previsión de retorno), tasas de recuperación de los diferentes componentes, rutas de producción con los tiempos de desmontaje, capacidades y recursos a utilizar, etc. Todo ello, debe tomarse en cuenta en el momento de planificar la producción, para obtener una planificación de materiales y capacidades adecuada.

En el proceso de cálculo de previsiones es necesario desarrollar en el ERP los procesos que permitan disponer de información adecuada para poder prever la demanda, pero teniendo en cuenta la posibilidad de retornos de producto, y su posible aprovechamiento, tanto del núcleo, como de sus componentes, una vez desmontados.

Por otra parte, en el proceso de gestión de costes, debe desarrollarse en el ERP todo un modelo de datos que pueda gestionar los costes relativos al desmontaje de producto y la refabricación, incluyendo los costes de las operaciones de desmontaje, así como otros costes relacionados con los productos

retornados (por ejemplo, el coste de transporte de producto retornado, el coste de los componentes que se desechan, o los costes administrativos del retorno). En este punto hay que destacar que se rompe con el esquema tradicional de costes de las BOM existente en los ERP, en el que la suma de los costes de componentes (más los costes de las operaciones asociados), componen el coste de producto final. En el caso de costes de desmontaje, un único producto (el núcleo), da lugar a varios componentes tras ser desmontado. Por tanto los costes asociados al núcleo, deben repartirse entre los componentes que ha originado, por lo que la relación jerárquica es inversa, siendo el reparto de costes «de uno a muchos», en lugar del tradicional asociado a las BOM, que es «de muchos a uno».

Finalmente, es necesario desarrollar además una adaptación para la gestión del transporte, de manera que se pueda optimizar teniendo en cuenta tanto el transporte directo (entrega a clientes) como el inverso (recogida de producto). En el desarrollo en el ERP debe dejarse la posibilidad de que la optimización de ambos tipos de transporte sea conjunta, o independiente para cada uno de ellos. De esta forma, se puede optimizar por una parte la ruta de recogida y por otra la de reparto, para empresas en que ambos estén perfectamente separados (o incluso empresas en que una de las dos funciones esté externalizada), o se puede optimizar todo de forma conjunta para empresas en las que se utilizan los mismo recursos en ambos tipos de transporte.

La Tabla 3 presenta un resumen de los requerimientos de desarrollo que surgen de los diferentes procesos analizados en el apartado anterior:

Tabla 3
Adaptación que los ERP necesitan para la gestión de la LI. Elaboración propia

Proceso	Requerimiento de desarrollo
1. Gestión de desmontaje y refabricación	<ul style="list-style-type: none"> — Registro adecuado de núcleos y componentes y proceso relacionados — Creación de LMR y procesos relacionados — Modificación del proceso de planificación y programación de la producción incluyendo LMR
2. Realización de previsiones	<ul style="list-style-type: none"> — Inclusión de las previsiones de retorno y tasas de recuperación de las LMR en caso de que haya desmontaje.
3. Gestión de costes	<ul style="list-style-type: none"> — Desarrollo de un sistema de costes adecuado al desmontaje, que a su vez sea compatible con el sistema de costes de la LD
4. Gestión del transporte	<ul style="list-style-type: none"> — Desarrollo de un proceso de optimización del transporte de LI y LD que pueda ser utilizado de forma conjunta o separada.

Cabe decir que, antes de abordar la siguiente fase de desarrollo según Zhou et al. (2005) (el diseño conceptual), hay que tener en cuenta que un ERP es una solución global e integrada, y por ello, no se pueden desarrollar soluciones a unos requerimientos, sin tener en cuenta su posible relación con el resto. Si esto no fuera así, unos desarrollos podrían interferir en otros. Por ello, el desarrollador de ERP debe tener una visión global para planificar y priorizar de forma adecuada la implementación de los requerimientos.

Los requerimientos definidos en este trabajo están relacionados entre sí. Así, por ejemplo, la solución al requerimiento de la gestión del desmontaje y refabricación, debe estar basada en la gestión de las LMR, necesaria a su vez para la programación del desmontaje, gestión de núcleos y componentes recuperados, y la planificación integrada de montaje y desmontaje.

Es evidente que esto tiene relación directa con el cálculo de previsiones, a través de la planificación, que a su vez tiene relación con la gestión del transporte, ya que es necesario poder planificarlo teniendo en cuenta a los sistemas directo e inverso de forma conjunta.

Y por supuesto, todos estos procesos tienen relación con la gestión de costes, que debe ser capaz de recoger información de todos ellos, y analizar sus costes con el objetivo de tomar decisiones que aumenten su eficiencia y que permitirá conformar los precios de producto y su rentabilidad.

Posiblemente, el requerimiento más complejo de adaptar desde el punto de vista de los ERP, sea el de la gestión de LMR, ya que debe estar integrado plenamente con la gestión de la producción y la programación maestra del ERP, que son procesos complejos que deben ser modificados. Además, tiene una gran incidencia en la gestión de costes. Por ello, sin olvidar que la adaptación del ERP debe abordarse desde un punto de vista global de todos los requerimientos, debería comenzarse desde el desarrollo de las LMR y su integración dentro del proceso de programación maestra y la gestión de costes.

7. Conclusiones

Las características particulares de los procesos de la LI, generan una serie de requerimientos específicos en los ERP dado que, en la actualidad, los ERP están adaptados a los procesos de LD, pero no a los de la LI.

En este artículo, se han presentado las implicaciones que la gestión de la LI tiene en los ERP, con el objetivo de dotar a los desarrolladores de estos sistemas de una visión global de las necesidades que la gestión de la LI conlleva.

Tras el estudio realizado, se ha podido constatar que en la actualidad, existe una necesidad de ERP que contemplen los requerimientos específicos que la LI presenta, descritos en el artículo. Son requerimientos derivados de la particularidad de de la LI en procesos como el desmontaje y refabricación, el cálculo de previsiones, la gestión de costes y la planificación del transporte.

El desarrollo de dicho requerimientos debe ser abordado desde una perspectiva global, ya que todos ellos interaccionan entre si. Sin embargo, la gestión de las LMR, el desmontaje y la refabricación, son los procesos que presentan la mayor complejidad, y con los que se relacionan la mayor parte de los procesos definidos en los requerimientos.

Así pues, el desarrollo para la adaptación del ERP a la LI debería comenzar abordando el requerimiento correspondiente a las LMR, considerando en todo momento las relaciones de dicho proceso con el resto de requerimientos, especialmente con la gestión de costes.

Como líneas de investigación futuras, se propone completar el resto de fases de la metodología de desarrollo planteada. Para ello, es imprescindible profundizar en el análisis de cada uno de los procesos aquí descritos, con el objetivo de proponer soluciones particulares a cada uno de los requerimientos que ocasionan, y herramientas para optimizar su gestión. Por ejemplo, modelos matemáticos que ayuden al cálculo de previsiones o modelos de datos que puedan gestionar las los costes asociados al desmontaje y refabricación.

Sin embargo, como ya se ha indicado, es el desarrollo de las LMR el requerimiento más complejo y que más relaciones tiene con el resto de procesos a gestionar por un ERP. Por tanto, tras este trabajo, como línea de investigación inmediata, previa a cualquier otra investigación en esta campo, surge la necesidad de definir y desarrollar el concepto de LMR y su gestión dentro de los ERP.

Finalmente sería necesaria la implementación en un ERP específico de los requerimientos definidos para la LI en el presente trabajo.

Bibliografía

- ARANGO, M.D., GIL, H. y OLTRA, R.F. (2010). «Evolutions and Trends of Information Systems for Business Management: the M-Business. A Review». *Dyna*, 77(163), pp. 110 - 125.
- BAÑEGIL, T.M. y RUBIO, S. (2005). «Sistemas de logística inversa en la empresa». *Dirección y Organización*, 31, pp. 104-112.
- BENEDITO, E. y COROMINAS, A. (2009). «Determinación de las capacidades de fabricación y almacenaje óptimas en un sistema con logística inversa y demanda periódica». *Dirección y Organización*, 37, pp. 91-97.
- BENEDITO, E. y COROMINAS, A. (2010). «Optimal manufacturing and remanufacturing capacities of systems with reverse logistics and deterministic uniform demand». *Journal of Industrial Engineering and Management*, 3 (1), pp. 33-53.
- BOTTA-GENOULAZ, V., MILLET, P.A. y GRABOT, B. (2005). «A survey on the recent research literature on ERP systems». *Computers in Industry*, 56 (6), pp. 510-522.
- BRITO, M. P., FLAPPER, S. D. P. y DEKKER, R. (2002). *Reverse logistics*, Erasmus University Rotterdam, The Netherlands. Econometric Institute Report Series EI 2002-21.
- CARRASCO-GALLEGO, R. y PONCE-CUETO, E., 2010. A management model for closed-loop supply chain of reusable articles: defining the issues. *Dirección y Organización*, 42, pp. 63-70
- DEKKER, R., FLEISCHMANN, M., INDERFURTH, K. y WASSSENHOVE L.N.V.(2004). *Reverse logistics: Quantitative models for closed-loop supply chains*, Springer.
- REVLOG (European Working Group on Reverse Logistics), (2004). Available at: http://www.fbk.eur.nl/OZ/REVLOG/PROJECTS/TERMINOLOGY/def_reverselogistics.html (Accedido Junio 3, 2010).
- FERNÁNDEZ, I. y GARCÍA, N. (2007). «Efectos de la implicación en actividades de recuperación de valor sobre la función de aprovisionamientos». *Cuadernos de economía y dirección de la empresa*, 31, pp. 97-118.
- FERRAN, C. y SALIM, R., 2008. *Enterprise Resource Planning for Global Economies: Managerial Issues and Challenges* NetLibrary, Inc Premier Reference Source, Idea Group Inc (IGI), 2008.
- FINK, L. y MARKOVICH, S. (2008). «Generic verticalization strategies in enterprise system markets: An exploratory framework». *Journal of Information Technology*, 23, pp. 281-296.
- FLEISCHMANN, M. ET AL. (1997). «Quantitative models for reverse logistics: A review». *European Journal of Operational Research*, 103(1), pp. 1-17.
- GRABOT, B. y BOTTA-GENOULAZ, V. (2005). «Special issue on Enterprise Resource Planning (ERP) systems». *Computers in Industry*, 56 (6), pp. 507-509.
- GUIDE, V. D. R. y VAN WASSSENHOVE, L. N. (2002). «The Reverse Supply Chain». *Harvard Business Review*, 80(2), pp. 25-26.
- GUIDE, V.D.R. ET AL. (2000). «Supply-Chain Management for Recoverable Manufacturing Systems». *INTERFACES*, 30 (3), pp. 125-142.
- GUNASEKARAN, A., (2009). *Global Implications of Modern Enterprise Information Systems Technologies and Applications*, Information Science Reference (an imprint of IGI Global).
- HANS, C., HRIBERNIK, K.A. y THOBEN, K.-D. (2010). «Improving reverse logistics processes using item-level product life cycle management». *International Journal of Product Lifecycle Management*, 4(4), pp.338-359.
- JAKUPOVIĆ, A., PAVLIC, M. y ASENBRENER, M. (2010). «Measuring the Size and Contribution of ERP Solutions through Covered Business Sectors». En *ISAS Information Systems Analysis Synthesis*. Orlando, Florida.
- JAKUPOVIĆ, A., PAVLIC, M. y POSCIC, P. (2010). «Business sectors and ERP solutions». En *Information Technology Interfaces (ITI), 2010 32nd International*. Cavtat/Dubrovnik, págs. 477-482.
- KOHAVI, R., ROTHLEDER, N.J. y SIMOUDIS, E. (2002). «Emerging trends in business analytics». *Commun. ACM*, 45 (8), pp. 45-48.
- KOKKINAKI, A. I. ET AL. (2004). ICT Enabling Reverse Logistics. En *Reverse logistics: Quantitative models for closed-loop supply chains*. Springer.
- KRIKKE, H. R., VAN HARTEN, A. y SCHUUR, P. C. (1999). «Business case Océ: Reverse logistic network re-design for copiers». *OR Spectrum*, 21(3), pp. 381-409.
- LUTTWAK, E. (1971). *A Dictionary of Modern War*, New York, N.Y.: Harper y Row.
- MALHOTRA, N. y BIRKS, D. (2007). *Marketing Research: an applied approach* 3o ed., Harlow, UK: Financial Times/Prentice Hall on imprint of Pearson Education.
- MCGAUGHEY, R.E. y GUNASEKARAN, A., 2009. *Selected Readings on Strategic Information Systems. Chapter XXIII Enterprise Resource Planning (ERP): Past, Present and Future*, Information Science Reference (an imprint of IGI Global).
- OLORUNNIWO, F.O. y LI, X. (2010). «Information sharing and collaboration practices in reverse logistics». *Supply Chain Management: An International Journal*, 15(6), pp. 454-462.
- OLTRA, R.F., GIL, H. y BELLVER, R., (2011). Factores diferenciales entre los ERP de software libre (FSw ERP) y

- los ERP propietarios. *Dirección y Organización*, 44, pp. 64-73.
- POKHAREL, S. y MUTHA, A. (2009). «Perspectives in reverse logistics: A review». *Resources, Conservation and Recycling*, 53(4), pp. 175-182.
- ROGERS, D. S. y TIBBEN-LEMBKE, R. S. (1999). *Going backwards: reverse logistics trends and practices*, Pittsburgh, PA: RLEC Press.
- ROGERS, D. S. ET AL. (2002). «The Returns Management Process». *The International Journal of Logistics Management*, 13 (2), pp. 1-18.
- RUBIO, S., CHAMORRO, A. y MIRANDA, F. J. (2006). «Characteristics of the research on reverse logistics (1995-2005)». *International Journal of Production Research*, 46 (4), pp. 1099-1112.
- TIBBEN-LEMBKE, R.S. y ROGERS, D.S. (2002). «Differences between forward and reverse logistics in a retail environment». *Supply Chain Management: An International Journal*, 7, pp. 271-282.
- TSAI, W.H. y HUNG, S.J. (2009). «Treatment and recycling system optimisation with activity-based costing in WEEE - reverse logistics management: an environmental supply chain perspective». *International Journal of Production Research*, 47(19), pp. 5391-5420.
- ZHOU, B., WANG, S. y XI. L. (2005). «Data model design for manufacturing execution system». *Journal of Manufacturing Technology Management*, 16, pp. 909-935.