

## **Aplicación de Redes de Petri para la modelización de procesos en Logística Inversa**

**M<sup>a</sup> Victoria de la Fuente<sup>1</sup>, Lorenzo Ros<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Dpto. de Economía de la Empresa, Área de Organización de Empresas. E.T.S.I. Industrial. Campus Muralla del Mar - Universidad Politécnica de Cartagena – UPCT. C/ Dr. Fleming, s/n. 30202 Cartagena.  
Marivi.fuente@upct.es ; Lorenzo.ros@upct.es

**Palabras clave:** Logística inversa, Modelización de procesos, Redes de Petri.

### **1. Introducción**

La logística inversa, como movimiento de materiales y productos en el sentido inverso a lo largo de la cadena de suministro, es reconocida por multitud de empresas como la nueva oportunidad de ganar dinero, pues permite descubrir valiosas oportunidades de negocio.

La gestión de los retornos, concretamente las devoluciones de productos, es el más común de los procesos inversos implementados por las empresas, generando numerosas dificultades en las empresas de venta directa, venta por correo y e-commerce. En este tipo de procesos las empresas buscan mejorar la calidad de servicio y atención al cliente, así como reducir sus tiempos de devolución y costes asociados (Amini y Retzlaff, 2003).

En esta comunicación se presenta el caso analizado de una empresa de venta por correo de ropa y complementos, que durante los periodos de vacaciones mueven una cantidad entorno a los 5.000 pedidos diarios. El proceso de venta y entrega al cliente es considerado por la propia empresa como eficiente, al entregar aproximadamente el 90% de los pedidos en un plazo de 24h. La dirección de la empresa, continuando con su proyecto de mejora continua, se encuentra considerando nuevas oportunidades dentro del proceso de devoluciones con el objetivo de aumentar la satisfacción del cliente (una de sus mayores prioridades); en el sector de la venta directa, en el cual se enmarca la empresa, el elevado número de devoluciones presenta numerosas desventajas, como por ejemplo el tiempo invertido por los trabajadores en la devolución de los ítems.

### **2. Modelización de procesos mediante Redes de Petri**

La modelización de los procesos permite estudiar el comportamiento dinámico de las organizaciones, negocios y/o sistemas más generales. La idea básica es que para estudiar y entender un sistema se necesitan desarrollar los modelos de procesos desde diferentes puntos de vista, en función de la/s técnica/s de modelización seleccionada.

Revisando las múltiples técnicas de modelización existentes (Flowchart, Workflow, Role interaction diagrams, Integrated definition for function modelling-IDEF, Yourdon-DFD, Object Oriented, Structured Systems Analysis and Design Methodology-SSADM, Graph with Results and Activities Interrelated-GRAI, etc.), el grupo de trabajo ha seleccionado la técnica de Redes de Petri para el estudio y modelización del proceso gestión de las devoluciones, por sus características de robustez y flexibilidad (semántica, representaciones gráficas, etc.) como exponen algunos autores (Billington, 1997; Thiagarajan, 2000; Billington et al. 2003).

Un elemento fundamental en las Redes de Petri es la posibilidad de análisis del comportamiento dinámico de los sistemas (procesos, tiempos, costes, etc.) que ofrece esta técnica, aspecto estudiado y explotado por Genrich y Lautenbach (1981); Wang (1998); y Salimifard y Wright (2001), que permite una gran variedad de aplicaciones debido a su generalidad y adaptabilidad inherentes. Esto permite la representación gráfica tanto de modelos muy simples (Thiagarajan, 2000; Billington et al. 2003) como de las redes más complejas (Genrich y Lautenbach, 1981, Billington, 1997). Por este motivo, durante los últimos años ha sido ampliamente utilizada para la modelización y gestión de la cadena de suministro (Dong y Chen, 2001; Blackhursta et al., 2005). Aunque cabe señalar que las redes de Petri ha sido una técnica muy poco aplicada en contextos de logística inversa (Xirouchakis y Kiritsis, 1997; Moore et al., 1998).

El grupo de trabajo, para la modelización de los procesos de logística inversa mediante Redes de Petri, ha utilizado dos herramientas disponibles en el mercado, YASPER ([www.yasper.org](http://www.yasper.org); van Hee et al., 2006) y HPSim (Anschuetz, 1995; van Hee et al., 2005), que han permitido definir los modelos de procesos actual y propuesto, a partir de la información suministrada por la empresa y las modificaciones propuestas por el grupo de trabajo.

Desarrollados los modelos de procesos, se procedió a la validación y verificación de los mismos, mediante la comprobación de los modelos conceptuales (apartado 3) y el análisis de los resultados obtenidos con la simulación mediante las dos herramientas utilizadas (apartado 4). Finalmente, las dos herramientas fueron comparadas, con el fin de seleccionar aquella más amigable para su posterior utilización en el resto de la investigación.

### **3. Gestión de los retornos en una empresa de venta por correo.**

Como se ha comentado en la introducción, las devoluciones de productos representan el más común de los procesos de logística inversa implementados por las empresas. En el caso de las empresas de venta directa, venta por correo y e-commerce la gestión de los retornos conlleva numerosas dificultades, al intentar compaginar la mejora de la calidad de servicio y atención al cliente con la reducción de los tiempos de devolución y sus costes asociados (Amini y Retzlaff, 2003; Blackhursta et al., 2005).

Para la empresa en estudio, dedicada a la venta por correo de ropa y complementos, el proceso de venta y entrega al cliente es considerado eficiente, al entregar aproximadamente el 90% de los pedidos en un plazo de 24h, mientras que el proceso de devoluciones encuentra numerosas dificultades por el elevado número de ítems retornados.

El proceso de gestión de retornos comienza cuando un cliente decide devolver uno o más productos, enviándolos por correo al centro de devoluciones. En dicho centro, los paquetes recibidos son clasificados según forma y tamaño de los mismos (sin indicación alguna de lo que contienen). Aceptado el retorno, de manera paralela se inician dos subprocesos diferentes: por un lado se realizan, según la documentación aportada, las transacciones financieras para la devolución del dinero o el cambio de producto (reenviando el nuevo al cliente). Por otra parte, los paquetes retornados son abiertos, y según el estado en que llegue el producto (calidad y utilización) será reubicado en el destino adecuado (nueva venta / otros destinos). Este proceso se muestra detalladamente en la figura 1, o mapa de procesos en el que son representados todos los subprocesos y acciones que realiza actualmente la empresa.

Las mejoras en el proceso de logística inversa que sugiere el grupo de trabajo se muestran en el mapa de procesos de la figura 2. Con estas mejoras se pretende lograr una mayor eficiencia del proceso analizado, con el principal objetivo de que los clientes reciban el reintegro del dinero o un nuevo artículo en menor plazo que ahora se hace.

En la propuesta de proceso de gestión de retornos que se presenta, los clientes deben llamar primero al centro de devoluciones para indicar lo que se devolverá (con todos los detalles). Así mismo, los clientes pegarán en el paquete a devolver una etiqueta escaneable (proporcionada en el momento de la compra) que facilitará los trámites de envío por correo y su posterior manipulación. Tras la recepción del paquete en el centro de devoluciones, la lectura de la etiqueta permitirá leer su contenido, y sin abrir el paquete, realizar su clasificación y reubicación en el destino adecuado (nueva venta / otros destinos) de modo más rápido que el actual. Este cambio de actividades permite reducir a la mitad el esfuerzo del personal para manejar paquetes y productos retornados, aumentando la baja eficiencia operativa actual gracias al rediseño de las tareas en el centro de devoluciones.

Analizando el proceso actual (figura 1) y el proceso propuesto (figura 2), se pueden determinar claramente los objetivos que se pretenden conseguir con la mejora: en primer lugar, mejorar el servicio al cliente reduciendo el tiempo de la transacción y facilitando la devolución. En segundo lugar, la incorporación de las etiquetas escaneables, permitirá reducir el tiempo de movimiento de los productos entre los distintos centros operativos, al suprimir una serie de actividades facilitando la clasificación de los productos retornados, aumentando la eficiencia operativa del centro de devoluciones, e incluso reduciendo trámites en la oficina de correos.

Para tomar la decisión correcta sobre si adoptar las mejoras propuestas se ha planteado el estudio de una serie de parámetros (Coste, CCT y PCT) en ambos procesos (actual y propuesto). Se ha definido el tiempo de ciclo del cliente (CCT) como el tiempo desde que el cliente retorna el paquete hasta que recibe uno nuevo o el reembolso del dinero, y el tiempo de ciclo del producto (PCT) se define como el tiempo desde que el cliente devuelve un artículo hasta que éste llega al centro de distribución y se le realizan las tareas correspondientes.

Con la información suministrada sobre el proceso de gestión de retornos y la propuesta de mejora del mismo, así como la información suministrada por la empresa respecto a tiempos y costes para ambos procesos (incluida en anexo 1), el grupo de trabajo ha aplicado la técnica de Redes de Petri sobre los modelos de procesos planteados a través de dos herramientas informáticas, que se describen brevemente en los siguientes apartados, y en los cuales se incluyen la representación de los procesos con cada una de ellas.

### **3.1. Aplicación de la herramienta HPSim**

La herramienta HPSim, (Anschuetz, 1995), fue desarrollada para diseñar y simular Redes de Petri a través de soportes gráficos, facilitando el desarrollo de redes complejas y de gran tamaño, únicamente limitadas por la capacidad del ordenador utilizado. El software permite los siguientes desarrollos: Redes de Petri de Transición, Redes de Petri Estocásticas, y Redes de Petri temporales.

Para esta herramienta HPSim, donde la simulación supone la ejecución de los pasos consecutivos en un proceso que satisface sus especificaciones, las simulaciones que realiza pueden ser visualizadas como una animación donde una ficha coloreada (token) indica la actividad que se está ejecutando en cada momento. Animación que puede ser ejecutada en diferentes modos (paso a paso, continuo, rápido, etc.)

El proceso de logística inversa analizado en el apartado anterior (figuras 1 y 2) posee una característica peculiar: no todas las actividades se realizan de manera consecutiva, sino que en determinados puntos existen diferentes alternativas (a realizar de manera simultánea). Dicha peculiaridad no puede ser implementada directamente en la herramienta HPSim, por lo que las alternativas deben ser desarrolladas con un mismo modelo de procesos en módulos diferentes.

En HPsim, existe un módulo que, mediante la simulación en modo continuo de las actividades, permite mostrar el comportamiento dinámico del proceso en su conjunto. La figura 5 muestra el modelo desarrollado para estudiar el comportamiento dinámico del proceso inverso propuesto.

Otro módulo de trabajo de HPsim permite estudiar la evolución temporal de los procesos, mediante la simulación en modo rápido de las actividades. El desarrollo del modelo de procesos en este módulo permitirá el análisis los tiempos de ciclo de cliente (CCT) y producto (PCT). La figura 6 muestra el modelo desarrollado para el proceso inverso propuesto en este módulo.

### **3.2. Aplicación de la herramienta YASPER**

Yasper es una herramienta desarrollada en colaboración por la Technische Universiteit Eindhoven y la empresa Deloitte ([www.yasper.org](http://www.yasper.org)). Esta herramienta permite la modelización y simulación de modelos de procesos discretos, utilizando como técnica de modelización Redes de Petri extendidas.

Los diagramas de actividades que se utilizan permiten mostrar los pasos (actividades) a ejecutar en un proceso, representando de manera formal las especificaciones y dependencias de orden entre las actividades y los propios procesos, estableciendo las reglas de simulación de los mismos. Con la herramienta Yasper, la simulación del proceso permite la ejecución de actividades en paralelo, la repetición de las actividades, así como la disputa por los recursos entre ellas. (Yasper, 2005).

Yasper permite dos modos diferentes de simulación (modo manual y automático) que facilitan tanto el estudio de los procesos tanto de forma agregada como detalladamente, analizando el comportamiento de los procesos, su eficiencia, y detección de posibles fallos o errores.

Al igual que con la herramienta HPsim, con la herramienta Yasper también se han desarrollado los modelos de procesos actual y propuesto. El proceso logístico inverso estudiado presenta dos actividades alternativas, que la herramienta HPsim no podía implementar de manera directa pero que sí lo soporta la herramienta Yasper (mediante la utilización del elemento semántico XOR), además de permitir también el estudio (de manera simultánea) del comportamiento dinámico, cálculo de tiempos, así como el analizar los costes de procesos (cuyos resultados se muestran en las tablas 1 y 2). En las figuras 3 y 4 se muestran los modelos que han sido desarrollados según los mapas de procesos actual (figura 1) y propuesto (figura 2) definidos en el apartado anterior para el proceso de logística inversa analizado.

### **4. Resultados obtenidos.**

Se han puesto en funcionamiento los modelos con cada herramienta, (en la simulación realizada el centro de retornos recibirá y procesará 12500 paquetes), que permitirán en base a la información suministrada por la empresa respecto a tiempos, costes y personal (ver anexo 1) el análisis de los resultados para los parámetros CCT (tiempo de ciclo de cliente) y PCT (tiempo de ciclo de producto) anteriormente definidos.

En la tabla 1 se muestran los resultados obtenidos para los dos procesos de logística inversa (actual y propuestos) modelizados mediante Redes de Petri con las herramientas HPsim y Yasper.

**Tabla 1.** Resultados obtenidos para las herramientas HPSim y Yasper.

<b>Tiempos</b>			
<b>Procesos</b>		<b>Actual</b>	<b>Propuesto</b>
CCT <i>Customer cycle time</i>	<i>Refund money</i>	96,06 h	48 h
	<i>Exchange item</i>	120,12 h	72,05 h
PCT <i>Product cycle time</i>	<i>Distribution centre</i>	76,13 h	76,05 h
	<i>Other destines</i>	120,12 h	120,03 h

Los resultados obtenidos para el análisis temporal realizado con las herramientas propuestas muestran reducciones en el entorno del 40-50% en el tiempo de ciclo para el cliente (CCT). La reducción en el CCT se ha conseguido a través de las mejoras descritas para el proceso propuesto de logística inversa. Dichas mejoras se concretan en las actividades Refund money (devolución de dinero) y Exchange ítem (cambio de producto), disminuyendo ambas su duración en aproximadamente 48h.

Sin embargo, en el tiempo de ciclo para el producto (PCT) no se consiguen reducciones apreciables (0,01%). La utilización de etiquetas con códigos para devolución permite enviar el paquete a la zona de proceso correcta sin abrirlo, reduciendo el número de personas que lo deben ver/tocar, aumentando así la eficiencia operativa del centro de devoluciones, pero solamente se consigue una reducción del PCT en 5 minutos en cada caso.

Ante situaciones tan diferentes, se ha comprobado que la mejora solamente se produce en los procesos directamente relacionados con la atención al cliente, cumpliendo un objetivo prioritario de la empresa “la satisfacción del cliente”, al reducir el tiempo de recepción del nuevo producto o el dinero. Estos resultados han sugerido al grupo de trabajo a realizar un posterior estudio detallado de los procesos relacionados con el producto dentro del centro de devoluciones, con el fin de plantear nuevas mejoras.

Respecto a los costes, solamente son ofrecidos por la herramienta Yasper. El análisis de los mismos (ver tabla 2) ha permitido comparar los costes en aquellos procesos modificados, ahorrando costes entorno al 50% en el proceso Exchange ítem (cambio de producto), mientras que en el otro proceso estudiado Refund Money (devolución de dinero), el ahorro en costes supera el 70%.

**Tabla 2.** Resultados obtenidos por la herramienta Yasper.

<b>Costes</b>			
<b>Procesos</b>		<b>Actual</b>	<b>Propuesto</b>
Exchange item	Distribution centre	1,23€	0,67€
	Other destines	1,13€	0,57€
Refund money	Distribution centre	0,90€	0,34€

La reducción de costes se ha conseguido mediante la introducción de elementos nuevos en el proceso (incorporación de etiquetas escaneables para devolución, llamadas de clientes informando sobre devolución) que permiten que los paquetes retornados sean clasificados y procesados de manera más rápida. Estas mejoras suponen nuevas actividades que antes no existían, y que requieren personal adicional para su desarrollo.

Para finalizar, se presenta un breve resumen sobre el análisis de las herramientas HPsim y Yasper, utilizadas para modelización con Redes de Petri:

- Los modelos de procesos desarrollados (apartado 3) han permitido comprender el comportamiento del proceso de logística inversa estudiado (tanto el actual como el propuesto). En este sentido, la herramienta HPsim es mejor, puesto que muestra el comportamiento dinámico del proceso, mientras que con Yasper se debe ejecutar la simulación manual.
- Respecto al cálculo de tiempos y costes para los procesos actual y propuesto, HPsim solo ofrece la posibilidad de cálculo de tiempos, mientras que Yasper ofrece estos dos aspectos conjuntamente a partir de la construcción de modelos jerárquicos que facilitan dichos cálculos así como el análisis del comportamiento dinámico (mediante el desarrollo de subredes en diferentes páginas).

Tras la comparación de ambas herramientas, se puede concluir que Yasper ofrece más posibilidades que HPsim, su manejo es más cómodo, y se presenta como una herramienta suficientemente flexible (elementos semánticos, modelos jerárquicos, etc.) para construir modelos de procesos complejos. Por ello, finalmente se seleccionó Yasper, pues presentaba un mayor número de características que facilitaban la modelización de procesos de Logística Inversa.

## Referencias

Amini M., Retzlaff D. (2003). Reverse Logistics Process reengineering improving customer service quality. Memphis University, USA.

Anschuetz, H. (1995). HPsim help, user's guide.

Blackhursta J, Wub T, O'Grady P. (2005), PCDM: a decision support modeling methodology for supply chain, product and process design decisions. Journal of Operations Management 23, pp.325–343.

Billington J. (1997). High-level Petri Nets – Concepts, Definitions and Graphical Notation. Committee Draft ISO/IEC 15909.

Billington, J., Christensen, S., Hee van, K., Kindler, E., Kummer, O., Petrucci, L., Post, R., Stehno, C., Weber, M.(2003). The Petri Net Markup Language: Concepts, Technology, and Tools. In: Proc. ICATPN 2003, Eindhoven. LNCS 2679, Springer-Verlag, pp. 483-505

Dong M, Chen F. (2001). Process modeling and analysis of manufacturing supply networks using object oriented Petri Nets. Robotics and Computer Integrated Manufacturing; 17(1):121–9.

Genrich H.J, Lautenbach K., (1981) System modelling with high-level Petri nets, Theoretical Computer. Science. 13 (1), pp. 109–136.

Moore KE, Gungor A, Gupta SM. (1998). A Petri net approach to disassembly process planning. Computers and Industrial Engineering, 35, pp.165-178.

Salimifard K, Wright M, (2001). Petri Net-based modelling of workflow systems: an overview, European Journal of Operational Research 134, pp. 664–676.

Thiagarajan P.S. (2000). Elementary net systems. In: Petri nets: central models and their properties. Springer-Verlag.

van Hee K, Oanea O, Post R, Somers L, van der Werf JM, (2006). Yasper: a tool for workflow modeling and analysis, in: Proceedings of the 5th International Conference on Application of Concurrency to System Design (ACSD 2006), pp.279–282.

van Hee K, Post R, Somers L. (2005). Yet another smart process editor, in: Proceedings of European Simulation and Modelling Conference (ESM 2005), EUROSIS, Porto, Portugal.

Wang, J. (1998). Timed Petri Nets—theory and Application, Kluwer Academic Publishers.

Xirouchakis P, Kiritsis D. (1997). Petri net modeling for disassembly process planning. Concurrent Product Design and Environmentally Conscious Manufacturing - ASME, DE-Vol.94, MED-Vol. 5, pp. 255-262.

Yasper, Petri net editor, <http://www.yasper.org>

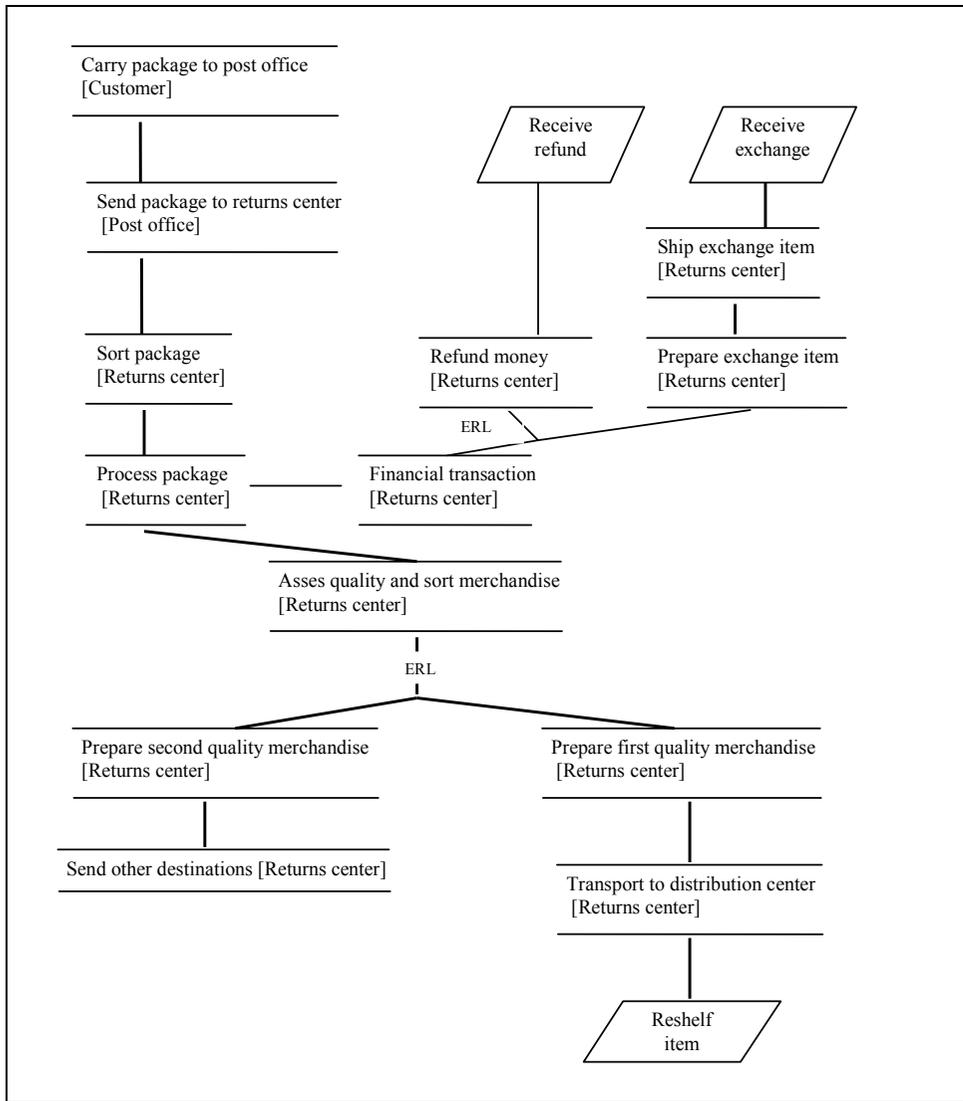


Figura 1. Mapa del proceso de logística inversa actual.

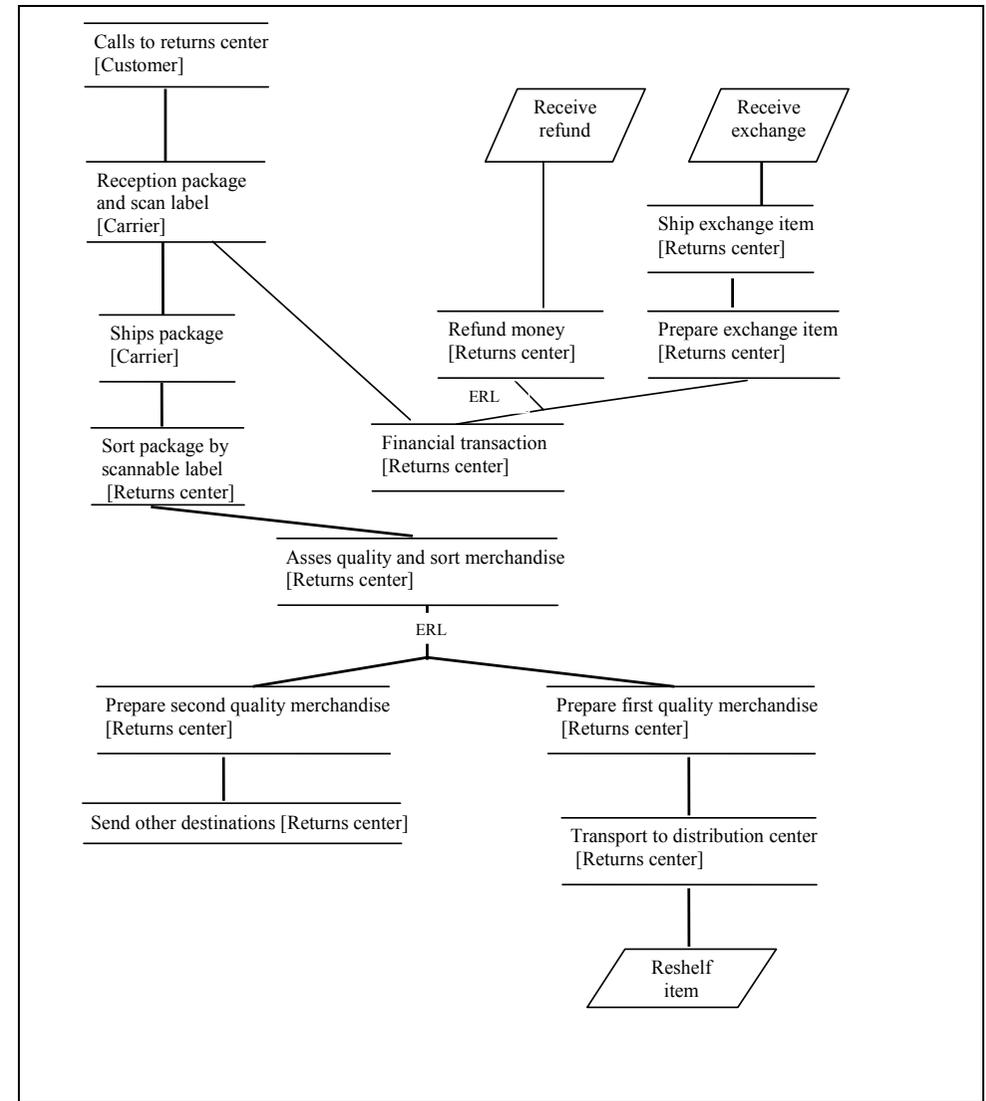


Figura 2. Mapa del proceso de logística inversa prpuesto.

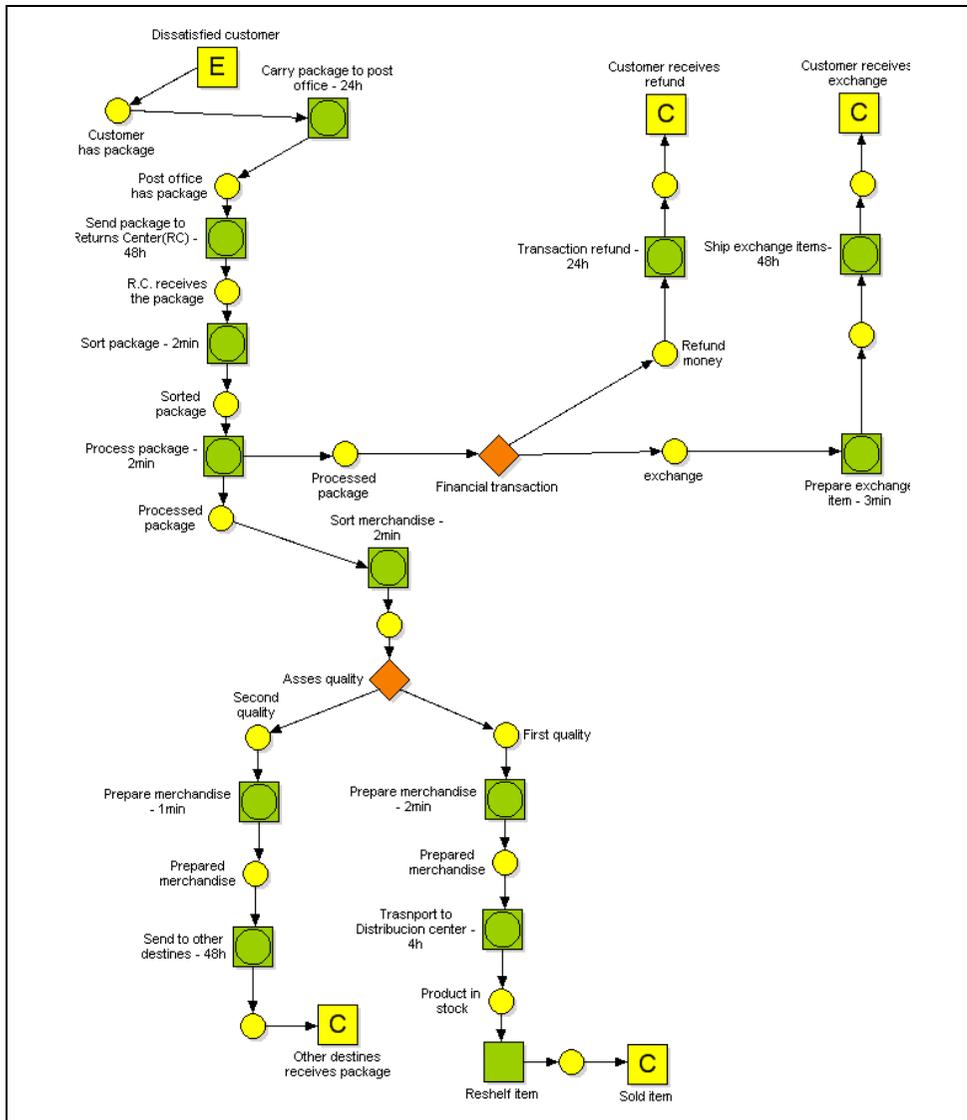


Figura 3. Modelo de procesos actual, según la aplicación Yasper.

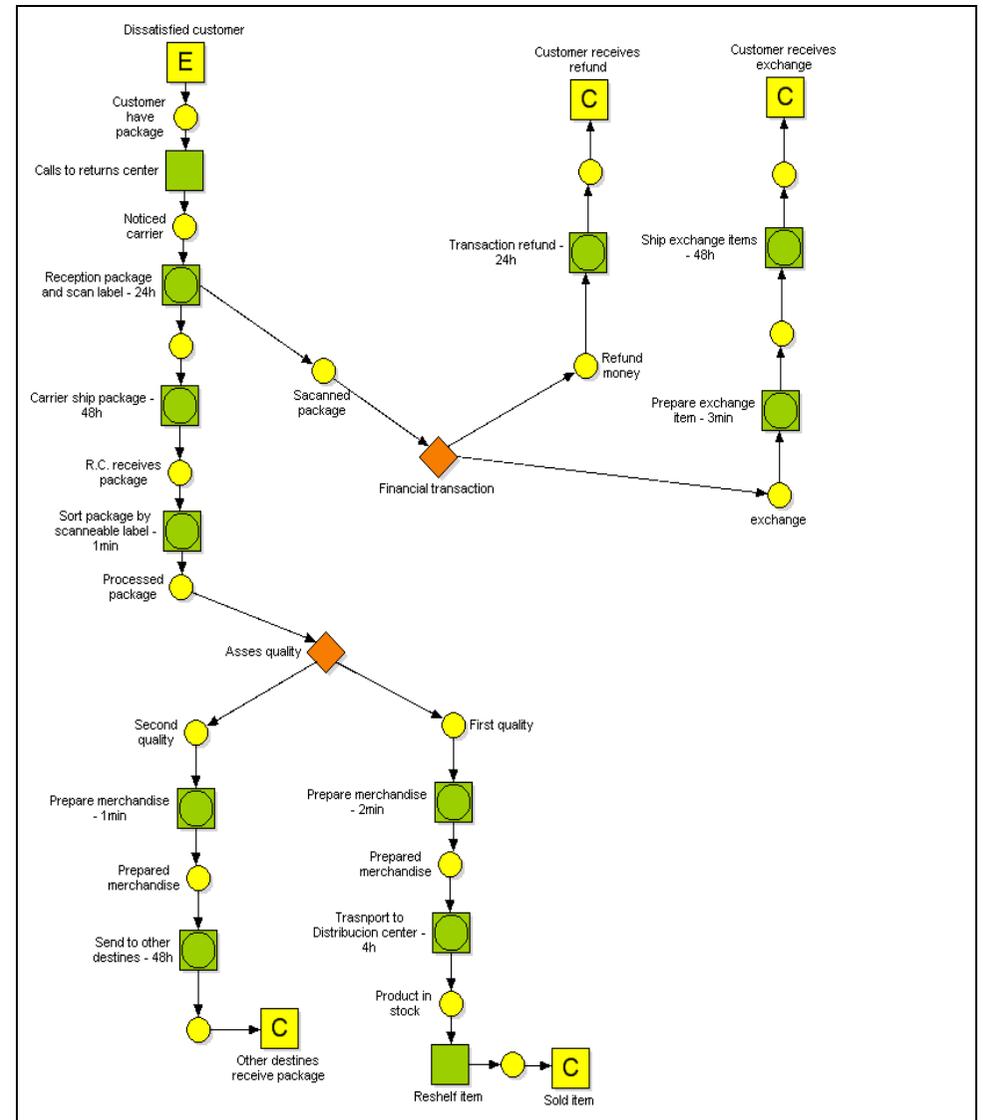


Figura 4. Modelo de procesos propuesto, según la aplicación Yasper.

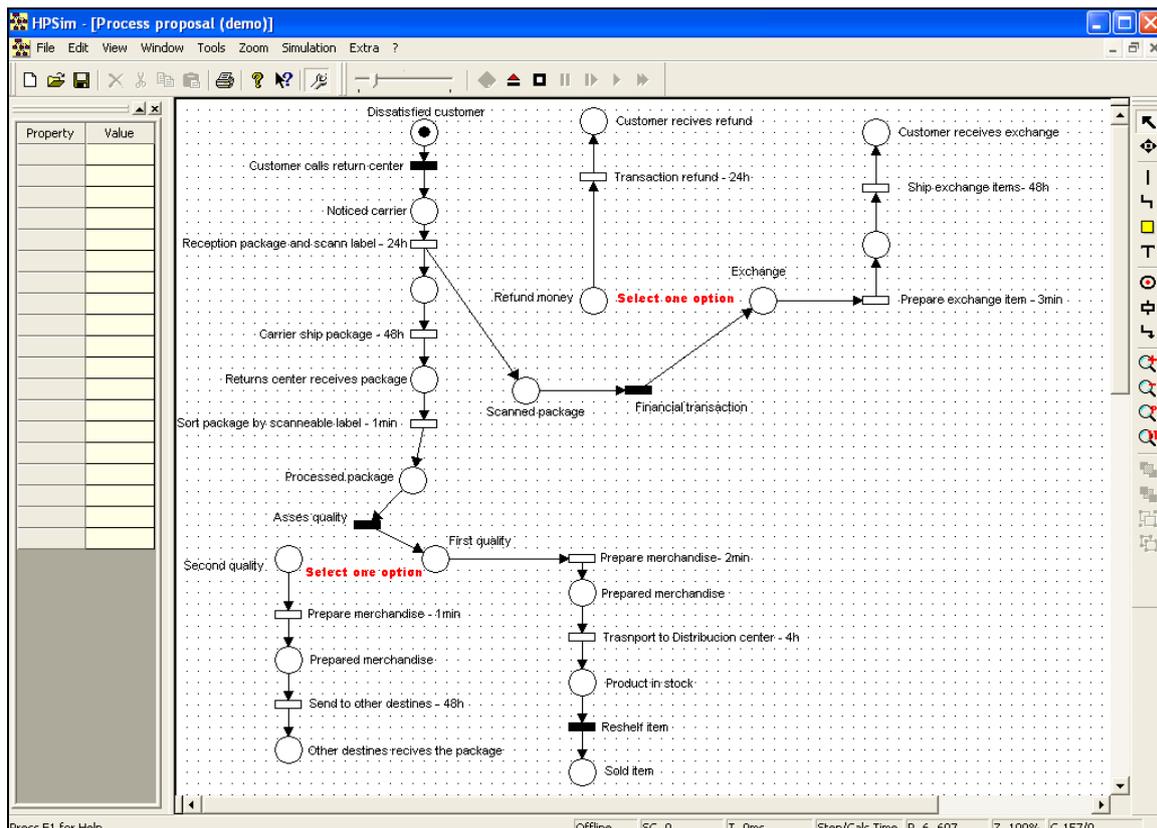


Figura 5. Modelo de procesos propuesto: Comportamiento dinámico, según la aplicación HPSim.

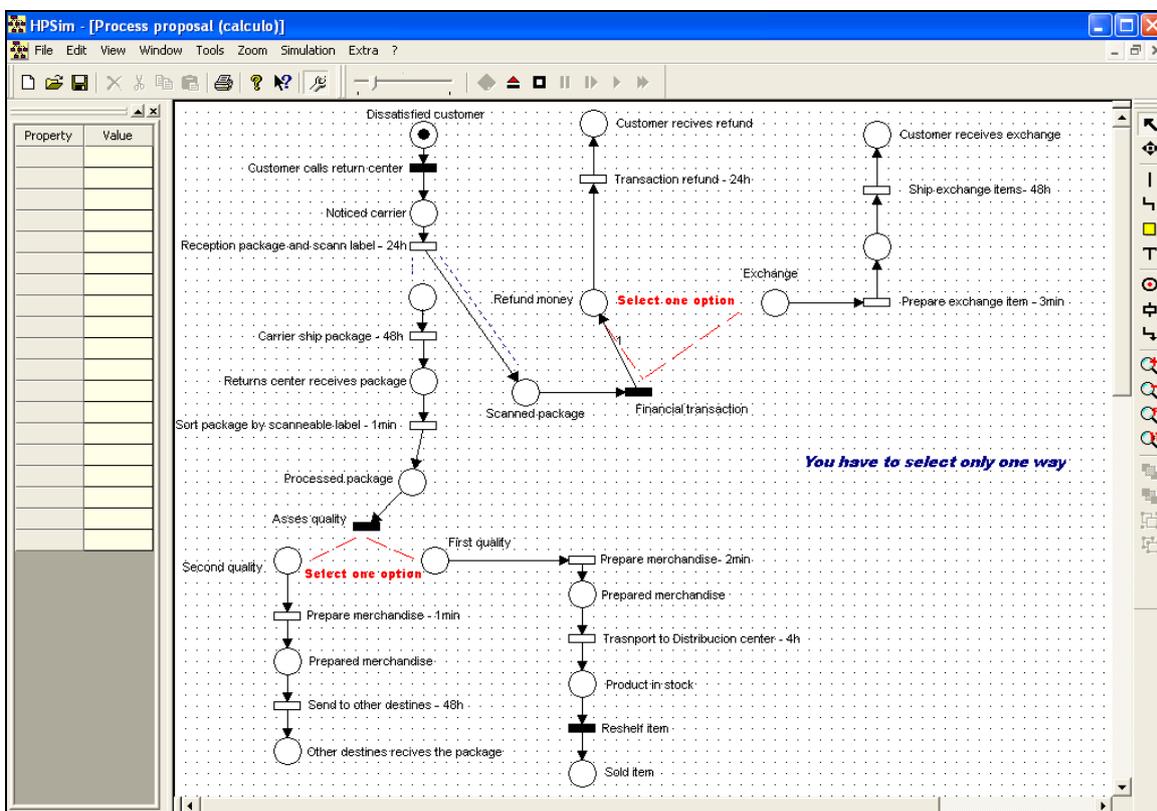


Figura 6. Modelo de procesos propuesto: Cálculo de tiempos, según la aplicación HPSim.