

Sistemas de logística inversa para residuos generados durante la vida del automóvil*

Joaquín Delgado-Hipólito¹, Ruth Carrasco-Gallego¹, Jacobo Ozores-Eizmendi¹

¹Ingeniería de Organización y Logística. ETS Ingenieros Industriales. Universidad Politécnica de Madrid.
C/ José Gutiérrez Abascal 2, 28006 Madrid. ruth.carrasco@upm.es , joaquin.delgado@upm.es

Resumen

*En esta comunicación se presenta una parte de los trabajos realizados en el proyecto DOLI (Análisis y desarrollo de técnicas para el Diseño y la Operación de sistemas de Logística Inversa): la gestión de los residuos generados **durante** la vida útil de los automóviles. Tras analizar la generación de los diferentes tipos de residuos asociados a la vida de los vehículos (con la aportación especial de SIGRAUTO), se proponen tres modelos organizativos para su recogida y tratamiento. La evaluación de estas alternativas desde una doble perspectiva organizativa y operacional se ilustra con el caso de la Comunidad de Madrid.*

Palabras clave: logística inversa, gestión de residuos, sector automoción.

1. Introducción

La logística inversa ha experimentado un incesante desarrollo en los últimos 20 años. En tal evolución han incidido esencialmente factores sociales (la creciente concienciación medioambiental), pero también económicos o comerciales: la adecuada gestión de los flujos inversos, con origen en el cliente, aumenta la eficiencia, al permitir recuperar el valor remanente en los productos al final de su vida útil, y es cada vez más utilizada como argumento para incrementar las ventas.

En el desarrollo de la logística inversa han participado muy diversos agentes: las administraciones públicas, promoviendo o penalizando malas prácticas; los consumidores, adoptando actitudes responsables respecto a los residuos o los productos al final de su vida útil; las empresas y asociaciones, a través de actividades dentro de sus correspondientes ámbitos; y universidades y centros de investigación, con cuya aportación de conocimientos técnicos y científicos la logística inversa ha desembocado en una sólida disciplina. Como muestra de esto último, se ha constatado que el número de publicaciones sobre el tema ha aumentado considerablemente en los últimos años, y especialmente, a partir del año 2000 (Rubio et al., 2008).

La mayoría de los estudios y actividades realizados sobre logística inversa han centrado su atención en dos aspectos fundamentales:

- La organización de los flujos inversos de materiales en redes de suministro (retornos de envases y embalajes, reprocesados, devoluciones comerciales) y su integración con los flujos directos (Thierry et al, 1995; Guide, Harrison y van Wassenhove, 2003; Krikke et al., 2004).

* Este trabajo se deriva de la participación de sus autores en un proyecto de investigación financiado por el Plan Nacional de I+D+i, con referencia DPI2007-65524 titulado “DOLI: Análisis y desarrollo de técnicas para el Diseño y la Operación de sistemas de Logística Inversa”.

- La gestión de los residuos generados por los productos al final de su vida útil, desde un enfoque principalmente medioambiental (Carter y Ellram, 1998).

Sin embargo, ha sido menor el tratamiento del problema de los residuos generados *durante* la vida útil de un producto. La legislación que deriva de la aplicación del principio de responsabilidad del fabricante (varias directivas europeas y su transposición a la legislación nacional, Tabla 1) ha focalizado más su atención en los residuos que se generan al finalizar la vida útil de un producto que en los residuos que ese producto genera a lo largo de todo su ciclo de vida. Cuando existen sistemas de gestión que se ocupan de un componente concreto (como ocurre, por ejemplo, con los tóner y cartuchos de impresora, los neumáticos, las baterías o los aceites industriales), estos componentes son tratados más como un producto finalizado en sí que como residuo generado durante la vida de otro producto (Ortega, 2003).

Tabla 1. Principio de responsabilidad del fabricante: legislación aplicable en España (elaboración propia).

Ámbito de aplicación	Normativa relevante
Legislación marco sobre Residuos ³⁹	Directiva 2008/98/CE ⁴⁰ Ley de Residuos 10/1998
Vehículos fuera de uso (VFU)	Directiva 2000/53/EC RD 1383/2002
Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE)	Directiva 2002/96/EC (modificada por Directiva 2008/34/CE) RD 208/2005
Envases y residuos de envases	Directiva 94/62/CE Ley 11/1997; RD 782/1998
Pilas y acumuladores	Directiva 2006/66/EC RD 106/2008
Aceites industriales usados	Directiva 75/439/CEE (última modificación por Directiva 2000/76/EC) RD 679/2006
Neumáticos fuera de uso	RD 619/2005

La relevancia del sector de automoción en el campo de la logística inversa podría justificarse simplemente por la propia importancia de este sector: como ejemplo, la venta de automóviles es utilizada cotidianamente como indicador de la evolución económica de un país. Por otra parte, el automóvil es un producto complejo, y en lo referente a logística inversa es especialmente relevante la gran variedad de materiales que incorpora: aunque es fundamentalmente metálico, combina metales de distinta naturaleza (férricos y no férricos) y valor, todo tipo de plásticos, vidrios, gomas y cauchos, papel,...

El sector de automoción comenzó a trabajar en logística inversa, sin denominarla de esta forma, en los años 90, anticipándose a las restricciones, en este caso de la Directiva

³⁹ Normas marco que establecen el principio de responsabilidad del fabricante (los fabricantes tienen que asumir también obligaciones para la correcta gestión de los residuos que se generen tras el uso o consumo de los productos que ponen en el mercado) y facultan a la Administración para fijar disposiciones específicas relativas a la gestión de algunos tipos concretos de residuos.

⁴⁰ Deroga la Directiva 2006/12/EC (Codificación de versiones anteriores sobre anteriores directivas sobre residuos y en particular la Directiva 75/442/CEE y la Directiva 91/156/CEE)

2000/53/CE de la Unión Europea referente al tratamiento de vehículos fuera de uso (VFU). En España, la implantación de esta normativa resultó en varios trabajos de investigación preliminares (Delgado et al., 1999; Delgado, 2002). En la literatura académica, también se recoge la puesta en marcha de Sistemas Integrados de Gestión (SIG) para el adecuado tratamiento de los VFU en otros países, como Alemania (Schultmann et al., 2006), Países Bajos (Krikke et al., 1999) o, más recientemente, México (Cruz-Rivera y Ertel, 2009). Sin embargo, todos los trabajos encontrados hasta la fecha se centran en el tratamiento y valorización de los residuos del vehículo al final de su vida útil y no tanto en los residuos que se generan durante la fase de uso.

En este trabajo se presenta un estudio realizado respecto a la generación de residuos durante la vida útil del automóvil. A partir de la información recogida en trabajo de campo, realizado en colaboración con SIGRAUTO, se proponen tres posibles modelos para organizar la recogida y el control de estos residuos. Estos modelos son evaluados tanto cualitativamente (flujos de información, agentes implicados) como cuantitativamente (carga de trabajo para la recogida y tratamiento de los residuos). Con esta investigación, se pretende dar respuesta a las siguientes preguntas:

- a. ¿Qué características presentan los residuos generados en un taller de reparación y mantenimiento de automóviles?
- b. ¿Qué modelos organizativos podrían proponerse para la gestión de estos residuos?
- c. ¿Cómo podría decidirse qué modelo resulta más adecuado?

La comunicación se estructura como sigue: en el epígrafe 2, se justifica la importancia de un sistema de logística inversa para los residuos generados durante la vida de los automóviles; en el epígrafe 3 se presentan las fuentes y los procesos de la información necesarios para diseñar y evaluar el sistema (pregunta de investigación a); en el epígrafe 4 se caracterizan los tres modelos organizativos alternativos que se proponen para el sistema (pregunta b); la valoración cualitativa y cuantitativa de las alternativas se presenta en el epígrafe 5 (pregunta c); finalmente, en el epígrafe 6 se resumen algunas conclusiones del trabajo realizado.

2. Logística inversa en automoción

En el III Congreso de Ingeniería de Organización celebrado en Barcelona 1999, se presentó una ponencia sobre las perspectivas de la logística inversa en automoción (Delgado et al., 1999), sector activo ya por entonces sobre todo en lo referente a vehículos fuera de uso, donde ya se auguraban posibilidades para los residuos generados durante la vida útil del automóvil.

2.1. Logística inversa en el ciclo de vida del automóvil

Al margen de la logística inversa interna, el foco de atención de la logística inversa en el sector de automoción se ha centrado en los vehículos fuera de uso por varias razones:

- Las principales regulaciones que afectan al sector se refieren a los vehículos fuera de uso: su tratamiento (descontaminación), reutilización y reciclado.
- Los principales efectos de los residuos del automóvil son asociados a los vehículos fuera de uso. Cada VFU es percibido como una tonelada de residuos.

Por ello, las primeras actuaciones del sector han estado enfocadas en la promoción del reciclado y recuperación de materiales y residuos procedentes de vehículos fuera de uso.

Sin embargo, el peso de los VFU en el conjunto de la cadena logística, contemplando el ciclo de vida del automóvil, no es tan abrumador:

- Por una parte, los sistemas tradicionales de reutilización y reciclado de la chatarra férrea alcanzan una tasa de recuperación en torno al 80% de un VFU (Delgado et al., 1999). Menos del 20% de su peso termina siendo un residuo para el cual existen vías de recuperación (valorización energética) eficientes y con efectos medioambientales limitados. Pese a la variedad de materiales existente, el contenido esencialmente metálico de un VFU (carrocería) propicia altos niveles de recuperación. Sin embargo, en los materiales residuales generados a lo largo de la vida del automóvil existe una heterogeneidad mucho mayor: la de los materiales sustituidos y utilizados.
- Por otra, aunque un VFU es un material residual pesado y los vehículos en uso generan al año una cantidad unitariamente pequeña de residuos, los VFU que se generan anualmente es una muy pequeña parte del número de vehículos en uso (parque automovilístico).

Este último efecto se observa en la figura 1, en la que se presentan los agentes y procesos implicados en la vida del automóvil. En resumen, en España se generan anualmente una cantidad de residuos mucho menor (una cuarta parte) de residuos procedentes de VFUs que de vehículos en su vida útil (talleres de mantenimiento y reparación).

Tras la descontaminación, reutilización y reciclado de la chatarra de los 800.000 vehículos que se dan de baja anualmente, se generan aproximadamente 135.000 toneladas anuales de residuos. Sin embargo, los residuos asimilables a los procedentes de VFUs generados en los talleres de reparación y mantenimiento se estiman en más de 600.000 toneladas anuales, es decir, más del cuádruple que los residuos procedentes de VFUs, a los que hay que añadir una gama de residuos adicionales, no procedentes del propio vehículo sino del proceso de reparación o de la propia actividad de los talleres (Delgado, 2002).

El Real Decreto 1383/2002, sobre gestión de vehículos al final de su vida útil (transposición a la legislación española de la Directiva 2000/53/CE) pone principalmente el foco en los residuos generados por los VFU. Sin embargo, en el punto 2 del artículo 6 se hace mención de forma marginal a los residuos generados durante la vida útil del vehículo: “*Asimismo, los productores de componentes de los vehículos establecerán sistemas de recogida de aquéllos, cuando por avería, razones de seguridad u obsolescencia deban sustituirse, para que sean entregados a gestores autorizados que los traten y valoricen.*”. Sin embargo, el propio decreto no concreta ni cuándo ni en qué forma debe realizarse la recogida, tratamiento y valorización de estos componentes, ni establece para ellos objetivos específicos de reutilización, reciclado, y valorización.

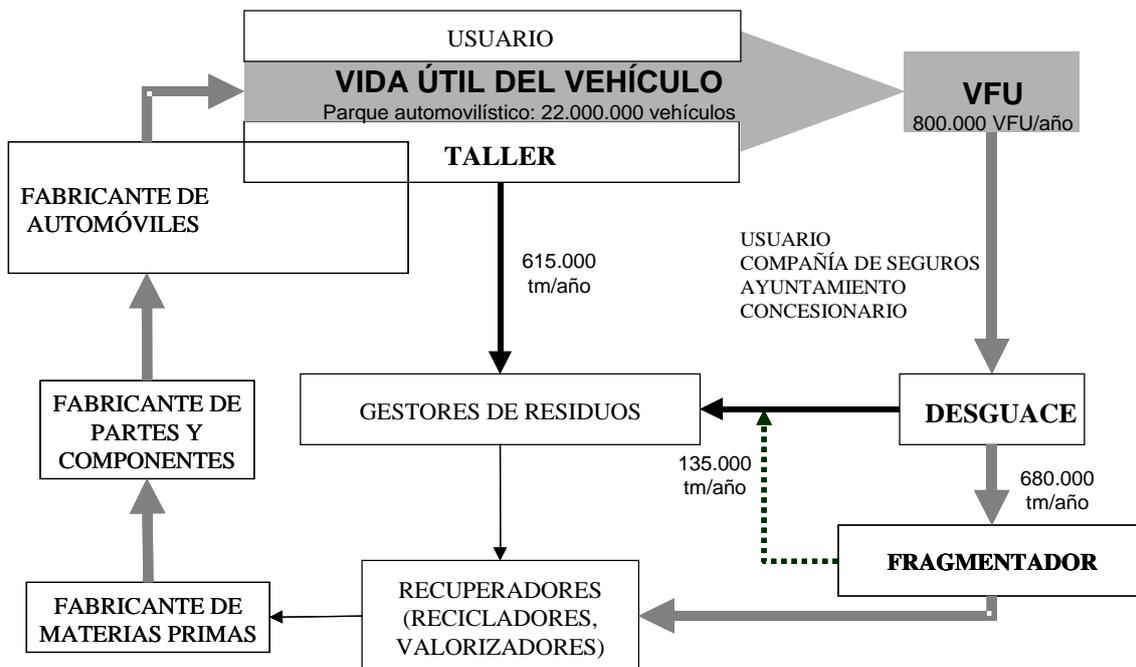


Figura 1. El sistema de logística inversa durante y al final de la vida útil del automóvil (Delgado, 2002).

2.2. Logística inversa durante la vida del automóvil

La diversidad de residuos generados en un taller de reparación y mantenimiento de automóviles origina un complejo sistema de logística inversa. Existen sistemas estructurados para determinados residuos (por ejemplo, neumáticos) y gestores especializados en una gama menor o mayor de residuos.

Por otra parte, el sistema se caracteriza por su altísima capilaridad: en España hay más de 50000 talleres, casi 6000 solamente en la Comunidad de Madrid. Hoy es imposible controlar la gestión adecuada de los residuos que en ellos se generan.

3. Información recabada

Se ha tomado como referencia la actualización de la información obtenida en 2001, elaborada a partir de una encuesta en que más de 600 talleres de toda España respondieron sobre las cantidades generadas de 11 tipos de residuos asimilables a los finalmente resultantes de los VFU (Delgado, 2002). En este estudio se puso de manifiesto que los tres grandes grupos de residuos: aceites, baterías y neumáticos suponían más del 80% de la generación de residuos.

Entre los meses de noviembre de 2008 y enero de 2009 se realizó la captura exhaustiva de la información básica para este proyecto, llevada a cabo por SIGRAUTO. Se seleccionó una muestra de 26 talleres de servicios oficiales de 8 marcas fabricantes de automóviles diferentes en la Comunidad de Madrid, que fueron además clasificados por tamaños según el número de OR/mes: órdenes de reparación al mes. Cada uno de ellos fue visitado en 4 ocasiones para registrar los niveles y las recogidas realizadas de 39 residuos con el fin de medir su generación en 3 periodos de tiempo.

A efectos del estudio, se establecieron 2 grandes categorías de residuos según su origen:

- residuos de producto procedentes de los automóviles reparados: aceites usados, baterías, anticongelante, líquido de frenos, combustibles, filtros aceite, combustibles, neumáticos, vidrio, paragolpes/plásticos, tejidos, chatarra, catalizadores, fluido aire acondicionado, airbag pretensores...

- residuos de proceso (generados en el proceso de reparación sin proceder del automóvil) y comunes (generados en el taller independientemente del tipo de reparación y vehículo): lodos de lavado, solución acuosa, disolventes no halogenados, aguas y disolventes con pintura, lodos de pintura, absorbentes (papel de enmascarar), filtros de cabina de pintura, carbón activo, polvo de lijado, trapos y papel, sepiolita, cartón y papel, madera, envases metálicos, envases de plástico, aerosoles, bidones metálicos, pilas alcalinas y de botón, tóner, fluorescentes, residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE)...

En un primer análisis rápido de las cantidades generadas, parecía surgir una contradicción respecto a las estimaciones de 2001, por cuanto aceites, baterías y neumáticos solo suponían la mitad del total. Sin embargo, si se excluyen los residuos de proceso y comunes, que suponen el 40% de la generación total, y el 10% de la chatarra (no considerada en 2001 por no ser asimilable a residuo de VFU), la generación de esos tres materiales vuelve a superar ligeramente el 80% de los residuos de producto.

A continuación se resumen algunos resultados del análisis de la información recabada (Ozores, 2009):

- Gestores de residuos. Existe cierta dispersión en el número de gestores que utiliza un taller, entre 3 y 9. El número de gestores por taller parece excesivo: media y moda son 6. Por otra parte, los 40 gestores de residuos que aparecieron en el estudio fueron clasificados en 8 grupos según su especialización.
- Pautas en la generación de residuos. Como era de esperar, el factor tamaño del taller está relacionado con la generación de residuos (a mayor actividad, mayor generación). Soslayado el efecto “tamaño del taller” al analizar para los talleres su generación de residuos por orden de reparación (OR), no se ha apreciado una variabilidad significativa en la generación de residuos a lo largo del tiempo. Los residuos se generan de forma estable (baterías, líquido de frenos, anticongelante, madera, envases metálicos, envases plásticos), con excepciones puntuales de alguna marca (neumáticos, vidrio, polvos de lijado, sepiolita, aerosoles, cartones y papeles), residuos que son generados por muy pocos talleres (bidones metálicos, tóner, fluorescentes) e incluso algunos cuya gestión no es declarada por ningún taller (tejidos, fluido de aire acondicionado, carbón activo). Para cada residuo puede establecerse una generación unitaria media en kg/OR que, unida a su densidad aparente y la actividad del taller, daría lugar a frecuencias ideales de recogida específicas.
- Pautas para la recogida y tratamiento de residuos. Se observaron frecuencias de recogida muy dispares, con periodos que van desde una semana hasta un año, siendo las más frecuentes las recogidas mensuales.

Las principales deficiencias detectadas en este sentido, recogidas en la figura 2, son:

- Ausencia de gestión del residuo, por no incrementar el número de gestores de residuos a utilizar.
- Incorrecta segregación, identificación o compactación de residuos, que disminuye la eficiencia.
- Prácticas o frecuencia de recogida del gestor de residuos no se ajustan a las necesidades del taller.

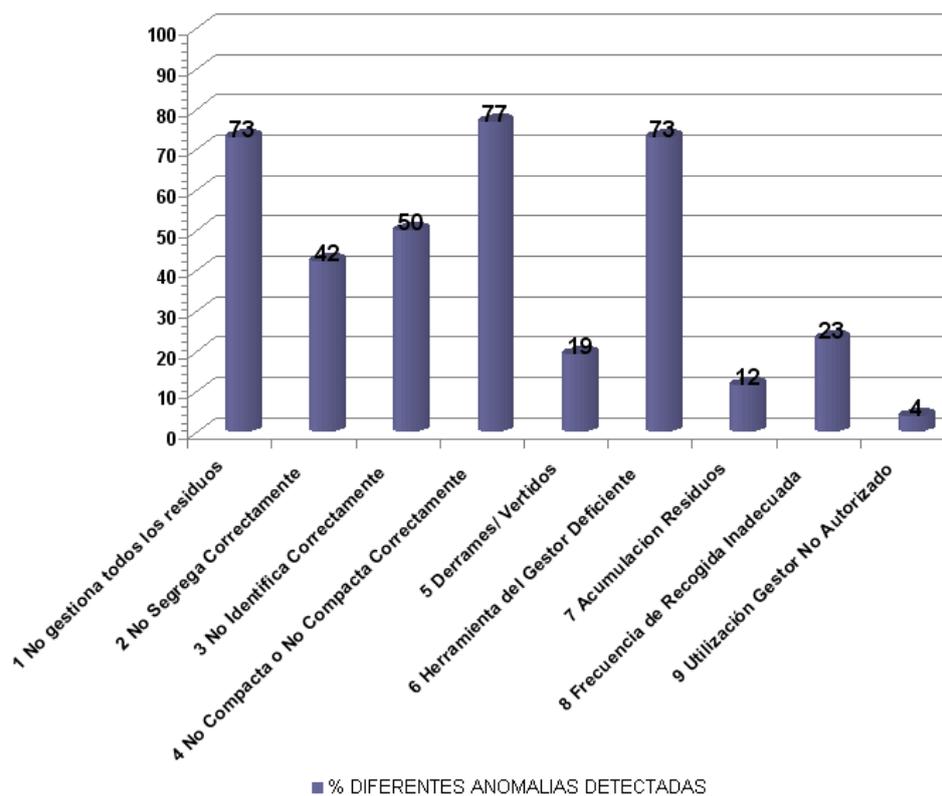


Figura 2. Deficiencias en la gestión de residuos (Ozores, 2009).

4. Modelos organizativos propuestos

Se propone un sistema multinivel de logística inversa para los residuos de los talleres, en el que podrían intervenir hasta cuatro tipos de agentes:

- talleres;
- gestores de residuos especializados (GRE), que corresponderían a los actuales gestores de residuos, que deberían aumentar en algunos casos la gama de residuos a recoger;
- gestores de gestores de residuos (GGR), que se ocuparían de todos los residuos de todos los talleres del ámbito geográfico bajo su responsabilidad, directamente o a través de GREs;
- entidad de control (EC), que centralizaría la información procedente de los GGRs o, en su defecto, de los GREs para evaluar y controlar la realización de buenas prácticas

En la figura 3 se representan esquemáticamente los tres modelos organizativos propuestos para la gestión de los residuos generados a lo largo de la vida útil de un automóvil:

- El **modelo A** correspondería a una situación similar a la actual con la inclusión de una entidad de control EC. No existirían GGRs. Un GRE se ocuparía de cada tipo de residuo para todos los talleres del sistema, reportando a EC.
- En el **modelo B** no existirían GREs, sino un GGR por zona geográfica que se responsabilizaría de todos los residuos de su zona.
- El tercer modelo organizativo, el **modelo AB**, sería un híbrido de los anteriores, donde los GGRs del modelo B asignarían cada tipo de residuo de su zona a un GRE

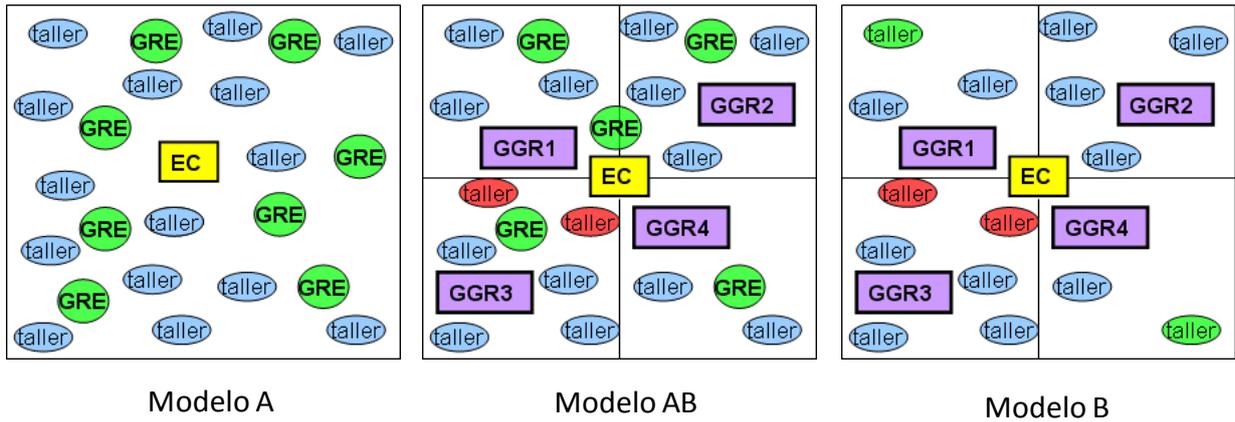


Figura 3. Modelos para los residuos generados en los talleres (síntesis de Ozores, 2009).

La división en zonas en los modelos AB y B no se realiza por criterios de extensión sino equilibrando número de talleres y tm-km de residuos.

Tal y como han sido descritos los modelos, los flujos de materiales y los intercambios de información serían distintos. Por ello, cabe simplificar la complejidad organizativa decreciente tal y como aparece en la figura 4.

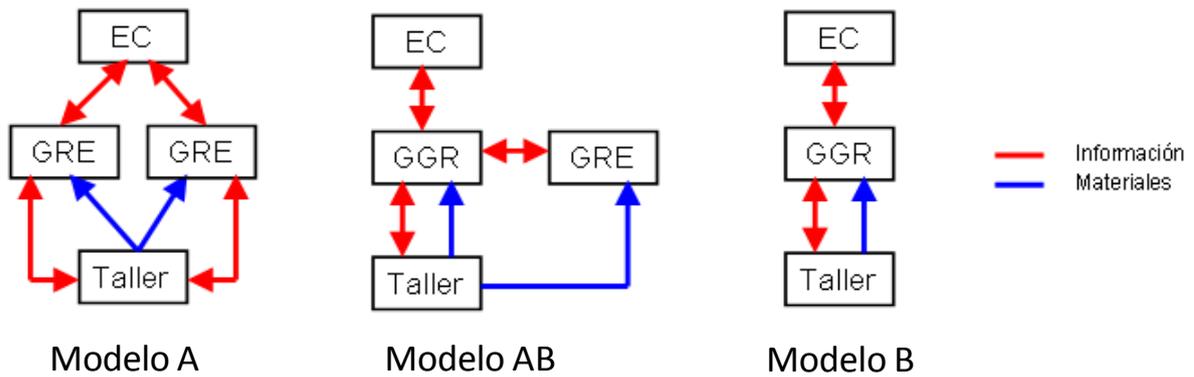


Figura 4. Flujos de información y materiales para los modelos propuestos (síntesis de Ozores, 2009).

5. Evaluación de las alternativas

Los tres modelos se han evaluado tomando como ámbito geográfico la Comunidad de Madrid, que cuenta con cerca de 1100 servicios oficiales de marca.

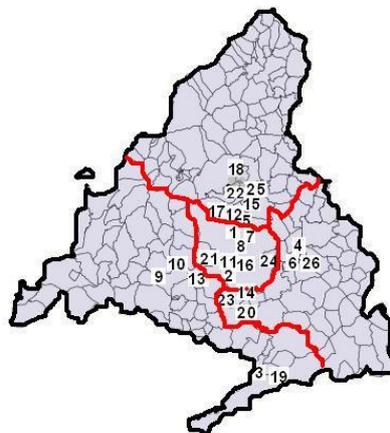


Figura 5. División zonal para los modelos B y AB. Situación de los talleres de la muestra (Ozores, 2009)

Cada alternativa fue valorada desde dos perspectivas: complejidad organizativa, derivada del número de agentes y los intercambios de información requeridos para el control del sistema; y eficiencia operativa, medida como la carga de trabajo necesaria para la recogida y el tratamiento de los residuos de todos los talleres oficiales de la región medida en horas-camión/mes.

La alternativa A, tanto con un GRE por residuo como con un GRE por cada uno de los 4 grandes tipos de residuos, resultó dominada por las otras respecto a los dos criterios.

El modelo B es más sencillo que el AB desde el punto de vista organizativo, pero su eficiencia operativa es menor: 222.000 frente a 185.000 h-camión/mes.

6. Conclusiones

En los sistemas de logística inversa para residuos generados durante la vida del automóvil se genera una cantidad de residuos mucho mayor que al final de su uso y son mucho más complejos, por el número de puntos generadores de residuos y por la diversidad de residuos.

Es necesario y posible diseñar estructuras organizativas y operativas que promuevan la adecuada gestión de los residuos y faciliten el control integral del sistema.

Los modelos integrados conducen a mejores resultados desde el punto de vista organizativo y por eficiencia operativa. En el caso de la comunidad de Madrid, se han valorado dos modelos integrados estructurados en 3 y 4 niveles, que responden mejor a los requerimientos organizativos y los operacionales, respectivamente.

Agradecimientos

Una base fundamental para este trabajo ha sido la recogida de información realizada por la Asociación Española para el Tratamiento Medioambiental de los Vehículos Fuera de Uso (SIGRAUTO). Nuestro agradecimiento a Manuel Kindelán y a Juan José Coronado por esta labor y por permitirnos el seguimiento de este arduo proceso.

Referencias

Carter, C.R.y Ellram, L.M. (1998). "Reverse logistics: A review of the literature and framework for future investigation". *Journal of Business Logistics*, 19 (1), pp.85-102.

Cruz-Rivera, R. y Ertel, J. (2009). "Reverse logistics network design for the collection of end-of-life vehicles in Mexico". *European Journal of Operational Research*, 196 (3), pp. 930-939.

Delgado Hipólito, J.; Insa Liñares, J.; Carrasco Arias J. (1999) "Logística inversa: perspectivas del reciclado en automoción" III Jornadas de Ingeniería de Organización. Barcelona

Delgado Hipólito, J. (2002). "La logística inversa en el sector de automoción español" ENEGEP 2002: XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, VIII International Conference on Industrial Engineering and Operations Management. Curitiba (Brasil)

Directiva 2000/53/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 18 de septiembre de 2000, relativa a los vehículos al final de su vida útil. *Diario Oficial* n° L 269 de 21/10/2000 p.34-43.

Guide, D., Harrison, T.P.y van Wassenhove, L.N. (2003). "The challenge of closed-loop supply chains". *Interfaces*, 33 (6), pp. 3-6.

- Krikke, H.R., Kooki E.J, y Schurr, P.C (1999). Network design in reverse logistics: A quantitative model. *New Trends in Distribution Logistics. Lectures in Economics and Mathematical Systems*, 480, pp. 45-61. Springer-Verlag.
- Krikke, H., LeBlanc, I. y van de Velde, S. (2004). "Product modularity and the design of closed-loop supply chains". *California Management Review*, 46 (2), pp.23-29.
- Ortega Mier, M (2003). "Logística Inversa. Situación actual de dos sectores significativos" V Congreso de Ingeniería de Organización. Valladolid.
- Ozores Eizmendi, J. (2009). "Análisis para el diseño de un sistema de Logística Inversa de componentes y residuos generados durante la vida del automóvil" Proyecto Fin de Carrera. ETS Ingenieros Industriales. Universidad Politécnica de Madrid.
- Real Decreto 1383/2002, de 20 de diciembre, sobre gestión de vehículos al final de su vida útil. *Boletín Oficial del Estado*, 3 enero 2003, núm.3, p.185.
- Rubio, S., Chamorro, A. y Miranda, F.J. (2008). "Characteristics of the research on reverse logistics (1995–2005)". *International Journal of Production Research*, 46 (4), pp.1099–1120
- Schultmann, F., Zumkeller, M. y Rentz, O. (2006). "Modeling reverse logistic tasks within closed-loop supply chains: An example from the automotive industry". *European Journal of Operational Research*, 171 (3), pp.1033-1050.
- Thierry, M., Salomon, M., van Nunen, J. y van Wassenhove, L.N. (1995). "Strategic issues in product recovery management". *California Management Review*, 37 (2), pp.114-135.