

ANÁLISIS DE METODOLOGÍAS DE DISEÑO PARA EL FIN DE VIDA DE PRODUCTOS

Carlos Muñoz

Enrique Moliner

Rosario Vidal

*Grupo de Ingeniería del Diseño, Departamento de Ingeniería Mecánica y Construcción,
Universitat Jaume I, Castellón (España)*

Daniel Justel

Mikel García

*Departamento de Mecánica y Producción Industrial, Escuela Politécnica Superior de
Mondragón (EPS), Mondragón Unibertsitatea, Arrasate (España)*

Abstract

European Union, by means of Directive 2000/53/EC on end-of-life vehicles, limits the deposit of waste materials coming from vehicles in landfills. Directive 2000/53/EC provides that, by 1st January 2015, maximum 5% by weight of the vehicle will be deposited in landfills at the end of its useful life. That is, at least 95% by weight of the vehicle must be recovered.

Currently, Spain recovers over 85% of vehicle weight. Almost all metallic materials are recovered. That represents approximately 75% of the vehicle. On the other hand, Spain recovers only half of plastics and composites, setting 10% of vehicle weight. If current situation doesn't change, the increasing use of plastics and composites in the automotive sector will increase the waste deposited in landfills. To reverse this situation it is necessary to consider the end-of-life of the product during the design stage of future vehicles.

This paper discusses those design methodologies that consider the end-of-life and recovery process of complex products as key design aspects. Their study will reveal relevant considerations to the vehicle design process using plastics and composites.

Keywords: *end-of-life; vehicle; recovery; reinforced plastic; lightweighting; eco-design*

Resumen

La Unión Europea, a través de la Directiva 2000/53/CE relativa a los vehículos al final de su vida útil, limita el depósito de sus residuos en vertedero. La Directiva 2000/53/CE establece que, como muy tarde el 1 de enero de 2015, como máximo un 5% del peso del vehículo al final de su vida útil sea depositado en vertedero. Es decir, el 95% del peso del vehículo deberá ser recuperado.

Actualmente en España se recupera más del 85% del peso del vehículo. La práctica totalidad de materiales metálicos son recuperados –aproximadamente el 75% del vehículo. Por el contrario, sólo se recupera la mitad de plásticos y composites –entorno al 10% del peso del vehículo. Si no se modifica la actual situación, la creciente utilización de plásticos y composites en el sector del automóvil supondrá un aumento de los residuos depositados en

vertedero. Para revertir esta situación, es necesario considerar el fin de vida del producto durante la etapa de diseño de los futuros vehículos.

En este trabajo se analizan las metodologías de diseño que consideran el fin de vida y la recuperación de productos complejos como aspectos de diseño fundamentales. Su estudio permitirá establecer aquellas consideraciones útiles para el diseño de vehículos utilizando plásticos y composites.

Palabras clave: *fin de vida; vehículo; recuperación; plástico reforzado; aligeramiento; eco-diseño*

1. Introducción

Cada vez más, los consumidores demandan productos que se ajusten a las últimas tendencias estéticas y que integren los últimos avances tecnológicos. La reducción de la duración de los ciclos tecnológicos hace que los productos queden obsoletos rápidamente (Rose & Ishii, 1999), incrementándose por lo tanto la cantidad de residuos derivados de su fin de vida. Esta situación agravará aún más el problema de la eliminación de los residuos, pues la capacidad de los vertederos es limitada (Australian Government, 2002). En este sentido, la Unión Europea acordó en 2008 el texto modificado de la Directiva 2008/98/CE (European Union, 2008) relativa a los residuos, conocida como Directiva Marco sobre Residuos (DMR). La DMR establece el marco para regular la gestión de residuos en la Unión Europea, impulsando el uso eficiente de los recursos y la reducción de los posibles residuos depositados en vertedero. Para ello, reconoce la existencia de una jerarquía flexible entre los posibles escenarios de fin de vida de los productos. Esta jerarquía prioriza las cinco posibilidades existentes para gestionar residuos, que son:

1. Reducir.
2. Reutilizar.
3. Reciclar.
4. Recuperar o valorizar.
5. Desechar.

Esta jerarquía se basa en la lógica de que lo más eficaz, en lo que se refiere al uso eficiente de los recursos, es no generar residuos o generar la mínima cantidad posible. La segunda mejor opción es reutilizar, es decir, utilizar el mismo artículo múltiples veces –como una caja de botellas o una bolsa de la compra reutilizable–. Si no es posible reutilizar, entonces hay que reciclar los productos –siempre y cuando sea más eco-eficiente que la recuperación desde el punto de vista del ciclo de vida– o recuperar y valorizarlo. El último recurso es desechar el producto. Esta opción debería limitarse al mínimo. La aplicación de esta escala de prioridades, conjugada con el Análisis del Ciclo de Vida (ACV) del producto para cada tipo de residuo, permitirá establecer qué gestión es la más favorable para el medio ambiente teniendo en cuenta la viabilidad económica y técnica. Esta definición del reciclaje estimulará el desarrollo de sistemas de reciclaje innovadores con los que se evolucione, desde los métodos mecánicos tradicionales, a otros como el reciclaje de los componentes químicos del plástico para su reutilización como materia prima (Plasticseurope, 2008).

En esta línea, la Unión Europea, mediante la Directiva 2000/53/CE (European Union, 2000) relativa a los vehículos al final de su vida útil, limita el depósito de sus residuos en vertedero. La Directiva 2000/53/EC establece que, como muy tarde el 1 de enero de 2015, como máximo un 5% del peso del vehículo al final de su vida útil pueda ser depositado en vertedero. Es decir, el 95% del peso del vehículo deberá ser recuperado.

Actualmente en el escenario de fin de vida de vehículos en España se recupera más del 85% del peso del vehículo (SIGRAUTO, 2008). La práctica totalidad de los materiales metálicos son recuperados –representan aproximadamente el 75% del peso del vehículo–. Por el contrario, sólo se recupera la mitad de los plásticos y composites posibles (Muñoz et al, 2009) –entorno al 10% del peso del vehículo–. Si el actual escenario de fin de vida no se modifica, la creciente utilización de plásticos y composites en el sector del automóvil supondrá un aumento de los residuos depositados en vertedero. Para revertir esta situación es necesario considerar el fin de vida del producto durante la etapa de diseño de los futuros vehículos (Mathieux, F., 2002; Muñoz et al., 2009-a). La mejora ambiental de los vehículos desde su concepción, desarrollo, utilización y fin de vida precisa del análisis de todos los aspectos ambientales en todo su ciclo de vida, incluidos los que se derivan de la gestión de los residuos en su fin de vida.

2. Objetivo

En la presente comunicación se expondrán diversas metodologías de diseño que incluyen entre las consideraciones de diseño el fin de vida de los productos. El análisis de estas metodologías permitirá identificar qué aspectos se consideran fundamentales para el diseño del producto considerando su fin de vida. La identificación de dichos aspectos servirá, en futuros trabajos, para el estudio de su aplicación o adaptación al sector del automóvil en el escenario de fin de vida español y en el marco de la utilización masiva de plásticos y composites para aligerar el vehículo.

3. Metodologías de diseño considerando el fin de vida

3.1 Método ELDA

Rose (2000), a partir del estudio de múltiples productos complejos y utilizando la minería de datos, propone la metodología ELDA (End-of-Life Design Advisor). La metodología ELDA ayuda a decidir cuál será la estrategia de fin de vida más adecuada para cada producto mediante la identificación de las características técnicas que lo definen (Tabla 1).

Tabla 1. Características técnicas del producto (Rose, 2000)

Características	Rango de entradas
Desgaste	0 – 20 años
Ciclo de tecnología	0 – 10 años
Nivel de integración	Alto, Medio, Bajo
Número de componentes	0 – 1000 partes
Ciclo de diseño	0 – 7 años
Motivo del rediseño	1 = Diseño original 2 = Mejora funcional (rediseño notable) 3 = Mejora estética (rediseño notable) 4 = Mejora funcional (pequeñas modificaciones) 5 = Mejora estética (pequeñas modificaciones)

Una vez caracterizado el producto, determina cuál es la estrategia óptima para el fin de vida del producto (Tabla 2). La relación Desgaste-Ciclo tecnológico es clave para decidir qué estrategia aplicar. En función de la estrategia de fin de vida determinada se proponen los aspectos clave que se deben considerar en el diseño del producto (Tabla 3).

Tabla 2. Estrategia de fin de vida en función de las características del producto (Rose, 2000)

Estrategia fin de vida	Desgaste/Ciclo tecnológico	Otras características
Reutilizar producto	1 < N° de años < 4	Desgaste > 10,5 años
		Número de componentes > 108 Ciclo de diseño > 6 años
Reutilizar componentes	1 < N° de años < 4	Desgaste > 10,5 años
		Número de componentes > 108 Ciclo de diseño < 6 años
Refabricar	N° de años ≤ 1	-
	1 < N° de años < 4	Desgaste > 10,5 años
		Número de componentes > 108
		Motivo del rediseño 1 ó 2 ó 4 Ciclo de diseño > 2,5 años
	1 < N° de años < 4	Desgaste < 10,5 años
N° de años ≥ 4	Nivel de integración bajo 13 < Número de componentes < 50 Ciclo de tecnología < 2,5 años	
Reciclaje con desmontaje	1 < N° de años < 4	Desgaste > 10,5 años
	N° de años ≥ 4	Número de componentes < 108 Motivo del rediseño 3 ó 5 Ciclo de tecnología > 2,5 años
Reciclaje sin desmontaje	1 < N° de años < 4	Desgaste > 10,5 años
		Número de componentes < 108 Motivo del rediseño 1 ó 2 ó 4 Ciclo de diseño < 2,5 años
	1 < N° de años < 4	Desgaste < 10,5 años
		Nivel de integración bajo Número de componentes < 13
1 < N° de años < 4	Desgaste < 10,5 años	
	Nivel de integración bajo Número de componentes > 50	

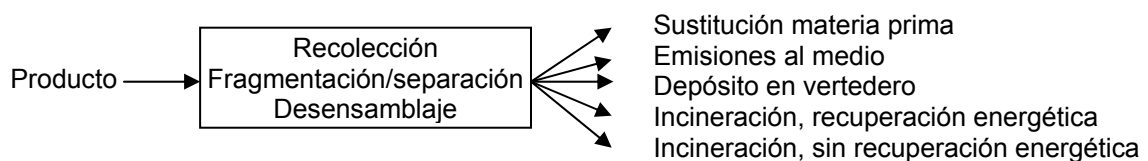
Tabla 3. Estrategias de fin de vida y aspectos clave a considerar en el diseño (Rose, 2000)

Estrategia de fin de vida	Aspectos clave a considerar en el diseño
Reutilizar producto	Estrategia de marcas
	Diseño robusto y fiable
	Diseño del sistema logístico
	Viabilidad del proyecto
	Mejora ambiental
	Fiabilidad de componentes
Reutilizar componentes	Diseño del sistema de venta
	Estrategia de marcas
	Definir componentes a reutilizar
	Plataforma de producto
	Diseñar pensando en el desensamblado
Refabricar	Fiabilidad de componentes
	Diseño del sistema logístico
	Estrategia de marcas
	Plataforma de producto
	Definir componentes a refabricar
Reciclaje con desmontaje	Diseño para la refabricación
	Plataforma de producto
	Diseñar pensando en el desensamblado
Reciclaje sin desmontaje	Definir componentes a reciclar con desmontaje
	Diseñar pensando en el desensamblado
Los tradicionales	

3.2 Método QWERTY

Huisman et al (2001) formulan la metodología QWERTY (Quotes for Environmentally Weighted Recyclability) para determinar la reciclabilidad de un producto para uno o más escenarios de tratamiento. En los escenarios de fin de vida los materiales pueden ser directamente emitidos al medio ambiente, depositados en vertedero, incinerados o usados para sustituir materias primas vírgenes. En la Figura 1 se muestra la estructura de fin de vida de los productos considerada.

Figura 1: Estructura de fin de vida considerada (Huisman et al, 2001)

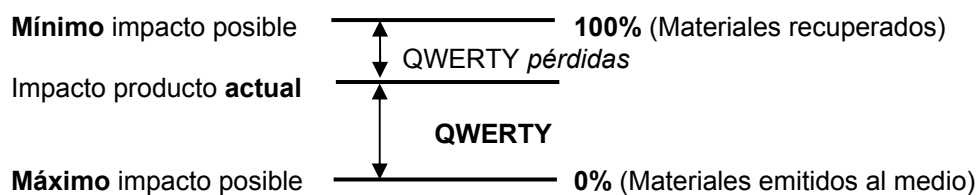


En primer lugar, se determina el impacto ambiental del producto actual en el escenario de fin de vida actual. Para su cálculo, se consideran los materiales que componen el producto y la composición de las distintas fracciones que se obtienen en dicho escenario. En función de los datos anteriores, se cuantifica el impacto ambiental actual aplicando un modelo de evaluación ambiental basado en la metodología del Análisis del Ciclo de Vida (ACV) –como por ejemplo el Eco-indicador 99 (Goedkoop & Spriensma, 1999).

En segundo lugar, se determinan los impactos ambientales mínimo y máximo del producto. El impacto mínimo –el más favorable medioambientalmente– se calcula para un escenario de fin de vida en el que todos los materiales del producto son recuperados y no se produce ninguna emisión o depósito en vertedero. Idealmente, los materiales recuperados mantienen las características de las materias primas originales y, para su procesado, no se genera ningún impacto. Para determinar el impacto máximo –o más desfavorable medioambientalmente– se supone el peor escenario posible. En él, no se recupera ningún material o energía –los materiales son depositados en vertedero o emitidos al medio–, considerándose además el impacto de los procesos aplicados en el fin de vida.

Finalmente, se compara el impacto actual con los impactos máximo y mínimo posibles (Figura 2). En función del valor del impacto del producto actual respecto a los valores máximo y mínimo de impacto, y de la contribución debida a cada uno de los materiales que lo componen –agregada o no en componentes, ensamblajes, categorías o módulos–, se puede inferir cuales son la estrategias a seguir para minimizar el impacto del producto actual.

Figura 2: Comparación impactos ambientales en la metodología QWERTY (Huisman et al, 2001)

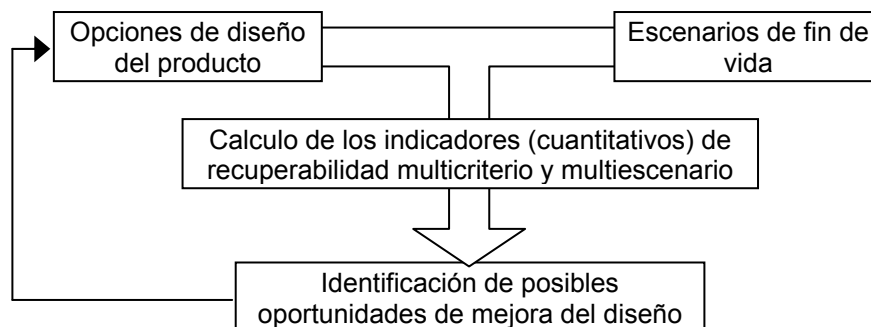


3.3 Método ReSICLED

Mathieux (2002) trata de satisfacer la necesidad de los fabricantes de equipos eléctrico-electrónicos y de automóviles de incluir el fin de vida del producto como un aspecto fundamental en la concepción del producto. Su método ReSICLED (Recovery Systems modelling and Indicator Calculation Leading to End-of-life-conscious Design) se postula como un método cuantitativo multicriterio para la evaluación de la recuperabilidad de productos en el fin de vida. Este método modela las actividades de recuperación de productos, integrando la variabilidad geográfica y temporal del fin de vida, con la finalidad de facilitar la toma de decisiones en la etapa de diseño. El método ReSICLED se muestra en el sinóptico de la Figura 3.

Entre los atributos considerados que modelan las opciones de diseño del producto destacan: los materiales, las uniones entre partes y la arquitectura de los componentes y del producto. Los escenarios de fin de vida se generan combinando distintos procesos elementales de recuperación –desensamblaje manual, fragmentación, selección, reciclado, recuperación energética mediante incineración, venta de material reciclado, recuperación energética y depósito en vertedero–. La combinación de procesos actuales con procesos probables en el futuro, y su aplicación geográfica, sirven para estudiar la incertidumbre temporal y geográfica.

Figura 3: Sinóptico del método ReSICLED (Mathieux, 2002)



Para el cálculo de los indicadores de recuperabilidad se consideran aspectos relacionados con la legislación vigente (y futura), la reducción de costes y la imagen corporativa. ReSICLED utiliza tres indicadores para evaluar la recuperabilidad de un diseño (Mathieux et al., 2008):

- Indicador másico, Weight Recovery Indicator (WRI): expresa en porcentaje las cantidades másicas de producto recuperadas, tratando de minimizar la cantidad de residuos depositados en vertedero. Se define como la aplicación de los requisitos legislativos –Directiva 2000/53/EC y Directiva 2002/96/EC–. Este indicador se subdivide entre un indicador para la recuperación (WRI_{Recovery}) y otro para el reciclado ($WRI_{\text{Recycling}}$), ecuaciones (1) y (2).

$$WRI_{\text{Recovery}} = (Masa_{\text{Producto}} - Masa_{\text{Residuo vertedero}}) / (Masa_{\text{Producto}}) \quad (1)$$

$$WRI_{\text{Recycling}} = [Masa_{\text{Producto}} - (Masa_{\text{Residuo vertedero}} + Masa_{\text{Recuperación energía}})] / (Masa_{\text{Producto}}) \quad (2)$$

- Indicador económico, Economic Recoverability Indicator (ERI): expresa en unidades monetarias (€) la viabilidad económica del sistema de recuperación considerado, ecuación (3).

$$ERI = Beneficio_{\text{Venta materiales}} - (Coste_{\text{Procesado}} + Coste_{\text{Tratamiento residuos}}) \quad (3)$$

- Indicador medioambiental, Environmental Impact Recoverability Indicator (EIRI): expresa en unidades relativas a una categoría de impacto ambiental el esfuerzo por conservar los recursos naturales y minimizar la contaminación, ecuación (4).

$$EIRI = (Impacto_{\text{Material Recuperado}} - Impacto_{\text{Escenario fin de vida}}) / (Impacto_{\text{Fabricación Producto}}) \quad (4)$$

3.4 Método ENDLESS

El método ENDLESS (End Design Leading Sustainable Selection) (Ardente, Beccali & Cellura, 2003) se define como una herramienta para la selección del diseño con mayor potencial de reciclabilidad en su fin de vida. La evaluación del potencial de reciclabilidad se realiza mediante la cuantificación del indicador Global Recycling Index (GRI). El GRI es el resultado de la evaluación ponderada de los atributos energéticos y medioambientales, económicos y tecnológicos del producto, ecuación (5).

$$GRI = w_{EN} \cdot EEI + w_{EC} \cdot ESI + w_T \cdot TSI \quad (5)$$

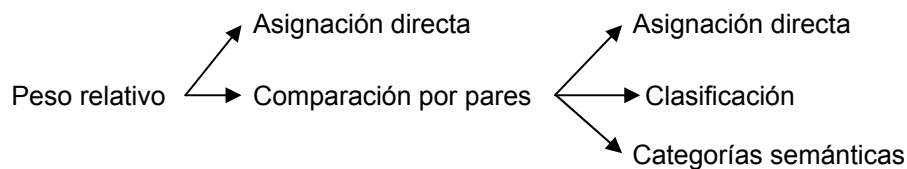
donde:

- EEI = Valoración del conjunto de atributos energéticos y medioambientales.
- w_{EN} = Peso relativo del conjunto de atributos energéticos y medioambientales.

- ESI = Valoración del conjunto de atributos económicos.
- w_{EC} = Peso relativo del conjunto de atributos económicos.
- TSI = Valoración del conjunto de atributos tecnológicos.
- w_T = Peso relativo del conjunto de atributos tecnológicos.

Cada conjunto –EEI, ESI, TSI– está formado por múltiples atributos. Cada atributo –p.ej., los kg de CO₂ equivalente de un proceso de fabricación o de un material, o el coste de recuperar un material– está valorado en una escala propia –kg de CO₂ equivalente, €–. El total de atributos que definen un conjunto debe transponerse a una escala común –mínimo 0, máximo 1–, para realizar la suma ponderada de dichos atributos. Los coeficientes de ponderación aplicados a cada conjunto de atributos se pueden obtener por asignación directa o comparación por pares, Figura 4.

Figura 4: Obtención de coeficientes de ponderación (Ardente, Beccali & Cellura, 2003)

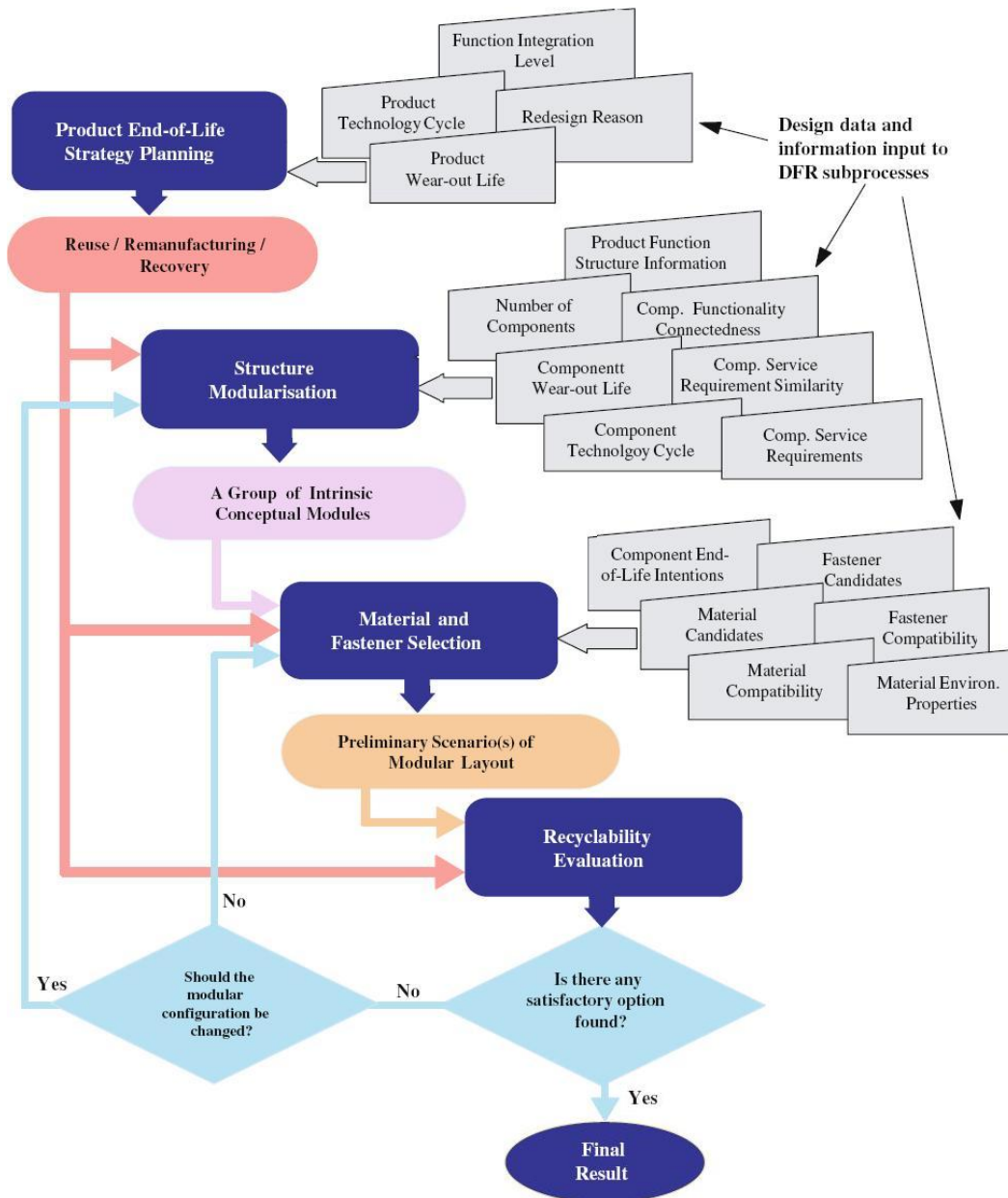


Una vez valorados los conjuntos EEI, ESI y TSI, se procede al cálculo del GRI. Para obtener la suma ponderada de los conjuntos es necesario definir los pesos relativos. Para determinar el valor de los pesos relativos se procede de forma análoga a como se obtuvieron los coeficientes de ponderación, Figura 4. Una vez obtenido el valor del GRI, en función de los conjuntos de atributos utilizados, se procede a analizar las causas que lo generan. De su análisis se inferirán qué aspectos deben mejorarse para reducir el valor del GRI.

3.5 Método IREDA

Xing, Abhary & Luong (2003) definen el método IREDA (Integrated Recyclability and End-of-life Design Algorithm) para su utilización en la etapa de diseño conceptual. IREDA divide el diseño conceptual –considerando el fin de vida de los productos– en cuatro etapas, Figura 5. La primera etapa se corresponde con la planificación de la estrategia de fin de vida. Considerando las características técnicas del producto definidas por Rose (2000), define el impacto –no ambiental– de la obsolescencia tecnológica y del deterioro físico del producto. La relación entre estos dos impactos, el ciclo tecnológico y el ciclo de desgaste, permite identificar la estrategia de fin de vida aplicable. En la segunda etapa, definición de la estructura modular, se define mediante un grafo fuzzy las relaciones entre componentes. Su definición permite evaluar la fortaleza de las interconexiones entre componentes, e identificar los módulos que conforman el producto. En la tercera etapa, selección de materiales y tipologías de unión, se establecen conceptualmente las relaciones físicas –tipos de uniones– entre componentes del producto y los materiales en que se fabricarán. El análisis conjunto de la estructura modular, las relaciones físicas y los materiales, permitirá evaluar el grado de reciclabilidad en la cuarta etapa. Mediante la adaptación del Mapa de Reciclabilidad (Lee, & Ishii, 1997) se evalúa la reciclabilidad del producto. Para su cuantificación define dos indicadores: el número de tratamientos finales –reutilizar, recuperar y disponer en vertedero– y el porcentaje medio de material desechado. Un diseño concreto será más reciclable cuanto menor sea el número de tratamientos y menor sea el porcentaje de material desechado en su fin de vida.

Figura 5: Implementación del algoritmo IREDA (Xing, Abhary & Luong, 2003)



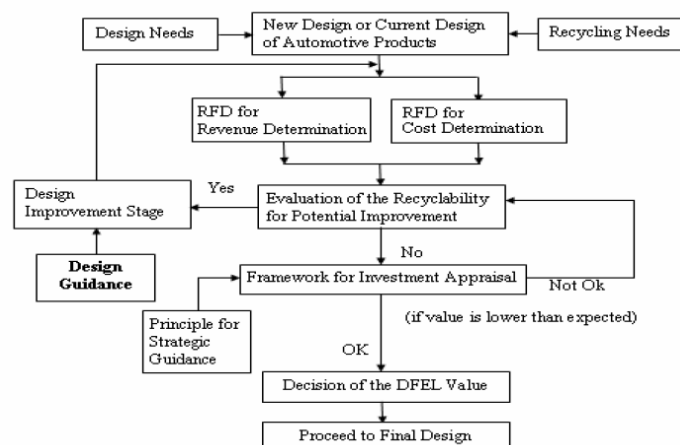
3.6 Método DFEL Value

Zameri (2005) propone el método DFEL Value (Design for End-of-life Value) basándose en las metodologías RFD (Recycling Function Deployment) –inspirada en la metodología QFD (Quality Function Deployment) (Halog, Schultmann & Rentz, 2001)– y el Análisis de Valor (AV). Aplicando estas metodologías analiza los escenarios de fin de vida y las necesidades de los recicladores para facilitar a los diseñadores la aplicación de los conocimientos adquiridos. Para su aplicación se deben considerar características del producto –materiales, tipología de uniones, estructura del producto, etc. –, aspectos relacionados con el medio ambiente, aspectos económicos y posibles tecnologías e instalaciones para el reciclado. El esquema general de la metodología se muestra en la Figura 6.

Se proponen dos vertientes del RFD: el análisis de beneficios y el análisis de los costes. Para la determinación de los beneficios relativos de un componente se considera la clasificación del material –reciclable o no, generador de residuos peligrosos, y otros– y su salida en el mercado de materiales –si es metálico o plástico, su valor de mercado–. La importancia de cada aspecto es valorada en una escala de 1 a 10, correspondiendo el valor 10 a una importancia alta para la reciclabilidad. De modo similar a la metodología QFD, se definen la matriz de relaciones y la matriz de correlaciones del producto. De forma similar se procede para el análisis de los costes. Los aspectos que se consideran son: la peligrosidad medioambiental del material, la tipología y características del proceso de desensamblado, las instalaciones de tratamiento de fin de vida necesarias y sus costes, y el coste de la gestión y reprocesado de los distintos materiales. Finalmente, se establecen ratios de relación entre beneficios y costes. El valor de estos ratios expresa la necesidad de mejorar el diseño para aumentar la reciclabilidad o su idoneidad.

Para el Análisis de Valor se analizan todos los costes –directos e indirectos– asociados con el proceso de reciclado y los aspectos financieros. Para el análisis de costes es necesario caracterizar el escenario de fin de vida del vehículo, determinar que componentes serán reutilizados y que componentes serán reciclados, y determinar la fracción recuperada y la fracción depositada en vertedero. En base a esta caracterización se determina el beneficio o coste del proceso de fin de vida. A nivel financiero se analiza la viabilidad y disponibilidad de instalaciones de procesado para el fin de vida caracterizado.

Figura 6: Esquema general de la metodología DFEL Value (Zameri & Blount, 2008)



4. Conclusiones

Las metodologías expuestas muestran los aspectos relacionados con el fin de vida que se deben considerar para realizar un diseño, Tabla 4. Las metodologías ReSICLED y ENDLESS parecen, a priori, las más completas. Los aspectos fundamentales que se deberían considerar para el diseño considerando el fin de vida serían, por lo tanto: la estructura del producto, la legislación aplicable, la demanda energética asociada, el impacto ambiental, la viabilidad económica y las distintas tecnologías de fin de vida disponibles actualmente y en el futuro. Dado que la estrategia de desarrollo sostenible del sector transporte se basa en la reducción de la demanda energética, la disminución de la contaminación y el incremento de la reciclabilidad (OPTI, 2003), considerar los aspectos citados para el sector del automóvil en el marco de la utilización masiva de plásticos y composites para aligerar el peso del vehículo parece coherente.

En futuros trabajos se pretende desarrollar una metodología útil para la etapa de diseño conceptual que integre los aspectos fundamentales identificados en el presente trabajo y la demanda energética debida a la etapa de utilización del vehículo. Así, se pretende desarrollar una metodología que evalúe conjuntamente cómo afecta la materialización de la estrategia de aligeramiento de los vehículos a la demanda energética y la contaminación atmosférica –en la etapa de utilización– y a la reciclabilidad del automóvil.

Tabla 4. Aspectos considerados por las distintas metodologías

Aspecto	ELDA	QWERTY	ReSICLED	ENDLESS	IREDA	DFEL Value
Características del producto	x				x	
Estructura del producto	x	x	x		x	
Legislativo			x			
Energético				x		
Medio ambiental		x	x	x		x
Económico			x	x		x
Financiero						x
Tecnologías fin de vida		x	x	x	x	x

Agradecimientos

Este estudio forma parte del proyecto singular “Reducción del impacto ambiental de automóviles mediante el aligeramiento estructural basado en composites de carbono de bajo coste, sin comprometer la seguridad y el confort (ref. PSE-370100-2007-1)”, subvencionado por el Ministerio de Educación y Ciencia de España y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional.

Referencias

- Ardente, F., Beccali, G., & Cellura, M. (2003). Eco-sustainable energy and strategies in design for recycling: the software “ENDLESS”. *Ecological Modelling*, 163, 101-118.
- Australian Government (2002). *Environmental impact of end-of-life vehicles: an information paper*. Department of the Environment and Heritage, Environment, Water, Heritage and the Arts. ISBN-0642547513. Obtenido de <http://www.environment.gov.au/>.
- European Union (2000). *Directive 2000/53/EC of 18 September 2000 on end-of-life vehicles*.
- European Union (2008). *Directive 93/116/EC of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives*.
- Goedkoop, M., & Spriensma, R. (1999). *The Eco-indicator 99. A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment*. Obtenido de PRé-Consultants, <http://www.pre.nl/eco-indicator99/>.
- Halog, A., Schultmann, F., & Rentz, O. (2001). Using Quality Function Deployment for Technique Selection for Optimun Environmental Performance Improvement. *Journal of Cleaner Production*, 9, 5, 387-394.
- Huisman, J., Ansems, T., Feenstra, L., & Stevels, A. (2001). *The QWERTY Concept, a powerful concept for evaluating the environmental consequences of end-of-life processing of consumer electronic products*. 2nd International Symposium on

- Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing. ISBN-0-7695-1266-6. Obtenido de <http://doi.ieeeecomputersociety.org/10.1109/.2001.992495>.
- Lee, B. H., & Ishii, K. (1997). *Demufacturing Complexity Metrics in Design for Reyclability*. IEEE International Symposium on Electronics and the Environment.
- Mathieux, F. (2002). *Contribution à l'intégration de la valorisation en fin de vie dès la conception d'un produit*. Tesis doctoral, École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers.
- Mathieux, F., Froelich, D., & Moszkowicz, P. (2008). ReSICLED: a new recovery-conscious design method for complex products based on a multicriteria assessment of the recoverability. *Journal of Cleaner Production*, 16, 277-298.
- Muñoz, C., Vidal, R., Garraín, D., Franco, V., Justel, D., & Espartero, S. (2009). Estudio de los Centros Autorizados de Tratamiento de vehículos de la provincia de Castellón. En A. Marcos, E. Martínez, F. López (Ed.) *XIII Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos*. Badajoz, España. ISBN-978-84-613-3498-8.
- Muñoz, C., Vidal, R., Justel, D., Garrarín, D., & Franco, V. (2009-a). *New strategies for improved End-of-Life of vehicles*. 5th International Conference on Industrial Ecology (2009 ISIE Conference). Lisboa, Portugal.
- OPTI (2003). Observatorio de Prospectiva Tecnológica Industrial. Ministerio de Ciencia y Tecnología. *Materiales para el transporte y la energía. Tendencias tecnológicas a medio y largo plazo*. <http://www.opti.org>.
- Plasticseurope (n.d.). *Los plásticos en 2007. Un análisis de la producción, la demanda y la recuperación de los plásticos en Europa en 2007*. Obtenido en octubre 2008, de <http://www.plasticseurope.org>.
- Rose, C.M., & Ishii, K. (1999). Product End-of-Life Strategy Categorization Design Tool. *Journal of Electronics Manufacturing*.
- Rose, C. (2000) *Design for environmental: a method for formulating product end-of-life strategies*. Tesis doctoral, Department of Mechanical Engineering. Stanford University.
- SIGRAUTO (2008). *Memoria anual 2008*. Obtenido en agosto de 2009, de <http://www.sigrauto.es>.
- Xing, k., Abhary, K., & Luong, L. (2003). IREDA: An integrated methodology for product recyclability and end-of-life design. *The Journal of Sustainable Product Design*, 3, 149-172.
- Zameri, M. (2005). *Design for End of Life Value*. Saarbrücken, Germany. VDM Verlag Dr. Müller Aktiengesellschaft & Co. KG. ISBN-978-3-639-14770-4.
- Zameri, M., & Blount, G. (2008). The DFEL Value methodology: a tool for design for environment in automotive industry. *Jurnal Mekanikal*, 27, 23-41.

Correspondencia (Para más información contacte con):

Carlos Muñoz
Teléfono: +34 964729252
Fax: +34 964728106
E-mail: cmunoz@emc.uji.es
URL: <http://www.gid.uji.es>