

# ECO-INNOVACIÓN EN EL DESMONTAJE PARA BUSCAR LA SOSTENIBILIDAD DE LA SOCIEDAD

Justel, D.; Vidal, R. <sup>(1)</sup>; Chiner M. <sup>(2)</sup>

Área: Innovación en el Diseño y Desarrollo de Producto

Dpto.: Mecánica.

Escuela Politécnica Superior. Universidad de Mondragón

Loramendi 4, aptdo. 23 (20500) Mondragón, Guipúzcoa.

Tfn.: + 34 943794700 Fax: + 34 943791536 e-mail: [djustel@eps.mondragon.edu](mailto:djustel@eps.mondragon.edu)

---

## RESUMEN

El diseño para desmontaje (DFD) busca facilitar que un producto y sus piezas puedan ser fácilmente reutilizadas, refabricadas o recicladas. Por eso, cada vez es más importante tener en cuenta el DFD al realizar nuevos diseños. Con ello, se lograría disminuir el impacto medioambiental de los productos reduciendo así el camino hacia la sostenibilidad de la sociedad.

El objetivo de la comunicación es analizar cómo pueden evolucionar los parámetros que afectan al desmontaje empleando la metodología TRIZ, de tal manera, que se obtengan soluciones de diseño eco-innovadoras.

Actualmente estamos trabajando en la definición e implementación de una arquitectura que asista a los diseñadores. Como resultado de la comunicación presentamos principios de solución eco-innovadores para los parámetros que afectan al desmontaje.

Integrando estas soluciones eco-innovadoras en la arquitectura en la que estamos trabajando permitirá que los diseñadores realicen diseños más respetuosos con el medio ambiente.

**Palabras clave:** TRIZ, Diseño para desmontaje (DFD), Eco-Innovación

---

## ABSTRACT

The design for disassembly (DFD) is aimed at making it easier that a product and their parts can be easily reused, remanufactured or recycled. For that reason taking DFD into account is becoming more and more important when developing new products. With all this, it would be possible to diminish the environmental impact of the products reducing this way the road towards the sustainability of the society.

The objective of the communication is to analyze how the parameters that affect to the disassembly using the methodology TRIZ can evolve, in such a way that solutions of design echo-innovators are achieved.

At the moment we are working on the definition and implementation of an architecture that helps the designers. As a result of the communication we present eco-innovation solutions for the parameters that affect to the disassembly.

Integrating these eco-innovation solutions in the architecture we are working on will allow the designers to carry out more respectful designs with the environment.

**Key Words:** TRIZ, Design for Disassembly (DFD), Eco-Innovation

## 1. INTRODUCCION

El objetivo de la eco-innovación es desarrollar nuevos productos y servicios que no están basados en el rediseño o en el cambio incremental de productos existentes sino que busca proporcionar al cliente funciones de manera más Eco-eficiente [1], es decir, mejoras ambientales más significativas [2].

En el contexto de la ingeniería, el desmontaje se puede definir como el proceso organizado de separar un producto. Los productos se pueden desmontar para permitir su mantenimiento, para aumentar su servicio, etc., y una vez llegados a su fin de vida (EOL) se pueden desmontar para reutilizarlos, refabricarlos o reciclarlos [3].

En esta comunicación vamos a presentar en primer lugar los parámetros que condicionan el DFD y las herramientas de la metodología TRIZ que se utilizan en la Eco-Innovación, para posteriormente desarrollar un ejemplo de evolución de soluciones de diseño para un parámetro de DFD empleando la metodología TRIZ. Finalmente se extraerán algunas conclusiones de los resultados obtenidos.

## 2. DISEÑO PARA DESMONTAJE (DFD)

El análisis del ciclo de vida de un producto nos indica que gran parte del coste asociado al producto puede ser atribuido al proceso del diseño del mismo. Se ha probado que la optimización del proceso de desmontaje cuenta con un escaso 10-20% del beneficio obtenido con el desmontaje [3]. Es en la etapa de diseño donde se define el 80-90 % de los beneficios que se pueden obtener con el DFD. Según la norma UNE-EN ISO 14021:1999, la utilización del término diseño para desmontar [4] se refiere a:

“Una declaración de diseño de un producto que permite que éste pueda ser separado al final de su vida útil, de tal manera que permita que sus componentes y partes sean reutilizadas, recicladas, recuperadas en forma de energía, o de alguna otra manera, separadas de la corriente de los residuos”.

Dependiendo de cuál sea el destino final de las piezas, el desensamblado tendrá unas características distintas. Así, la reutilización obliga a un desensamblado mucho más cuidadoso que el reciclaje, pero en todo caso, es un proceso que consume recursos y tiempo, y que condiciona la calidad final de la refabricación. Por lo tanto, la industria está interesada en el desarrollo de métodos y herramientas que incorporen consideraciones ambientales en el diseño de producto [5]. DFD, es por lo tanto, una estrategia clave dentro del área del diseño y desarrollo de productos sostenible.

Los parámetros que afectan al proceso de desmontaje vienen determinados por las actividades que se realizan antes, durante y después del proceso de desmontaje [6], y por otra parte, a la hora de realizar el diseño de un producto pensando en el desensamblado del mismo existen una serie de factores que nos condicionan el diseño. Todos estos factores se han resumido en los siguientes parámetros que han sido seleccionados a partir de diferentes fuentes bibliográficas [6], [7], [8] y [9]:

1. La estructura de producto.
2. El tipo y número de uniones.
3. Características de la pieza a desensamblar.

4. Destino final de las piezas.
5. Visibilidad del elemento de unión.
6. Las condiciones en que se realiza el desmontaje.

Analizando estos parámetros podemos decir que el diseñador es la persona que decide:

- El tipo y el número de uniones.
- Las características de las piezas.
- La visibilidad del elemento de unión.

Pero en cambio está condicionado por la estrategia de producto en los parámetros:

- Estructura de producto.
- Destino final de las piezas.
- Las condiciones de desmontaje.

### **3. TRIZ Y LA ECO-INNOVACIÓN**

TRIZ es el acrónimo en ruso de "Teoría de Resolución de Problemas Inventivos" (Theory of Inventive Problem Solving –TIPS, en inglés). La metodología TRIZ nació en Rusia en los años 40 al final de la 2ª Guerra Mundial de la mano de Genrich S. Altshuller. Consiste en una metodología estructurada que, de una manera sistemática, ayuda en la resolución de problemas de diseño, proporcionando soluciones innovadoras [10].

#### **3.1. Herramientas de la metodología TRIZ**

El conjunto de herramientas de TRIZ se pueden dividir en herramientas analíticas y herramientas basadas en el conocimiento. Las primeras están enfocadas hacia el correcto planteamiento del problema y las segundas aportan ideas que pueden ayudar en la resolución del problema planteado. Estas herramientas son:

- *Análisis funcional.*
- *Efectos.*
- *Contradicciones.*
- *Idealidad.*
- Evolución de los Sistemas.
- Los campos-S.
- ARIZ (Algoritmo de Resolución de Problemas Inventivos).

La metodología empleada se ha representado en la fig. 1, en ella aparecen las herramientas del TRIZ seleccionadas y que en la anterior relación aparecían escritas en cursiva.

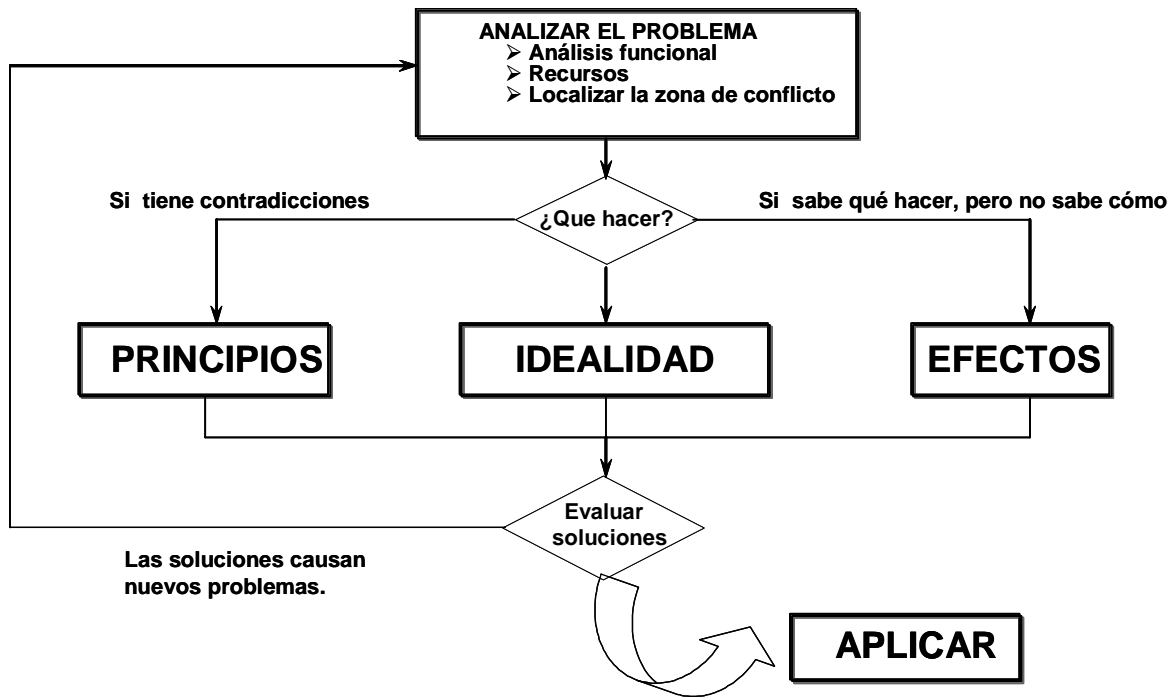


Fig. 1: Metodología utilizado para seguir la metodología TRIZ.

### 3.2. TRIZ y la Eco-Innovación

En la búsqueda de la Eco-Innovación algunos autores han trabajado empleando la metodología TRIZ y algunas herramientas o metodologías de Design for Environment (DFE), para así lograr productos sostenibles, aunque no considera específicamente el DFD. Unos emplean la metodología Eco-compass o LiDS, [1], [11], [12] y otros la metodología ECODESIGN PILOT [13]. Aunque la metodología TRIZ no esta siendo utilizado al 100% de sus posibilidades [14].

De momento, no hemos encontrado ninguna referencia bibliográfica que emplea la metodología TRIZ para mejorar el DFD.

## 4. EJEMPLO DE ECO-INNOVACION EN DFD

El objetivo de este ejemplo es ver cómo puede evolucionar uno de los parámetros, el tipo de unión, empleando la metodología representada en la fig. 1.

### 4.1. Análisis del problema

Lo primero es analizar el problema. La función principal en el DFD es desensamblar y los componentes relacionados con esta función son las piezas a desensamblar y el elemento de unión. Para facilitar este proceso se ha considerado la función inversa, ensamblar, ver fig. 2, de esta forma tenemos:

- Las piezas que se van a unir.
  - La superficie de contacto (parámetros superficiales: rugosidad, forma, etc.).
  - El material de las piezas.
- El elemento que ejerce la fuerza de unión.

- En el caso de una unión atornillada el elemento que ejerce la fuerza es el tornillo.

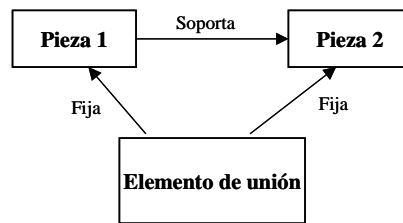


Fig. 2: Análisis funcional de un tipo de unión estándar.

Una vez analizado el problema, el siguiente paso sería la generación de ideas que pueden venir dadas utilizando el principio de idealidad, los efectos (cuando sé qué hacer pero no sé cómo) y los principios (cuando no sé que hacer pero está definida una contradicción).

## 4.2. Idealidad

El sistema ideal en este caso es aquel que no necesita ningún elemento de unión, porque las piezas a unir realizarían ellas mismas su fijación. Para buscar soluciones al sistema ideal se pueden emplear los efectos, los principios inventivos si se plantea el problema como una contradicción o el propio conocimiento del diseñador.

## 4.3. Efectos

Altshuller observó que gran parte de las soluciones simplemente aplicaban las ventajas de un efecto conocido. Estos efectos pueden ser físicos, químicos y geométricos. Para la obtención de ideas nos hemos apoyado en el listado de efectos del módulo del programa TechOptimizer V.3 [15].

## 4.4. Contradicciones

Analizando la unión de piezas desde el punto de vista de las contradicciones tenemos dos posibilidades de generación de ideas, las contradicciones técnicas y las físicas.

### 4.4.1. Contradicciones técnicas

Lo primero que se ha hecho ha sido analizar los 39 parámetros de ingeniería [10] para determinar cuáles pueden llegar a afectar al tipo de unión. Tras dicho análisis, el número inicial de parámetros se ha reducido a 30 que se incluyen en la tabla 1.

En segundo lugar se han identificado las posibles contradicciones que pueden ocurrir entre los 30 parámetros. Para ello, se ha tenido en cuenta que la mejora de un parámetro empeora otro.

Una vez determinadas las contradicciones existentes, la matriz de contradicciones selecciona (a partir de los 40 principios inventivos de Altshuller) aquellos que son más interesantes para romper la contradicción. Por ejemplo: si tenemos una unión con una pieza que pesa mucho (parámetro: el peso de un objeto móvil) y la queremos desmontar seguramente la velocidad de desmontaje será lenta debido al peso. Al diseñador le interesa que aunque la pieza pese mucho la velocidad de desmontaje sea alta, ahí está la contradicción. Para romper esta contradicción se podrían emplear los principios inventivos 2, 8, 15 y 38 (ver fig. 3). Cuyos significados son:

- 2.- Extracción.
- 8.- Contrapeso.
- 15.- Dinamización.
- 38.- Utilización de fuertes oxidantes.

1.- Peso de un objeto en movimiento 3.- Longitud de un objeto en movimiento 5.- Área de un objeto en movimiento 7.- Volumen de un objeto en movimiento 9.- Velocidad 10.- Fuerza 11.- Tensión/ presión 12.- Forma 13.- Estabilidad de un objeto 14.- Resistencia 15.- Durabilidad de un objeto en movimiento 17.- Temperatura 19.- Energía consumida por un objeto en movimiento 21.- Potencia 23.- Pérdida de energía	24.- Pérdida de información 25.- Pérdida de tiempo 26.- Cantidad de sustancias 27.- Fiabilidad 29.- Precisión en la fabricación 30.- Factores perjudiciales que actúan en el objeto 31.- Efectos perjudiciales 32.- Facilidad de elaboración 33.- Facilidad de uso 34.- Facilidad de reparar 35.- Adaptabilidad 36.- Complejidad del mecanismo 37.- Complejidad de control 38.- Nivel de automatización 39.- Productividad
--	--

Tabla 1: Parámetros de ingeniería que pueden afectar al tipo de unión.

Al diseñar utilizando estos principios inventivos se puede llegar a eliminar el compromiso (trade-off) entre los parámetros.

parámetro que empeora parámetro que mejora		1	9
		peso de objeto móvil	velocidad
1	peso de objeto móvil		2, 8, 15, 38
2	peso de objeto estacionario		

Fig. 3: Ejemplo parcial de la matriz de contradicciones.

Haciendo el recopilatorio de las sugerencias de principios a utilizar para romper la contradicción entre los parámetros nos encontramos con que se deben utilizar los 40 principios inventivos.

#### 4.4.2. Contradicciones físicas

Para resolver las contradicciones físicas pueden aplicarse los siguientes principios [10]:

- Separar en el tiempo.
- Separar en el espacio.
- Separar entre las partes y el todo.
- Separar bajo una condición.

Por ejemplo, desde la perspectiva de las contradicciones físicas una unión entre piezas debe existir para que funcione un diseño determinado, pero en cambio, no debe existir para desmontar el producto para su EOL (End- Of- Life). Por lo tanto, debemos de pensar en el principio de separación en el tiempo para buscar soluciones que eliminen esa contradicción.

Además se pueden buscar soluciones utilizando los efectos, o sino, se puede tener en cuenta la relación existente entre el principio de separación en el tiempo y los 40 principios inventivos.

#### 4.4.3. Ideas obtenidas

En la tabla 2 mostramos algunas de las ideas obtenidas. Se puede decir que con la aplicación de la metodología TRIZ se obtienen ideas tradicionales y también ideas innovadoras. Las tradicionales están basadas en el conocimiento propio del diseñador. Estos métodos tradicionales se pueden ordenar, de mayor a menor desensamblabilidad, en: adherencia, velcro, pinzas, pestañas, ajuste deslizante, atornillado, ajuste por apriete, soldado con el mismo material y soldado con otro material o pegado.

En cambio, las ideas innovadoras son aquellas que escapan al campo de conocimiento del diseñador y, por tanto, rompen con la inercia psicológica de éste, por ejemplo: unión con materiales con memoria de forma, fuerza de accionamiento eléctrico, neumático, magnético, etc.

IDEAS	DESMONTAJE
Calentar o enfriar las piezas	Dilatación de piezas. P.e: zinchado, tipo abrazadera
	Calentamiento localizado (rodamientos)
	Bimetales (se deforma)
	Adhesión por calor
Deformar un cuerpo	Deformar un cuerpo para desmontar. P.e: torsionando.
	Pinzas, Utillajes.
	Materiales con memoria de forma (se activa con electricidad, etc.)
	Transmisión de par por elementos flexibles (cepillos)
Ejercer presión sobre otro cuerpo	Bolas (tipo chaveta, buje cónico, etc.)
	Palanca, excéntrica, leva, cuña.
	Deformación de un cuerpo (elástico) y así se produce la unión
	Material de memoria de forma (tipo chaveta)
Fuerza de accionamiento o de unión magnética	Uniones escamoteables
	Fluidos reológicos, al aplicar campo magnético o eléctrico aumenta la viscosidad
Fuerza de accionamiento o de unión eléctrica	Un campo magnético mueve una pieza que hace el cierre de la unión
	Atracción entre dos cuerpos
Unión por adhesión	El voltaje mueve una pieza. P.e.:cierre de la escotilla de la lavadora
	Adhesivos (unión química), colas
Fuerza neumática, hidráulica	Velcro, velcro pero en metálico
Fijación por solidificación de una sustancia	Un elemento se infla y ejerce la presión de unión
Las piezas a unir realizan ellas mismas la unión	P.e: Un líquido pasa a sólido. P.e.: A temperatura ambiente sólido
	En este caso las soluciones más obvias serían: uniones por apriete, por forma (pestañas), etc.

Tabla 2: Algunas de las ideas obtenidas empleando la metodología TRIZ.

#### 4.4.4. Evolución del parámetro tipo de unión

A partir de la tabla 2 y ordenando las ideas en función del elemento de unión obtenemos una posible evolución del parámetro tipo de unión, ver fig. 4.

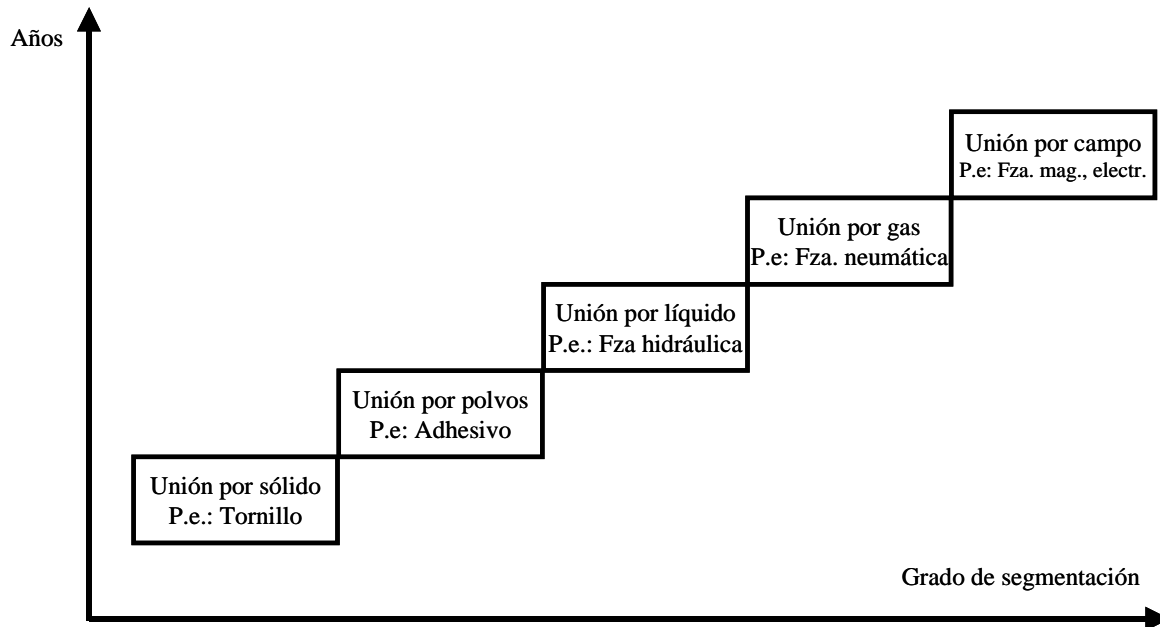


Fig. 4: Evolución del parámetro tipo de unión.

Esta evolución coincide con otras mencionadas por [16], [17] y [18], en la que la evolución pasa por los estados de la materia, sólido, líquido, gas y otros campos.

Tal y como se puede observar en la fig. 4 parece que un posible tipo de evolución viene determinado por la segmentación del elemento que realiza la unión. Aunque si se examina la tabla 2 se puede observar que se pueden dar combinaciones. P.e.: En una unión de piezas donde el elemento de unión es de un material con memoria de forma (unión sólida) se necesita activarlo con electricidad (unión por campo).

## 5. CONCLUSIONES

Con la aplicación de la metodología TRIZ de cara a mejorar el DFD se puede decir que se obtienen ideas de un gran potencial de aplicación.

En cuanto a las herramientas de la metodología TRIZ podemos decir:

- El módulo de efectos del programa TechOptimizer V.3 ayuda mucho a la generación de ideas debido a la estructura de ideas que propone y a las imágenes visuales que muestra.
- El nivel de abstracción necesario para obtener ideas empleando los 40 principios inventivos es más elevado que el necesario al utilizar los efectos o los principios de separación.

Por último, comentar que todavía nos falta por definir cómo se va a realizar la valoración medioambiental y el DFD de las soluciones innovadoras. Cuando se tenga, se podrá afirmar que las soluciones son eco-innovadoras y que mejoran la desmontabilidad de los productos.



Para la valoración medioambiental pensamos que sería apropiado utilizar un análisis cuantitativo basado en las herramientas simplificadas de ACV. Además de las técnicas ambientales en esta evaluación deberían incluirse aspectos relacionados con el coste y con las demandas del mercado [19].

No debemos olvidar que las tecnologías de Eco-Innovación deben de estar integradas dentro de las estrategias de innovación de la empresa. Del mismo modo, si se desarrolla una herramienta informática para la eco-innovación, esta debería estar perfectamente integrada dentro de una arquitectura para la asistencia al diseño. Con este objetivo los autores del artículo estamos desarrollando el proyecto MADIS “Sistema multiagente para la asistencia en el diseño de producto”.

## 6. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecemos la financiación recibida por el proyecto DPI2002-04357-C03 del Ministerio de Ciencia y Tecnología con la financiación de fondos FEDER, Mondragón Corporación Cooperativa (MCC) y la Escuela Politécnica Superior (EPS) de Mondragón.

## 7. REFERENCIAS

- [1] Jones, E., Darrel, M., Harrison, D. and Stanton, N.A. “*An Eco-innovation case study of Domestic Dishwashing through the application of TRIZ tools*”. Creativity and Innovation Management. Volume 10, Nº1, March 2001, 3-14.
- [2] James, P. “*The sustainability circle: a new tool for product development and design*”. In Journal of Sustainable Product Design, Nº2, July 1997, 52-57.
- [3] Desai, A., Mitak A. “*Evaluation of disassemblability to enable design for disassembly in mass production*”. International Journal of Industrial Ergonomics, 32, April 2003, 265-281.
- [4] UNE-EN ISO 14021. “*Etiquetas ecológicas y declaraciones medioambientales. Autodeclaraciones medioambientales (Etiquetado ecológico Tipo II)*”. ISO 14021:1999.
- [5] Kriwet, A., Zussman, E., Seliger, G. “*Systematic integration of design-for-recycling into product design*”. International Journal of Production Economics, 38, 1995, 15-22.
- [6] Mok, H.S., Kim, H.J., Moon, K.S. “*Disassemblability of mechanical parts in automobiles for recycling*”. Computers and Industrial Engineering, 33 (3-4), 1997, 621-624.
- [7] Behrendt, S., Jasch, C., Constança, M., van Weenen, H.. “*Life cycle design . A manual for small and medium-sized enterprises*”. Springer-Verlag, 1997.
- [8] Singh, K. “*Mechanical Design Principles*”. Nantel Publications, 1996
- [9] VDI 2243. Konstruieren Recyclinggerechter technischer Produkte, Verein Deutscher Ingenieurue (VDI). -Gesellschaft Entwicklung Konstruktion Vertrieb. Berlin.
- [10] Altshuller, G. “*Introducción a la innovación sistemática: TRIZ: De pronto apareció el inventor*”. Internet Global S.L. 1997.
- [11] Jones, E. and Harrison, D. “*Investigating the use of TRIZ in Eco-Innovation*”. The TRIZ Journal (<http://www.trizjournal.com>), September 2000.
- [12] Chang, H-T. and Chen J.L. “*Eco-Innovative examples for 40 TRIZ inventive principles*”. The TRIZ Journal (<http://www.trizjournal.com>), August 2003.
- [13] Strasser, Ch., Wimmer, W. “*Eco-Innovation, Combining ecodesign and TRIZ for environmentally sound product development*”. ICED 03 Stockholm, August 2003, 19-21.
- [14] Justel, D., Chiner, M., Vidal, R. “*Interrelación de técnicas de creatividad y métodos de ecodiseño*”. AEIPRO 2004, Bilbao.

- [15] Invention Machine. “*TechOptimizer*”, V.3, 1999.
- [16] Fey, V.R. Rivin, E.I. “*Guided Technology Evolution (TRIZ Technology Forecasting)*”. The TRIZ Journal (<http://www.trizjournal.com>), January 1999.
- [17] Mann, D. “*Using S-Curves and Trends of Evolution in R&D Strategy Planning*”. The TRIZ Journal (<http://www.trizjournal.com>), July 1999.
- [18] Petrov, V. “*The Laws of System Evolution*”, The TRIZ Journal (<http://www.trizjournal.com>), March 2002.
- [19] Bovea, M.D., Vidal, R. “*Increasing product values by integrating environment impact, costs and customer valuation*”. Resources Conservation and Recycling. 41, 2004, 133-145.

## **NOTA**

- (1) Grupo de Ingeniería del Diseño. Universitat Jaume I, Castellón.
- (2) Departamento de Proyectos de Ingeniería. Universidad Politécnica de Valencia.