

03-034

ANALYSIS OF LIFETIME EXTENSION IN ECODESIGN TOOLS AND METHODS

Royo, Marta ⁽¹⁾; Chulvi, Vicente ⁽¹⁾; Mulet, Elena ⁽¹⁾; Ruiz-Pastor, Laura ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Universitat Jaume I, Dep. Enginyeria Mecànica i Construcció

The ideal scenario in Circular Economy is to close the circle by slowing down the loop, extending the life of the product making it useful for as long as possible, the opposite of programmed obsolescence. Conceptualizing this type of product by designers and especially evaluating how well they extend its life of use can help to discern the best proposal and encourage this type of design that helps to extend the product for longer. In this paper we study the different tools and methods of ecodesign that evaluate concepts to identify how they measure the extension of life in the initial phases of design. The existing tools and methods are mostly applied to finished products. The tools and methods that allow the analysis of concepts show few parameters or are segregated, which makes measurement difficult. This study is a first step towards defining a lifetime extension metric for concepts.

Keywords: conceptual design; circular economy; lifetime extension; ecodesign tools

ANÁLISIS DE LA EXTENSIÓN DE LA VIDA DE USO EN LAS HERRAMIENTAS Y MÉTODOS DE ECODISEÑO

El escenario ideal en Economía Circular consiste en cerrar el círculo ralentizando el bucle, extendiendo la vida del producto haciendo que el producto sea útil el máximo tiempo posible, todo lo contrario, a la obsolescencia programada. Conceptualizar este tipo de productos por parte de los diseñadores y sobre todo evaluar lo bien que alargan su vida de uso puede ayudar a discernir la mejor propuesta y fomentar este tipo de diseños que ayudan a prolongar el producto durante más tiempo. En el presente trabajo se estudian las diferentes herramientas y métodos de ecodiseño que evalúan conceptos para identificar cómo miden la extensión de la vida útil en fases iniciales de diseño. Las herramientas y métodos existentes se aplican mayoritariamente a productos acabados. Las que permiten analizar conceptos muestran pocos parámetros o están segregados lo que dificulta la medición. Este estudio es un primer paso hacia la definición de una métrica de la extensión de vida de uso en conceptos.

Palabras clave: diseño conceptual; economía circular; extensión de la vida de uso; herramientas de ecodiseño

Correspondencia: Vicente Chulvi Ramos chulvi@uji.es



©2020 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. Introducción

1.1. Extender la vida útil de los productos

El modelo lineal de extracción-producción-uso-vertido y flujo de energía es insostenible (Frosch & Gallopoulos, 1989). La Economía Circular proporciona un sistema económico con un modelo alternativo de producción y consumo (Ellen MacArthur Foundation, 2015; Ellen MacArthur Foundation et al., 2015; CIRAIG, 2015). El término Economía Circular surgió en los 70 (Stahel & Reday-Mulvey, 1976) pero no es hasta el 2013 cuando la fundación Ellen MacArthur consigue que se popularice con más fuerza. El concepto de Economía Circular tiene por objeto mantener el valor añadido de los productos durante el mayor tiempo posible y reducir al mínimo los desechos facilitando las acciones de reciclaje, remanufacturación y reutilización (Evans & Bocken, 2014). Desde los 90 las empresas han intentado reducir los impactos ambientales de los productos a lo largo de su ciclo de vida integrando las consideraciones ambientales en el diseño del producto (ecodiseño y diseño para el medioambiente) (de Pauw et al., 2014; Stevels, 2009). En la Economía Circular necesita, además, combinar estrategias de diseño de producto y servicio para mantener la función y el valor de los productos, componentes y materiales al nivel más alto (Bocken et al., 2016).

El diseño circular se centra en tres enfoques (Bocken et al., 2016): el diseño para ralentizar los bucles, extendiendo la vida útil de los productos y componentes; el diseño para cerrar los bucles, que tiene por objeto favorecer el flujo circular del material y; estrechar los bucles haciendo más con menos. El escenario ideal en cuanto a sostenibilidad consiste en cerrar el círculo ralentizando el bucle, extendiendo la vida del producto haciendo que el producto sea útil el máximo tiempo posible, todo lo contrario, a la obsolescencia programada. La prolongación de la vida útil de los productos tiene por objeto disminuir el impacto ambiental e incrementar el valor social y económico (Box, 1983; Roy, 2000).

Según Mesa et al. (2018) los enfoques de diseño para ralentizar los bucles (extensión de la vida útil) son los siguientes:

- Diseño para el apego y confianza: diseñar productos que generen vínculos emocionales (durabilidad emocional), creando productos para ser queridos por más tiempo.
- Diseño para la fiabilidad y durabilidad: diseñar productos de alta resistencia al desgaste y a la rotura, que operen a lo largo de un período determinado sin que se produzca ningún fallo.
- Diseño para el fácil mantenimiento y reparación: mantener el producto en condiciones óptimas mediante la conservación y reparación de sus capacidades funcionales (mantenimiento) y la restauración del mismo a un buen estado después de un daño (reparación).
- Diseño para la actualización y adaptabilidad: diseñar el producto para que siga siendo útil en condiciones cambiantes (Linton & Jayaraman, 2005).
- Diseño para la estandarización y compatibilidad: facilitar el intercambio de componentes que pueden ser adaptados a diferentes productos (Bakker et al., 2014).
- Diseño para el ensamblaje y desensamblaje: garantizar que los productos y las piezas puedan separarse y re-ensamblarse fácilmente (Bakker et al., 2014).

1.2. Herramientas y métodos de ecodiseño

En las últimas décadas, el concepto de sostenibilidad ha adquirido una importancia creciente. La Comisión Europea (2017) destacó la importancia del ecodiseño en la

aplicación del Plan de Acción de Economía Circular (Comisión Europea, 2015). Ecodiseño es una metodología que trata de conceptualizar y generar nuevas ideas de productos (González-García et al., 2012), que observa los factores clave para cumplir los requisitos de sostenibilidad ambiental de la manera más eficiente y apropiada posible (Tukker et al., 2001). Tischner et al. (2000) considera que ecodiseño significa el desarrollo de productos con conciencia ambiental y se integra en el concepto de diseño sostenible, que está estrechamente relacionado con la idea del desarrollo sostenible. Desde el ecodiseño se pueden aplicar importantes estrategias que facilitan los principios de la Economía Circular. Por ello, existe un gran número de metodologías, herramientas, normas y reglamentos para promover y aplicar principios de sostenibilidad dentro de las empresas industriales. En el ámbito industrial, el ecodiseño representa un enfoque para considerar e integrar los aspectos ambientales en el proceso de desarrollo del producto (ISO, 2011), mediante la aplicación de estrategias dirigidas a reducir el impacto ambiental negativo a lo largo de las fases del ciclo de vida del producto (Rossi et al., 2016).

El interés en este tema ha dado lugar a la elaboración de un gran número de herramientas de ecodiseño destinadas a facilitar la integración de los aspectos ambientales en el proceso de desarrollo de los productos (Baumann et al., 2002; Byggeth & Hochschorner, 2006).

Existen estudios que contemplan diferentes aspectos de las herramientas de ecodiseño; por ejemplo, Tyl et al. (2014) realizaron un estudio comparativo de herramientas y métodos centrados en el proceso de eco-ideación. Byggeth y Hochschorner (2006) compararon 15 herramientas analizando su propósito, perspectiva ambiental, tipo de resultado y si la herramienta permite la evaluación de los resultados obtenidos. Rossi et al. (2016) y Rousseaux et al. (2017) estudiaron los obstáculos que limitan a las herramientas su efectiva implementación en las empresas. Bovea y Pérez-Belis (2012) revisaron y clasificaron las herramientas que evalúan requisitos ambientales de los productos y facilitan su integración en el proceso de diseño. Otros trabajos más recientes han clasificado indicadores de Economía Circular inspirándose en las taxonomías de herramientas de ecodiseño e indicadores de sostenibilidad (Parchomenko et al., 2019; Saidani et al., 2019).

1.3. Herramientas de ecodiseño y fase de ideación

Los diseñadores de productos juegan un papel crucial en la Economía Circular. La capacidad de reparar, reciclar o reutilizar un producto y la duración de sus componentes y materiales dependen en gran medida del diseño inicial del mismo.

Fussler y James (1996) definen eco-innovación como el proceso de desarrollo de nuevos productos, procesos o servicios que proporcionen valor a los clientes y a las empresas disminuyendo significativamente el impacto ambiental. La fase de ideación es la parte central de un proceso de innovación. Durante la fase de ideación, los diseñadores para generar y desarrollar ideas y conceptos potencialmente relevantes (Briggs & Reining, 2007). La eco-ideación es definida por Bocken et al. (2011) como la fase en la que se generan ideas con gran potencial para reducir el impacto ambiental (Tyl et al., 2014).

Existe un número significativo de trabajos que han identificado herramientas que apoyan el proceso de eco-innovación (Charter & Tischner, 2001; Bocken et al., 2011; Bovea & Pérez-Belis, 2012). Para Bovea y Pérez-Belis (2012) la integración de los aspectos ambientales en las primeras etapas del proceso de diseño, junto con un enfoque multicriterio que permita equilibrar los requisitos ambientales con otros requisitos tradicionales, son dos de los factores clave para el éxito del diseño sostenible.

1.4. Objetivos

La propuesta se desarrolla en el marco de un proyecto de investigación que pretende potenciar la ideación de conceptos de productos que alargan más su vida de uso.

Específicamente dentro de este proyecto, el presente trabajo contempla como objetivo principal, establecer de qué forma las herramientas y métodos de ecodiseño aplicables en las fases iniciales de diseño tienen en cuenta la extensión de la vida útil analizando las estrategias de diseño que consideran. Ello, ayudará a los diseñadores a encontrar la herramienta o método más apropiado para valorar o comparar en la fase conceptual propuestas que alarguen más su vida de uso.

2. Metodología

La siguiente investigación documental presenta un análisis de herramientas y métodos, los cuales se han seleccionado de las recopilaciones de herramientas y métodos de Bovea y Pérez-Belis (2012) y de Rossi et al. (2016). Además, se ha realizado una búsqueda de nuevas herramientas y métodos de ecodiseño o diseño circular más recientes. De cada herramienta o método se ha identificado y analizado la siguiente información:

- Tipo: identifica si es método o herramienta, según la taxonomía de Bovea y Pérez-Belis (2012)
- Clasificación de la herramienta o método según Rossi et al. (2016):
 - Herramientas LCA
 - Herramientas que integran CAD
 - Herramientas gráficas
 - Listas de control y directrices
 - Diseño centrado en X
 - Métodos de ayuda a la implementación de las empresas y generación de eco-innovación
 - Métodos para implementar el ciclo de vida completo centrado en el usuario hacia la sostenibilidad
 - Métodos para integrar diferentes herramientas existentes
- Nombre de la herramienta o método, autores y año
- Estrategias de diseño para alargar o extender la vida de uso (ralentizar los flujos) según la clasificación de Mesa et al. (2018) y aplicando la siguiente codificación:
 - E1. Diseño para el apego
 - E2. Diseño para la duración y fiabilidad
 - E3. Diseño para facilitar el mantenimiento y la reparación
 - E4. Diseño para la actualización/adaptación
 - E5. Diseño para la estandarización/compatibilidad
 - E6. Diseño para ensamblaje/desensamblaje

Para ello se identificarán todos los parámetros que considera la herramienta o método en relación con las 6 estrategias. Por ejemplo, en la herramienta Diez Reglas de Oro, que consiste en una checklist, se aplica, entre otras, la siguiente regla: “usar características estructurales y materiales de alta calidad para minimizar el peso en los productos si tales elecciones no interfieren con la flexibilidad necesaria, la fuerza de impacto u otras prioridades funcionales” (Luttrupp & Lagerstedt, 2006). Por tanto, este parámetro estaría relacionado con la estrategia “E2. Diseño para la duración y fiabilidad”.

Esta misma identificación se ha realizado con todos los parámetros que consideran las herramientas y métodos estudiados.

- Aplicación y escala de medición: se identifica la manera de mostrar los resultados (test, eje de mapa de araña, etc.), y la escala empleada para la medición (baja/media/alta; valores de 1 al 5, etc.).
- Medición y resultados: descripción de la valoración que realiza la herramienta o método, así como manera de mostrar e interpretar los resultados y las consideraciones que ha de tener el diseñador con los resultados obtenidos.
- Tipo de resultado: cualitativo o cuantitativo.
- Producto de referencia: se indicará si la herramienta o método compara el producto a estudiar con un producto de referencia. Se indicará “No compara”, si no utiliza ningún producto de referencia, “Comparación absoluta”, si valora tanto el producto a estudiar como el de referencia y “Comparación relativa”, si la valoración del producto se realiza de forma relativa al producto de referencia.
- Segregación de los resultados: se indicará si la valoración de los parámetros se presenta por separado (Segregados) o si los agrupa de algún modo dando una valoración conjunta (Sin segregar).

3. Resultados y Discusión

3.1 Clasificación de las herramientas y métodos

La Tabla 1 muestra las 63 herramientas y métodos analizados en el estudio. Se han clasificado según el tipo (método o herramienta) y se han estudiado para cada uno de ellos dos cuestiones. La primera, determinar si permiten comparar o evaluar propuestas conceptuales (Sí, si es posible/ “x” si no lo es/ “DIFÍCIL” si es posible, pero hace falta tener conceptos más definidos para comparar o evaluar). La segunda, establecer si contemplan criterios para alargar la vida de uso. En este caso las posibles opciones son: “SÍ”, no “X” o “SE HAN DE INCLUIR CON LOS REQUERIMIENTOS”, cuando el criterio no es intrínseco de la herramienta y es el diseñador quien debe pensar en incluirlo como requerimiento de diseño.

Los resultados muestran que únicamente 12 de las 63 herramientas permiten valorar los conceptos al mismo tiempo que consideran criterios para extender la vida de uso de los productos sin que el diseñador lo incluya como requisito.

3.2 Selección de los métodos y herramientas que consideran extender la vida de uso de los productos

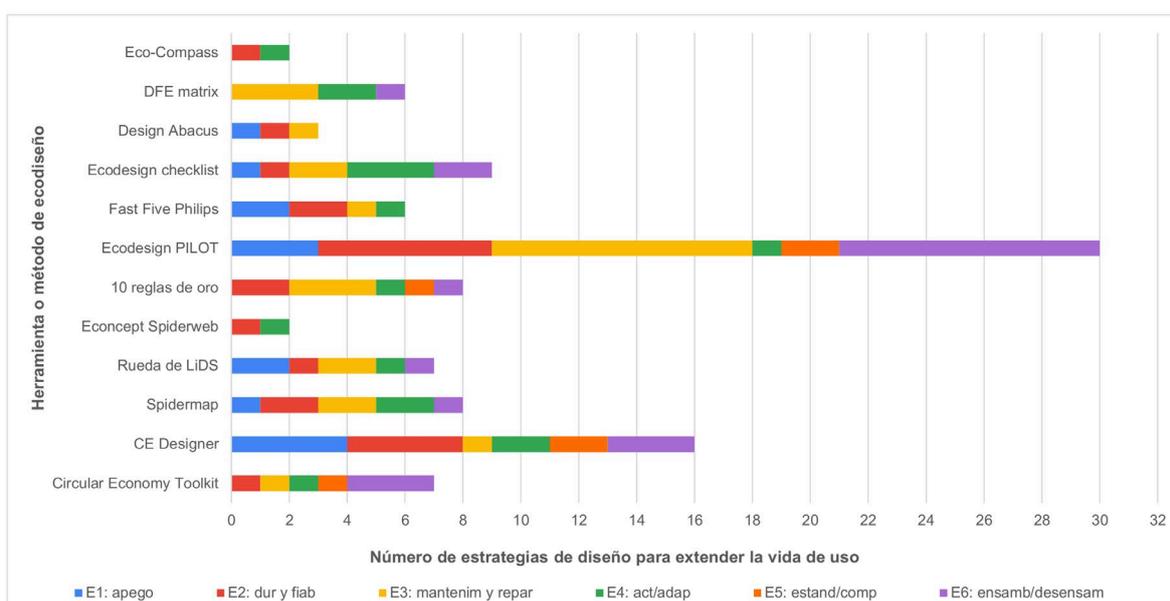
La Tabla 2 muestra las 12 herramientas seleccionadas de la Tabla 1 organizadas según la clasificación de Rossi et al. (2016). Se ha analizado cada herramienta y método según la información descrita en la metodología.

La cantidad y el tipo de estrategias de diseño que consideran extender la vida de uso aplicadas por cada herramienta o método se muestran en la Figura 1. Las herramientas Ecodesign PILOT y CE Designer contemplan parámetros de todas las estrategias de diseño para alargar la vida de uso. De éstas, Ecodesign PILOT es la herramienta que contiene la mayor cantidad de parámetros para alargar la vida de uso, 30 en total, frente a 16 que se contemplan en CE Designer. Eco-Compass y Econcepto Spiderweb son las que menos parámetros para alargar la vida de uso tienen, sólo 2.

La estrategia de diseño para extender la vida de uso considerada por el mayor número de parámetros es la “E3. Diseño para el mantenimiento y reparación” con un 24% del total. Le siguen la “E2. Diseño para la durabilidad y fiabilidad”, con un 21% y la “E4. Diseño para el ensamblaje y desensamblaje”, con el 20%. Las estrategias “E4. Diseño para la actualización y adaptabilidad” y E1. Diseño para el apego” abarcan el 15% y el 13% de los parámetros identificados. La estrategia considerada por el menor número de parámetros es E5. Diseño para la estandarización y compatibilidad, que obtiene casi un 6%.

Todas las herramientas presentan los resultados segregados, ofreciendo por separado los resultados de cada parámetro, a excepción de la herramienta CE Designer, que agrupa los 16 parámetros en dos categorías más generales que las 6 estrategias que indican Mesa et al (2018): Diseño para extender la vida de uso y Diseño para productos duraderos. Esta agregación de resultados puede resultar muy cómoda para el diseñador, ya que dispone, de forma automática dos valores generales relacionados con la extensión de la vida del producto que recogen 16 parámetros en total. Como ya se ha mencionado, Ecodesign PILOT contempla las 6 estrategias y con el mayor número de parámetros con diferencia. Para utilizarla es necesario dedicar un trabajo reflexivo que se resume en unos informes con resultados menos visuales y directos que el CE Designer, pero más pormenorizados y detallados. En el resto de herramientas se quedan una o más estrategias de alargar la vida de uso sin considerar. Concept Spidermap y EcoCompas sólo consideran dos de estas estrategias: la E2 y la E4.

Figura 1: Número y tipo de estrategias de diseño para extender la vida de uso consideradas por cada herramienta o método



4. Conclusiones

El trabajo realizado pretende ayudar a los diseñadores a seleccionar aquellas herramientas o métodos que cumplan con dos criterios: aplicarse a nivel conceptual para comparar o evaluar propuestas y que consideren para su evaluación aspectos para alargar la vida de uso reconociendo las estrategias de diseño que potencian. De las 63 herramientas y métodos analizados, sólo 12 cumplen estas dos condiciones.

De estas 12, sólo CE Designer y Ecodesign PILOT consideran parámetros de todas las estrategias de diseño para alargar la vida de uso. La estrategia menos contemplada es “Diseño para la estandarización y compatibilidad”, cuyos parámetros suponen sólo el 6% de todos los analizados.

Todas ellas ofrecen los resultados de los parámetros por separado, a excepción de CE Designer, que agrupa los resultados de los parámetros de alargar la vida de uso en dos categorías.

Por ello, se hace necesario plantear una métrica para la extensión de la vida de uso que permita evaluar esta estrategia en los conceptos. Ampliando la perspectiva estaría bien considerar un proceso de eco-innovación que tenga como objetivo potenciar la extensión de la vida de uso de los conceptos y que finalice con la evaluación de las propuestas. Ello conllevaría la necesidad de testear las herramientas más completas vistas en la Tabla 2 valorando diferentes conceptos y analizando los resultados obtenidos para ver su efectividad. El estudio ha analizado las herramientas 63 herramientas o métodos extraídos principalmente de trabajos de Bovea y Pérez-Belis (2012) y Rossi et al. (2016) ampliado con otras referencias más recientes. Aun así, se podría ampliar aun buscando si existen más referencias o actualizaciones sobre herramientas o métodos referentes a la extensión de la vida de uso de los productos.

Tabla 1: Listado de métodos y herramientas de ecodiseño consideradas para el estudio

Nº	TIPO: método/herramienta	Tipo según clasificación Rossi et al. (2016)	NOMBRE	autores y artículos de referencia	PERMITE COMPARAR O EVALUAR SOLUCIONES CONCEPTUALES	CONSIDERA ALCARGAR LA VIDA DE USO	
1	hta	Herramienta ACV	Métrica para cuantificar el nivel de circularidad de un producto de Linder	Linder et al. (2017)	DIFÍCIL	X	
2	hta		Ecolizer	http://www.ecolizer.be/design/new (2011)	DIFÍCIL	X	
3	hta		Eco-Innovations process metric (López-Forníés)	López-Forníés et al. (2017)	SI	X	
4	hta		Ecoideation process Bocken	Bocken et al. (2012)	DIFÍCIL	X	
5	método		Streamlined Life Cycle Assessment (SLCA)	Bennett & Graedel (2000)	DIFÍCIL	X	
6	método		Oil Point Method (OPM)	Bey et al. (1999), Lenau and Bey (2001)	DIFÍCIL	X	
7	método		Life Cycle Assessment (LCA)	ISO 14040-44 (2006)	DIFÍCIL	X	
8	método		Pre-LCA tool	Tolle, Vigon, Salem, Becker, Salveta, & Cembrola (1994)	DIFÍCIL	X	
9	hta		Materials Energy Chemicals Other (MECO)	Wenzel et al. (1997), Pommer et al. (2001)	DIFÍCIL	X	
10	método		MET-matrix	Brezet & van der Hemel (1997); Byggeth & Hochschorner (2006)	DIFÍCIL	X	
11	método		Circularity Calculator (evolución del MCI)	http://www.circularitycalculator.com/ (2020)	DIFÍCIL	X	
12	hta	Herramientas gráficas	Circular Economy Toolkit	www.circulareconomytoolkit.org ; Evans & Bocken (2014)	SI	SI	
13	hta		CE Designer	https://www.katce.eu (2019)	SI	SI	
14	hta		Spidermap	van der Berg & Bakker (2015)	SI	SI	
15	hta		Matriz de evaluación de ideas (SInnDesign)	www.sinnproject.eu (2013)	SI	X	
16	hta		LIDS Wheel	Brezet & van Hemel (1997)	SI	SI	
17	hta		Eco Functional Matrix (EFM)	Bahmra & Hon (2004)	X	SI	
18	hta		House of Ecology (HOE)	Halog et al. (2001)	X	X	
19	método		ERPA Matrix	Graedel (1998); Graedel & Allenby (1998); Graedel & Allenby (1995)	SI	X	
20	hta		Eco-COMPASS	Tyl et al. (2010)	SI	SI	
21	hta		Eco-ASIT	Turner (2009)	X	X	
22	hta		Econcept Spiderweb	Tischner et al. (2000)	SI	SI	
23	método		Listas de control y directrices	Ten Golden Rules	Lutrop & Lagerstedt (2006)	SI	SI
24	método	Ecodesign PILOT		Wimmer & Zust (2003); http://pilot.ecodesign.at	SI	SI	
25	hta	Requirements matrix		Keoeilian et al. (1995)	NO	X	
26	método	AT&T checklist		Keoeilian et al. (1996)	NO	X	
27	método	KODAK checklist		Betz & Vogl (1996)	SI	X	
28	método	Fast Five Philips Awareness		Meinders (1997); Byggeth & Hochschorner (2006)	SI	SI	
29	método	Eco-Design Checklist Method (ECM)		Wimmer (1999)	DIFÍCIL	X	
30	hta	AT&T matrix		Graedel (1998)	DIFÍCIL	X	
31	hta	Volvo's Black List; Volvo's Grey List; Volvo's White List		Nordkil (1998a; 1998b; 1998c)	SI	X	
32	hta	ABC-analysis		Tischner et al. (2000); Lehmann (1993); Byggeth & Hochschorner (2006)	SI	X	
33	hta	Dominance Matrix or Paired Comparison		Tischner et al. (2000)	SI	X	
34	hta	EcoDesign Checklist		Tischner et al. (2000)	SI	SI	
35	hta	Design Abacus		Lofthouse (2008); Sharma & Lofthouse (2007)	SI	SI	
36	hta	Métodos de ayuda a la implementación de las empresas y generación de eco innovación	Product Ideas Tree (PIT) Diagram	Jones et al. (2003); Eckert, Cross & Johnson (2000)	X	X	
37	hta		ASIT	http://www.asit.info/ Turner (2009); Horowitz (1999)	X	X	
38	hta		Information-Inspiration	Lofthouse (2004)	X	X	
39	hta		TRIZ- CONTRADICTION MATRIX	Chen & Liu (2003)	X	X	
40	hta		TRIZ- final ideas Result	Jones (2003)	X	X	
41	hta		TRIZ- nine screen	O'Hare (2010)	X	X	
42	hta		TRIZ-CBR	Yang & Chen (2011)	X	X	
43	hta		TRIZ-Eco Guidelines	Russo & Regazzoni (2008)	X	X	
44	hta		TRIZ-LCP Planner	Kobayashi (2006)	X	X	
45	hta		TRIZ-Eco-MAL'IN	Samet (2010)	X	X	
46	método		Métodos para implementar el ciclo de vida completo y centrado en el usuario hacia la sostenibilidad	Environmental Product Life Cycle Matrix (EPLC)	Gertsakis (1997)	SI	X
47	método			Integrated Product and Process Development (IPPD)	Grüner & Birkhofer (1999)	DIFÍCIL	X
48	método			Life Cycle PLANNING (LCP)	Kobayashi (2006)	DIFÍCIL	X
49	hta		Métodos para integrar diferentes herramientas existentes	Quantity function development for environment (QFDE)	Masui et al. (2003)	X	SI
50	hta	Environmental QFD (E-QFD)		Davidsson (1998)	DIFÍCIL	SI	
51	hta	DFE matrix		Johnson & Gay (1995)	SI	SI	
52	hta	Implementing DFE Strategies (RAILS)		Hemel (1995)	DIFÍCIL	SI	
53	hta	Integrated Approach to Sustainable Product Development		Hanssen et al. (1996)	SI	X	
54	hta	Green-QFD (GQFD)		Cristofari et al. (1996); Zhang et al. (1999); Mehta and Wang (2001); Dong et al. (2003); Bovea & Wang (2005)	SI	SE HAN DE INCLUIR COMO REQUERIMIENTOS	
55	hta	Environmental Objective Deployment (EOD)		Karlsson (1997)	SI	SE HAN DE INCLUIR COMO REQUERIMIENTOS	
56	hta	Environmentally Conscious Quality Function Deployment (ECQFD)		Vinodh & Rathod (2009)	SI	SE HAN DE INCLUIR COMO REQUERIMIENTOS	
57	hta	Life Cycle Quality Function Deployment (LC-QFD)		Ernzer & Birkhofer (2005)	NO	SE HAN DE INCLUIR COMO REQUERIMIENTOS	
58	hta	Life Cycle Environmental Cost Analysis (LCECA)		Senthikumar et al. (2001)	DIFÍCIL	SI	
59	hta	Eco-Value Analysis (Eco-VA)		Oberender & Birkhofer (2004)	SI	X	
60	hta	Eco-Re-Design		Bovea & Wang (2007)	SI	X	
61	hta	Environmental Impact and Factor Analysis (EIFA)		Stanford University (1995)	SI	X	
62	hta	Environmental FMEA (E-FMEA)		Nielsson et al. (1998)	SI	X	
63	hta	Eco-FMEA		Dannheim et al. (1998)	DIFÍCIL	X	

Tabla 2: Resumen de las herramientas y métodos que consideran alargar la vida de uso y ayudan a evaluar o comparar conceptos

Nº	TIPO	CLASIF Rossi et al. (2016)	NOMBRE	AUT REF	PARÁMETROS QUE SE CORRESPONDEN CON ESTRATEGIAS PARA ALARGAR LA VIDA DE USO	APLICACIÓN Y ESCALA DE MEDICIÓN	MEDICIÓN Y RESULTADOS	TIPO RESULTADO	PROD. DE REF	SEGREGACIÓN DE RESULTADOS
12	HERRAMIENTAS	Herramientas gráficas	Circular Economy Toolkit	www.circular-economy-toolkit.org; Evans & Bocken (2014)	E2. El producto tiene una vida muy larga -media- corta E3. Servicio de mantenimiento/repación adecuado ya ofrecido (podría incluir reparación, servicio, repuestos, diagnóstico, soporte técnico, instalación y garantía) E5. Todos los componentes, conectores y módulos y cables están estandarizados - ninguno es estandarizado E6. Fácil de desensamblar - medio - difícil de desensamblar E6. Se requieren muchas herramientas para desensamblar - se requieren pocas herramientas para desensamblar E6. Muchas conexiones mecánicas - pocas conexiones mecánicas E6. Muchas partes son modulares, lo que permite que el montaje y desmontaje - Ninguna pieza es modular, no permite el montar y desmontar E4. Imposible de actualizar partes - posibilidad de actualizar partes	Se realiza un test de autoevaluación que muestra las fases del producto donde se podrían crear nuevas oportunidades. Cada parámetro del test se mide con una escala de tres valores: alto medio y bajo. La herramienta ofrece información del significado de la valoración alta y baja de cada parámetro lo que facilita la evaluación.	Mide el potencial de mejora de la propuesta conceptual. El diseñador considerará las fases que hayan salido con mayor potencial de mejora. El resultado se muestra gráficamente, cada categoría se colorea según el potencial de mejora, el color verde (alto), amarillo (medio) y gris (bajo). Además, ofrece un informe detallado de la valoración de cada parámetro según su grado (alto, medio y bajo).	Cualitativo	NO COMPARA	SEGREGADOS
13			CE Designer	http://www.kitfox.com/ce/index.html; https://www.kitfox.com/ce/index.html; kitfox.com/ce/index.html; kitfox.com/ce/index.html	E1. Fuerte relación producto-usuario E2. Materiales y componentes duraderos y resistentes al desgaste E1. Diseño atemporal y personalizado E2. Fiabilidad E2. E1. Facilidad de uso. Contribuye a usarlo bien y que dure más. E3. E4. Fácil sustitución de componentes E4. Actualización estética y/o técnica E2. Materiales y componentes duraderos y resistentes al desgaste E5. Utilización de soluciones modulares E5. E6. Arquitectura de productos simplificada E6. Elección de las herramientas necesarias para el desmontaje y el reensamblaje E6. Facilitar el acceso y detección de elementos de conexión E6. Minimizar los elementos de conexión	Cada parámetro del test mide el cumplimiento de cada parámetro con una puntuación A, B o C. A significa buen cumplimiento; B cumplimiento medio y C, bajo cumplimiento o el criterio no ha sido considerado en el diseño inicial del producto o servicio de referencia.	Mide el porcentaje de cumplimiento de cada estrategia. El diseñador considerará mejorar aquellos bloques cuyo porcentaje de cumplimiento respecto al producto de referencia sea bajo. Los resultados se muestran gráficamente, la herramienta genera un diagrama de barras para cada categoría con el porcentaje de cumplimiento del producto ideado frente al de referencia.	Cuantitativo	COMPARACIÓN ABSOLUTA	SIN SEGREGAR
14			Spidermap	van der Berg & Bakker (2015)	E1. Atemporal E2. Duradero E4. Adaptable E6. Desensamblaje: rápido desensamblaje, difíciloso E3. Diseño para facilitar el mantenimiento y reparación E4. Diseño para la actualización y adaptabilidad E2. Duración y fiabilidad E3. Mantenimiento: tiempo de vida, reparar y actualizar, fácil de limpiar, difícil de servir	Cada parámetro se valora en un eje del mapa de araña con una escala del 0 al 4. Cada valoración se sitúa en un sector circular, cuanto más cercano al 0 más lineal frente al más circular cercano al 4. En cada uno de los 5 ejes cada valor de la escala está descrito para poder clasificar correctamente el concepto.	Mide gráficamente la valoración obtenida en cada eje. Cuanto mayor sea la valoración obtenida en la escala de cada eje más circular es el concepto. El diseñador considerará mejorar aquellos conceptos que obtengan un área ocupada menor que el producto de referencia. La escala para valorar cada aspecto es compleja.	Cualitativo	COMPARACIÓN ABSOLUTA	SEGREGADOS
16			LIDS Wheel	Breazet & van Hemel (1997)	E2. Fiabilidad y durabilidad. E3. facilidad de mantener y reparar. E3. E4. E6. modularidad (está relacionada con los 3 criterios de diseño) E1. diseño clasico E1. fuerte relacion producto usuario	Cada parámetro se valora para cada uno de los 8 ejes de la rueda con una escala del 0 al 5. Cuanto más cercano al 0 peor es la valoración. En cada uno de los ejes la herramienta describe los parámetros a considerar para evaluar cada aspecto.	Mide gráficamente el potencial de mejora ambiental. Cuanto mayor sea la valoración obtenida en la escala de cada eje mejor es el concepto. El diseñador considerará mejorar aquellas categorías que obtengan menor valoración que el producto de referencia. Es complejo valorar cada eje debido a la cantidad de parámetros que considera.	Cualitativo	COMPARACIÓN ABSOLUTA	SEGREGADOS
20			Eco-COMPASS	Tyl et al. (2010)	E2. E4. En la extensión del servicio y la función.	Cada parámetro se valora para cada uno de los 6 ejes del diagrama con una escala del 0 al 5. Se evalúa con un 1 si el concepto ideado es al menos la mitad de bueno que el producto de referencia; con un 3 si es hasta dos veces mejor; 4 si es de dos a cuatro veces mejor y 5 si es al menos cuatro veces mejor. Posteriormente se puede utilizar diferentes indicadores para evaluar la solución.	Mide gráficamente lo bueno que es un producto frente a otro en aspectos ambientales. Cuanto mayor sea la valoración obtenida en la escala de cada eje mejor es el producto frente al de referencia. El diseñador considerará mejorar aquellas categorías que obtengan menor valoración.	Cualitativo	COMPARACIÓN RELATIVA	SEGREGADOS
22			Econcept Spiderweb	Tschner et al. (2000); Kieber (2011)	E4. Cumplimiento de las necesidades E2. longevidad (mayor tiempo de vida) Como puedes poner en los ejes las directrices que quieras seguir, puedes poner distintas características para alargar la vida de uso en los ejes de la telaraña y compararlos con el producto de referencia	Cada parámetro se valora para cada uno de los 8 ejes del diagrama con una escala del 0 al 6. Se evalúa con un 0 si el concepto es muy malo, 1 malo, 2 no es bueno, 3 moderado, 4 mejor, 5 bueno y 6 muy bueno.	Mide gráficamente las características de un concepto. Cuanto mayor sea la valoración obtenida en la escala de cada eje mejor es el producto frente al de referencia. El diseñador considerará mejorar aquellas categoría que obtengan menor valoración. Cuanto mayor es el área y cada una de las valoraciones sobre los ejes mejor es el concepto frente al de referencia.	Cualitativo	COMPARACIÓN ABSOLUTA	SEGREGADOS

Tabla 2: Resumen de las herramientas y métodos que consideran alargar la vida de uso y ayudan a evaluar o comparar conceptos (cont)

		MÉTODOS		HERRAMIENTAS					
		Listas de control y directrices							
23		Ten Golden Rules	Luttrup & Lagerstedt (2006)	E2. REGLA 3. Usar características estructurales y materiales de alta calidad para minimizar el peso en los productos si no interfiere con prioridades funcionales (flexibilidad fuerza de impacto) E3. REGLA 5. Promover la reparación y la actualización, especialmente para los productos que dependen del sistema (por ejemplo, teléfonos celulares...) E4. REGLA 6. Promover alargar la vida, especialmente para los productos con aspectos ambientales significativos fuera de la fase de uso. E2. REGLA 7. Invertir en materiales mejores, tratamientos de superficie o disposiciones estructurales, asegurando así un mantenimiento reducido y una mayor vida útil. E5. REGLA 8. Organizar la mejora, la reparación y el reciclaje a través de la capacidad de acceso, etiquetado, módulos, puntos de rotura y manuales. E3. REGLA 9. Promover la mejora, reparación y el reciclaje mediante el uso de pocos materiales simples, reciclados, no mezclados y sin aleaciones. E6. REGLA 10. Usar la menor cantidad posible de elementos de unión y utilizar tornillos, adhesivos, soldaduras, encajes a presión, bloqueo geométrico, etc. según el escenario del ciclo de vida.	Cada regla se valora para verificar su cumplimiento. Cuantas más reglas se cumplan mejor valorado está el concepto.	Comprueba el cumplimiento de una serie de criterios ambientales predefinidos y derivados de medidas de mejora. Cuanto mayor sea el número de reglas cumplidas se considera mejor concepto. El diseñador considerará mejorar aquellas categorías que obtengan menor valoración. Establece pautas de mejora. Los resultados no se muestran gráficamente. Cuanto mayor sea el número de reglas cumplidas mejor es el concepto.	Cualitativo	NO COMPARA	SEGREGADOS
24		Ecodesign PILOT	Wimmer & Just (2003) http://pilot.ecodesign.at/pilot	E2. Asegure una calidad funcional del producto alta y minimice la influencia de posibles variaciones E4. Diseñe el producto para posibles mejoras E2. Diseñe el producto para que se ajuste y adapte en la etapa de uso (desgaste) E3. Diseñe el producto para una limpieza fácil, y/o minimice la susceptibilidad del mismo al ensucarse. E3. Concentre el desgaste en partes reemplazables del producto. E3. Haga que las señales de desgaste sean fácilmente visibles. E3. Indique los intervalos de servicio del producto. E3. Asegure un mantenimiento con herramientas estándares E1. Alcance un diseño del producto eterno. E1. Asegure una alta apreciación del producto. E1. Diseñe el producto para una larga vida en servicio E2. Alcance un diseño de producto robusto. E2. Asegure que las superficies resistan un uso intensivo. E2. Asegure una resistencia a corrosión. E2. Armonice la vida en servicio de los componentes individuales E3. Asegure una estructura que se explique por sí sola o proporcione instrucciones para reparar. E3. Asegure un fácil acceso a componentes para reemplazar y reparar. E3. E5. Estandarice componentes y/o utilice componentes idénticos para diferentes variantes del producto E6. Asegure un fácil acceso de las partes conectadas. E6. Asegure la reversibilidad en el proceso de ensamblado. E6. Diseñe una estructura del producto para fácil desmontaje. E6. Minimice los tiempos y caminos de desmontaje. E6. Utilice conexiones fácilmente separables. E6. E3. Asegure un acceso fácilmente visible de las conexiones para el desmontaje. E6. E3. Asegurar la facilidad de acceso a las partes conectadas con Hisas de desmontaje E6. Asegure la funcionalidad de las conexiones durante el periodo de vida completo del producto. E6. Asegure un montaje simple a través de estructura jerárquica E5. Utilizar partes y elementos estandarizados	Cada parámetro se valora según la Relevancia (R): (10) si es muy importante, (5) menos importante y (0) no relevante y el cumplimiento: sí (1), más bien sí (2), más bien no (3) y no (4). Se calcula la prioridad (P) $P=R^2$. Si es alta el diseñador completa cada aspecto con ideas de mejora, valorando los costes que implica (más, el mismo o menos), la viabilidad (difícil/fácil) y la realización (de inmediato, más tarde o nunca) indicando la responsabilidad, el límite de tiempo y una justificación.	Ayuda a identificar las fases con más impacto del ciclo de vida de un producto y a encontrar medidas prácticas para mejorarlo desde el punto de vista ambiental. Está diseñado como una herramienta de mejora de los productos, que apoya el proceso de toma de decisiones para encontrar medidas apropiadas de ecodiseño. El diseñador considerará mejorar aquellas categorías con prioridad elevada. Los resultados se muestran numéricamente mediante un informe de valoración de cada parámetros según la prioridad. Se debe considerar mejorar aquellos parámetros que obtienen alta prioridad.	Cuantitativo	NO COMPARA	SEGREGADOS
28		Fast Five Philips Awareness	Meinders (1997). Byggeth & Hochschorner (2006)	E2. durabilidad, E3. reparabilidad, E1. valor, E2. tiempo de vida E4. fácil de actualizar y si E1. fomenta el uso prolongado.	Cada parámetro es valorado mediante una matriz que hace una serie de preguntas en 5 categorías diferentes, según el número de sí se considera de la siguiente manera; 0: no tiene nada de ecológico; 1: actualizar la recomendación; 2: reconsiderar el concepto de referencia; 3: alternativa interesante, todavía hay una mejora en la situación; 4: probablemente una elección viable; 5: una alternativa excelente	Ayuda a juzgar y comparar diferentes conceptos de productos con un producto de referencia bajo una perspectiva del ciclo de vida en cinco criterios. Cuanto más baja sea la valoración obtenida peor es el concepto. Los resultados se muestran numéricamente mediante la evaluación de cada parámetros de la matriz.	Cuantitativo	COMPARACIÓN RELATIVA	SEGREGADOS
29		EcoDesign Checklist	Tischner et al. (2000)	E4. diseño con funciones optimizadas, E2. diseño confiable con garantía de largo plazo, E3. diseño de fácil mantenimiento y reparación, E3. E4. E6. diseño modular, E4. diseño multifuncional, E1. diseño de lenta obsolescencia que no sigue la moda, diseño para el reuso, E6. diseño para desmontar.	Cada parámetro es valorado mediante su cumplimiento en una lista. Se otorga un 1 si la solución de diseño es buena (+), mala (-) o neutra (sin valorar).	Ayuda a identificar los principales problemas ambientales a lo largo del ciclo de vida de un producto. El diseñador seleccionará la propuesta que acumule + valoración positiva. Los resultados se muestran numéricamente como el sumatorio de + y - obtenidos en la valoración de cada parámetros de la lista.	Cuantitativo	NO COMPARA	SEGREGADOS
35		Design Abacus	Lofthouse (2006) Bharma & Lofthouse (2007)	E2. ¿Contribuye el nuevo diseño a alargar la vida del producto, E1. aumentar su atractivo y E3. facilitar su reparación?	Cada parámetro es valorado en 3 tablas de tres áreas de evaluación: ambiental, social/ética y económica. Para cada criterio, la mejor situación se enumera en la parte superior del formulario y la peor en la parte inferior (baja demanda de energía y alta demanda de energía, etc.). Se evalúa el rendimiento en una escala de -2 a 2, de peor a mejor para cada criterio. Además, el usuario puede indicar el nivel de certeza o confianza con respecto a cada criterio. Finalmente, se dibujan dos líneas para conectar todas las puntuaciones de los criterios y el nivel de confianza,	Ayuda a evaluar el rendimiento del producto en términos de sostenibilidad. Los criterios de evaluación son definidos por el usuario de la herramienta y se introducen en un formulario especial. El diseñador elegirá la propuesta que muestre resultados más elevados. Los resultados se muestran en una tabla con una escala del 2 al -2. La unión de las valoraciones obtenidas para cada parámetro genera una gráfica que orienta visualmente a la hora de decidir mejoras.	Cualitativo	COMPARACIÓN ABSOLUTA	SEGREGADOS
51	Métodos para integrar diferentes herramientas existentes	DFE matrix	Johnson & Gay (1995)	E6. ¿Es el producto fácil de desensamblar para E4. actualizar, E3. reparar o reutilizar? E3. ¿Están sus partes preparadas para reparar el producto y sus componentes? E3. ¿Está el producto diseñado para ser fácil de reparar, E4. actualizar o re-reemplazar completamente?	Cada parámetro es valorado en una matriz desde la perspectiva de fases del ciclo de vida y materiales. Se contesta a un test que reporta una valoración. La primera fila, se centra en la obtención de información sobre el posible impacto ambiental del producto a lo largo de su ciclo de vida mediante el análisis del concepto de diseño o de productos similares ya existentes. En la segunda parte se van contestando las preguntas del test y según las puntuaciones se obtiene un resultado que se va situando en la casilla correspondiente. Al final se suman todas las filas y todas las columnas.	Ayuda a introducir requisitos medioambientales, de salud y de seguridad (EHS) en el proceso de desarrollo de productos. Proporcionar una evaluación medioambiental del producto. El diseñador elegirá la propuesta que presente los resultados más elevados. Los resultados se muestran en una matriz. Los totales de cada una de las etapas de vida (filas) y los impactos (columnas) indican las áreas de fuerza y las áreas de mejora en los atributos medioambientales de un producto a lo largo de todo su ciclo de vida. Cuanta mayor valoración obtengas mejor es el concepto, la valoración máxima es de 125 puntos.	Cuantitativo	NO COMPARA	SEGREGADOS

Agradecimientos

Este trabajo forma parte del proyecto de investigación UJI-A2019-10 “Obtención de necesidades cambiantes del usuario en fases conceptuales de diseño como herramienta para extender la vida útil de los productos” y al Seminario Permanente de Innovación Educativa “Creatividad en la Docencia Universitaria” (SPIECDU) de la Universitat Jaume I.

También se agradece a los estudiantes Belén Dual Alaminos y Manuel Flores Serrano, quienes han asistido en la realización de este estudio.

Referencias

- Bakker, C., den Hollander, M., Van Hinte, E., & Zijlstra, Y. (2014). *Products that last: Product design for circular business models*. TU Delft Library.
- Baumann, H., Boons, F., & Bragd, A. (2002). Mapping the green product development field: engineering, policy and business perspectives. *Journal of Cleaner Production*, 10(5), 409–425. doi:10.1016/S0959-6526(02)00015-X
- Bennett, E. B., & Graedel, T. E. (2000). Conditioned air: evaluating an environmentally preferable service. *Environmental Science and Technology*, 34(4), 541-545. doi:10.1021/es9910107
- Betz, G., & Vogl, H. (1996). *The Environmental Friendly Product: A Practical Guide for the Environmentally Conscious Development*. Luchterhand Verlag, Berlin.
- Bey, N., Lenau, T., Larsen, M. H. (1999). Oil Point: Life Cycle Evaluations without the Data Problem. In *12th International Conference on Engineering Design (ICED'99): Communication and Cooperation of Practice and Science*. Technische Universität München. Munich, 469-472.
- Bhamra, T., & Hon, B. (2004). *Design and Manufacture for Sustainable Development 2004*. John Wiley & Sons.
- Bocken, N. M. P., Allwood, J. M., Willey, A. R. & King, J. M. H. (2011). Development of an eco-ideation tool to identify stepwise greenhouse gas emissions reduction options for consumer goods. *Journal of Cleaner Production*, 19(12), 1279–1287. doi:10.1016/j.jclepro.2011.04.009
- Bocken, N. M. P., Allwood, J. M., Willey, A. R., King, J. M. H. (2012). Development of a tool for rapidly assessing the implementation difficulty and emissions benefits of innovations. *Technovation*, 32(1), 19-31. doi:10.1016/j.technovation.2011.09.005
- Bocken, N. M. P., de Pauw, I., Bakker, C. & van der Grinten, B. (2016). Product design and business model strategies for a circular economy. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 33(5), 308–320. doi:10.1080/21681015.2016.1172124
- Bovea, M. D. & Pérez-Belis, V. (2012). A taxonomy of ecodesign tools for integrating environmental requirements into the product design process. *Journal of Cleaner Production*, 20(1), 61–71. doi:10.1016/j.jclepro.2011.07.012
- Bovea, M. D. & Wang, B. (2005). Green Quality Function Deployment: a methodology for integrating customer, cost and environmental requirements in product design. *International Journal of Environmentally Conscious & Manufacturing* 12 (3-4), 9-19.
- Box, J. M. F. (1983). Extending product lifetime: prospects and opportunities. *European Journal of Marketing*, 17(4), 34–59. doi:0.1108/EUM0000000004830
- Brezet, H. & van Hemel, C. (1997). *Ecodesign: A Promising Approach to Sustainable Production and Consumption*. UNEP Ed., Paris.
- Briggs, R., & Reinig, B. (2007). Bounded Ideation Theory: A New Model of the Relationship Between Idea-quantity and Idea-quality during Ideation. *Proceedings of the 40th Hawaii International Conference on System Sciences*, USA, January 3–6.

- Byggeth, S. & Hochschorner, E. (2006). Handling trade-offs in Ecodesign tools for sustainable product development and procurement. *Journal of Cleaner Production*, 14(15-16), 1420–1430. doi:10.1016/j.jclepro.2005.03.024
- CE Designer (2019). KATCH-e project. Obtenido el 19 de mayo de 2020, desde <http://www.katche.eu>
- Charter, M. & Tischner, U. (2001). *Sustainable Solutions: Developing Products and Services for the Future*. Greenleaf Publishing Ltd., Sheffield, UK. 269-281.
- Chen, J. L., & Liu, C. C. (2003). An eco-innovative design method by green QFD and TRIZ tools. In *DS 31: Proceedings of ICED 03, the 14th International Conference on Engineering Design*, Stockholm.
- CIRAIG (International Reference Centre for the Life Cycle of Products, Processes and Services). (2015). *Circular Economy: A Critical Literature Review of Concepts*. Polytechnique Montréal, Canada.
- Circularity Calculator (2020) Obtenido el 19 de mayo de 2020, desde <http://www.circularitycalculator.com>
- Cristofari, M., Deshmukh, A. & Wang, B. (1996). Green Quality Function Deployment. *Proceedings of the 4th International Conference on Environmentally Conscious Design and Manufacturing*, Cleveland.
- Dannheim, F., Grüner, C. & Birkhofer, H. (1998). Human Factors in Design for Environment. *Proceedings of the 5th International Seminar on Life Cycle Engineering*, Stockholm.
- Davidsson, B. (1998). Modified Product Quality Tools for Improved Environmental Design in Small and Medium Sized Enterprises. *IIIEE Master's theses 98:9. International Institute for Industrial Environmental Economics*, Lund University, Lund.
- de Pauw, I. C., Karana, E., Kandachar, P., & Poppelaars, F. (2014). Comparing Biomimicry and Cradle to Cradle with Ecodesign: a case study of student design projects. *Journal of Cleaner Production*, 78, 174–183. doi:10.1016/j.jclepro.2014.04.077
- Dong, C., Zhang, C. & Wang, B. (2003). Integration of green quality function deployment and fuzzy multi-attribute utility theory-based cost estimation for environmentally conscious product development. *International Journal of Environmentally Conscious Design & Manufacturing* 11(1), 12-28.
- Eckert, C. M., Cross, N., & Johnson, J. H. (2000). Intelligent support for communication in design teams: garment shape specifications in the knitwear industry. *Design studies*, 21(1), 99-112. doi:10.1016/S0142-694X(99)00006-X
- Ecolizer (2011) Obtenido el 19 de mayo de 2020, desde <http://www.ecolizer.be>
- Ellen MacArthur Foundation, & McKinsey Center for Business and Environment. (2015). *Growth within: a circular economy vision for a competitive Europe*. Ellen MacArthur Foundation.
- Ellen MacArthur Foundation. (2015). Towards the circular economy. Obtenido el 26 de Abril de 2020, desde https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/TCE_Ellen-MacArthur-Foundation_9-Dec-2015.pdf
- European Commission. (2015). *EU Action plan for the Circular Economy*.
- European Commission. (2017). *White paper on the future of Europe: Reflections and scenarios for the EU27 by 2025*.
- Ernzer, M., & Birkhofer, H. (2005). *Requirements for environmentally friendly and marketable products. Environmentally-Friendly Product Development. Methods and Tools*. Springer-Verlag, London.
- Evans, J. L. & Bocken, N. M. P. (2014). A tool for manufacturers to find opportunity in the circular economy: www.circulareconomytoolkit.org. *KES Transactions on Sustainable Design and Manufacturing I*. 2011, 303–320.
- Frosch, D. & Gallopoulos, N. (1989). Strategies for manufacturing. *Scientific American*, 261(3), 94–102.

- Fussler, C., & James, P. (1996). *Driving Eco-innovation. A Breakthrough Discipline for Innovation and Sustainability*. Pearson Professional Ltd., London.
- Gerstakis, J., Lewis, H. & Ryan, C. (1997). *A Guide to Ecodesign: Improving the Environmental Performance of Manufactured Products*. Centre for Design at Royal Melbourne Institute of Technology, RMIT, Melbourne.
- González-García, S., García Lozano, R., Moreira, M. T., Gabarrell, X., Rieradevall i Pons, J., Feijoo, G. & Murphy, R. J. (2012). Eco-innovation of a wooden childhood furniture set: An example of environmental solutions in the wood sector. *Science of the Total Environment*. 426, 318–326. doi:10.1016/j.scitotenv.2012.03.077
- Graedel, T. (1998). *Streamlined Life-cycle Assessment*. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
- Graedel, T. E. & Allenby, B. R. (1996). *Design for Environment*. Prentice Hall, Upper Saddle River (NJ).
- Grüner, C. & Birkhofer, H. (1999). Decision support for selecting design strategies in DfE. In *Proceedings of ICED*, Vol. 99, 1089-1096.
- Halog, A., Schultmann, F. & Rentz, O. (2001). Using quality function deployment for technique selection for optimum environmental performance improvement. *Journal of Cleaner Production*, 9(5), 387-394. doi:10.1016/S0959-6526(00)00080-9
- Hanssen, O. J., Rydberg, T. & Ronning, A. (1996). *Integrating Life-cycle assessment in product development and management*. In: Curran, M.A. (Ed.), *Environmental Life Cycle Assessment*. Mc Graw Hill.
- Hemel, C. G. (1995). Tools for Setting Realizable Priorities at Strategic Level in Design for Environment. *Proceedings of the 10th International Conference on Engineering Design (ICED'95)*, Prague, 1040-1047.
- Horowitz, R. (1999). *Creative problem solving in engineering design*. PhD. dissertation, Tel-Aviv University.
- ISO, 2006. Environmental Management e Lifecycle Assessment: Principles and Framework. *ISO 14040*. ISO, Geneva, Switzerland.
- ISO, 2011. Environmental Management Systems e Guidelines for Incorporating Ecodesign. *ISO 14006*. ISO, Geneva, Switzerland
- Jones, E. (2003). *Eco-innovation: tools to facilitate early-stage workshops* (Doctoral dissertation, Brunel University).
- Johnson, E. F. & Gay, A. (1995). A practical, customer-oriented DFE methodology. *Proceedings of the IEEE International Symposium on Electronics and the Environment*, Orlando (FL), 47-50.
- Karlsson, M. (1997). *Green Concurrent Engineering: Assuring Environmental Performance in Product Development*. IIIIEE Licentiate thesis, International Institute for Industrial Environmental Economics, Lund University, Lund.
- Keoleian, G. A., Koch, J. E. & Menerey, D. (1995). *Life Cycle Design Framework and Demonstration Projects*. EPA/600/R-95/107. Environmental Protection Agency Ed., Cincinnati
- Keoleian, G. A. (1996). *Life cycle design*. Curran, MA: Environmental Life-Cycle Assessment. McGraw-Hill, New York, USA, 6.
- Kobayashi, H. (2006). A systematic approach to eco-innovative product design based on life cycle planning. *Advanced engineering informatics*, 20(2), 113-125. doi:10.1016/j.aei.2005.11.002
- Lehmann, F. (1993). *Sprint-ABC–variantenreich und dennoch monoton?*
- Lenau, T. & Bey, N. (2001). Design for environmentally friendly products using indicators. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, 215 (B), 637-645.
- Linder, M., Sarasini, S. & van Loon, P. (2017). A Metric for Quantifying Product-Level Circularity. *Journal of Industrial Ecology*. 21(3), 545–558. doi:10.1111/jiec.12552
- Linton, J. D. & Jayaraman, V. (2005). A framework for identifying differences and similarities in the managerial competencies associated with different modes of product life

- extension. *International Journal of Production Research*, 43(9), 1807–1829.
doi:10.1080/13528160512331326440
- Lofthouse, V. (2004). Investigation into the role of core industrial designers in ecodesign projects. *Design studies*, 25(2), 215-227. doi:10.1016/j.destud.2003.10.007
- López-Forniés, I., Sierra-Pérez, J., Boschmonart-Rives, J. & Gabarrell, X. (2017). Metric for measuring the effectiveness of an eco-ideation process. *Journal of Cleaner Production*, 162, 865–874. doi:10.1016/j.jclepro.2017.06.138
- Luttrupp, C. & Lagerstedt, J. (2006). Ecodesign and the ten golden rules: generic advice for merging environmental aspects into product development. *Journal of Cleaner Production*, 14(15-16), 1396-1408. doi:10.1016/j.jclepro.2005.11.022
- MacArthur, E. (2013). *Towards the circular economy*. Economic and Business Rationale for an Accelerated Transition. Cowes, UK: Ellen MacArthur Foundation
- Masui, K., Sakao, T., Kobayashi, M. & Inaba, A. (2003). Applying quality function deployment to environmentally conscious design. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 20(1), 90-106.
- Mehta, C. & Wang, B. (2001). Green quality function deployment III: a methodology for developing environmentally conscious products. *Design Manufacturing*, 4(1-2), 1-16. doi:10.1080/15320370108500198
- Meinders, H. (1997). *Point of no Return*. Philips Eco-design Guidelines (Eindhoven).
- Mesa, J., Esparragoza, I. & Maury, H. (2018). Developing a set of sustainability indicators for product families based on the circular economy model. *Journal of Cleaner Production*, 196, 1429–1442. doi:10.1016/j.jclepro.2018.06.131
- Nielsson, J., Lindahl, M. & Jensen, C. (1998). The information flow for efficient design for environmental: analysis of preconditions and presentation of a new tool. *Proceedings of CIRP, 5th International Seminar on Life-Cycle Engineering*, Stockholm, Sweden.
- Nordkil, T. (1998). Volvos vita lista. Volvo Corporate Standard, 388.
- Oberender, C. & Birkhofer, H. (2004). The eco-value analysis. An approach to assigning environmental impacts and costs to customers' demands. *Proceedings of the International Design Conference*. DESIGN 2004, Dubrovnik
- O'Hare, J. A. (2010). *Eco-innovation tools for the early stages: an industry-based investigation of tool customisation and introduction* (Doctoral dissertation, University of Bath).
- Parchomenko, A., Nelen, D., Gillabel, J., & Rechberger, H. (2019). Measuring the circular economy-A Multiple Correspondence Analysis of 63 metrics. *Journal of cleaner production*, 210, 200-216. doi:10.1016/j.jclepro.2018.10.357
- Pommer, K., Bech, P., Wenzel, H., Caspersen, N. & Olsen, S. I. (2001). *Håndbog i miljøvurdering af produkter - en enkel metode* (Handbook in environmental assessment of products - en simpel methodology). Environmental News No. 58/2001, the Danish EPA.
- Rossi, M., Germani, M. & Zamagni, A. (2016). Review of ecodesign methods and tools. Barriers and strategies for an effective implementation in industrial companies. *Journal of Cleaner Production*, 129, 361–373. doi:10.1016/j.jclepro.2016.04.051
- Rousseaux, P., Gremy-Gros, C., Bonnin, M., Henriel-Ricordel, C., Bernard, P., Floury, L., Staigre, G. & Vincent, P. (2017). "Eco-tool-seeker" A new and unique business guide for choosing ecodesign tools. *Journal of Cleaner Production*, 151, 546–577. doi:10.1016/j.jclepro.2017.03.089
- Roy, R. (2000). Sustainable product–service systems. *Futures*, 32(3-4), 289–296. doi:10.1016/S0016-3287(99)00098-1
- Russo, D., & Regazzoni, D. (2008). TRIZ Laws of evolution as eco-innovation method. *Proceedings of IDMME-Virtual Concept*, 8(10), Beijing, China.
- Saidani, M., Yannou, B., Leroy, Y., Cluzel, F., & Kendall, A. (2019). A taxonomy of circular economy indicators. *Journal of Cleaner Production*, 207, 542-559. doi:10.1016/j.jclepro.2018.10.014

- Samet, W. (2010). *Développement d'une méthode d'éco-innovation* (Doctoral dissertation, Paris, ENSAM).
- Senthilkumaran, D., Ong, S. K., Tan, B. H. & Nee, A. Y. C. (2001). Environmental life cycle cost analysis of products. *Environmental Management and Health*, 12 (3), 260-276.
- Stahel, W., & Reday-Mulvey, G. (1976). *The potential for substituting manpower for energy*. Report to the Commission of the European Communities, Brussels, (published as Stahel, W.R. and Reday-Mulvey, G. (1981), *Jobs for Tomorrow*, New York, Vantage Press).
- Stanford University (1995). *Environmental Impact and Factor Analysis*. Course ME217B Design for Manufacturability HP-FDE. Stanford University, Palo Alto (CA)
- Stevens, A. (2009). Adventures in EcoDesign of Electronic Products: 1993-2007. *Design for sustainability program publication*, 17.
- Tischner, U., Schmincke, E., Rubik, F., Proslar, M. (2000). *How to Do Ecodesign? A Guide for Environmentally and Economically Sound Design*. German Federal Environmental Agency, Berlin.
- Tolle, D., Vigon, B., Salem, M., Becker, J., Salveta, K., & Cembrola, R. (1994). Development and assessment of a pre-LCA tool. *Proceedings of 1994 IEEE International Symposium on Electronics and The Environment*, 201-206. San Francisco, USA. DOI: 10.1109/ISEE.1994.337258
- Tukker, A., Eder, P., Charter, M., Haag, E., Vercasteren, A. & Wiedmann, T. (2001). Eco-design: The State of Implementation in Europe – Conclusions of a State of the Art Study for IPTS. *The Journal of Sustainable Product Design*. 1(3), 147–161.
- Turner, S. (2009). ASIT—a problem solving strategy for education and eco-friendly sustainable design. *International Journal of Technology and Design Education*, 19(2), 221-235.
- Tyl, B., Legardeur, J., Millet, D. & Vallet, F. (2014). A comparative study of ideation mechanisms used in eco-innovation tools. *Journal of Engineering Design*. 25(10-12), 325–345. doi:10.1080/09544828.2014.992772
- Van den Berg, M. R., & Bakker, C. A. (2015). *A product design framework for a circular economy*. Product Lifetimes And The Environment.
- Vinodh, S. & Rathod, G. (2009). Integration of ECQFD and LCA for sustainable product design. *Journal of Cleaner Production Research*, 37, 1075-1091. doi:10.1016/j.jclepro.2009.12.024
- Wenzel, H., Hauschild, M. Z., & Alting, L. (2000). *Environmental Assessment of Products: Volume 1: Methodology, tools and case studies in product development* (Vol. 1). Springer Science & Business Media.
- Wimmer, W., Züst, R. & Lee, K. M. (2004). *Ecodesign Implementation. A Systematic Guidance on Integrating Environmental Considerations into Product Development*. Springer Ed., Dordrecht.
- Wimmer, W. (1999). Environmental improvements of a citrus press using the eco- design checklist method. *Proceedings of the 12th International conference on engineering design (ICED'99)*, Munich, Germany.
- Yang, C. J. & Chen, J. L. (2011). Accelerating preliminary eco-innovation design for products that integrates case-based reasoning and TRIZ method. *Journal of Cleaner Production*, 19(9-10), 998-1006. doi:10.1016/j.jclepro.2011.01.014
- Zhang, Y., Wang, H. P. & Zhang, C. (1999). Green QFD-II: a life cycle approach for environmentally conscious manufacturing by integrating LCA and LCC into QFD matrices. *International Journal of Production Research*, 37(5), 1075-1091. doi:10.1080/002075499191418