

03-040

IDENTIFICATION OF KEY ASPECTS OF CIRCULAR ECONOMY FOR INCLUSION IN LIFE CYCLE DESIGN

Ezpeleta Lascurain, Iñigo; Justel Lozano, Daniel; Zubelzu Lacunza, Julen; Bereau Mutuberria, Unai; Elizburu Oregi, Ander

Mondragon Unibertsitatea

The sustainability of society will require changes in people, organisations and public administrations. The circular economy is postulated as a driving element of this change. Nevertheless, how do we deal with this change?

This article aims to identify the key aspects of the circular economy in order to transfer them to the development teams of industrial organisations. In order to do this, first, the life cycle phases of a product and the circular economy are analysed. Afterwards, a study is carry out on methods of evaluation of durability, remanufacturability, recyclability, reparability, recoverability, updatability and reusability, as well as an analysis of the strategies used in ecodesign. Finally, it concludes with a proposal of aspects to consider in the design for the life cycle of the products that help to integrate the circular economy model in the design processes of the companies.

Keywords: *Circular economy; product life cycle; design*

IDENTIFICACIÓN DE LOS ASPECTOS CLAVE DE LA ECONOMÍA CIRCULAR PARA SU INCLUSIÓN EN EL DISEÑO PARA EL CICLO DE VIDA

La sostenibilidad de la sociedad va a requerir cambios en las personas, en las organizaciones y en las administraciones públicas. La economía circular se postula como un elemento tractor de ese cambio. Pero, ¿cómo abordar dicho cambio?

Esta comunicación tiene como objetivo identificar los aspectos clave de la economía circular para trasladarlos a los equipos de desarrollo de las organizaciones industriales. Para ello, en primer lugar, se analizan las fases del ciclo de vida de un producto y la economía circular. Después, se realiza un estudio de los métodos de evaluación de durabilidad, remanufacturabilidad, reciclabilidad, reparabilidad, recuperabilidad, actualizabilidad y reutilizabilidad, así como un análisis de las estrategias empleadas en el ecodiseño. Finalmente se concluye con una propuesta de aspectos a considerar en el diseño para el ciclo de vida de los productos que ayuden a integrar el modelo de la economía circular en los procesos de diseño de las empresas.

Palabras clave: *Economía circular; ciclo de vida de producto; diseño*

Correspondencia: Iñigo Ezpeleta. iezpeleta@mondragon.edu

Acknowledgements/Agradecimientos: Los autores agradecen la financiación de este trabajo a la facultad de ingeniería de Mondragon Unibertsitatea, IHOBE (Sociedad pública de gestión ambiental del gobierno vasco) y a Orna S.Coop.



©2019 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/>).

IDENTIFICACIÓN DE LOS ASPECTOS CLAVE DE LA ECONOMÍA CIRCULAR PARA SU INCLUSIÓN EN EL DISEÑO PARA EL CICLO DE VIDA

1. Introducción

La economía circular es un modelo de desarrollo en el que el valor de los productos, materiales y recursos se mantiene en la economía durante el mayor tiempo posible (Ihobe, 2019). Esta visión, permite fomentar un sistema regenerativo en el que, mediante el diseño, mantenimiento, reparación, reutilización, remanufactura y el reciclaje, las entradas y el desperdicio de las distintas fases se reduzcan (Geissdoerfer et al., 2017). Por ello, se consideran las siguientes estrategias clave para fomentar un modelo de economía circular; i) alargar al máximo la vida útil de los productos/materiales, ii) cerrar los ciclos y iii) minimizar el impacto en todo el ciclo de vida de los productos/materiales (Bocken et al., 2016).

Para que los equipos de desarrollo de las empresas diseñen productos o servicios considerando el modelo de economía circular resulta necesario hacerles conocedores de los aspectos clave de este modelo.

2. Objetivo

El objetivo principal de esta comunicación es definir un listado de aspectos que con su consideración permita a los diseñadores tener en cuenta los criterios de la economía circular desde las fases iniciales del diseño. Para poder llevar a cabo el objetivo principal, se plantean los siguientes objetivos secundarios:

- Definir un esquema del ciclo de vida de producto bajo la perspectiva de la economía circular.
- Identificar aspectos/medidas que sirvan para apoyar la economía circular.

Por todo ello, primero, se contextualiza la economía circular. Después, se definen las fases del ciclo de vida de un producto para la economía circular. Posteriormente, se realiza una búsqueda de aspectos que consideren las características de la economía circular. Finalmente, se presenta el listado de aspectos para considerar la economía circular en las fases iniciales del diseño y se extraen las conclusiones.

3. Fases del ciclo de vida de un producto en la economía circular

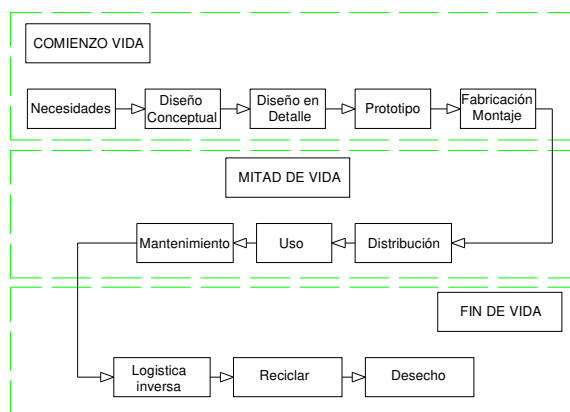
Tras la revolución industrial, las empresas fabriles adoptaron modelos económico-productivos lineales. Bajo la perspectiva de este modelo, en las empresas el ciclo de vida de los productos comenzaba con la adquisición de los recursos materiales necesarios para la producción y terminaba con la venta del producto. Este planteamiento provocó que los productos, una vez que dejaban de satisfacer las necesidades de los usuarios, terminaban bien en los vertederos o bien en las chatarrerías. Según el estudio de Ihobe (2015) desde el año 1850 hasta el año 2000 la reutilización de los productos o materiales no era una prioridad, resultaba más fácil obtener materiales nuevos pues el desechado de residuos era barato. Hoy en día, esta visión se encuentra totalmente desfasada. La concienciación social en que los recursos naturales no son inagotables, las políticas de protección medioambiental (Ecoembes, 2019) y las directivas de gestión y reciclado de residuos impulsadas desde la Unión Europea (UE, 2018d, 2018a, 2018b, 2018c) han provocado un cambio radical en la forma de concebir el ciclo de vida de un producto.

En este sentido, en el estudio presentado por Terzi et al. (2010), dentro del ciclo de vida de producto se incluye una fase de recogida del producto por parte de la empresa y otra fase con el posterior reciclado del mismo (Figura 1). Este estudio divide en 3 grandes fases el ciclo de vida de un producto: comienzo de vida del producto, mitad de vida de producto y final de vida de producto.

- Comienzo de vida del producto: En esta fase se incluye el diseño del producto y la fabricación del mismo.
- Mitad de vida del producto: En esta fase se incluyen las distribución, uso y mantenimiento o reparación del producto.
- Final de vida del producto: En esta fase se incluyen la logística inversa o recogida de producto y el reciclado.

En la Figura 1, se presenta una adaptación del esquema del ciclo de vida de producto del citado estudio.

Figura 1. Esquema de ciclo de vida de un producto



Nota: Esquema adaptado de Terzi et al. (2010).

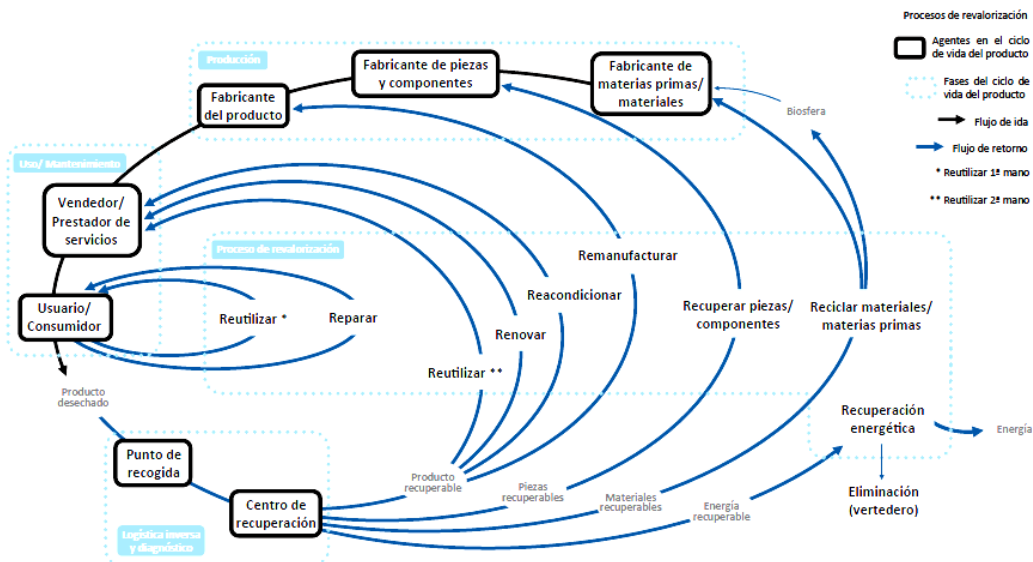
La visión del ciclo de vida descrita en el estudio de Terzi et al. (2010) se alinea con el modelo de economía circular descrito en la introducción. Puesto que la economía circular busca un crecimiento económico de manera sostenible (Ihobe, 2015) lo cual coincide con la descripción de la fase final de vida de producto realizada en el estudio de Terzi et al. (2010). Tal y como se ha comentado en el apartado de la introducción, una de las estrategias planteadas para fomentar la economía circular consiste en cerrar los ciclos. Es decir, reducir la entrada de los materiales y la producción de desechos vírgenes, cerrando los bucles o flujos económicos y ecológicos de los recursos (RAAE Andalucía, 2019). En este sentido, en el estudio de Ihobe (2015) con el fin de promover la economía circular se proponen 8 bucles o ciclos cerrados de cara a alargar la vida útil de los productos mediante la aplicación consecutiva de los mismos, permitiendo así el aprovechamiento máximo de los productos y sus recursos tal y como se muestra en la Figura 2.

Los 8 ciclos cerrados identificados por Ihobe (2015) son los siguientes:

- Logística inversa – Reciclado – Prototipado - Preserie - Fabricación y montaje – Distribución – Uso – Mantenimiento
- Logística inversa – Reciclado – Fabricación y montaje – Distribución – Uso – Mantenimiento

- Logística inversa – Remanufactura – Fabricación y montaje – Distribución – Uso – Mantenimiento
- Logística inversa – Reacondicionado – Distribución – Uso – Mantenimiento
- Logística inversa – Renovar – Distribución – Uso – Mantenimiento
- Logística inversa – Reutilizar – Distribución – Uso – Mantenimiento
- Mantenimiento – Reutilizar – Uso
- Mantenimiento – Reparar – Uso

Figura 2. Ciclos cerrados en la economía circular Ihobe (2015)



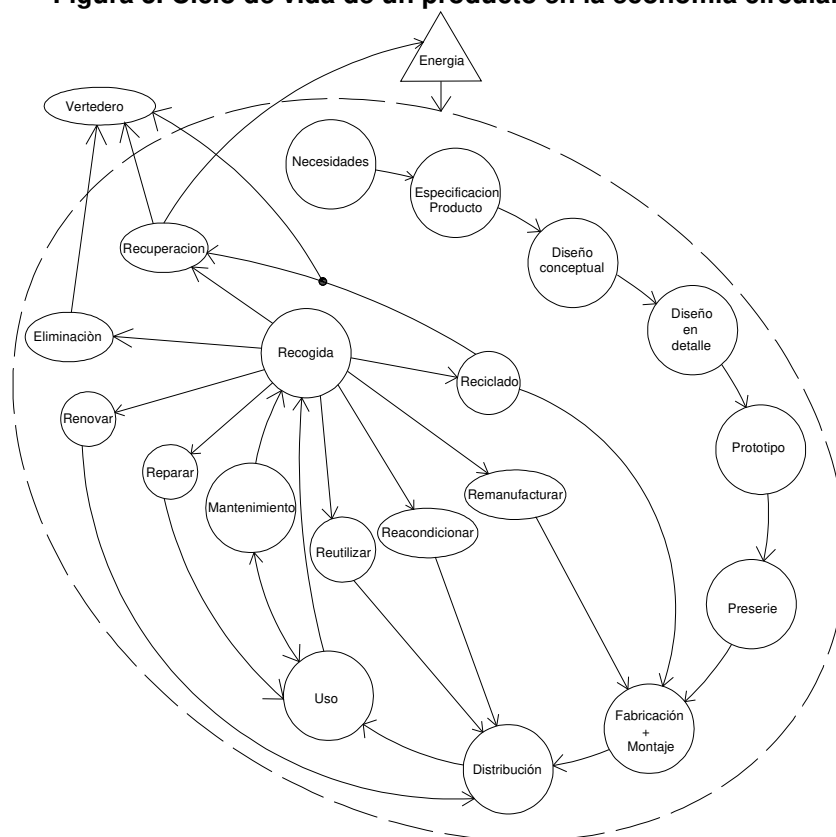
Para una correcta comprensión de los 8 ciclos, a continuación, se adaptan las definiciones dadas por Ihobe (2015) para los términos empleados en los procesos que apoyan la economía circular.

- Remanufacturar: Proceso por el cual un producto se devuelve a un estado de calidad equivalente o superior al original.
- Reacondicionar: Proceso por el cual un producto se devuelve a su estado original mediante la reparación de sus componentes dañados. La calidad del producto reacondicionado puede ser inferior al original
- Renovar: Proceso por el cual un producto se devuelve a un estado estético similar al original, incluye la reparación de sus componentes dañados.
- Reutilizar: Acción consistente en volver a utilizar un producto sin realizar ningún cambio en el mismo o con pequeños cambios.
- Reparar: Proceso por el cual se arregla un fallo en el producto.
- Reciclar: Proceso por el cual se extraen las materias primas y los materiales útiles de un producto para fabricar nuevos productos.
- Recuperación energética: Procesos por los cuales se transforman los materiales de un producto en energía.
- Eliminación en vertedero: Proceso de enterramiento de residuos en lugares controlados.

Ante este planteamiento de ciclos cerrados, parece lógico visualizar el ciclo de vida del producto también de una forma circular y plasmar en esa misma visión los distintos bucles cerrados que se presentan en el ciclo de vida de los productos bajo la perspectiva del modelo de economía circular. Por ello, en la Figura 3 se propone un esquema en el que se

combinan el esquema de la Figura 1 y de la Figura 2. En la misma, se representan 6 bucles o ciclos internos cerrados.

Figura 3. Ciclo de vida de un producto en la economía circular



Del análisis del esquema de ciclo de vida de la Figura 3, resulta obvio concluir que las fases de especificación, diseño conceptual y diseño en detalle resultan claves para conseguir alargar la presencia de los productos en el mercado a través de los 6 ciclos cerrados. Puesto que las decisiones tomadas en estas fases iniciales dictaminan cómo será el transcurrir del producto en las fases posteriores. Por ello, durante estas fases resulta clave trasladar a los equipos de diseño los aspectos que mediante su consideración permiten alargar al máximo el tiempo de presencia de los productos en el mercado, generando la menor cantidad de desecho durante su ciclo de vida. Así, en el apartado 4 se procede a identificar dichos aspectos.

4. Identificación de aspectos para considerar la economía circular

Con el objetivo de identificar aspectos que sirvan a los equipos de desarrollo a tener en cuenta criterios relativos a la economía circular, se ha realizado un análisis de las normas elaboradas por la comisión técnica CEN-CLC/TC 10, un análisis de las estrategias de ecodiseño propuestos en Ihobe (2000) y una búsqueda de métodos de evaluación.

4.1 Análisis de normas de eco-diseño para productos relacionados con la energía

De cara a identificar aspectos de la economía circular que hagan considerar la misma a los equipos de diseño, en primer lugar, se ha realizado un análisis de las normas elaboradas por la comisión técnica CEN-CLC/TC 10. Se trata de una serie de normas desarrolladas para la normalización de los requisitos del eco-diseño relativos a la eficiencia de los

productos relacionados con la energía, (Energy related Products, ErP). Dicha comisión técnica se crea a partir de una solicitud realizada por la Comisión Europea a través del documento M/543 (2015) a las organizaciones de estandarización europeas CEN, Cenelec y ETSI. Son tres los objetivos establecidos en la solicitud: i) alargar la vida de los productos, ii) capacitar para la reutilización los componentes o reciclar los materiales de los productos al final de su ciclo de vida y, iii) utilizar o reutilizar componentes y/o materiales reciclados en los productos. A continuación, se facilita un breve resumen de las ocho normas elaboradas por la comisión técnica: EN 45552 (CEN-CLC/TC 10, 2019a), EN 45553 (2019), EN 45554 (CEN-CLC/TC 10, 2017), EN 45555 (CEN-CLC/TC 10, 2019c), EN 45556 (2019c), EN 45557 (2019d), EN 45558 (2018), EN 45559 (CEN-CLC/TC 10, 2018b).

La norma EN 45552 propone un método general para la evaluación de la durabilidad de un ErP. En la norma se define la durabilidad de un ErP como la capacidad para realizar una función en determinadas condiciones de uso, mantenimiento y reparación hasta alcanzar un estado límite que signifique el fin de vida útil.

La norma EN 45553 propone un método general para la evaluación de la facilidad para la remanufactura de un ErP. La capacidad de remanufactura de un producto relacionado con la energía se determina en función a la facilidad de realizar los siguientes siete pasos que son considerados claves: i) inspección, ii) desmontaje, iii) limpieza, iv) reprocesamiento, v) remontaje, vi) pruebas y, vii) almacenamiento.

La norma EN 45554 proporciona un método aplicable a productos relacionados con la energía que permite evaluar la capacidad de reparar, reutilizar y mejorar un producto. Para ello, considera la mejorabilidad de un producto como la característica que permite que todas o algunas de sus partes sean mejoradas o reemplazadas por separado sin tener que reemplazar todo el producto.

La norma EN 45555 facilita métodos generales para la evaluación de la reciclabilidad y la recuperabilidad de un ErP. Los índices de reciclabilidad y recuperabilidad se calculan en porcentajes en función a la masa.

La norma EN 45556 proporciona un método general para la evaluación de la proporción de los componentes re-utilizados en un ErP. Esta norma presenta dos evaluaciones. Una en base al porcentaje de masa de los componentes reutilizados y, la otra, en base al número de componentes reutilizados.

La norma EN 45557 aporta un método general para la evaluación de la proporción del material reciclado de un ErP. El índice de reciclado es un porcentaje del material no primario utilizado en la producción total.

La norma EN 45558 facilita un método general para declarar el uso de materiales críticos en un ErP. Se define un listado con los materiales considerados como críticos y así controlar su uso.

La norma EN 45559 proporciona métodos generales para obtener información relacionada con aspectos de la eficiencia en un ErP. El objetivo de esta norma es establecer una metodología general para la obtención de datos relacionados con la eficiencia. Esta última normativa se basa en todas las anteriores.

En la Tabla 1 se recogen las normas, los conceptos analizados en las mismas, así como los aspectos identificados.

Tabla 1. Listado de normas elaboradas por CEN-CLC/TC 10

Norma	Concepto	Aspectos	
EN 45552	Durabilidad	Impacto medioambiental de producción Impacto medioambiental de uso Eficiencia energética Ratios de fallos Estados límites típicos, fallos y mal uso	
EN 45553	Facilidad de remanufactura	Inspección Limpieza Remontaje Almacenamiento	Desmontaje Reprocesamiento Pruebas
EN 45554	Reparar, reutilizar y actualizar	Secuencia de desmontaje Tipo de cierre, número y visibilidad Herramientas necesarias Desmontaje Entorno de trabajo Nivel de habilidad	
EN 45555	Reciclabilidad y recuperabilidad	Índice de reciclabilidad Índice de recuperabilidad	
EN 45556	Componentes reutilizados	Índice de componentes reutilizados	
EN 45557	Material reciclado	Índice de material reciclado	
EN 45558	Uso de materias primas críticas	Listado de materias primas críticas	
EN 45559	Eficiencia	Durabilidad Capacidad de re-manufacturar Capacidad de reparar, reutilizar y actualizar Reciclabilidad y recuperabilidad Proporción de componentes re-utilizados Proporción de material reciclado Uso de materias primas críticas	

4.2 Análisis de las estrategias de ecodiseño

De cara a seguir identificando aspectos de la economía circular que permitan a los equipos de diseño contemplarlos en el desarrollo de sus productos, se ha analizado el documento Ihobe (2000). En la misma, se definen estrategias de ecodiseño para el ciclo de vida y las medidas asociadas a cada una de ellas. En la Tabla 2 se recogen las medidas identificadas y la etapa de ciclo de vida asociada.

Tabla 2. Medidas asociadas al ecodiseño

Etapa	Medidas
Obtención y consumo de materia prima y componentes	Materiales reciclables Materiales poliméricos miscibles entre sí Materiales más cercanos (transporte)

	Reducción del volumen (transporte) Reducción del número de componentes Integración de componentes Diseñar para desmontar Diseño modular
Producción en fábrica	Técnicas de producción alternativas Disminución de la producción de residuos Reducción los consumibles de producción Minimización del transporte del material y componentes
Distribución y venta	Maximización de envíos Reducir peso y volumen del embalaje Reutilización de embalaje/ envase Utilizar envases reutilizables Reducción del transporte
Uso o Utilización	Disminución del consumo de energía/ combustible Mejora de la desmontabilidad
Fin de vida	Generación de residuos Refabricar/ modernizar

4.3 Métodos de evaluación

Para identificar aspectos que apoyan la economía circular y no se contemplan en los apartados 4.1 y 4.2, se ha realizado una búsqueda de métodos de evaluación para los 13 conceptos descritos en el apartado 4.1 en el buscador Google Académico: durabilidad, facilidad de remanufactura, reparar, reutilizar, actualizar, reciclabilidad, recuperabilidad, componentes reutilizados, material reciclado, uso de materias primas críticas y eficiencia.

En la Tabla 3 se recopilan las normas y métodos de evaluación identificados, indicando autor y año, concepto evaluado y medidas empleadas.

Tabla 3. Listado de métodos analizados

Autor y año	Concepto	Medidas
Huisman, Boks, & Stevels (2000)	Reciclabilidad	Eco-indicador 95 Eco-indicador 99 Potencial tóxico
Rose, Stevels, & Ishii (2000)	Definición de la estrategia de fin de vida	Fin de vida Ciclo tecnológico Nivel de integración Número de componentes Ciclo de diseño Razón de rediseño
Zettler, Essenpreis, & Vornberger (2000)	Reciclabilidad	Costes del nuevo material Venta de desechos Costes de los desechos Reproceso Logística

Hiroshige, Nishi, & Oshashi (2001)	Reciclabilidad	Masa de las partes Coste de reciclabilidad y desmontaje Reciclabilidad de materiales Recuperación térmica Vertidos
Oyasato, Kobayashi, & Haruki (2001)	Reciclabilidad	Desmontaje Degradación de materiales (calor, luz, químicos y suciedad) Simulación Monte Carlo
Z. Liu et al. (2002)	Reciclabilidad	Compatibilidad Accesibilidad de los componentes Coste/beneficio de reciclar Habilidad del personal Tiempo de desmontaje Número de herramientas para desmontar
Kuo (2006)	Reciclaje	Coste de piezas Cantidad de piezas Dimensiones de piezas Materiales Aspectos de sostenibilidad y medio ambiente Método y relación de montaje Método de desmontaje
Yasantha et al. (2009)	Durabilidad	Durabilidad en función a la cantidad de reparación y mantenimiento necesario
Sakundarini et al. (2012)	Reciclabilidad	Política Economía Tecnología Propiedades Entorno
Ardente & Mathieux (2014)	Durabilidad	Durabilidad
Citado por Ardente, Mathieux, & Tecchio (2016)	Reparación	Separabilidad de partes Disponibilidad de piezas de repuesto Indicación de problemas de software Accesibilidad a la información por parte de técnicos y empresas Instrucciones para la reparación
	Reutilización	Facilidad de desmontaje Accesibilidad Mantenibilidad Separabilidad Capacidad de actualizar Modularidad Seguridad Test funcional

Alfieri et al. (2018)	Durabilidad y reparabilidad	Producción, fabricación y suministro de materiales Distribución Uso, mantenimiento y reparación Impacto de fin de vida
Cordella, Sanfelix, & Alfieri (2018)	Durabilidad y reparabilidad	Principales funciones y partes del producto Estados límites, usos erróneos, frecuencia de fallo y partes afectadas Frecuencia temporal de reparación Pasos de desmontaje y dificultad de sustitución de piezas Frecuencia de actualizaciones Consideraciones técnicas y de mercado Impactos ambientales y económicos

5. Listado de aspectos a considerar en las fases del ciclo de vida de producto

Una vez identificados los aspectos que pueden apoyar a los equipos de diseño a tener en cuenta la economía circular en sus productos, se han recogido todas ellas de forma resumida en la Tabla 4. En la misma tabla se han clasificado los 40 aspectos identificados en base a 7 departamentos/áreas de la empresa en las cuales deberían de ser considerados y que por consiguiente deberían de estar presentes en los equipos de desarrollo. Los departamentos considerados son los siguientes:

1. Oficina técnica
2. Departamento de Compras
3. Departamento Comercial
4. Departamento de Montaje
5. Fabricación
6. Departamento Distribución y venta
7. Departamento Mantenimiento y servicio post venta

Tabla 4. Aspectos que apoyen la economía circular

nº	Aspectos	Departamento involucrado						
		1	2	3	4	5	6	7
1	Accesibilidad de los componentes	x			x			x
2	Actualización	x		x				x
3	Ciclo tecnológico	x		x				x
4	Compatibilidad de materiales	x	x					
5	Componentes reutilizados		x	x	x			x
6	Costes de reciclabilidad y desmontaje	x						x
7	Dimensiones de piezas	x			x		x	x

nº	Aspectos	Departamento involucrado						
		1	2	3	4	5	6	7
8	Diseño modular	x			x	x		x
9	Disminución de producción de residuos	x		x		x		
10	Disminución de consumo de energía/ combustible					x		
11	Disponibilidad de piezas de repuesto		x					x
12	Durabilidad	x	x	x				x
13	Eficiencia energética	x		x				
14	Eliminación de vertedero	x		x				
15	Instrucciones para la reparación	x						x
16	Integración	x			x	x		
17	Logística						x	
18	Mantenimiento	x						x
19	Materia primas críticas	x	x	x	x	x		x
20	Materias escasas	x	x					
21	Maximización de envíos			x			x	
22	Minimización del transporte de material y componentes	x					x	
23	Modularidad	x			x			x
24	Número de componentes	x			x			x
25	Reacondicionamiento		x	x				x
26	Reciclabilidad	x		x				x
27	Recuperabilidad	x		x				x
28	Recuperabilidad energética	x		x				
29	Reducción de consumibles de producción	x				x		
30	Reducción de peso y volumen de embalaje	x					x	
31	Reducción de transporte						x	
32	Modernizar	x		x		x		
33	Remanufacturación	x	x	x		x		x
34	Renovación		x	x				
35	Reparabilidad	x		x	x			x
36	Reutilización	x	x	x				x
37	Reutilización del embalaje/ envase	x					x	

nº	Aspectos	Departamento involucrado						
		1	2	3	4	5	6	7
38	Separabilidad de partes	x						x
39	Sistema fin de vida	x						
40	Técnicas de producción alternativas	x				x		

5. Conclusiones

En esta comunicación se han presentado 40 aspectos que deben ser considerados por los equipos de diseño de las empresas que pretendan desarrollar productos bajo el modelo de la economía circular. Los 40 aspectos se presentan clasificados en base a los siete departamentos implicados en los equipos de desarrollo, de forma que estos departamentos puedan valorar la idoneidad o no de incluirlos como especificaciones del producto a desarrollar. Además, en la comunicación se presenta el esquema del ciclo de vida de producto bajo la perspectiva de la economía circular, lo cual puede ayudar a los equipos de diseño a visualizar de una forma clara cuales pueden ser los ciclos cerrados mediante los cuales lograr alargar la presencia de sus productos en el mercado.

6. Referencias

- Alfieri, F., Cordella, M., Sanfelix, J., & Dodd, N. (2018). An Approach to the Assessment of Durability of Energy-related Products. *Procedia CIRP*, 69, 878–881.
- Ardente, F., & Mathieux, F. (2014). Environmental assessment of the durability of energy-using products: method and application. *Journal of Cleaner Production*, 74, 62–73.
- Ardente, F., Mathieux, F., & Tecchio, P. (2016). *Analysis of durability, reusability and reparability*. Ispra, Italy.
- Bocken, N. M. P., De Pauw, I., Bakker, C., & Van Der Grinten, B. (2016). Journal of Industrial and Production Engineering Product design and business model strategies for a circular economy Product design and business model strategies for a circular economy.
- CEN-CLC/TC 10. (2017). EN 45554 General methods for the assessment of the ability to repair, reuse and upgrade energy related products.
- CEN-CLC/TC 10. (2018a). EN 45558 General method to declare the use of critical raw materials in Energy-related Products.
- CEN-CLC/TC 10. (2018b). EN 45559 Methods for providing information relating to material efficiency aspects of Energy-related Products.
- CEN-CLC/TC 10. (2019a). EN 45552 General method for the assessment of the durability of energy-related products.
- CEN-CLC/TC 10. (2019b). EN 45553 General method for the ability to re-manufacture.
- CEN-CLC/TC 10. (2019c). EN 45555 General methods for assessing the recyclability and recoverability of energy-related products.
- CEN-CLC/TC 10. (2019d). EN 45556 General method for assessing the proportion of-reused components in Energy-related Products.
- CEN-CLC/TC 10. (2019e). EN 45557 General method for assessing the proportion of recycled material content in Energy-related Products.
- Cordella, M., Sanfelix, J., & Alfieri, F. (2018). Development of an Approach for Assessing the Reparability and Upgradability of Energy-related Products. *Procedia CIRP*, 69, 888–892.
- Ecoembes. (2019). Ecoembes ® | ✓ 20 Leyes de Medio Ambiente (Actualizado 2018). Retrieved April 3, 2019, from <https://www.ecoembes.com/es/planeta-recicla/blog/20->

- leyes-de-medio-ambiente-que-debes-conocer
European Commission. (2015). M/543.
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P., & Jan Hultink, E. (2017). The circular economy - A new sustainability paradigm? *Elsevier*, 757–768.
- Hiroshige, Y., Nishi, T., & Oshashi, T. (2001). Recyclability evaluation method (REM) and its applications (p. 6). Tokyo, Japan, Japan: IEEE.
- Huisman, J., Boks, C., & Stevels, A. (2000). Environmentally weighted recycling quotes - better justifiable and environmentally more correct. San Francisco, CA, USA: IEEE.
- Ihobe. (2000). *Manual práctico de ecodiseño*.
- Ihobe. (2015). *Ecodiseño para una Economía Circular*.
- Ihobe. (2019). Temas ambientales - Economía circular. Retrieved April 12, 2019, from <https://www.ihobe.eus/economia-circular>
- Kuo, T. C. (2006). Enhancing disassembly and recycling planning using life-cycle analysis. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 22(5–6), 420–428.
- Liu, Z. F., Liu, X. P., Wang, S. W., & Liu, G. F. (2002). Recycling strategy and a recyclability assessment model based on an artificial neural network. *Journal of Materials Processing Technology*, 129(1–3), 500–506.
- Oyasato, N., Kobayashi, H., & Haruki, K. (2001). Development of recyclability evaluation tool. Tokyo, Japan, Japan: IEEE.
- RAAE Andalucía. (2019). Qué es la economía circular y la importancia de reciclar para ésta.
- Rose, C., Stevels, A., & Ishii, K. (2000). *A new approach to end-of-life design advisor (ELDA)*.
- Sakundarini, N., Taha, Z., Ghazilla, A. R., Hanim, S., Rashid, A., & Gonzales, J. (2012). A framework of integrated recyclability tools for automobile design. *International Journal of Industrial Engineering* (Vol. 19).
- Terzi, S., Bouras, A., Dutta, D., Garetti, M., & Kiritsis, D. (2010). Product lifecycle management-from its history to its new role. *Int. J. Product Lifecycle Management*, 4(4), 360–389.
- UE. (2018a). Directiva modificativa 1999/31/EC del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de abril de 2018 sobre vertido de residuos, (PE-CONS 10/18). Retrieved from <http://data.consilium.europa.eu/doc/document/PE-10-2018-INIT/en/pdf>
- UE. (2018b). Directiva modificativa 2008/98/EC del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de abril de 2018, sobre residuos (PE-CONS 11/18). Retrieved from <http://data.consilium.europa.eu/doc/document/PE-11-2018-INIT/en/pdf>
- UE. (2018c). Directiva modificativa 94/62/EC del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de abril de 2018 sobre envases y residuos de envases, de PE-CONS 12/18. Retrieved from <http://data.consilium.europa.eu/doc/document/PE-12-2018-INIT/en/pdf>
- UE. (2018d). Directivas modificativas 2000/53/EC, 2006/66/EC y 2012/19/EU del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de Abril de 2018, en fin de vida de vehiculos, en pilas acumuladores y residuos de pila y acumuladores, en residuos de equipamientos electricos y elec. Retrieved from <http://data.consilium.europa.eu/doc/document/PE-9-2018-INIT/en/pdf>
- Yasantha Abeyesundara, U. G., Babel, S., & Gheewala, S. (2009). A matrix in life cycle perspective for selecting sustainable materials for buildings in Sri Lanka.
- Zettier, T., Essenpreis, M., & Vornberger, K. (2000). Evaluation of the recyclability of vehicles during the product development phases (p. 11).