

03-037

ANALYSIS OF THE CIRCULARITY METRICS APPLICABILITY IN THE CONCEPTUAL PRODUCT DESIGN STAGE

Ruiz-Pastor, Laura; Mulet Escrig, Elena; Chulvi, Vicente; Royo, Marta

Universitat Jaume I

In circular design, the products keep the resources in circulation during all life cycle phases as long as possible, without generating waste. The circular design helps to expand the Circular Economy in replacement of the current predominant linear system. Several metrics to assess how circular is a product and methods to assess the circularity improvement potential of a product have been published. Some of these metrics require detailed information of the product and others are based on qualitative evaluations of several circularity criterion between two opposite extreme situations. The conceptual design stage is characterized by creativity and divergency to reach new designs. These designs are not completely defined, but must be analysed in order to select one design alternative to develop between all the proposals generated. This work analyses how some of the existing circular metrics can be applied to measure circularity in the conceptual design stage. For this purpose, some of these metrics and methods are compiled and compared, analysing their complexity level, comparing them and identifying the information about the product needed to use them.

Keywords: *Circular design; Circularity indicators; Circular Economy; Conceptual design*

ANÁLISIS DE LA APLICABILIDAD DE MÉTRICAS DE MEDICIÓN DE LA CIRCULARIDAD EN LA FASE DE DISEÑO CONCEPTUAL DE PRODUCTOS

En el diseño circular los productos mantienen los recursos en circulación durante todas las fases del ciclo de vida del producto el mayor tiempo posible, sin generar residuos. El diseño circular ayuda pues en gran medida a la expansión de la Economía Circular en sustitución del actual sistema predominantemente lineal. En los últimos tiempos, se han publicado varias métricas para valorar cuánto de circular es un producto y métodos para valorar el potencial de mejora de la circularidad de un producto. Algunas de estas métricas requieren de información detallada del producto y otras se basan en valoraciones cualitativas de varios criterios de circularidad entre dos situaciones extremas opuestas. La fase de diseño conceptual se caracteriza por la creatividad y divergencia para llegar a diseños novedosos. Éstos están poco definidos, pero deben analizarse para seleccionar una entre todas las alternativas generadas. Este trabajo analiza cómo se pueden aplicar algunas de las métricas de circularidad existentes para medir la circularidad en la fase de diseño conceptual. Para ello, se recopilan y comparan algunas de estas métricas y métodos, analizando el nivel de complejidad, realizando una comparación entre ellas e identificando la información que se requiere conocer para su uso.

Palabras clave: *Diseño circular; Indicadores de circularidad; Economía Circular; Diseño conceptual*

Correspondencia: Elena Mulet emulet@uji.es



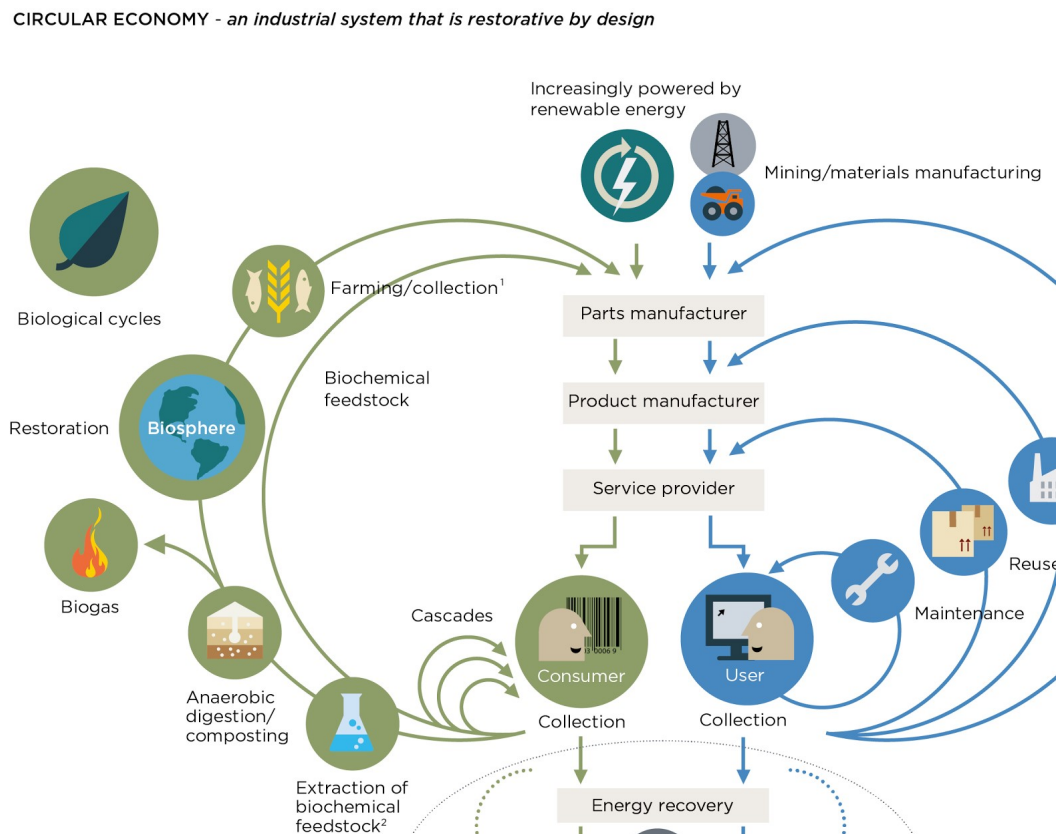
©2019 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

ANÁLISIS DE LA APLICABILIDAD DE MÉTRICAS DE MEDICIÓN DE LA CIRCULARIDAD EN LA FASE DE DISEÑO CONCEPTUAL DE PRODUCTOS

1. Introducción y objetivo

La Economía Circular (EC) consiste en mantener los recursos, tanto biológicos como técnicos en circulación el mayor tiempo posible, en contraposición de la Economía Lineal (EL) que se basa en el modelo clásico de extraer-producir-usar-tirar (European Commission, 2015). En la Figura 1 se puede ver como se distribuyen los distintos “loops” de circularidad, siendo más favorable la acción cuanto más cercana es al usuario, es decir, cuanto más cerca permanece el recurso del usuario durante más tiempo, más se favorece la circularidad (Ellen MacArthur Foundation, 2013).

Figura 1. Modelo de “loops” de circularidad de Ellen MacArthur Foundation (2013)



Debido a la limitación de recursos, es necesaria la implantación de la EC, minimizando los residuos y manteniendo los recursos en circulación el mayor tiempo posible. Así, uno de los objetivos del modelo de EC es mantener la utilidad del producto, sus componentes y materiales para conservar su valor. Con ello se pretende minimizar la necesidad de nuevos aportes de material y energía y reducir las pérdidas medioambientales asociadas con la extracción de recursos, emisiones y residuos. Los diseñadores de producto juegan, pues, un papel crucial en el tránsito hacia la EC, ya que desde fases tempranas de diseño es desde donde se puede promover que los productos se mantengan con el usuario el mayor tiempo posible con el ahorro de recursos que ello conlleva. Según la fundación Ellen MacArthur

(2013), el diseño de productos siguiendo el modelo de EC se basa en los siguientes principios:

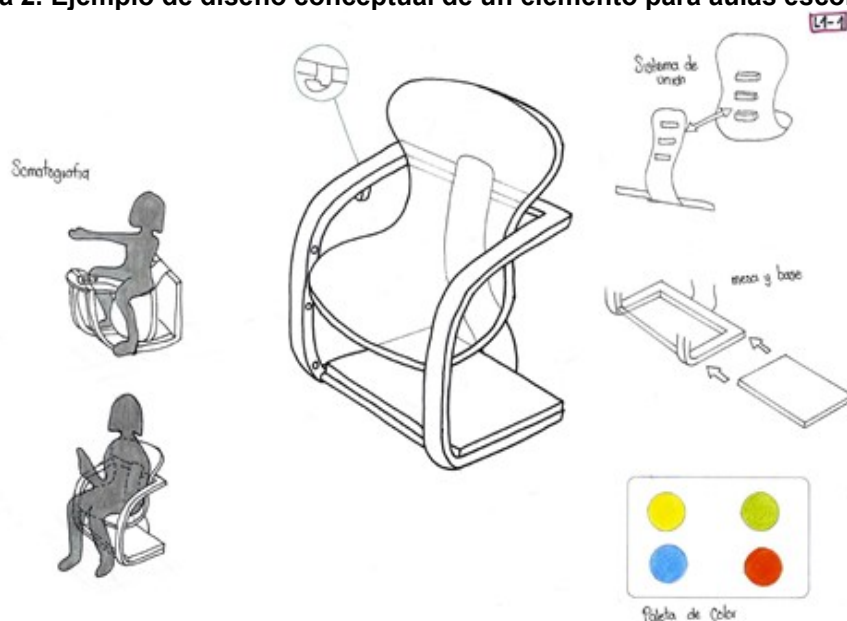
- Diseñar sin residuos: establecer los materiales de los distintos componentes de los productos para encajar en el ciclo biológico facilitando, entre otras cosas, el desensamblaje y la renovación de los mismos.
- Fortalecer la resiliencia a través de la diversidad: alargar el tiempo de vida del producto aumentando su versatilidad (productos modulares o convertibles, por ejemplo).
- Dependier de la energía de fuentes renovables, si el producto lo necesita.
- Pensar en sistemas: entender y tener en cuenta cómo los componentes del producto se influncian entre ellos, con el resto del producto y con el contexto de uso.
- “Waste is food”: reintroducir los productos y materiales otra vez en la biosfera en cuanto a nutrientes biológicos se refiere.

Actualmente, no existe un método estandarizado para medir la circularidad de los productos (European Environment Agency, 2016), si bien se han propuesto varias métricas para valorar cuánto de circular es un producto y métodos para valorar el potencial de mejora de la circularidad de un producto. La medida de la circularidad es un tema bastante tratado, esto se puede ver en varios casos de estudio como son los realizados por Mesa et al. (2018), Parchomenko et al. (2019) o Saidani et al. (2019), entre otros. Este último define diez categorías para la clasificación de indicadores como, por ejemplo: los “loops” a los que hace referencia; el tipo de usuario de la métrica, diseñador, o cargo de dirección de la empresa; o el nivel de aplicación, un producto, la empresa entera con sus proveedores, etc. Por otra parte, Parchomenko et al. (2019) analizan 63 métricas de circularidad, incluyendo varias que se centran en el producto.

En la mayoría de estos casos, se asume que se conoce información muy específica acerca del producto como, por ejemplo, masas de materiales o eficiencias de producción y, además, sólo se centran en algunos aspectos muy concretos dentro del amplio paraguas de la Economía Circular para realizar la medición. Por otra parte, es necesario adaptar los indicadores tradicionales de sostenibilidad y los indicadores de medición de circularidad para ofrecer una medición global, completa y coherente de la circularidad en el diseño de producto (Mesa et al., 2018).

El diseño conceptual es la primera fase desarrollada en el camino del diseño de producto. Se parte de la necesidad y del problema a resolver. En esta fase, se obtiene una primera solución, que tiene muchas características de la solución final, pero en la que todavía se deben considerar ciertos aspectos como, por ejemplo, calidad, fabricación o datos exactos de masas y costes que no se han tenido en cuenta todavía. El diseño conceptual determina el principio de solución que establece el camino a seguir para llegar a la solución final estableciendo las principales funciones del producto (Pahl & Beitz, 1996). Las soluciones generadas son abiertas y esquemáticas y es en esta etapa donde es más relevante la creatividad. Las soluciones de diseño planteadas en esta fase consisten en bocetos y dibujos que no están escalados. También se describe la solución con textos y esquemas. En una solución conceptual aún queda mucho trabajo a realizar para que el producto esté definido para poderse fabricar, pero ya se sientan las bases de qué producto se pretende hacer. Por tanto, no hay espesores, ni se saben las cantidades de materiales ni necesariamente se conoce el material. Es en esta fase donde se toman las decisiones más importantes en el proceso de diseño (Cross, 1999).

Figura 2. Ejemplo de diseño conceptual de un elemento para aulas escolares



Así, es mejor tener en cuenta ciertos aspectos del producto, como es la circularidad, en fases tempranas del diseño, para poder sacar el mayor partido posible a las posibilidades de diseño. Hacer modificaciones y adaptaciones conforme el diseño de producto se va desarrollando, es cada vez más costoso y complejo, por lo que es primordial tener en cuenta los factores que pueden aumentar la circularidad del producto desde fases tempranas de diseño.

El objetivo de este trabajo, por tanto, es estudiar la complejidad de valorar la circularidad en propuestas de diseño conceptual de productos, según las métricas y métodos existentes, así como detectar las carencias existentes a la hora de realizar la valoración de la circularidad de las propuestas de diseño.

2. Metodología

Para poder estudiar cómo de aplicables son las métricas existentes en la fase de diseño conceptual de productos, se han seleccionado las que se han considerado más relevantes por ser las más extendidas y las que aplican un mayor número de criterios o loops de la economía circular.

De cada una de las métricas se ha analizado la fase del ciclo de vida del producto en la que se aplica; los parámetros que utiliza para generar el resultado; si los datos de entrada y salida con cualitativos o cuantitativos. A continuación, se ha valorado la objetividad de cada métrica, estableciendo una escala de 1 a 4, siendo 1 la mayor objetividad y 4 la menor objetividad posible (Tabla 1).

Tabla 1. Escala de objetividad establecida

Valor objetividad	Descripción
1	Datos objetivos y resultado objetivo
2	Datos objetivos, resultado interpretable
3	Datos interpretables, resultado objetivo
4	Datos interpretables y resultado interpretable

Seguidamente, se indica la posibilidad o no de utilizar estas herramientas con conceptos de producto, tanto si la métrica está pensada para utilizarse con conceptos como si no lo está. Para ello, se ha diferenciado si la herramienta y/o cada uno de sus parámetros, según el caso, se puede aplicar en conceptos en todo caso, en ningún caso o depende de lo desarrollado que esté el concepto.

- Se puede aplicar en todo caso si los datos necesarios están establecidos independientemente de lo definido que esté el concepto. Por ejemplo, la valoración de si ya existe un mercado para ese producto o de si ya hay un servicio de reparación disponible.
- No se puede aplicar en ningún caso si el dato no se puede estimar o definir a nivel conceptual. Por ejemplo, la frecuencia de fallo del producto o la facilidad de encontrar fallos.
- Depende del grado de desarrollo del concepto si el parámetro podría estar establecido o no, dependiendo de la exactitud de la propuesta conceptual. Por ejemplo, el origen (reciclado, virgen, etc.) del material del que estará realizado un componente o producto, el peso del mismo.

Así, después de haber realizado el análisis, se ha obtenido una visión general de la posible aplicación o no de las métricas más representativas para la medición de la circularidad en el diseño conceptual de productos.

3. Métricas y aplicación a un caso práctico

A continuación, se describen los métodos e indicadores que se van a analizar, una vez establecidos los criterios de análisis. Se muestra, para cada una de ellas un ejemplo de aplicación a un concepto sencillo, el cual se muestra en la Figura 2. Se considera que el asiento es de plástico reciclable y la estructura de madera reciclada.

- Material Circularity Indicator (MCI) (Ellen MacArthur Foundation, 2015).

El MCI mide la circularidad de un producto en base a la proporción y la efectividad del reciclaje de los materiales de las materias primas y del destino de los materiales. También tiene en cuenta la reciclabilidad y el porcentaje de materiales reutilizados en el producto, el tiempo de vida y la unidad funcional.

En cuanto a su aplicabilidad a diseños conceptuales, si al proponer el concepto no se indica nada sobre los materiales, la métrica no es aplicable. Si se indica, es necesario estimar valores numéricos de los parámetros a partir de las descripciones cualitativas del concepto y de los croquis. Para el diseño de la Figura 2, los valores referentes a la reutilización, se han establecido como 0% ya que en el concepto no se indica nada sobre material reutilizado. Por otra parte, se ha estimado que el “Feedstock recycled” es del 50%, ya que en la definición del concepto se indica que una parte del producto estaría hecha de madera reciclada. Se ha estimado que cada uno de los componentes del producto representa el aproximadamente el 50% del mismo. Así, el valor de “Destination recycled”, también es del 50%, representando al componente realizado con plástico reciclable. En cuanto a las eficiencias de reciclado, se han establecido según los valores que indican Rigamonti et al. (2009). Finalmente, los dos parámetros referentes al tiempo de vida y al uso se han establecido según productos similares de la industria.

Tabla 2. Aplicación del MCI

Parámetro	Datos de entrada	Obtención del dato
Feedstock reused (% de masa)	0%	Estimado porque el concepto define el material
Feedstock recycled (% de masa)	50%	Estimado porque el concepto define el material
Feedstock recycling efficiency (% de masa)	90%	Dato obtenido
Destination reused (% de masa)	0%	Estimado porque el concepto define el material
Destination recycled (% de masa)	50%	Estimado porque el concepto define el material
Destination recycling efficiency (% de masa)	75%	Dato obtenido
Lifespan (años producto/años referencia del mercado)	1	Estimado según mercado
Functional units (número de usos respecto a producto de referencia)	1	Estimado según mercado

Al aplicar la métrica sobre el concepto, el resultado obtenido ha sido de un MCI de 0,50, pero. Este valor variará según las estimaciones que haga la persona que aplique la métrica, ya que a nivel conceptual no se conocen los datos que necesita el indicador y sólo pueden estimarse. Aun así, se valora que si el croquis está bien definido es posible obtener un valor aproximado y hacer comparativas de la circularidad entre varios conceptos.

- Circular Economy Toolkit (Bocken & Evans, 2013).

Consiste en una herramienta web muy sencilla y rápida de responder. Analiza todas las fases del ciclo de vida del producto, desde su diseño, hasta su fin de vida y la posibilidad de convertirse en un producto-servicio. Se aplica seleccionando un valor entre dos posiciones extremas de criterios relacionados con la circularidad (Figura 3). Cuando se termina de aplicar se obtiene una visión global sobre los aspectos referentes a la Economía Circular a mejorar en el producto. A la hora de aplicarla al concepto que se está utilizando de ejemplo (Figura 2), algunos de los parámetros ha sido muy difícil estimarlos por lo que el resultado obtenido no es tampoco preciso.

Además, es muy importante conocer bien el producto que se está valorando porque si no, no es posible puntuarlo correctamente. Por ejemplo, se ha establecido una puntuación media para el coste de reparación frente al coste del producto ya que se ha estimado que estos costes serían similares a los de los productos ya existentes en el mercado. Igual para el coste de recolección y para la probabilidad de fallo del producto. La manera de estimar estos parámetros ha sido analizando otros productos ya existentes. Otro evaluador, con el mismo concepto y la misma métrica, podría haber tomado otro criterio para establecer la puntuación. Para productos muy novedosos aún sería más complicado de aplicar.

Figura 3. Criterios para valorar la reparación del Circular Economy Toolkit.

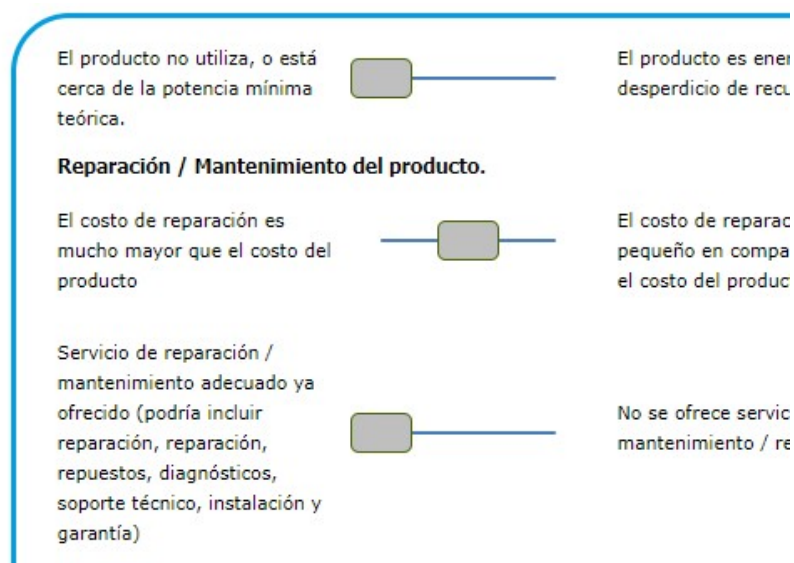


Tabla 3. Aplicación del Circular Economy Toolkit (no se muestra completa)

Parámetro	Datos de entrada	Obtención del dato
El costo de reparación es mucho mayor que el costo del producto	Puntuación media	Estimado
Costos de recolección costosos para devolver el producto a la fábrica	Puntuación media	Estimado
Las fallas del producto rara vez ocurren	Puntuación alta	Estimado
No se utiliza material en exceso, el producto está totalmente desmaterializado	Puntuación media	Definido por el croquis
No se utilizan materiales escasos en el producto	Puntuación alta	Definido porque el concepto indica materiales
Servicio de mantenimiento ya ofrecido	Puntuación alta	Definido
Todos los productos ya vendidos como servicio	Puntuación media	Definido

El resultado obtenido, como se muestra a continuación, ha sido que el mayor potencial de mejora del producto recae sobre lo referente a la refabricación (Figura 4). Aplicar la métrica con conceptos es factible, pero asumiendo que los resultados no son precisos. En cuanto a la comparación de productos, se considera posible si se explicita el razonamiento aplicado para decidir cada posición y se aplica de forma coherente en todos los conceptos que se comparen.

Figura 4. Resultados de la aplicación del Circular Economy Toolkit



- A metric for quantifying product-level circularity (Linder et al., 2017).

Mide la circularidad de los materiales que componen el producto conociendo su coste. Se aplica sobre productos completamente definidos. Calcula el porcentaje de circularidad de los materiales en base a la comparación del valor económico del material de los componentes “circulares” frente al valor económico del material total del producto. Este método considera circulares aquellos componentes que han seguido uno de los loops de circularidad.

Ecuación 1. Circularidad según Linder et al. (2017)

$$C = \frac{\text{economic value of recirculated parts}}{\text{economic value of all parts}}$$

$$C = c_1 \cdot \frac{v_1}{v_1 + \dots + v_n} + \dots + c_n \cdot \frac{v_n}{v_1 + \dots + v_n}$$

v = coste total del material de un componente

c = fracción del coste del material circular de un componente frente al coste total del material de un componente

Tabla 4. Aplicación de la métrica de Linder et al. (2017)

Parámetro	Datos de entrada	Obtención del dato
Coste del plástico reciclado	x €	
Coste del plástico no reciclado	0€	Se estimaría del mercado
Coste de la madera reciclada	y €	
Coste de la madera no reciclada	0€-	

Utilizando los datos de la Tabla 4 en la Ecuación 1, se obtiene que:

$$C1\&2=1*(x/(x+y))+ 1*(y/(x+y))=1$$

El resultado obtenido es que el producto es 100% circular, ya que los materiales que se indican en el croquis son reciclados. El resultado no contempla otros pequeños materiales que se definirían en el diseño del detalle y que podrían hacer variar a la baja este resultado. Además, para obtener el coste es necesario estimar una cantidad de material basándose sólo en el croquis, por lo que se pierde precisión, ya que los volúmenes sólo se definen a groso modo. Por otra parte, y al igual que con el MCI, si los materiales no estuvieran establecidos en el diseño conceptual, sería imposible estimar los valores necesarios para utilizar la métrica con conceptos.

- Circular Spidermap (van den Berg & Bakker, 2017).

Consiste en un gráfico de araña formado por 5 aspectos relacionados con la circularidad: prueba de futuro, desmontaje, mantenimiento, “rehacer” (alargamiento de vida útil) y reciclaje. Para cada categoría hay una escala de mínimo a máximo cumplimiento dividida en 4 posiciones. Por ejemplo, en la de desmontaje, la escala abarca desde “difícil de desensamblar, siguiendo con “desensamblaje limitado con herramientas”, con “fácil desensamblaje” y hasta el máximo nivel que es “rápido desensamblaje”. Para puntuar la silla del concepto en la escala de desmontaje se puede apreciar a groso modo qué cantidad de operaciones de montaje harían falta, pero no es posible identificar la velocidad exacta de desmontaje. Así pues, no sería posible asignar directamente estos valores. La única forma de poder estimarlo, ha sido investigar productos existentes y asimilar que la situación de desmontaje sería similar para el concepto. No se considera un método adecuado para conceptos, ya que en el desarrollo del concepto se podría llegar a diseños con un desmontaje mucho más óptimo, o más complejo, que el de las soluciones que se han visto en el mercado. En este caso y en base a lo explicado, se ha asignado el valor de “fácil desensamblaje” al concepto (Tabla 4).

Tabla 5. Aplicación del Spidermap de van der Berg & Bakker (2017)

Parámetro	Datos de entrada	Obtención del dato
Prueba de futuro	4 de 4 – Diseño atemporal	Definido
Desensamblaje	3 de 4 - Fácil desensamblaje	Estimado
Mantenimiento	2 de 4 – Fácil limpieza	Estimado
“Rehacer”	3 de 4 – Posibilidad de actualización	Definido
Reciclado	4 de 4 – Materiales separados	Definido ya que en este caso el concepto indica materiales

El mantenimiento, por otra parte, se ha establecido como fácil ya que tamaño estimado no es muy grande y las superficies de las que consta el producto son sencillas. Para establecer este valor se han observado productos similares existentes. Igual que en todos los casos

anteriores, al ser parámetros demasiado definidos para estar establecidos en un concepto, la estimación realizada es personal del evaluador, pudiendo variar la puntuación del concepto si éste cambia. Al aplicar el ejemplo, se han cuantificado las posibles puntuaciones dentro de cada parámetro en una escala del 1 al 4, obteniendo una puntuación de 16 de un máximo de 20.

4. Análisis y resultado

A continuación, en las Tablas 6 y 7, se muestra el análisis realizado. En primer lugar, después de la identificación de cada una de las métricas se ha explicado la información que se necesita conocer sobre el producto o concepto para aplicarla, así como si estos datos y los resultados que la herramienta proporciona son cualitativos o cuantitativos.

En el caso de MCI (Ellen MacArthur Foundation, 2015) y de la métrica de Linder et al. (2017), son métricas no diseñadas para la fase conceptual de diseño, éstas se pueden utilizar en conceptos si se disponen o se estiman los datos necesarios, ya que estos son muy concretos, lo que no suele ser posible trabajando con diseños conceptuales. Por lo que en estos dos casos la posibilidad de utilizarse con conceptos es muy difícil. En el caso del Circular Economy Toolkit (Bocken & Evans, 2013), la posibilidad de uso con conceptos varía para cada parámetro de la herramienta.

El Circular Spider Map (van den Berg & Bakker, 2017) tiene varios parámetros con los que puede haber dificultades para realizar la medición, ya que esta se debe basar en productos ya existentes y en el criterio del evaluador, por lo que puede suponer resultados diferentes en cada medición e inexactos, estos parámetros son: desmontaje, mantenimiento y “rehacer”. Por otra parte, los aspectos referentes al reciclado, se podrán valorar solo si en el concepto ya se han definido los materiales. El parámetro de prueba de futuro sí que se puede medir correctamente. A la hora de comparar varios conceptos con la herramienta, el resultado obtenido solo es útil si la medición de todos los conceptos se realiza por el mismo evaluador, ya que, al ser medidas subjetivas el criterio puede cambiar al cambiar de persona.

5. Conclusión

Aunque existen distintos métodos para medir la circularidad, la oferta para valorar propuestas de diseño conceptual es escasa, hay carencias para evaluar la circularidad de conceptos, siendo esto una necesidad para la correcta implantación de la Economía Circular en el diseño de producto. Las métricas existentes evalúan parámetros muy concretos de forma aislada, tales como masas y costes. Es necesario un método que evalúe la circularidad de conceptos de forma global y sin excluir ninguno de los aspectos a tener en cuenta para asegurar la circularidad del producto que se está desarrollando.

Tabla 6: Análisis de las métricas I

Métrica	Referencia	Fase/s de diseño en la que se aplica	Qué información se necesita	Tipo de datos de entrada	Tipo de datos de salida	Objetividad
MCI	Ellen MacArthur Foundation (2015)	Productos desarrollados	<p>Cantidad de material reutilizado antes y después del uso</p> <p>Cantidad de material reciclado antes y después del uso</p> <p>Eficiencia del proceso reciclaje antes y después del uso</p> <p>Tiempo de vida del producto y de uno similar de la industria</p> <p>Unidad funcional del producto y de uno similar de la industria</p>	Cuantitativos	Cuantitativos	1
Circular Economy Toolkit	Bocken & Evans (2013)	Productos desarrollados (Puede servir para indicar el potencial de mejora en fases de desarrollo)	<p>Hay que posicionar el concepto que se está diseñando o evaluando entre tres posiciones (de más a menos circular) para distintos parámetros referentes a los siguientes aspectos del producto (entre 2 y 12 parámetros para cada grupo):</p> <ul style="list-style-type: none"> -Diseño, fabricación, distribución (por ejemplo, cantidad de materiales utilizados o reciclabilidad de los mismos) -Uso (por ejemplo, tiempo de vida o energía) -Reparación/mantenimiento (por ejemplo, acceso a componentes o servicio de reparación) -Reutilización/Redistribución (por ejemplo, tiempo de vida o mercado de segunda mano) -Refabricación (por ejemplo, facilidad de desensamblaje o costes de devolución a fábrica) -Producto como servicio (si hay mercado o no de servicios para ese producto) -Reciclado del producto en el fin de vida (facilidad de separar de materiales y variedad de materiales utilizados) 	Cualitativos	Cualitativos	3
A metric for quantifying product-level circularity	Linder et al. (2017)	Productos desarrollados	Costes y masas de los componentes "recirculados" del producto que se está evaluando	Cuantitativos	Cuantitativos	1
Circular Spider Map	van den Berg & Bakker (2017)	Distintas fases del proceso de diseño	<p>Hay que posicionar el concepto que se está diseñando o evaluando entre cuatro posiciones (de menos a más circular) para cinco parámetros referentes a los siguientes aspectos del producto:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Prueba de futuro (tiempo de vida útil) -Desmontaje (facilidad y rapidez) -Mantenimiento (limpieza y reparabilidad) -Remake (aumento de tiempo de vida a través de la diversidad y versatilidad del producto: producto modular, regulable, etc.) -Reciclaje (materiales utilizados) 	Cualitativos (con posibilidad de cuantificarse fácilmente)	Cualitativos (con posibilidad de cuantificarse fácilmente)	3

Tabla 7: Análisis de las métricas II

Métrica	Referencia	Se puede aplicar directamente con conceptos	No se puede aplicar directamente con conceptos	Se puede aplicar dependiendo de cómo está desarrollado	Cómo se podría aplicar a conceptos	Dificultades para utilizar con conceptos
MCI	Ellen MacArthur Foundation (2015)		Para todos los parámetros		Aunque no sea aplicable a los conceptos, un diseñador podría hacer estimaciones a groso modo de los distintos valores que pide la herramienta para calcular lo circular que es el concepto que se está desarrollando y para comparar distintas opciones de diseño	Se necesitan datos exactos sobre cantidades de material, eficiencias de procesos y tiempo de vida de los que, a veces, no se dispone en la fase de diseño conceptual
Circular Economy Toolkit	Bocken & Evans (2013)	Para los siguientes parámetros: -REPARACIÓN: servicio de reparación ya disponible -REUTILIZACIÓN: existencia de mercado de segunda mano y ventas de segunda mano ya realizadas -PRODUCTO COMO SERVICIO: existencia de mercado para vender el producto como servicio y productos ya vendidos como servicio	Para los siguientes parámetros: -USO: frecuencia de fallo del producto -REPARACIÓN/MANTENIMIENTO: coste de reparación y facilidad o dificultad de encontrar fallos	Todos los demás parámetros	Al no requerir datos numéricos, aun los parámetros que no se pueden aplicar, se podrían estimar a groso modo, escogiendo una posición entre las que define la herramienta para el parámetro.	Al mismo tiempo, los parámetros con los que trabaja la herramienta son muy específicos por lo que la estimación que se tienen que realizar para valorar un concepto puede no ser correcta
A metric for quantifying product-level circularity	Linder et al. (2017)		Para todos los parámetros		Aunque no sea aplicable a los conceptos, un diseñador podría hacer estimaciones a groso modo de los distintos valores que pide la herramienta para calcular lo circular que es el concepto que se está desarrollando y para comparar distintas opciones de diseño	Se necesitan datos exactos sobre cantidades de material y costes de los que no se dispone en la fase de diseño conceptual
Circular Spider Map	van den Berg & Bakker (2017)	Para los siguientes parámetros: -PRUEBA DE FUTURO	Para los siguientes parámetros: -DESMONTAJE -MANTENIMIENTO -“REHACER”	Para los siguientes parámetros: -RECYCLE	La herramienta es aplicable a diseños conceptuales si se estiman algunos de los parámetros en base a productos ya existentes en el mercado	Según lo desarrollado que esté el concepto que se está evaluando, puede haber dificultades para establecer una puntuación en algunos de los parámetros

Referencias

- Bocken, N., & Evans, J. (2013). CE Toolkit. Obtenido el 9 de Abril de 2019, desde <http://circulareconomytoolkit.org/Assessmenttool.html>
- Cross, N. (1999). *Métodos de diseño: estrategias para el diseño de productos*. Limusa.
- Ellen MacArthur Foundation. (2013). Towards the circular economy. Obtenido el 9 de Abril de 2019, desde https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/TCE_Report-2013.pdf
- Ellen MacArthur Foundation. (2015). Circularity indicators—An approach to measuring circularity. Obtenido el 9 de Abril de 2019, desde www.ellenmacarthurfoundation.org/programmes/insight/circularity-indicators.
- European Commission. (2015). *EU Action plan for the Circular Economy*. Bruselas
- European Environment Agency (EEA). More from Less—Material Resource Efficiency in Europe; European Environment Agency (EEA): Copenhagen, Denmark, 2016; p. 151
- Linder, M., Sarasini, S., & van Loon, P. (2017). A Metric for Quantifying Product-Level Circularity. *Journal of Industrial Ecology*, 21 (3), 545-558.
- 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.
- Pahl, G., & Beitz, W. (1996). Conceptual design. En Ken Wallace (Ed.), *Engineering Design. A systematic Approach*, (pp. 139-198). Londres: Springer.
- Parchomenko, A., Nelen, S., Gillabel, J., & Rechberger, H. (2018). Measuring the circular economy - A Multiple Correspondence Analysis of 63 metrics. *Journal of Cleaner Production*, 210, 200-216.
- Rigamonti, L., Grosso, M. & Sunseri, MC. (2009). Influence of assumptions about selection and recycling efficiencies on the LCA of integrated waste management systems. *Int J Life Cycle Assess*, 14, 411–419.
- Saidani, M., Yannou, B., Leroy, Y., Cluzel, F., & Kendall, A. (2019). A taxonomy of circular economy indicators. *Journal of Cleaner Production*, 207, 542-559.
- Van den Berg M. R., & Bakker, C. A. (2015). A product design framework for a circular economy. Proceedings of *the PLATE Conference*, Nottingham, UK, 17-19 June 2015.