

ECONOMÍA CIRCULAR Y EFICIENCIA.

Jaime Sánchez Ortiz
Facultad de Ciencias Sociales y de la Comunicación
Campus de Jerez de la Frontera ("La Asunción")
Avda. de la Universidad s/n
11405 Jerez de la Frontera (Cádiz)

Rosario Del Río Sánchez
Facultad de Ciencias Económicas y empresariales
Avenida Enrique Villegas s/n, 11002
Cádiz (Cádiz),

Vanessa Rodríguez Cornejo
Facultad de Ciencias Sociales y de la Comunicación
Campus de Jerez de la Frontera ("La Asunción")
Avda. de la Universidad s/n
11405 Jerez de la Frontera (Cádiz)

Teresa García Valderrama
Facultad de Ciencias Económicas y empresariales
Avenida Enrique Villegas s/n, 11002
Cádiz (Cádiz),

Área Temática: Dirección y Organización.

RESUMEN:

El objetivo general de este trabajo es seleccionar aquellos indicadores que nos permitan llegar a medir la eficiencia de las empresas de economía circular (EC), estableciendo en un futuro un indicador múltiple con varias dimensiones dependiendo de si se trata de entradas o salidas en el modelo, que luego serán validadas por las empresas en la muestra en estudio.

La hipótesis inicial es la necesidad apremiante de medir los esfuerzos realizados por las compañías que practican los principios de la economía circular, en primer lugar, debido a la necesidad de contar con medidas de desempeño específicas, evaluar su eficiencia, tanto global como de proceso, y poder tomar medidas económicas y ambientales y decisiones de mejora social. En segundo lugar, como en otros países, demostrar que estas empresas son eficientes produce un efecto de llamada para más empresarios que desean cambiar sus principios de gestión a los de EC.

SUMMARY:

The general objective of this work is to choose the indicators that allow us to measure the efficiency of circular economy companies, establishing in the future a multiple indicator with several dimensions depending on whether it is inputs or outputs in the model, which then They will be validated by the companies in the sample under study.

The starting hypothesis is the pressing need to measure the efforts made by companies that practice circular economy principles, firstly because of the need to have specific performance measures, to assess their efficiency, both global and process, and to be able to take Economic, environmental and social improvement decisions. Second, as in other countries, demonstrating that these companies are efficient produces a call-effect for more entrepreneurs willing to change their management principles to those of EC

PALABRAS CLAVES: Economía circular, indicadores, eficiencia, recursos.

KEY WORDS: Circular economy, indicators, efficiency, resources.

1. Introducción

El modelo de producción actual se ha vuelto casi insostenible debido principalmente a una serie de consecuencias que se derivan del mismo, como las altas emisiones de gases efecto invernadero; una creciente competencia por el acceso a recursos cada vez más escasos, que incrementan el riesgo de las cadenas de suministros y han generado una alta volatilidad en el precio de las materias primas y grandes cantidades de residuos.

La sociedad actual ha tomado conciencia sobre la situación del planeta, por ello, diversas organizaciones a nivel mundial han llevado a cabo con éxito experiencias de aplicación de principios de economía circular (EC) (Moriguchi, 2007), en las que han logrado una producción óptima con el mínimo consumo de recursos naturales, a la par que la mínima emisión de gases efecto invernadero y desperdicio al reutilizar y reciclar los desechos (Wua, 2014).

En el ámbito de la Unión Europea se ha actuado a nivel legislativo para paliar las consecuencias de los sistemas de producción lineal, emitiendo una serie de comunicados desde el año 2015 propiciando que los distintos estados miembros aprueben normas reguladoras sobre protección del medio ambiente y reducción de agentes contaminantes.

La necesidad de conservación y regeneración de nuestro entorno, implica optimizar el uso de recursos, por lo que es vital ser eficiente, analizar las variables y aspectos dentro de los ciclos tanto biológicos como productivos que nos permitan desarrollar modelos de gestión eficientes. Por tanto, se hace necesario el diseño de un modelo de medida de la eficiencia para las empresas que aplican principios de EC.

Para implantar modelos de gestión de EC se deben considerar a nivel macro a todos los actores, ya que, los recursos naturales son claves como elemento esencial de la sostenibilidad, especialmente en cuanto a recursos escasos se refiere. Si adicionalmente estamos ante un recurso esencial, se debe gestionar desde la óptica del bien público estratégico, con atención a su carácter de bien básico a garantizar y a los principios de equidad, sostenibilidad y calidad.

Estamos ante modelo económico que ha de transformar la sociedad a fin de que ésta perviva en el futuro, por lo que los sistemas de evaluación de las medidas que toman las organizaciones en torno a la EC son esenciales. De nada sirve implantar medidas de valorización de residuos, por ejemplo, si no somos capaces de medir la eficiencia de dichas medidas y, lógicamente, mejorarlas a través de la retroalimentación que proporcionan indicadores fiables y adaptados al nuevo contexto en el que las empresas han de desarrollarse.

Un modelo completo de indicadores en EC debe satisfacer las necesidades de todos los participantes (compañías individuales e industria, Sociedad y Nación) y estar basado en tres perspectivas: impacto ambiental, beneficio económico y escasez de recursos (Banaite y Tamosiuniene, 2016).

Es por todo esto, que el objetivo de este trabajo es definir estos indicadores y establecer modelos de medida de Eficiencia de los procesos y productos de la economía circular, en sus diferentes manifestaciones, modelos que presentan utilidad tanto para las organizaciones como para los usuarios externos que se relacionan con ella.

Por ello, en el presente estudio, en primer lugar se ha planteado la necesidad de medir la eficiencia en aquellas organizaciones que aplican los principios en EC. Esta medición se realizará a través de indicadores cuya definición y establecimiento no están exentos de dificultad, debido a esto, en segundo lugar analizamos los problemas para medir la eficiencia en EC y las limitaciones para definir indicadores que cuantifiquen la eficiencia. En tercer lugar proponemos una revisión bibliográfica de los principales modelos de eficiencia en economía circular, así como los indicadores que se han empleado y por último, se presentan las conclusiones más relevantes del estudio.

2. Economía circular.

A finales del s. XX resurge el concepto de economía circular ante la necesidad de cambiar la relación existente entre las personas y el mundo material (Strasser, 2000, Siegle 2006; Mathews, 2011; Lieder and Rashid, 2016). El modelo de producción actual se ha vuelto casi insostenible debido principalmente a una serie de consecuencias que se derivan del mismo, como las altas emisiones de gases de efecto invernadero; una creciente

competición por el acceso a recursos cada vez más escasos, que incrementan el riesgo de las cadenas de suministros y han generado una alta volatilidad en el precio de las materias primas (Comisión Europea, 2014) y grandes cantidades de residuos. En relación a estos últimos, la sociedad está tomando conciencia sobre la necesidad de reducir su producción e incrementar su reciclaje y reutilización.

Stahel (1982), definió, en la década de los 80, la economía circular cómo un "bucle espiral" en el que se intenta reducir al mínimo los consumos de energía y el deterioro medioambiental sin frenar el crecimiento de las organizaciones. En el s.XXI, Ellen Macarthur Foundation (2013) indica que *"La Economía Circular es reparadora y regenerativa y pretende conseguir que los productos, componentes y recursos en general mantengan su utilidad y valor en todo momento, distinguiendo entre ciclos técnicos y biológicos"*.

El principal objetivo de la economía circular es que los recursos naturales consumidos en la producción tengan una vida ilimitada a través de la reutilización de los productos, una vez que estos se convierten en desechos y de los residuos que genera el propio proceso de producción. Esto podría solucionar, en parte, la creciente demanda de recursos naturales cada vez más escasos.

La economía circular ofrece soluciones eficaces, pues armoniza las ambiciones de crecimiento económico y protección ambiental (Lieder y Rashid, 2016). Al cerrar los ciclos de la materia, el agua y la energía, hace posible que la economía crezca a la par que reduce las extracciones del medio natural, de esta manera los residuos de unos se convierten automáticamente en los recursos de otros. Convirtiéndose en la economía de la recuperación, la reutilización y la recreación (Frérot, 2014).

A nivel mundial está corrientemente tomando una gran relevancia motivada, quizás, porque la sociedad actual es la primera sociedad concienciada sobre la situación del planeta. Concretamente en la U.E. se han realizado importantes avances en el ámbito de la economía circular. La Comisión Europea ha emitido diversos comunicados cuyo principal objetivo es que los distintos países miembros legislen e instrumentalicen las políticas necesarias que faciliten la aplicación en los distintos sectores de la economía, de principios de economía circular. Para ello ha establecido una serie de metas relacionadas

con la economía circular, a alcanzar dentro del horizonte "Europa 2020" (Comisión Europea, 2015, 2017).

Por tanto, la economía circular es, actualmente, una corriente que la sociedad en general y las empresas en particular deben aplicar por dos motivos principalmente: en primer lugar, conservar el medio ambiente y, en segundo lugar, imperativos legales.

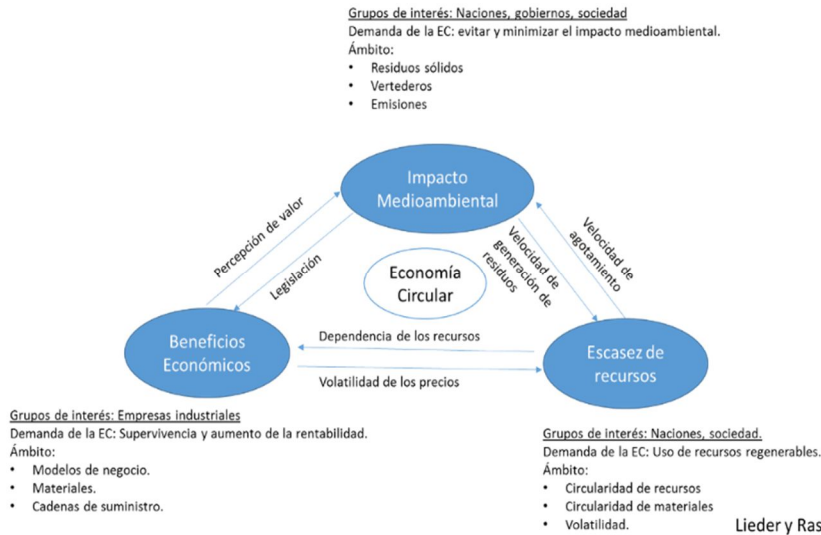
La necesidad de conservación y regeneración de nuestro entorno, implica optimizar el uso de recursos, por lo que es vital ser eficiente, analizar las variables y aspectos dentro de los ciclos tanto biológicos como productivos que nos permitan desarrollar modelos de gestión eficientes. Lo que justifica la necesidad de un modelo de medida de la eficiencia para las empresas que aplican principios de economía circular.

Para implantar modelos de gestión de Economía Circular se deben considerar a nivel macro a todos los actores, ya que, los recursos naturales son claves como elemento esencial de la sostenibilidad, especialmente en cuanto a recursos escasos se refiere. Si adicionalmente estamos ante un recurso esencial, se debe gestionar desde la óptica del bien público estratégico, con atención a su carácter de bien básico a garantizar y a los principios de equidad, sostenibilidad y calidad.

Como punto de partida el modelo de Liedner y Raschid (2016) ilustra el compromiso e interacción que debe existir entre los gobiernos, la sociedad y el sector empresarial.

Para este nuevo modelo de gestión, son necesarios, por tanto, indicadores que integren estos objetivos; modelos de gestión que ayuden a la toma de decisiones enfocadas no tanto a una rentabilidad inmediata como a un crecimiento estable y sostenido; y una recuperación de residuos y productos que generen nuevas líneas de negocio o bien se reincorporen a los procesos productivos ya desarrollados.

Figura 1. Planteamiento integral de la Economía Circular.



Estamos ante modelo económico que ha de transformar la sociedad a fin de que ésta perviva en el futuro, por lo que los sistemas de evaluación de las medidas que toman las organizaciones en torno a la economía circular son esenciales. De nada sirve implantar medidas de valorización de residuos, por ejemplo, si no somos capaces de medir la eficiencia de dichas medidas y, lógicamente, mejorarlas a través de la retroalimentación que proporcionan indicadores fiables y adaptados al nuevo contexto en el que las empresas han de desarrollarse.

3. Problemas para medir la eficiencia en economía circular.

La definición de indicadores de eficiencia en economía circular requiere de una alta complejidad (Potting et al., 2016). Según el Consejo Consultivo Europeo de Ciencias Académicas (EASAC, 2016) los investigadores encuentran dificultades para establecer indicadores que midan los niveles de desempeño de la economía circular en las organizaciones, es decir, definir indicadores que midan la reducción, reutilización y el reciclaje de los residuos. Por tanto, se hace necesario informar a los empresarios e investigadores sobre cómo pueden evaluar el impacto de la economía circular en los niveles de eficiencia de las organizaciones.

A su vez, Bocken et al., (2017) afirma que en muchas ocasiones las empresas no pueden proponer soluciones a problemas derivados de la economía circular por la escasez de indicadores y metas, es decir, por el escaso conocimiento sobre las alternativas que produce la economía circular y sus beneficios económicos al mundo empresarial y a la sociedad en general al tratarse una nueva rama científica de estudio. Haas et al. (2015)

explica la necesidad de establecer una serie de indicadores confiables como herramientas para medir y cuantificar las mejoras que genera la economía circular. Esta afirmación está sustentada en La Comisión Europea que también ha reconocido esta necesidad de indicadores de circularidad a través de su plan de acción para la Comunidad Europea (Comunidad Europea, 2015) afirmando que “para evaluar el progreso hacia una economía más circular y la eficacia de la acción a nivel nacional y de la UE, es importante tener un conjunto de indicadores confiables”.

Por tanto, en este epígrafe, se muestra que dimensiones debe tener en cuenta un directivo a la hora de definir un indicador de economía circular para intentar solventar los principales problemas que se han encontrado diversos autores a la hora de medir los niveles de eficiencia en economía circular, de manera que sin un conocimiento y sin unos indicadores adecuados, siempre existirá ciertas limitaciones para poder medir el impacto de la economía circular en la eficiencia (Winans et al., 2017). Linder et al. (2017) subrayan una necesidad urgente de revisar explícitamente las soluciones disponibles para medir la circularidad, a fin de encontrar soluciones a sus diferentes debilidades, o identificar algunas complementariedades.

Como respuesta a este número creciente de indicadores en la economía circular difusos y complejos, en este epígrafe, tratamos de explicar a través de un revisión bibliográfica exhaustiva las diferentes fases que debe tener en cuenta los investigadores y empresarios para definir de manera adecuada este tipo de indicadores: en primer lugar, explicaremos como definir un indicador, en segundo lugar las dimensiones que debe tener en cuenta para definir ese indicador y en tercer lugar, explicamos las diferentes limitaciones que se han encontrado los investigadores a la hora de medir la economía circular.

Específicamente con respecto a la economía circular, los indicadores deben de tener una finalidad dirigida hacia las prácticas de economía circular, para que realmente mida el impacto deseado sobre la eficiencia como trampolín para una transición hacia más prácticas de economía circular (Kalmykova et al., 2018). Para ello, se debe tener en cuenta sus diferentes usos potenciales (Linder et al., 2017), el nivel de rendimiento que reportan, así como el impacto de la regulación sobre este tipo de actividad como indicadores clave de rendimiento (Thomas y Birat, 2013). En respuesta a la complejidad de medida de estos indicadores, el investigador debe basarse en las interrelaciones de las diferentes fases de

la cadena de valor de la empresa, proporcionando indicadores que incluyan la implementación de dichas actividades (Verberne, 2016). Definir unos buenos indicadores en economía circular, permite cuantificar sus efectos sobre la eficiencia de la organización y supone una fuente de información relevante para los directivos y empresarios en su toma de decisión (Walker et al., 2018).

Dada la cantidad y diversidad de indicadores de sostenibilidad que se han desarrollado, se estaba volviendo cada vez más difícil para los directivos, a la hora de llevar a cabo su toma de decisiones, captar el significado y relevancia de ese indicador y cuantificar el impacto del indicador en sus niveles de eficiencia. Medir elementos como la huella ambiental, la cuota de reciclado o efectos ambientales en la gestión de residuos requiere de gran complejidad para investigadores y directivos de empresas.

No obstante, Park y Kremer (2017), a pesar de la variedad de recursos existentes, han tratado de establecer unos indicadores de sostenibilidad que facilite la cuantificación del impacto de la economía circular en los niveles de eficiencia para el sector minero. Estos autores extrajeron indicadores de sostenibilidad de la literatura existente agrupados en 4 categorías relevantes para aclarar su uso y facilitar su aplicación en las empresas: (i) medioambientales (impacto y liberación química), (ii) contaminación por emisiones y desechos, relacionados con el final de la vida útil y el uso de productos químicos, (iii) indicadores de materias primas y de gestión de instalaciones y (iv) gestión de la energía y el agua.

Con respecto al eco-diseño, otra de las grandes dimensiones de la economía circular, Bovea y Pérez-Belis (2012) revisaron y clasificaron el diseño ecológico. Para ello, utilizaron unas herramientas de evaluación que permitieron facilitar la integración del producto en el proceso de diseño. Con la intención de proporcionar a los diseñadores una guía para seleccionar la herramienta de diseño ecológico que mejor se adapte a una empresa, estos autores establecieron una serie de campos necesarios para definir indicadores relacionados con el eco-diseño: (i) diseñar un método para la evaluación ambiental; (ii) definir el producto así como los requisitos que deben integrarse en el mismo además de los ambientales (iii) tener en cuenta el ciclo de vida del producto (para medir el impacto de la reutilización); (iv) el carácter cualitativo y cuantitativo de la evaluación ambiental y (v) las etapas del diseño de fabricación del producto.

Otra de las dimensiones relevantes para medir la economía circular en las organizaciones es el modelo de negocio. Lewandowski (2016) estableció una serie de pautas para medir la economía circular en función del modelo de negocio, mediante el análisis de una muestra de 20 tipos de negocios que implementaron la economía circular en sus organizaciones. Con este trabajo, consiguió establecer una estructura de modelo de negocio que supusiera un lienzo para la cuantificación de los efectos de la economía circular.

Más recientemente, Urbinati et al. (2017) propuso una taxonomía de modelos de negocio basados en la economía circular y su impacto en los niveles de eficiencia, identificando dos dimensiones para definir indicadores: (i) la propuesta de valor del cliente y la interfaz y (ii) la red de valor. Lüdeke-Freund et al. (2018) realizaron una revisión y análisis de 26 negocios de economía circular, identificando 6 grandes dimensiones que deben tener en cuenta los indicadores para medir el impacto de la economía circular en los modelos de negocio: (i) reparación y mantenimiento; (ii) reutilización y redistribución; (iii) remodelación y remanufactura (iv) nivel de reciclaje; (v) nivel de reutilización y (vi) patrones de modelo de negocio de materia prima orgánica.

Wisse (2016) describió una visión general sobre las deficiencias en la literatura de la evaluación, medición e implementación de la economía circular en las organizaciones. Los principales problemas que tuvo en su investigación fueron la falta de conocimiento y práctica en el marco de indicadores, el bajo nivel de participación de los grupos de interés en el proceso de diseño del indicador y que ciertos indicadores representaban campos holísticos.

Rossi et al. (2016) estableció las principales barreras que impiden una adecuada implementación del proceso de fabricación circular en las organizaciones y propuso una serie de ideas para superar estas barreras. Bovea y Pérez-Belis (2012), afirmaron que la mayoría de las herramientas de diseño ecológico no pueden ser aplicadas de forma sistemática lo que eleva el nivel de complejidad de los modelos de economía circular y su tiempo de implementación. Sin embargo, explica que sería necesario establecer una serie de indicadores comunes que permitan medir esos niveles de eficiencia que sirvan como guía para poder definir los indicadores de economía circular específicos de cada organización.

Park y Kremer (2017) recuerdan que las empresas se encuentran con problemas para medir la eficiencia en la economía circular por no conocer la relevancia y los potenciales beneficios ambientales. Sin embargo, afirman que existe una falta de información con respecto a la utilidad de los indicadores y los aspectos teóricos y técnicos que los definen. Además, estos autores explican la dificultad de que los indicadores consigan un efecto directo sobre la práctica empresarial.

Otra limitación por la que es necesario establecer una serie de indicadores comunes que midan la eficiencia en economía circular es la obtención de los datos. Potting et al. (2016) afirma que los datos en economía circular son una barrera relevante para definir adecuadamente un indicador, ya que supone un elevado tiempo de búsqueda y un elevado coste económico para las empresas. Birat (2012) en relación a esta limitación, explica la dificultad que supone la recopilación de datos debido a la falta de intercambio de información entre los investigadores y los directivos de empresas, derivado de los aspectos confidenciales de los datos o conceptos que inciden sobre la economía circular. Por tanto, posteriormente, tratamos de resolver una de las limitaciones planteadas en este subepígrafe, que consiste en establecer una serie de indicadores de eficiencia que permitan cuantificar (de forma genérica) las dimensiones de la economía circular.

4. Elección de indicadores para medir de la eficiencia en Economía Circular

De nada sirve que dentro de los fines de una organización estén marcados los principios de la economía circular si los directivos de la misma no cuentan con indicadores adecuados para medir el resultado de sus decisiones enfocadas a la mejor gestión de la empresa. Solo el desarrollo de indicadores específicos de economía circular y modelos de gestión integrados les permitirá cambiar eficientemente la gestión clásica de las empresas hacia el nuevo paradigma económico donde, sin duda, la economía circular se convierte en una necesidad.

Para este nuevo modelo de gestión, son necesarios por tanto indicadores que integren estos objetivos, modelos de gestión que ayuden a la toma de decisiones enfocada, no tanto a una rentabilidad inmediata como, a un crecimiento estable y sostenido y una

recuperación de residuos y subproductos que generen nuevas líneas de negocio o bien se reincorporen a los procesos productivos ya desarrollados.

Estamos ante un nuevo modelo económico que ha de transformar la sociedad a fin de que ésta perviva en el futuro, por lo que los sistemas de evaluación de las medidas en torno a la economía circular que toman las organizaciones son esenciales. De nada sirve implantar medidas de valorización de residuos, por ejemplo, si no somos capaces de medir la eficiencia de dichas medidas y, lógicamente, mejorarlas a través de la retroalimentación que proporcionan indicadores fiables y adaptados al nuevo contexto en el que las empresas han de desarrollarse.

Un modelo completo de indicadores en economía circular debe satisfacer las necesidades de todos los participantes (compañías individuales e industria, Sociedad y Nación) y estar basado en tres perspectivas: impacto ambiental, beneficio económico y escasez de recursos (Banaite y Tamosiuniene, 2016).

Así, cada uno de los participantes, en función de sus necesidades, demandará indicadores que se enfoquen en diferentes aspectos.

Por otra parte, cuando se diseña un sistema de indicadores para evaluar la economía circular, se ha de desarrollar considerando diferentes niveles, micro, meso y macro.

- A nivel micro, cada empresa necesita diseñar un conjunto de indicadores específicos de acuerdo a las características de la compañía, condiciones y problemas existentes. Se suelen utilizar indicadores que están basados en el principio de las 3 Rs de los residuos (reducir, reusar, recuperar) pero no en economía circular en general.
- A nivel meso, el concepto en que se enfoca la medición es el de la simbiosis industrial, consistente en utilizar infraestructuras y servicios comunes, es decir, indicadores que ayuden a controlar el rendimiento de plantas y parques industriales.
- Finalmente, a nivel macro se trata de diseñar indicadores para evaluar, seguir y mejorar las políticas.

Para poder establecer un sistema de indicadores a cualquiera de los niveles anteriores debemos seguir una rutina específica, siguiendo a Elia et. al, 2017, proponen unos pasos para el seguimiento de una estrategia de economía circular:

1. Observar el sistema y los procesos a analizar. Puede ser un solo proceso, múltiples procesos o la cadena de suministro completa. Por ejemplo, una estrategia de cero residuos se enfoca en la gestión de recursos finales.
2. Identificar las actividades nos servirán para determinar qué requerimientos medir. Por ejemplo, una estrategia basada en la implantación de un sistema producto-servicio sería cubierto con requerimientos como reducir la intensidad de los materiales y el uso de recursos naturales y las pérdidas materiales.
3. Elegir la metodología a aplicar.

Para ello es importante analizar el modelo de negocio de las empresas inmersas en la economía circular, puesto que un modelo de negocio es una herramienta conceptual que ayuda a comprender cómo trabaja una empresa, puede ser usado para análisis, valoración del rendimiento, comparación, gestión, comunicación e innovación (Osterwalder y Pigneur, 2005).

La innovación de modelos de negocio está reconocida como la clave para producir mayor sostenibilidad social y medioambiental en el sistema industrial (Lüdeke-Freund, 2010). En economía circular se reconocen hasta ocho arquetipos de modelos de negocio en función del tipo de innovación que se ha realizado: tecnológica, social u organizativa (Bocken et. al, 2014).

Establecieron ocho arquetipos que nos sirven para establecer procesos a analizar e indicadores idóneos de medida para la toma de decisiones.

Los 8 arquetipos quedan resumidos de la siguiente manera:

- Innovaciones tecnológicas

- Maximizar la eficiencia de los materiales y la energía.
- Crear valor de los residuos.
- Sustituir los procesos actuales por procesos renovables y naturales.
- Innovaciones sociales
 - Dar funcionalidad más que propiedad.
 - Adoptar un papel proactivo.
 - Fomentar la suficiencia.
- Innovaciones organizativas
 - Cambiar el propósito de la empresa pensando en la sociedad y el medio ambiente.
 - Generar soluciones escalables.

Cada arquetipo necesitará de unos indicadores específicos para la medida de su rendimiento, indicadores de input e indicadores de output, tanto a nivel micro (empresa) como meso (industria) y a nivel macro (región, país). Los indicadores serán utilizados para ver el alcance de la economía circular y medir su eficiencia.

A continuación, mostramos en la tabla 1 algunos de los trabajos encontrados en la literatura especializada, donde se muestran dimensiones e indicadores de medida para los tres niveles micro, meso y macro.

Tabla 1. Indicadores utilizados para medir distintos aspectos de la Economía circular.

Autores (año)	Indicador (dimensión a la que pertenece)	Definición
Zhijun, F., & Nailong, Y. (2007).	Indicadores <u>sobre economía circular</u> en el que influyan las <u>relaciones económicas, sociales y ecológicas</u> armonizadas, es decir, un sistema de índice para la evaluación debe incorporar estas tres dimensiones	-Indicadores de producción (relación tierra-producto). -Indicadores de reutilización (reutilización del agua). -Índice de recursos (emisión de gases industriales o desechos sólidos)
Geng, Y. Zhang, P, Côté R.P.; Fujita, T. (2009)	<u>Medidas de rendimiento</u> en los parques ecoindustriales: - Indicadores de desarrollo económico (2 indicadores). - Indicadores para la reducción de materiales y reciclaje (7 indicadores). - Indicadores para el control de la polución (8 indicadores). - Indicadores para la gestión de parques (21 indicadores).	Indicadores de <u>desarrollo económico</u> (2 Indicadores): Valor industrial agregado per cápita o ratio de crecimiento de la industria (%). Indicadores <u>para la reducción de materiales y reciclaje</u> (7 indicadores): residuo sólido generado por la industria (toneladas/yenes), residuos sólidos generados (toneladas/yenes) o consumo de agua dulce por la industria (m3/yenes). Indicadores para <u>el control de la polución</u> (8 indicadores): SO ₂ emitido por las industrias (kg/yenes), ratio de residuos sólidos peligrosos dispuestos (%) o nivel de basura doméstica empleada (%). Indicadores para <u>la gestión de parques</u> (4 indicadores): calidad del informe ambiental (si/no) o grado de satisfacción de la calidad medioambiental local (%).
Geng, Yong; Fu, Jia; Sarkis, Joseph; et ál. (2012)	Indicadores para medir el impacto de la economía circular. -Indicadores a nivel macro (22 indicadores). -Indicadores a nivel de parque industrial (11 indicadores).	Indicadores a <u>nivel macro</u> relacionado con los recursos externos utilizados (recursos de energía, recursos minerales), reciclaje y agua consumida (energía consumida en función del PIB, extracción de agua por unidad de PIB, consumo de agua y energía por unidad de producto en consumos industriales) y emisiones contaminantes (Total SO ₂ emitidas o aguas residuales industriales emitidas). Indicadores a nivel de <u>parque industrial</u> (11 indicadores): consumo de recursos internos (tierra, energía, agua), uso eficiente de los recursos internos (energía y agua consumida por producción industrial, energía y agua por unidad de producto) y emisiones contaminantes (cantidad de aguas residuales y derechos sólidos emitidos) y agua empleada en ese parque concreto (proporción de reutilización del agua utilizada).
Su, Biwei; Heshmati, Almas; Geng, Yong; et ál. (2013)	Valoración de la Economía Circular -Indicadores propuestos por la Comisión para la Reforma y Desarrollo Nacional de China (a nivel meso): 13 indicadores. -Indicadores propuestos por el Ministerio de Protección ambiental chino (a nivel meso): 21 indicadores (a nivel meso).	<u>Indicadores propuestos por la Comisión para la reforma y Desarrollo Nacional de China (13 indicadores)</u> : Indicadores de producción (producción de agua, tierra, energía, etc.), nivel de consumo de recursos (energía consumida por unidad de producción o agua consumida por unidad producida), uso integrado de los recursos (nivel de reciclaje de recursos) y reducción en la generación de residuos (tasa de uso de residuos sólidos y generación de aguas residuales). <u>Indicadores propuestos por el Ministerio de Protección Ambiental chino</u> : Indicadores de desarrollo económico (2 indicadores) (Valor añadido per cápita de la industria, tasa de crecimiento del valor industrial) Indicadores del uso de materias primas y reciclaje (7 indicadores): consumo de energía por valor industrial agregado, reutilización de aguas industriales, generación de aguas residuales por unidad de valor agregado industrial, Indicadores del control de la contaminación (8 indicadores): emisión de SO ₂ por unidad de valor agregado industrial, tasa de eliminación de desechos sólidos peligrosos, tratamiento seguro de basura doméstica o carga química de demanda de oxígeno por unidad de valor agregado industrial). Indicadores de administración y gestión de residuos (4 indicadores): calidad del informe ambiental, grado de satisfacción de la calidad medioambiental local o transparencia en la plataforma de información.

Autores (año)	Indicador (dimensión a la que pertenece)	Definición
Zaman, A.U.; Lehmann, S. (2013)	Se define una herramienta para medir el rendimiento de los sistemas de gestión de residuos llamado “índice de cero residuos”. A través de esta herramienta, trata de calcular el nivel de residuos de una determinada población (medir el comportamiento del entorno).	Esta herramienta tiene en cuenta los siguientes campos: nivel de conciencia y educación sobre el medio ambiente (impacto programas cero desperdicio), nuevas infraestructuras (índice de tecnologías no contaminantes), reciclaje y recuperación (nivel de reciclaje de una población), consumo sostenible (cambio de comportamiento, estilos de vida), consumo de la industria (nivel de producción limpia y nivel de responsabilidad social de empresa), nivel de legislación y política (valoración de la legislación sobre el medioambiente e incentivos de los gobiernos para conseguir “cero residuos”).
Geng, Yong; Liu, Zuoxi; Xue, Bing; et ál. (2014)	Indicadores basados en un análisis Emergy. Análisis meso (parque industrial): 9 indicadores.	Los indicadores (medidos en gramos/año) versan sobre nivel de inputs renovables (aire, lluvia, energía solar), producción interna de electricidad (producción de carbón y producción viento), inputs no renovables (grava, arcilla, agua subterránea), recursos de energía contaminantes (gasolina. Diésel, carbón), metales (acero, cinc, metanol, etc.), productos no metales contaminantes (papel, basura, plástico), Comida orgánica (arroz, fruta, verduras), mano de obra, servicio y los outputs obtenidos (materiales construidos, productos alimentarios).
Park, J.Y.; Chertow; M. (2014)	Indicador de re-uso potencial en el caso de los residuos generados por la combustión del carbón para cuantificar la usabilidad de los residuos.	El indicador de potencial de reutilización expresa la utilidad del material por un valor real entre 0 y 1. Es igual a 0 cuando todos los materiales se descartan y 1 cuando todos los materiales pueden reutilizarse. Se mide teniendo en cuenta el consumo de ese producto en función de su nivel de reutilización.
Chen, X.; Liu, X.; Hu, D. (2015)	Indicadores evaluación de sociedades: -Desarrollo económico (5 indicadores). -Bienestar social y de las personas (3 indicadores). -Consumo de recursos (2 indicadores). -Reciclaje de recursos (2 indicadores) -Calidad ambiental (3 indicadores). -Control de la polución (5 indicadores).	Los indicadores empleados para medir cada una de las dimensiones anteriores son: desarrollo económico (Producto interior bruto per cápita, proporción de la industria terciaria (%), peso de la alta tecnología en el PIB (%)), Bienestar social (Ingresos disponibles de los hogares en unidades monetarias, nivel de desarrollo urbanizado (%), Ingreso neto anual de los hogares rurales), consumo de recursos (Energía consumida en función del PIB, Consumo de agua por unidad de valor añadido en m ³ /10.000 yuan), reciclaje de recursos (tasa de utilización de agua industrial para riego (%) y relación de desechos sólidos industriales utilizados (%), calidad medioambiental (tasa de cobertura de áreas verdes (%), calidad del aire (%), tasa de disposición centralizada de aguas residuales (%)) y control de la polución (emisión de co2 en función del PIB (toneladas /10.000 juan), cantidad de emisiones de SO2 (toneladas) y porcentaje de tratamiento inofensivo para la basura viva (%)).
Golinska, P.; Kosacka, M.; Mierzwiak, R.; Werner- Lewandowska, K. (2015)	Valorar el nivel de sostenibilidad de los procesos de refabricación: -Rendimiento económico (6 indicadores). -Rendimiento ambiental (4 indicadores) -Rendimiento social (5 indicadores).	Los indicadores empleados por este autor se basan en rendimiento económico (efectividad general del equipo, flujo de proceso de remanufactura, adecuación de la planificación del proceso de remanufactura, disponibilidad de máquinas y herramientas, nivel del servicio y nivel de existencias consumidas), rendimiento ambiental (cantidad de energía consumida, nivel de residuos generados, tasa de recuperación material, emisiones de CO2 emitidas) y por último el rendimiento social (empleo, formación empelados, nocividad del proceso de manufactura, nivel de comodidad en el trabajo y nivel de innovación).

Autores (año)	Indicador (dimensión a la que pertenece)	Definición
Wen, Zongguo; Meng, Xiaoyan (2015)	Indicadores basados en la productividad de recursos combinada con el análisis de flujo de sustancias (SFA) para evaluar la contribución de la simbiosis industrial al desarrollo de la Economía Circular.	Como inputs el cobre total que se ha desechado (tomando como muestra 8 empresas) y la cantidad regenerada de cobre por estas mismas empresas para conocer las pérdidas de desecho que ha existido.
Franklin-Johnson, Elizabeth; Figge, Frank; Canning, Louise (2016)	Indicador de longevidad compuesto de tres indicadores: duración inicial, duración ganada por renovación y duración ganada por reciclado para evaluar el rendimiento de la Economía Circular.	Para medir la duración inicial, se toma el ciclo del vida del producto hasta que se consume, para la duración por renovación se toma la duración del producto si se van produciendo modificaciones del mismo y por último la duración del reciclado la duración del producto tras permitir su uso en varias ocasiones.
Fundación COTEC para la Innovación (2017)	Cuestiones políticas relacionadas con el progreso hacia la Economía Circular desde una perspectiva material (Dimensiones): -Input material (5 indicadores). -Eco-diseño (4 indicadores). -Producción (4 indicadores). -Consumo (6 indicadores). -Reciclado de residuos (5 indicadores).	Los indicadores utilizados son de inputs materiales (indicadores relacionados con el consumo de materias primas), eco-diseño (efectividad general del equipo, flujo de proceso de remanufactura, adecuación de la planificación del proceso de remanufactura, disponibilidad de máquinas y herramientas, nivel del servicio y nivel de existencias consumidas), indicadores de producción (se cuantifica la producción obtenida en función del nivel de producción de input material), indicadores de consumo (consumo de energía por valor industrial agregado, reutilización de aguas industriales, generación de aguas residuales por unidad de valor agregado industrial) e indicadores de reciclaje de residuos (residuo sólido generado por la industria (toneladas/€), residuos sólidos generados (toneladas/€) o consumo de agua dulce por la industria (m3/€).
Golinska-Dawson, P., Kosacka, M., Mierzwiak, R., & Werner-Lewandowska, K. (2018).	El proceso de refabricación se caracteriza por un alto nivel de incertidumbre en cuanto a su tiempo, calidad y cantidad de sus productos. Este estudio ha demostrado que falta un método simple para evaluar la sostenibilidad dedicado a las PYME en el sector de la remanufactura	Para evaluar la sostenibilidad de las PYMES emplean indicadores relacionados con los efectos contaminantes (cálculo de emisiones de CO2 y SO2, cantidad de desechos en función de las materias primas utilizadas o rendimiento en sostenibilidad de las PYMES, es decir, factores desechados en función de las unidades producidas.)

Por tanto, posteriormente, tratamos de resolver una de las limitaciones planteadas en este subepígrafe, que consistente en establecer una serie de indicadores de eficiencia que permitan cuantificar (de forma genérica) las dimensiones de la economía circular.

5. Indicadores Economía Circular.

Como hemos analizado existe una necesidad apremiante de medir los esfuerzos realizados por las empresas que practican principios de economía circular, para tener medidas de rendimiento específicas, valorar su eficiencia tanto global como por procesos y tomar decisiones de mejora tanto económicas, ambientales como sociales.

Por ello, el objetivo de este trabajo es elegir los indicadores que permitan medir la eficiencia en el marco de los principios de la EC, con el fin de conseguir:

1. Optimizar el consumo de materias primas.
2. Incrementar el número de procesos y prácticas destinados a reducir el consumo de recursos.
3. Implementar medidas para optimizar el consumo de recursos.
4. Reducir la generación de residuos y fomentar su transformación en subproductos.
5. Incrementar el número de procesos y prácticas destinados a reducir la generación de residuos.
6. Mejorar la calidad y destino final de los residuos.
7. Contribuir al desarrollo de regulación en Economía Circular.
8. Incrementar participación en iniciativas de referencia.
9. Desarrollar una experiencia piloto.
10. Determinar formas de medida del impacto y del desempeño.
11. Mejorar los sistemas de medición y reporte de la eficiencia de la EC.

Para elegir los indicadores más adecuados en primer lugar se ha realizado un análisis de la literatura existente y en segundo lugar se ha analizado que estos indicadores puedan ser claramente definidos y que existan datos disponibles.

Tabla 2. Indicadores para medir aspectos de Economía circular.

Posibles indicadores	Cuestión que mide	Disponibilidad de datos
Consumo material directo o consumo de materias primas.	¿Están disminuyendo los inputs materiales primarios en Europa?	++
Proporción de pérdidas materiales en ciclos de materiales clave.	¿Están reduciéndose las pérdidas materiales en Europa?	+
Desviación de residuos de los vertederos [Indicador WST006 de la AEMA, en desarrollo].		++
Proporción de materias primas secundarias en el consumo material.	¿Está aumentando la proporción de materiales reciclados en forma de inputs en Europa?	+
Proporción de materiales ecológicamente certificados en el uso material.	¿Los materiales utilizados en Europa se obtienen de manera sostenible?	+
Durabilidad o ciclo de vida comparados con la media del sector para un producto similar.	¿Se diseñan los productos para que duren más?	-
Tiempo y número de productos necesarios para el desmontaje.	¿Los productos se diseñan para que sea posible su desmontaje?	-
Proporción de materiales reciclados en los nuevos productos.	¿Se incluyen materiales reciclados en el diseño de los productos?	-
Proporción de materiales que ofrecen una posibilidad de reciclado seguro.	¿Los materiales diseñados para ser reciclados evitan la contaminación que surge de los ciclos de reciclado?	-
Uso de materiales para la producción comparado con el PIB (potencialmente por sectores).	¿Está utilizando Europa menos materiales para la producción?	+
Input de sustancias que se clasifican como peligrosas.	¿Utiliza Europa un menor volumen y número de sustancias medioambientalmente peligrosas en la producción?	+
Generación de residuos (en actividades de producción) [Indicadores CSI01/WST004 de la AEMA].	¿Genera Europa menos residuos en los procesos productivos?	++
Generación de residuos peligrosos en los procesos de producción.		++
Participación de las compañías en redes de compañías circulares.	¿Se están adaptando las estrategias de las empresas hacia conceptos circulares como remanufactura y una oferta basada en servicios?	-
Proporción de negocios de remanufactura en la economía manufacturera.		-
Huella ambiental del consumo (incluyendo materiales) en Europa.	¿Los ciudadanos europeos están modificando sus patrones de consumo hacia bienes y servicios más ecológicos?	+
Huella material por euro gastado [Indicador SCP013 de la AEMA].		+
Media de durabilidad real de productos seleccionados.	¿Los ciudadanos europeos utilizan los productos durante más tiempo?	-
Cuota de mercado de servicios de preparación para la reutilización y reparación en función de las ventas de nuevos productos.		-
Generación de residuos (en actividades de consumo) [Indicador CSI041/WST0D4 de la AEMA].	¿El consumo europeo genera menos residuos?	++

Posibles indicadores	Cuestión que mide	Disponibilidad de datos
Cuota de reciclado para diferentes tipos de residuos/materiales [Indicador WST005 de la AEMA].	¿Se reciclan cada vez más residuos?	++
Calidad material del reciclado comparada con la calidad material virgen.	¿Hasta qué punto mantienen los materiales su valor en los procesos de reciclaje, evitándose el subreciclado?	-
Facturación de los materiales reciclados.		+
Efectos medioambientales y análisis coste/beneficio de la gestión de residuos municipal en Europa.	¿Hasta qué punto está optimizado el sistema de reciclaje para alcanzar la sostenibilidad ambiental y económica?	+

Fuente: Elaboración propia a partir de la revisión de la literatura y COTEC 2017

6. Conclusiones.

En el presente trabajo se ha definido y analizado la disponibilidad de un sistema de indicadores que permita medir la eficiencia de las empresas que practican principios de economía circular en la Unión Europea. Esta información será de gran utilidad tanto para investigadores como para las empresas, con el fin de facilitar la medida de la eficiencia en economía circular en las organizaciones.

En el presente trabajo, se ha tenido en cuenta los indicadores más representativos que miden la eficiencia en economía circular, así como la disponibilidad de datos para medir dicha eficiencia, empleando para ello los datos de disponibilidad presentados por Cotec (2017). Por tanto, se intenta solventar algunos de los principales problemas que se han encontrado diversos investigadores y empresarios a la hora de medir los niveles de eficiencia en economía circular (Winans et al., 2017), como son la selección y medición de indicadores de eficiencia.

La información contenida en los indicadores definidos en el presente trabajo supone un instrumento relevante para los gerentes de manera que puedan medir la eficiencia en economía circular en tareas propias del proceso de planificación, tales como el seguimiento y control de las actuaciones puestas en marcha, la adopción de decisiones, así como, la realización de análisis comparativos en el tiempo y en el espacio.

A su vez, se ofrecen a través de la revisión bibliográfica pertinente, una serie de soluciones para aquellos problemas que se han planteado a la hora de medir los niveles de eficiencia en economía circular, como por ejemplo, cómo debe plantearse un modelo de eficiencia en EC o que dimensiones son las más relevantes a la hora de hacer un estudio sobre la temática del presente trabajo.

Como línea futura de investigación, se planteará un modelo multindicador, con varias dimensiones según se traten de inputs u outputs en el modelo, que será posteriormente validado por las empresas de la muestra objeto de estudio. Mediante el multindicador, mediremos la eficiencia de los recursos de estas empresas a través de las relaciones entre las dimensiones de indicadores, empleando para ello *DEA Network Relational*.

7. Bibliografía.

Banait, D., & Tamošiūnienė, R. (2016). Sustainable development: the circular economy indicators' selection model. *Journal of Security & Sustainability Issues*, 6(2).

Birat, J.P. (2012). Materials, beyond life cycle thinking. *Metallurgical research and technology* 109 (5), 273-291.

Bocken, N. M., Short, S. W., Rana, P., & Evans, S. (2014). A literature and practice review to develop sustainable business model archetypes. *Journal of cleaner production*, 65, 42-56.

Bocken, N.M., Olivetti, E.A., Cullen, J.M., Potting, J. Y Lifset, R. (2017). Taking the circularity to the next level: a special issue on the circular economy. *Journal of Industrial Ecology* 21, 476-482.

Bovea, M.D. y 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

Chen, X., Liu, X., & Hu, D. (2015). Assessment of sustainable development: A case study of Wuhan as a pilot city in China. *Ecological indicators*, 50, 206-214.

Comisión Europea, «Hacia una economía circular: un programa de cero residuos para Europa», COM (2014) 398 final, 2.7.2014, p. 10C.

Comisión Europea. “Cerrar el círculo: la Comisión adopta un ambicioso paquete de nuevas medidas sobre la economía circular para impulsar la competitividad, crear empleo y generar crecimiento sostenible”. Bruselas: Press releases database. Comunicado de prensa, 2 diciembre 2015

Comisión Europea. «Aplicación del plan de acción para la economía circular», COM (2017) 33 final, Bruselas, 26.1.2017.

Comunidad Europea (CE) (2015). Closing the Loop e an EU Action Plan for the Circular Economy. The Circular Economy Package Proposal, Brussels, Belgium.

Consejo Consultivo Europeo de Ciencias Académicas (EASAC) (2016). Indicators for a Circular Economy. EASAC Policy Report 30, Halle, Germany.

Elia, V., Gnoni, M. G., & Tornese, F. (2017). Measuring circular economy strategies through index methods: A critical analysis. *Journal of Cleaner Production*, 142, 2741-2751.

Ellen mcarthur Foundation. (s.f.). Economía Circular. Recuperado el Marzo de 2016, de <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/es/economia-circular/principios>

Franklin-Johnson, E., Figge, F., & Canning, L. (2016). Resource duration as a managerial indicator for Circular Economy performance. *Journal of Cleaner Production*, 133, 589-598.

Frérot, A. (2014). Economía circular y eficacia en el uso de los recursos: un motor de crecimiento económico para Europa. *Boletín Cuestión de Europa*, (331), 10.

Frérot, A. (2014). Economía circular y eficacia en el uso de los recursos: un motor de crecimiento económico para Europa. *Boletín Cuestión de Europa*, (331), 10.

Fundación COTEC para la innovación (2017). Situación y evolución de la economía circular en España. Madrid, Madrid. ISBN: 978-84-92933-35-8

- García-Valderrama, T., & Mulero-Mendigorri, E. (2005). Content validation of a measure of R&D effectiveness. *R&D Management*, 35(3), 311-331.
- Geng, Y., Fu, J., Sarkis, J., & Xue, B. (2012). Towards a national circular economy indicator system in China: an evaluation and critical analysis. *Journal of Cleaner Production*, 23(1), 216-224.
- Geng, Y., Liu, Z., Xue, B., Dong, H., Fujita, T., & Chiu, A. (2014). Emergy-based assessment on industrial symbiosis: a case of Shenyang Economic and Technological Development Zone. *Environmental Science and Pollution Research*, 21(23), 13572-13587.
- Geng, Y., Zhang, P., Côté, R. P., & Fujita, T. (2009). Assessment of the national eco-industrial park standard for promoting industrial symbiosis in China. *Journal of Industrial Ecology*, 13(1), 15-26.
- Golinska, P., Kosacka, M., Mierzwiak, R., & Werner-Lewandowska, K. (2015). Grey decision making as a tool for the classification of the sustainability level of remanufacturing companies. *Journal of Cleaner Production*, 105, 28-40.
- Golinska-Dawson, P., Kosacka, M., Mierzwiak, R., & Werner-Lewandowska, K. (2018). The Mixed Method for Sustainability Assessment of Remanufacturing Process Using Grey Decision Making. In *Sustainability in Remanufacturing Operations* (pp. 125-139). Springer, Cham.
- Haas, W., Krausmann, F., Wiedenhofer, D. Y Heinz, M. (2015). How circular is the global economy?: an assessment of material flows, waste production, and recycling in the European Union and the world in 2005. *Journal of Industrial Ecology* 19 (5), 765-777.
- Kalmykova, Y., Sadagopan, M. Y Rosado, L. (2018). Circular economy e from review of theories and practices to development of implementation tools. *Resources, Conservation and Recycling* 135, 190-201.
- Lewandowski, M. (2016). Designing the business models for circular economy towards the conceptual framework. *Sustainability* 8, 43.

Lieder, M., & Rashid, A. (2016). Towards circular economy implementation: a comprehensive review in context of manufacturing industry. *Journal of Cleaner Production*, 115, 36-51.

Linder, M., Sarasini, S. Y Van Loon, P. (2017). A metric for quantifying product-level Circularity. *Journal of Industrial Ecology* 21, 545-558.

Lüdeke-Freund, F. (2010). Towards a conceptual framework of business models for sustainability'. *Knowledge collaboration & learning for sustainable innovation*, R. Wever, J. Quist, A. Tukker, J. Woudstra, F. Boons, N. Beute, eds., Delft.

Lüdeke-Freund, F., Gold, S. Y Bocken, N.M. (2018). A review and typology of circular economy business model patterns. *Journal of Industrial Ecology*, 23 (1), 36-61.

Mathews, J. A. (2011). Naturalizing capitalism: The next great transformation. *Futures*, 43(8), 868-879.

O'Leary-Kelly, S. W. Y Vokurka, R. J. (1998): «The empirical assessment of construct validity». *Journal of Operations Management*, vol. 16, págs. 386-405.

Osterwalder, A., Pigneur, Y., & Tucci, C. L. (2005). Clarifying business models: Origins, present, and future of the concept. *Communications of the association for Information Systems*, 16(1), 1.

Park, J. Y., & Chertow, M. R. (2014). Establishing and testing the “reuse potential” indicator for managing wastes as resources. *Journal of environmental management*, 137, 45-53.

Park, K. Y Kremer, G. (2017). Text mining-based categorization and user perspective analysis of environmental sustainability indicators for manufacturing and service systems. *Ecological Indicators* 72, 803-882.

Pedhazur, E. J. Y Schmelkin, L. P. (1991): *Measurement, Design and Analysis: An integrated Approach*. Lawrence Erlbaum Associates, Publishers, Hillsdales, Nueva York.

Potting, J., Hekkert, M., Worrell, E. Y Hanemaaijer, A. (2016). Circular Economy: Measuring Innovation in Product Chains. PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, The Hague.

Rossi, M., Germani, M. Y Zamagni, A. (2016). Review of ecodesign methods and tools. Barriers and strategies for an effective implementation in industrial companies. Journal Cleaner Production 129, 361-373.

Siegle, L., & Hanaor, C. (2006). *Recycle: the essential guide*. Black Dog Publ..

Stahel, W. R. (1982). The product life factor. *An Inquiry into the Nature of Sustainable Societies: The Role of the Private Sector (Series: 1982 Mitchell Prize Papers)*, NARC.

Strasser, S. (2000). *Waste and want: A social history of trash*. Macmillan.

Su, B., Heshmati, A., Geng, Y., & Yu, X. (2013). A review of the circular economy in China: moving from rhetoric to implementation. Journal of Cleaner Production, 42, 215-227.

Thomas, J.-S. Y Birat, J.-P. (2013). Methodologies to measure the sustainability of materials e focus on recycling aspects. Metallurgical research and technology 110 (1), 3-16.

Urbinati, A., Chiaroni, D. Y Chiesa, V. (2017). Towards a new taxonomy of circular economy business models. Journal Cleaner Production 168, 487-498.

Verberne, J. (2016). Building Circularity Indicators e an Approach for Measuring Circularity of a Building. Master's Thesis. University of Technology, Eindhoven, The Netherlands.

Walker, S., Coleman, N., Hodgson, P., Collins, N. Y Brimacombe, L. (2018). Evaluating the environmental dimension of material efficiency strategies relating to the circular economy. Sustainability 10, 666.

Wen, Z., & Meng, X. (2015). Quantitative assessment of industrial symbiosis for the promotion of circular economy: a case study of the printed circuit boards industry in China's Suzhou New District. Journal of Cleaner Production, 90, 211-219.

Winans, K., Kendall, A. Y Deng, H. (2017). The history and current applications of the circular economy concept. *Renewable Sustainability Energy Review* 68 (1), 825-833.

Wisse, E. (2016). *Assessment of Indicators for Circular Economy: the Case for the Metropole Region of Amsterdam*. Faculty of Geosciences Theses, Utrecht University, Master Sustainable Business and Innovation.

Zaman, A. U., & Lehmann, S. (2013). The zero waste index: a performance measurement tool for waste management systems in a 'zero waste city'. *Journal of Cleaner Production*, 50, 123-132.

Zhijun, F., & Nailing, Y. (2007). Putting a circular economy into practice in China. *Sustainability Science*, 2(1), 95-101.