

Economía circular: Relación con la evolución del concepto de sostenibilidad y estrategias para su implementación

Circular economy: Relationship with the evolution of the concept of sustainability and strategies for its implementation

Vanessa Prieto-Sandoval¹, Carmen Jaca², Marta Ormazabal³

Recibido: mayo 2017

Aceptado: agosto 2017

Resumen - La economía circular es un paradigma que tiene como objetivo generar prosperidad económica, proteger el medio ambiente y prevenir la contaminación, facilitando así el desarrollo sostenible. El creciente interés de gobiernos, industria y sociedad en la implementación de la economía circular, nos ha llevado a indagar sobre su conexión directa con el fin último de este paradigma: la sostenibilidad. Para ello se ha realizado un análisis de los artículos científicos publicados en este último siglo acerca de este tema. Como resultado se concluye que la Economía Circular es un paradigma de actuación que ha evolucionado a partir del concepto de sostenibilidad y su aplicación en la economía, la sociedad, y el cuidado necesario del ambiente que nos rodea. Así, la Economía Circular se ha convertido en un paradigma que busca el desarrollo sostenible, proponiendo diferentes estrategias en toda la cadena de producción y uso de los productos y servicios. Para este propósito el artículo propone cinco campos de acción concretos y presenta estrategias de diseño sostenible para conseguir la circularidad en los procesos, permitiendo la producción y consumo sostenible.

Palabras clave - Economía circular, sostenibilidad, diseño sostenible de producto, modelos de negocio sostenibles.

Summary - *The circular economy is a paradigm that aims to generate economic prosperity, protect the environment and prevent pollution, consequently, facilitating sustainable development. The growing interest of governments, industry, and society in the implementation of the circular economy has led us to inquire about its direct connection with the ultimate goal of this paradigm: sustainability. For this purpose, an analysis of the scientific articles published in this last century on this concept has been made. As a result, we conclude that the Circular Economy is a paradigm of action that has evolved from the concept of sustainability and its application in the economy, society, and the necessary care of the environment that surrounds us. Accordingly, the Circular Economy has become a paradigm that seeks sustainable development, proposing different strategies throughout the chain of production and use of products and services. For this purpose, the article proposes five concrete fields of action and presents strategies for sustainable design to achieve the circularity in the processes, allowing the production and sustainable consumption.*

Key words - *Circular economy, sustainability, sustainable product design, sustainable business models.*

¹ Universidad de Navarra, TECNUN. Escuela de ingenieros. San Sebastián, España. vprieto@tecnun.es

² Universidad de Navarra, TECNUN. Escuela de ingenieros. San Sebastián, España. cjacca@tecnun.es

³ Universidad de Navarra, TECNUN. Escuela de ingenieros. San Sebastián, España. mormazabal@tecnun.es

1. Introducción.- Durante la última década, el consumo de materias primas ha alcanzado un ritmo que comprometerá la capacidad del planeta si no se consigue frenar o cambiar el actual modelo lineal de producción y consumo. Esta preocupación por la disponibilidad de los recursos y la calidad del medio ambiente no es nueva, ha sido ampliamente impulsada por ambientalistas como Rachel Carson [1] desde los años 60 y por los gobiernos desde el final de los años 80 con el reporte de Brundtland [2], donde se definió por primera vez el concepto de *desarrollo sostenible*.

En 1987 el *desarrollo sostenible* se definió como: “satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las generaciones del futuro para atender sus propias necesidades” [2]. Durante los 90 se entendía que la sostenibilidad se lograba combinando tres dimensiones: económica, social y ambiental. Sin embargo, la postura de Mebratu [3] mostró que la sostenibilidad no se reduce a la combinación de estas tres dimensiones, sino que la sostenibilidad económica depende de la sostenibilidad social, y estas dos dependen de la ambiental. Recientemente, una nueva visión ha formulado que el desarrollo sostenible tiene una cuarta dimensión: “el tiempo”, ya que las acciones hacia las sostenibilidad tienen un impacto de corto, mediano y largo plazo [4].

Paralelamente, la sociedad, las empresas y los gobiernos han abordado la sostenibilidad como un objetivo con diferentes modelos industriales y desde una perspectiva lineal. Incluso muchos de los esfuerzos para solucionar los problemas ambientales suelen reducirse a técnicas correctivas o *end of pipe* y a la modernización tecnológica que puede comprar tiempo, pero no puede por sí misma comprar sostenibilidad [5]. Así que es fundamental activar la transición hacia un nuevo modelo productivo que reduzca la presión sobre el medio ambiente, y que sea capaz de generar desarrollo económico y social.

En este escenario, el paradigma de la Economía Circular (EC) se presenta como la alternativa a este modelo lineal. La EC permite responder a los desafíos del crecimiento económico y productivo actual porque promueve un flujo cíclico para la extracción, transformación, distribución, uso y recuperación de los materiales y la energía de productos y servicios disponibles en el mercado [6], [7]. La EC es un paradigma que tiene como objetivo generar prosperidad económica, proteger el medio ambiente y prevenir la contaminación, facilitando así el desarrollo sostenible. Es por eso que este modelo se apoya en el principio de las 3 Rs (Reducir, Reusar, Reciclar), aplicable a todo el ciclo de vida de los productos [8] y en estrategias de diseño sostenible. Las estrategias de diseño sostenible como la de *Cradle to cradle* propuesta por McDonough y Braungart [9] son importantes porque facilitan que los productos y servicios puedan ser reintroducidos al sistema como recursos biológicos o técnicos, es decir que actúan como catalizadoras del funcionamiento de la EC [10].

De acuerdo a lo anterior, se observa que a lo largo del tiempo han surgido múltiples conceptos relacionados con la gestión del desarrollo sostenible; sin embargo, existe una brecha en la literatura acerca de su relación y cómo están ubicados en el conocimiento científico. En el caso de la EC, no es un concepto nuevo. La novedad radica en el creciente interés por su implementación a nivel de gobierno, industria y sociedad [11]. Sin embargo, la literatura presente hasta la fecha se ha limitado, en su mayoría, a definir las aplicaciones de la EC sin revisar su conexión directa con el fin último de este paradigma: la sostenibilidad. Por tanto, el objetivo principal de este artículo es probar que la EC es un paradigma de actuación que ha resultado de la evolución del concepto de sostenibilidad hasta nuestro tiempo. Luego como segundo objetivo, este estudio propone una descripción de cada campo de acción de la EC y el conjunto de estrategias de diseño que hacen posible su implementación.

Después de esta introducción, la sección 2 explica la metodología utilizada en este estudio. En la sección 3 se examina en detalle la evolución de la sostenibilidad y su relación con la EC.

Además, se expone cada campo de acción de la EC y las estrategias de diseño asociadas. Finalmente, en la sección 4 se presentan las conclusiones y se identifican las áreas de investigación futura.

2. Metodología.- Para este estudio se hizo una revisión de literatura que permitió identificar la evolución del concepto de sostenibilidad, su relación con la EC y sus campos de acción. La revisión sistemática de la literatura es un método replicable, científico y transparente para definir el campo de estudio y permite a los lectores comprender el camino que los investigadores toman para llegar a sus hallazgos [12]. Así mismo, esta metodología permite entender en profundidad un campo de estudio para poder contribuir con el desarrollo de su marco teórico [13].

La búsqueda de literatura se inició a través de la *Web of Science*, usando las palabras “*circular economy*” en el tema, “*Cradle to Cradle*” en el tema, o “*industrial ecology*” en el título. Adicionalmente solo se incluyeron las publicaciones comprendidas entre el año 2000 y 31 de Julio de 2017, obteniendo 1760 items. De esta selección inicial solo 710 publicaciones eran artículos científicos. A esta selección se agregó un nuevo filtro para analizar únicamente los estudios clasificados en las siguientes categorías: ciencias sociales interdisciplinarios, estudios ambientales, administración, economía, negocios, ingeniería industrial, ingeniería multidisciplinar, ingeniería de manufactura y ciencias multidisciplinarias.

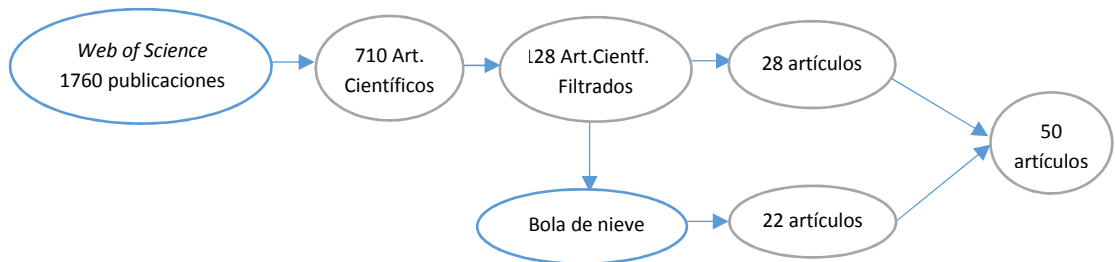


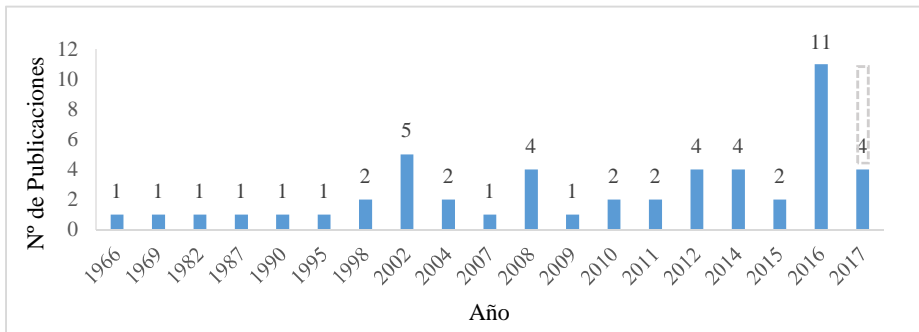
Figura I.- Visión general del proceso de selección de artículos.

Del paso anterior se obtuvieron 99 artículos, de los cuales, se hizo un análisis de contenido de los *abstract* para seleccionar los más relacionados con el objetivo del estudio, es decir, que hicieran alusión a la relación de la EC con la sostenibilidad, los que explicaran el concepto de EC y la importancia del diseño de producto para su implementación. Como resultado se obtuvieron 28 artículos.

Teniendo en cuenta que investigaciones valiosas para este estudio, fueron publicadas en otras bases de datos, en libros, reportes o pertenecen a años inferiores al 2000, también se aplicó la técnica “cadena de referencia” o “bola de nieve”. Este es un método de recopilación de datos que suele utilizarse cuando existe dificultad para identificar una muestra representativa a través de fuentes oficiales [14], [15], que para este caso sería la búsqueda realizada en *Web of Science*. La técnica “bola de nieve” se orientó a la revisión del contenido de las referencias en los artículos identificados. Con este paso se agregaron a la selección 22 artículos relevantes que habían sido ampliamente citados. Finalmente, para la revisión de literatura se incluyeron 50 artículos (Figura I).

3. Resultados y discusión.- En esta sección se presenta un breve análisis descriptivo de los artículos seleccionados, los resultados de la revisión de literatura y se presenta en detalle la evolución de la sostenibilidad y su relación con la EC. Luego, se exponen los cinco campos de acción propuestos para la implementación de la EC y las estrategias de diseño sostenible que han sido recientemente asociadas a este paradigma.

3.1 Análisis descriptivo.- La Figura II ilustra la distribución de las publicaciones seleccionadas. En ésta, se evidencia que la mayoría (58%) de las investigaciones seleccionadas fueron publicadas durante los últimos siete años. Incluso, el año con mayor número de publicaciones es el 2016,



justo después de que la Unión Europea lanzara el Plan de Acción para la economía circular.

Figura II.- Distribución por año de las publicaciones seleccionadas. Elaboración propia.

Por otra parte, también se analizaron las fuentes de las publicaciones y se observó que la revista científica con más publicaciones (12 artículos) fue el *Journal of Cleaner Production*. Aunque dentro de la revisión también se destacan revistas como el *Sustainability* (4 artículos) y el *International Journal of Technology* (3 artículos). Teniendo en cuenta que la búsqueda fue hecha a 31 de Julio de 2017, se considera que la cantidad de publicaciones de 2017 a la fecha es significativa, respecto al resto de años (Figura II).

3.2 Evolución de la sostenibilidad y su relación con la economía circular.- Desde la revolución industrial en el siglo XVIII, la productividad de las empresas y la calidad de vida de la población global se ha incrementado. Así, la creciente productividad suele venir de la mano de la creciente explotación de los recursos naturales renovables y no renovables, lo cual amenaza la sostenibilidad de la vida de los ecosistemas naturales y, por ende, de la población humana. En el contexto de la revolución industrial y hasta el siglo XX, el sistema económico, social y ambiental se entendía en silos distanciados y sin relación, hasta que la sobreexplotación de la naturaleza empezó a afectar el desarrollo económico y social; con tierras que ya no producían y comunidades que sufrían enfermedades producto de la contaminación [1], [3].

No fue hasta los años sesenta con los primeros movimientos ambientalistas y la publicación del libro “Primavera silenciosa” [1], cuando empezó a cobrar relevancia el impacto negativo que causaban las industrias al planeta, debido a la explotación indiscriminada de recursos, los monocultivos y el uso excesivo de sustancias tóxicas en el ambiente. Este despertar, sumado a la primera publicación del concepto de “desarrollo sostenible” en el “Reporte de Brundtland”[2], marcaron una nueva etapa que mostraba la importancia de cuidar los recursos naturales de hoy para garantizar la calidad de vida de las generaciones futuras [2]. Este concepto es general, ambiguo e imperfecto, pero en definitiva marcó un valioso punto de partida a nivel global. Así, a lo largo del siglo XX y hasta hoy, varios economistas han tratado de averiguar la mejor manera de recortar la distancia entre el cuidado del medio ambiente y la teoría de la economía neoclásica, lo que ha permitido formular una “economía verde”, que pretende aliviar el impacto ambiental y hacer un uso eficiente de los recursos, aunque insiste en el crecimiento infinito y expansionista [16]. Esta propuesta no soluciona los problemas de raíz, ya que se ha orientado hacia la internalización de costes, y ha impulsado el principio de “quien contamina paga”, pero no ha impulsado cambios sistemáticos en la cultura empresarial desde la mejora en los focos de contaminación de los procesos y el diseño de producto.

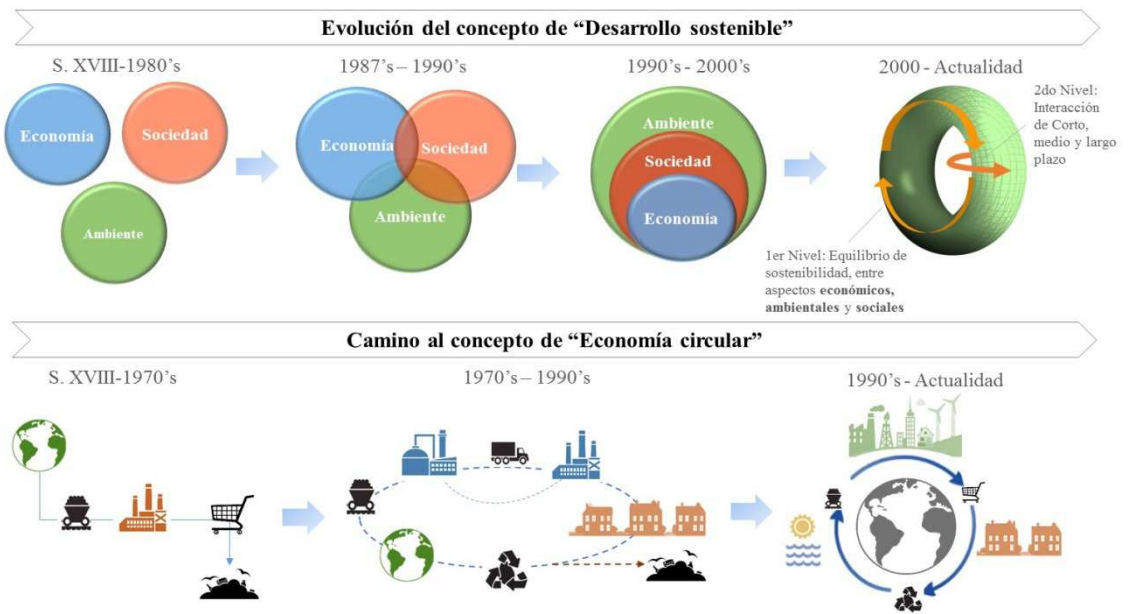


Figura III.- Evolución paralela de los conceptos de “Desarrollo sostenible” y “Economía circular”.
Elaboración propia basada en referencias [2]–[4], [17]–[20].

De manera paralela, economistas como Boulding destacaron la importancia de establecer una relación coherente entre el medio ambiente y el sistema económico. Boulding [17] propuso que la Tierra podría funcionar como un sistema cerrado, ecológico y cíclico que permitiera reciclar los recursos limitados, para hacerlos ilimitados. Pero no fue hasta 1990 cuando Pearce y Turner [18] formularon literalmente el término "Economía Circular", proponiendo un flujo económico cerrado que explicaba cómo sería posible su funcionamiento. En el campo de la ingeniería, la investigación realizada por Ayres [19], [20], propuso entender y diseñar actividades industriales que funcionaran como un metabolismo en cada empresa y luego la formación de simbiosis industrial entre organizaciones distintas. Así, durante los años noventa, el concepto de sostenibilidad empezó a influir en la sociedad, y a entenderse como la integración de la prosperidad económica, social y el cuidado del ambiente [3].

De acuerdo a lo anterior, puede decirse que la EC no es un concepto nuevo, aunque ha llamado la atención de la comunidad científica y empresarial especialmente en los últimos años, debido a su implementación como política estratégica para países como Alemania, China, Japón, la Unión Europea [21], entre otros. Además, hay varios campos de estudio y disciplinas que han sumado esfuerzos para impulsar el cambio del sistema económico lineal y clásico, al paradigma circular, algunas de ellas son: la administración, con el desarrollo de modelos de negocio alternativos y sostenibles [22], [23]; la ingeniería, a través de la simbiosis industrial[24]; el diseño, con la estrategia "Cradle to Cradle" [9] y la biomimesis [25], entre otros.

Así, el refuerzo de la idea de cerrar los flujos de energía y materiales, es congruente con la evolución reciente del concepto de sostenibilidad. Mebratu [3] indica que las tres dimensiones de la sostenibilidad (económica, social y ambiental) no solo deben integrarse, sino que deben estar configuradas como una sola unidad donde todo lo económico afecta lo social, y todo lo social lo ambiental, por tanto, todo fenómeno ambiental afecta las dimensiones social y económica de la sostenibilidad. Es por eso que varios estudios se han orientado a analizar la implantación de la EC

en las empresas para impulsar su sostenibilidad económica en el largo plazo, entendiendo la importancia de la sostenibilidad ambiental[26]–[28]. Posteriormente en 2003, Lozano [4] propuso un modelo de sostenibilidad donde las tres dimensiones interactúan continuamente y además añade la variable “tiempo”, entendiendo así que la sostenibilidad puede estar dada en el corto, medio y largo plazo (Figura III).

En este orden de ideas, consideramos que la EC es un paradigma que responde al cambio de pensamiento científico, empresarial y político, que se ha visto enfrentado a la necesidad de desarrollar estrategias que permitan hacer posible la sostenibilidad ambiental, sin dejar de lado los retos sociales y económicos del mundo actual. Así mismo, es necesario agregar que la EC y el concepto de desarrollo sostenible probablemente seguirán evolucionando, así como lo hace el pensamiento humano.

3.3 Campos de acción de la Economía Circular.- Como se explicó en la introducción, la EC consiste en un flujo cíclico, que implica extraer, transformar, distribuir, usar y recuperar los materiales y la energía de productos y servicios [6], [7]. Así que, merece la pena concretar cuáles son los campos de acción de la EC y en qué consisten, de tal manera que puedan ser identificados en cualquier proceso de mejora de la gestión ambiental (Figura IV). Los campos de acción propuestos son:

- 3.3.1** Extraer: En el marco de la EC, el término “extraer” se refiere a la forma en que las industrias toman recursos del entorno, por tanto, las empresas deben intentar hacer un uso más eficaz y responsable de los recursos biológicos y técnicos. Esto implica que las empresas pueden seleccionar los proveedores y los materiales que utilizan, de acuerdo con criterios medioambientales que disminuyan su impacto en la naturaleza.
- 3.3.2** Transformar: Tan pronto se obtienen los recursos, se debe procurar el desarrollo de las mejores prácticas tecnológicas e innovaciones ecológicas (eco-innovaciones) para que tanto el producto o servicio como su proceso se realicen de la manera más sostenible posible. [29].
- 3.3.3** Distribuir: Esta fase tiene que ver con la forma en la que el producto o servicio se entrega al cliente. Las empresas deben garantizar la trazabilidad de sus productos y de manera eficiente reducir el impacto ambiental, tanto en rutas, como embalajes, como, a través de distintas prácticas, como la logística inversa [30].
- 3.3.4** Usar: En cuanto el producto está a disposición de los consumidores u otras empresas, la EC propone reducir el impacto de la energía asociada al uso del producto o la eficiencia del propio producto [6]. La eficiencia del producto o servicio puede ser mejorada a través de la reutilización como producto de segunda mano o la reparación. Por tanto, las organizaciones deberían innovar en modelos de negocio, especialmente en dos vías; la primera, puede ser permitiendo a los clientes devolver el producto después de su uso, para así extender su ciclo de vida a través de servicios de post-venta o mantenimiento [29], [31], [32]. La segunda, puede ser promoviendo el modelo de “Sistema de servicio del producto”, que significa ofrecer el uso de los bienes tangibles a través de servicios[31], de tal manera que la propiedad y gestión del bien la mantiene el productor o distribuidor del servicio[33][34]. En este campo de acción la innovación en el modelo de negocio debe estar correctamente alineada con los canales de distribución y comunicación con el cliente para que la generación de valor sea óptima y se cierre el ciclo de materiales y energía.
- 3.3.5** Recuperar: Por último, en la EC, los residuos pueden ser recuperados de dos maneras: como un recurso biológico que puede ser devuelto a la biosfera o como un recurso técnico que puede ser reincorporado a un proceso industrial [9] (Figura IV).

Por otra parte, el desempeño de la EC en el mercado se puede ver a través de una perspectiva de tres niveles (Figura IV) de acuerdo con el nivel y el alcance de la influencia de los grupos de interés y su nivel de integración: micro, meso y macro [8]. En el nivel micro o individual, las empresas se centran en la mejora de sus propios procesos y prácticas, el uso de energía limpia, un consumo eficaz de las materias primas, el eco diseño de sus productos, la implementación de eco-etiquetas, la trazabilidad para disminuir su huella ambiental, entre otras iniciativas [7]. En segundo lugar, encontramos el nivel meso, donde las organizaciones empiezan a interactuar en red para compartir recursos y revalorizar o reutilizar residuos como en los eco-parques industriales ecológicos (Simbiosis industrial) [35] En este nivel también se destaca la acción colectiva de asociaciones empresariales cuyas características comunes les permiten generar simbiosis inter-organizacionales que benefician a todos los miembros[36]. A nivel macro, pueden darse iniciativas desarrolladas en ámbitos regionales o nacionales como son las eco-ciudades, los eco-municipios o las provincias ecológicas [8].

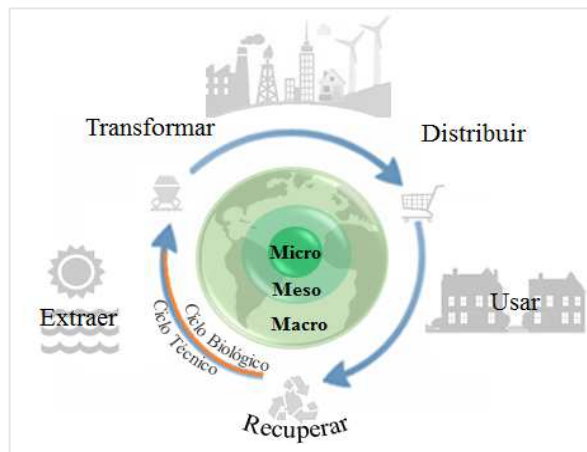


Figura IV.- Ciclo de economía circular. Elaboración propia.

No obstante, la implementación de la EC implica que las empresas superen barreras externas e internas. Entre las barreras externas se encuentran la falta de regulación política y los incentivos económicos, mientras que entre las barreras internas están la falta de capacidades técnicas, los recursos financieros propios [24], [37] y el interés empresarial en temas ambientales [38].

3.4 Estrategias de diseño de producto para la Economía Circular.- Si bien, en la sección anterior se ha evidenciado que la EC cuenta con cinco campos de acción y tres niveles distintos de alcance, es fundamental resaltar la importancia que tiene el diseño de los productos (bienes y servicios) para que el flujo de materiales y energía realmente sea circular. Es por esto que múltiples investigaciones se han dedicado a buscar el conjunto de parámetros y estrategias que pueden guiar a las empresas en el diseño de productos eco-innovadores [9], [39], [40]. Este tipo de productos sostenibles pueden permitirle a las organizaciones generar una ventaja competitiva en mercados locales e internacionales [41], incrementar la percepción de calidad percibida por parte de sus clientes [42], [43] e impulsar el desarrollo de ciclos de eco-innovación en las empresas [44].

Una de las estrategias de diseño más reconocidas es el “Cradle to Cradle” o “De la cuna a la cuna” (C2C), cuyo propósito principal es promover que los productos sean diseñados de tal manera que siempre puedan ser recuperados a través de ciclos biológicos o técnicos [12]. Para este fin, McDonough y Braungart propusieron tres principios fundamentales:

- I. Basura = alimento: Este principio se refiere a que los productos que hoy consideramos “basura” después de su uso, pueden ser un nutriente biológico que alimente la tierra o un

- elemento técnico valioso que se reincorpore en procesos productivos. Un ejemplo de ello es el uso de biomasa oceánica, tales como las algas y los residuos procedentes del procesamiento de pescado para la obtención de productos como celulosa, biodiesel, biopolímeros, fertilizantes, pigmentos, materiales biomédicos, entre otros [45].
- II. Uso de energías renovables: Implica que debemos hacer uso de la energía natural que está a nuestra disposición, en vez de recurrir a fuentes contaminantes.
 - III. Celebrar la diversidad: Cerrar los ciclos de energía y materiales requiere la interacción entre los distintos agentes (industrias, consumidores y gobiernos) y valorar la diversidad de la naturaleza para sacar provecho de ella. Pero, entender este principio requiere reconocer la importancia de la diversidad natural que tiene nuestro planeta, porque esta misma característica es la que le ha permitido generar y sostener la vida. Con esto nos referimos a ejemplos como el fósforo de la arena del Sahara que fertiliza el Amazonas[46], o cómo las hormigas en Sudamérica pueden ser un importante predador de *H. hampei* o “broca del café”, especialmente en cultivos cafeteros de sombra y así funcionar como un control biológico natural[47].

En segundo lugar, pero no menos importante, encontramos la “biomímesis”, que consiste en utilizar a la naturaleza como “mentor”, [25], de tal manera que sea su diseño y estructura quien guíe nuestra manera de innovar. Hoy en día la biomímesis tiene un amplio campo de acción desde las artes hasta la ingeniería. Uno de los ejemplos de biomímesis más destacados en la actualidad es la invención del velcro, que viene de las palabras francesas *Velvet* que significa terciopelo y *Crochet* que significa gancho. El conocido invento fue desarrollado por el ingeniero suizo Georges de Mestral, cuando en una caminata por las montañas alpinas descubrió como los cardos (*Carduus defloratus*) se mantenían adheridos al pelaje de su perro y su ropa. Al final, la idea del velcro surgió cuando examinaba el diseño de los ganchos del cardo en el microscopio y el uso que podía tener para adherir elementos temporalmente.

Sin embargo, múltiples autores han manifestado que los diseños de productos o materiales inspirados en la naturaleza no necesariamente son más sostenibles que otros productos equivalentes, si son analizados desde la perspectiva del análisis de ciclo de vida [39], [48]. Es por eso, que estas estrategias no deben perder de vista los aportes que ha hecho el eco-diseño. Así, una estrategia de diseño de producto orientada a la EC debe ser coherente con los principios de la naturaleza y a la vez tener en cuenta el ciclo de vida de los productos, de acuerdo a la sociedad en la que vivimos.

4. Conclusiones.- El resultado más sobresaliente que emerge de este estudio es que la EC no es una “moda”, es un paradigma de actuación que ha resultado de la evolución del concepto de sostenibilidad y su aplicación en la economía, la sociedad, y el cuidado necesario del ambiente que nos rodea. Por esta razón, la EC se ha convertido en el camino para lograr un cambio integral en función de un problema global y conocido: lograr el desarrollo sostenible. En este orden, la EC no va en contra del crecimiento económico, sino que propone cerrar los ciclos de energía y materiales para hacer un uso intensivo de los recursos que ya tenemos a nuestra disposición, en vez de expandir su explotación y ampliar los daños ambientales. Incluso, la EC abre nuevas oportunidades de negocio (mas eslabones dentro de cadenas de valor y mucho más largas), desafía la innovación de todo tipo y estimula el surgimiento de nuevos modelos de negocio.

Según lo anterior, este estudio propone entender la EC a través de cinco campos de acción que abarcan el ciclo de vida que deberían tener los productos desde que los materiales son extraídos hasta que sean recuperados de productos y servicios: extraer, transformar, distribuir, usar y recuperar. Así mismo, se hace evidente que las acciones y modelos de negocio que se empleen para implementar la EC, pueden tener una relevancia distinta según su escala de actuación (micro, meso y macro).

Adicionalmente se observó que la EC implica que los bienes y servicios desarrollados por las empresas se diseñen de una manera eco-innovadora que permita una producción y uso sostenible. En consecuencia, es fundamental que las empresas se pregunten con cuanta facilidad sus productos podrán recuperarse en ciclos técnicos o biológicos, o cómo pueden innovar en la relación con sus clientes para recuperar los bienes que ellos ya no quieren usar.

Esta investigación también tiene varias aplicaciones prácticas, ya que la teoría desarrollada puede ayudar a gobiernos e instituciones a alinear sus objetivos de desarrollo con la EC. Por otra parte, la definición de los campos de acción y la explicación de algunas de las estrategias de diseño sostenible pueden guiar a las empresas en el proceso de implementación de la EC. Esta implementación puede darse a través de sus modelos de negocio o en el diseño de su estrategia corporativa.

Agradecimientos

Esta investigación es fruto del apoyo del Programa Nacional para la promoción de la excelencia en la investigación científica y técnica de España y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional: DPI2015-70832-R (MINECO/FEDER), para el proyecto EcoPyme, Integración de la Economía Circular en PYMEs. Así mismo, los autores agradecen los constructivos comentarios de los revisores anónimos.

Referencias

- [1] Carson, R., *Silent spring*. Boston : Houghton Mifflin, 1962., 1962.
- [2] WCED, "Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future Acronyms and Note on Terminology Chairman's Foreword," Oxford ; New York : Oxford University Press, 1987, Brundtland, 1987.
- [3] Mebratu, D., "Sustainability and sustainable development," *Environ. Impact Assess. Rev.*, vol. 18, no. 6, pp. 493–520, 1998.
- [4] Lozano, R., "Envisioning sustainability three-dimensionally," *J. Clean. Prod.*, vol. 16, no. 17, pp. 1838–1846, 2008.
- [5] Huesemann, M. H., "The failure of eco-efficiency to guarantee sustainability: Future challenges for industrial ecology," *Environ. Prog.*, vol. 23, no. 4, pp. 264–270, 2004.
- [6] Stahel, W. R., "Circular Economy," *Nature*, pp. 6–9, 2016.
- [7] Park, J. *et al.*, "Creating integrated business and environmental value within the context of China's circular economy and ecological modernization," *J. Clean. Prod.*, vol. 18, no. 15, pp. 1492–1499, Oct. 2010.
- [8] Yuan, Z. *et al.*, "Where Will China Go? A Viewpoint Based on an Analysis of the Challenges of Resource Supply and Pollution," *Environ. Prog.*, vol. 27, no. 4, pp. 503–514, 2008.
- [9] McDonough, W. and M. Braungart, *Cradle to cradle : remaking the way we make things*. New York : North Point Press, 2002., 2002.
- [10] Prieto-Sandoval, V. *et al.*, "Circular Economy : An economic and industrial model to achieve the sustainability of society," in *Proceedings of the 22nd Annual International Sustainable Development Research Society Conference. Rethinking Sustainability Models and Practices: Challenges for the New and Old World Contexts*, vol. 2, no. July, R. F. . Joanaz de Melo, João ; Disterheft, Antje; Caeiro, Sandra; Santos and T. B. Ramos, Eds. Lisbon: ISDRS, 2016, pp. 504–520.
- [11] Winston, A., "9 Sustainable Business Trends That Shaped 2016," *Harv. Bus. Rev.*, pp. 2–8, 2016.
- [12] Tranfield, D. *et al.*, "Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review," *Br. J. Manag.*, vol. 14, no. 3, pp. 207–222, 2003.
- [13] Meredith, J., "Theory Building through Conceptual Methods," *Int. J. Oper. Prod.*

- Manag.*, vol. 13, no. 5, pp. 3–11, May 1993.
- [14] Hansen, D. *et al.*, “‘Weddings, parties, anything...’, a qualitative analysis of ecstasy use in Perth, Western Australia,” *Int. J. Drug Policy*, vol. 12, no. 2, pp. 181–199, 2001.
- [15] Ricci, E. M. and M. J. Gunter, “Strategies for increasing the rigor of qualitative methods in evaluation of health care programs,” *Eval. Rev.*, vol. 14, no. 1, pp. 57–74, 1990.
- [16] Mathews, J. A., “Naturalizing capitalism: The next Great Transformation,” *Futures*, vol. 43, no. 8, SI, pp. 868–879, Oct. 2011.
- [17] Boulding, B. K. E., “The Economics of the Coming Spaceship Earth,” *Environ. Qual. Issues a Grow. Econ.*, pp. 1–8, 1966.
- [18] Pearce, D. W. and R. K. Turner, *Economics of natural resources and the environment*. Brighton : Harvester Wheats, 1990., 1990.
- [19] Ayres, R. U., “Industrial metabolism and global change,” *Int. Soc. Sci. J.*, vol. 41, no. 3, pp. 363–373, 1989.
- [20] Ayres, R. U. and A. V. Kneese, “Production, consumption, and externalities,” *Am. Econ. Rev.*, pp. 282–296, 1969.
- [21] EU Commission, “Towards a Circular Economy: A Zero Waste Programme for Europe,” Brussels, 2014.
- [22] Lewandowski, M., “Designing the Business Models for Circular Economy — Towards the Conceptual Framework,” *Sustain.*, vol. 8, no. 1, pp. 1–28, 2016.
- [23] Valkokari, K. and M. Antikainen, “A Framework for Sustainable Circular Business Model Innovation,” *Technol. Innov. Manag. Rev.*, vol. 5, no. 7, pp. 1–65, 2016.
- [24] Geng, Y. *et al.*, “Empirical analysis of eco-industrial development in China,” *Sustain. Dev.*, vol. 15, no. 2, pp. 121–133, 2007.
- [25] Benyus, J. M., *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*. New York, 2002.
- [26] Ormazabal, M. *et al.*, “An Overview of the Circular Economy Among Smes In the Basque Country : A Multiple Case Study,” *J. Ind. Eng. Manag.*, vol. 9, no. 5, pp. 1047–1058, 2016.
- [27] Linder, M. and M. Williander, “Circular Business Model Innovation: Inherent Uncertainties,” *Bus. Strateg. Environ.*, p. n/a--n/a, 2015.
- [28] Rizos, V. *et al.*, “Implementation of circular economy business models by small and medium-sized enterprises (SMEs): Barriers and enablers,” *Sustain.*, vol. 8, no. 11, 2016.
- [29] Carrillo-Hermosilla, J. *et al.*, “Diversity of eco-innovations: Reflections from selected case studies,” *J. Clean. Prod.*, vol. 18, no. 10–11, pp. 1073–1083, 2010.
- [30] van der Wiel, A. *et al.*, “Reverse logistics for waste reduction in cradle-to-cradle-oriented firms: waste management strategies in the Dutch metal industry,” *Int. J. Technol. Manag.*, vol. 60, no. 1–2, SI, pp. 96–113, 2012.
- [31] Tukker, A., “Product services for a resource-efficient and circular economy - A review,” *J. Clean. Prod.*, vol. 97, pp. 76–91, 2015.
- [32] Mont, O., “Clarifying the concept of product – service system,” *J. Clean. Prod.*, vol. 10, pp. 237–245, 2002.
- [33] Witjes, S. and R. Lozano, “Towards a more Circular Economy: Proposing a framework linking sustainable public procurement and sustainable business models,” *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 112, no. July, pp. 37–44, 2016.
- [34] Stahel, W. R., “The product life factor,” in *An Inquiry Into the Nature of Sustainable Societies: The Role of the Private Sector*, S. Grinton Orr, Ed. Houston, TX, US: Houston Area Research Centre, 1982, pp. 72–105.
- [35] Geng, Y. *et al.*, “Towards a national circular economy indicator system in China: an evaluation and critical analysis,” *J. Clean. Prod.*, vol. 23, no. 1, pp. 216–224, Mar. 2012.
- [36] Ruggieri, A. *et al.*, “A meta-model of inter-organisational cooperation for the transition to a circular economy,” *Sustain.*, vol. 8, no. 11, pp. 1–17, 2016.
- [37] Geng, Y. and B. Doberstein, “Developing the circular economy in China: Challenges and opportunities for achieving ‘leapfrog development’,” *Int. J. Sustain. Dev. World Ecol.*, vol. 15, pp. 231–239, 2008.

- [38] Biondi, V. *et al.*, “Achieving sustainability through environmental innovation: the role of SMEs,” *Int. J. Technol. Manag.*, vol. 24, no. 5/6, p. 612, 2002.
- [39] de Pauw, I. C. *et al.*, “Comparing Biomimicry and Cradle to Cradle with Ecodesign: a case study of student design projects,” *J. Clean. Prod.*, vol. 78, pp. 174–183, Sep. 2014.
- [40] Bakker, C. *et al.*, “Products that go round: exploring product life extension through design,” *J. Clean. Prod.*, vol. 69, pp. 10–16, 2014.
- [41] Porter, M. . and C. Van Der Linde, “Toward a new conception of the Environment-Competitiveness relationship,” *J. Econ. Perspect.*, vol. 9, no. 4, pp. 97–118, 1995.
- [42] Bougherara, D. and P. Combris, “Eco-labelled food products: what are consumers paying for?,” *Eur. Rev. Agric. Econ.*, vol. 36, no. 3, pp. 321–341, 2009.
- [43] Zanolli, R. and S. Naspetti, “Consumer motivations in the purchase of organic food: a means-end approach,” *Br. Food J.*, vol. 104, no. 8, pp. 643–653, 2002.
- [44] Prieto-Sandoval, V. *et al.*, “ECO-labels as a multidimensional research topic: Trends and opportunities,” *J. Clean. Prod.*, vol. 135, pp. 806–818, 2016.
- [45] Kerton, F. M. *et al.*, “Green chemistry and the ocean-based biorefinery,” *Green Chem.*, vol. 15, no. 4, pp. 860–871, 2013.
- [46] Bristow, C. S. *et al.*, “Fertilizing the Amazon and equatorial Atlantic with West African dust,” *Geophys. Res. Lett.*, vol. 37, no. 14, pp. 3–7, 2010.
- [47] Armbrrecht, I. and M. C. Gallego, “Testing ant predation on the coffee berry borer in shaded and sun coffee plantations in Colombia,” *Entomol. Exp. Appl.*, vol. 124, no. 3, pp. 261–267, 2007.
- [48] Llorach-Massana, P. *et al.*, “Are Cradle to Cradle certified products environmentally preferable?,” *J. Clean. Prod.*, vol. 93, pp. 243–250, 2015.