
ECONOMÍA CIRCULAR: UNA APROXIMACIÓN A SU ORIGEN, EVOLUCIÓN E IMPORTANCIA COMO MODELO DE DESARROLLO SOSTENIBLE*

Andy Espinoza H.¹

* DOI: <https://doi.org/10.18601/01245996.v25n49.06> Recepción: 02-02-2023, modificación final: 09-05-2023, aceptación: 31-05-2023. Sugerencia de citación: Espinoza, H., A. (2023). Economía circular: una aproximación a su origen, evolución e importancia como modelo de desarrollo sostenible. *Revista de Economía Institucional*, 25(49), 109-134.

¹ Doctor en Humanidades y Ciencias Sociales. Docente Investigador, Universidad Marítima Internacional de Panamá (UMIP), FATRAMAR. Miembro del Sistema Nacional de Investigación (SNI) de la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e innovación (SENACYT), Panamá, [aespinoza@umip.ac.pa], [<https://orcid.org/0000-0003-1258-6056>].

Economía circular: una aproximación a su origen, evolución e importancia como modelo de desarrollo sostenible

Resumen Aunque los orígenes de la economía circular (EC) aparecen formalmente en diversas disciplinas y corrientes de pensamiento desde los años setenta, los resultados evidencian que la economía ambiental y ecología industrial fueron determinantes para impulsar su desarrollo. Se estima que la aplicación de la EC impactaría de manera positiva el PIB global en un 1.1%, potenciando la creación de empleos, una mayor resiliencia de las economías y contribuir con las metas trazadas de la agenda 2030. Esta investigación tiene como propósito mejorar la comprensión acerca de los antecedentes e importancia creciente de la EC como modelo de desarrollo sostenible.

Palabras clave: Economía Lineal, Economía Circular, Economía Ambiental, Ecología Industrial, Desarrollo Sostenible, Ecodiseño, Valorización energética, Remanufacturar, Ecosistemas; JEL: E26, E29, E66.

Circular economy: an approach to its origin, evolution and importance as a model of sustainable development

Abstract Although the origins of the Circular Economy (CE) are formally visualized in various disciplines and schools of thought in evolution since the 1970s, the results show that environmental economics and Industrial ecology were decisive in promoting its development. It is estimated that the application of the CE would positively impact global GDP by 1.1%, promoting the creation of jobs, a greater resilience of the economies and contributing to the goals outlined in the 2030 agenda. The purpose of this research is to improve the understanding of the background and growing importance of (CE) as a model of sustainable development.

Keywords: Linear Economy, Circular Economy, Environmental Economics, Industrial Ecology, Sustainable Development, Ecodesign, Energy recovery, Remanufacturing, Ecosystem; JEL: E26, E29, E66

Economia circular: uma abordagem à sua origem, evolução e importância como modelo de desenvolvimento sustentável

Resumo Embora as origens da economia circular (EC) apareçam formalmente em várias disciplinas e escolas de pensamento desde a década de 1970, os resultados mostram que a economia ambiental e a ecologia industrial foram decisivas para promover seu desenvolvimento. Estima-se que a aplicação do CE impactaria positivamente o PIB global em 1,1%, promovendo a geração de empregos, maior resiliência das economias e contribuindo para as metas traçadas na agenda 2030. O objetivo desta pesquisa é aprimorar o entendimento sobre o histórico e importância crescente da EC como modelo de desenvolvimento sustentável.

Palavras-Chave: Economia Linear, Economia Circular, Economia Ambiental, Ecologia Industrial, Desenvolvimento Sustentável, Ecodesign, Recuperação de Energia, Remanufatura, Ecosistemas; JEL: E26, E29, E66

Aunque los orígenes y principios de la economía circular (EC) aparecen formalmente en diversas disciplinas y corrientes de pensamiento que han venido evolucionando desde los años setenta, los aportes de la economía ambiental y la ecología industrial (EI) en el manejo de los residuos, el valor de los materiales y el control de la contaminación, fueron elementos claves para impulsar su desarrollo (Frosch, 1992), (Erkman, 1997), (Andersen, 2006), (Jacobsen, 2006).

La EI introduce una perspectiva diferente que promueve la transición de ciclos de producción abiertos a ciclos cerrados, ahorrando procesos industriales derrochadores, una gestión adecuada de los residuos y su integración en la red de producción industrial como fuente de materiales y energía (Frosch, 1992).

Basándose en los principios de la Ecología Industrial, Walter R. Stahel, a partir de su trabajo *“The Potential for Substituting Manpower for Energy”* (1976), impulsa el concepto de economía del rendimiento, en la que se describe una economía en la que predominan los procesos en bucle o procesos en ciclo cerrado, la que luego se denominará economía circular.

El concepto de EC se introduce formalmente por primera vez en la obra *“Economics of Natural Resources and The Environment”*, de los economistas ambientales David W. Pearce y R. Kerry Turner. Diversos autores concuerdan en que ellos fueron los primeros en acuñar el término.

De acuerdo con Vasileios, Katja y Arno (2017), Pearce y Turner introducen el concepto basándose en el principio de funcionamiento de la naturaleza, en donde todo es insumo para todo lo demás.

Otras importantes contribuciones, que han permitido el refinamiento y avance de la economía circular hasta nuestros días, provienen de la aplicación de leyes de la termodinámica, impulsada por los economistas Kenneth E. Boulding y Nicholas Georgescu-Roegen, quien introduce el concepto de entropía al análisis de las interacciones entre la economía industrial y el ambiente en la década de los setenta.

En las tres últimas tres décadas –(1990-2020)– se destacan los aportes de la Biomímesis, la Economía Azul, el enfoque de la Cuna a la Cuna (*Cradle to Cradle*), y el concepto de “Doughnut economics”. Este último concepto fue elaborado por Kate Raworth en el año 2012, en el informe de Oxfam (Doughnut Economics Action Lab, 2023).

La bióloga Janine Benyus, con su enfoque Biomímesis, propone la solución de problemas económicos, sociales y ambientales, imitando el funcionamiento de la naturaleza y sus sistemas de equilibrio, ciclos cerrados que se retroalimentan y son capaces de devolver al entorno

natural materiales fácilmente absorbibles, biodegradables y que no generen daños a los ecosistemas. Por otro lado, el enfoque de la economía azul, impulsado por Gunter Pauli, resalta que la solución a los presentes males de nuestra economía reside en aplicar la lógica de los ecosistemas: en la naturaleza nada se desperdicia, todo es un insumo para todo (Pauli, 2011, págs. 37-39).

En el año 2002 aparece el trabajo de William McDonough y Michael Braungart, “De la cuna a la cuna”, *Cradle to Cradle: Remaking the way we make things* (OEA, 2016), en el que se afirma que “todo es recurso para otra cosa”. El modelo hace una distinción entre ciclos técnicos y biológicos; el consumo ocurre solamente en los ciclos biológicos, donde alimentos y otros materiales de base biológica son diseñados para regresar al sistema mediante procesos de compostaje y digestión anaerobia. Por otro lado, los ciclos técnicos recuperan y restauran productos componentes y materiales mediante estrategias de reutilización, reparación, remanufactura o, en última instancia, reciclaje.

La metodología de la Cuna a la Cuna fue impulsada formalmente como plan piloto en el año 2013 por la Organización de Estados Americanos (OEA) y fue desarrollado inicialmente en Ecuador, Panamá, Colombia y Trinidad y Tobago, como modelo para los demás países de la región.

La economía circular se promueve a nivel global como un modelo de desarrollo sostenible de gran importancia para ayudar a los países con las metas trazadas en la agenda 2030 y los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS). De acuerdo con la ONU y la Fundación Ellen MacArthur, la aplicación de la economía circular tendría un impacto directo en la lucha contra el cambio climático, la prevención de residuos y la recuperación económica en el mundo Post-Covid-19. Su aplicación podría reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en el sector de las industrias y disminuir significativamente la generación global de residuos plásticos.

En términos económicos, los estudios muestran que la economía circular presenta una oportunidad de 4,5 billones de dólares, capaz de impulsar el PIB Mundial en un 1,1%, crear de manera simultánea miles de puestos de trabajo y una economía más resiliente (Arroyo, 2018). En el caso de la UE, India y América Latina, la economía circular podría generar millones de nuevos empleos y beneficios económicos netos.

De acuerdo con la fundación Ellen MacArthur (2022), la EC podría generar a nivel global unos 550.000 millones de euros en

reducción en cuidados de la salud, asociada, al sector alimentario, un incremento de 3,000 euros de la renta disponible en los hogares europeos y 70 billones en ahorros para negocios y hogares en China para el año 2040.

Según la Fundación para la Economía Circular en España, el desarrollo de la EC debería ayudar en la reorientación sostenible y productiva de los países. Además de los beneficios ambientales implícitos, esta actividad emergente es creadora de riqueza y empleo en todo el conjunto del territorio, y su desarrollo debe permitir obtener una ventaja competitiva en el contexto de la globalización (Fundación para la Economía Circular, 2022).

La economía circular sigue posicionándose en el mundo como una alternativa al modelo de desarrollo lineal, (Extraer-Producir-Desperdiciar). La República Popular China y la Unión Europea avanzan como los líderes globales en su implementación, impulsando nuevas regulaciones en materia de promoción de la EC, como el reciente paquete de medidas impulsado por la UE, denominado Pacto Verde Europeo (Comisión Europea, 2022).

También se han presentado importantes iniciativas legislativas que impulsan la EC en América Latina y el Caribe, tales como la ley que prohíbe la comercialización y distribución de plásticos de un solo uso e iniciativas que promueven la reducción de generación de residuos orgánicos y su aprovechamiento energético. En el continente africano se destaca la Red Africana de Economía Circular y la Alianza Africana de Economía Circular.

MATERIALES Y MÉTODOS

El enfoque de nuestra investigación es de tipo documental: un análisis de diversos estudios e investigaciones realizadas sobre EC, con el propósito de conocer el origen, estado actual e importancia como modelo de desarrollo sostenible.

Como fuentes de información primaria se consideraron artículos científicos, libros especializados, revistas de investigación indexadas e informes de organismos internacionales como la Organización de Estados Americanos (OEA), la ONU, la Comisión Económica para América Latina (CEPAL), páginas de divulgación científica, repositorios y bibliotecas digitales.

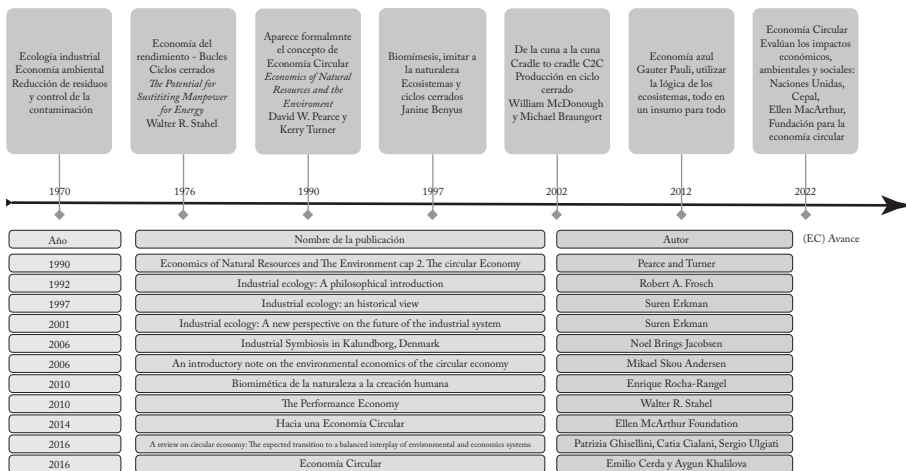
También, incorporamos estudios realizados por organizaciones reconocidas que abordan la temática a nivel global, como la Fundación Ellen MacArthur (EMF), la Fundación para la Economía Circular

en Europa y el Instituto de Investigación de EC, Cradle to Cradle Products Innovation Institute.

La recopilación de la información se realizó de manera cronológica, año de publicación, temática abordada en economía circular y autor. Seguidamente se seleccionaron y agruparon los artículos más representativos, según los diferentes temas de interés. Para la búsqueda en la web utilizamos palabras claves, como economía circular, principios de la economía circular, origen y evolución de la economía circular, gestión de residuos, reciclaje, reutilización, historia y desarrollo de la economía circular. Se realizaron búsquedas orientadas a conocer el avance de la economía circular en la Región Latinoamericana y el mundo, buscando en recursos como SciELO, Red ALyC, Latindex, Dialnet y los sitios web de la CEPAL, ONU y OEA.

Se elaboró un mapa conceptual para representar una línea de tiempo identificando las principales ideas y exponentes de la EC, nombre del autor y año de la publicación, lo cual permitiría analizar y seleccionar la información relevante a medida que se avanzaba en la redacción de la investigación. Un aporte importante del mapa conceptual es contar con una mirada acerca del origen y avance de la EC en las últimas décadas. Para todos los estudios seleccionados se revisaron las conclusiones y resultados encontrados. A continuación, se presenta mapa conceptual que resalta la evolución de la economía circular en el tiempo:

Mapa conceptual: origen y evolución de la Economía Circular



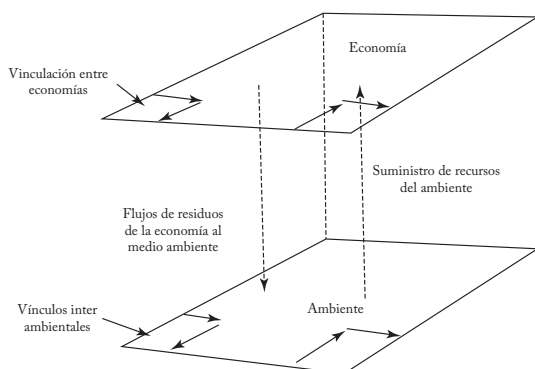
Fuente: Elaboración propia a partir de la bibliografía consultada

ORIGEN DEL CONCEPTO Y EVOLUCIÓN DE LA ECONOMÍA CIRCULAR

El término “economía circular” se introduce, por primera vez, en el modelo económico desarrollado por David W. Pearce y R. Kerry Turner, basándose en el principio de funcionamiento de la naturaleza, en donde todo es un insumo para todo lo demás (Vasileios, Katja, & Arno, 2017). El concepto es acuñado por los economistas ambientales Pearce y Turner, en el segundo capítulo – La economía circular – de su libro *Economía de los Recursos Naturales y el Medio Ambiente (Economics of Natural Resources and The Environment)*, cuya primera edición es de 1990.

El siguiente diagrama muestra la representación de las interacciones y vínculos existentes entre la economía y el ambiente y los principios para una transición de una economía lineal a una economía circular, (Pearce & Turner 1990).

Gráfica 1
Interacción de la economía y el medio ambiente



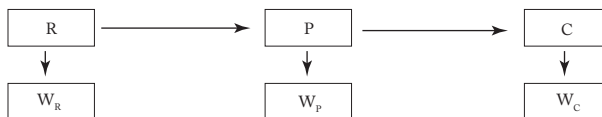
Fuente: Elaboración propia a partir de (Pearce y Turner, 1990, p. 30)

Pearce y Turner explican la transición del sistema económico tradicional abierto al sistema económico circular, en el que las interacciones entre la economía y el ambiente deben ser analizadas de forma holística: los sistemas ya sean físicos, biológicos, sociales, económicos, mentales lingüísticos y sus propiedades deben ser analizados en su conjunto y no solo a través de las partes que los componen. Se identifican tres funciones económicas del ambiente: provisión de recursos, soporte del sistema de vida y sumidero de residuos y emisiones. Proponen que, al igual que otras funciones económicas, estas tres funciones básicas deben tener un precio (Pearce & Turner, 1990, págs. 29-40).

De acuerdo con Ghisellini (2015), los autores se basaron en los estudios previos del economista ecológico Kenneth Boulding. La idea del sistema circular planteada por Boulding se enfoca en la necesidad de contemplar la Tierra como un sistema económico cerrado, en el que la economía y el medio ambiente no se caracterizan por vínculos lineales, sino por una relación circular. En ese sentido, la idea del sistema circular se convierte en una condición para el mantenimiento de la sostenibilidad y de la vida humana en la Tierra. Para Boulding existen dos tipos de economías, una abierta, a la que llamó metafóricamente “economía vaquera”: una sociedad que consume, explota los recursos naturales de manera imprudente y contamina (economía lineal); y una economía cerrada similar a una nave espacial, con recursos finitos y en la que el ser humano se asemeja a un astronauta, que debe encontrar un sistema ecológico cíclico capaz de continuar la reproducción continua de formas materiales y, sobre todo, la conservación de provisiones para poder mantenerse con vida. Resalta la segunda ley de la termodinámica, defendida en la década de los setenta por Nicholas Georgescu-Roegen quien introduce la entropía en el análisis del desarrollo de la economía industrial para explicar el carácter lineal de la economía (Jakimowicz, 2020).

Gráfica 2

Flujo de la Economía Lineal



Fuente: Elaboración propia a partir de (Pearce & Turner, 1990, pág. 36)

R = Flujo de recursos naturales

P = Producción

C = Bienes de consumo

WR = Residuos de la naturaleza (Sistema natural de reciclaje - Todo es un insumo para todo)

WP = Residuos de la producción (La producción genera desechos en forma de efluentes industriales y contaminación del aire y desechos sólidos)

WC = Residuos del consumo (los consumidores finales crean desechos al generar aguas residuales, basura y desechos municipales).

ECOLOGÍA INDUSTRIAL (EI)

La noción de EC la encontramos en las raíces de la EI. De acuerdo con Andersen (2006), la ecología industrial, por ejemplo, enfatiza los beneficios de reciclar materiales de desecho residuales y subproductos mediante el desarrollo de interconexiones complejas, como las del renombrado proyecto de simbiosis industrial (SI), el cual opera en un

marco de relaciones interempresariales, un concepto de optimización de recursos de recursos colectivos basado en intercambios físicos de materiales, energía, agua y subproductos. La simbiosis busca convertir la producción de residuos de una industria a materia prima para otra, lo cual conducirá a beneficios ambientales al reducir la generación de residuos, el consumo de recursos y disminución de la contaminación por emisiones (Jacobsen, 2006).

En la ecología industrial se da a entender que la economía circular es beneficiosa para la sociedad y para la economía en su conjunto. Se obtendrán beneficios, no solo minimizando del uso del medio ambiente como sumidero para residuos sino, lo más importante, mediante reducción del consumo de recursos y materiales vírgenes de la economía.

La EI surge, formalmente, en los años setenta (Erkman, 1997), a partir de la percepción de que la actividad económica humana estaba causando graves problemas ambientales y en oposición al estudio del sistema industrial como algo separado de la biosfera o el ambiente; es decir, fábricas y ciudades por un lado y la naturaleza por el otro.

De acuerdo con esta teoría, el sistema industrial puede ser visto como un cierto tipo de ecosistema, al igual que los ecosistemas naturales, y puede describirse como una distribución de materiales, energía y flujos de información. Además, todo sistema industrial se basa en recursos y servicios proporcionados por la biosfera, por lo que no se puede disociar de la misma.

Ghisellini (2015), siguiendo a Erkman (1997), afirma lo siguiente: la ecología industrial surgió en oposición a la concepción actual de que los impactos ambientales de los sistemas industriales deben estudiarse manteniendo separada la fuente (sistema industrial) y el receptor de los impactos (el ambiente).

En ese sentido, la EI introdujo una perspectiva diferente analizando el sistema industrial y su entorno como un ecosistema que promueve la transición de ciclos abiertos a cerrados, lo que conduce a menos procesos industriales derrochadores, una gestión adecuada de los residuos y su integración en la red de producción industrial como fuente de materiales y energía.

De acuerdo con esta visión, por analogía con los ecosistemas naturales, una industria puede ser vista como un sistema ecológico. Además de minimizar la producción de residuos en los procesos, maximizaría el uso económico de materiales de desecho y de productos al final de su vida como insumos para otros procesos e industrias.

Esta posibilidad puede ser una realidad solo si se pueden resolver una serie de problemas potenciales: de residuos junto con el diseño

de productos y procesos, la economía del sistema, la internalización de los costes de eliminación de residuos para el diseño y elección de procesos y productos, los efectos de las regulaciones, problemas de responsabilidad y obligaciones legales. (Frosch, 1992).

Erkman (2001), por su parte, define los cuatro principios que deben guiar la reorganización del sistema industrial para que evolucione hacia un modo de funcionamiento sostenible a largo plazo y compatible con la Biosfera:

Los residuos y subproductos deben valorizarse sistemáticamente:

a) Erkman propone que, al igual que en los procesos de la cadena alimentaria de los ecosistemas naturales, debemos crear redes de uso de recursos y residuos en los ecosistemas industriales para que los residuos se conviertan en recursos para otras empresas o entidades económicas. En ese sentido afirma que el reciclaje tradicional es solo un aspecto de una serie de estrategias de recuperación del flujo de materia.

Las pérdidas causadas por la dispersión deben minimizarse

b) Los productos y servicios deben rediseñarse para que al final de su vida útil no tengan efectos nocivos en el ambiente y la salud. Resalta que en los países industriales el consumo humano y el uso a menudo causan más contaminación que la misma fabricación. Así, la fabricación y diseño del producto debe ser pensada desde su concepción hasta el final de su vida útil.

La economía debe ser desmaterializada

c) Tal vez una de las mejores formas de desmaterializar la economía es enfatizar en el servicio prestado, comercializar el uso del producto en lugar del producto en sí mismo. El objetivo implica estrategias tales como durabilidad (extender la vida útil de un producto), alquilar en lugar de poseer, vender el uso del producto en lugar del producto real. Para ilustrar el punto, un fabricante de fotocopiadoras vende el servicio de “fotocopiado” en lugar de la propia máquina. El usuario ejecutará una operación más rentable si la fotocopiadora se mantiene en manos del fabricante, el equipo tendrá una mayor vida útil, será fácilmente reciclable, etc. Erkman (2001) afirma que la desmaterialización no solo aplica a bienes de consumo y servicios: también es replicable para la infraestructura pesada del sistema industrial, como edificios, carreteras y redes de transporte, entre otros.

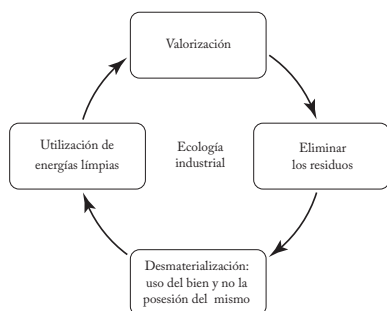
La energía debe depender menos de los hidrocarburos fósiles

d) Debemos hacer que el consumo de hidrocarburos sea menos dañino (recuperar los gases de carbono emitidos por la combustión) y favorecer el movimiento hacia energías que requieran menos combustibles fósiles (carbón, petróleo, gas). Los combustibles fósiles a base

de carbono también están en la raíz de muchos problemas, como el efecto invernadero, el smog, los derrames de petróleo y la lluvia ácida.

La siguiente figura presenta los principios de la ecología industrial, según Erkman:

Gráfica 3
Principios de la ecología industrial



Fuente: Elaboración propia a partir de Erkman (2001).

LA ECONOMÍA DEL RENDIMIENTO (*PERFORMANCE ECONOMY*):

El concepto fue esbozado por el arquitecto suizo y analista industrial Walter Stahel, en un trabajo para la Comisión Europea denominado “*The Potential for Sustituting Manpower for Energy*” (1976), en coautoría con Geneviève Reday.

El estudio se centró en la fabricación de automóviles y la construcción de edificios, y analizó el potencial para sustituir mano de obra por energía.

Los resultados mostraron que, a nivel macroeconómico, tres cuartas partes de la energía se utilizan en actividades extractivas y de producción de materiales básicos, mientras que una cuarta parte se utiliza en la fabricación o manufactura de bienes a partir de material básico. En ese sentido, según Stahel y Clift (2016), la extensión de la vida del producto constituye la mejor estrategia para sustituir energía por mano de obra, ya que las actividades de “reparación y remanufactura” son más intensivas en mano de obra y menos intensivas en capital, en comparación con las de fabricación, ofreciendo a la vez formas de aliviar los desafíos ambientales, económicos y globales actuales.

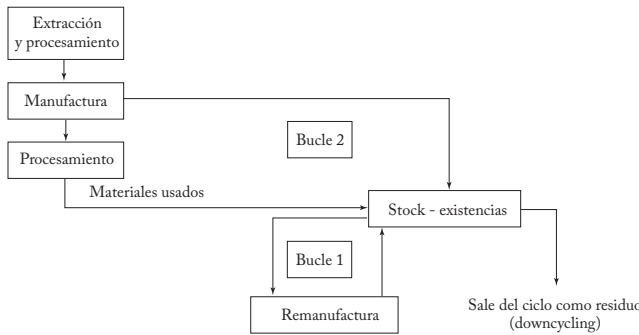
La economía del rendimiento se basa en los conceptos y herramientas de la ecología industrial y los aplica, incluida la gestión del ciclo de vida, a la contabilidad de flujos y existencias de materiales, la eficiencia de los recursos, el metabolismo urbano, los servicios y desmaterialización de la economía (Stahel & Clift, 2016).

La economía del rendimiento, en ese sentido, representa un cambio completo hacia la obtención de ingresos por la prestación de servicios y no por la venta de bienes. De acuerdo con Stahel (2016), los elementos claves de la economía del rendimiento son la “reutilización y la reparación.

La esencia de la economía del rendimiento radica en producir, vender y administrar el rendimiento a lo largo del tiempo (Stahel & Clift, 2016).

La siguiente figura representa los flujos de Stock en un modelo de economía del rendimiento:

Gráfica 4
Stock y flujos en un modelo de economía del rendimiento
Reparación y reciclaje para mantener el stock de capital fabricado



Fuente: Elaboración propia a partir de Stahel (2016, pág. 145)

Los tres componentes esenciales y los actores en la economía del rendimiento se muestran en la gráfica 5.

Gráfica 5
Modelo de economía del rendimiento



Fuente: Elaboración propia a partir de Stahel (2016, pág. 149)

LA BIOMÍMESIS (*BIOMIMICRY*):

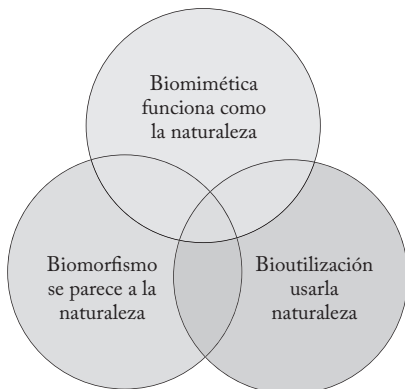
El término Biomímesis fue popularizado por la bióloga Janine Benyus en su libro “Biomimicry: innovation inspired by nature” (1997). La Biomímesis se define como una disciplina que aprende e imita las estrategias que se encuentran en la naturaleza para resolver los desafíos del diseño humano y encontrar soluciones sostenibles para la sociedad (Biomimicry Institute, 2022).

Benyus asocia este concepto a la identificación de procesos naturales que van a permitir la solución de problemas económicos, sociales y ambientales a través de la generación de ciclos que se retroalimentan y son capaces de devolver al entorno natural materiales fácilmente absorbibles, biodegradables y que no generen daños a los ecosistemas (Cortés, 2020).

Utilizando la metodología de biomímesis es posible crear tecnologías innovadoras, procesos y sistemas industriales que son más eficientes en el consumo energético y la utilización de materiales menos tóxicos, ayudando a las empresas a ser más resilientes (Wautelet, 2018).

Gráfica 6

Enfoques para el diseño e ingeniería basados en la naturaleza



Fuente: Elaboración propia a partir de Biomimicry Institute (2022).

La biomimética se basa en tres elementos esenciales, que representan sus valores fundamentales y su esencia:

- a) *Emular*. La práctica científica basada en la investigación de la naturaleza para crear diseños más regenerativos.
- b) *Ethos o carácter distintivo*. La filosofía de comprender cómo funciona la vida y crear diseños que apoyen y creen continuamente las condiciones propicias para la vida.

c) *(Re)conectar*. En los ecosistemas naturales la noción de desperdicio no existe porque los “residuos” alimentan a otros organismos de tal manera que los materiales circulan dentro del ciclo sin contaminar el ecosistema. Además, al igual que el concepto de la economía circular, la biomimética puede considerarse como una nueva forma de pensar que cambia radicalmente la forma en que hacemos negocios (Wautelet, 2018).

ECONOMÍA AZUL (*BLUE ECONOMY*):

La economía azul es un modelo de desarrollo en auge. Se introduce por primera vez en el año de 1994 por Gunter Pauli, y surge como propuesta en la Cumbre Mundial de ambiente denominada “Conferencia de las Naciones Unidas sobre Desarrollo Sostenible (Río+20)”, en el año 2012. El informe se llamó “La Economía Azul: 10 años, 100 innovaciones, 100 millones de empleos. Un informe para el club de Roma” (Ivanova, Cariño Olvera, Monteforte-Sánchez, & Ramírez, 2017).

Pauli introduce 100 estudios de casos concretos para demostrar que aplicando el concepto de la economía azul es posible generar más ingresos, generar más puestos de trabajo y seguir compitiendo en el mercado mundial. Define la economía azul como un nuevo modelo económico que se aleja de nuestro modelo económico, la economía roja y, también, de la emergente economía verde (Wautelet, 2018).

Pauli identifica tres tipos de economía: economía roja, economía verde y economía azul:

a) *Economía roja*: Es aquella en la que no hay preocupación por el consumo excesivo de recursos naturales para apoyar la producción de energía y bienes manufacturados.

b) *Economía verde*: Impulsa los proyectos de producción de energía alternativa basados en la energía solar y eólica.

c) *Economía azul*: La economía azul, tal como la define Gunter Pauli, es la de la regeneración de los ecosistemas en una lógica de abundancia y autonomía.

Una solución a los presentes males de nuestra economía reside en comprender y aplicar la lógica de los ecosistemas. Si nuestras economías se desarrollaran tomando como modelo la naturaleza, podríamos emplear la energía y los recursos de forma eficiente, sin generar residuos y, de manera simultánea, se estarían creando millones de puestos de trabajo (Pauli, 2011, págs. 37-39).

Una idea central de la *economía azul* es el concepto de cascada de energía y nutrientes que conduce a la sostenibilidad mediante la reducción o eliminación, del aporte externo de energía o de otra índole, mediante la eliminación de los desechos y sus costes, no solo en forma de contaminación, sino también de uso ineficiente de los materiales (Pauli, 2011, págs. 37-39).

DE LA CUNA A LA CUNA (*CRADLE TO CRADLE*)

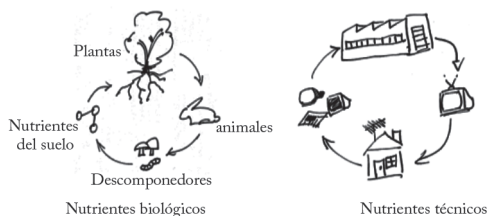
La metodología fue desarrollada por William McDonough y Michael Braungart, a través del libro-manifiesto (2002) “De la cuna a la cuna: Rediseñando la forma en que hacemos las cosas” (OEA, 2016).

De acuerdo con la Fundación Ellen MacArthur (2022), el modelo Cradle to Cradle hace una distinción entre ciclos técnicos y biológicos.

A continuación, se presenta el esquema de funcionamiento de los ciclos biológicos y tecnológicos:

Gráfica 7

Representación de nutrientes biológicos y tecnológicos



Fuente: Certified, Cradle To Cradle, products program (McDonough Braungart Design Chemistry, 2021, págs. 145-146)

La metodología *De la Cuna a la Cuna* parte del entendimiento de la funcionalidad de un producto con relación con su impacto en el ambiente y la salud humana, considerándose parte de un ciclo de nutrientes técnicos, comparable al ciclo biológico de nutrientes naturales del planeta (OEA, 2016).

El consumo ocurre solamente en los ciclos biológicos, donde alimentos y otros materiales de base biológica (por ejemplo, algodón y madera) son diseñados para regresar al sistema mediante procesos de compostaje y digestión anaerobia.

Ciclos técnicos recuperan y restauran productos componentes y materiales mediante estrategias de reutilización, reparación, remanufactura o (en última instancia) reciclaje.

FUNDACIÓN PARA LA ECONOMÍA CIRCULAR

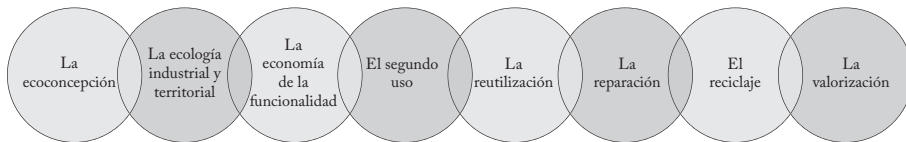
Según la Fundación para la Economía Circular en España:

“El desarrollo de la economía circular debería ayudar en la reorientación productiva de los países. Además de los beneficios ambientales implícitos, esta actividad emergente es creadora de riqueza y empleo (incluyendo las del ámbito de la economía social) en todo el conjunto del territorio y su desarrollo debe permitir obtener una ventaja competitiva en el contexto de la globalización” (Fundación para la Economía Circular, 2022).

La siguiente figura presenta los principios de funcionamiento de la economía circular:

Gráfica 8

Principios de funcionamiento de la economía circular



Fuente: Elaboración propia con base a los principios planteados por la Fundación para la Economía Circular (2022)

d) *La eco-concepción*: considera los impactos medioambientales a lo largo del ciclo de vida de un producto y los integra desde su concepción.

e) *La ecología industrial y territorial*: establecimiento de un modo de organización industrial en un mismo territorio, caracterizado por una gestión optimizada de los stocks y de los flujos de materiales, energía y servicios.

f) *La economía de la funcionalidad*: privilegiar el uso frente a la posesión, la venta de un servicio frente a un bien.

g) *El segundo uso*: reintroducir en el circuito económico aquellos productos que ya no se corresponden a las necesidades iniciales de los consumidores.

h) *La reutilización*: reutilizar ciertos residuos o partes de éstos, que todavía pueden funcionar para la elaboración de nuevos productos.

i) *La reparación*: encontrar una segunda vida a los productos estropeados.

j) *El reciclaje*: aprovechar los materiales que se encuentran en los residuos.

k) *La valorización*: aprovechar energéticamente los residuos que no se pueden reciclar.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION (EMF)

Otro importante impulso a la economía circular en el mundo es el de la Fundación Ellen MacArthur en el año 2012 durante el Foro Económico Mundial. Ellen MacArthur Foundation (EMF) y McKinsey Company publicaron un informe que evalúa los potenciales beneficios de la transición a una economía circular en la Unión Europea, estimados en unos \$630.000 millones, provenientes de un subconjunto de los sectores de la manufactura (Cortés, 2020 y Wautelet, 2018).

De acuerdo con EMF, el presente modelo económico de “extraer, producir, desperdiciar” está llegando al límite de su capacidad física.

Según el informe del Banco Mundial, “What a Waste 2.0” (2018), en el mundo se generan anualmente 2,01 billones de toneladas de desechos sólidos, donde más del 30% de dichos desechos representan un riesgo para el ambiente.

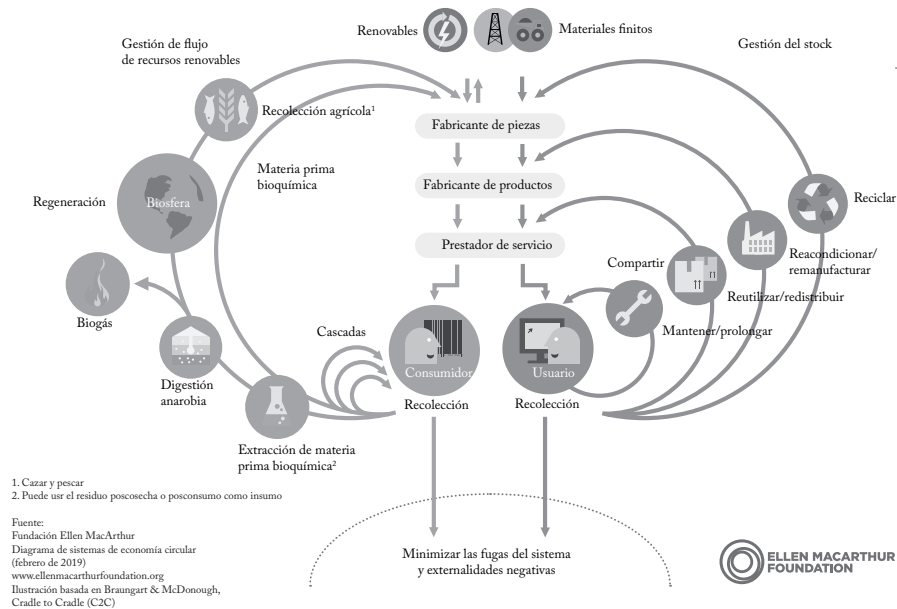
Se estima que el desarrollo económico hará que la cantidad de desechos a nivel mundial aumente un 70% en los próximos 30 años y llegue a un volumen asombroso de 3,400 millones de toneladas de desechos generados anualmente para el año 2050. El mismo informe indica que apenas el 13,5 % de los desechos a nivel mundial se recicla y solamente el 5,5 % se composta. Para el año 2016, unas 1,600 toneladas de gases de efecto invernadero, dióxido de carbono (CO₂), generados a partir de los desechos subieron a la atmósfera, y se estima que esta cifra se incrementará para el año 2050, hasta llegar a unas 2,600 toneladas anuales. Martínez Allier, (2021), afirma: “Cada año entran en la economía, en números redondos, unas diez toneladas a nivel per cápita, de combustibles fósiles, biomasa, materiales de construcción, metales; de esos materiales solamente una tonelada es reciclada”.

La economía circular se basa en los principios de eliminar los desechos y la contaminación en el diseño, mantener los productos y materiales en uso y regenerar los sistemas naturales (Ellen MacArthur Foundation, 2022).

La siguiente gráfica presenta el diagrama de la economía circular, según la Fundación Ellen MacArthur: (ver gráfica 9)

Los potenciales beneficios de este nuevo sistema son: ahorro de costos de material, reducción del 48% de las emisiones de dióxido de carbono para el año 2030, 550.000 millones de euros en reducción en cuidados de la salud, asociada al sector alimentario, un incremento de 3000 euros de la renta disponible en los hogares europeos, 11.2 billones de dólares en ahorros para negocios y hogares en China para el año 2040 y una reducción del 47% en la congestión del tráfico en ciudades chinas.

Gráfica 9 Diagrama de la Economía Circular



Fuente: (Ellen MacArthur Foundation, 2022).

Cambiar el sistema involucra a todos y todo: empresas, gobiernos, academia e individuos, nuestras ciudades, nuestros productos y nuestros trabajos. Al eliminar los desechos y la contaminación, mantener los productos y materiales en uso y regenerar los sistemas naturales, podemos reinventarlo todo.

AVANCE DE LA ECONOMÍA CIRCULAR

De acuerdo con la Comisión Económica para América Latina diversos países ya han puesto en marcha diversas regulaciones en materia de economía circular.

Se destacan leyes de responsabilidad extendida del productor para envases y embalajes, pilas, baterías y neumáticos, entre otros productos, así como las prohibiciones de comercialización y distribución de plásticos de un solo uso. También existen iniciativas que promueven la reducción de generación de residuos orgánicos y su aprovechamiento energético y análisis del potencial de los beneficios económicos del aprovechamiento de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.

Para la CEPAL, la EC facilitaría avanzar en toda la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible y, en particular, en aquellos Objetivos de Desarrollo Sostenible que hacen un seguimiento del cambio en los patrones de producción y consumo; entre ellos:

–Mejorar la producción y el consumo eficiente de los recursos procurando desvincularlos de la degradación medioambiental (Meta 8.4).

– Reducir el impacto ambiental negativo per cápita de las ciudades, cuidando la calidad del aire y el manejo de los desechos municipales (Meta 11.6).

–Reducir a la mitad el desperdicio de alimentos per cápita (Meta 12.3).

–Lograr la gestión de los productos químicos y los desechos, procurando la reducción significativa de la liberación en la atmósfera, el agua y el suelo (Meta 12.4).

–Reducir la generación de desechos mediante la prevención, la reducción, el reciclado y la reutilización (Meta 12.5).

En la COP26 y la agenda 2030 se propone “El gran impulso para la sostenibilidad”. Entre esas medidas se destaca la necesidad de migrar a un nuevo modelo de desarrollo basado en la “economía circular”. Este enfoque plantea un nuevo paradigma en la creación de valor en la economía de los países y se convierte en una alternativa que permite alcanzar las metas sociales y climáticas trazadas. Otro tanto persigue el estudio “Modelamientos de los efectos macroeconómicos de la transición de la economía circular en los países de América Latina (CEPAL, 2022).

En marzo del año 2021 la EMF y la ONU presentaron un panorama amplio sobre el estado actual de la EC en el mundo. Según el informe, este nuevo paradigma permite estimular el crecimiento económico y generar empleo sin comprometer el medio ambiente, posicionándose en piedra angular de la recuperación económica, con bajas emisiones de carbono, tras la pandemia de COVID-19.

La aplicación de la economía circular tiene un impacto directo en la lucha contra el cambio climático y la prevención de residuos. Su aplicación podría reducir las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes de estas industrias hasta en un 40% para 2050 y evitar un tercio de la generación global de residuos plásticos para 2040. La aplicación de la economía circular en las construcciones podría generar hasta un 25% de ahorro en los costes de material por tonelada de acero reutilizando los materiales (ONU, 2021).

A lo largo de las cadenas de suministro se espera que el mercado de los envases retornables crezca de 37.000 millones en 2018 a 59.000

millones de dólares en 2026. Igualmente, el mercado de la ropa de segunda mano duplicará el tamaño del mercado de moda rápida (Zara y H&M, por ejemplo) para el año 2029.

En el caso de Europa, la transición a una economía circular podría generar un beneficio económico neto de 1,8 billones de euros para 2030. En la India se espera un valor anual de aproximadamente 624.000 millones de dólares de beneficios para el año 2050, en comparación con el escenario lineal actual.

Para América Latina y el Caribe la adopción de la economía circular podría crear un incremento neto de 4,8 millones de puestos de trabajo. En Europa podría generar alrededor de 700.000 nuevos empleos.

El informe indica que China y Europa son los líderes mundiales en la transición hacia la circularidad, por cuanto el desarrollo de sus estrategias influye en el resto del mundo. China adoptó la Ley de Promoción de la economía circular en 2009. En 2018 se tomaron medidas como la prohibición de la importación de residuos. Otras partes de Asia también presentan importantes avances, principalmente a través de iniciativas del sector privado, que adoptan los principios de la circularidad o modelos de negocio circulares.

Europa también está impulsando de manera acelerada la transición a la economía circular, gracias a la adopción de políticas como el Pacto Verde Europeo, su primer Plan de Acción para la Economía Circular y más de sesenta estrategias y hojas de ruta de circularidad a nivel regional, nacional y local.

El informe también indica que la mayoría de los países de la región de América Latina y el Caribe han adoptado una o más medidas claves de economía circular. El continente africano también está registrando un aumento de las iniciativas relacionadas a la circularidad, como la creación de la Red Africana de Economía Circular y la Alianza Africana de Economía Circular.

Se resalta que el avance de este nuevo paradigma es de suma importancia para lograr un desarrollo sostenible, compensar el impacto negativo del crecimiento en el ambiente y aprovechar las oportunidades que brinda la economía circular.

El siguiente cuadro presenta acontecimientos importantes en la evolución de la economía circular, según Raufflet, Portales et al. (2017):

RESULTADOS

El análisis de los resultados muestra que la economía circular se desarrolló a partir de diversos aportes de diversas disciplinas como

Cuadro 1
Acontecimientos importantes en la evolución de la economía circular

Año	Acontecimiento
1937	Ludwig Von Bertalanffy desarrolla un primer esbozo de lo que sería la teoría general de sistemas publicada formalmente en 1969
1950	La metodología de dinámica de sistemas es desarrollada por Jay Forrester en el MIT.
1966	Kenneth Boulding propone una economía de flujos circulares.
1968	Garret Harding publica <i>La tragedia de los comunes</i>
1970	John T. Lyle sentó las bases del diseño regenerativo.
1972	El trabajo dirigido por Donella H. Meadows y Denis Meadows, <i>Los límites del crecimiento</i> , argumenta a favor de la reutilización y el reciclaje de productos
1976	Walter Stahel propone la extensión de la vida útil de productos haciendo énfasis en los residuos generados al final de su uso. Asimismo, desarrolla el concepto de economía del rendimiento
1980	William McDonough y Michael Braungart analizan la idea de una economía basada en bucles(circular).
1989	Frosch y Gallopoulos desarrollan el concepto de ecología industrial
1990	David Pierce y Kerry Turner acuñan el concepto de economía circular
1997	Janine Benyus publica su libro <i>Biomímesis</i> que habla sobre la emulación de los sistemas naturales
2000	Marian Chertow establece las bases del estudio de la simbiosis industrial que analiza la recuperación de recursos para su reutilización.
2002	William McDonough y Michael Braungart publican su libro: <i>De la Cuna a la Cuna. Rehaciendo la forma en que hacemos las cosas ("Cradle to Cradle: Remaking the way we make things")</i>
2005	Bruselas, Bélgica, Nuevas Perspectivas sobre la Bioeconomía Basada en el Conocimiento promueve la economía circular mediante la utilización de biomasa de procesos de producción y consumo, enfrentar los problemas de contaminación ambiental y recuperación de suelos contaminados y tratamientos de aguas para consumo humano.
2010 -2012	Nace la Fundación Ellen MacArthur . Presentan informe en el Foro Económico Mundial 2012 - Evaluación de los beneficios para los países de la transición a la economía circular.
2010 -2012	Gunter Pauli publica su libro <i>La economía azul</i> exponiendo conceptos como los flujos de efectivo múltiples y los flujos de cascadas . Surge como propuesta en la Cumbre Mundial de ambiente denominada "Conferencias de las Naciones Unidas sobre Desarrollo Sostenible ("Rio+ 20")".
2012	Kate Raworth, publica en el año 2012, en su primera versión, la economía de la Dónut, " <i>Doughnut Economics</i> ", en el informe de Oxfam; su enfoque visualiza la economía en forma de una rosquilla en la que resalta los límites del crecimiento, en un planeta que muestra señales de agotamiento ecológico. Su obra fue mejorada en su libro publicado en el año 2017, <i>Doughnut Economics: Seven Ways to Think Like a 21st-Century Economist</i> (Parra & Arango, 2018).
2021 -2022	La Organización de las Naciones Unidas (ONU) y la Comisión Económica para América Latina (CEPAL) presentan informe sobre impactos positivos de la aplicación de la economía circular y alternativa que ayudará a los países con las metas trazadas en la agenda 2030 para el desarrollo sostenible.

Fuente: Adaptado a partir de Raufflet et al. (2017).

la economía ambiental y la ecología industrial de los años setenta, periodo en el que se introduce una nueva perspectiva en los procesos de producción industrial que promueve la transición de ciclos de pro-

ducción abiertos a ciclos cerrados y, con ello, minimizar la generación de residuos, el consumo de recursos naturales y la contaminación por emisiones (Frosch, 1992), (Erkman, 1997), (Andersen, 2006), (Jacobsen, 2006).

Estos planteamientos fueron la base para impulsar el concepto de la economía del rendimiento, la cual propone la desmaterialización de la economía, priorizando el uso del bien y no la posesión del mismo. Así, la fabricación industrial se enfoca hacia la extensión de la vida útil de los productos, se promueve la remanufactura y la reparación (Stahel, 2016) y, en última instancia, el reciclaje (Stahel, 2010). A nivel macroeconómico el modelo plantea sustituir energía por mano de obra, teniendo en cuenta que las actividades de remanufactura y reparación son más intensivas en mano de obra que las actividades extractivas y de fabricación (Cortés, 2020).

La aparición formal del concepto de EC, en la década de los noventa introduce importantes aportes, destacando y reconociendo la vinculación e interacciones de la economía y el ambiente (Pearce & Turner, 1990, pág. 39). La EC destaca la importancia de construir sociedades en equilibrio con sus entornos naturales, imitando la naturaleza, toda vez que en los ecosistemas naturales la noción de desperdicio no existe (Vasileios, Katja, & Arno, 2017), (Benyus, 1997), (Pauli, 2011), (Pearce & Turner, 1990).

Este nuevo paradigma promueve una economía no lineal (extraer-producir-desechar) al desacoplar el crecimiento económico del uso de recursos finitos y eliminar los residuos del sistema desde el diseño (Ellen MacArthur Foundation, 2022). Se promueve el ecodiseño, la simbiosis industrial (Frosch, 1992), la economía de la funcionalidad, el segundo uso, la remanufactura, la reparación, la valorización energética y la utilización de energías renovables (Fundación para la Economía Circular, 2022). China y la Unión Europea lideran la transición y han puesto en marcha importantes regulaciones para la promoción e implementación de la economía circular (ONU, 2021). En África y Latinoamérica también se presentan avances en la implementación del modelo circular, se destacan leyes sobre la responsabilidad extendida del productor, prohibiciones de comercialización y distribución de plásticos de un solo uso, e iniciativas legislativas encaminadas a reducción, valorización y aprovechamiento energético de los residuos orgánicos (CEPAL, 2021).

Los aportes de la EI sobre el manejo y valorización de los residuos, así como el control de la contaminación por emisiones (Jacobsen, 2006), se convirtieron en elementos fundamentales para la EC. Por

otro lado, el enfoque de la economía ambiental y el reconocimiento de las interacciones y vinculación entre la economía y el ambiente (Pearce & Turner, 1990), en donde todo es un insumo para todo, fueron aportes innovadores adoptados por la EC. La EC propone imitar a la naturaleza, es decir, replicar las formas, los procesos y los ecosistemas de la naturaleza, para crear diseños más regenerativos, como en los ecosistemas naturales donde la noción de desperdicio no existe, porque los residuos circulan dentro del ciclo sin contaminar el ecosistema (Benyus, 1997).

China y los miembros de la UE están promoviendo de manera muy activa la economía circular mediante la promoción y las regulaciones. Otras iniciativas importantes se ven en África y en América Latina y el Caribe, donde se promueve la transición a la EC con el Programa Producción en Ciclo Cerrado de las Américas, impulsado por la OEA desde el año 2013 (OEA, 2016).

Si bien es cierto que, en sus inicios, la mayoría de los estudios realizados fueron meramente teóricos, algunos organismos globales como la ONU y la Fundación Ellen MacArthur comienzan a evaluar y presentar estudios económicos que reflejan los impactos y beneficios para la economía, el ambiente y la salud humana derivados de la aplicación de la EC (ONU, 2021). En ese sentido, pareciera que las investigaciones futuras estarán encaminadas a evaluar más detenidamente el modelo desde un enfoque de tipo cuantitativo en cuanto a sus implicaciones e importancia como modelo de desarrollo sostenible. Por ejemplo, en la COP26 y la Agenda 2030, y “El gran impulso para la sostenibilidad” de la Cepal, se destacaron los impactos macroeconómicos positivos de la aplicación de la EC y la necesidad de migrar a un nuevo modelo de desarrollo (CEPAL, 2022).

CONCLUSIONES

Los orígenes de EC, se remontan a distintas épocas y corrientes de pensamiento que han contribuido al perfeccionamiento del modelo hasta nuestros días. Sin embargo, el mayor impulso se puede ver en los aportes de la economía ambiental y ecología industrial de los años setenta, cuyos esfuerzos estaban orientados a minimizar los impactos al ambiente derivados de actividad económica industrial. La aparición formal del concepto, en los años noventa, también fue un elemento clave en su desarrollo.

La EC no tiene como fin el reciclaje, pues su enfoque va más allá, ya que considera los impactos ambientales a lo largo del ciclo de vida

de un producto y los integra a un ciclo biológico o a un ciclo técnico desde su concepción. Propone cambiar la forma en que se diseñan y fabrican los productos, tomando como referencia la naturaleza, donde todo es un insumo para todo; solo en última instancia se recurrirá al reciclaje, considerando la valorización energética para aquellos desechos que no es posible reciclar. En materia energética, el concepto busca migrar a fuentes renovables de energía.

El modelo sigue avanzando, perfeccionándose y ganando mayor importancia en diversas latitudes, como una herramienta que ayuda a los países en el cumplimiento de la Agenda 2030. Sin embargo, este nuevo modelo económico requiere de la colaboración de todos los agentes económicos (administraciones públicas, sector privado, academia y sociedad), su implementación exitosa implicará, en ese sentido, importantes cambios en las capacidades, regulaciones y política ambiental de los países.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andersen, M. (2006). An introductory note on the environmental economics of the circular. *Sustainability Science*, 2, 133-140.
- Arroyo, F. R. (2018). La Economía Circular Como Factor De Desarrollo Sustentable Del Sector Productivo. *INNOVA Research Journal*, 3(12), 78-98.
- Banco Mundial. (2018). *Banco Mundial*. Los desechos: un análisis actualizado del futuro de la gestión de los desechos sólidos, [<https://www.bancomundial.org/es/news/immersive-story/2018/09/20/what-a-waste-an-updated-look-into-the-future-of-solid-waste-management>]
- Benyus, Y. M. (1997). *Biomimicry: innovation inspired by nature*. USA: William Morrow and Company, Inc., 1997. [<https://www.google.com/search?q=Benyus+M.+Y.%2C+Biomimicry%3A+innovation+inspired+by+nature.+USA%3A+William+Morrow+and+Company%2C+Inc.%2C+1997.&oeq=Benyus+M.+Y.%2C+Biomimicry%3A+innovation+inspired+by+nature.+USA%3A+William+Morrow+and+Company%2C+Inc.%2C+19>]
- Biomimicry Institute. (2022). *Biomimicry Institute*. [<https://biomimicry.org/what-is-biomimicry/>]
- Boulding, K. E. (1966). The Economics of the Coming Spaceship Earth. *Resources for the Future*, 3-14.
- CEPAL. (2021). *Economía Circular en América Latina y el Caribe, Oportunidad para recuperación transformadora*. [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/47309/1/S2100423_es.pdf]
- CEPAL. (2022). *Efectos Macroeconómicos de la transición a la Economía Circular en Países de América Latina*. [<https://www.cepal.org/es/eventos/efectos-macroeconomicos-la-transicion-la-economia-circular-paises-america-latina>]
- Cerda, E. y Khalilova, A. (2016). Economía Circular. *Dialnet*, 401, 11-20.

- Comisión Europea. (2022). *Un Pacto Verde Europeo*. Pacto Verde Europeo, [https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_es]
- Cortés, F. J. (2020). *La Economía Circular; Ideas claves para la comprensión de un nuevo modelo de gestión de los recursos económicos* (Primera edición: mayo, 2020). Santiago, Chile: Centro de Comunicación de las Ciencias, Universidad Autónoma de Chile.
- Doughnut Economics Action Lab. (2023). *Meet the Doughnut and the concepts at the heart of Doughnut Economics*. [<https://doughnuteconomics.org/about-doughnut-economics>]
- Ellen MacArthur Foundation. (2022). *Economía Circular*. [<https://archive.ellenmacarthurfoundation.org/es/economia-circular/concepto>]
- Erkman, S. (1997). Industrial ecology: An historical view. *Journal of Cleaner Production*, 5(1-2), 1-10.
- Erkman, S. (2001). Industrial ecology: A new perspective on the future of the industrial system. *Industrial ecology*, 531-534.
- Fontagro. (2018). *Fontagro*. Informe Anual. Evolución de Fontagro, [<https://digital.fontagro.org/2016-2017/>]
- Frosch, R. (1992). Industrial ecology: A philosophical introduction. *Proceeding of the National Academy of Sciences*, 89(3), 800-803.
- Fundación Economía Azul. (2022). [<https://www.theblueeconomy.org/es/the-blue-economy/>.]
- Fundación para la Economía Circular. (2022). *Fundación para la Economía Circular*. Economía Circular, [<https://economicircular.org/economia-circular/>]
- Ghisellini, P. y Cialani, C. (et al). (2015). A review on circular economy: The expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production*, 114, 14-16.
- Hernández, R. y Céspedes, J. (2020). Bioeconomía: una estrategia de sostenibilidad en la cuarta revolución industrial. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 7(2), 128-129.
- Ivanova, A., Cariño Olvera, M. M.(et al). (2017). La economía azul como modelo de sustentabilidad para estados costeros: el caso de Baja California Sur. *Sociedad y Ambiente*, 14, 75-98.
- Jacobsen, N. (2006). Application and implementation, Industrial Symbiosis in Kalundborg, Denmark A Quantitative Assessment of Economic and Environmental Aspects. *Journal of Industrial Ecology*, 240-241.
- Jakimowicz, A. (2020). The Role of Entropy in the Development of Economics. *Entropy*, 22(4), 1-25.
- Martínez, A. J. (2021). *El portal de la Economía Solidaria*. Ecologismo, [<https://www.economiasolidaria.org/noticias/martinez-alier-habla-sobre-economia-ecologica-en-carro-de-combate/>]
- McDonough Braungart Design Chemistry [MBDC]. (2022). *MBDC*. How to get c2c certified, [<https://mbdc.com/about-mbdc/>]
- McDonough Braungart Design Chemistry. (2021). Cradle To Cradle Certified Products Program, [https://mbdc.com/wp-content/uploads/C2C-CERTIFIED-PRODUCT-STAND_V4.0_210831.pdf]
- Naciones Unidas . (2022). *CEPAL*. Bioeconomía, [<https://www.cepal.org/es/subtemas/bioeconomia#>]

- OEA. (2016). *Producción en Ciclo Cerrado de la Américas, Marco para el desarrollo del Sello Panamá Verde*. Washington DC: Departamento de Desarrollo Sostenible OEA.
- ONU. (2021). *Naciones Unidas*. La economía circular: un modelo económico que lleva al crecimiento y al empleo sin comprometer el medio ambiente, [<https://news.un.org/es/story/2021/03/1490082>]
- ONU. (2021). *Noticias ONU*. Los estudios muestran que la Economía Circular presenta una oportunidad de 4,5 billones de dólares, capaz de impulsar el PIB mundial en un 1,1%, potenciando la creación de nuevos puestos de trabajo y hacer la economía más resiliente, [<https://news.un.org/es/story/2021/03/1490082>]
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2017). *Hacia la elaboración de directrices sobre una bioeconomía sostenible - GCP/GLO/724/GER*. Alemania: FAO. [<https://www.fao.org/publications/card/es/c/b7c6e934-0291-4e93-8f56-f690bf6f1ccd/>]
- Parra, J. D., y Arango, A. (2018). La economía del donut: siete formas de pensar como un economista para el siglo XXI. *Investigación y Desarrollo*, 26(2), 159-170.
- Pauli, G. (2011). *La economía azul: 10 años, 100 innovaciones, 100 millones de empleos: Un informe para el Club de Roma*. Barcelona: Tusquets.
- Pearce, D. W. y Turner, K. R. (1990). *Economics of Natural Resources and The Environment* (ed.), Great Britain: The Johns Hopkins University Press.
- Raufflet, E., Portales, L. et al. (2017). *Responsabilidad, ética y sostenibilidad empresarial*. Mexico: Pearson.
- Rocha, R. E., Rodríguez García, J. et al. (2012). Biomimética: innovación sustentable inspirada por la naturaleza. *Investigación y Ciencia*, 54, 56-61.
- Rocha, R. E. (2010). Biomimética de la naturaleza a la creación humana. *ResearchGate*, 98, 4-8.
- Rodrigues., A. G. y Sotomayor, O. (2019). *Hacia una bioeconomía sostenible en América Latina y el Caribe*. Comisión Económica para América Latina (CEPAL). Santiago: Naciones Unidas.
- Stahel, W. R. (2010). *The performance Economy* (2nd Edition ed., Vol. 2nd Edition). Londres: Palgrave Macmillan. [https://www.globe-eu.org/wp-content/uploads/THE_PERFORMANCE_ECONOMY1.pdf]
- Stahel, W. R., y Clift, R. (2016). Stocks and Flows in the Performance. En R. C. (ed.), *Taking Stock of Industrial Ecology* (pp. 137-139). New York Dordrecht London: Springer Cham Heidelberg.
- Suren, E. (2001). Industrial ecology: a new perspective on the future of the industrial system. *Researchgate*, 131(37-38), 531-538.
- The Blue Economy. (2022). *The Blue Economy*. [<https://www.theblueeconomy.org/es/the-blue-economy>]
- Vasileios, R., Katja, T., y Arno, B. (2017). CEPS The Circular Economy A review of definitions, processes and impacts. *Research Report*, 2-4.
- Wautelet, T. (2018). The Concept of Circular Economy: its Origins and its Evolution. *ResearchGate*, 2.