



---

# **Universidad de Valladolid**

## **Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales**

**Trabajo de Fin de Grado**

**Grado en Economía**

# **LA ECONOMIA CIRCULAR**

Presentado por:

***Ana Luelmo Bordel***

Tutelado por:

***Francisco Cabo García***

*Valladolid, 04 de marzo de 2020*

## **RESUMEN**

El objetivo general de este trabajo es el estudio del modelo de economía circular como posible solución al problema de sostenibilidad medioambiental al que nos enfrentamos hoy en día. Para ello, se analizan los problemas medioambientales existentes en la actualidad y los límites del modelo de producción actual, que nos llevará a plantearnos una nueva modalidad de producción y consumo. Se explicará el origen de la economía circular, el concepto, los principios, las características y los objetivos. Además, se consideran los beneficios que puede aportar una economía de bucle cerrado y sus limitaciones. Se explican aquellos argumentos que ponen en duda su efectividad. También, se incluyen una serie de empresas que han integrado este modelo en sus negocios. Esta alternativa es apoyada por la Unión Europea y España desde el punto de vista del ámbito legal. Por último, se analiza un modelo dinámico de economía circular y se caracteriza una tasa de crecimiento mediante la Teoría del Control Óptimo.

Palabras clave: economía circular, crecimiento económico, sostenibilidad, control óptimo.

Códigos de la Clasificación JEL: O40, Q01, Q50.

## **ABSTRACT**

The main purpose of this project is to study the circular economy as a solution to the environmental sustainability problem that we are facing today. Firstly, the current environmental issues and the current productive process have been analyzed. This leads us to think that we need an alternative more sustainable model of production and consumption. Secondly, the origin of the circular economy, the main concepts it involves, its principles, characteristics and goals are explained. In addition, advantages and disadvantages have been taken into account to study whether this model is economically feasible. Some arguments against it are also exposed. A few companies have already implemented the circular economy in their business. Spain and the European Union are passing laws to support this project. Finally, the growth rate of the economy in this type of economy has been studied following the optimal control theory.

Keywords: circular economy, economic growth, sustainability, optimal control.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	4
1. SITUACIÓN ACTUAL. ECONOMÍA Y MEDIOAMBIENTE: MODELO LINEAL “EXTRAER-UTILIZAR-TIRAR”.....	5
1.1. Población creciente.....	5
1.2. Escasez de recursos.....	6
1.2.1. Recursos no renovables.....	7
1.2.2. Recursos renovables.....	7
1.3. Residuos .....	8
1.4. Cambio climático.....	8
2. ECONOMIA CIRCULAR .....	9
2.1. Escuelas del pensamiento: los orígenes.....	9
2.1.1. Diseño regenerativo.....	9
2.1.2. Economía del rendimiento (o economía de servicios funcional).....	9
2.1.3. De la Cuna a la Cuna (Cradle to Cradle, C2C).....	10
2.1.4. Ecología industrial (Industrial Ecology, IE) .....	11
2.1.5. Biomímesis.....	11
2.1.6. Economía Azul.....	12
2.1.7. Capitalismo natural.....	12
2.2. Concepto.....	13
2.3. Principios y características.....	14
3. CASOS DE ÉXITO EN EMPRESAS .....	15
4. BENEFICIOS Y LIMITACIONES DEL MODELO .....	18
4.1. Beneficios.....	18
4.2. Limitaciones .....	20
5. MARCO LEGAL .....	23
5.1. A nivel europeo .....	23
5.2. A nivel nacional.....	24
6. UN MODELO DINAMICO DE ECONOMIA CIRCULAR: UNA VISION DESDE LA TEORIA DEL CONTROL OPTIMO.....	25
7. CONCLUSIONES .....	30
BIBLIOGRAFIA .....	31

## INTRODUCCIÓN

El Parlamento Europeo, en noviembre del pasado año, categorizó el estado en el que se encuentra nuestro medio ambiente de “emergencia climática”. Algunas de las razones de la declaración de este estado de alerta son el elevado calentamiento global que va en aumento, la subida del nivel del mar y el incremento de los gases de efecto invernadero y sus consecuencias. En base a estas previsiones ha aumentado la preocupación acerca de la sostenibilidad del planeta. El aumento de la población, que implica un aumento de consumo de recursos, la escasez de éstos debido a la sobreexplotación del medio, el excesivo volumen de residuos y el cambio climático han permitido llegar a la conclusión de que el modelo de producción actual de “extraer-utilizar-tirar” no es compatible con la conservación del medio.

En busca de una solución que permita adecuar la forma de producir y consumir recursos con la capacidad de regeneración de la naturaleza se ha propuesto un posible modelo, conocido como economía circular. Este modelo ha ido tomando forma desde los años setenta. Numerosas escuelas del pensamiento han aportado conceptos, ideas, pilares, etc. que han contribuido a configurar este modelo. En concreto, podemos hablar de economía circular como aquella que es capaz de restaurar y regenerar recursos, materiales y componentes para así aprovechar al máximo la vida económica de bienes. Esto contribuiría a la reducción de uso de recursos como el agua, la energía y las materias primas. La economía circular se basa en tres principios: preservar y mejorar el capital natural, optimizar el uso de recursos y fomentar la eficacia del sistema.

Esta alternativa ya se ha convertido en una opción para muchas empresas, tanto a nivel mundial como a nivel nacional. En este trabajo, se destacan los proyectos realizados en esta dirección por Coca-Cola, Inditex, Hp Instant Ink, Mercadona y Grupo Siro. La razón de que este modelo se plantee como una oportunidad viable es el conjunto de beneficios que puede aportar. No solo las empresas pueden apreciar el impacto positivo del modelo, ciudadanos y medio ambiente también se ven beneficiados. A pesar de sus beneficios, la economía circular aún ha de enfrentarse a algunos obstáculos como trabas legales, financieras, sociales e incluso técnicas. Las dificultades que presenta el modelo han generado cierto escepticismo entre la sociedad que pone en duda la veracidad y viabilidad del modelo. A pesar de estas objeciones, la Unión Europea y las Administraciones Públicas españolas han aportado medidas y normativa para facilitar la transición a una economía circular.

Por último, para concluir el análisis de este concepto se modeliza un supuesto dinámico de economía circular basándonos en la Teoría del Control Óptimo. De esta forma se analiza la tasa de crecimiento del consumo bajo los supuestos de la economía circular.

## 1. SITUACIÓN ACTUAL. ECONOMÍA Y MEDIOAMBIENTE: MODELO LINEAL “EXTRAER-UTILIZAR-TIRAR”.

La revolución industrial determinó las bases del funcionamiento de la economía actual. Trajo consigo un conjunto de cambios tecnológicos, económicos, culturales y políticos. El desarrollo de la industrialización está estrechamente relacionado con la mecanización de las tareas artesanales o manufacturadas. Todo este proceso supone el empleo de nuevas formas de energía, cambios en las técnicas productivas, aumento en el uso de las materias primas, concentración de la mano de obra, etc. Además, se experimentaron mejoras en los medios de transporte que permitieron una ampliación de los mercados.

Desde los inicios de la industrialización hasta la actualidad se ha mantenido un modelo de producción y consumo lineal. El modelo económico lineal de “tomar, hacer, desechar” se basa en emplear grandes cantidades de materiales y energía, las cuales son baratas y fácilmente accesibles (MacArthur, 2012; Cerdá, 2016).

El primer paso en este modelo es **la extracción** de recursos naturales y materias primas, ya sea para ser utilizados directamente, o para la elaboración de bienes de consumo. El segundo paso consiste en la fase de **utilización**, cuando el producto pasa de la empresa al consumidor o a otra empresa. Estos agentes utilizan el producto durante un periodo de tiempo determinado. Los ciclos de vida de los productos tienen una duración diferente en función de factores como la capacidad innovadora, la obsolescencia, el desgaste propio de su uso, o incluso las modas. Por último, la fase de “tirar” o **desechar** trae consigo un problema relevante, que es la acumulación de residuos.

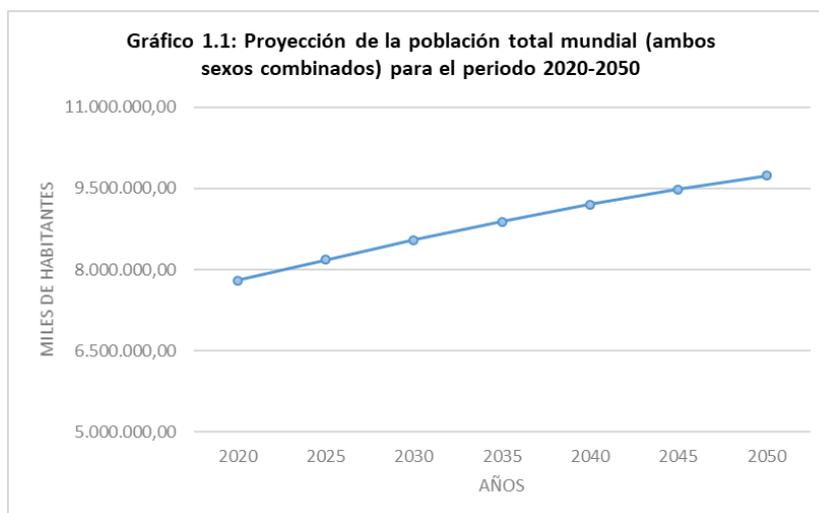
Según este modelo podemos preguntarnos, ¿es sostenible este sistema de producción y consumo?

En el año 1972 se produce la primera llamada de atención sobre la grave crisis que sufre el planeta y comienza la preocupación global por la sostenibilidad de la vida en el planeta. En esta fecha, se presentó el Informe Meadows, informe conocido como “Los límites del crecimiento”, en la conferencia de Naciones Unidas celebrada en Estocolmo. *“Si la industrialización, la contaminación ambiental, la producción de alimentos y el agotamiento de los recursos mantienen las tendencias actuales de crecimiento de la población mundial, este planeta alcanzará los límites de su crecimiento en el curso de los próximos cien años. El resultado más probable sería un súbito e incontrolable descenso, tanto de la población como de la capacidad industrial”* (Los Límites del Crecimiento, 1972).

### 1.1. Población creciente

La presión demográfica en el mundo ha alcanzado niveles muy elevados y la distribución es desigual en la medida en la que los países están más o menos desarrollados. Para que la población mundial llegara a alcanzar 1.000 millones de habitantes tuvieron que transcurrir miles de años. Sin embargo, el ritmo de crecimiento de los últimos 200 años ha dado lugar a que esta cifra se multiplique

por siete. En 2011 alcanzamos los 7.000 millones de personas, pero la tendencia es creciente y se prevé que aumente hasta superar los 9.700 millones en 2050.



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de las Naciones Unidas.

La tendencia creciente de la población se debe a factores como el aumento de **la esperanza de vida** como consecuencia de la caída de las tasas de mortalidad (sobre todo mortalidad infantil), la mejora en la calidad de vida y los avances de los fármacos modernos. En 1970 la esperanza de vida fue de 58,59 años y en 2017 alcanza los 72,38 años. Para 2050 se calcula que la mayor parte de las sociedades desarrolladas cuenten con un 16% de personas que superan los 65 años de edad.

Otro argumento que explica dicha tendencia son **los movimientos migratorios**. En el mundo se ha registrado una aceleración de la migración. Motivado por las oportunidades de creación de riqueza y las posibilidades de mejora en la calidad de vida. Entre 1950 y 2018, la población urbana mundial se multiplicó por cuatro, de 0,75 billones de personas a 4,22 billones. La estimación para 2050 prevé que el 66% de la población mundial habite en ciudades.

Los movimientos migratorios orientados en esta dirección traen consigo un proceso de urbanización que, en numerosos casos, traen consigo problemas de aglomeración y un crecimiento desordenado. Esto supone importantes desafíos pues son las ciudades y los grandes núcleos de urbanización los que más recursos demandan y los que mayor volumen de residuos generan.

En concreto, la previsión para los próximos 30 años muestra un incremento de 2010 millones de toneladas registradas en 2016 a 3400 millones. Los países desarrollados (16% de la población mundial) generan más de un tercio de los desechos del mundo. Asia Oriental y el Pacífico acumulan un 23% del total entre los dos. Sin embargo, para 2050 se espera que la generación de residuos llegue a triplicarse y duplicarse en África y Asia, respectivamente.

## 1.2. Escasez de recursos

Actualmente las actividades económicas implican la utilización de recursos naturales, bien sea de forma directa o indirecta. La producción de casi cualquier bien requiere energía y materias primas que provienen del medio natural. La

producción de bienes cada vez es mayor pues trata de satisfacer la demanda creciente, esto provoca un elevado grado de explotación de algunos de estos recursos.

### 1.2.1. Recursos no renovables.

Las reservas mundiales de carbón, petróleo, y gas natural suponen un problema a la hora de enfrentarse a las necesidades de la población mundial. Según datos del Banco Mundial, el 79,67% de la energía que se consume proviene de combustibles fósiles. Aunque este porcentaje se ha reducido en relación al año 1960 en 14,43 puntos porcentuales, la cifra sigue siendo muy elevada.

La utilización de un recurso trae consigo una reducción del stock de dicho recurso y como consecuencia aumenta el coste de extracción. Estos costes se trasladan parcialmente a los precios y se esperaría un ajuste de la demanda.

Si tomamos como ejemplo el petróleo, podemos observar que la demanda es inelástica, ya que no existe un recurso sustitutivo competitivo, y ante una subida de los precios la demanda varía en escasa cuantía. Además, los últimos dos decenios parecen mostrar un cambio hacia una tendencia alcista de los precios, esto provoca variaciones en el resto de productos, ya que hoy en día, la dependencia del petróleo es muy elevada para casi todas las economías desarrolladas.

El cambio de la tendencia de los precios del petróleo se ha experimentado también en los precios de metales, alimentos y productos agrícolas no alimenticios. En la primera década de este siglo han alcanzado los niveles más altos en comparación con cualquier década del siglo XX.

### 1.2.2. Recursos renovables

Dentro de este epígrafe merecen especial mención los recursos hídricos, forestales y pesquerías.

En primer lugar, la demanda mundial de **agua** está estrechamente relacionada con el crecimiento demográfico, la urbanización, la política energética, los cambios en la alimentación o el aumento de consumo. Se prevé que la demanda mundial aumente en un 55% en 2050 como resultado del incremento de las necesidades de la industria, la producción térmica de electricidad y el uso doméstico. Cada vez el riesgo de conflicto entre “usos” y “usuarios” del agua es mayor.

En segundo lugar, la evaluación de los **recursos forestales** realizado por la FRA nos muestra como la tendencia creciente de la población y las previsiones de la creciente demanda ejercen presión en la forma en la que se utiliza la tierra productiva. El porcentaje de tierras forestales con respecto a la superficie terrestre mundial ha disminuido del 31,6% en el año 1990 a un 30,6% en 2015.

Por último, la decadencia de los **recursos pesqueros** ha suscitado preocupación, debido a que desde comienzos de siglo una cuarta parte de las especies está en condiciones de explotación. También existen casos donde la población de algunas especies se ha visto disminuida en un 80% como por ejemplo los atunes de aguas frías o la caballa. Además, destaca el número de especies en peligro de extinción como consecuencia de los cambios en el hábitat, contaminación de los espacios acuáticos y la pesca excesiva, entre los cuales está el mejillón de agua dulce.

### **1.3. Residuos**

Según el informe del Banco Mundial (2018) *“para 2050 los desechos a nivel mundial crecerán un 70% con respecto a los niveles actuales”*. La previsión a 30 años vista recoge un aumento de 2010 millones de toneladas registradas en 2016 a 3400 millones. En particular, en este año se generaron 242 millones de toneladas de desechos de plástico, lo que representa un 12% del total de desechos sólidos.

Actualmente, el 16% de la población mundial genera un volumen superior a un tercio de los desechos de todo el mundo. Asimismo, se espera que para 2050 los residuos de regiones como África al sur del Sahara y Asia se triplique.

### **1.4. Cambio climático**

El paulatino incremento en la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera es el principal causante de lo que se ha denominado cambio climático, o calentamiento global. Sus efectos, algunos de los cuales ya son observables, se resumen en un aumento de la temperatura, el derretimiento de los glaciares con el consecuente incremento del nivel del mar, o la desertización.

La concentración de gases de efecto invernadero registró su máximo en el año 2017. En concreto 405 partes por millón (ppm), 2,2 ppm más que las registradas en 2016.

La temperatura media anual desde 1880 a 2017 se ha incrementado en 1°C y, además, ésta aumenta a un ritmo de 0,2°C por década. La organización Meteorológica Mundial ha confirmado que 2017 fue uno de los tres años más calurosos, junto a 2016 y 2015. Esto ha desencadenado una expansión de los océanos debido al hielo terrestre derretido por el calentamiento. Desde 1901 hasta 2010 el nivel medio del mar ascendió 19 cm y se prevé una subida hasta 58 cm en 2100, si se mantiene esta línea. Este último año, se ha registrado una pérdida de, aproximadamente, 13,95 millones de Km<sup>2</sup> de extensión de hielo marino ártico.

Como resultado del aumento de la temperatura media y la disminución de las precipitaciones se registraron, también, un incremento del número de incendios y el récord histórico de sequía en los últimos 20 años.

El cambio climático tiene efecto sobre la fauna y la flora: desde pérdidas de biodiversidad, con multitud de especies en riesgo de desaparición (como, por ejemplo, el oso pardo o el alcornoque), hasta el colapso de algunos ecosistemas como los humedales. Así mismo, la sociedad también sufre sus efectos. El impacto del cambio climático se apreciará en la mayoría de los sectores productivos, como el turismo, la agricultura y la producción de alimento. También tendrá su efecto en la generación de empleo, en el mercado inmobiliario, como consecuencia de las migraciones o la industria, entre otros. Además, tenemos que destacar los efectos que trae la contaminación en la salud como son enfermedades respiratorias o cardiovasculares.

## **2. ECONOMIA CIRCULAR**

Los orígenes de la economía circular se remontan a la década de los setenta. El concepto y su aplicación práctica provienen de una fusión de ideas desarrolladas por un conjunto de académicos, líderes del pensamiento y empresas. En concreto, la base del concepto genérico ha sido configurado por las siguientes escuelas del pensamiento.

### **2.1. Escuelas del pensamiento: los orígenes**

#### **2.1.1. Diseño regenerativo**

En EE.UU., el profesor John T. Lyle (1970) animó a sus estudiantes a plantear ideas encaminadas a conseguir una sociedad donde las actividades propias del día a día entrasen dentro de los límites de los recursos renovables disponibles sin que provocasen daños al medio ambiente. Años más tarde, postuló que “cualquier sistema partiendo de la agricultura, se puede organizar de forma regenerativa, emulando el funcionamiento de los ecosistemas, donde los productos se crearon e interaccionan sin producir residuos” (Lyle, 1994). El diseño regenerativo tiene como objetivo la creación de proyectos sostenibles que tengan capacidad para restaurar, renovar o regenerar las fuentes de energía y materiales que utilizan. Va más allá de la sostenibilidad pues trata de generar nuevos sistemas que, a su vez, se regeneren sucesivamente.

La propuesta de Lyle está orientada a la creación de “ecosistemas urbanos”, en concreto afirma que “las ciudades (...) son ecosistemas abiertos y dinámicos que consumen, transforman y liberan materiales y energía; se desarrollan y se adaptan; están determinados por los seres humanos e interactúan con otros sistemas. Por ello las ciudades deben ser analizadas y gestionadas como cualquier otro tipo de ecosistema” (EEA, 2011).

#### **2.1.2. Economía del rendimiento (o economía de servicios funcional)**

El arquitecto y economista Walter R. Stahel (1976) planteó una perspectiva de una economía en bucles y analizó el consecuente impacto sobre la creación de empleo, competitividad económica, ahorro de recursos y prevención de residuos. Este enfoque de “bucle cerrado” persigue cuatro

objetivos concretos: prolongar la vida del producto; idear bienes de larga duración; llevar a cabo actividades de reacondicionamiento y evitar la producción de residuos. Así mismo, destaca la importancia de la venta de servicios como alternativa al comercio de productos, es por ello por lo que esta teoría también es conocida como “economía de servicios funcional”.

La economía del rendimiento pretende una “economía y sociedad sostenible”. Se fundamenta en cinco pilares:

- **Conservación de la naturaleza.** Conservar la naturaleza y el medio ambiente pues la vida humana se basa en los recursos procedentes de los diferentes sistemas del planeta.
- **Toxicidad limitada.** Con el actual modelo económico numerosos agentes tóxicos se acumulan en la atmosfera, para limitar esta toxicidad es necesario evaluar la presencia de estos agentes en relación a la capacidad de absorción de la naturaleza.
- **Producción de recursos.** Los países desarrollados poseen una posición crucial a la hora de innovar y cambiar el modelo económico hacia un modelo circular donde los recursos se regeneren y, de esta forma, servir de modelo para los países menos industrializados que aspiran alcanzar los mismos niveles de desarrollo.
- **Ecología social.** Stahel, en este principio trata de transmitir una visión del entramado empresarial basado en valores como la paz, los derechos humanos, seguridad y protección, o empleo e integración social, entre otros.
- **Ecología cultural.** Plasma la necesidad de formación de las generaciones presentes y futuras en valores “ecológicos” para conseguir una cultura de respeto al medio ambiente.

### 2.1.3. De la Cuna a la Cuna (Cradle to Cradle, C2C)

Partiendo de la idea original de Stahel, el arquitecto M. Braungart y el químico W. McDonough desarrollan esta filosofía de diseño en la década de los noventa. Este modelo consiste en cambiar nuestro sistema de producción mediante el diseño. Es necesario crear los productos teniendo en cuenta el uso presente y futuro de los materiales. Considera nutrientes todos los materiales empleados en los procesos industriales y comerciales, estos se clasifican en: técnicos (por ejemplo, cristal o plástico) y biológicos (madera, algodón o corcho). La reutilización total de cualquier bien es posible, bien como producto que vuelve a la tierra como “nutriente biológico” (no perjudicial para el medio) o bien incorporándose de nuevo a la industria como “nutriente técnico”.

El objetivo principal es el diseño eficaz de productos que generan un impacto positivo gracias a la optimización de los diferentes recursos (ecoeficiencia) y, consecuentemente, reducir el impacto negativo que estos generan sobre el medio ambiente. Es decir, se trata de diseñar los componentes de los productos de tal manera que sea posible su continua recuperación y reutilización de nuevo como nutrientes biológicos y técnicos para nuevos procesos. Esta doctrina toma como idea base el ciclo de transformación de los

ecosistemas naturales, la biosfera, y se utiliza como modelo en las transformaciones que se llevan a cabo en los procesos industriales, tecnosfera.

Por último, es importante hacer mención a una iniciativa, propuesta por dichos autores, que pone en práctica esta teoría. Se trata del *The Cradle to Cradle Products Innovation Institute*, organización que se encarga de la administración de una certificación (C2C) que muestra a los consumidores, empleados, industrias y legisladores una verificación del compromiso que el fabricante tiene con la sostenibilidad del planeta.

#### 2.1.4. Ecología industrial (Industrial Ecology, IE)

En 1989, Robert Frosch y Nicholas Gallopoulos plantearon una nueva disciplina para abordar los problemas ambientales ocasionados por la industria. Presenta elementos comunes con el “Diseño regenerativo” pues propone reorganizar el sistema de producción y consumo, entendiendo estas actividades como sistemas, para que sean compatibles con la biosfera. Debido a la complejidad del concepto, nos encontramos ante múltiples opciones para su definición. Algunos autores como White (1994), explican esta disciplina como el estudio de los flujos de materiales y de energía dentro de la industria, además de realizar un análisis de los efectos en el ambiente que influyen en los factores económicos, políticos y sociales. Por otro lado, Aranda y Zabalza (2010) nos ofrecen un enfoque de la IE como un nuevo diseño industrial tanto de productos como de procesos y el desarrollo de nuevas estrategias de fabricación sostenibles. La IE muestra un punto de vista sistémico, se centra en un modelo productivo basado en los ecosistemas naturales, donde la industria es un organismo que interactúa con otros y establece relaciones sostenibles de productos, servicios y energía. Es conocida como la “ciencia de la sostenibilidad”.

El objetivo es conseguir procesos productivos de circuito cerrado, donde los residuos sirven como inputs para otros procesos. Los principios que toma como base son cuatro: **minimizar el impacto ambiental, maximizar la eficiencia y la autonomía energética, el metabolismo industrial** (flujos de energía y recursos) y la **desmaterialización de los productos**. Estos principios también son aplicables al sector servicios.

#### 2.1.5. Biomímesis

A lo largo de la historia, se han llevado a cabo diversas prácticas sobre biomímesis, un claro ejemplo es el estudio de Leonardo da Vinci (1452-1519) sobre la anatomía de las aves para conseguir una “maquina voladora”. En la década de los noventa el biofísico O. Schmitt definió la biomimética o J.E. Steele el término biónico, sin embargo, la divulgación del modelo Biomímesis (Biomimicry) de debe a la bióloga Janine Benyus.

Este enfoque consiste en el estudio de la naturaleza con el fin de imitar sus diseños, técnicas y procesos en los sistemas productivos humanos para hacerlos compatibles con el medio natural. Es decir, es una estrategia para incluir los sistemas humanos dentro de los sistemas naturales. Los fundamentos de esta filosofía son:

- **La naturaleza como modelo a seguir.** Estudio de sistemas, procesos, estrategias y formas para resolver problemas en la sociedad.
- **La naturaleza como medida.** Utiliza el criterio ecológico como referencia para evaluar la sostenibilidad de las innovaciones.
- **La naturaleza como mentor.** Observar y valorar la naturaleza como medio para aprender, en lugar de entender esta como un conjunto de recursos.

#### 2.1.6. Economía Azul

En 1994, el economista belga Gunter Pauli, definió el modelo de Economía Azul (The Blue Economy), el cual comparte numerosas semejanzas con las teorías “De la Cuna a la Cuna” y la “Biomímesis” descritas previamente. Su meta es avanzar hacia la sostenibilidad utilizando una economía empresarial innovadora. Este planteamiento nos lleva a imitar los ecosistemas naturales para conseguir la eficiencia en la producción de bienes y servicios, de tal manera que sea posible satisfacer las necesidades de la Tierra y de sus habitantes simultáneamente. La economía azul consiste en entender los desechos como recursos y desarrolla procesos basados en los principios de diseño de la naturaleza para convertir los productos en bienes sostenibles, asequibles y eficientes.

#### 2.1.7. Capitalismo natural

El Capitalismo Natural (Natural Capitalism) nace en 1999 a manos de la ecologista P. Hawken, la socióloga H. Lovins y el físico A. Lovins. Critica el tradicional capitalismo industrial basado principalmente en el valor del dinero y los bienes de capital y muestra una alternativa cuyos fundamentos son el capital natural y el capital humano. El capitalismo natural es una alternativa de desarrollo empresarial y social que persigue el cambio de una economía de consumo a una economía de servicios. Sus cuatro principios fundamentales son:

- **Aumentar drásticamente la productividad de los recursos naturales.** A través de cambios fundamentales en el diseño, producción y tecnología con el fin de ampliar la duración de los recursos naturales.
- **Cambiar hacia modelos y materiales inspirados biológicamente.** No basta con reducir los residuos sino busca eliminar el concepto de residuo o desecho. Cada output es devuelto al ecosistema como nutriente o se convierte en input para la fabricación de otro producto.
- **Avanzar hacia un modelo de negocio basado en “servicio y flujo”.** El modelo de negocio tradicional se basa en la venta de bienes y esta alternativa busca una nueva percepción del valor de las cosas, basada en el flujo de servicios.
- **Reinvertir en capital natural.** Las necesidades humanas aumentan cada día y, como consecuencia, aumenta la presión sobre el capital natural. Por lo tanto, el modelo de negocio debe reponer, sostener, regenerar y restaurar los recursos naturales.

## 2.2. Concepto

El modelo conocido como “economía circular” se ha configurado sobre la base de un cúmulo de definiciones que comparten una serie de elementos característicos. Existen definiciones propuestas por investigadores, a título individual o colectivo. Entre ellas destacamos la propuesta de la fundación Ellen MacArthur que expone que “la economía circular, más que definirse, se caracteriza por ser restaurativa y regenerativa a propósito, y por pretender que los productos, componentes y materias mantengan su utilidad y valor máximos en todo momento, distinguiendo entre ciclos técnicos y biológicos” (MacArthur, 2015).

Los ciclos biológicos incluyen elementos que proceden del medio natural como, por ejemplo, el algodón, la madera o los alimentos. Tras su utilización en la actividad económica, estos recursos se transforman de tal manera que sea posible su re inserción en el medio de donde proceden a través de procedimientos como el compostaje (transformación de la materia orgánica en abono natural) o la digestión anaeróbica (procedimiento mediante el cual se descompone la materia biodegradable sin oxígeno, este proceso genera numerosos gases que más tarde se utilizan como combustible). De esta forma, los recursos se regeneran, como el suelo, y pueden ser útiles de nuevo para la actividad económica.

Los ciclos técnicos son aquellos que requieren de la intervención humana. Su función es restaurar y recuperar productos, componentes o materiales a través de procesos de reparación, re-manufacturación, reutilización o reciclaje. En el ámbito donde tiene cabida el consumo es dentro de los ciclos biológicos pues en los ciclos técnicos el uso podría reemplazar el consumo debido a la re inserción continua de los materiales.

La economía circular es una alternativa al modelo actual, previamente descrito, que consistía en extraer recursos y transformar los materiales para así crear productos. Estos productos tienen un uso limitado y posteriormente se convierten en residuos. La economía circular pretende diseñar productos que sean fácilmente reparables o se puedan actualizar y, por lo tanto, no lleguen a convertirse en residuos. Una vez que no sea posible llevar a cabo estas dos acciones, reparar y actualizar, las piezas que constituyen el producto retornan al proceso productivo ya que están diseñadas de tal manera que se convierten de nuevo en materiales a partir de los cuales se podrán construir nuevas piezas y serán útiles para nuevos bienes o en otros sectores.

Este bucle cerrado es beneficioso para el conjunto de la economía. En primer lugar, los consumidores salen beneficiados con esta propuesta ya que el precio del producto reparado o actualizado será menor que uno nuevo. Además, siempre pueden tener la mejor versión de este devolviéndolo a la empresa para conseguir esa modernización.

En segundo lugar, las empresas reducirían la producción, lo que implica una reducción del uso de materias primas y de las emisiones contaminantes relativas al proceso productivo. También generarían ahorro ya que en algunos casos solo tendrían que fabricar algunas piezas o bien simplemente reparar. Es aquí donde entra en juego la inversión en innovación para así atraer a los

consumidores a la empresa con el fin de conseguir esa nueva actualización en el producto que ya es de su propiedad. De esta forma la empresa puede maximizar su beneficio, atendiendo la demanda de reciclaje de su producto y apelando a la innovación para mantener y aumentar su clientela.

A partir de esta idea, la EC trata de transmitir una economía de la “funcionalidad” que consiste en primar el uso frente a la posesión. Es decir, la venta de un servicio en vez de un bien. En otras palabras, los productos podrían ser propiedad de la empresa y que otorgaría al consumidor licencias de uso, de esta forma tendrían la seguridad de que los bienes vuelven a la empresa. Esta idea puede sorprender puesto que la mentalidad del consumidor actualmente es otra. Sin embargo, a día de hoy este pensamiento ya está en práctica. Algunos ejemplos son las páginas para compartir coche (BlaBlaCar) o las plataformas de series online (Netflix o HBO).

En definitiva, esta propuesta implica un cambio en los sistemas de producción y consumo, donde el objetivo va más allá de reducir los impactos negativos de la economía en el medio ambiente. La finalidad es la producción de bienes y servicios que mantengan su valor en la economía, de esta forma, se puede reducir el consumo de recursos renovables y, además, llevar a cabo un uso de materias primas, energía y agua más eficiente.

### **2.3. Principios y características**

Los fundamentos de esta doctrina son tres, cada uno de ellos hace referencia a los distintos retos a los que se enfrentan las empresas en términos de recursos y la sistemática para hacerlo efectivo.

A. *Principio 1: Preservar y mejorar el capital natural.* Se consigue controlando el volumen de recursos no renovables y buscando el equilibrio de los flujos de recursos renovables. Es decir, el sistema circular ha de ser capaz de escoger de forma sensata qué tecnologías y procesos utilizan recursos renovables o qué recursos proporcionan los mejores resultados, en la forma en la que sea posible. Además, también es necesario que esta práctica aumente el capital natural, incentivando el flujo de nutrientes en el sistema y desarrollando condiciones que, por ejemplo, permitan que el suelo se regenere.

B. *Principio 2: Optimizar el uso de los recursos.* Se logra mediante la rotación de productos, materiales y componentes, en los ciclos técnicos y también en los biológicos. Los productos se diseñan de tal manera que se pueda repetir el proceso de fabricación, restauración y reciclaje, y de esta forma, los componentes y materiales siguen circulando y aportando a la economía.

C. *Principio 3: Fomentar la eficacia del sistema.* El fin último es identificar y eliminar las externalidades negativas mediante el diseño de bienes y servicios. Por un lado, consiste en eliminar los residuos del diseño. Por ejemplo, los residuos tecnológicos actuales no tendrían cabida puesto que habrán sido diseñados de tal manera que puedan convertirse de nuevo en nutrientes técnicos útiles para la industria. De esta forma se eliminaría el concepto de residuo. Por otro lado, también consiste transformarlos de manera que puedan ser útiles para

la sociedad. Un ejemplo relevante sería reconducir los gases expulsados por las fábricas, cuyas temperaturas son elevadas, como input para los sistemas de calefacción urbana. Esto implica la reducción de efectos perjudiciales tanto para la salud como para el planeta, generados por la contaminación, en su sentido más amplio.

Del mismo modo que existen numerosas definiciones de la EC, las características de ésta también varían de unos autores a otros. Esencialmente, de acuerdo con los criterios de la European Environment Agency (2016), se han de tener en cuenta las siguientes consideraciones a la hora de llevar a la práctica este modelo cíclico.

- Reducción de insumos y menor utilización de recursos naturales. El objetivo principal es optimizar el uso de materias primas y minimizar su explotación, por ejemplo, minimizar el consumo de agua y energía en los procesos de fabricación.
- Compartir en mayor medida la energía y los recursos renovables y reciclables. Consiste en sustituir los recursos no renovables por renovables para alcanzar un mayor nivel de sostenibilidad desde el punto de vista de la oferta. Además, se pretende emplear una mayor proporción de materiales reciclables y reciclados que sustituyan materiales puros. Se busca que la extracción de materias primas sea de manera sostenible, cerrando el círculo de utilización de materiales.
- Reducción de emisiones. El volumen de emisiones a lo largo del ciclo de fabricación ha de reducirse mediante el uso de una cantidad menor de materias primas y, además, la obtención de estas de manera sostenible. También contribuye a una menor contaminación.
- Disminuir las pérdidas de materiales y de los residuos. La finalidad es minimizar el volumen de residuos y limitar residuos incinerados y vertidos.
- Mantener el valor de productos, componentes y materiales en la economía. Pretende prolongar la vida útil de los productos, manteniendo el valor de los productos en uso. Además, es necesario reutilizar los componentes y contribuir a que el valor de los materiales perdure a través de reciclaje de mayor calidad.

### 3. CASOS DE ÉXITO EN EMPRESAS

La economía circular es una alternativa atractiva y viable en la actualidad. Cada vez más empresas optan por introducir este modelo en sus áreas de negocio con el fin de maximizar el valor y la rentabilidad de los recursos y apostar por la sostenibilidad. En este epígrafe estudiaremos la puesta en práctica de algunas empresas. Como ejemplos de empresas punteras a nivel global:

- COCA COLA

La empresa Coca-Cola España ha conseguido maximizar el uso y el valor de los plásticos empleados en la producción de envases. A través del ecodiseño ha creado botellas más ligeras mediante la utilización del material PET (tereftalato de polietileno). Este material es totalmente reciclable y, además, es valioso por su transparencia y alta resistencia.

La producción de envases PET implica una reducción del uso de materias primas y de emisiones de GEI. Por ejemplo, cuando Coca Cola redujo el tamaño del tapón en 4 mm y consiguió ahorrar 26.500 kilos de plástico.

Las botellas PET son reciclables en un 99,6% y, además incluyen materiales que provienen de fuentes orgánicas o materiales ya reciclados. En 2009 CCE fabricó una botella que contenía un 30% de materiales de origen vegetal (por ejemplo, derivados de la caña de azúcar) conocida como *PlantBottle*.

Coca Cola también tiene como objetivo instaurar un proceso de reciclaje continuo mediante instalaciones de reprocesamiento de plásticos. En colaboración con ECO plastics e Infineo en Francia y Continuum en Gran Bretaña consigue reciclar el material PET (rPET) y lo remiten a los fabricantes para que vuelva a utilizarse en los envases.<sup>1</sup>

- INDITEX

El grupo Inditex ha apostado por la economía en todas las fases del proceso productivo. En primer lugar, utiliza materias primas sostenibles para la elaboración de las prendas como, por ejemplo: el algodón orgánico, que no requiere fertilizantes ni pesticidas químicos, o el tejido Lyocell (conocido comúnmente como Tencel), fibra que proviene de la celulosa o pulpa de madera. También incluye como inputs tejidos reciclados, en concreto prendas de lana, algodón o poliéster reciclado. Esto contribuye a una reducción del uso de agua, recursos naturales y energía en el proceso de fabricación. Para que los clientes identifiquen fácilmente cuales son los artículos producidos con este tipo de tejidos se elaboran colecciones que tienen como distintivo una etiqueta especial por ejemplo *Join Life* (Zara) o *Weare the Change* (Oysho).

El proceso de fabricación sigue un estándar de sostenibilidad medioambiental llamado *Green to Wear*, que trata de mejorar los procesos húmedos de la fabricación textil. Se utilizan indicadores para comprobar que los fabricantes no utilicen sustancias restringidas para la fabricación y además gestionan correctamente los materiales químicos. También tiene como objetivos el *Vertido Cero de Sustancias No Deseadas* y el objetivo *Clear to Wear* (estándares de salud y seguridad que ha de cumplir el producto) recogidos en el programa *The List by Inditex*.

En el ámbito de logística, ha incluido un programa cuyo objetivo es reducir el uso de materias primas en embalajes y procesos de envío.

---

<sup>1</sup>Continuum produce 25.000 toneladas de rPET consiguiendo un ahorro de 33.500 toneladas de CO2 por año. Esta empresa ha conseguido remitir suficiente rPET para que Coca Cola incluya un 25% de este material en todas sus botellas de plástico en Gran Bretaña.

En particular, las cajas de cartón se reutilizan y más tarde son recicladas, también las alarmas y perchas.

El Plan Medioambiental ha incorporado el proyecto de tiendas ecoeficientes, que permiten reducir un 20% el consumo de electricidad y un 40% de agua respecto a las tiendas convencionales. Este proyecto se lleva a cabo mediante sistemas tecnológicos avanzados que incluyen sensores de movimiento automáticos que regulan la intensidad de la luz en función del tránsito, sistemas de control de temperatura que se adecuan en función de la ocupación, la luz solar, etc.

Por último, ha puesto en marcha un programa de recogida de ropa usada, con el fin de reutilizar y reciclar productos textiles, calzado y accesorios. Si es posible darles un segundo uso, se donan a entidades sin ánimo de lucro y, en caso contrario se derivan a otras organizaciones empresariales de reciclaje o fabricantes de tejidos. También colaboran con universidades para impulsar la innovación sostenible en el ámbito textil.

- HP INSTANT INK

HP ha innovado en su modelo de negocio introduciendo un servicio de reposición de tinta denominado *Instant Ink*, cuyo fin último es recuperar y reciclar los cartuchos. Pagando una tarifa mensual, en función del volumen de páginas, el servicio incluye la tinta, el envío y el reciclaje del cartucho. Las impresoras que incluyen este sistema están conectadas y notifican a HP cuando el cartucho se agota y, automáticamente, envían uno nuevo. Los cartuchos vacíos retornan a HP y, de esta forma, se produce un reciclaje de “circuito cerrado”.

Los beneficios de este programa son la mejora en el diseño y duración de los cartuchos, la reducción de envases (eliminando hasta un 57% de residuos) y, además, los costes de la tinta se reducen hasta un 50% para los clientes.

En España también existen casos de empresas que han optado por introducir prácticas orientadas a una economía circular. Algunos de estos ejemplos son:

- MERCADONA

La compañía de supermercados Mercadona ha conseguido eliminar por completo las bolsas de plástico de un solo uso. La empresa ofrece a sus clientes tres tipos de bolsas: las de papel, rafia o las bolsas que contiene un 50-70% de plástico reciclado, obtenido de los embalajes de sus propias tiendas. Mercadona ha conseguido reutilizar 3.000 toneladas de plástico el año. Este volumen de plásticos pasa a manos de Saica, empresa encargada de convertirlo en granza, y después el fabricante Plasbel se encarga de convertirlos en bolsas.

Adicionalmente, Mercadona colabora con Saica Natur, empresa encargada de gestionar los residuos y llevar a cabo servicios medioambientales. En concreto, utilizan los productos *Saica Zero* para reducir el volumen de residuos y disminuir aquellos que se depositan en el vertedero, y los productos *Saica Circular*, que se encargan de transformar estos residuos y devolverlos como nuevos recursos al mercado.

- **GRUPO SIRO**

Cerealto Siro Foods ha integrado la economía circular en distintas áreas: uso eficiente de recursos, producción, reciclaje y reutilización de los residuos para introducirlos de nuevo en el ciclo productivo. Tuero, filial del Grupo Siro, es la encargada de las cuestiones que hacen referencia a la protección del medio ambiente. En concreto, transforman los subproductos derivados de alimentos convirtiéndolos en pienso animal. También reciclan los envases, embalajes y aceites y, además, el lodo de las depuradoras lo convierten en compostaje. Adicionalmente, han construido una planta de biogás en Venta de Baños (Palencia) para generar el gas natural necesario para todos sus procesos productivos.

Con esta serie de prácticas han logrado el objetivo de vertido cero generando un ahorro de 3 millones de euros en 2018. También han reducido la huella de carbono por kilo producido, en un 50% desde 2015, como consecuencia de la utilización completa de energía procedente de fuentes renovables.

#### **4. BENEFICIOS Y LIMITACIONES DEL MODELO**

La transición hacia una EC puede ofrecer grandes oportunidades en el ámbito industrial. Sin embargo, también hay un impacto positivo sobre consumidores y usuarios, además de para el medio natural. Este modelo también presenta limitaciones, que generan cierto escepticismo, tanto en la sociedad como en el ámbito académico.

##### **4.1. Beneficios**

De acuerdo a algunos estudios, el modelo circular puede significar un mayor crecimiento económico. La fundación Ellen MacArthur estima un crecimiento del PIB Europeo del 11% para 2030 y un 27% para 2050, en comparación con el 4% y el 15% si no se implantase el modelo de EC. Además, se aspira a grandes ahorros netos de costes de materias. La Comisión Europea, en el “Paquete sobre la Economía Circular”, refleja un ahorro neto de 600.000 millones de euros para empresas de la UE que utilicen medidas para el diseño ecológico, reutilización y eliminación de residuos. Por ejemplo, si se recuperasen el 95% de los móviles desechados se podría obtener un ahorro de 1.000 millones de euros en costes de materiales de

fabricación; o el ahorro producido por la renovación de vehículos industriales ligeros (LCV) sería de 6.400 millones de euros al año en materiales y 140 millones de euros en costes energéticos.

Adicionalmente, los efectos sobre el empleo, analizados por la fundación Ellen MacArthur en colaboración con SUN y McKinsey, exponen en su estudio realizado en Dinamarca que por cada 10 oportunidades de desarrollo de economía circular se pueden crear entre 7.300 y 13.300 empleos hasta 2035. También es importante destacar el estímulo a innovar con el fin de crear redes logísticas para el diseño de productos circulares. Para analizar los beneficios distinguimos tres agentes:

- Las **empresas**. Pueden conseguir una reducción del coste de las materias primas y, como consecuencia, nuevos beneficios. Algunos ejemplos son: la reducción en un 50% del coste de refabricación de teléfonos móviles, por ser fácilmente reparables, o a través del tratamiento de residuos de alimentos (hogares y hostelería), generar un flujo de ingresos de 1.500 millones de USD al año. Otro punto a destacar es una mayor seguridad de suministro de recursos, debido a un mayor uso de materiales reciclados. De esta forma, los desastres naturales no tienen tanto impacto a la hora de obtener materias primas.

La EC genera nuevas oportunidades de negocio puesto que se demandan nuevos servicios empresariales, como empresas especializadas en logística inversa (recuperación, reciclaje de embalajes, envases y residuos peligrosos), plataformas de venta, etc. Estos beneficios también se plasman en la relación con el cliente orientado a una mayor interacción y lealtad, como resultado de nuevos contratos de arrendamiento o alquileres, que establecen un vínculo a más largo plazo con los clientes.

- Los **ciudadanos**. Pueden acceder a mayores niveles de renta disponible, gracias a la reducción del coste de los productos y servicios la prolongación de su vida útil. Es posible que la renta disponible media de una familia europea aumente en un 11% en relación al desarrollo actual para 2030, lo que equivale a unos 3.000 €. Asimismo, los individuos verán incrementada su utilidad debido a una menor obsolescencia, a causa de la actualización constante de productos y la producción de bienes reutilizables de mayor calidad de vida.

- El impacto positivo en el **medio ambiente** se refleja en la reducción de las emisiones de dióxido de carbono. La previsión, con vista a 2030, muestra una reducción de un 50% de las emisiones, en concreto, una reducción del 48% en sectores de movilidad o alimentación. Además, el progreso hacia una economía circular puede reducir el consumo de materias primas en un 32% y un 53% para 2030 y 2050 respectivamente, tomando como referencia los materiales de coches, materiales de construcción, combustibles, pesticidas, fertilizantes químicos, electricidad no renovable, suelo inmobiliario y uso de agua agrícola. Asimismo, los efectos son notables, en términos de

productividad y calidad del suelo, gracias a la reducción del volumen de residuos y el retorno de nutrientes biológicos al suelo. Los procedimientos de compostaje y digestión anaeróbica ayudan a regenerar el suelo y disminuir el uso de fertilizantes sintéticos en 2,7 veces. En el horizonte temporal de cara a 2050 es posible eliminar el 80% del consumo de estos fertilizantes en el sector alimentario.

## 4.2. Limitaciones

El esfuerzo necesario para introducir el modelo circular en la actualidad es elevado. Existen diversas barreras que dificultan el avance en esta dirección, requiriéndose de una colaboración conjunta de todos los actores de la economía. En esta sección se analizan los límites del modelo en diferentes ámbitos:

- Límites legales. El desarrollo del modelo requiere introducir el concepto de “economía circular” en el ámbito legal, con el fin de armonizar e integrar las políticas de gestión de recursos materiales, energéticos y residuos necesarias a nivel europeo, nacional, regional y local. El concepto de residuos y su nueva función como materias primas que requiere una modificación de la normativa actual, o la regulación de aspectos técnicos para reducir el uso de sustancias tóxicas, entre otras.
- Límites económicos y financieros. Por un lado, la transición hacia una economía circular requiere incentivos monetarios y no monetarios para impulsar a la sociedad a reducir el consumo de materias primas y el uso de energías no renovables. Un posible incentivo sería una política fiscal que incluya medidas como un aumento de los impuestos sobre consumo de recursos no renovables o la reducción del IVA de los bienes producidos con materiales reutilizados. Por otro lado, las fuentes de financiación, tanto públicas como privadas, no son suficientes a día de hoy. La Unión Europea ha comenzado a financiar algunos proyectos, sin embargo, la financiación privada es aún escasa por razones como la desinformación, el riesgo asumido por el cambio, o la gran inversión inicial que requiere la innovación en el ecodiseño, o el proceso de reciclaje.
- Límites sociales y culturales. Avanzar en esta dirección implica un cambio en la mentalidad de los consumidores orientado a una mayor concienciación ambiental. Por ejemplo, los consumidores acostumbrados a ser propietarios, pasarían a ser usuarios de los bienes que serían propiedad de la empresa. También supone una traba la falta de información del método de fabricación, o de los recursos empleados en la producción de bienes. Por esta razón, sería útil establecer unos estándares globales de etiquetado para identificar aquellos productos circulares. Además, es importante cambiar la concepción de que productos reciclados o reutilizados pueden ser de menor calidad.

- Límites técnicos. Es necesario utilizar tecnología avanzada para diseñar los componentes de los bienes con el fin de que sean separables y perfectamente recuperables, lo que supone un gran desafío. En caso contrario, no sería posible el reciclaje y el aprovechamiento de sus componentes y los residuos persistirían. Así mismo, cuando ya no es posible la reutilización de componentes por parte de la empresa y estos pasan a ser inputs de otra, se crean vínculos entre empresas que, si lo llevamos al extremo, pueden llegar a generar dependencias. Esto puede suponer un problema sistémico en situaciones de crisis puesto que, en el momento en que se reduzca la producción en un sector, si los sectores están interconexiónados, arrastrará consigo al resto de empresas que dependen de sus componentes desechados.

Otro problema técnico surge a la hora de evaluar el impacto real del modelo. Existen informes, como “The Circularity Gap Report 2020”, que establecen el nivel de implantación en un 8,6%. Sin embargo, aún no se han definido un conjunto de indicadores para evaluar, de manera objetiva, los avances y resultados. Se requieren indicadores que puedan ser ajustados en función de los modelos de producción o los tipos de recursos utilizados. El proyecto “Circularity indicators”, elaborado por GRANTA Material Intelligence y la Fundación Ellen MacArthur, financiado por el programa LIFE de la Unión Europea, propone como medida el Indicador Material de Circularidad (MCI). Este indicador está orientado a cuantificar los flujos de materiales (nuevos, reutilizados y reciclados), el tiempo, la intensidad de uso del producto, mantenimiento y reparación, el nivel de eficiencia y los residuos que genera. El MCI obtiene un valor comprendido entre 0 y 1. Cuanto más próximo a uno mayor es la circularidad del producto.

Las dificultades inherentes al modelo no son el único obstáculo al que se enfrenta la economía circular. Existen diversos argumentos que ponen en duda su validez.

El primer problema está relacionado con los principios de la termodinámica. La Primera Ley de la Termodinámica expone que la energía no se puede crear ni destruir, solo puede transformarse. Esto puede dar lugar a pensar que la energía puede ser reciclada continuamente. Sin embargo, la Segunda Ley de la Termodinámica añade que la energía puede cambiar de forma, transformándose de energía útil a energía menos útil. Según esto, cada vez que se produce una transferencia de energía, cierta cantidad de energía útil pasa a la categoría de inútil (no apta para realizar trabajo), puesto que, en todos los procesos, parte se lo lleva el universo (Tercera Ley de la Termodinámica). Georgescu-Roegen (1971) relacionó la entropía con el proceso económico. La entropía, en una versión simplificada, es una medida inversa de la cantidad de energía aprovechable. A medida que se modifican los recursos naturales, cambian de un estado de baja entropía a uno de alta entropía (energía no útil). Para que la materia se transforme en productos útiles para el ser humano es necesario que el nivel de entropía sea bajo, que implica una alta calidad de los

recursos. Si tomamos como ejemplo una pieza de carbón, la primera vez que se utiliza la entropía es baja y, por lo tanto, la calidad para generar movimiento, calor o combustible es alta. Sin embargo, cuantas más veces se utilice, mayor es la entropía y menor la capacidad de transformarse, la calidad disminuye hasta llegar al nivel máximo de entropía, donde no es posible producir un producto útil.

Relacionando estos conceptos con la EC, nos encontramos con que el procedimiento empleado para el reciclaje de recursos implica una pérdida de recursos materiales, debido a la dificultad de reciclar el 100% de toda las materias y un elevado coste energético, ya que la energía requerida en el proceso es cada vez mayor. Lo mismo ocurrirá en el proceso productivo. Aunque se empleen inputs reutilizables, como forma de ahorro de materias primas, el proceso productivo tendrá un coste energético en base a las leyes de la termodinámica.

Otro error en el planteamiento está vinculado a la Paradoja de Jevons, también conocida como efecto rebote. Jevons (1865) expone que las mejoras en la eficiencia de uso de los recursos pueden no implicar una disminución del uso de estos, sino un aumento de las actividades que los utilizan. Zink y Geyer (2017) alertan sobre el efecto rebote en las actividades de economía circular. Éstas actividades son capaces de reducir el consumo de materias primas, gracias al uso de tecnología avanzada en el proceso productivo, reduciendo, de esta forma, el coste de producción por unidad. Como consecuencia, caerá el precio de los bienes y aumentará la demanda. Esto se traduce en un aumento de la producción y, a su vez, un aumento de empresas en el mercado para cubrir la creciente demanda. De acuerdo con la Paradoja de Jevons, el consumo de recursos será mayor.

Una crítica importante sugiere que la EC puede ayudar a mantener el *statu quo* del crecimiento económico actual. Bajo los supuestos de este modelo parece que el crecimiento puede llegar a ser ilimitado, gracias al reciclaje de residuos que retornan al sistema productivo como recursos. El objetivo que deja entrever este modelo, no es reducir el consumo, sino mantener los mismos niveles a través de la circulación continua de materiales. No se tienen en cuenta los límites físicos del planeta. Autores como Latouche (2008) o Kallis (2018), defensores de la Teoría del Decrecimiento, consideran que el crecimiento económico ilimitado es incompatible con un planeta con recursos finitos. En 1798, Malthus ya expuso el desfase entre el crecimiento de la población y los recursos.

Otro factor que pone en duda la veracidad del modelo es su conceptualización. Numerosos artículos mencionan el término “economía circular” pero no incluyen una definición explícita. En concreto, Kirchherr, et al. (2017) analizan 148 artículos, de los cuales solo 114 incluyen una definición. El concepto de EC es relativamente nuevo, puesto que 77 de los artículos incluyen definiciones propuestas en los últimos cinco años. El concepto empleado por la Fundación Ellen MacArthur (2012) es el más reconocido y reinterpretado por varios autores, para ser exactos, 11 artículos de los 114 recogen esta versión. Otros conceptos que se han repetido hasta tres veces son: la definición

propuesta por Shi, et al. (2010); la definición de Preston (2012); y la versión más extensa de la Fundación Ellen MacArthur (2013a). El estudio previamente mencionado expone que, sin tener en cuenta estos conceptos que se repiten, existen 95 definiciones diferentes respecto a los 114 artículos. Esta última cifra expone que no hay una definición concreta reconocida y esto supone un obstáculo a la hora de establecer objetivos y líneas de actuación para conseguir introducir el modelo circular en la economía.

## **5. MARCO LEGAL**

La Unión Europea y España han contribuido al desarrollo de la EC elaborando paquetes de medidas y normativa que impulsen la transición a una economía circular. Los principales destinatarios de las actuaciones propuestas para la protección y conservación del medio ambiente y la lucha contra el cambio climático son empresas y consumidores.

### **5.1. A nivel europeo**

La Unión Europea comienza su compromiso con la EC con el VII Programa General de Medio Ambiente de la UE, que plantea políticas dirigidas a una economía inteligente, sostenible e integradora, a una economía baja en carbono, ecológica y eficiente en el uso de recursos. Para ello se fijaron objetivos en materia medioambiental y climática.

La Comisión en 2014 publicó el comunicado *“Hacia una economía circular: un programa de cero residuos para Europa”* (COM (2014) 398 final), cuyo objetivo fue establecer medidas para facilitar la transición hacia un modelo donde los residuos se utilicen como recursos. Su objetivo principal era la reducción de las emisiones totales de GEI entre un 2 y un 4% (Comisión Europea 2015b). Posteriormente, en 2015, avanzó en esta dirección publicando el comunicado *“Cerrar el círculo: un plan de acción para la Economía Circular”* (COM (2015) 614 final) compuesto por 54 medidas que afectaban al diseño y producción de productos, el consumo, la gestión de residuos y el aprovechamiento de recursos derivados de los residuos. Además, se reconocieron cinco áreas prioritarias: plásticos, residuos alimentarios, construcción y demolición, materias primas críticas y biomasa y biproductos (Comisión Europea 2015a).

La Comisión publicó en 2018 dentro del marco de “cerrar el círculo” nuevas pautas en materia legal sobre sustancias químicas, productos y residuos y, además, estableció un marco de seguimiento de la Economía Circular. En concreto, destaca *“Una estrategia europea para el plástico en una economía circular”*, o la web *Food Waste* orientada a recopilar información para hacer frente a los residuos de alimentos. Recientemente, el Parlamento Europeo ha aprobado el acuerdo con el Consejo (Directiva 2019/904), cuya finalidad es reducir el impacto de determinados productos de plástico en el medio ambiente. La propuesta más conocida es la prohibición de plásticos de un solo uso a partir de 2021.

Los programas Horizonte 2020, LIFE o COSME han contribuido a la financiación de proyectos que investigan sobre cambio climático, ciudades sostenibles, o apoyo a PYMES que se inician en el ámbito circular. También es importante destacar las aportaciones del Fondo Europeo para Inversiones Estratégicas (Plan Jucker) y otros Fondos Estructurales y de Inversión Europeos.

## **5.2. A nivel nacional**

Las Administraciones Públicas españolas también han mostrado su compromiso con esta nueva iniciativa. En concreto, la Comunidad de Madrid, Extremadura, Andalucía y Cataluña han apostado por estrategias de economía circular.

La Comunidad de Madrid ha diseñado *MADRID7R Economía Circular*, que propone a empresas, ciudadanos, organizaciones sin ánimo de lucro y administraciones públicas actuar en base a las 7R: rediseñar, reducir, reutilizar, reparar, renovar, recuperar y reciclar. El fin es mejorar el bienestar de los ciudadanos mediante el desarrollo económico, y garantizar un medioambiente sano.

La Junta de Extremadura ha elaborado la *Estrategia de Economía Verde Y Circular Extremadura 2030*. La estrategia consiste en coordinar políticas públicas para la consecución de tres tipos de objetivos: estratégicos, funcionales y operativos. Algunas de las áreas de actuación son la consecución de una economía verde y circular, lucha contra el cambio climático, cuentas ambientales para las empresas y administraciones como medida de evaluación del impacto ambiental de sus actividades, turismo sostenible, etc.

Andalucía ha presentado la *Estrategia Andaluza de Bioeconomía Circular 2030* con el fin de contribuir al desarrollo de un modelo económico donde los recursos biológicos renovables se transforman en productos y servicios. Algunos objetivos específicos son la investigación e innovación relacionada con bioeconomía o aumentar la competitividad y sostenibilidad de los sectores pesquero, agroalimentario y forestal, entre otros. Los objetivos estratégicos están encaminados a aumentar el número de bioindustrias y biorrefinerías, incentivar el consumo de bioproductos y bioenergía y aumentar los recursos de biomasa sostenible.

Por último, la estrategia de la Generalitat de Cataluña, *Impulso a la Economía Verde y la Economía Circular*, persigue adecuar la competitividad empresarial al crecimiento inteligente, sostenible e integrador propuesto por la UE. Las políticas para apoyar la transición hacia una economía verde y circular están dirigidas al incentivo de I+D+i, generación de demanda y apertura de nuevos mercados, facilitar el acceso a la financiación, fomento del empleo y el espíritu empresarial y la internacionalización.

En la actualidad, el Gobierno de España está en proceso de elaboración de la *Estrategia Española de Economía Circular*. En particular, el borrador de España Circular 2030 identifica cinco sectores claves para introducir este nuevo modelo: sector agroalimentario, construcción, industria, turismo y bienes de

consumo. Este nuevo proyecto incluye 70 actuaciones y un presupuesto de 836 millones de euros.

## 6. UN MODELO DINAMICO DE ECONOMIA CIRCULAR: UNA VISION DESDE LA TEORIA DEL CONTROL OPTIMO.

El modelo de economía circular plantea, como solución al problema de agotamiento de recursos, transformar los desechos en nuevos recursos. Es una posible vía para reducir el consumo de éstos y, además, internalizar las externalidades negativas, mejorando la gestión de los residuos generados por la producción y el consumo. En este epígrafe se estudia la posibilidad de modelizar la economía circular como un problema de control óptimo con horizonte temporal infinito.

En primer lugar, se describen los supuestos necesarios para configurar el modelo. Partimos de una economía cerrada, donde no son posibles los intercambios con otros países. Para simplificar el modelo, consideramos un único individuo que produce y consume bienes. Una empresa representativa utiliza para su producción ( $q$ ) tres factores: el capital ( $k$ ), considerado en sentido amplio igual que en el modelo de crecimiento endógeno de Revelo (1990), incluye al capital humano, puesto que la mano de obra también requiere inversión (Ej. Educación, sanidad...). El segundo factor productivo son los recursos, cuya utilización genera contaminación ( $m$ ). Y, finalmente, el modelo circular incluye residuos reciclados ( $x$ ) que tienen valor como inputs.

$$q = h(k, x, m). \quad (1)$$

Partiendo del supuesto, previamente establecido, de que, existe un individuo que produce y consume, podemos determinar que una parte de la producción se destinará al consumo ( $c$ ). Transcurrido un periodo de tiempo, en este caso se considera instantáneo, la parte no consumida se convierte en residuo ( $X$ ) según el modelo actual de “extraer-utilizar-tirar”.

$$X = \phi(c). \quad (2)$$

Sobre la base de la EC, este residuo, o una parte de él, puede ser reciclado. De este residuo ( $X$ ), el agente determina un porcentaje ( $r$ ), a reciclar y lo somete a un proceso de reciclaje utilizando de nuevo recursos contaminantes ( $\tilde{m}$ ), obteniendo un recurso reciclado ( $x$ ). La proporción de los residuos que se va a reciclar tomará valores entre 0 y 1, donde este último equivale a un reciclaje total. Por lo tanto, la cantidad total de residuo a reciclar vendrá determinada por  $\tilde{X} = f(r, X) = rX$ . Y la cantidad total de input reciclado que se obtiene es:

$$x = g(\tilde{X}, \tilde{m}) = g(f(r, X), \tilde{m}) = g(rX, \tilde{m}) = g(r\phi(c), \tilde{m}). \quad (3)$$

Por otro lado, la parte de los residuos que no se va a reciclar incrementa el stock de desechos ( $S$ ). Una parte de estos desechos serán asimilados por el planeta ( $\gamma S$ ).

$$\dot{S} = (1 - r)X - \gamma S = (1 - r)\phi(c) - \gamma S. \quad (4)$$

Así mismo, tanto en el proceso productivo como en el proceso de reciclaje se utilizan recursos contaminantes que generan un flujo de contaminación que se acumula en un stock ( $P$ ). En concreto, la contaminación será la suma de lo que contamina el recurso en la producción final ( $m$ ), lo que contamina el recurso en el proceso de reciclaje ( $\tilde{m}$ ) menos la parte que el planeta es capaz de absorber ( $\delta P$ ).

$$\dot{P} = \alpha m + \tilde{\alpha} \tilde{m} - \delta P . \quad (5)$$

Así mismo, se ha de tener en cuenta que una parte de la producción se destina al consumo, y la parte no consumida se destina a la inversión que acrecienta el capital ( $\dot{k}$ ). Si consideramos que los recursos contaminantes tanto del proceso productivo como del proceso de reciclaje pertenecen al individuo, la parte de la producción destinada a pagar dichos inputs será consumida por dicho agente.

$$\dot{k} = q - c = h(k, g(r\phi(c), \tilde{m}), m) - c. \quad (6)$$

El individuo, como consumidor, tendrá como objetivo maximizar su utilidad ( $U$ ), que dependerá positivamente de lo que consume y negativamente de la contaminación que genere y de los desechos que produzca.

$$U(c, P, S). \quad (7)$$

$$U'_c > 0, \quad U'_P U'_S < 0, \quad U''_{cc} < 0.$$

Una vez definido las variables que influyen en nuestro supuesto se procede a definir el funcional objetivo, donde incluiremos un factor de descuento ( $e^{-\rho t}$ ) ya que suponemos un horizonte temporal infinito. Las variables de control serán el consumo, el porcentaje de residuos que decidimos reciclar y los recursos contaminantes empleados en el proceso productivo y de reciclaje. El capital, la contaminación y el stock de desechos corresponden a las variables de estado.

$$\max_{c, r, m, \tilde{m}} \int_0^{\infty} U(c, P, S) e^{-\rho t} dt ,$$

$$s. a: \dot{k} = q - c = h(k, g(r \cdot \phi(c), \tilde{m}), m) - c ,$$

$$\dot{P} = \alpha m + \tilde{\alpha} \tilde{m} - \delta P ,$$

$$\dot{S} = (1 - r)X - \gamma S = (1 - r)\phi(c) - \gamma S ,$$

$$r \in [0, 1].$$

A partir del funcional se define el hamiltoniano valor presente, y, a continuación, se aplican las condiciones de máximo de Pontryagin.

$$\hat{H}(c, r, m, \tilde{m}, k, P, S, \mu^k, \mu^P, \mu^S) = U(c, P, S) + \mu^k(q - c) + \mu^P(\alpha m + \tilde{\alpha} \tilde{m} - \delta P) + \mu^S((1 - r)\phi(c) - \gamma S) .$$

- Primera condición:

$$1) \dot{\mu}^k = \rho\mu^k - \frac{\partial \hat{H}}{\partial k} = \mu^k (\rho - h_k),$$

$$2) \dot{\mu}^P = \rho\mu^P - \frac{\partial \hat{H}}{\partial P} = (\rho + \delta)\mu^P - U_P,$$

$$3) \dot{\mu}^S = \rho\mu^S - \frac{\partial \hat{H}}{\partial S} = (\rho + \gamma)\mu^S - U_S.$$

- Condición de transversalidad:

$$1) \lim_{t \rightarrow \infty} \mu^k e^{-\rho t} = 0,$$

$$2) \lim_{t \rightarrow \infty} \mu^S e^{-\rho t} = 0,$$

$$3) \lim_{t \rightarrow \infty} \mu^P e^{-\rho t} = 0.$$

- Segunda condición:

$$1) \hat{H}_c = 0,$$

$$\hat{H}_c = U_c + \mu^k [(h_x g_{\bar{x}} f_x \phi'(c)) - 1] + \mu^S (1 - r) \phi'(c) = U_c + \mu^k [(h_x g_{\bar{x}} r \phi'(c)) - 1] + \mu^S (1 - r) \phi'(c) = 0.$$

$$2) \hat{H}_r = 0,$$

$$\hat{H}_r = \mu^k h_x g_{\bar{x}} f_r - \mu^S X = \mu^k h_x g_{\bar{x}} X - \mu^S X = (\mu^k h_x g_{\bar{x}} - \mu^S) \phi'(c) = 0.$$

$$3) \hat{H}_m = 0,$$

$$\hat{H}_m = \mu^k h_m + \mu^P \alpha = 0.$$

$$4) \hat{H}_{\tilde{m}} = 0,$$

$$\hat{H}_{\tilde{m}} = \mu^k h_x g_{\tilde{m}} + \mu^P \tilde{\alpha} = 0.$$

- Tercera condición:

$$1) \dot{k} = h(k, g(f(r\phi(c)), \tilde{m}), m) - c.$$

$$2) \dot{P} = \alpha m + \tilde{\alpha} \tilde{m} - \delta P.$$

$$3) \dot{S} = (1 - r)\phi(c) - \gamma S.$$

Utilizando las condiciones de máximo de Pontryagin se procede a calcular la tasa de crecimiento del consumo. Suponiendo que la función del residuo ( $X$ ) es lineal tal que  $X = \phi(c) = \phi c$  y  $(\phi)$  es distinto de cero podemos obtener a partir de la segunda condición una relación entre los precios sombra del capital y del stock de desechos:

$$\hat{H}_r = (\mu^k h_x g_{\bar{x}} - \mu^S) \phi = 0 \rightarrow \mu^S = \mu^k h_x g_{\bar{x}} \rightarrow \mu^k = \frac{\mu^S}{h_x g_{\bar{x}}}.$$

Sustituyendo  $(\mu^S)$  en la segunda condición de máximo  $\hat{H}_c = 0$  y operando se obtiene:

$$\hat{H}_c = U_c + \mu^k (h_x g_{\bar{x}} r \phi - 1) + \mu^k h_x g_{\bar{x}} (1 - r) \phi = 0,$$

$$U_c + \mu^k (h_x g_{\bar{x}} \phi - 1) = 0 = U_c + \frac{\mu^S}{h_x g_{\bar{x}}} (h_x g_{\bar{x}} \phi - 1),$$

$$U_c = \mu^k - \mu^k h_x g_{\bar{x}} \phi = \mu^k - \mu^S \phi.$$

Derivando con respecto al tiempo la ecuación anterior y sustituyendo las ecuaciones resultantes de la primera condición de máximo ( $\dot{\mu}^k$  y  $\dot{\mu}^S$ ):

$$U''_{cc} \dot{c} = \dot{\mu}^k - \dot{\mu}^S \phi = \mu^k (\rho - h_k) - [(\rho + \gamma)\mu^S - U_S] \phi.$$

Se sustituyen los precios sombra del capital y del stock de desechos calculados previamente y, multiplicando y dividiendo por el consumo ( $c$ ) y por la utilidad marginal de consumir ( $U_c$ ) obtenemos la elasticidad intertemporal del consumo ( $(\varepsilon_c^{Uc})^{-1} = -\frac{U'_c}{U''_{cc} c}$ ) que de forma inversa mide la “concavidad” de la función de utilidad, es decir, nos determina el efecto saciedad del individuo.

$$\begin{aligned} \frac{U''_{cc} \dot{c}}{U_c c} &= \frac{\mu^k}{U_c} (\rho - h_k) - \frac{(\rho + \gamma)\mu^S}{U_c} \phi + \frac{U_S}{U_c} \phi \\ -\varepsilon_c^{Uc} \frac{\dot{c}}{c} &= -\frac{(\rho - h_k)}{h_x g_{\bar{x}} \phi - 1} + \frac{(\rho + \gamma)h_x g_{\bar{x}}}{h_x g_{\bar{x}} \phi - 1} \phi + \frac{U_S}{U_c} \phi. \end{aligned}$$

Operando se obtiene la tasa de crecimiento del consumo:

$$\frac{\dot{c}}{c} = \frac{1}{\varepsilon_c^{Uc}} \left[ \frac{h_k + \gamma h_x g_{\bar{x}} \phi}{1 - h_x g_{\bar{x}} \phi} - \rho - \frac{U_S}{U_c} \phi \right]$$

Analizando cada uno de los términos de dicha ecuación podemos determinar que la tasa de crecimiento del consumo depende, en primer lugar, de la elasticidad temporal del consumo ( $(\varepsilon_c^{Uc})^{-1}$ ). Esta variable mide el grado de saciedad o saturación del consumidor. Cuanto menor es la elasticidad intertemporal del consumo (EIC), más cóncava es la función y mayor su nivel de saciedad. A medida que aumenta el consumo y las necesidades del individuo están satisfechas, consumir más unidades no aumenta su utilidad. El consumidor se saciaría rápidamente. Por el contrario, si la función fuese lineal, es decir con una EIC infinita, aumentar el consumo siempre incrementaría el nivel de utilidad en la misma proporción, el individuo no se saciaría. Lógicamente, cuanto mayor sea la EIC mayor será el interés del individuo por crecer e incrementar su consumo futuro.

En segundo lugar, observamos que depende de la productividad marginal del capital ( $h_k$ ) y el efecto marginal que tiene consumir una unidad adicional sobre la producción ( $h_x g_{\bar{x}} \phi r$ ), teniendo en cuenta la capacidad de asimilar desechos del planeta ( $\gamma$ ). En términos marginales, un aumento del consumo ( $c$ ) provoca un aumento del residuo ( $X$ ). De este mayor residuo reciclamos un porcentaje ( $r$ ) que incrementará el residuo reciclado ( $x$ ). Este aumento del residuo reciclado tendrá su efecto marginal sobre la producción como input productivo. En conclusión, esta

cadena de efectos marginales es la economía circular, lo que se consume acrecienta el input reciclado que hace crecer la producción. Suponemos que este efecto marginal es inferior a la unidad (una unidad de consumo adicional incrementa la producción en menos de una unidad),  $h_x g_{\bar{x}} \phi r < 1$ .

Por otro lado, se puede distinguir un efecto directo e indirecto del consumo sobre el crecimiento del capital. El efecto directo, negativo, implica que una unidad adicional de consumo reduce el capital en una unidad. Por otro lado, el efecto indirecto, positivo, generado por la economía circular, permite que una unidad más de consumo también incremente el capital. Esto se debe a que la unidad de consumo adicional genera un mayor input reciclado que provoca un aumento en la producción. Este mayor nivel de producción se destinará en parte a consumir y en parte a aumentar el capital. Es decir, la tasa de crecimiento del consumo dependerá de cuánto se reduce el crecimiento del capital si aumenta marginalmente el consumo suponiendo que se recicla todo el residuo ( $r = 1$ ) ( $1 - h_x g_{\bar{x}} \phi$ ). Si el aumento del crecimiento del consumo tiene poca repercusión sobre el crecimiento del capital ( $1 - h_x g_{\bar{x}} \phi \approx 0$ ), entonces el crecimiento de la economía será muy elevado.

La tasa de crecimiento del consumo también depende del factor de descuento ( $\rho$ ) que recoge la preferencia intertemporal del consumidor. Es decir, indica la preferencia del individuo de consumir en el presente, frente a posponerlo a un momento futuro.

Por último, el cociente de utilidades marginales recoge la desutilidad que provoca el generar desechos en términos relativos a la utilidad marginal que proporciona el consumo. La Relación Marginal de Sustitución (RMS) recoge la cantidad de un bien a la que el individuo está dispuesto a renunciar por obtener una unidad adicional del otro bien. Además, teniendo en cuenta que para obtener el equilibrio del consumidor se ha de cumplir la Ley de las Utilidades Marginales Decrecientes, el cociente de utilidades marginales cambiado de signo será igual al cociente inverso del cociente de precios, tal que:

$$RMS = - \frac{\frac{\partial U(c, S)}{\partial c}}{\frac{\partial U(c, S)}{\partial S}} = - \frac{U_S}{U_c} = \frac{P_c}{P_S}.$$

Como conclusión, el equilibrio del consumidor se alcanzará en el punto en el que la utilidad de consumir en relación a la desutilidad que le aportan los desechos que genera sea igual al valor que para él tiene el consumo en relación al valor/coste que le supone la producción de desechos. Cuanto mayor sea el valor del consumo frente a los desechos, mayor será el crecimiento (y viceversa).

## 7. CONCLUSIONES

El modelo de producción y consumo “extraer-utilizar-tirar” está ligado a problemas ambientales que suponen una amenaza para la sustentabilidad del planeta. Sin embargo, existe la posibilidad de cambiar tanto los métodos de producción como la forma de consumir, con el objetivo de reducir, e incluso eliminar dichos problemas. Este cambio sistémico es conocido como modelo de economía circular. Se apoya en ciclos biológicos y técnicos para transformar recursos, alimentos, materiales, componentes o productos y devolverlos al medio natural, o bien al mercado, maximizando así su vida útil. Este sistema permite reducir la extracción y consumo de recursos y además mitiga los efectos que provocan elevados niveles de contaminación.

Este sistema de bucle cerrado aporta beneficios para el conjunto de agentes de la economía. Algunos de estos son: la reducción del coste de materias primas, nuevos modelos de negocio, menor obsolescencia y la reducción de emisiones de dióxido de carbono, entre otros. La Unión Europea ha considerado las ventajas de este modelo y ha optado por apoyar esta alternativa, financiando proyectos para su desarrollo y generando una normativa de cara a facilitar el cambio del modelo actual hacia este nuevo. Algunos países, como España, también respaldan esta idea y transmiten su apoyo desde las autoridades. Las empresas son las precursoras en la investigación y desarrollo de líneas de economía circular dentro de sus negocios.

No todo son ventajas en este modelo. Existen numerosos obstáculos, a los que la economía circular se ha de enfrentar, para consolidarse como principal método de producción y consumo. Las limitaciones técnicas, financieras o legales generan grandes dificultades que se tornan aún mayores cuando se ha de tener en cuenta que un factor clave es concienciar a la sociedad. La situación deseada equivaldría a un cambio en conjunto y hacia una misma dirección. Esta y otras razones generan gran desconfianza o rechazo de esta alternativa.

Para concluir el estudio de la economía circular, el presente trabajo se ha centrado en el análisis de un modelo de crecimiento dentro de un modelo de economía circular. Se ha analizado el efecto de la EC sobre la tasa de crecimiento de la economía y se ha comprobado su aportación a la economía y al medio ambiente. También se ha de tener en cuenta que es posible introducir otros supuestos en este mismo estudio, o bien analizar sus efectos desde otros puntos de vista.

No se puede negar que es necesario un cambio en el sistema económico actual. Una vía en la que la sostenibilidad sea el pilar principal de la economía. La economía circular ofrece una posibilidad cuyos principios y características se adaptan a las necesidades de los productores, consumidores y, también, al medio ambiente.

## BIBLIOGRAFIA

Agencia Europea de Medio Ambiente (2010): "El medio ambiente en Europa. Estado y Perspectivas 2010". Disponible en: <https://www.eea.europa.eu/soer/synthesis/translations/el-medio-ambiente-en-europa> [consulta:06/11/2019].

Aranda, J.A. (2010): *Ecodiseño y análisis de Ciclo de Vida*. Editorial Prensas Universitarias Zaragoza, Zaragoza.

Belda, I. (2018): *Economía circular. Un nuevo modelo de producción y consumo sostenible*. Editorial TEBAR, Madrid.

Brionei, A. (2018): "Economía Circular: ¿Más de lo mismo?". Revista-red de estudios Iberoamérica Social. Disponible en <https://iberoamericasocial.com/economia-circular-mas-de-lo-mismo/> [consulta: 22/01/2020].

Cerdá, E. (2011): *Optimización dinámica*. Editorial Graceta, Madrid.

Cerdá, E. y Khalilova, A. (2016): "Economía circular". Universidad Complutense de Madrid y European University, Barcelona. Disponible en <https://www.mincotur.gob.es/Publicaciones/Publicacionesperiodicas/EconomiaIndustrial/RevistaEconomiaIndustrial/401/CERD%C3%81%20y%20KHALILOVA.pdf> [consulta:24/12/2019].

Coca Cola España (2019): "Los avances de Coca-Cola en España para que sus envases sean sostenibles". Disponible en <https://www.cocacolaespana.es/historias/envases-sostenibles> [consulta: 03/01/2020].

Coca Cola European Partners (2015): "Infineo 2.0:la primera plataforma en línea de economía circular". Disponible en <https://www.cokecce.com/news-and-events/news/infineo-2-0-the-first-online-circular-economy-platform> [consulta: 03/01/2020].

Comisión Europea (2015a): "Cerrar el círculo: un plan de acción de la UE para la economía circular". Disponible en [https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/economia-circular/plandeaccioncomes\\_tcm30-425898.pdf](https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/economia-circular/plandeaccioncomes_tcm30-425898.pdf) [consulta:05/02/2020].

Comisión Europea (2015b): "Paquete sobre la economía circular: preguntas y respuestas". Disponible en [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/es/MEMO\\_15\\_6204](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/es/MEMO_15_6204) [consulta: 21/01/2020].

Comisión Europea (2018): "Economía circular: Nuevas normas que situarán a la UE a la cabeza mundial de la gestión de residuos y el reciclado". Disponible en [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/es/IP\\_18\\_3846](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/es/IP_18_3846) [consulta:06/02/2020].

Comisión Europea (2019): “Report on the implementation of the Circular Economy Action Plan”. Disponible en [https://ec.europa.eu/commission/sites/beta-political/files/report\\_implementation\\_circular\\_economy\\_action\\_plan.pdf](https://ec.europa.eu/commission/sites/beta-political/files/report_implementation_circular_economy_action_plan.pdf) [consulta: 21/01/2020].

Comunidad de Madrid (2017): “Madrid7R, Economía Circular”. Disponible en <http://www.madrid7r.es/sobre-nosotros> [consulta: 13/02/2020].

Davis, K.: “Coca-Cola Enterprise Increasing post-consumer plastic content in packaging”. Fundación Ellen MacArthur. Disponible en <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/case-studies/increasing-post-consumer-plastic-content-in-packaging> [consulta: 03/01/2020].

Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas (2019): “Perspectivas de la población mundial 2019”. Disponible en: <https://population.un.org/wpp/Graphs/Probabilistic/POP/TOT/900> [consulta: 24/10/2019].

Diario Oficial de la Unión Europea (2013): Decisión nº 1386/2013/UE relativa al Programa General de Acción de la Unión en materia de Medio Ambiente hasta 2020. “Vivir bien, respetando los límites de nuestro planeta”. Disponible en <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32013D1386&from=ES> [consulta:05/02/2020].

Diario Oficial de la Unión Europea (2019): “Directiva 2019/904 relativa a la reducción del impacto de determinados productos de plástico en el medio ambiente”. Disponible en <https://www.boe.es/doue/2019/155/L00001-00019.pdf> [consulta:06/02/2020].

Difeng, Z. (2017): “Bringing printing as a service to the home”. Fundación Ellen MacArthur Disponible en <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/case-studies/bringing-printing-as-a-service-to-the-home> [consulta: 08/01/2020].

Espaliat, M. (2019): “Indicadores de evaluación del rendimiento de la economía circular”. Disponible en <https://www.prevencionintegral.com/comunidad/blog/hacia-mundo-sostenible/2019/09/08/indicadores-evaluacion-rendimiento-economia-circular> [consulta: 21/01/2020].

Estévez, R. (2013) “La economía circular y sus escuelas de pensamiento”. Disponible en: <https://www.ecointeligencia.com/2013/03/economia-circular-y-sus-escuelas/> [consulta: 07/11/2019].

European Environment Agency (2011): “Annual Report 2010 and Environmental statement 2011”. Disponible en: <https://www.eea.europa.eu/publications/annual-report-2010> [consulta:06/11/2019].

Frosch, R. y Gallopoulos, E. (1989): “Strategies for manufacturing”. Disponible en:

[http://isfie.onefireplace.com/resources/Documents/Strategies\\_For\\_Manufacturing\\_Sci\\_American\\_1989.pdf](http://isfie.onefireplace.com/resources/Documents/Strategies_For_Manufacturing_Sci_American_1989.pdf) [consulta: 07/11/2019].

Fundación Cotec (2017): “Situación y evolución de la Economía Circular en España”. Disponible en <http://informecotec.es/media/informe-CotecI SBN-1.pdf> [consulta: 03/01/2020].

Fundación Cotec (2018): “Economía Circular: descubre lo que es antes de que reviente el Planeta”. Disponible en <https://www.youtube.com/watch?v=Lc4-2cVKxp0&t=723s> [consulta: 03/01/2020].

Fundación Economía Circular: “Economía Circular”. Disponible en [https://economiecircular.org/wp/?page\\_id=62](https://economiecircular.org/wp/?page_id=62) [consulta:12/12/2019].

Fundación Ellen MacArthur (2012): “Hacia una economía circular: motivos económicos para una transición acelerada”. Disponible en [https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/Executive\\_summary\\_SP.pdf](https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/Executive_summary_SP.pdf) [consulta:20/01/2020].

Fundación Ellen MacArthur (2015): “Circularity indicators. An Approach to Measuring Circularity”. Disponible en [https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/insight/Circularity-Indicators\\_Project-Overview\\_May2015.pdf](https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/insight/Circularity-Indicators_Project-Overview_May2015.pdf) [consulta: 21/01/2020].

Fundación Ellen MacArthur (2016): “Intelligent assets: unlocking the circular economy potential”. Disponible en [https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/news/EllenMacArthurFoundation\\_Intelligent\\_Assets\\_Case\\_Studies\\_v4.1.pdf](https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/news/EllenMacArthurFoundation_Intelligent_Assets_Case_Studies_v4.1.pdf) [consulta:12/01/2020].

Fundación Ellen MacArthur y McKinsey & Company (2013): “Towards of the Circular Economy”. Disponible en [https://www.werktrends.nl/app/uploads/2015/06/Rapport\\_McKinsey-Towards\\_A\\_Circular\\_Economy.pdf](https://www.werktrends.nl/app/uploads/2015/06/Rapport_McKinsey-Towards_A_Circular_Economy.pdf) [consulta: 22/01/2020]

Fundación Ellen MacArthur. “Economía Circular”. Disponible en: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/es/economia-circular/escuelas-de-pensamiento> [consulta:16/11/2019].

Fundación Nuestro Mar (2012): “Los recursos pesqueros se agotarán completamente para 2050”. Disponible en: <https://www.nuestromar.org/antiguas/los-recursos-pesqueros-se-agotaran-completamente-hacia-el-2050/> [consulta 29/10/2019].

Generalitat de Catalunya (2015): “Impuls a l’economia verda i a l’economia circular”. Disponible en [http://mediambient.gencat.cat/web/.content/home/ambits\\_dactuacio/empresa\\_i\\_produccio\\_sostenible/economia\\_verda/impuls/IMPULS-EV\\_150519.pdf](http://mediambient.gencat.cat/web/.content/home/ambits_dactuacio/empresa_i_produccio_sostenible/economia_verda/impuls/IMPULS-EV_150519.pdf) [consulta: 13/02/2020].

Georgescu-Roegen, N. (1996): *La Ley de la Entropía y el proceso económico*. Editorial Fundación Argentaria, Madrid.

Greenpeace (2018): “Así nos afecta el cambio climático”. Disponible en: <https://es.greenpeace.org/es/wp-content/uploads/sites/3/2018/11/GP-cambio-climatico-LR.pdf> [consulta:01/11/2019].

Grupo Siro: “Economía circular y eficiencia en el uso de recursos”. Disponible en <https://www.cerealtosirofoods.com/es/sostenibilidad/medio-ambiente/> [consulta:15/01/2020].

Hermida, C. y Dominguez, M. (2014): “Economía circular como marco para el ecodiseño: el modelo ECO-3”. Disponible en: [https://www2.uned.es/eqi/publicaciones/articulos/Economia\\_circular\\_como\\_marco\\_para\\_el\\_ecodisenio\\_el\\_modelo\\_ECO-3.pdf](https://www2.uned.es/eqi/publicaciones/articulos/Economia_circular_como_marco_para_el_ecodisenio_el_modelo_ECO-3.pdf) [consulta:01/11/2019].

Hérendez, T. (2008): “Breve exposición de las contribuciones de Georgescu-Roegen a la economía ecológica y un comentario crítico”. Disponible en [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-57952008000100003](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57952008000100003) [consulta:01/02/2020].

Hewlett-Packard (HP): “HP Instant Ink”. Disponible en [https://instantink.hpconnected.com/es/es/l/?jumpid=ps\\_sm2jxtynp6&utm\\_source=PaidSearch&utm\\_medium=SocialAd&utm\\_campaign=es\\_q1\\_fy19\\_print\\_hps\\_hpsinstantink\\_instantink\\_omg&utm\\_term=&utm\\_content=&ds\\_rl=1245106&ds\\_rl=1245109&ds\\_rl=1245112&gclid=Cj0KCQiAxrbwBRCoARIsABEc9shJtabQcDZoGQ2K6tpFMD1Do0RVtGeluxrjOBomi8Yc6KZMipZXpL4aAi-gEALw\\_wcB](https://instantink.hpconnected.com/es/es/l/?jumpid=ps_sm2jxtynp6&utm_source=PaidSearch&utm_medium=SocialAd&utm_campaign=es_q1_fy19_print_hps_hpsinstantink_instantink_omg&utm_term=&utm_content=&ds_rl=1245106&ds_rl=1245109&ds_rl=1245112&gclid=Cj0KCQiAxrbwBRCoARIsABEc9shJtabQcDZoGQ2K6tpFMD1Do0RVtGeluxrjOBomi8Yc6KZMipZXpL4aAi-gEALw_wcB) [consulta: 08/01/2020].

Inditex (2016): “Apuesta por una economía circular programa de recogida de ropa usada”. Disponible en [http://static.inditex.com/annual\\_report\\_2016/nuestras-prioridades/compromiso-con-la-excelencia-de-nuestros-productos/apuesta-por-una-economia-circular.php](http://static.inditex.com/annual_report_2016/nuestras-prioridades/compromiso-con-la-excelencia-de-nuestros-productos/apuesta-por-una-economia-circular.php) [consulta:04/01/2020].

Inditex (2016): “Hacia una economía circular. Right to wear: responsabilidad en todas las etapas productivas”. Disponible en [http://static.inditex.com/annual\\_report\\_2016/nuestras-prioridades/compromiso-con-la-excelencia-de-nuestros-productos/hacia-una-economia-circular.php](http://static.inditex.com/annual_report_2016/nuestras-prioridades/compromiso-con-la-excelencia-de-nuestros-productos/hacia-una-economia-circular.php) [consulta:04/01/2020].

Informe de las Naciones Unidas sobre los recursos Hídricos en el Mundo (2015): “Agua para un mundo sostenible”. Disponible en: <http://biblioteca.cehum.org/bitstream/123456789/1224/1/Connor%2C%20Koncaq%2C%20BCI.%20Informe%20de%20las%20Naciones%20Unidas%20sobre%20os%20Recursos%20H%C3%ADricos%20en%20el%20Mundo%202015.pdf> [consulta 22/10/2019].

Instituto Producto-Vida: “Economía del Rendimiento”. Disponible en: <http://www.product-life.org/es/node> [consulta: 07/11/2019].

Jevons, W. (1865): *The Coal Question*. Editorial Macmillan and Co, Londres.

Junta de Andalucía (2018): “Estrategia andaluza de bioeconomía circular”. Disponible en [https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/Estrategia\\_Andaluza\\_Bioeconomia\\_Circular\\_EABC\\_18.09.2018.pdf](https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/Estrategia_Andaluza_Bioeconomia_Circular_EABC_18.09.2018.pdf) [consulta: 14/02/2020].

Junta de Extremadura: “la economía circular, tendencias y potencial para Extremadura”. Disponible en <http://extremadura2030.com/economia-circular/> [consulta: 13/02/2020].

Kirchherr, J.; Reike, D. y Hekkert, M. (2017): “Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions”. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344917302835> [consulta:03/02/2020].

Korhonen, J.; Nuur, C.; Feldmann, A. y Eshetu, S. (2017): “Circular economy as an essentially contested concept”. Disponible en <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0959652617330706?token=06D24C95EBD6D523208F837DACA2ABE88A7A228434AC67BE72C76151E69E49CFE2A55BBFD140CAE277F85D55D6733D37> [consulta:31/01/2020].

Mercadona (2019): “Mercadona culmina la sustitución total de las bolsas de plástico por otras de papel y de material reciclado”. Disponible en <https://info.mercadona.es/es/actualidad/mercadona-culmina-la-sustitucion-total-de-las-bolsas-de-plastico-por-otras-de-papel-y-de-material-reciclado/news> [consulta:15/01/2020].

Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, Gobierno de España (2017): “España circular 2030. Estrategia Española de Economía Circular”. Disponible en [https://www.miteco.gob.es/images/es/180206economicircular\\_tcm30-440922.pdf](https://www.miteco.gob.es/images/es/180206economicircular_tcm30-440922.pdf) [consulta:17/02/2020].

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico: “Economía Circular, Estrategia Española”. Disponible en: <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/economia-circular/estrategia/> [consulta: 13/02/2020].

Muncih Personal RePec Archive (MPRA) (2016): “A Circular Economy Approach for Sustainable Economic Growth”. Disponible en [https://mpra.ub.uni-muenchen.de/89587/1/MPRA\\_paper\\_89587.pdf](https://mpra.ub.uni-muenchen.de/89587/1/MPRA_paper_89587.pdf) [consulta:10/02/2020].

Naciones Unidas (2019): “Una población en crecimiento”. Disponible en: <https://www.un.org/es/sections/issues-depth/population/index.html>[consulta: 16/10/2019].

Nuñez, C.F. (2015): *Ecodiseño: Manzana de Discordia*. Editorial Alvi Books, Argentina.

Organización Mundial de la Propiedad Industrial (2009): “Cradle to Cradle- Ciclo de vida íntegramente verde”. Disponible en: [https://www.wipo.int/wipo\\_magazine/es/2009/02/article\\_0010.html](https://www.wipo.int/wipo_magazine/es/2009/02/article_0010.html) [consulta: 07/11/2019].

Pauli, G. (2010): “La economía azul”. Disponible en: <https://www.theblueeconomy.org/> [consulta: 27/11/2019].

Pauli, G. (2011): “La economía azul”. Disponible en: <http://6469da.medialib.edu.glogster.com/z26Xu5Er4Zli0CN7nXCG/media/76/763aacba82da84cb696af40e9a29c4cc3e16ff0f/art-economaa-azul.pdf> [consulta: 27/11/2019].

Periódico el Economista (2018): “Inditex pone de moda la economía circular”. Disponible en <https://www.eleconomista.es/especial-medio-ambiente/noticias/9488263/10/18/Inditex-pone-de-moda-la-economia-circular.html> [consulta:04/01/2020].

Prieto-Sandoval, V.; Jaca, C. y Ormazabal, M. (2017): “Economía circular: Relación con la evolución del concepto de sostenibilidad y estrategias para su implementación”. Disponible en [https://dadun.unav.edu/bitstream/10171/53653/1/Economia\\_Circular.pdf](https://dadun.unav.edu/bitstream/10171/53653/1/Economia_Circular.pdf) [consulta: 04/12/2019].

Publications Office of the European Union (2015): “Cerrar el círculo: la economía circular la legislación en materia de sustancias químicas, productos y residuos”. Disponible en <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/9a15c2f3-0639-11e8-b8f5-01aa75ed71a1/language-es/format-PDF/source-114554697> [consulta:05/02/2020].

Ramos, J. (2012): “Economía biofísica”. Disponible en <https://www.investigacionyciencia.es/files/7093.pdf> [consulta:01/02/2020].

Ramos, J. (2015): “La economía circular o la invención del círculo”. Periódico El Diario. Disponible en [https://www.eldiario.es/ultima-llamada/Economia\\_circular-produccion\\_sostenible-consumo\\_sostenible-crecimiento\\_economico\\_6\\_379422065.html](https://www.eldiario.es/ultima-llamada/Economia_circular-produccion_sostenible-consumo_sostenible-crecimiento_economico_6_379422065.html) [consulta: 20/01/2020].

Revista BioScience (2019): “World Scientists’ Warning of a Climate Emergency”. Disponible en: <https://academic.oup.com/bioscience/article/70/1/8/5610806> [consulta:01/11/2019].

Riechmann, R. (2005): “¿Cómo cambiar hacia sociedades sostenibles? Reflexiones sobre biomimesis y autolimitación”. Disponible en: <http://isegoria.revistas.csic.es/index.php/isegoria/article/view/459/459> [consulta:27/11/2019].

Riera, P.; García, D., Krístrom, B, Brännlund, R. (2008): *Manual de Economía Ambiental y de los Recursos naturales*. Editorial Paraninfo, Madrid.

Rojas, J. C. (2016): "Ecología industrial: una disciplina para el desarrollo sostenible en las industrias". Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/89eb/aa2d60ac2d6fee08f27c5c27dba649483afa.pdf> [consulta: 07/11/2019].

Ruiz-pastor, L.; Mulet, E.; Chulvi, V. y Royo. M (2019): "Analysis of the circularity metrics applicability in the conceptual product design stage". Universitat Jaume, Castellón. Disponible en [http://dspace.aepro.com/xmlui/bitstream/handle/123456789/2303/AT03-037\\_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://dspace.aepro.com/xmlui/bitstream/handle/123456789/2303/AT03-037_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y) [consulta: 23/01/2020].

Stiglitz, J. E.; Walsh, C.E.; López i Casanovas, G. (2009): *Microeconomía*. Editorial Ariel.

Tillman Lyle, J. (1994): *Regenerative Design for Sustainable Development*. Editorial John Wiley & Sons.

World Bank Group (2018): "What a Waste 2.0. A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050". Disponible en: <http://documentos.bancomundial.org/curated/es/697271544470229584/pdf/132827-PUB-9781464813290.pdf> [consulta: 08/01/2020].

Zapiain, M. (2010): "Crónica de una muerte anunciada. Una revisión de Los límites del crecimiento". Disponible en <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n46/n46-amzap.pdf> [consulta: 07/10/2019].

Zink, T. y Greyer, R. (2017): "Circular Economy Rebound". Loyola Marymount University, Los Angeles y University of California, Santa Barbara. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/313371834\\_Circular\\_Economy\\_Rebound](https://www.researchgate.net/publication/313371834_Circular_Economy_Rebound) [consulta:03/02/2020]