



## Trabajo Fin de Grado

# **Economía circular: tecnología digital y contexto urbano**

Autor

**Daniel Sesé Pérez**

Director

**Marcos Sanso Frago**

Facultad de Economía y Empresa

2019

**Autor del trabajo:** Daniel Sesé Pérez

**Director del trabajo:** Marcos Sanso Frago

**Título del trabajo:** Economía circular: Tecnología digital y contexto urbano

**Titulación a la que está vinculado:** Grado en Economía

## **Economía circular: Tecnología digital y contexto urbano**

### RESUMEN

En el presente trabajo se pretende aportar una visión de lo que podría ser el entorno de desarrollo económico circular en el largo plazo. En primer lugar se lleva a cabo una aproximación inicial a lo que es la economía circular. En segundo lugar la ciudad circular se postula como la economía interconectada del futuro, en la que el desarrollo tecnológico más avanzado aplicado a los diferentes sectores que la conforman produce que esta idea teórica pueda ser aplicable y óptima en términos circulares. En tercer y último lugar, dada la falta de modelos circulares aplicables que permitan llevar a cabo un desarrollo matemático completo de la ciudad circular, se realiza una aportación a la teoría económica en la cual se extiende un modelo de crecimiento schumpeteriano en entorno urbano con recurso no renovable y reciclaje del mismo como actividad circular, que constituye una versión simplificada pero que proporciona resultados positivos sosteniendo el concepto propuesto de los entornos urbanos como ideales para el desarrollo de la economía circular.

## **Circular economy: Digital technology and urban context**

### ABSTRACT

The present work is intended to provide a vision of what a circular economic the environment could be in the long term. In the first place, an initial approximation is made to what circular economy is. Second, the circular city is postulated as the interconnected economy of the future, in which the most advanced technological developments applied to the different sectors that make it up means that this theoretical idea can be applicable and optimal in circular terms. Thirdly, and in last place, given the lack of applicable circular economic theory models that allow to carry out a complete mathematical development of the circular city, a contribution is made to economic theory through a Schumpeterian growth model in urban environment with non-renewable resource and recycling as a circular activity, which is a simplified version but which provides favorable results by supporting the proposed concept of circular economy in urban contexts.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>CAPÍTULO 1. INCLUSIÓN A LA ECONOMÍA CIRCULAR .....</b>	<b>3</b>
1.1 ¿QUE ES LA ECONOMÍA CIRCULAR?.....	4
1.2 PRINCIPIOS QUE RIGEN LA ECONOMÍA CIRCULAR .....	5
1.3 CARACTERÍSTICAS FUNDAMENTALES DE LA ECONOMÍA CIRCULAR.....	7
1.4 ECONOMÍA CIRCULAR EN CIFRAS .....	9
<b>CAPÍTULO 2. SISTEMA CIRCULAR TECNOLÓGICO: LA CIUDAD CIRCULAR .....</b>	<b>12</b>
2.1 TECNOLOGÍAS IMPLICADAS.....	12
2.2 LA CIUDAD CIRCULAR.....	15
2.2.1 CONJUNTO DEL SECTOR INDUSTRIAL PRODUCTOR.....	16
2.2.2 INFRAESTRUCTURAS.....	21
2.2.3 MOVILIDAD.....	24
2.2.4 GENERACIÓN DE ENERGÍA .....	25
2.2.4 GESTIÓN DE ENVASES.....	26
2.2.5 SISTEMA DE PAGOS.....	27
2.2.6 SECTOR PÚBLICO.....	28
<b>CAPÍTULO 3. ECONOMÍA CIRCULAR Y CRECIMIENTO SCHUMPETERIANO EN ENTORNOS URBANOS CON RECURSOS NO RENOVABLES .....</b>	<b>30</b>
3.1 INTRODUCCIÓN AL MODELO.....	30
3.2 CRECIMIENTO DE LA PRODUCCIÓN DEL BIEN FINAL .....	33
3.3. ENTORNO URBANO CIRCULAR EFICIENTE .....	35
3.4 ARBITRAJE PÚBLICO.....	38
3.4.1 GESTIÓN ÓPTIMA DEL RECURSO NO RENOVABLE .....	39
3.4.2 SUBVENCIÓN A LA INNOVACIÓN CIRCULAR .....	43
<b>CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES .....</b>	<b>46</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>47</b>

# CAPÍTULO 1. INCLUSIÓN A LA ECONOMÍA CIRCULAR

El conjunto de la naturaleza constituye un macrosistema que a su vez se encuentra formado por múltiples sistemas integrados, todos funcionan eficientemente y de forma sostenible. La autorregulación propia del mundo natural hace que todas las interacciones entre los seres y el medio que conforman el sistema se puedan producir de una forma indefinida.

Solo hay un sistema en este planeta que dista de ser sostenible de forma indefinida, es el único sistema artificial que existe y es nada más y nada menos, que el sistema económico que regenta nuestros tiempos: La Economía Lineal.

El problema de la economía lineal reside en que su generación de valor se fundamenta en << extraer, producir, consumir y desechar>> y que, por lo tanto, para su mantenimiento y correcto funcionamiento a escala global son necesarias ingentes cantidades de recursos naturales, recursos que no se usan responsablemente y que no se encuentran de una forma ilimitada. La situación consecuente es que la estabilidad a la baja de los precios y por lo tanto, de los costes de estos recursos, no es una situación factible a largo plazo dada la explotación intensiva a la que están siendo sometidos.

Otro aspecto a tener en cuenta es que la estructuración monetaria del sistema económico lineal supone un factor estimulante del mismo. Desde un punto de vista monetario en la economía actual el dinero es deuda, por lo tanto, esto produce que la máquina del crecimiento tenga que acelerarse para que el sistema funcione, pero el problema de base viene marcado por el modelo económico lineal.

Claro está que en este punto no terminan los problemas, la economía lineal es una gran generadora de externalidades negativas de todo tipo, que en el plazo de las últimas décadas ha producido serios daños en el conjunto del medio ambiente, depreciando el capital natural, poniendo en riesgo muchos ecosistemas a lo largo del planeta, así como el bienestar de los propios seres humanos.

Por lo tanto, llegados a este punto parece que la solución viable es optimizar este modelo, es decir, implementar mejoras que reduzcan estas externalidades. Esto lo único

que consigue es alargar el fin del sistema lineal pero no va a reparar el problema al que nos enfrentamos.

Parece por ende, que la situación se encuentra abocada a un desastre futuro, pero nada más lejos de la realidad, existe una solución y se llama Economía Circular.

## 1.1 ¿QUE ES LA ECONOMÍA CIRCULAR?

La Economía Circular es un modelo económico que supone un cambio radical en la concepción de la filosofía económica. Su valor como modelo se comenzó a desarrollar a comienzos de la década de los años 70, a partir del concepto elaborado por Walter R. Stahel (1946-), “cradle to cradle” (de la cuna a la cuna) bajo el cual los recursos vuelven a ser recursos, en discrepancia con el concepto “cradle to grave” (de la cuna a la tumba), que simboliza el proceso que siguen los recursos en el modelo lineal actual, en el cual estos se convierten en desechos.

Esta economía desacopla el crecimiento económico del uso de recursos naturales, este crecimiento, se espera desde su fundamento teórico que venga acompañado a su vez, por la generación de empleo, así como por la correcta gestión medioambiental, preservando y potenciando de esta forma el capital natural, además es una economía baja en emisiones, es decir, baja en carbono ya que las energías renovables conforman la fuente de energía primordial. Por diseño es una economía regenerativa y restaurativa, sustituyendo de esta forma el concepto de “fin de vida” de los recursos en el actual modelo lineal, eliminando la generación de residuos. Otro aspecto base que se pretende alcanzar por definición es que el valor y la utilidad de los materiales, componentes y productos se mantenga en el mayor nivel posible el mayor tiempo posible, seccionándose los mismos entre ciclos técnicos y ciclos biológicos.

En definitiva, en la situación actual la optimización e innovación en factores tales como el diseño de materiales, componentes y productos, nuevas tecnologías aplicadas, modelos de negocio, formas de crear valor, de la dualidad consumo/producción que rige la economía actual, de la interacción entre los distintos sistemas, entre otras, pueden suponer el nexo propulsor para el desarrollo de la circularidad.

Cabe mencionar que el desarrollo de esta economía ya se está llevando a cabo en la actualidad, la Fundación Ellen MacArthur es la institución referencia a escala global como impulsora originaria del modelo circular, junto a ella a lo largo de los años se han ido incorporando un gran número de empresas que apuestan por esta nueva visión de futuro. Actualmente existen un elevado número de plataformas en la red, compañías e instituciones que se han sumado y aportado su visión a lo que ya se considera la opción para poder llevar a cabo una economía sostenible a largo plazo.

Es destacable, por su importancia cuantitativa como gran institución interestatal, el apoyo que le ha dado la Unión Europea al desarrollo de la Economía circular a través de la Comisión Europea, financiándolo con los fondos asignados del programa Horizonte 2020.

Por último, se adjunta lo que para la Fundación Ellen MacArthur supone el concepto de Economía Circular:

*Por definición, la economía circular es reparadora y regenerativa, y pretende conseguir que los productos, componentes y recursos en general mantengan su utilidad y valor en todo momento. Este concepto distingue entre ciclos técnicos y biológicos.*

*Tal como la imaginan sus creadores, la economía consiste en un ciclo continuo de desarrollo positivo que conserva y mejora el capital natural, optimiza el uso de los recursos y minimiza los riesgos del sistema al gestionar una cantidad finita de existencias y unos flujos renovables. Además, funciona de forma eficaz en todo tipo de escala.*

## **1.2 PRINCIPIOS QUE RIGEN LA ECONOMÍA CIRCULAR**

Los tres principios que rigen el modelo económico circular vienen definidos por la Fundación Ellen MacArthur y son los siguientes:

**Principio 1:” Preservar y mejorar el capital natural controlando reservas finitas y equilibrando los flujos de recursos renovables.”**

Este principio deja ver cómo va a ser la estructura dinámica del modelo con respecto a la naturaleza. La desmaterialización de la utilidad se fija como un factor clave cuando esta se pueda llevar a cabo. Los recursos necesarios se tienen que seleccionar de la manera más eficiente, utilizando los medios necesarios. Además, el sistema circular establece un flujo inverso de recursos/nutrientes hacia el sistema natural con el objetivo de que su capital no solo se vea preservado sino además incrementado, como marca el principio.

**Principio 2:” Optimizar los rendimientos de los recursos distribuyendo productos, componentes y materias con su utilidad máxima en todo momento tanto en ciclos técnicos como biológicos.”**

Este segundo principio explica la estructura óptima sobre la cual se va a desarrollar el flujo cíclico de los materiales dentro del sistema. Como bien se especifica en la definición, es necesario distinguir entre ciclos técnicos y entre ciclos biológicos.

Por una parte, los ciclos técnicos son aquellos donde se integran los recursos no renovables convertidos debidamente en bienes con mayor o menor tecnificación. Es necesario un diseño óptimo para que estos bienes se integren en flujos cíclicos donde no se produzcan pérdidas de recursos y donde además, el valor y la utilidad se encuentren en el máximo nivel posible, es decir, en aquellos bucles internos donde el nivel de trabajo y energía para ese bien se mantenga a un nivel mayor y que por lo tanto, sea más eficiente. Evidentemente esa eficiencia se conseguirá a su vez con una mayor utilización del bien, lo que conlleva que inevitablemente nos movamos hacia la denominada “performance economy”, por lo tanto, en este ciclo técnico el uso sustituye al consumo.

Por otra parte, los ciclos biológicos son aquellos donde se integran los recursos renovables, es decir aquellos que una vez extraídos se vuelven a integrar en la biosfera donde una vez allí, se regeneran de nuevo. En este ciclo se prioriza el uso en cascadas de valor descendiente para los distintos recursos con el objetivo de perfeccionar su utilización. Existen varias técnicas como la extracción bioquímica, la digestión anaeróbica o la compostación que permiten optimizar el valor añadido en este ciclo. Además, cualquier material biodegradable es integrable.

Es necesario mencionar, que para que el sistema de flujos circulares funcione de la forma en la que está concebido no se pueden traspasar los recursos entre ambos ciclos, dado que esto puede provocar que no sean procesados de una forma óptima y que por lo tanto se produzcan pérdidas.

**Principio 3: “Promover la eficacia de los sistemas, detectando y eliminando del diseño los factores externos negativos.”**

El tercer y último principio aboga por el perfeccionamiento final del sistema, es decir, que forme un sistema integrado y que por lo tanto no produzca ninguna externalidad negativa tales como la contaminación atmosférica, de agua potable, contaminación y pérdida de fertilidad de los suelos, cambio climático entre otras.

Este conjunto de principios se visualiza de forma conjunta mediante el “diagrama sistémico” proporcionado por la misma Fundación Ellen MacArthur, al cual representa la figura 1.1, esta se expone a continuación.

### **1.3 CARACTERÍSTICAS FUNDAMENTALES DE LA ECONOMÍA CIRCULAR**

Si bien los principios mencionados en el apartado anterior se establecen como las tres leyes básicas que sostienen al modelo, la puesta en práctica de una economía circular óptima se lleva a cabo a través de las ulteriores características, las cuales vienen establecidas por la institución referencia, la Fundación Ellen MacArthur, estas son las siguientes:

**El diseño es carente de residuos.** Como viene siendo la estrategia más lógica, la mejor forma de evitar unos residuos indeseados es que estos no estén presentes a la hora de diseñar el determinado bien. Es necesario establecer la diferencia entre los dos ciclos, en el ciclo biológico sus respectivos materiales (si no se encuentran alterados por ningún tipo de contaminante) se reintroducirán fácilmente al suelo. Por otro lado, en el ciclo técnico el conjunto de materiales se mantendrá en el sistema mediante los distintos procesos cíclicos de generación de valor, a ciclo más cerrado mayor valor implícito (tanto económico como energético).

Figura 1.1 Diagrama sistémico de los principios que rigen la economía circular

GUIA DE LA ECONOMIA CIRCULAR

PRINCIPIO

1

Preservar y mejorar el capital natural, controlando los stocks y equilibrando los flujos de recursos renovables  
 Palancas : Regenerar, desmaterializar, compartir



Regenerar    Substituir materiales    Desmaterializar    Restauración

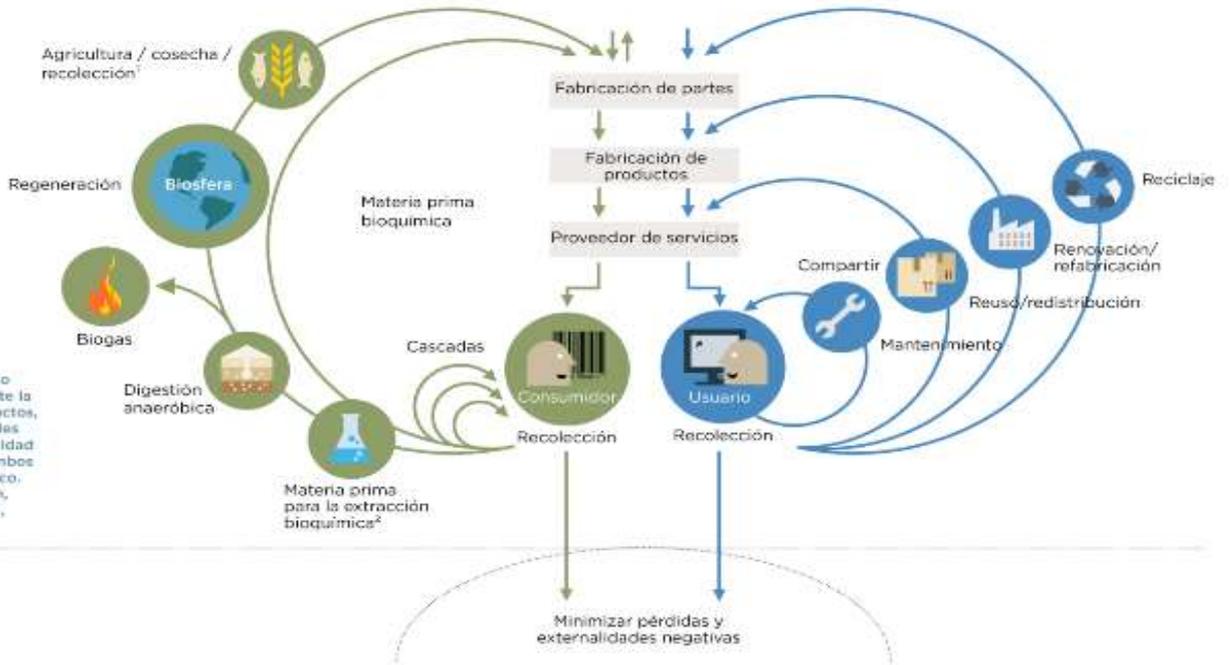
Gestión del flujo de renovables

Gestión del stock

PRINCIPIO

2

Optimizar el rendimiento de los recursos, mediante la circulación de los productos, componentes y materiales en uso, a su máxima utilidad en todo momento en ambos ciclos, técnico y biológico.  
 Palancas : Regeneración, compartir, optimización, circularidad



PRINCIPIO

3

Fomentar la eficiencia del sistema mediante la revelación y el descarte de las externalidades negativas.

Minimizar pérdidas y externalidades negativas

Fuente: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/es/economia-circular/principios>

**Diversidad como clave para generar solidez al sistema.** No es una facultad desconocida, la naturaleza es el mejor ejemplo disponible mediante la biodiversidad que la constituye a través de múltiples sistemas integrados entre sí, como forma de sobrevivir al conjunto de alteraciones que se producen sobre ella. Esta filosofía debe ser implantada en el conjunto del sistema circular, como medio para aumentar la resiliencia del mismo a largo plazo. La uniformidad unida a la ambición desmedida de mejorar el rendimiento económico puede llevar a la inconsistencia del sistema circular.

**Futuro marcado por las energías renovables.** Los sistemas que integran la economía circular deberían funcionar principalmente mediante el uso de energías renovables, esta

idea es factible en su fundamento puesto que el sistema de ciclos técnico y biológico se establece como bajo en consumo energético. El uso de energías no renovables debería quedarse fuera del sistema dado que genera un sinnúmero de externalidades negativas tanto en el uso de recursos como en el conjunto de agentes contaminantes que producen.

**Pensar en sistemas.** Como se mencionó al principio del presente documento, la naturaleza constituye un macrosistema no lineal formado por múltiples sistemas integrados que interactúan entre sí. Este pensamiento se puede aplicar siguiendo la misma lógica al sistema circular, en esta economía agentes tan diversos como empresas, individuos o el entorno vegetal, forman parte de sistemas con múltiples relaciones, lo cual tiene consecuencias que no se encuentran estudiadas en la actual economía lineal. Con el objetivo de una transición óptima hacia una economía circular, esto debe tenerse en consideración.

**Pensar en cascadas.** Dentro del ciclo biológico, el valor se optimiza mediante la cascada de diferentes aplicaciones de valor descendente que se le puede dar a un determinado material o producto, en la última fase que constituye su reincorporación a la biosfera, se extrae un determinado valor energético y nutritivo que es absorbido y utilizado por el sistema. Por su parte, dentro del ciclo técnico el uso en cascada también implica distintos procesos con valor implícito y utilidad descendentes, cumpliendo con el objetivo final, no perder los respectivos recursos.

## 1.4 ECONOMÍA CIRCULAR EN CIFRAS

Una vez llevado a cabo el conjunto del desarrollo teórico, es conveniente contrastarlo con cifras económicas que permitan dar a conocer la magnitud de mejora que esta economía puede implementar. Para ello, es necesario hacer mención al informe “*Hacia una economía circular: motivos económicos para una transición acelerada*” publicado por la Fundación Ellen MacArthur en diciembre de 2015, en donde se exponen diversos resultados importantes. Es necesario puntualizar que el conjunto de datos proporcionados por el informe, hacen referencia a el contexto europeo, esto no conlleva que no sean extrapolables con los ajustes correspondientes al resto de regiones del planeta.

Por un lado, valoraremos el PIB, como indicador macroeconómico que especifica el crecimiento económico, sobre el cual se menciona lo siguiente: “En una senda de desarrollo económico circular, el PIB europeo podría crecer hasta un 11 % para 2030 y un 27 % para 2050, comparado con los porcentajes del 4 % y el 15 % del escenario de desarrollo actual” (p.12). Por consiguiente, esta transición lleva consigo unos incrementos teóricos notables en este valor, lo que económicamente es altamente positivo. Existen un conjunto de factores que pueden explicar cifras anteriores, el cambio de modelo implica que se desarrollen nuevas actividades circulares, que unido al proceso de innovación que estas traen consigo, producen un incremento de valor. Además, la reestructuración productiva conlleva una gran reducción de costes debido a la reutilización continua de los distintos materiales, componentes y productos, lo cual es beneficioso para la industria, además disminuye el nivel de precios de la economía. Todo esto produce un incremento en la renta familiar, lo que eleva el consumo y el ahorro, que a su vez retroalimenta el modelo.

Figura 1.2 Variación cualitativa del empleo mediante la transición circular.



Fuente: [https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/Executive\\_summary\\_SP.pdf](https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/Executive_summary_SP.pdf)

Por otro lado, otro indicador macroeconómico clave para el desarrollo económico es el nivel de empleo, tras un minucioso análisis, en el informe presente analizado, la Fundación Ellen MacArthur (2015) dictamina que “los estudios actuales señalan los efectos positivos en el empleo en caso de que se adoptase la economía circular” (p.12).

Es decir, va a existir teóricamente una disminución del nivel de desempleo estructural europeo. Lo que es inequívoco es que va a ser un crecimiento guiado por una reconversión de las fuentes generadoras de empleo, en detrimento de otras tradicionales de la economía lineal. La figura 1.2 lo expone.

Tal y como se observa, existen factores de mejora circulares tales como el “efecto innovación ecológica”, el derivado del sector de residuos (donde se incluye el reciclaje, los mercados secundarios de materias primas, así como el sistema de logística inversa necesario), así como la reestructuración productiva que produce mejoras derivadas de la refabricación y reparación que van ligadas al ciclo técnico. Un dato reseñable por su magnitud, es que, como ya se ha mencionado anteriormente, el menor nivel de precios induce un mayor nivel de consumo y por lo tanto un mayor nivel de empleo. Como efectos negativos, el más importante es la pérdida de empleo en sectores de fabricación de nuevos productos, en relación al sector de materias primas, este no se verá tan afectado debido a que parte de la pérdida de empleo se produce fuera de la UE, como consecuencia del papel importador europeo.

## **CAPÍTULO 2. SISTEMA CIRCULAR TECNOLÓGICO: LA CIUDAD CIRCULAR**

Una vez presentadas las virtudes del modelo económico circular, es necesario hacerse la siguiente pregunta: ¿Cuándo va a ser implantada la economía circular a escala global?, la respuesta dista de ser exacta, lo que es inequívoco es que si llega ese momento, será a largo plazo. Pero mantener una visión a largo plazo permite ir aplicando los sucesivos avances que hacen el objetivo posible, por consiguiente, es necesario visualizar la forma aproximada que podría tener el modelo económico circular en ese espacio temporal y entender, a su vez, que serie de factores lo habilitan. De este modo, la visión en este capítulo se extiende hacia la ciudad circular del futuro, como centros económicos de la economía actual, las ciudades son su reflejo a escala.

En este punto, implementado la visión circular a través de la lente que supone la naturaleza, se observa lo ya aludido anteriormente, la interconexión existente en los sistemas naturales. El conjunto de sistemas (entre ellos y en sí mismos) se comunican constantemente, permitiendo que todo funcione eficientemente. De esta forma, el razonamiento es claro, para que un sistema circular se desarrolle en su plenitud es imprescindible esa interconexión, y esa interconexión viene dada por los últimos avances tecnológicos, es decir, por el conjunto de tecnologías mediante las cuales se posibilita interconectar los mundos biológico, técnico y digital. Por lo tanto, la tecnología digital se posiciona como un impulsor debido a que en la actualidad es uno de los sectores con más repercusión a nivel global, así como un habilitador fundamental para el modelo circular a largo plazo, es decir, para la ciudad circular.

### **2.1 TECNOLOGÍAS IMPLICADAS**

A modo introductorio, es indispensable definir sin entrar en demasiado rigor, las tecnologías esenciales implicadas en esta visión circular a largo plazo. Estas son las siguientes:

**Internet de las cosas (IoT).** De forma simplificada, *“Por IoT, así pues, se entiende una colección de objetos ilimitados permanentemente conectados en un escenario digital que aspira a que todo sea inteligente mediante la gestión de grandes cantidades de información”*. Azahara (2017, párrafo 12).

Por lo tanto, nos encontramos ante una red de objetos o dispositivos físicos que se encuentran conectados a internet, este conjunto de objetos sobre el papel es ilimitado e involucra a activos de distinta complejidad técnica. Esta tecnología abre una serie de oportunidades muy interesantes desde la perspectiva circular, más adelante se analizarán.

**Activos inteligentes.** *“Objetos físicos que son capaces de detectar, registrar y comunicar información sobre sí mismos y/o sus alrededores. Esta definición incorpora objetos de IoT, pero también incluye activos que no transmiten información continuamente y cosas que no cuentan con comunicación inalámbrica”*. Fundación Ellen MacArthur (2016, p.8). A través de la anterior definición, se observa que el conjunto de activos inteligentes incluye a aquellos que interaccionan por sí mismos y que por lo tanto forman la parte física del IoT, y luego aquellos que tienen la capacidad de gestionar la información, pero no mediante la conexión a internet.

**Big Data.** Como su propio nombre indica, el Big Data hace referencia al gran volumen de datos que tanto de forma ordenada como no, se produce en el conjunto de la red. El factor clave de esta tecnología no es la cantidad de datos generada, sino la gestión óptima que se haga con los mismos utilizando las correspondientes herramientas de procesamiento y toma de decisiones.

**Computación en la nube.** Cibernetat lo define de la siguiente forma:

*La computación en la nube, conocida también como informática en la nube, del inglés Cloud computing, es un modelo o paradigma para la utilización de los recursos informáticos, que está completamente basado en Internet. Dichos recursos, que normalmente son aplicaciones software, pero que también pueden ser almacenamiento de archivos, bases de datos, correo electrónico, etc., residen en servidores remotos, de modo que el usuario puede acceder a ellos desde cualquier lugar del mundo, siempre que cuente con un navegador y una conexión a Internet.* (párrafo 1)

Tal y como se observa en la definición, esta tecnología supone una gran ventaja en modelos de servitización informática tanto a nivel individuo como a nivel empresa.

**Ciberseguridad.** Según Economíasimple, “*la ciberseguridad o seguridad en internet hace referencia al conjunto de técnicas o procedimientos que velan por la seguridad de los usuarios que comparten información entre sistemas computables*” (párrafo 2), por este motivo, en un espacio económico interconectado se presenta como una tecnología elemental para su correcto funcionamiento.

**Inteligencia artificial.** A grandes rasgos, este desarrollo tecnológico posibilita que las máquinas tengan la habilidad de tomar ciertas decisiones por sí mismas y que al mismo tiempo puedan aprender de los errores cometidos y solucionarlos más eficientemente. Este tipo de inteligencia, se puede aplicar en múltiples situaciones.

**Nanotecnología.** Desde la perspectiva que nos alcanza, lo que supone es implementar desarrollos tecnológicos a escalas de medida extremadamente pequeñas. Esto implica que la inclusión de la tecnología puede ser llevada a cabo de una forma más generalizada y más efectiva.

**Blockchain.** Acorde a Javier Pastor (2017):

*¿Qué es entonces la cadena de bloques? Pues un gigantesco libro de cuentas en los que los registros (los bloques) están enlazados y cifrados para proteger la seguridad y privacidad de las transacciones. Es, en otras palabras, una base de datos distribuida y segura (gracias al cifrado) que se puede aplicar a todo tipo de transacciones que no tienen por qué ser necesariamente económicas.* (párrafo 8)

Con esta tecnología, nos encontramos ante un disruptor de la economía financiera actual, modifica el mecanismo tradicional por el cual se ejecutan las transacciones.

**Técnicas de impresión 3D.** Es una técnica de fabricación llevada a cabo mediante impresoras 3D, en el cual a partir de un modelo informatizado se consigue producir con exactitud un determinado bien, este a su vez puede estar compuesto por un número determinado de piezas imprimidas con esta tecnología. Tiene diversas ventajas, mayor precisión, un consumo optimizado de materiales y tiempo, consiguiendo de esta forma un abaratamiento en el proceso.

## 2.2 LA CIUDAD CIRCULAR

Una vez conocidos los fundamentos del conjunto de tecnologías que nos atañen, es momento de ver su integración en el modelo de ciudad circular que es objeto de análisis en este capítulo. Es necesario realizar un matiz, como ciudad circular se entiende a todo el conjunto de sectores que forman parte de ese microentorno económico, de esta forma, constituye un nodo dentro de la inmensa red de nodos que conforma el macroentorno económico global. Esta visión estructural, se justifica a través de un punto de vista ligado a la descentralización del modelo circular, debido a que desde mi punto de vista, una implantación madura de este modelo trae como resultado focos económicos independientes y autosuficientes en su mayor parte, al mismo tiempo que interconectados digitalmente.

Otro factor de peso importante para el desarrollo de esta idea, es que las ciudades, bajo el actual sistema lineal constituyen centros económicos y de innovación, así que por lo tanto son el punto central de desarrollo, las cifras aportadas por Fundación Ellen MacArthur (2017), son las siguientes:

*El 54% de la población mundial vive en áreas urbanas, y las ciudades representan el 85% de la generación del PIB mundial. Las ciudades también son agregadores de materiales y nutrientes, y representan el 75% del consumo de recursos naturales, el 50% de la producción mundial de desechos y 60-80% de las emisiones de gases de efecto invernadero (p.4)*

Por lo tanto, el peso de esta transformación recae sobre ellas, además, otro aspecto importante es que la dinámica estimada es creciente, “*En las próximas décadas, las ciudades serán cada vez más importantes ya que se esperan tasas de urbanización aún mayores*” Fundación Ellen MacArthur (2017, p.4).

Llegados a este punto, se pretende analizar el conjunto de partes implicadas en esta transformación circular, de modo esquemático estas son las siguientes:

- Conjunto del sistema industrial productor
- Infraestructuras
- Movilidad
- Generación de energía

- Gestión de envases
- Sistema de pagos
- Sector público

### 2.2.1 CONJUNTO DEL SECTOR INDUSTRIAL PRODUCTOR

El sector industrial constituye el foco principal de generación de riqueza e innovación, con la visión que se plantea en el presente escrito, a largo plazo nos encontraremos ante centros industriales concentrados alrededor del núcleo urbano. Para que esta situación sea factible es necesario que la última tecnología aplicada a la industria se conjugue con los principios circulares.

Actualmente, las nuevas tecnologías de la era digital, están modificando este sector mediante la llamada cuarta revolución industrial o industria 4.0, los avances son numerosos y favorables, informatización digital, robotización y optimización de procesos, con las consecuentes mejoras de productividad, entre otros. Por otra parte, el optimismo se frena debido a que aparecen determinados interrogantes, en esta dirección Jose Luis Llorente (2018) señala que:

*La Industria 4.0 promete un incremento enorme de la productividad, que en un marco de crecimiento potencial ilimitado, supondría un aumento de la riqueza, la cual, eventualmente bien repartida, provocaría una importante mejora de la sociedad en su conjunto.*

*Pero dicho crecimiento ilimitado no es realista. Hoy en día sabemos que los recursos son limitados, algunos de ellos están al borde de su desaparición y el incremento de la producción tiene unas importantes externalidades que no se han tenido en cuenta hasta hace muy poco. (párrafos 12-13)*

Se da una clara evidencia, todas las virtudes propias del desarrollo tecnológico industrial, se frenan cuando se le aplica una perspectiva con mayor sentido común, dictada por la visión de que el actual sistema lineal transformado en uno más eficiente y más productivo no aporta sostenibilidad a largo plazo, además de que en su proceso de desarrollo genera una serie de externalidades que afectan al mismo. Por lo tanto, es necesario separar la tecnología y la producción lineal y entender, que todos aquellos

objetivos de crecimiento y bienestar que este sector es capaz de proporcionar, se tienen que alcanzar evolucionando hacia una perspectiva circular.

### **2.2.1.1 PRODUCCIÓN CIRCULAR Y TECNOLOGÍA DIGITAL**

La estructura circular del ciclo técnico derivada del esquema presentado en el capítulo 1, nos muestra que es imprescindible optimizar el cierre de círculos al mismo tiempo que potenciar el uso de los distintos bienes, de tal forma que el valor y la utilidad de estos se mantengan en su máximo nivel el mayor tiempo posible. En esta línea, se presentan los denominados “impulsores de valor” tradicionales del modelo circular, hablamos de extender el uso de un determinado activo, incrementar la utilización de ese activo, así como generar ciclos adicionales de uso (uso en cascada) evitando la pérdida de recursos, (Fundación Ellen MacArthur, 2016). Ese es el esquema a seguir para la gestión empresarial desde la circularidad.

En este punto, es cuando es necesario hablar del internet de las cosas (IoT) y los activos inteligentes, ambos definidos anteriormente, debido a que su correcta inclusión en los modelos industriales supone un engranaje fundamental de la maquinaria productora circular. Con estas tecnologías se pretende dar vida al activo, permitir que este se comunique a través de una serie de parámetros acerca de su estado, su localización, así como su disposición, por lo tanto, estos forman otra serie de “impulsores de valor” (Fundación Ellen MacArthur, 2016) que permiten potenciar a los anteriores. De esta forma, cada uno de estos “impulsores de valor tecnológicos” produce una serie de mejoras:

**Parámetros acerca del estado.** La inclusión de los elementos tecnológicos necesarios, permite realizar una radiografía al determinado bien (puede ser a tiempo real o no dependiendo de la complejidad del mismo), de la forma en que la empresa es conocedora de su estructura, su composición en materiales y su condición, así de este modo, se consigue que esta pueda establecer una ruta de optimización y actualización, al igual que se puede pretender darle otro uso avanzando hacia círculos de valor más abiertos. Además, otro factor importante es que la empresa puede establecer una ruta de

reparación del bien a tiempo real, basándose en la información recibida, al mismo tiempo que el mantenimiento programado tradicional.

**Parámetros acerca de la localización.** El conocimiento de esta información, le permite a la empresa gestionar de una forma más eficiente las acciones programadas y no programadas sobre ese determinado bien. A su vez, un activo inteligente representa un valor para la empresa, y como tal es conveniente tenerlo controlado.

**Parámetros acerca de la disposición.** Esta serie de datos proporciona ventajas a la hora de optimizar la frecuencia de uso del bien, es decir, la empresa los gestionará de la forma en que maximice su utilidad económica derivada de esta, por lo tanto, se fomentará el mayor uso posible.

Por consiguiente, nos encontramos ante una situación en la que gracias a la introducción tanto de los activos inteligentes como de la red que gestiona su información (IoT), la empresa productora de bienes tradicional mantiene la propiedad del activo, debido a que este representa un valor para ella y de esta forma, desmaterializa la utilidad, transformándose en una empresa de servicios. Esta desmaterialización supone que ya no existe el riesgo derivado de la volatilidad del precio de las materias primas, lo cual entraña riesgos y costes adicionales, algo que es muy positivo. También es de destacar, que el consumo de recursos y de energía se reduce al máximo, con lo cual la empresa se encuentra más integrada en el entorno.

Otro aspecto a mencionar, es que es que en los distintos procesos de tratamiento del activo que se producen en la empresa, tales como la actualización, reparación, reconversión o gestión, se pueden introducir otras tecnologías que los optimicen, tales como la inteligencia artificial y como la impresión 3D. La inteligencia artificial permite analizar el conjunto de información perteneciente a la empresa y dar soluciones para operar más eficientemente, este incremento de eficiencia se ve reforzado a su vez por las técnicas de impresión 3D, ya que permiten disminuir el consumo de materiales así como llevar a cabo diseños complejos.

La interacción con el cliente se lleva a cabo mediante la plataforma digital correspondiente, en la cual la comunicación trata de ser lo más efectiva posible para que

el cliente se encuentre satisfecho con el servicio proporcionado por la empresa y de esta forma el valor que este tiene se incrementa, beneficiando a la empresa.

Es necesario destacar, que este modelo productor engloba a una industria muy diversa, con productos de múltiples características, por consiguiente, solo aquellas empresas que posean bienes de alto valor y alta tecnificación desarrollarán estructuras IoT en su plenitud, por el motivo de que son aquellos los que permiten establecer una comunicación continua con la red correspondiente. De todas maneras, lo que se posiciona como imprescindible para la industria es que todos los bienes se conviertan en activos, por lo tanto, dentro de este ciclo técnico lo primordial sería otorgarle una ID a cada uno, con el objetivo de optimizar el uso, así como minimizar al máximo las pérdidas de recursos. En esta dirección, a mi parecer, puede entrar en juego la nanotecnología, que, gracias a la reducción a escalas ínfimas de procesos tecnológicos complejos, puede habilitar que una infinidad de bienes se convierta en activos y, por lo tanto, aumentar la eficiencia circular del heterogéneo número de industrias.

### **2.2.1.2 ECOSISTEMAS INDUSTRIALES DIGITALES**

Una vez conocida la estructura de una empresa con la inclusión tecnológica presentada anteriormente y presentada la idea de que la industria se desarrollará en centros industriales integrados alrededor del núcleo urbano, es conveniente ver a grandes rasgos, como prosperaran estos en el futuro.

Partimos como base de la idea de los ecosistemas industriales, que son fruto de la ecología industrial, que *“es un campo de la ingeniería que busca, entre otras cosas, lograr sociedades sostenibles, al considerar el sistema industrial como una especie de ecosistema, parte de la biosfera que lo rodea”* Santiago Mejía Dugant (2010, párrafo 4). Por este motivo, un ecosistema industrial se fundamenta en la idea de que se pueda constituir un flujo de desechos y subproductos de una empresa a otra, utilizándose estos como materia prima, así de esta forma se reduce la carga sobre el conjunto del medio ambiente. Además, existen incentivos económicos, las empresas pueden beneficiarse en los costos de producción, de transporte, de energía, de infraestructuras entre otros, es decir el número de sinergias generado es numeroso (Santiago Mejía Dugant, 2010). Es

un avance importante en relación a la optimización de procesos industriales de una misma localización para generar el menor impacto posible.

Ahora es momento de explicar como la inclusión de la tecnología puede hacer evolucionar a este sistema. En el subapartado anterior, se ha presentado la estructura productiva de servicios de una empresa mediante el desarrollo de la red IoT y los activos inteligentes, en esta red se generan grandes cantidades de información que correctamente empleada y gestionada mediante capacidades BigData (uso optimizado de grandes cantidades de datos), puede ser muy útil para para la evolución innovativa de la empresa. Partiendo desde esta perspectiva, en el modelo de ecosistema industrial se pueden presentar “sinergias digitales”, para ello otras tecnologías aparecen en escena.

En primer lugar, hay que hablar de la computación en la nube, la creación de servidores conjuntos de bases de datos (activos y clientes) y de procesos (habrá algunas que se mantengan confidenciales) que tengan herramientas BigData, permite llevar a cabo un mecanismo de innovación conjunta debido a que cada empresa del “ecosistema digital” puede aportar una visión diferente al proceso innovativo derivada de su experiencia en la gestión de su red IoT. Esto es positivo, porque el crecimiento económico producto de estos complejos industriales tiene que ir unido a la desmaterialización, y por lo tanto, la innovación tecnológica en todas las variantes de la industria se desmarca como factor fundamental de este crecimiento. Otro aspecto a destacar de esta tecnología, es que a través de la creación de empresas que proporcionen servicios en la nube, ya que en estas, *“la tecnología de la información se convierte en un servicio, que se consume de la misma manera que consumimos la electricidad o el agua”* Cibernat (párrafo 5), se puede capacitar que una nueva serie de emprendedores aparezcan en escena, debido a que pueden comenzar a gestionar su empresa sin la necesidad de incurrir en un gran costo derivado de la instalación de la estructura informática correspondiente, lo cual es una gran ventaja y supone otro aliciente para la innovación conjunta. Además esto es fruto de creación de empleo, lo cual beneficia tanto a la economía como a la sociedad.

En segundo y último lugar, se tiene que establecer una estructura digital segura de intercambio de información, para ello es necesario que se implemente un modelo que utilice la ciberseguridad para proteger a las empresas de posibles ataques informáticos

que puedan ponerlas en riesgo. La innovación y el crecimiento es más factible en este escenario dado que las empresas se encuentran más predispuestas a interconectarse.

Para finalizar este subapartado, se va a hacer mención a la logística inversa, la cual es la gestión del transporte de los diversos activos de la empresa en el modelo circular planteado, como evolución al sistema de transporte compartido en los ecosistemas industriales. La logística inversa se posibilita gracias al desarrollo de la tecnología, por lo tanto, esta última produce que indirectamente se incremente la productividad de los recursos y de los activos así como que se establezcan optimizaciones de rutas a tiempo real (Fundación Ellen MacArthur, 2016). En un marco de gestión empresarial integrada, se puede utilizar la información de las rutas que cada empresa ha puesto a disposición en la nube para compatibilizarlas entre sí, y de esta forma optimizar al máximo el tiempo y el coste global de las operaciones.

### **2.2.2 INFRAESTRUCTURAS**

Uno de los pilares básicos de la ciudad circular es el conjunto de infraestructuras que la componen, es necesario que a largo plazo, implementando esta visión temporal, se desarrolle un entorno optimizado. Partimos de la base de que en lo que a recursos se refiere, el entorno construido es la mayor reserva de materiales de las ciudades, pero en la actualidad estos no se encuentran inmersos dentro de ningún ciclo de materiales acorde a una perspectiva circular, es decir son recursos de un solo uso.

El enfoque es claro, una infraestructura debe constituir un sistema integrado que carezca de ninguna externalidad negativa, además en esta se debe incrementar la productividad de sus recursos, mediante la desmaterialización en la medida de lo posible, así como incrementándose el uso de la misma (hay que matizar, que en la actualidad, plataformas digitales como Airbnb, están potenciando enormemente esta variable). En este punto, se seccionará este apartado entre las construcciones destinadas a vivienda o uso como oficina y entre las infraestructuras resultantes de las obras de la ingeniería civil, es decir, las destinadas para dar servicios en la ciudad (carreteras, puentes, líneas de ferrocarril etc.).

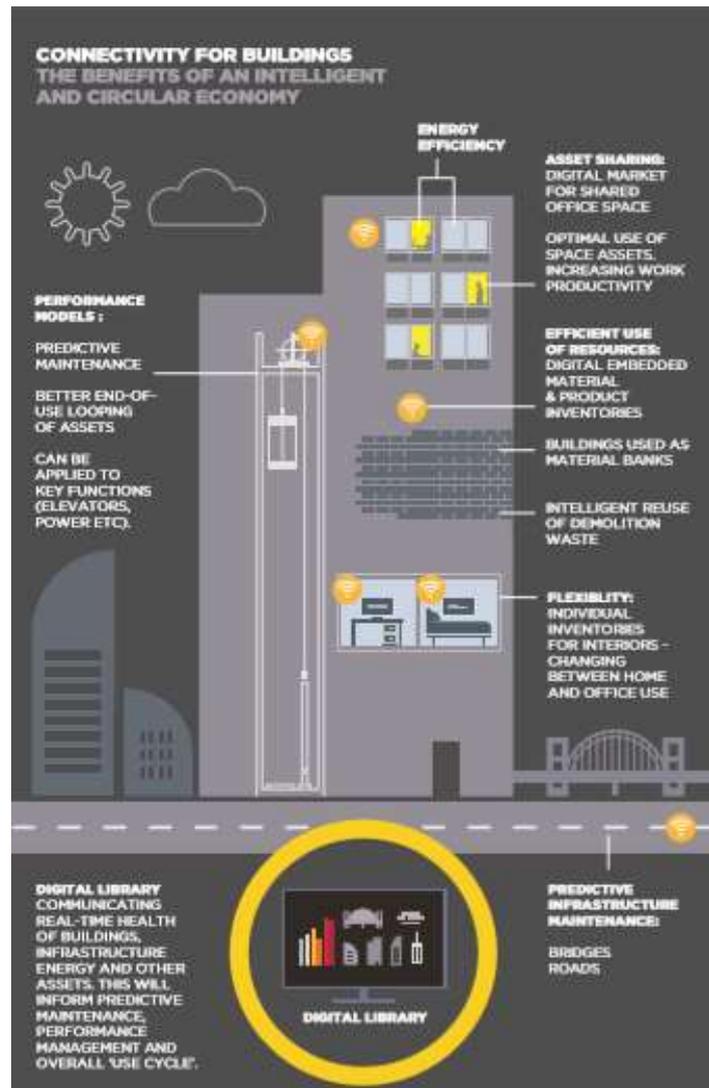
Por una parte, en las primeras, es evidente que es necesaria una reestructuración en el proceso de construcción, en esta dinámica es beneficioso utilizar los principios de la ecoconstrucción, donde la edificación se adapta al entorno, minimizando el impacto energético y utilizando materiales no contaminantes, unidos a los últimos avances de diseño modular, gracias al cual se incrementa la facilidad de montaje y desmontaje de la misma, así como una mayor adaptabilidad en el uso. Una idea que es muy interesante es que se tiene que un edificio tiene que verse como un sistema generador y no como uno consumidor, acorde a esta tendencia Fundación Ellen MacArthur (2017) afirma que *“los edificios se utilizarán donde sea posible para generar, en lugar de consumir, energía y alimentos, facilitando ciclos cerrados de agua, nutrientes, materiales y energía, para imitar los ciclos naturales”* (p.7), es interesante ver como un edificio puede generar su propio ciclo biológico, abasteciendo a los habitantes de sus necesidades básicas, y de este modo, tratando de autosostenerse en el mayor porcentaje posible, no dependiendo de esta forma de agentes externos y evitando las externalidades. En línea con la predisposición circular al incremento de la usabilidad, la concepción actual de la propiedad individual debe ser transformada hacia la visión de la vivienda como un servicio. Todo esto unido puede crear una dinámica circular óptima.

Establecidos los fundamentos, es momento de mencionar otra vez al desarrollo tecnológico, y en este caso, cabe hablar de nuevo de gestión de activos inteligentes mediante redes IoT, es lógico dado que, para que los edificios constituyan un activo real, es necesario que se encuentren conectados y que de esta forma, transmitan una serie de información acerca del estado y de la disposición, al mismo tiempo que simultáneamente, sea posible gestionar diversas funciones a distancia.

La construcción modular mencionada anteriormente, unida al conocimiento del estado de los materiales que lo componen, puede permitir llevar a cabo mantenimientos predictivos y mejoras (al igual que en los activos industriales), a la vez que un eficaz desmantelamiento recuperando de esta forma unos recursos que no pierden el valor. Otro aspecto importante es la información de los parámetros energéticos de las diferentes zonas del edificio, que a su vez pueden ser gestionados a distancia y a tiempo real para controlar el consumo. También la optimización del nivel de uso es un factor determinante, este puede ser monitorizado mejorando el grado de usabilidad del edificio (Fundación Ellen MacArthur, 2016), también este nivel de uso, como se ha hecho

referencia previamente, se puede optimizar mediante las plataformas digitales de contratación de servicios de alquiler actuales. Por lo tanto, en el largo plazo hablaremos de edificios inteligentes, cabe puntualizar, enlazando con lo expuesto en el apartado anterior, que los activos inteligentes proporcionados por el sector industrial, lógicamente también forman parte de estos edificios inteligentes mediante contratos de servicio. La figura 2.1 puede aportar una concepción visual de lo anterior.

Figura 2.1 Constitución de un edificio inteligente



[https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/ElleMacArthurFoundation\\_Intelligent\\_Asets\\_080216-AUDIO-E.pdf](https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/ElleMacArthurFoundation_Intelligent_Asets_080216-AUDIO-E.pdf)

### 2.2.3 MOVILIDAD

El conjunto de la movilidad urbana es una constante en la dinámica de las ciudades actuales, a parte de los tradicionales servicios públicos de transporte, en los últimos años se han ido desarrollando plataformas digitales que mediante una app para el móvil, y con un pago por uso te permiten desplazarte por el entorno urbano, los medios de transporte son diversos y actualmente se desarrollan bajo propulsión eléctrica (desde coches hasta patinetes), lo cual es positivo dado que es un transporte con cero emisiones. Este conjunto de desarrollos para la movilidad supone un avance hacia la servitización del transporte lo cual es positivo y se acerca a la economía circular, pero la realidad dista de ser perfecta, acorde con Shyaam Ramkumar (2017), *“Los automóviles de hoy son en gran parte de propiedad y están estacionados el 94% del tiempo”* (párrafo 7).

Esta no es la situación que se desea a largo plazo para una ciudad circular, observando detenidamente, la aglomeración de vehículos en los grandes núcleos urbanos esta a la orden del día, se producen graves ineficiencias en términos de tiempo perdido en atascos, reducción de la habitabilidad en las ciudades, al igual que baja productividad de los recursos automovilísticos ( recursos de uso particular), al mismo tiempo que estos recursos no se encuentran sometidos a ningún ciclo técnico que permita su inclusión en la dinámica circular.

Partiendo de estos precedentes, la tecnología llega con soluciones para alcanzar una movilidad sostenible en el futuro. Cabe hacer mención a la inteligencia artificial llevada al mundo de la automoción, es decir a los vehículos autónomos, no es ninguna innovación futura dado que en la actualidad ya se está desarrollando, *“Ciudades de todo el mundo ya están piloteando programas de vehículos autónomos en asociación con varias compañías de tecnología. Un ejemplo de ello es nuTonomy, un derivado del MIT, que ha pilotado vehículos autónomos en Singapur desde 2016”* Shyaam Ramkumar (2017, párrafo 8).

El punto que nos concierne a largo plazo, es que esto se generalice y proporcione una red de vehículos inteligentes que proporcionen servicio de transporte a los habitantes de la ciudad, que se comuniquen entre si mediante plataformas compartidas, y que por lo tanto a través de los usuarios conectados, cada uno de los vehículos establezca la ruta

más óptima en relación a lo que hacer los demás. Esto por otro lado proporcionará un tráfico con mucha menor congestión, sin emisiones de gases contaminantes y con una menor dependencia de infraestructuras públicas.

Cabe destacar para finalizar este apartado, que la visión que se lleva implementando a lo largo del capítulo se mantiene, los vehículos autónomos son activos inteligentes porque evidentemente pertenecen a la empresa propietaria que otorga el servicio, de este modo todos los criterios de diseño, de gestión y de optimización circulares que estos activos tienen se aplican por lo tanto a estos últimos.

#### **2.2.4 GENERACIÓN DE ENERGÍA**

La industria energética actual (tanto renovable como no renovable), no se encuentra integrada al sistema urbano, la energía en su mayor parte se produce de forma aislada en los centros industriales, y luego se transporta mediante el sistema de infraestructuras correspondiente, no solo hay que tener en cuenta el uso continuado de recursos no renovables por parte de estas últimas, sino también el uso de recursos de infraestructura por parte de ambas.

La ciudad circular en el largo plazo, será aquella en la que se minimice el consumo energético a la vez que el de recursos, bien es sabido que con el objetivo de no generar externalidades negativas, se prioriza el uso de energías renovables, pero por otra parte, si estas no se encuentran integradas, al mismo tiempo que masificamos el uso de ese tipo de energía, incurrimos en un consumo desmesurado de recursos que ya de por si son escasos en el planeta, esto por lo tanto entra en contradicción con la desmaterialización que se predica bajo los principios circulares, a la vez que implica unos costos económicos de grandes proporciones.

Por ende, partiendo de esta base, una estructura energética descentralizada englobada en el sistema urbano circular unida a una optimización en el consumo, parecen ser la solución más viable. El desarrollo tecnológico parece enviarnos hacia esa dirección, mediante la gestión inteligente de la energía se pueden desarrollar “servidores energéticos”, que constituyan mercados de servicios energéticos renovables, donde cada activo inteligente generador de energía, se conecte y comparta su excedente con la

correspondiente retribución o pague automáticamente una cantidad por adquirir la que le hace falta (Ellen MacArthur Foundation, 2015), por lo tanto de esta forma se constituye un sistema energético eficiente desde la visión circular planteada.

#### 2.2.4 GESTIÓN DE ENVASES

Si se mantiene una visión teórica, se puede pensar que en el sistema de ciudad circular propuesto hasta el momento no se van a generar residuos. La realidad es que como se ha expuesto, los sistemas de ciclos biológicos sí que puedan llegar a estar integrados, al mismo tiempo que gracias a los activos inteligentes y las redes IoT, los distintos bienes se encuentran en propiedad de la empresa y por lo tanto ella los gestiona eficientemente evitando la generación de residuos y cerrando el ciclo. Ampliando la visión, se puede detectar que en el uso cotidiano el consumo de materiales en forma de envases es inevitable, pero esto no supone ningún problema si el sistema de gestión de reciclaje se introduce de una manera óptima, para ello las últimas tecnologías se desmarcan como factor fundamental para su cumplimiento.

En esta dinámica, se vuelve a mencionar al igual que a lo largo del capítulo la incorporación de activos inteligentes así como de la red IoT correspondiente, pero para cambiar ligeramente la dinámica de visión a largo plazo de este capítulo, acortando ese espacio temporal, y dado que entra en concordancia con la estructura tecnológica presentada, se va a hacer mención al proyecto Smart Waste llevado a cabo por TheCircularLab y Minsait, en el que se *pretende “aplicar la tecnología más puntera con el fin de promover la eficiencia de los procesos de recogida, selección y reciclado de envases del futuro y aumentar sus porcentajes”* (ECV, párrafo 2).

A través de la herramienta de gestión de la red IoT (formada por el conjunto de contenedores y camiones), “Minsait IoT Sofia”, la cual *“es el corazón de Smart Waste en términos de Big Data y de todo lo relacionado con la integración de datos”* (ECV, párrafo 7), el proyecto tiene el objetivo de establecer un sistema inteligente de recogida de envases, este se lleva a cabo mediante diversas acciones:

- Contenedores inteligentes que se encuentren localizados a la vez que conectados a tiempo real.

- Camiones que sean capaces de detectar el peso de los contenedores así como determinar las rutas a realizar, a su vez estarán conectados por GPS.
- Gestión automatizada de las rutas a tiempo real, mediante la herramienta de gestión.
- El sistema de transporte tiene que ser eléctrico, en su defecto híbrido, de esta forma se consigue reducir emisiones.
- Evolucionar en el modo en el que se usan los datos y se gestiona la información recibida, mediante una herramienta de gestión más completa.

(ECV).

Por lo tanto, se puede llegar a la conclusión de que constituye un sistema perfectamente integrado en la dinámica circular, y además otro aspecto fundamental es que evoluciona, es decir sigue un proceso de optimización gracias al desarrollo tecnológico implícito que este tiene. De este modo, se conforma la base sobre la cual se podrán desarrollar e implementar a gran escala, sistemas circulares plenamente eficientes de recogida de envases en la ciudad circular del futuro.

### **2.2.5 SISTEMA DE PAGOS**

Llegados a este punto, con lo visto hasta ahora, la situación es que el desarrollo económico de la ciudad circular, va a ser determinado prácticamente en su totalidad por la gestión de servicios derivados del conjunto de actividades, es decir, va a ser una economía de servicios circulares. Estos servicios, para que la economía fluya deben tener su respectiva compensación dineraria, y se hace evidente que cuanto más inmediata más eficiente, por lo tanto cabe preguntarse si el sistema que opera en su mayoría en la actualidad cumple estas características.

El actual sistema predominante es centralizado, se podría decir lineal, en donde las entidades financieras forman el nexo de unión entre el emisor y el receptor del pago, esta situación produce que para la correcta gestión de la transacción, ambos interesados

dependen de que la institución financiera realice la gestión correctamente y en el menor tiempo posible, la cual a su vez implica algún tipo de coste. Por lo cual cabe preguntarse si este sistema será optimizado en el futuro.

Una tecnología que lleva ya desarrollándose unos años, y que puede dar una respuesta no definitiva pero si muy acertada es el Blockchain, que puede suponer con los correspondientes desarrollos, un motor tecnológico base en el funcionamiento de la red de servicios derivada de la futura economía circular. Los beneficios son diversos, se descentraliza la gestión financiera, eliminando a la entidad bancaria, de esta forma se les da el poder a los usuarios, estos *“se convierten básicamente parte de un enorme banco con miles, millones de nodos, cada uno de los cuales se convierte en partícipe y gestor de los libros de cuenta del banco”* Javier Pastor (2017, párrafo 7). Esta cadena de bloques, es una base de datos distribuida entre los usuarios, por lo tanto le da una mayor seguridad a las transacciones almacenadas, además otro factor destacable es que esa transacción es pública (no a nivel de usuario, solo la propia transacción), lo que provoca que sea más transparente, y a su vez, para que se haga efectiva tiene que ser autorizada por el conjunto de usuarios de la cadena de bloques (lo que se hace de forma inmediata) (Javier Pastor, 2017).

En términos económicos, lo que es importante es que se crea una red automatizada de gestión de pago por servicio sin costo, por lo tanto, hace que la economía de servicios propia de una ciudad circular, se mueva y se desarrolle, al mismo tiempo que se potencie la conectividad entre usuarios que a su vez mejora la confianza en el sistema de pagos.

## **2.2.6 SECTOR PÚBLICO**

En último lugar, en este capítulo, cabe hablar del sector público, este constituye en si mismo un habilitador para la consecución de la ciudad circular. La capacidad legislativa que posee, implica que, el poder de elaborar normativas proclives al desarrollo tecnológico circular recae directamente en sus manos, esto afecta a componentes de la ciudad circular mencionados anteriormente (industria, infraestructuras, movilidad, gestión de envases, sistema de pagos), por lo cual cumple un papel fundamental. Por

puntualizar, en el sector de las infraestructuras que se puede considerar el más estático en el sentido evolutivo circular, se da la situación de que, *“los expertos estiman que, a escala global, el 60% de los edificios que existirán en 2050 aún no se han construido”* Fundación Ellen MacArthur (2017, p.10), por lo tanto esta capacidad normativa trae consigo una gestión de desarrollo circular a largo plazo muy elevada.

Por otra parte, cabe mencionar que en ese espacio temporal, cuando el modelo teóricamente se encuentre bien implantado, el sector público experimentará una reducción en sus costos debido a la eficiencia circular del modelo, la intervención pública a nivel de gestión y eliminación de recursos en forma de residuos debería desaparecer, además el conjunto de infraestructuras públicas se reduciría debido a una mayor eficiencia de los sistemas de transporte. Otro aspecto destacable, es que si incorporamos las últimas tecnologías al modelo de gestión pública, se puede llevar a cabo la automatización de la gestión de cobro mediante por ejemplo, suscribiendo al conjunto de instituciones públicas al sistema de gestión de pagos mediante tecnología Blockchain, para así poder cobrar la tasa correspondiente. También a su vez, está claro que en una ciudad interconectada, el sector público tendría grandes cantidades de datos, que mediante tecnologías Big Data y de computación en la nube podría utilizar para realizar una gestión más optimizada.

En resumen, lo que se espera, es que el sector público sea un agente más, que se encuentre mimetizado dentro del modelo de ciudad circular.

# **CAPÍTULO 3. ECONOMÍA CIRCULAR Y CRECIMIENTO SCHUMPETERIANO EN ENTORNOS URBANOS CON RECURSOS NO RENOVABLES**

En el presente capítulo hay que partir admitiendo la complejidad que presenta el análisis formalizado del conjunto de factores expuestos anteriormente, lo cual es la causa de la escasez de modelos económicos de crecimiento que integren a día de hoy una perspectiva circular avanzada. Por lo tanto, lo que se pretende con lo que sigue es llevar a cabo una simplificación formal, sin perder el hilo de la idea presentada, del desarrollo de una economía urbana a través del concepto de ciudad circular desarrollada en este trabajo que, integrado en un modelo de crecimiento, permita sacar conclusiones relevantes e informativas desde el punto de vista económico y medioambiental.

Esta puesta en funcionamiento de la idea supone que se va a reducir el grado de complejidad circular introducido, ya que la actividad del reciclaje se presenta como factor circular representativo del modelo. Nos limitamos de esta forma a considerar la actividad económica dominante de la economía circular en la actualidad. El modelo a desarrollar es un modelo schumpeteriano con recurso no renovable y reciclaje del mismo en entornos urbanos, donde la variable característica que los representa es el nivel de población, donde cada individuo posee una unidad de trabajo. Lo que perseguimos de esta manera es tratar de verificar, en un contexto estándar de teoría del crecimiento, la idea de que una ciudad circular es una alternativa que aporta dinámicas positivas en el contexto del crecimiento económico respetuoso con el medio ambiente.

## **3.1 INTRODUCCIÓN AL MODELO**

Este modelo schumpeteriano de crecimiento con reciclaje como actividad básica circular es un modelo desarrollado en un entorno circular incipiente, en donde todavía se llevan a cabo actividades de producción de bienes finales (economía lineal). Se

caracteriza por incluir a la innovación (activo intangible), tanto en la actividad del reciclaje como en la de bienes intermedios, como factor clave para el desarrollo de un crecimiento sostenido en el que estos últimos cumplen, a su vez, la función de capital físico (activo tangible). Partiendo de este planteamiento, cabe preguntarse: ¿En qué medida la dimensión del entorno urbano afecta a los resultados obtenidos en relación con los modelos sin actividad circular?, ¿En qué medida la economía circular puede proporcionar crecimiento económico?, ¿Cómo se superan las limitaciones impuestas por el recursos natural?

A partir de este punto se va a proceder a presentar la estructura formal del modelo. Nos encontramos en una ciudad tipo formada por un número de individuos  $\tilde{N}$  poseedores de una unidad de trabajo y empleados. El total de los individuos empleados, se distribuye entre los tres sectores demandantes de mano de obra de la economía, empleados en la manufactura del bien final (L), en las actividades de I+D de bienes intermedios (N) y en las actividades de I+D de la actividad de reciclaje (M). De esta forma, el equilibrio en el mercado de trabajo viene definido por:

$$L+N+M=\tilde{N}$$

O en términos relativos:

$$l+n+m=1$$

donde  $l=L/\tilde{N}$ ,  $n=N/\tilde{N}$  y  $m=M/\tilde{N}$ .

Por otra parte, la función de producción de bienes finales (Y), viene definida por la siguiente expresión:

$$Y = L^{1-\alpha-\phi} A_x^{1-\alpha-\phi} x^\alpha R_1^\phi R_2^\phi$$

En ella, el conjunto de inputs que utiliza son el nivel de empleo involucrado en la producción (L), la productividad del input intermedio ( $A_x$ ), la cantidad de input intermedio (x), que para simplificar se establece que solo existe una variedad, la cantidad de recurso no renovable empleado que se ha extraído ( $R_1$ ) y la cantidad de recurso no renovable empleado que procede del reciclado ( $R_2$ ). Esta última viene definida, a su vez, por la siguiente función de producción circular:

$$R_2 = \frac{A_R}{\eta(\tilde{N})}x, \quad \eta'(\tilde{N}) < 0$$

El nivel de recurso reciclado es proporcional a la cantidad de input intermedio, dependiendo esta proporcionalidad directamente de la productividad del sector del reciclaje ( $A_R$ ), e inversamente de la función  $\eta(\tilde{N})$ , dependiente a su vez del volumen de población. El factor clave de esta ecuación es que, debido a que  $\eta'(\tilde{N}) < 0$ , un mayor nivel de  $\tilde{N}$  disminuye el valor de  $\eta(\tilde{N})$  y, por tanto, incrementa el nivel de  $R_2$ , afectando positivamente al nivel de circularidad del sector del reciclaje y de la economía en su conjunto, como se verá más adelante.

En relación al recurso no renovable extraído para la producción del bien final ( $R_1$ ), para favorecer la sostenibilidad del sector productivo la autoridad responsable de la ciudad establece la norma de que el uso del mismo debe disminuir a una tasa exponencial  $q$ , quedando su variación definida por:

$$\dot{R}_1 = -qR_1, \quad q > 0$$

De esta forma, lógicamente, el stock del recurso no renovable  $S$  disminuirá, pero se reducirá el impacto ambiental sobre el mismo. La variación evoluciona siguiendo la siguiente relación:

$$\dot{S} = -R_1$$

En último lugar, el productor del bien intermedio vende su producto al productor de bien final como input a un precio igual al coste marginal:

$$p(x) = \frac{\partial Y}{\partial x} = \alpha L^{1-\alpha-\phi} A_x^{1-\alpha-\phi} x^{\alpha-1} R_1^\phi R_2^\phi$$

Consecuentemente, el nivel de producción vendrá determinado por la maximización de su beneficio:

$$\pi = \max_x \{p(x)x - x\}$$

Este nivel de producción de bien intermedio será:

$$x = \alpha^{\frac{2}{1-\alpha}} A_x^{\frac{1-\alpha-\phi}{1-\alpha}} L^{\frac{1-\alpha-\phi}{1-\alpha}} R_1^{\frac{\phi}{1-\alpha}} R_2^{\frac{\phi}{1-\alpha}}$$

Lo que, finalmente, sustituyendo en la función de producción presentada anteriormente proporciona como resultado la siguiente expresión de Y:

$$Y = \alpha^{\frac{2\alpha}{1-\alpha}} A_x^{\frac{1-\alpha-\phi}{1-\alpha}} L^{\frac{1-\alpha-\phi}{1-\alpha}} R_1^{\frac{\phi}{1-\alpha}} R_2^{\frac{\phi}{1-\alpha}}$$

### 3.2 CRECIMIENTO DE LA PRODUCCIÓN DEL BIEN FINAL

Llegados a este punto es conveniente formular la siguiente pregunta: ¿Se puede hablar de crecimiento sostenido de la producción del bien final en el entorno urbano? Para responderla es necesario hablar de tasas de crecimiento, para cuya obtención se procede a tomar logaritmos de la producción de equilibrio y derivar respecto al tiempo, de donde se obtiene:

$$\begin{aligned} \frac{\dot{Y}}{Y} &= \frac{1-\alpha-\phi}{1-\alpha} \left( \frac{\dot{A}_x}{A_x} + \frac{\dot{L}}{L} \right) + \frac{\phi}{1-\alpha} \frac{\dot{R}_1}{R_1} + \frac{\phi}{1-\alpha} \frac{\dot{R}_2}{R_2} = \\ &= \left( 1 - \frac{\phi}{1-\alpha} \right) \left( \frac{\dot{A}_x}{A_x} + \frac{\dot{L}}{L} \right) + \frac{\phi}{1-\alpha} \left( \frac{\dot{R}_1}{R_1} + \frac{\dot{R}_2}{R_2} \right) \end{aligned}$$

En la anterior ecuación,  $\frac{\dot{Y}}{Y}$  representa la tasa de crecimiento de la producción del bien

final,  $\frac{\dot{A}_x}{A_x}$  la tasa de crecimiento de la productividad del bien intermedio,  $\frac{\dot{A}_x}{A_x}$  la tasa de

crecimiento de la productividad del bien intermedio,  $\frac{\dot{L}}{L}$  la tasa de crecimiento del

empleo en el sector del bien final,  $\frac{\dot{R}_1}{R_1}$  la tasa de crecimiento del nivel de recurso no

renovable extraído empleado en la producción del bien y  $\frac{\dot{R}_2}{R_2}$  la tasa de crecimiento del

nivel de recurso no renovable reciclado empleado en la producción del bien. Se observa que la variable L afecta de la misma forma que la productividad del bien intermedio.

Analizando la ecuación, se puede ver que en esta tasa de equilibrio de producción del bien final existe una dependencia del sumatorio de las tasas de crecimiento de  $R_1$  y  $R_2$ ,

al mismo tiempo que del sumatorio de las tasas de crecimiento de  $A_x$  y  $L$ . Esta dependencia se produce mediante una combinación lineal convexa de los dos sumatorios. Por su parte, el recurso no renovable se ha dicho anteriormente que  $\frac{\dot{R}_1}{R_1}$  tiene el valor de  $-q$ . La tasa de variación de  $R_2$ ,  $\frac{\dot{R}_2}{R_2}$ , su viene representada, una vez introducido  $\tilde{N}$ , por la siguiente expresión:

$$\frac{\dot{R}_2}{R_2} = \frac{\dot{A}_R}{A_R} - \eta' \left( \frac{\dot{\tilde{N}}}{\tilde{N}} \right) + \frac{\dot{x}}{x} = \frac{\dot{A}_R}{A_R} - \eta' \left( \frac{\dot{\tilde{N}}}{\tilde{N}} \right) + \frac{\dot{Y}}{Y}$$

De esta forma, la ecuación inicial modificada introduciendo el valor anterior será:

$$\frac{\dot{Y}}{Y} = \left( 1 - \frac{\phi}{1-\alpha} \right) \left( \frac{\dot{A}_x}{A_x} + \frac{\dot{L}}{L} \right) + \frac{\phi}{1-\alpha} \frac{\dot{R}_1}{R_1} + \frac{\phi}{1-\alpha} \left( \frac{\dot{A}_R}{A_R} - \eta' \left( \frac{\dot{\tilde{N}}}{\tilde{N}} \right) + \frac{\dot{Y}}{Y} \right)$$

$$\frac{\dot{Y}}{Y} = \left[ \left( \frac{\dot{A}_x}{A_x} + \frac{\dot{L}}{L} \right) + \frac{\frac{\phi}{1-\alpha}}{1 - \frac{\phi}{1-\alpha}} \left( \frac{\dot{A}_R}{A_R} - \eta' \left( \frac{\dot{\tilde{N}}}{\tilde{N}} \right) - q \right) \right]$$

$$g(y) = \frac{\dot{Y}}{Y} - \frac{\dot{L}}{L} = \frac{\dot{A}_x}{A_x} + \frac{\frac{\phi}{1-\alpha}}{1 - \frac{\phi}{1-\alpha}} \left( \frac{\dot{A}_R}{A_R} - \eta' \left( \frac{\dot{\tilde{N}}}{\tilde{N}} \right) - q \right)$$

$y=Y/L$ : productividad del trabajo en la producción de bien final

$g(y)$ : tasa de crecimiento de la productividad del trabajo

Por consiguiente, se puede observar la influencia que tiene  $\frac{\dot{\tilde{N}}}{\tilde{N}}$  sobre el crecimiento de la productividad del trabajo en todos los posibles escenarios.

- Inexistencia de recurso no renovable ( $\phi = 0$ ). La tasa de crecimiento de la productividad del trabajo es la tasa de crecimiento de la productividad de los bienes intermedios  $\frac{\dot{A}_x}{A_x}$ .
- Existencia de recurso no renovable pero sin reciclaje. La tasa de crecimiento de la productividad del trabajo será:

$$g(y) = \frac{\dot{Y}}{Y} - \frac{\dot{L}}{L} = \frac{\dot{A}_x}{A_x} - \frac{\phi}{1-\alpha} q$$

Depende de que  $g(A_x) = \frac{\dot{A}_x}{A_x}$  sea mayor o no que  $\frac{\phi}{1-\alpha}$  el que haya crecimiento.

- Existencia de recurso no renovable con reciclaje. La tasa de crecimiento de la productividad del trabajo será:

$$g(y) = \frac{\dot{Y}}{Y} - \frac{\dot{L}}{L} = \frac{\dot{A}_x}{A_x} + \frac{\frac{\phi}{1-\alpha}}{1-\frac{\phi}{1-\alpha}} \left( \frac{\dot{A}_R}{A_R} - \eta' \left( \frac{\dot{N}}{\bar{N}} \right) - q \right)$$

Lo que se puede ver en esta expresión es que, respecto a la situación en la que no hay reciclaje, aumenta la tasa de crecimiento por el crecimiento de la productividad del reciclaje y por el crecimiento de la población ( $\eta' \left( \frac{\dot{N}}{\bar{N}} \right) < 0$ ). Es decir, cuanto mayor sea el crecimiento del entorno urbano, más probable es que el crecimiento sea positivo y mayor puede ser éste. Ello deja ver la importancia que conlleva desarrollar la economía circular en una economía urbana. Además, este condicionamiento urbano, permite la posibilidad de que, aunque el diferencial entre la tasa de crecimiento de la productividad del reciclaje ( $\frac{\dot{A}_R}{A_R}$ ) (la cual afecta positivamente a  $g(y)$ , y la disminución impuesta del nivel de uso del recurso no renovable extraído ( $-q$ ) sea mínimo o incluso negativo, pueda seguir existiendo crecimiento de la producción de bien final. Cabe destacar que el factor que multiplica a este paréntesis debe ser positivo y por lo tanto, debe cumplirse que la relación  $\frac{\phi}{1-\alpha}$  sea menor que la unidad.

### 3.3. ENTORNO URBANO CIRCULAR EFICIENTE

En este apartado vamos a plantear la obtención del valor de las tasas de crecimiento de equilibrio una vez que se conocen las tasas de crecimiento de las productividades de los bienes intermedios y del reciclaje. En primer lugar, para comenzar con el subapartado es

necesario conocer la formulación tanto de  $\frac{\dot{A}_R}{A_R}$  como de  $\frac{\dot{A}_x}{A_x}$ , que es la siguiente:

$$g(A_x) = \frac{\dot{A}_x}{A_x} = \lambda n(\gamma - 1)$$

$$g(A_R) = \frac{\dot{A}_R}{A_R} = \lambda m(\gamma - 1)$$

En las anteriores ecuaciones se observa que la expresión es idéntica salvo por los valores  $m$  y  $n$ , que representan la proporción de individuos empleados en el sector de la innovación para el reciclaje ( $A_R$ ) y para el de los bienes intermedios ( $A_x$ ) respectivamente, mientras  $\gamma$  representa el tamaño de las innovaciones y  $\lambda$  constituye un parámetro de productividad de la actividad de innovación.

El objetivo que perseguimos ahora es ver la influencia de la variable  $\tilde{N}$  introducida en este capítulo como representativa del entorno urbano, al ser variable explicativa de  $g(R_2)$ , valorando si incrementa la eficiencia en el sector circular. Al mismo tiempo, es interesante ver la influencia que tienen tanto  $\tilde{N}$  como  $A_R$  sobre  $g(x)$ , es decir, comprobar si el nivel de innovación circular y el entorno urbano favorecen la producción de bienes de capital y, por ende, de bienes finales. A su vez, se podrán sacar ciertas conclusiones sobre el valor de  $m$ , representativo del empleo en la innovación circular. Para todo ello se procede a desarrollar la formulación siguiente.

En primer lugar, analizando la cantidad óptima de  $R_2$ , su precio óptimo viene determinado por:

$$p(R_2) = \frac{\partial Y}{\partial R_2} = \phi L^{1-\alpha-\phi} A_x^{1-\alpha-\phi} x^\alpha R_1^\phi R_2^{\phi-1} = \phi \frac{Y}{R_2}$$

Maximizando su beneficio se obtiene que:

$$\pi_{R_2} = \max_{R_2} \left\{ p(R_2)R_2 - \frac{\eta(\tilde{N})}{A_R} R_2 \right\}$$

Resolviendo se obtiene la cantidad óptima que es:

$$R_2 = \alpha^{\frac{2\alpha}{1-\alpha-\phi}} \left[ \frac{\phi^2 A_R}{\eta(\tilde{N})(1-\alpha)^2} \right]^{\frac{1-\alpha}{1-\alpha-\phi}} A_x L R_1^{\frac{\phi}{1-\alpha-\phi}}$$

Sustituyendo la anterior cantidad en el valor de  $x$ , se alcanza la cantidad óptima de  $x$  que es:

$$x = \alpha^{\frac{2(1-\alpha)(1-\phi)}{(1-\alpha-\phi)(1-\alpha)}} \left( \frac{\phi^2 A_R}{\eta(\tilde{N})(1-\alpha)^2} \right)^{\frac{\phi}{1-\alpha-\phi}} A_x L R_1^{\frac{\phi}{1-\alpha-\phi}}$$

Realizando el mismo proceso que en el apartado anterior, se obtienen las correspondientes tasas de crecimiento de  $R_2$  y  $x$ :

$$g(R_2) = \frac{1-\alpha}{1-\alpha-\phi} \left( g(A_R) - \eta' \left( \frac{\dot{\tilde{N}}}{\tilde{N}} \right) \right) + g(A_x) + g(L) + \frac{\phi}{1-\alpha-\phi} g(R_1) =$$

$$= g(A_R) + g(A_x) + g(L) + \frac{\phi}{1-\alpha-\phi} \left( g(A_R) - \eta' \left( \frac{\dot{\tilde{N}}}{\tilde{N}} \right) - q \right)$$

$$g(x) = g(Y) = g(A_x) + g(L) + \frac{\phi}{1-\alpha-\phi} \left( g(A_R) - \eta' \left( \frac{\dot{\tilde{N}}}{\tilde{N}} \right) - q \right)$$

$$g(y) = g(A_x) + \frac{\phi}{1-\alpha-\phi} \left( g(A_R) - \eta' \left( \frac{\dot{\tilde{N}}}{\tilde{N}} \right) - q \right)$$

Como se puede apreciar, teniendo en cuenta el modelo circular de reciclaje con el que se trabaja, la tasa de reciclaje del recurso no renovable se ve influida por  $\tilde{N}$ . Esta variable muestra que, dado que  $\eta' \left( \frac{\dot{\tilde{N}}}{\tilde{N}} \right) < 0$ , una tasa creciente en el número de individuos  $\left( \frac{\dot{\tilde{N}}}{\tilde{N}} \right)$  es un condicionamiento positivo para que incremente la tasa de crecimiento de equilibrio de esta actividad circular, por lo que a mayor dimensión de la ciudad mayor reciclaje del recurso no renovable, lográndose un modelo circular más eficiente, así como una economía con mayor nivel de circularidad.

Haciendo referencia al nivel de empleo específico de los sectores de innovación ( $m$  y  $n$ ), se puede llegar a determinar cuál es el valor mínimo que deben tomar para que la tasa de crecimiento de  $y$  sea positivo:

$$\left( n + \frac{\phi}{1-\alpha-\phi} m \right) \lambda(\gamma - 1) > q + \eta' \left( \frac{\dot{\tilde{N}}}{\tilde{N}} \right)$$

$$\left( n + \frac{\phi}{1-\alpha-\phi} m \right) > \frac{q + \eta' \left( \frac{\dot{\tilde{N}}}{\tilde{N}} \right)}{\lambda(\gamma - 1)}$$

Por lo tanto, debido a que  $\eta' \left( \frac{\dot{N}}{N} \right) < 0$ , el entorno urbano posibilita que sea más fácil que se cumpla la desigualdad y que el crecimiento sea positivo. Es necesario un menor nivel de empleo en el sector de innovación en el reciclaje ( $m$ ) y en los bienes intermedios para superar la barrera impuesta por la tasa de disminución  $-q$  del uso del recurso no renovable extraído para la producción. Se obtiene así una tasa de crecimiento de reciclaje del recurso no renovable en equilibrio ( $g(R_2)$ ) a la que no se llegaría en un contexto en el que no se produjera esa tasa de crecimiento del entorno urbano. De este modo, se puede hablar de una mayor eficiencia en el mercado de trabajo de ese sector circular de I+D, posibilitando el desplazamiento de unidades de trabajo a los otros sectores.

Para finalizar este apartado, se puede observar que  $g(x)$  se encuentra positivamente influida tanto por  $\frac{\dot{N}}{N}$  como por  $g(A_R)$ , lo cual denota que un entorno urbano creciente con una innovación de su sector circular creciente implica que el crecimiento en los bienes de capital también será creciente, además debido a que  $g(x) = g(Y)$ , el efecto cuantitativo será similar en los bienes finales. Por su parte, analizando conjuntamente las dos tasas se puede apreciar que  $g(R_2) > g(x) = g(Y)$ , por lo tanto esto denota a grandes rasgos que, a largo plazo, este modelo evolucionará hacia una mayor circularidad, lo cual es altamente positivo, aun teniendo en cuenta que se trata de un modelo de nivel de desarrollo bajo de la economía circular.

### 3.4 ARBITRAJE PÚBLICO

Una de las condiciones establecidas en el apartado de introducción al modelo es la referente a la tasa  $q$  de reducción del uso del recurso no renovable extraído para ser empleado en la producción de bienes finales. Como también se detalló, esta tasa era establecida por el ente público gobernante de la ciudad tipo del modelo. La cuestión importante es determinar cuál es el valor óptimo de esa tasa de disminución del uso del recurso no renovable extraído directamente. Para llegar a su resolución es necesario proceder al análisis del problema del planificador, que representa a este ente público.

Por otro lado, un aspecto importante a destacar es cómo se puede determinar mediante la gestión pública la eficiencia empleo del sector innovador circular del entorno urbano

(m), llevando a cabo una intervención en el mercado y otorgando una determinada subvención al mismo.

### 3.4.1 GESTIÓN ÓPTIMA DEL RECURSO NO RENOVABLE

La cuestión que nos atañe en este subapartado es que ese ente público pueda llegar a determinar el valor concreto de la susodicha tasa  $q$  que consiga optimizarla. Para ello se procede a resolver el problema del planificador social, en donde se determina este valor óptimo  $q^*$  a través del cual se maximiza la utilidad intertemporal del individuo representativo del modelo.

Cabe mencionar, que en esta resolución el planificador social exclusivamente otorgará valores óptimos tanto para el empleo en el sector circular como para la tasa de reducción del uso del recurso. Los valores a niveles de  $x$  y  $R_2$  obtenidos en el anterior apartado seguirán teniendo plena capacidad de gestión privada a través del proceso de maximización del beneficio empresarial.

En relación al desarrollo del problema, en primer lugar cabe hablar del individuo, este tiene una utilidad instantánea derivada del consumo que viene definida por la siguiente función:

$$u(c) = \frac{c^{1-\sigma} - 1}{1 - \sigma}$$

Por su parte, el planificador como ya se ha mencionado, maximizará la utilidad intertemporal del individuo:

$$\max \int_0^{\omega} u(c_t) e^{-\rho t} dt$$

Esta maximización se encuentra sujeta a una serie de restricciones (el subíndice  $t$  es eliminado visualmente, pero estas seguirán determinadas por la variable tiempo), estas son las siguientes:

1. La función de consumo per cápita tendrá el mismo valor que la función de producción de bienes finales  $Y$  per cápita ( $Y/\tilde{N}$ ), debido a que en estos últimos el modelo no proporciona inversión, por lo tanto será:

$$\begin{aligned}
c &= L^{1-\alpha-\phi} A_x^{1-\alpha-\phi} x^\alpha R_1^\phi R_2^\phi \\
&= \alpha^{\frac{2\alpha}{1-\alpha-\phi}} \left( \frac{\phi^2 A_R}{\eta(\tilde{N})(1-\alpha)^2} \right)^{\frac{\phi}{1-\alpha-\phi}} (1-n-m) A_x R_1^{\frac{\phi(1+\alpha+\phi)}{1-\alpha-\phi}}
\end{aligned}$$

2. La variación de la innovación en los sectores de reciclaje y bienes intermedios es:

$$\dot{A}_x = \lambda n(\gamma - 1)A_x$$

$$\dot{A}_R = \lambda m(\gamma - 1)A_R$$

3. La alteración del stock del recurso no renovable sigue la siguiente relación:

$$\dot{S} = -R_1$$

con  $S \geq 0$ .

De esta forma, teniendo en cuenta los factores anteriores, la enunciación del Hamiltoniano es la siguiente:

$$\begin{aligned}
H = u &\left[ \alpha^{\frac{2\alpha}{1-\alpha-\phi}} \left( \frac{\phi^2 A_R}{\eta(\tilde{N})(1-\alpha)^2} \right)^{\frac{\phi}{1-\alpha-\phi}} (1-n-m) A_x R_1^{\frac{\phi(1+\alpha+\phi)}{1-\alpha-\phi}} \right] e^{-\rho t} + \mu_{A_x} \lambda n(\gamma \\
&- 1)A_x + \mu_{A_R} \lambda m(\gamma - 1)A_R - \mu_S R_1
\end{aligned}$$

en el cual  $\mu_{A_x}$ ,  $\mu_{A_R}$  y  $\mu_S$  son las variables de coestado ligadas a las ecuaciones de movimiento de  $A_x$ ,  $A_R$  y  $S$  respectivamente. Estas últimas, constituyen las variables de estado. Por su parte, las variables de control son  $n$ ,  $m$ ,  $R_1$  y  $R_2$ . Hay que puntualizar, que las variables de control  $n$  y  $m$  empleadas en la resolución son variables normalizadas ( $n = \frac{N}{\tilde{N}}$ ,  $m = \frac{M}{\tilde{N}}$ ).

Las condiciones de primer orden para la resolución de la optimización dinámica son:

$$\frac{\partial H}{\partial n} = 0, \quad \frac{\partial H}{\partial m} = 0, \quad \frac{\partial H}{\partial R_1} = 0, \quad \dot{\mu}_{A_R} = -\frac{\partial H}{\partial A_R}, \quad \dot{\mu}_{A_x} = -\frac{\partial H}{\partial A_x}, \quad \dot{\mu}_S = -\frac{\partial H}{\partial S}$$

Las dos primeras, nos llevan a las siguientes expresiones respectivamente:

$$-u'(c)\alpha^{\frac{2\alpha}{1-\alpha-\phi}}\left(\frac{\phi^2 A_R}{\eta(\tilde{N})(1-\alpha)^2}\right)^{\frac{\phi}{1-\alpha-\phi}} A_x R_1^{\frac{\phi(1+\alpha+\phi)}{1-\alpha-\phi}} e^{-\rho t} + \mu_{A_x} \lambda(\gamma-1)A_x = 0$$

$$-u'(c)\alpha^{\frac{2\alpha}{1-\alpha-\phi}}\left(\frac{\phi^2 A_R}{\eta(\tilde{N})(1-\alpha)^2}\right)^{\frac{\phi}{1-\alpha-\phi}} A_x R_1^{\frac{\phi(1+\alpha+\phi)}{1-\alpha-\phi}} e^{-\rho t} + \mu_{A_R} \lambda(\gamma-1)A_R = 0$$

En las cuales se obtiene que  $\mu_{A_x} A_x = \mu_{A_R} A_R$ .

Posteriormente, en relación a los sectores de innovación se alcanza que:

$$\frac{\partial H}{\partial A_x} = u'(c)\alpha^{\frac{2\alpha}{1-\alpha-\phi}}\left(\frac{\phi^2 A_R}{\eta(\tilde{N})(1-\alpha)^2}\right)^{\frac{\phi(1+\alpha+\phi)}{1-\alpha-\phi}} (1-n-m)R_1^{\frac{\phi}{1-\alpha-\phi}} e^{-\rho t} + \mu_{A_x} \lambda n(\gamma - 1)$$

$$\frac{\partial H}{\partial A_R} = \frac{\phi}{1-\alpha-\phi} u'(c)\alpha^{\frac{2\alpha}{1-\alpha-\phi}}\left(\frac{\phi^2 A_R}{\eta(\tilde{N})(1-\alpha)^2}\right)^{\frac{\phi}{1-\alpha-\phi}} \frac{1}{A_R} (1-n - m)A_x R_1^{\frac{\phi(1+\alpha+\phi)}{1-\alpha-\phi}} e^{-\rho t} + \mu_{A_R} \lambda m(\gamma - 1)$$

De esta forma se obtiene que:

$$\frac{\partial H}{\partial A_x} = \mu_{A_x} (1-m)\lambda(\gamma-1)$$

$$\frac{\partial H}{\partial A_R} = \mu_{A_R} (1-n)\lambda(\gamma-1)$$

Por lo tanto, ambas condiciones pueden formularse como:

$$\frac{\dot{\mu}_{A_x}}{\mu_{A_x}} = -\lambda(1-m)(\gamma-1)$$

$$\frac{\dot{\mu}_{A_R}}{\mu_{A_R}} = -\lambda(1-n)(\gamma-1)$$

Las cuales con los valores de los parámetros implicados especificados por el modelo, son negativas.

Las dos condiciones restantes son:

$$u'(c) \frac{\phi}{1-\alpha-\phi} \alpha^{\frac{2\alpha}{1-\alpha-\phi}} \left( \frac{\phi^2 A_R}{\eta(\tilde{N})(1-\alpha)^2} \right)^{\frac{\phi}{1-\alpha-\phi}} (1-n-m) A_x R_1^{\frac{\phi(1+\alpha+\phi)}{1-\alpha-\phi}-1} e^{-\rho t} = \mu_S$$

$$\dot{\mu}_S = 0$$

Que al aplicar tasas de crecimiento sobre la primera e introduciendo la segunda se obtiene que:

$$\frac{u''(c)}{u'(c)} \dot{c} + \frac{\phi}{1-\alpha-\phi} \left( g(A_R) - \eta' \left( \frac{\dot{\tilde{N}}}{\tilde{N}} \right) \right) + \left( \frac{\phi}{1-\alpha-\phi} - 1 \right) g(R_1) + g(A_x) - \rho = 0$$

Tomando logaritmos y derivando respecto al tiempo en la primera condición se llega a:

$$\frac{\dot{\mu}_{A_x}}{\mu_{A_x}} = \frac{u''(c)}{u'(c)} \dot{c} + \frac{\phi}{1-\alpha-\phi} \left( g(A_R) - \eta' \left( \frac{\dot{\tilde{N}}}{\tilde{N}} \right) \right) + \frac{\phi(1+\alpha+\phi)}{1-\alpha-\phi} g(R_1) - \rho$$

De esta manera, operando en las dos últimas ecuaciones descritas y sabiendo que

$$\frac{\dot{\mu}_{A_x}}{\mu_{A_x}} = -\lambda(1-n)(\gamma-1) \text{ y que } \mu_{A_x} A_x = \mu_{AR} A_R \text{ se considera que:}$$

$$\lambda(\gamma-1) - g(A_R) - g(A_x) = -g(R_1)$$

Que es semejante a:

$$\lambda(1-n-m)(\gamma-1) = -g(R_1)$$

O de forma similar:

$$\boxed{\lambda \frac{L}{\tilde{N}} (\gamma-1) = q^*}$$

Por lo tanto esta será la tasa óptima de disminución de uso del recurso no renovable destinado a la producción establecida por el ente público planificador del entorno urbano. Se puede observar que a mayor dimensión de este último, es decir a mayor número de individuos, el valor absoluto de la tasa óptima se reduce, debido a que  $\tilde{N}$  es

inversamente proporcional a esta última, esto quiere decir que la dimensión urbana tiene el coste de una transición circular más lenta en los esquemas de producción al haber una mayor demanda. Pero también hay que decir que esa influencia es relativa al empleo en el sector de bienes finales que hace crecer ese valor absoluto. En definitiva, la proporción del empleo en el sector de bienes finales es el que hace aumentar el ritmo de descenso en el uso del recurso no renovable.

Otro aspecto directamente derivado de la gestión pública del recurso no renovable es que la tasa establecida permita que no se agoten las reservas del mismo con crecimiento, para ello esta tiene que cumplir la siguiente condición:

$$\frac{q + \eta' \left( \frac{\dot{N}}{\bar{N}} \right)}{\lambda(\gamma - 1)} < 1$$

Que sustituyendo por el resultado obtenido anteriormente queda:

$$\frac{q^* + \eta' \left( \frac{\dot{N}}{\bar{N}} \right)}{\lambda(\gamma - 1)} = \frac{L}{\bar{N}} + \frac{\eta' \left( \frac{\dot{N}}{\bar{N}} \right)}{\lambda(\gamma - 1)} = (1 - n - m) + \frac{\eta' \left( \frac{\dot{N}}{\bar{N}} \right)}{\lambda(\gamma - 1)} < 1$$

Por consiguiente, debido a que  $\eta' \left( \frac{\dot{N}}{\bar{N}} \right) < 0$  esta condición se va a cumplir siempre, superándose así el posible obstáculo del agotamiento y asegurando la sostenibilidad del recurso no renovable con el crecimiento. Lo que hay que decir es que siempre que  $n$  y  $m$  sean distintos de cero para que se cumpla la condición no es necesario contar con la influencia del crecimiento.

### 3.4.2 SUBVENCIÓN A LA INNOVACIÓN CIRCULAR

Recuperando del apartado anterior la condición que permitía establecer el nivel de empleo en el sector de la innovación circular ( $m$  y  $n$ ), que a su vez superaba la tasa de reducción del uso del recurso no renovable en un entorno urbano  $q$ , y sustituyendo esta última por la del valor óptimo  $q^*$  obtenido anteriormente se tiene que:

$$\left( n + \frac{\phi}{1 - \alpha - \phi} m \right) > \frac{\lambda \frac{L}{\bar{N}} (\gamma - 1) + \eta' \left( \frac{\dot{N}}{\bar{N}} \right)}{\lambda(\gamma - 1)} = \frac{L}{\bar{N}} + \frac{\eta' \left( \frac{\dot{N}}{\bar{N}} \right)}{\lambda(\gamma - 1)}$$

Esta expresión es interesante porque indica la condición que han de cumplir las proporciones de empleo en innovación en los dos sectores innovadores para que haya crecimiento positivo siempre. Como vemos, lo que dice es que la proporción del empleo en innovación del sector de bienes intermedios más una proporción del empleo en la innovación circular ha de ser mayor que la proporción del empleo en el sector de bienes finales a la que le resta un término que depende del crecimiento urbano. Nuevamente el crecimiento urbano mediante su influencia en el reciclaje ayuda a que se supere la condición. También es claro que ayuda el parámetro  $\phi$  a que se supere el umbral.

Está claro que la expansión del entorno urbano favorece para que esta condición se cumpla, pero puede darse la situación de que el nivel de empleo  $m$  sea insuficiente. El organismo público puede intervenir para sostener temporalmente esta situación, una solución es el de dar una determinada subvención  $s_{AR}$  a este sector que potencie la innovación, de esta forma:

$$g(A_R) = \lambda m(1 + s_{AR})(\gamma - 1)$$

Lo que deja ver cómo evidentemente favorece que se incremente el crecimiento de la innovación en el sector de innovación circular hasta los niveles deseados.

Volviendo a la inecuación anterior, si no se cumple la subvención introducida ha de ser suficiente para revertirlo, quedando:

$$\left( n + \frac{\phi}{1 - \alpha - \phi} (1 + s_{AR})m \right) m > \frac{L}{\tilde{N}} + \frac{\eta' \left( \frac{\tilde{N}}{\bar{N}} \right)}{\lambda(\gamma - 1)}$$

lo cual implica a su vez que  $s_{AR}$  ha de cumplir que:

$$s_{AR} > \frac{1 - \alpha - \phi}{\phi} \left( \frac{L}{\tilde{N}m} - \frac{n}{m} + \frac{\eta' \left( \frac{\tilde{N}}{\bar{N}} \right)}{m\lambda(\gamma - 1)} \right) - 1$$

De esta forma, siguiendo la tónica de este capítulo, se puede observar que a mayor crecimiento de la dimensión del entorno urbano representado por  $\frac{\dot{\tilde{N}}}{\tilde{N}}$  dado que  $\eta' \left( \frac{\dot{\tilde{N}}}{\tilde{N}} \right) < 0$ , el nivel de subvención necesaria para superar la barrera del decrecimiento del uso del recurso no renovable cuando el nivel de empleo en el sector circular no es suficiente es menor, por lo tanto el resultado obtenido es favorable a la circularidad de los entornos urbanos.

## CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES

El proceso de aprendizaje desarrollado en la elaboración de este trabajo ha sido enriquecedor, pudiendo decirse que la base adquirida sobre el tema es lo suficientemente satisfactoria como para poder seguir desarrollándola en un futuro.

Como ya he comentado, para conseguir optimizar el modelo económico presente en la dirección marcada por la circularidad, es necesario implementar una visión de futuro a largo plazo que te permita estructurar ese camino. Esa es precisamente la idea que engloba al trabajo, es más que evidente que el concepto de ciudad circular presentado puede considerarse a día de hoy una idea cuanto menos utópica, pero es innegable que el ingrediente tecnológico se encuentra en su máximo nivel y con una calidad histórica y que evoluciona constantemente. Es interesante ver cómo este puede constituir un sintetizador circular muy eficiente para los distintos sectores expuestos, otorgándole un sentido conjunto a los mismos y proporcionando que el entorno urbano obtenga un desarrollo circular llevado a su máxima plenitud, un entorno urbano que sobre esta idea pasará a ser un sistema integrado en el cual se desarrollará una economía de forma sostenible.

Como cabía esperar, era de elevada dificultad encontrar un apoyo sólido en la teoría económica que permitiera llevar a cabo la implementación de un modelo de crecimiento que referenciara todo el conjunto de variables que aparecían en la ciudad circular. Pero se ha llevado a cabo el esfuerzo de dar una primera aproximación, mediante un modelo de crecimiento schumpeteriano con reciclaje y recurso no renovable en entorno urbano, en el cual se ha introducido la variable  $\tilde{N}$ , representando al número de individuos que habitan en la ciudad, y se ha comprobado que tanto a niveles como en tasas otorga efectos positivos sobre el desarrollo del modelo expuesto. Por lo tanto, de esta forma se ha conseguido reforzar la idea de ciudad circular del futuro bajo un planteamiento simplificado que aporta unos resultados y una visión optimista.

## BIBLIOGRAFÍA

- Azahara. (18 de Mayo de 2017). *Qué es el Internet de las Cosas*. Obtenido de <https://geographica.gs/es/blog/internet-de-las-cosas/> [Consultado 07-01-2019]
- Cibernat. (s.f.). *Computación en la nube*. Obtenido de <https://www.cibernat.com/articulos/blog> [Consultado 09-01-2019]
- Dugand, S. M. (18 de Agosto de 2010). *La ecología industrial*. Obtenido de [http://www.elcolombiano.com/historico/la\\_ecologia\\_industrial-HEEC\\_101107](http://www.elcolombiano.com/historico/la_ecologia_industrial-HEEC_101107) [Consultado 02-01-2019]
- Economía Simple. (s.f.). *Definición de Ciberseguridad*. Obtenido de <https://www.economiasimple.net/glosario/ciberseguridad> [Consultado 09-01-2019]
- ECV. (s.f.). *Smart Waste: El Internet de las Cosas aplicado al reciclaje*. Obtenido de <https://economiecircularverde.com/smart-waste/> [Consultado 06-01-2019]
- Fundación Ellen MacArthur. (s.f.). *Economía Circular*. Obtenido de <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/es/economia-circular> [Consultado 16-12-2018]
- Fundación Ellen MacArthur. (2 de Diciembre de 2015). *Hacia una economía circular: Motivos económicos para una transición acelerada*. Obtenido de [https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/Executive\\_summary\\_SP.pdf](https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/Executive_summary_SP.pdf) [Consultado 19-12-2018]
- Fundación Ellen MacArthur. (8 de Febrero de 2016). *Intelligent Assets: Unlocking the circular economy potential*. Obtenido de [https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/EllenMacArthurFoundation\\_Intelligent\\_Assets\\_080216-AUDIO-E.pdf](https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/EllenMacArthurFoundation_Intelligent_Assets_080216-AUDIO-E.pdf) [Consultado 30-12-2018]
- Fundación Ellen MacArthur. (29 de Agosto de 2017). *Cities in the circular economy: An initial exploration*. Obtenido de [https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/Cities-in-the-CE\\_An-Initial-Exploration.pdf](https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/Cities-in-the-CE_An-Initial-Exploration.pdf) [Consultado 04-01-2019]
- Llorente, J. L. (11 de Octubre de 2018). *Economía circular e Industria 4.0*. Obtenido de <https://blogs.publico.es/econonuestra/2018/10/11/economia-circular-e-industria-4-0/> [Consultado 28-12-2018]
- Pastor, J. (17 de Noviembre de 2017). *Qué es blockchain: la explicación definitiva para la tecnología más de moda*. Obtenido de <https://www.xataka.com/especiales/que-es-blockchain-la-explicacion-definitiva-para-la-tecnologia-mas-de-moda> [Consultado 07-01-2019]

-Ramkumar, S. (18 de Diciembre de 2017). *The Fourth Industrial Revolution and the Circular Economy*. Obtenido de <https://circulatenews.org/2017/12/fourth-industrial-revolution-circular-economy/> [Consultado 28-12-2018]