



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Economía circular: efectos dinámicos y políticas

Autor

Manuel Mora Gómez

Director

Marcos Sanso Frago

Facultad de Economía y Empresa
2017

Autora del trabajo: Manuel Mora Gómez

Director del trabajo: Marcos Sanso Frago

Título del trabajo: Economía circular: efectos dinámicos y políticas

Titulación a la que está vinculado: Grado de Economía

Economía circular: efectos dinámicos y políticas

RESUMEN

En este trabajo se presenta una visión personal de lo que puede entenderse hoy en día como Economía Circular y se desarrolla un modelo que integra la actividad principal de la misma en un contexto de equilibrio general con crecimiento. Ambas tareas tratan de avanzar en los dos frentes en los que este nuevo enfoque económico muestra lagunas desde el punto de vista de la Economía. En el frente de la descripción conceptual intenta poner un poco de orden en los conceptos económicos relevantes ya que, según se expone, el enfoque ha avanzado más en la práctica y en las medidas de política que en el ámbito doctrinal. Y en el frente teórico, se integra el reciclaje, su principal actividad, en un modelo schumpeteriano de crecimiento con el fin de captar su posible contribución a la sostenibilidad del crecimiento económico en comparación con el enfoque teórico dominante de economía lineal. En realidad, no hay aportaciones disponibles a ese nivel en las que pueda valorarse claramente los méritos relativos de la disyuntiva “Economía circular-Economía lineal” para sortear los principales retos que plantean los recursos naturales y el medio ambiente.

Circular Economy: dynamic effects and policies

ABSTRACT

The present work presents a personal vision of what Circular Economy nowadays means and develops an economic model which integrates its principal activity in a context of general equilibrium with growth. From Economy's point of view this new approach has some lacks, so both tasks try to contribute making some progress in this field. On the one hand, the conceptual description explains some relevant economic concepts, since this approach has been developed more in practice and political measures than in the doctrinal way. On the other hand, recycling, which is its principal activity, is integrated in a Schumpeterian model of growth in order to show its contribution to the economic growth sustainability in comparison with the lineal economy. Actually, there are no available contributions at that level in which the relative merits of the “Circular Economy-Linear Economy” quandary can be clearly assessed in order to overcome the main challenges presented by natural resources and the environment.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN A LA ECONOMÍA CIRCULAR	3
1.1. PRINCIPIOS DE LA ECONOMÍA CIRCULAR	4
1.2. CONCEPTOS BÁSICOS DE LA ECONOMÍA CIRCULAR	6
1.3. ECONOMÍA CIRCULAR EN EUROPA	8
1.4. ECONOMÍA CIRCULAR EN ARAGÓN	9
1.4.1. Economía Circular en la comunidad autónoma	9
1.4.2 Economía Circular en Zaragoza	10
CAPÍTULO 2. TRANSICIÓN HACIA UNA PRODUCCIÓN CIRCULAR	12
2.1. IMITAR A LOS SISTEMAS NATURALES	12
2.2 ECOSISTEMAS INDUSTRIALES	13
2.2.1. Simbiosis industrial	13
2.2.2 IMP (Intelligent Materials Polling) (fondo común inteligente de materiales)	15
2.3. PROBLEMAS EN EL DESARROLLO DE LA ECONOMÍA CIRCULAR	17
2.4. PROPUESTAS DE UN ECOSISTEMA INDUSTRIAL GENERAL (EIG)	18
CAPÍTULO 3. ECONOMÍA CIRCULAR Y CRECIMIENTO SCHUMPETERIANO CON UN RECURSO NATURAL NO RENOVABLE	21
3.1. MODELO DE ECONOMÍA CIRCULAR CON CRECIMIENTO SCHUMPETERIANO	21
3.2. Las posibilidades de crecimiento	23
3.3. LAS CONDICIONES PARA UNA ECONOMÍA CIRCULAR EFICIENTE	25
3.4. POSIBILIDADES DE INTERVENCIÓN PÚBLICA	27
3.4.1. La disminución óptima del uso del recurso no renovable en el modelo Schumpeteriano	28
3.4.2. La posibilidad de evitar el agotamiento del recurso	32
CAPÍTULO 4. CAPACIDAD DEL MODELO	34
4.1. LIMITACIONES DEL MODELO	34
4.2. EXPANSIÓN DEL MODELO	34
CONCLUSIONES	36
BIBLIOGRAFÍA	37

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN A LA ECONOMÍA CIRCULAR

El ser humano ha actuado hasta ahora como si fuera el dueño de la naturaleza. El sistema de producción actual no está diseñado para conservar, lo está mayoritariamente solo para explotar sin pensar en el futuro. Cada vez se hace más evidente que no se puede vivir de espaldas a la naturaleza. Solo tenemos un hogar y esa actitud egoísta lo está destruyendo.

Pero ... ¿cómo revertir este proceso de destrucción? El sistema de producción vigente contamina la atmosfera y la tierra, consume recursos no renovables cada vez en mayor medida, para después almacenarlos convenientemente en vertederos en los que es imposible su reciclado. Al mismo tiempo, la contaminación cubre las ciudades de todo el mundo y contribuye a la destrucción de la capa de ozono.

¿Qué agente maligno contamina nuestros ríos y envenena nuestro entorno? Hay quien pensará que ese agente es el capitalismo o el consumismo, ... pero se equivoca. El problema es más concreto, se encuentra en la economía lineal. El modelo de producción lineal actual que consiste en extraer-refinar-fabricar-ensamblar-obtener el producto final y convertirlo en residuo es el culpable. En un planeta con recursos limitados no se puede mantener por mucho más tiempo este modelo.

Podría parecer que la única solución es consumir menos. Algunos piensan que sacrificando nuestro consumo salvaremos el planeta. Esta idea es la que defienden los teóricos del decrecimiento. Pero las empresas y el consumidor medio no están dispuestos a dejar de consumir. Si a la vez también se preocupan por el planeta, la solución al problema podría ser la ecoeficiencia.

La ecoeficiencia (utilizar de forma eficiente los recursos y las energías fósiles reduciendo su consumo por unidad producida) es la solución por la que más se inclinan las empresas y los gobiernos para preservar el medio ambiente. Pero no es una solución sostenible. Es simplemente un sistema “menos malo”, como califica Michael Braungart (2002) a este planteamiento. Centrarse en la ecoeficiencia es retrasar lo inevitable ya que, si solo consumimos menos e infra-reciclamos, los materiales no renovables se acabarán agotando.

Parece ser que ninguna de las dos opciones es válida, ya que la sociedad no aceptaría la idea de decrecer y la ecoeficiencia solo conseguiría reducir algo la contaminación con un retraso de lo inevitable. Entonces,... ¿cuál es la solución?

La Economía Circular es un nuevo enfoque de pensamiento que plantea la sustitución del modelo lineal de producción y consumo actual por uno circular que sea aún más respetuoso con el medio ambiente que el derivado de la ecoeficiencia. Consiste en un cambio profundo de mentalidad que está dirigido a transformar la manera en la que consumimos y producimos sin que tengamos que soportar por ello la desutilidad de sentirnos responsables por la degradación de los recursos naturales y el medio ambiente.

La Fundación Ellen MacArthur, que es la principal institución que respaldó el origen de la Economía Circular, la describe como:

“Una economía (...) que es restaurativa y regenerativa a propósito y que trata de que los productos, componentes y materias mantengan su utilidad y valor máximo en todo momento, distinguiendo entre ciclos técnicos y biológicos”.

1.1. PRINCIPIOS DE LA ECONOMÍA CIRCULAR

La Fundación Ellen MacArthur (2015, p.7) enumera de este modo los principios que rigen esta nueva corriente de pensamiento:

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

Este principio sienta las bases para la dinámica del modelo. Incide en la desmaterialización y la forma de actuación para cumplir el objetivo. Tanto la forma de actuar que implica como la desmaterialización de la utilidad se explicarán detenidamente en el apartado dedicado a IMP (Intelligent Material Pooling).

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 principio incide en la importancia de los ciclos de los materiales. Para entender este principio hay que introducir los ciclos técnicos y biológicos (basándose en las ideas de la Cuna a la Cuna).

El ciclo técnico consiste en la gestión de reservas de materias finitas. Debe introducirse la noción de nutriente técnico para explicar el ciclo técnico. Un nutriente técnico es aquel material utilizado en la tecnosfera que se puede recuperar para nuevos usos sin que pierda calidad. El ciclo técnico recupera todos los nutrientes técnicos que sea posibles para su reutilización.

El ciclo biológico comprende los flujos de materias renovables. La biosfera es la única que puede consumir. Productos como los envases pueden diseñarse para ser biodegradables y así volver al ciclo biológico no solo sin perjudicarlo sino para que alimente al ciclo biológico.

Todos los materiales usados en la economía estarán dentro de uno de estos dos ciclos. No se pueden introducir materiales de un ciclo en el otro, ya que empeoraría la calidad de los materiales y dificultará su reutilización. Pero existen un tipo de materiales que no pueden ser incorporados a ninguno de los ciclos: los “invendibles”. Son productos tóxicos que deben ser apartados hasta que se desarrollen nuevos procesos para su reutilización o su devolución al ciclo biológico sin perjudicarlo.

“Con el diseño apropiado, todos los productos y materiales manufacturados por la industria podrían alimentar de forma segura a ambos metabolismos, aportando los nutrientes para algo nuevo” Braungart (2002, p.38)

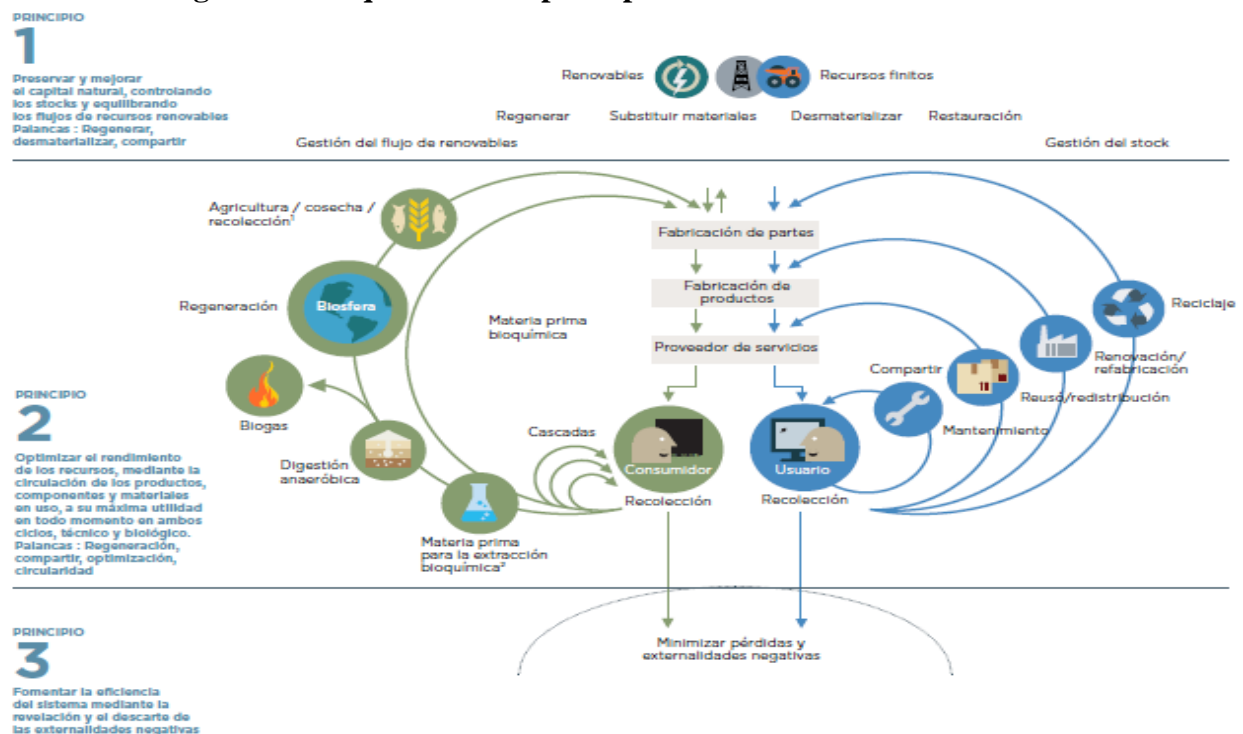
En la economía circular no existe el concepto de residuo, todos los materiales pueden ser devueltos a alguno de los ciclos gracias a un diseño orientado a este propósito.

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

Este principio consiste en la reducción de externalidades negativas de las actividades productivas.

Existen características fundamentales que no se reflejan en los principios. La economía circular intenta imitar a la naturaleza. Fijándose en los sistemas naturales se esfuerza por imitarlos. La economía circular aboga por el fomento de la diversidad, ya que hace el sistema más sólido y ayuda a consolidar las resiliencias. Un pilar de la economía circular son las energías renovables porque son imprescindibles para reducir la necesidad de recursos y fortalecer las resiliencias de los sistemas. La figura 1 representa la manera en la que se integran los principios y los conceptos presentados.

Figura 1.1. Esquema de los principios de la Economía circular



1.2. CONCEPTOS BÁSICOS DE LA ECONOMÍA CIRCULAR

En este apartado se presentan dos conceptos básicos en la economía circular: la ecoefectividad y las ideas de creación de valor y ahorro de costes en todo el proceso productivo, pero especialmente en los materiales no renovables.

- **Eco-efectividad**

Antes he aludido a la incapacidad de la ecoeficiencia para solucionar el problema ambiental. Braungart (2002) plantea como solución la eco efectividad. La eco-efectividad es definida por sus creadores como “Eco-effectiveness moves beyond zero emission approaches by focusing on the development of products and industrial systems that maintain or enhance the quality and productivity of materials through subsequent life cycles” (Braungart, McDonough y Bollinger, 2006, p.1). Como se ve, no solo da por hecho las emisiones cero sino que enfatiza la productividad de los materiales a lo largo de su ciclo vital.

La eco-efectividad es el pilar de la rama de la teoría de la EC llamada *de la cuna a la cuna* creada por Braungart y McDonough. Se denomina a esta teoría de la cuna a la cuna ya que busca lograr que los ciclos técnico y biológico devuelvan los materiales a su origen en forma de nutrientes técnicos, para el ciclo técnico, o devolviéndolos a la biosfera, en el caso del ciclo biológico.

Este trabajo se basa principalmente en las ideas de esta rama de la EC, debido a que considero que es la que mayor aplicación puede tener en la economía. La eco-efectividad tiende a cerrar el círculo al mejorar la dinámica de los metabolismos técnico y biológico. Lo consigue a través de los procesos explicados en este capítulo como la creación de nutrientes técnicos, el fortalecimiento de los ciclos y el ecodiseño. El eco diseño es un nuevo enfoque de diseño que consiste en elaborar los productos para que al finalizar su vida útil puedan extraerse de ellos los materiales de los productos.

- **Creación de valor y ahorro de costes**

Mediante la aplicación de los procesos que se indican a continuación la economía circular es capaz de crear valor y ahorrar más que la economía lineal. Se resumen las ideas expuestas en MacArthur (2015, p.9) al respecto.

Circulo interior. Este proceso de creación de valor consiste en reutilizar los productos todo lo posible y devolverlos al productor cuando se agote su vida útil, siendo el círculo lo más estrecho posible. Con círculo lo más estrecho posible me refiero a que, en la medida de lo posible, se preserve el valor del producto reparándolo. Si esto no fuera posible, se podría reutilizar los componentes del producto, lo cual guarda más valor que el mero reciclaje.

Circular más tiempo. Cuantas más veces circule el producto por el círculo interior mayor valor generará y más ahorro de costes y material supondrá.

Uso en cascada. Para los materiales del ciclo biológico un uso eco-efectivo podría ser pasar por diferentes usos antes de volver a la biosfera.

Poder de los insumos puros. Un material puro y no contaminante tendrá una productividad mayor que otro sin esas características. Su productividad es mayor debido a que la eficiencia de su recogida y redistribución son mayores. Además, mantendrá la calidad y no se infra-reciclará.

1.3. ECONOMÍA CIRCULAR EN EUROPA

Los dirigentes europeos se han convencido de la importancia de la economía circular. En diciembre del 2015 la Comisión Europea aprobó un paquete de medidas muy ambiciosos para que el modelo de producción europeo cierre el círculo. El paquete de medidas incluye propuestas legislativas, lucha contra la obsolescencia programada, transformación de la producción, creación de empleo y fijación de objetivos muy ambiciosos: objetivo común para el reciclado de residuos municipales del 65 % de aquí a 2030, o el objetivo vinculante de reducción de la eliminación en vertedero a un máximo del 10 % de todos los residuos de aquí a 2030.

Este paquete de medidas cuenta con el apoyo financiero de 6.150 millones de los Fondos Estructurales para la gestión de residuos, de inversiones en la economía circular a nivel nacional y del programa Horizonte 2020. Que este programa tenga tal apoyo económico demuestra la implicación e interés que ha despertado la economía circular en Europa.

A continuación, expondré los diferentes resultados que ha obtenido la Fundación Ellen MacArthur en sus estudios sobre la posible implantación de un modelo circular en Europa y los efectos que tendrá en nuestra economía. Este estudio se ha centrado en los sectores de movilidad, alimentación y construcción.

Existen incentivos para implantar este modelo en Europa. Actualmente solo se recupera en el reciclaje el 5% del valor original de las materias primas según la Fundación Ellen MacArthur. Si se implantara el modelo de economía circular, en el cual se crea valor devolviendo los materiales a la cadena de producción, la fundación estima que el PIB europeo sería para 2030 un 11% mayor que la predicción hecha para el modelo lineal. Esta diferencia se produciría por el aumento de las actividades circulares y el ahorro que supondría la mejor utilización de los inputs en la producción. Para los sectores analizados con la implantación del modelo circular se podrían reducir en 2030 a la mitad las emisiones de dióxido de carbono y en un 32% las materias primas consumidas.

Los efectos producidos en el empleo serían los siguientes (MacArthur2015, p.36). La implantación de un modelo circular tendrá efectos positivos directos sobre el sector del reciclado ya que, como es obvio, será necesario un mayor peso de este sector para completar el ciclo técnico. Sobre el sector de manufacturación tendrá efectos positivos directos debido a la creación de puestos de trabajo para la mejora, reparación y re-manufacturación y negativos por la reducción de producción de nuevas manufacturas porque no será necesario producir tantas nuevas manufacturas como con el modelo lineal. El efecto neto sobre el sector manufacturero se estima que es positivo en la mayoría de los sectores. La implantación del modelo circular tendrá efectos negativos sobre el empleo en sectores de obtención de materias primas ya que la demanda de estas caerá. También tendrá un efecto positivo las nuevas eco-innovaciones, que crearan nuevos puestos de trabajo.

1.4. ECONOMÍA CIRCULAR EN ARAGÓN

1.4.1. Economía Circular en la comunidad autónoma

En Aragón el único estudio serio realizado hasta la fecha sobre Economía Circular en Aragón es el informe *“Nivel de implantación de la economía circular en Aragón”* del CESA (Consejo Económico y Social de Aragón), publicado en 2017.

Este estudio consiste en una encuesta a diferentes sectores de la sociedad aragonesa referente a las prácticas y grados de implantación de la EC. El estudio obtiene conclusiones referidas a tres sectores de la sociedad aragonesa (administración, sociedad y empresas). A continuación se presentan los principales resultados del estudio.

La Administración de la CA de Aragón tiene la capacidad de legislar en este campo por la competencia exclusiva que le otorga el artículo 22 del capítulo V del estatuto aragonés, por lo que podría impulsar su implantación. El problema es que no cuenta con los recursos suficientes para desarrollar este fin. Otro problema para que la Administración sea un motor de la EC es la multicompetencia, ya que no queda bien definido quien tiene que dar el primer paso para legislar. Por lo expuesto, el estudio recomienda que la Administración tenga un papel mediador y regulador de la EC. El estudio concluye que en estadios superiores de implantación de la EC la administración jugara un papel clave.

En lo referente a los consumidores, aunque la preocupación medioambiental existe, la EC no es algo conocido entre ellos. El estudio resalta la importancia de la formación para que los consumidores valoren y diferencien los productos producidos respetando los principios de la EC.

Solo un 14% de las empresas de Aragón han introducido en alguna medida los principios de la EC según el estudio. El empresario aragonés está más interesado en la valoración de los residuos y en el eco-diseño que en la creación de un EIG (Ecosistema Industrial General). La valorización de los residuos y el eco-diseño son aspectos básicos de la EC que por sí solos no son capaces de cerrar el círculo y no pueden generar tanto beneficio para el empresario como una implantación total de la EC.

El estudio concluye diciendo que *“el grado de penetración de los principios de EC en Aragón es limitado y esta economía se encuentra en una fase incipiente de implantación. No obstante, es opinión mayoritaria de los expertos que su penetración a nivel regional irá en aumento paulatinamente haciéndose efectivas las principales actividades que la EC contempla en el medio y largo plazo”* (ESA ,2017, p. 25).

1.4.2 Economía Circular en Zaragoza

El ayuntamiento de Zaragoza tiene la intención de convertir el municipio en una ciudad más sostenible y para conseguir este objetivo quiere utilizar la EC. El proyecto CIERZO (Circular Economy Regenerating Zaragoza through social empowerment) es una iniciativa del

ayuntamiento para recuperar dos espacios de la ciudad y utilizarlos para desarrollar la EC en Zaragoza. Aunque el proyecto no se llevara a cabo en el corto plazo debido a que no se ha obtenido financiación europea, la iniciativa se podrá llevar a cabo con nuevas vías de financiación en el futuro.

En la antigua fábrica de Giesa se pretende instalar el centro innovador en materia de reutilización de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (AEE's). Un espacio para la investigación y la formación. También existe la intención de que este espacio albergue proyectos punteros como el desarrollo de una máquina para el uso en cascada del algodón, es decir, darle un nuevo uso al algodón de las camisetas como material de construcción.

En la Casa del Director de La Azucarera se pretende instalar el Centro para la Innovación Social en Economía Circular (CISEC) que será el coordinador de todos los miembros del proyecto entre otras funciones.

En un escenario futuro en el que este proyecto CIERZO se lleve a cabo, el CISEC podría ser el mediador para formar un sistema de simbiosis industrial. En el estudio del CESA se determina que en las empresas hay un cierto interés en la creación de un mercado de materias primas secundarias (recicladas). El mercado de materias primas secundarias es la característica más importante de la simbiosis industrial y es el siguiente paso en la transición hacia la EC de la valoración de los residuos comentada en el apartado anterior. El gobierno de Aragón sería el encargado de fijar las normas de funcionamiento de este mercado.

Zaragoza tiene un alto potencial para desarrollar la economía circular por el número de empresas interesadas y por la cantidad de espacios que podrían ponerse al servicio de la EC. El mejor ejemplo es el Parque Tecnológico del Reciclado López Soriano (o PTR López Soriano) situado en la Cartuja. Este polígono podría considerarse un EIG en potencia debido a que tiene el espacio y las infraestructuras necesarias. Además, muchas de las empresas instaladas en este polígono industrial se dedican a la recuperación y reciclado de materiales como Reciclaje Aragonés de Aparatos Eléctricos y Electrónicos, S.L. (RAAEE).

CAPÍTULO 2. TRANSICIÓN HACIA UNA PRODUCCIÓN CIRCULAR

Para conseguir una economía circular necesitamos un nuevo modelo empresarial. Ese nuevo modelo es un ecosistema industrial que alberga los principios de la economía circular. Es interesante ver que, si este sistema funciona a pequeña escala, puede ser aplicado en todo el mundo si es adaptado a las características de cualquier región. En este capítulo expondré los principios que sigue un ecosistema industrial y mi interpretación del mismo.

2.1. IMITAR A LOS SISTEMAS NATURALES

“La economía humana solo será sostenible cuando imite a la naturaleza” Bermejo (2011,p.113)

Existe una corriente de pensamiento dentro de la Economía Circular llamada Biomímesis que fue desarrollada por Janine Benyus. La Biomímesis tiene como principio fijarse en la naturaleza e imitarla. Mucha literatura de la Economía Circular trata esta idea implícitamente. A la hora de diseñar un sistema socioeconómico debería asemejarse lo máximo posible a un sistema natural, por lo que debería seguir sus mismos principios.

Roberto Bermejo resume así los principios abióticos que debe seguir un sistema socioeconómico *“cierre de los flujos de los materiales, captar la energía solar y mantener las constantes fisicoquímicas del planeta”* Bermejo (2011, p.113). Los principios bióticos que debe seguir un sistema socioeconómico son *“evolución, diversidad, autosuficiencia, descentralización, jerarquía natural y predominio de la cooperación”* Bermejo (2011, p.113). Estos principios están implícitos en todo el desarrollo posterior de este capítulo.

2.2 ECOSISTEMAS INDUSTRIALES

Partiendo de las ideas anteriores se forman los ecosistemas industriales. Estos ecosistemas están formados por diferentes empresas con fuertes sinergias entre ellas. Frosch y Gallopoulos (1989) fue una publicación pionera en la Ecología industrial definiendo las bases para su posterior desarrollo. Definen de esta manera un ecosistema industrial “ *el consumo de energía y materiales es optimizado y los subproductos de un proceso [...] sirven como las materias primas para otro proceso* “. Sostienen que la creación de este sistema optimizará el uso de materiales y energía. Los residuos generados serán mínimos debido al carácter cerrado del proceso.

Existen diferentes tipos de ecosistemas industriales, pero en este trabajo me voy a centrar en los ecosistemas de empresas de diferentes sectores y urbanos. El motivo de esta elección es que voy a intentar esbozar en este trabajo los requisitos que debería tener un ecosistema industrial de forma general. Esto no quiere decir que sea un protocolo que no necesita ser modificado y de implantación universal, ya que cada región tiene unas características concretas y será necesario modificar el modelo para cada una de ellas (Concepción del diseño universal de Braungart (2002)).

A continuación, expongo los diferentes tipos de organización que puede tener un ecosistema industrial y en los cuales me he apoyado para crear mi modelo.

2.2.1. Simbiosis industrial

“La simbiosis industrial (SI) es un método que promueve el establecimiento de sinergias entre industrias de manera que se produce una interrelación beneficiosa para las industrias involucradas” Cervantes (2011, p.62)

Existen tres tipos de sinergias:

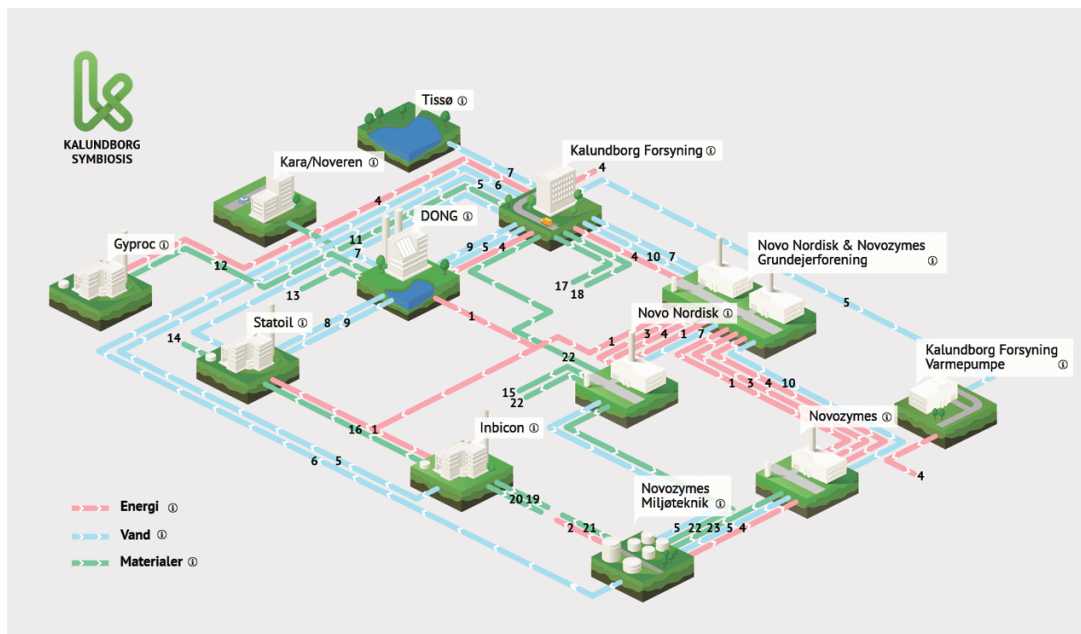
1º Intercambio de subproductos y residuos para que sean los inputs de otra empresa, tales como energía, agua y materiales.

2º Compartir infraestructuras (de reciclaje o de producción eléctrica, por ejemplo).

3º Compartir servicios comunes como el transporte.

Se pueden establecer relaciones entre las empresas muy beneficiosas entre las partes. Los residuos producidos por una empresa pueden ser el input de otra. El ejemplo más notable de ecosistema industrial que utiliza el método de la simbiosis industrial de mayor medida es el parque industrial de Kalundborg en Dinamarca.

Figura 2.1. Esquema del parque industrial de Kalundborg



Fuente: www.symbiosis.dk

Kalundborg no fue diseñado, tuvo una generación espontánea y progresiva por la favorable interacción de las empresas del entorno. Como podemos ver en la figura 2.1 este parque industrial tiene un ciclo cerrado de materiales en la medida de lo posible y genera sinergias rentables entre empresas de diferentes sectores. En este parque existe una planta química productora de insulina que envía los residuos de su producción a otra industria química. Una fábrica de cerveza envía la cebada resultante de su proceso a una granja para la alimentación del ganado. La planta eléctrica intercambia vapor y agua con diferentes industrias en un circuito cerrado de tuberías para aprovechar la temperatura del fluido en diferentes etapas de producción.

Estos son algunas de las sinergias rentables que se llevan a cabo en este ecosistema industrial. Es un gran ejemplo de cómo organizándose de una forma diferente y cómo con la ecología en mente se puede llegar a ahorrar energía, materiales y dinero. Pero no es un sistema que siga totalmente los principios de la cuna a cuna. Sigue produciendo residuos. Aunque este parque industrial posee una planta de reciclado, se infra-reciclan los productos que llegan ya que no son nutrientes técnicos (no fueron diseñados para su reciclado). Las sinergias de energías sí que siguen los principios naturales, pero los de los materiales no. Otro problema que se plantea es la generalización de este caso. Es claframente imposible, ya que Kalundborg tiene interacciones complejas y muy concretas, es decir, aunque existan empresas de diferentes sectores estas se compenentran perfectamente debido a que suplen sus necesidades específicas. Si buscamos un sistema industrial general la simbiosis puede ser el camino, pero no el resultado final. Así que para cerrar el círculo totalmente necesitamos otro sistema que se adecúe mejor a los principios naturales. Este es el IMP.

2.2.2 IMP (Intelligent Materials Polling) (fondo común inteligente de materiales)

“Intelligent Materials Pooling (IMP) is a collaborative, business-to-business approach to managing the industrial metabolism” MBCD (2002, p.1). IMP es un protocolo elaborado por Michael Braungart para la creación de ecosistemas industriales en el que las empresas actúan como un oligopolio de demanda. Consiste en la aplicación de las ideas de la cuna a la cuna en el ámbito industrial. Mi idea de ecosistema industrial está basada en este protocolo.

Los pasos que propone Braungart para la creación de un ecosistema industrial son los siguientes:

Phase 1: Creating Community

- *Identify shared values: Cradle to Cradle Design, eliminating the concept of waste*
- *Identify willing industrial partners*
- *Target specific toxic chemicals for replacement*

Phase 2: Utilizing Market Strength

- *Share list of materials targeted for reduction and elimination*
- *Develop a positive purchasing and procurement list of preferred intelligent chemicals*

Phase 3: Defining Material Flows

- *Specify for and design with preferred materials*
- *Define use periods for products and services*

- *Create a materials bank*
- *Design a technical metabolism for preferred materials*

Phase 4: Ongoing Support

- *Create preferred business partner agreements among members*
- *Share information gained from material use and research*
- *Develop co-branding strategies*
- *Support the mechanisms of the technical metabolism*

Las primeras etapas para la creación de esta comunidad, según Braungart, son la búsqueda de industrias dispuesta a colaborar y la eliminación del concepto de residuo. Otra parte fundamental es la elaboración de una lista de materiales tóxicos o de difícil reciclado que se deben eliminar de todos los procesos productivos y ser sustituidos por otros que sean de reciclado más fácil y a poder ser renovables. Las siguientes etapas se centran en entablar las relaciones y acuerdos comerciales de las partes, la creación del banco de materiales, el diseño de los productos acorde a la lista de materiales realizada y un eco diseño para facilitar el funcionamiento del sistema.

Este enfoque sienta las bases para la creación del ecosistema industrial, pero necesitamos profundizar en ciertos aspectos para definir con mayor precisión su funcionamiento.

-Banco de Materiales: El banco de materiales es el centro de todo el ecosistema, es el que suministra casi todos los nutrientes técnicos a las empresas. El banco de materiales tiene la propiedad de todos los materiales usados en la producción.

El Banco no vende los materiales sino que los alquila a las empresas y estas lo devuelven al banco cuando la re-manufacturación del material incluido en la producción ya no es posible. El precio del alquiler es el coste que ha tenido que soportar el banco para obtener ese material y su posterior coste de reciclaje. Por esto mismo las empresas están incentivadas a utilizar el eco-diseño en sus productos para reducir su coste de inputs (fácil desmontaje, diseño modular, materiales fácilmente reciclables ...).

Por lo tanto, el Banco de Materiales es gestor y procesador de los nuevos nutrientes técnicos que entran al parque industrial. Dependiendo de las necesidades de las empresas estos nuevos materiales se pueden obtener del reciclado de industrias cercanas o de los residuos del

municipio cercano o simplemente comprarlos. Pero el fin último de todo este proceso es cerrar el círculo de los materiales para que suponga un ahorro para las empresas debido a que los costes se reducen significativamente.

-SPS orientado por el resultado (SPS-OR): Es necesario tender hacia la desmaterialización de la utilidad. Cambiar la concepción de propiedad y reformar el concepto de alquiler. La SPS-OR consiste en que *“Los empresarios retienen la propiedad del producto, pero lo ofrecen en alquiler a sus clientes junto con servicios asociados”* Bermejo (2011, p.385). La idea del SPS orientado por el resultado es que la empresa no pierda la propiedad de la manufactura ya que le interesa que al finalizar la vida útil del producto pueda recuperarlo para poder reutilizar sus partes, re-manufacturarlas o bien devolver los materiales al Banco de Materiales para que vuelvan a ser nutrientes técnicos que se puedan utilizar en otra manufactura.

La empresa no vende su producto sino paquetes de servicios asociados al mismo, derechos de uso incluido. La empresa puede ofrecer una atención muy personal fidelizando a su clientela. *“A los productores les supone ahorro de recursos, más servicios y más valor añadido”* Bermejo (2011, p. 386). El mayor valor añadido se produce debido a que es posible ampliar en cualquier momento los servicios que la empresa da al cliente. La interacción actual entre cliente y empresa se reduce a la transacción, con el SPS-OR se alarga en el tiempo mejorando comunicación con el cliente por lo que se podría llegar a modificar el diseño de sus productos para ajustarse mejor a las preferencias de sus clientes.

Otra ventaja reseñable de este modelo de negocio es que si la empresa parte de un diseño modular puede actualizar el producto en destino si el cliente lo desea y así ampliar la vida útil del producto. En este proceso se ve la importancia del eco-diseño ya que los ahorros en costes se producen por la facilidad de la obtención de los nutrientes técnicos de la manufactura ya que fueron diseñados para ese propósito.

2.3. PROBLEMAS EN EL DESARROLLO DE LA ECONOMÍA CIRCULAR

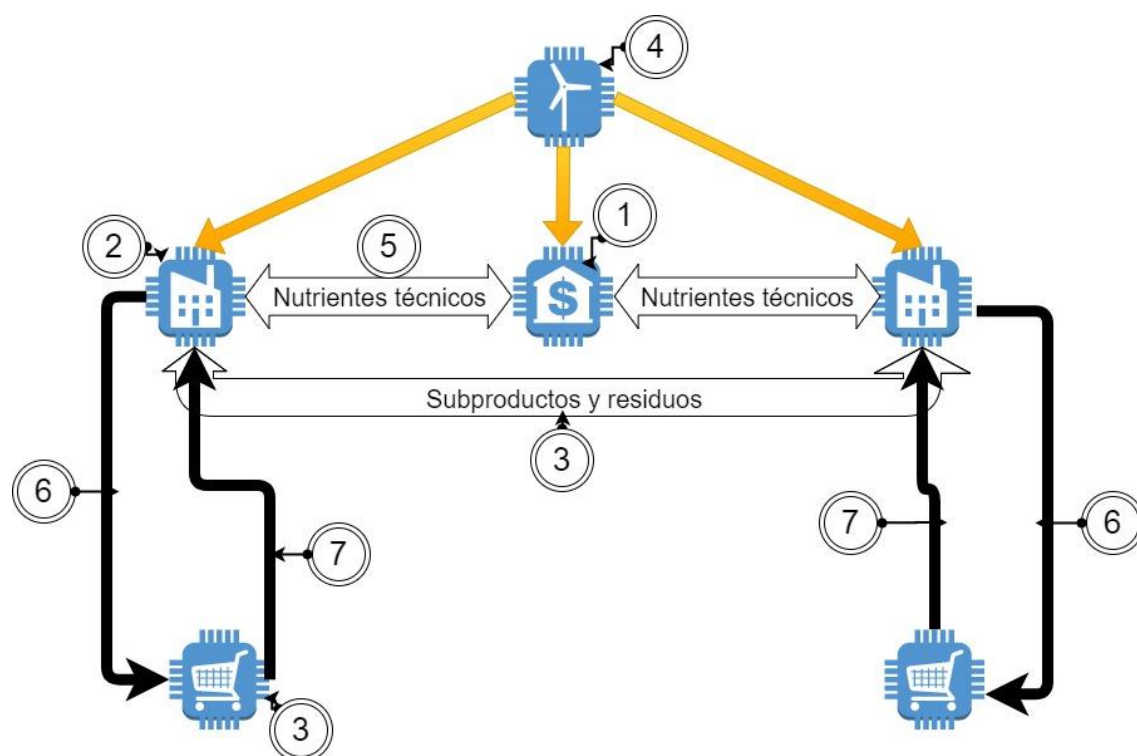
Mi aportación a este campo es la combinación de las ideas de la simbiosis industrial y las del IMP para esbozar un ecosistema industrial que pueda ir modificando su funcionamiento en

función de las innovaciones relativas a los materiales. Esta modificación es necesaria debido a que piezas básicas del IMP como el SPS-OR, el eco-diseño y la creación de nutrientes técnicos necesitan de un proceso de innovación y adaptación que requieren tiempo y recursos. Por lo tanto, sería lógico pensar en un sistema que se apoye en la simbiosis industrial y que se fuera sustituyendo por el sistema IMP cuando se desarrollaren las condiciones necesarias para aplicarlo. Este proceso de transición de simbiosis industrial hacia el IMP solo se produciría en lo que concierne a los subproductos y residuos del ciclo técnico ya que las demás sinergias de la simbiosis industrial son comunes a las del IMP.

2.4. PROPUESTAS DE UN ECOSISTEMA INDUSTRIAL GENERAL (EIG)

La figura 2.2 representa la idea propia del autor de este TFG sobre la estructura que debería seguir un ecosistema industrial tipo en el escenario en el que no existan todos nutrientes técnicos necesarios para la producción en el momento de la constitución del parque industrial.

Figura 2.3. Esquema del EIG



Fuente: Elaboración propia

El 1º se refiere al Banco de materiales. Se podría decir que es el corazón del EIG debido a que en un EIG maduro todos los materiales necesarios para la producción pasarían por él. El banco de materiales tiene la función de acumulación de los nutrientes técnicos, si los nutrientes técnicos llegan al banco sin ser tratados el banco deberá separarlos o recuperarlos de la manufactura. Por lo tanto, dentro del banco de materiales debe existir una planta de tratamiento de los materiales para obtener nuevamente los nutrientes técnicos y que se puedan utilizar en otra manufactura (por ejemplo, una lavadora estropeada eco-diseñada que llega al banco debe ser desmontada para obtener todos sus nutrientes técnicos).

El punto 2º representa una empresa tipo, el diagrama solo contiene dos empresas para ayudar a la simplicidad en la explicación de las sinergias, pero un EIG puede contener muchas más como se puede ver en el caso de Kalundborg.

El punto 3º se refiere a las sinergias rentables que existen entre empresas en un EIG poco desarrollado. Solo se produciría en un EIG poco desarrollado debido a que estas sinergias consisten en intercambiar residuos y subproductos (conceptos que no existen en un EIG desarrollado que sigue el protocolo IMP). La mejora del EIG se producirá cuando sea posible eliminar el concepto de residuo y que gracias a la innovación y al protocolo IMP se elimine y se sustituya el residuo por un nutriente técnico. En cuanto este proceso se produzca las sinergias rentables entre empresas irán minorando en contraprestación del aumento de la interacción con el banco de materiales (5º).

El cuarto punto representa un parque de generación de energía renovable. Es obvio que si intentamos cerrar el círculo el EIG no se puede abastecer de energías no renovables. Por lo tanto, es necesario estudiar la viabilidad de la creación de un parque fotovoltaico o eólico variando la potencia instalada del mismo dependiendo de las necesidades energéticas del EIG.

Los puntos sexto y séptimo se refieren al SPS orientado al producto que se explica en el capítulo 2 de este trabajo.

Por todo lo expuesto en este capítulo existe un requisito que no ha sido mencionado con anterioridad, el requisito de la cercanía entre empresas. Para un EIG la situación ideal es que las empresas se encuentren en el mismo polígono industrial, pero es posible que esto no sea posible. En un escenario más realista las empresas no se encontrarán en el mismo polígono industrial por lo que no se podrán aplicar todos los aspectos del EIG dependiendo de la distancia a la que se encuentren. Por ejemplo, las sinergias rentables de intercambio de materiales dependerán de la distancia y del valor añadido de los materiales intercambiados: el aluminio podrá recorrer más distancia continuando siendo rentable que el abono.

CAPÍTULO 3. ECONOMÍA CIRCULAR Y CRECIMIENTO SCHUMPETERIANO CON UN RECURSO NATURAL NO RENOVABLE

De todo lo que se ha explicado anteriormente se puede deducir que la distancia entre la idea de Economía Circular y la realidad es grande. Siendo esto cierto, aún es mayor la distancia existente entre las explicaciones de las consecuencias de la misma que se dan y los modelos para justificar estas explicaciones. Prácticamente no hay modelos en los que se puedan integrar las ideas de la EC. Por ello se aporta una extensión de un modelo de crecimiento con recursos no renovables consistente en la adición de la actividad del reciclado, tratando de comprobar la mejora que la Economía Circular aporta en relación con la Economía Lineal.

El modelo macroeconómico explicado a continuación es un intento de sintetizar las dinámicas que se pueden producir en una economía con un estadio de desarrollo de la EC bajo. Es decir, no se aplicarán todas las ideas explicadas en el capítulo anterior por complejidad técnica (razones explicadas en el capítulo 2.3). Con este modelo pretendo resaltar de forma teórica los beneficios que puede obtener la economía si recicla los recursos. Es un primer esbozo de lo que podría ser un modelo macroeconómico que explicaría el comportamiento de una EC.

3.1. MODELO DE ECONOMÍA CIRCULAR CON CRECIMIENTO SCHUMPETERIANO

En contraste con el modelo AK de un sector, en el que no es posible el crecimiento indefinido cuando se usa de manera esencial un recurso no renovable, el crecimiento puede ser sostenido en un modelo schumpeteriano con innovaciones según se prueba en Aghion y Howitt (2009). La idea básica es que en un mundo de esas características se puede concebir el progreso técnico como algo distinto de la acumulación de capital físico. Y más aún las innovaciones que son eco-eficientes en comparación con la acumulación de capital.

Todavía se puede dar un paso más si se crea un contexto de economía circular, o simbiosis industrial, en definitiva si se introducen actividades de reciclaje capaces de recuperar parte del recurso no renovable utilizado. En concreto, se puede demostrar que

es posible crecer más que sin reciclaje y que se puede disminuir el ritmo al que se va disminuyendo el uso del recurso. Incluso se pueden llegar a determinar las condiciones para crecer más que sin la influencia del recurso no renovable sin llegar al estadio al que los materiales sean nutrientes técnicos.

Más formalmente, se supone que la economía está poblada por un continuo de masa $M = 1$ de individuos que viven un periodo, cada uno de los cuales está dotado de una unidad de trabajo que puede asignar entre la producción de manufacturas y las actividades de investigación. Sólo hay un input intermedio. El output final se produce de acuerdo con la función de producción:

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

donde L es el flujo de trabajo empleado en la producción (trabajo en la manufactura), A_x y x denotan, respectivamente, la productividad y la cantidad de input intermedio y R_1 denota el flujo corriente de recurso extraído y el flujo obtenido del reciclaje, respectivamente, de manera que el stock de recursos naturales evoluciona con el tiempo de acuerdo con la relación:

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

Por otra parte, la función de producción del reciclaje tiene la forma:

$$R_2 = \frac{A_R}{\eta} x$$

La cantidad del recurso no renovable obtenido de la actividad de reciclaje es una fracción η del total producido del bien intermedio, que puede mejorarse con un índice de productividad A_R . De esta manera, la función de producción es lineal en el consumo de bienes intermedios y en A_R es el indicador de productividad. El trabajo se puede usar o bien en la manufactura del bien final (L) o en la investigación para producir innovaciones en el uso de x (n) o en el reciclaje (m); así, el equilibrio del mercado de trabajo requiere que:

$$L+n+m=1$$

El productor de cada bien intermedio utiliza bien final uno por uno para producir el bien intermedio. Tomando el bien final como numerario, y suponiendo que el sector del bien final

es competitivo, el productor del bien intermedio puede vender su producto al sector del bien final al precio:

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

En consecuencia, elegirá la producción que maximiza su beneficio resolviendo:

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

que lleva a:

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

lo que a su vez proporciona, tras sustituir x en la expresión de Y :

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

Ahora supongamos que el gobierno puede imponer que R_1 decrezca en el tiempo a una tasa exponencial, de acuerdo con:

$$\dot{R}_1 = -qR_1$$

con $q > 0$, de manera que S permanezca siempre positivo¹.

3.2. Las posibilidades de crecimiento

¿Puede el crecimiento sostenido mantenerse en este caso? Tomando logaritmos en la función de producción y derivando respecto al tiempo, se tiene que:

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

¹ Más adelante se resuelve el problema del planificador social en el caso de que las preferencias son isoelásticas, y se muestra que la solución óptima supone un valor de q constante.

donde $\frac{\dot{Y}}{Y}$ es la tasa de crecimiento de la producción del bien final, $\frac{\dot{A}_x}{A_x}$ de la productividad del

bien intermedio, $\frac{\dot{R}_1}{R_1}$ del input del recurso no renovable extraído directamente de la naturaleza

y $\frac{\dot{R}_2}{R_2}$ de dicho input reciclado. L debe ser constante en equilibrio estacionario. Esto significa

que en el crecimiento del bien final en el largo plazo no sólo depende de la productividad del bien intermedio. Está sobre todo condicionada por la relación que existe entre las tasas de crecimiento de R_1 y R_2 . Es una combinación lineal convexa entre la tasa de crecimiento de la productividad de x y la suma de las tasas de crecimiento de las dos fuentes de obtención del recurso no renovable. Ya hemos visto que la primera de estas tasas es negativa e igual a $-q$. Por su parte, la tasa de R_2 será:

$$\frac{\dot{R}_2}{R_2} = \frac{\dot{A}_x}{A_x} + \frac{\dot{x}}{x} = \frac{\dot{A}_x}{A_x} + \frac{\dot{Y}}{Y}$$

Por tanto, se puede reescribir la tasa de crecimiento del bien final como:

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

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

De manera que la relación de esta tasa de crecimiento con la correspondiente al modelo sin recurso no renovable depende de la diferencia entre la tasa de crecimiento de la innovación en el sector del reciclaje y la tasa a la que decrece el uso del recurso. Además, para que la contribución de esa diferencia sea positiva debe cumplirse que $\frac{\phi}{1-\alpha}$ sea menor que la unidad.

A partir de aquí todo depende de la relación entre $\frac{\dot{A}_R}{A_R}$ y q . Si el primer término es mayor que el segundo la actividad del reciclaje supondría un crecimiento superior al modelo que no tiene

recurso no renovable ($\frac{\dot{A}_x}{A_x}$) y al del modelo con dicho recurso, pero sin reciclaje ($\frac{\dot{A}_x}{A_x} - q$). La

cuestión importante es ver de lo que depende $\frac{\dot{A}_R}{A_R}$.

3.3. LAS CONDICIONES PARA UNA ECONOMÍA CIRCULAR EFICIENTE

Suponemos que, al igual que el crecimiento de A_x , el crecimiento A_R se produce como consecuencia de las innovaciones y que las innovaciones resultan de la asignación de trabajo a la actividad de $I+D$, de manera que la tasa de crecimiento de la productividad se puede expresar como:

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

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

donde m y n son las cantidades de equilibrio del empleo en $I+D$ para el sector de reciclaje y en el del bien intermedio, γ es el tamaño de las innovaciones que suponemos iguales, y λ es un parámetro de productividad de la actividad de $I+D$ también idéntica en los dos sectores, el de reciclaje y el de la innovación del bien intermedio. Con todo ello, la economía conseguirá y mantendrá de forma sostenida un crecimiento a largo plazo mayor que sin reciclaje y mayor que sin recurso no renovable siempre que se cumplan determinadas condiciones. Lo que hay que ver es qué condiciones debe cumplir el término m . Habrá que determinar las consecuencias de los valores de n y m para ver lo que influye.

Empezamos por ver cuál será la cantidad óptima de R_2 :

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

Eligiendo la producción que maximiza su beneficio:

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

se obtiene tras resolver que:

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

que a su vez proporciona (tras sustituir R_2 en la expresión de x):

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

De aquí salen las tasas de crecimiento de R_2 y x :

$$g(R_2) = \frac{1-\alpha}{1-\alpha-\phi} g(A_R) + g(A_x) + \frac{\phi}{1-\alpha-\phi} g(R_1) = g(A_R) + g(A_x) + \frac{\phi}{1-\alpha-\phi} (g(A_R) - q)$$

$$g(x) = g(Y) = g(A_x) + \frac{\phi}{1-\alpha-\phi} (g(A_R) - q)$$

Como se ve, y no podría ser de otra manera dada la función de producción, la tasa de crecimiento de R_2 es ña de x más la evolución de A_R . Se $g(A_R)$ es cero, estamos en el caso equivalente a la ausencia de reciclaje. Si A_R es positivo, por pequeño que sea, el crecimiento es mayor que sin reciclaje. Si $g(A_R)$ es mayor que q es crecimiento es mayor que sin la presencia del recurso no renovable.

La tasa de crecimiento de AR es $\lambda m(\gamma - 1)$. Para que sea mayor que cero basta con m sea positivo, esto es, que se dedique algo, por poco que sea, a la innovación en economía circular. Para que compense la caída del recurso y mejore el crecimiento sin recurso no renovable ha de cumplir:

$$\lambda m(\gamma - 1) > q \quad \text{ó} \quad m > \frac{q}{\lambda(\gamma - 1)}$$

Dada la condición de equilibrio en el mercado de trabajo, este resultado es posible si y solo si la parte derecha de la última desigualdad es menor que el total disponible de oferta de trabajo, que suponemos normalizado a la unidad:

$$\frac{q}{\lambda(\gamma-1)} < 1$$

Esta condición es necesaria y suficiente para que exista trabajo suficiente para la actividad de I+D de manera que será posible mejorar el crecimiento sin recurso no renovable. La condición será satisfecha si la productividad de I+D, λ , o el tamaño de la innovación γ son suficientemente altos, o si la tasa de agotamiento q es suficientemente pequeña.

Así, en contraste con el modelo AK en el que el crecimiento sostenido no se puede alcanzar nunca cuando la producción de bien final requiere el uso de un recurso no renovable, el crecimiento no sólo puede ser sostenido en un mundo schumpeteriano donde las innovaciones ahorran en el uso del recurso, sino que si hay reciclaje se puede crecer igual que si no hubiese recurso no renovable o incluso más. Para ello tienen que darse ciertas condiciones.

3.4. POSIBILIDADES DE INTERVENCIÓN PÚBLICA

En el caso de los recursos no renovables hay dos cuestiones de política que han quedado pendientes a la vista del desarrollo llevado a cabo en los apartados anteriores. La primera es que el uso del recurso debe descender a una tasa constante, pero no se ha identificado cuál es esa tasa. Hace falta conocer cuál es el procedimiento por el que se identifica la tasa óptima a la que ha de descender dicho uso. Para ello hay que recurrir al planteamiento del problema del planificador, porque no hay otra forma de identificarla.

La segunda cuestión que ha quedado abierta se refiere a las condiciones que deben cumplirse para que gracias al reciclaje la economía pueda crecer más que sin dicha actividad o incluso sin recurso no renovable. Estas condiciones van a ser requisitos referidos a la cantidad de empleo que debe ser destinado a la innovación en la economía circular.

A estas dos cuestiones vamos a dar respuesta en este apartado. En la primera basta con plantear el problema desde el punto de vista de un planificador. Se debe entender que el

planificador es el gobierno que después ha de encontrar la manera de conseguir que la tasa de disminución del uso del recurso sea la óptima mediante medidas regulatorias. La segunda puede obligar a una intervención gubernamental subvencionando la innovación en la economía circular, esto es, reduciendo sus costes e incentivando una actividad que compensa el descenso en el uso del recurso agotable. Por supuesto que hay muchas más cuestiones que pueden plantearse sobre la relación “crecimiento-recursos no renovables”, pero estas dos son las más inmediatamente derivadas de la problemática planteada previamente.

3.4.1. La disminución óptima del uso del recurso no renovable en el modelo Schumpeteriano

En este apartado se resuelve el problema de un planificador social que elige los valores óptimos de la intensidad de investigación y la tasa de agotamiento de un recurso no renovable, pero deja que las empresas elijan la producción de producto intermedio y economía circular que maximiza el beneficio. Esta solución proporciona una tasa de crecimiento óptimo y una tasa óptima q^* a la cual reducir en el tiempo el flujo R de recurso no renovable extraído para maximizar la utilidad intertemporal del agente representativo

Supongamos que el individuo representativo de la economía tiene preferencias isoelásticas, con utilidad instantánea dada por $u(c) = \frac{c^{1-\sigma} - 1}{1-\sigma}$. El planificador maximizará la utilidad

intertemporal del consumo $(\max \int_0^{\omega} u(c_t) e^{-\rho t} dt)$ sujeta a las siguientes restricciones

(eliminamos el subíndice t de las variables pero hay que suponer que todas están referidas a dicho periodo de tiempo):

1. El consumo final es igual al output final (no hay inversión neta porque los bienes intermedios son gasto corriente de cada periodo y no son PIB):

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

2. Que la productividad evoluciona con el tiempo de acuerdo con la expresión:

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

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

4. Que las reservas S del recurso no renovable se van agotando de acuerdo con:

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

donde $S \geq 0$.

El Hamiltoniano para este problema del planificador se puede expresar como:

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

donde μ_{A_x} , μ_{A_R} y μ_S son las variables de coestado asociadas a las ecuaciones de movimiento de A_x , A_R y S respectivamente. Variables de control: n , m , R_1 y R_2 . Variables de estado: A_x , A_R y S .

Las condiciones de primer orden para la optimización dinámica son:

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

Podemos expresar la primera y segunda condiciones como:

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

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

De donde podemos concluir que $\mu_{A_x}A_x = \mu_{A_R}A_R$.

Luego, tenemos:

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

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

Usando la ecuación anterior, simplemente obtenemos:

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

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

De manera que la cuarta y quinta condición pueden ser reexpresadas como:

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

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

Que suponemos negativas.

La tercera y sexta condiciones son:

$$u'(c)\frac{\phi}{1-\alpha-\phi}\alpha^{\frac{2\alpha(\alpha+\phi)}{1-\alpha-\phi}}\left(\frac{\phi^2 A_R}{\eta(1-\alpha)}\right)^{\frac{\phi}{1-\alpha-\phi}}(1-n-m)A_x R_1^{\frac{\phi}{1-\alpha-\phi}-1}e^{-\rho t} = \mu_s \quad \dot{\mu}_s = 0$$

Que conjuntamente implican, si en la primera tomamos tasas de crecimiento (logaritmos y derivada respecto al tiempo):

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

Si se toman logaritmos y se deriva respecto al tiempo en la primera condición se tiene:

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

Operando en estas dos últimas ecuaciones y teniendo en cuenta que $\frac{\dot{\mu}_{A_x}}{\mu_{A_x}} = -\lambda(1-n)(\gamma-1)$ y

que $\mu_{A_x} A_x = \mu_{AR} A_R$ se tiene que:

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

Que es equivalente a:

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

O lo que es lo mismo:

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

Así el crecimiento óptimo lleva a una tasa constante bien definida a la cual el flujo de recursos debería ser reducido en el tiempo. Esta tasa óptima vemos que es la misma que si se dedicase a innovar el mismo empleo de la manufactura (bien final).

Tienen interés comprobar si con este valor se cumple la condición a la que nos vamos a referir posteriormente para que se evite el agotamiento del recurso. Esta condición es:

$$\frac{q}{\lambda(\gamma-1)} < 1$$

Equivalente a:

$$\frac{q^*}{\lambda(\gamma-1)} = L = (1-n-m) < 1$$

Por lo que se va a cumplir siempre esta segunda condición. La que no va a estar garantizada es la primera que se ha visto en el apartado anterior, esto es, la que se ha de dar para que el crecimiento sea mayor que sin recurso no renovable:

$$\lambda m(\gamma-1) > q^*$$

Ya que requiere:

$$m > (1-n-m) \Rightarrow 2m > (1-n)$$

Si se cumple esta condición se estará siempre en condiciones no sólo de evitar el agotamiento del recurso, sino de que la economía crezca más que sin recurso no renovable.

El problema a resolver en el apartado anterior se plantea si no se cumple esta condición. Obviamente m mide la importancia del esfuerzo realizado en la generación de los incrementos de productividad en el sector de reciclaje para que se consiga un nivel mayor que en la producción de bienes finales e intermedios. Cuanto mayor es este valor más fácil es que se consiga el objetivo.

3.4.2. La posibilidad de evitar el agotamiento del recurso

Con el desarrollo anterior podemos afirmar que si $2m < (1-n)$ se agotará el recurso no renovable. ¿Qué se puede hacer para evitar ese riesgo? Obviamente hay que intentar que se aumente el ritmo de innovación en el sector de economía circular, con lo que habrá que utilizar alguna política que la incentive más que en condiciones normales. Esta política deberá ser una subvención al éxito en la innovación.

La probabilidad de éxito en la innovación es $\mu = \lambda m$, donde m son los recursos destinados a la innovación, en este caso empleo. Supongamos que se paga un subsidio s_x por cada unidad

venta de bien intermedio. Ello significa que el beneficio aumenta en la proporción s_x , o equivalentemente supone para los emprendedores ven incrementada la probabilidad de tener éxito en el factor $1 + s_x$. En consecuencia la tasa de crecimiento de A será:

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

La repercusión que tiene esta subvención sobre la tasa de crecimiento del producto es:

$$g(Y) = g(A_x) + \frac{\phi}{1 - \alpha - \phi} ((1 + s_{A_R})g(A_R) - q^*)$$

Si no se cumple que:

$$2m > (1 - n)$$

La subvención ha de ser suficiente para que:

$$2(1 + s_{A_R})m > (1 - n)$$

que implica que s_x ha de cumplir la condición:

$$s_{A_R} > \frac{(1 - n)}{2m} - 1$$

La subvención a la producción de la economía circular será tanto mayor cuanto mayor sea el exceso del cociente entre $1 - n$ y $2m$ respecto de la unidad. Obviamente, cuanto mayor sea la subvención más fácil será conseguir el objetivo.

CAPÍTULO 4. CAPACIDAD DEL MODELO

4.1. LIMITACIONES DEL MODELO

El modelo expuesto en el capítulo anterior tiene limitaciones y no abarca muchos aspectos que requieren estudio como el empleo, pero en EC no existe ningún modelo macroeconómico en el que se explique su dinámica. Ciertamente existen muchos estudios que intentan predecir los impactos de la economía circular, pero ninguno ha conseguido recoger la dinámica de la EC desde el punto de vista macroeconómico.

Estos estudios reflejan un escenario optimista para una economía que siga los principios de la EC desde un estudio estadístico. Uno de estos trabajos es el de WRAP (2015), el cual se centra en el empleo.

Resalta la capacidad de la EC para generar puestos de trabajo que requieren una formación media, lo cual es necesario en el mercado laboral europeo actual debido al desequilibrio que existe actualmente entre la demanda de trabajo y la cualificación de los trabajadores. Se está destruyendo puesto de trabajo de media cualificación a la vez que se polariza la demanda de trabajo. El estudio plantea en un escenario conservador de desarrollo de la innovación que se crearán 1,2 millones de trabajos en Europa para 2030, de los cuales 250.000 serán netos.

Estos nuevos trabajadores se generarán en actividades de EC (reparación, reciclado de residuos, leasing y servicios de alquiler). En el escenario más optimista la EC podría crear 520.000 empleos netos de forma directa para 2030 en Europa. El estudio resalta la importancia de que el trabajo directo creado por la EC sea de este tipo ya que podría ayudar a los países con mayor desempleo a equilibrar su mercado de trabajo europeo.

4.2. EXPANSIÓN DEL MODELO

En el capítulo 3 podemos ver que el ahorro en la producción se produce por la mejora de la eficiencia del reciclaje, es decir, que es una solución eco-eficiente. Por lo tanto, este modelo no sigue todas las ideas de la EC reflejadas en el apartado 2.4 (Propuesta de un ecosistema industrial general). El modelo planteado solo recoge implícitamente el protocolo de simbiosis industrial. No he sido capaz de modelizar el capítulo 2 por la complejidad que entraña la

interacción de todos los factores y la complejidad de cálculo. En este apartado reflejaré las posibles líneas de mejora del modelo y en las que creo se enfocaran futuros estudios para paliar las deficiencias de mi modelo.

Para que un modelo siga los principios de la EC debe tener, entre otros conceptos, una dinámica de acumulación de materiales. Esta acumulación se produciría por la agregación de los materiales almacenados en los bancos de materiales. Pero si introducimos la noción del banco de materiales necesariamente tenemos que introducir el concepto de nutriente técnico con todos los problemas operativos que eso supone.

Al introducir los nutrientes técnicos en el modelo tendríamos que asignarle un sistema de generación. En función del éxito de este sector de innovación de nutrientes técnicos se iría sustituyendo el reciclaje por nutrientes técnicos. Esta dinámica es la transición de simbiosis industrial a IMP reflejada en el capítulo 2. Por lo tanto, la economía iría acumulando nutrientes técnicos y cerrando el círculo a una velocidad más alta cuanto mayor sea la generación de nutrientes técnicos (éxito en el sector de innovación). Los nutrientes técnicos irán sustituyendo al reciclaje tradicional (R2) y reduciendo la necesidad de extraer recursos nuevos (R1) hasta hacerlos residuales en el modelo.

A continuación, propongo una posible dinámica de acumulación que podría resolver alguno de las deficiencias del modelo:

$$\text{Nutrientes técnicos acumulados en la economía} = \frac{\tau}{\mu} \int_{-\infty}^t (R1) e^{-\delta s} ds$$

τ representa la capacidad de la economía para generar nutrientes técnicos a partir de materias primas, ya que por simplicidad es más fácil generar los nutrientes técnicos a partir de recursos naturales puros que de material reciclado que no siga los principios del eco-diseño y por lo tanto los nutrientes biológicos y técnicos pueden estar mezclados o los nutrientes no se podrán recuperar debido a que los materiales no son puros.

La integral representa la acumulación del nutriente desde el momento de creación de la economía hasta el momento t. El parámetro τ no debería ser constante y depender de la innovación.

CONCLUSIONES

Durante la investigación realizada para elaborar este trabajo no se ha encontrado ningún apoyo sólido de teoría económica. Queda un trabajo de modelización en este campo inabarcable para este trabajo, pero se ha intentado dar un primer paso comprobando que el reciclaje puede ser una variable determinante para el crecimiento sostenido.

Desde el empirismo una transición hacia una economía más circular es posible, hay indicios suficientes para suponer que la EC se desarrollará en el largo plazo de forma generalizada. Las dinámicas de la EC expuestas en este trabajo tienen un gran potencial para producir un mayor crecimiento que el de la economía lineal. En la Unión Europea existe un gran interés por esta nueva economía y se está comenzando a desarrollar. Aragón tiene un gran potencial para beneficiarse de la EC, pero su desarrollo en nuestra comunidad está en ciernes.

La implantación de un modelo circular conllevará una transformación profunda de nuestras economías a todos los niveles. Aunque será necesario un gran esfuerzo en I+D+I y de concienciación para impulsar esta nueva economía, los beneficios de la EC en el largo plazo son evidentes.

La lógica dicta que no se puede seguir produciendo tal y como lo hacemos indefinidamente, la EC es una solución sostenible en el largo plazo para los problemas de despilfarro y contaminación sin perder utilidad.

Existen todavía muchas incógnitas a resolver en la EC, pero *“Nos va a costar todo, y nos va a llevar todo el tiempo, para siempre. Pero es que de eso se trata”* Braungart (2002, p. 178)

BIBLIOGRAFÍA

-Ayuntamiento de Zaragoza (2017) Proyecto Cierzo. Disponible en

https://www.zaragoza.es/ciudad/noticias/detalle_Noticia?id=225281[Consultado 30-08-2017]

- A. Frosch, R y E. Gallopoulos, N. (1989) “Strategies for Manufacturing”, Scientific American 189 (3) 152. Disponible en

http://isfie.onefireplace.com/resources/Documents/Strategies_For_Manufacturing_Sci_American_1989.pdf [Consultado 24-06-2017]

- Bermejo, R. (2011) Manual para una economía circular. Madrid: editorial los libros de la catarata

- Braungart, M (2002a). De la cuna a la cuna. Nueva York: Farrar Straus and Giroux.

- Braungart, M. (2002b)”Intelligent Materials Pooling-Evolving a Profitable Technical Metabolism”, MBDC. Disponible en

<http://dev.nl.epea-hamburg.org/sites/default/files-nl/IntelligentMaterialsPooling.pdf>
[Consultado 12-05-2017]

-Braungart, M William, McDonough, W y Bollinger,A. (2006)“Cradle-to-cradle design: creating healthy emissions e a strategy for eco-effective product and system design”, Journal of Cleaner Production,12. Disponible en

<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.454.4936&rep=rep1&type=pdf>
[Consultado 25-06-2017]

-Cervantes Torre-Marín, G (2011) Ecología Industrial: innovación y desarrollo sostenible en sistemas industriales. Disponible en

http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/11914/5878%20Cervantes_Ecologia%20ind.pdf?sequence=1&isAllowed=y [Consultado 19-07-2017]

- Fundación Ellen MacArthur (2011) Hacia una economía circular: Motivos económicos para una transición acelerada. Disponible en

<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/es/publicaciones> [Consultado 7-04-2017]

-WRAP (2015). Economic Growth Potential of More Circular Economies. Disponible en <http://www.wrap.org.uk/content/economic-growth-potential-more-circular-economies>
[Consultado 5-08-2017]