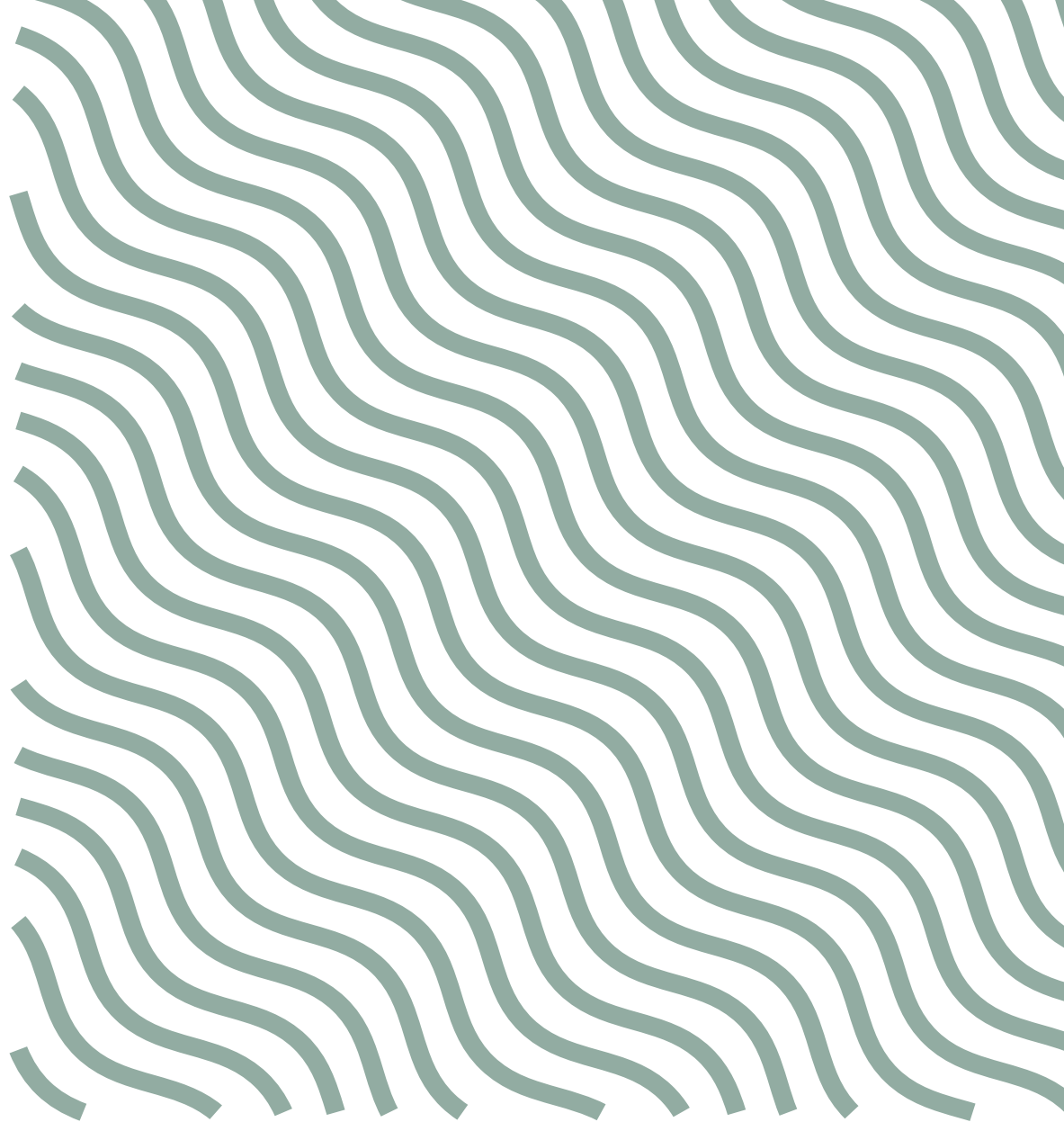


**Convocatoria**  
Proyectos de  
iniciación a la  
investigación  
2020



# Industria 4.0 para el desarrollo de una **Economía circular**

Lic.Di. Nicolás Capricho Marocci

Montevideo  
Uruguay  
2022



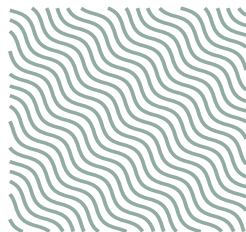
Escuela Universitaria  
Centro de Diseño



Facultad de Arquitectura,  
Diseño y Urbanismo  
UDELAR



UNIVERSIDAD  
DE LA REPÚBLICA  
URUGUAY



**Convocatoria "Proyectos de iniciación a la investigación 2021"**  
"Industria 4.0 para el desarrollo de una Economía circular".

**Autor**

Lic. DI. Nicolás Capricho Marocci

**Tutora**

PhD. Rosita De Lisi

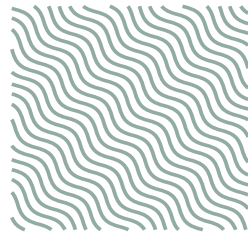
Escuela Universitaria Centro de Diseño - EUCD

Facultad de Arquitectura Diseño y Urbanismo - FADU

Universidad de la República - UDELAR

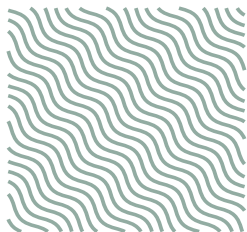
Montevideo - Uruguay

2021 -2022



*"No hay partes en absoluto. Lo que denominamos parte, es meramente un patrón dentro de una inseparable red de relaciones."*

Fritjof Capra  
La trama de la vida.



## RESUMEN

La economía industrial desarrollada en los últimos doscientos años, ha impulsado una prosperidad productiva, social y económica sin precedentes, facilitada en gran medida, por el surgimiento de nuevas tecnologías. Sin embargo, los impactos negativos tanto sociales como ambientales de este sistema industrial y económico son masivos, acumulativos y continuarán en crecimiento con el devenir de los años, por lo que resultan necesarios nuevos enfoques sostenibles para mitigarlos.

La Economía circular surge como un modelo alternativo de producción y consumo sostenible propuesto para hacer frente a los desafíos ambientales de la actualidad y el futuro. Este modelo aboga por regenerar los sistemas naturales, diseñando productos y servicios que mantengan su valor el mayor tiempo posible, sin generar desechos, recuperando su valor al finalizar los ciclos de uso y utilizando materiales que puedan incorporarse de manera segura al ambiente.

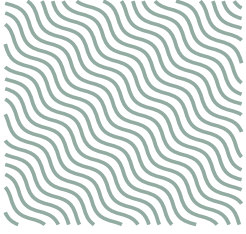
La aplicación de los distintos habilitadores tecnológicos de la Industria 4.0, pertenecientes a la denominada cuarta revolución industrial, a menudo se incluyen como un impulsor para la que la transición hacia un sistema circular sea efectiva.

Si bien el interés a nivel mundial en ambos temas ha aumentado en las últimas décadas por parte de políticos, profesionales y académicos, generalmente se describen como dos campos de investigación independientes. Sin embargo en los últimos años se ha producido un aumento de estudios que analizan su interconexión y posibilidades de acción en conjunto.

El presente trabajo establece un marco integrador de ambas perspectivas, en una búsqueda por ampliar la literatura de vanguardia, realizando una exploración bibliográfica para extraer los conceptos claves de ambos temas y realizar un análisis de las distintas interconexiones a través del estudio de casos, estableciendo un marco de discusión sobre la relación potencialmente beneficiosa entre la Industria 4.0 y la Economía circular.

### Palabras claves

economía circular, industria 4.0, cuarta revolución industrial, internet de las cosas, fabricación aditiva, big data, blockchain, simulación, digitalización.



## ABSTRACT

The industrial economy developed in the last two hundred years has provided unprecedented productive, social and economic prosperity, greatly facilitated by the emergence of new technologies. However, the negative social and environmental impacts of this industrial and economic system are massive, acumulative and will continue growing over the years, so new sustainable approaches are needed to mitigate them.

The Circular Economy emerges as an alternative model of sustainable production and consumption proposed to face the environmental challenges of today and the future. This model advocates to regenerate natural systems, designing products and services that maintain their value for as long as possible, without generating waste, recovering their value at the end of the use cycles and using materials that can be safely incorporated into the environment.

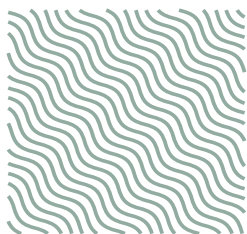
The application of the different technological enablers of Industry 4.0, belonging to the called fourth industrial revolution, are often included as a driver for the transition to an effective circular system.

Although the interest worldwide in both topics has increased in recent decades by politicians, professionals and academics, they are generally described as two independent fields of research. However in recent years there has been an increase in studies that analyze their interconnection and possibilities for joint action.

The present work establishes an integrating framework of both perspectives, in a search to expand the avant-garde literature, carrying out a bibliographical exploration to extract the key concepts of both topics and carry out an analysis of the different interconnections through the study of cases, establishing a framework for discussion on the potentially beneficial relationship between Industry 4.0 and the Circular Economy.

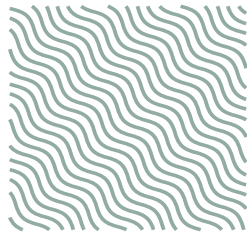
### Keywords

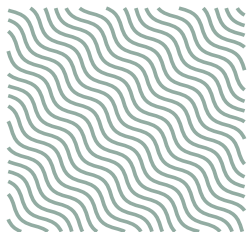
circular economy, industry 4.0, fourth industrial revolution, internet of things, additive manufacturing, big data, blockchain, simulation, digitization.



# TABLA DE CONTENIDOS

<b>INTRODUCCIÓN</b>	08
<b>OBJETIVOS</b>	10
Objetivo general	
Objetivos específicos	
<b>METODOLOGÍA</b>	
<b>PRIMERA ETAPA: MARCO TEÓRICO</b>	11
A. Definición de los criterios y protocolos para la revisión bibliográfica.	12
Metodología de la revisión bibliográfica.	
Criterio de búsqueda	
B. Identificación y categorización de los documentos relevantes.	13
Búsqueda de artículos	
Análisis del contenido de los artículos	14
C. Extracción y análisis de la información relevante.	15
Resultados de la exploración bibliográfica.	
Conceptualización del tema	16
Economía circular	
Diagrama mariposa	
Marco RESOLVE	17
Elementos claves de la EC	18
Industria 4.0	19
Elementos claves de la I4.0	20
Fabricación aditiva	23
Big Data	32
Internet de las cosas	38
BlockChain	43
Inteligencia artificial	49
<b>SEGUNDA ETAPA: ANÁLISIS DE CASOS DE ESTUDIO</b>	54
D. Determinación de criterios para la selección de casos.	55
E. Exploración y recopilación de casos prácticos.	56
AMP Robotics	56
Neptuno Pumps	57
Tomra Food	58
Heura Signeblock	59
Print your city	60
Shoe Lab	61
Homie Payperuse	62
<b>F. Análisis de los casos de estudio.</b>	63
<b>G. Conclusiones y pasos a seguir.</b>	64
Bibliografía	65





# INTRODUCCIÓN

La Economía Circular (CE) y la Industria 4.0 (I4.0) representan los dos paradigmas industriales más importantes que impulsan la academia y la industria en los últimos años. (Rosa,P. 2019)

La economía circular es presentada como una alternativa al actual modelo económico lineal y se define como un sistema económico e industrial que es restaurativo o regenerativo por intención y diseño. Sustituye el concepto de fin de vida por el de restauración, desplazándose hacia el uso de energías renovables, eliminando el uso de productos químicos tóxicos, que perjudican la reutilización, y tiene como objetivo la eliminación de residuos a través del diseño superior de materiales, productos, sistemas y, dentro de esto, modelos de negocio (EMF, 2013, Pg. 7).

Si bien su desarrollo teórico y práctico ha ido en aumento, consolidándose como un tema de interés en la industria y en la formulación de políticas gubernamentales en los últimos años, existen barreras para la adopción total de los principios de EC dentro de las organizaciones y cadenas de suministro. Distintos estudios afirman que la economía mundial es únicamente un 9,1% circular (The Circularity Gap Report. 2018), por lo que existe una amplia brecha entre el sistema lineal de producción y el propuesto por la EC, evidenciando la relevancia del tema de investigación, el cual, atraviesa las necesidades de la industria y el mundo académico.

Las principales barreras identificadas resultan de la falta de información sobre el ciclo de vida de los productos, así como la escasez de tecnologías avanzadas para una producción más limpia (Geng y Doberstein, 2013). Además, la incertidumbre percibida con respecto a los costos, el rendimiento de las inversiones y el cronograma de implementación

a menudo resulta en la renuncia de las organizaciones a adoptar este modelo.

Sin embargo, desde que las tecnologías basadas en los principios de la Industria 4.0 se han extendido, ahora puede ser factible superar las barreras de la EC mediante la adopción de tecnologías emergentes relacionadas con la fabricación inteligente. (Okorie y colegas, 2018).

La Industria 4.0 es un fenómeno industrial impulsado por la aplicación y empuje de la tecnología (internet de las cosas, robótica, fabricación aditiva, bigdata, entre otras), integrando sistemas operativos de fabricación, tecnologías de la información y la comunicación, que tiene como objetivo lograr un mayor nivel de eficiencia operativa y productividad, así como un mayor nivel de automatización. Está habilitada por una serie de desarrollos tecnológicos convergentes, como la amplia conectividad a Internet y una creciente miniaturización, rentabilidad y capacidad de hardware como sensores y actuadores (Kagermann, H. 2015).

La integración de I4.0 ha sido previamente explorada en otras áreas, como el sector de la hostelería y las prácticas de gestión para informar al sector de servicios; en el despliegue de técnicas en la industria textil; y en la cadena de suministro y soluciones de logística inversa, donde se utilizaron tecnologías I4.0 para abordar la eficiencia energética y cuestiones medioambientales (Okorie y colegas, 2018) .

Del mismo modo, la posibilidad de integrar los principios EC y I4.0 se puede ver en modelos de productos ya existentes, como el seguimiento de productos durante el uso y post-consumo con el fin de recuperar componentes o prolongar la vida útil de los componentes (Lopes de Sousa, 2018).



Si bien las aplicaciones, investigaciones y publicaciones tanto de la EC como de la I4.0 continúan en aumento, actualmente la integración de ambas áreas resulta poco explorada, por lo que el campo de investigación resulta interesante tanto para la industria como para el ámbito académico.

### **La economía circular y la industria 4.0 en el contexto local**

En los últimos años la EC ha cobrado relevancia tanto en el ámbito internacional como en el nacional. Se han realizado una serie de actividades para impulsar su desarrollo y ha aparecido en los planes nacionales de diversos sectores.

Desde el año 2017 con la realización del Primer Foro Latinoamericano de Economía Circular las iniciativas, tanto públicas como privadas en torno a la temática han ido en aumento.

Es así que en los últimos años se han desarrollado distintos programas que han impulsado la validación de ideas, puesta en marcha de nuevos modelos de negocio y prototipos de productos o servicios, y la implementación de proyectos que promueven una transición eficaz hacia la EC.

Algunos de los programas más importantes son:

Oportunidades circulares (2018-2022) <sup>1</sup>

Proyecto Biovalor (2020)<sup>2</sup>

Laboratorio de Economía circular (2021-2022)

Con el fin de reconocer las iniciativas circulares, han surgido diferentes reconocimientos que premian las buenas prácticas en la temática.

Adhiriendo a lo anterior, se han incrementado las fuentes de financiamiento e instancias de capacitaciones tanto a nivel académico, profesional y técnico.

Al interno de la Escuela Universitaria Centro de Diseño, el grupo Diseño para la Sustentabilidad ha abordado el tema de la Economía Circular, participando en eventos, cursos de formación y desarrollando actividades para profundizar en el estudio de la temática a nivel local.

En el año 2018 se desarrolló la propuesta de Semillero Economía Circular y Regenerativa, presentada al Espacio Interdisciplinario, con la participación de docentes de Diseño, Ciencias, Ciencias Sociales y Ciencias Económicas.

Desde el año 2020 a la actualidad se dicta un curso de Educación Permanente en FADU, titulado Estrategias de Diseño para una Economía Circular con la participación de estudiantes de diferentes áreas como son, diseño industrial, perfil textil y producto, arquitectura, comunicación, entre otras.

En lo que respecta a la industria 4.0 si bien a nivel mundial, principalmente en Europa, EEUU, China y Japón existe un gran interés por la temática, a nivel nacional las acciones realizadas resultan escasas pero con un marcado aumento de interés en los últimos años.

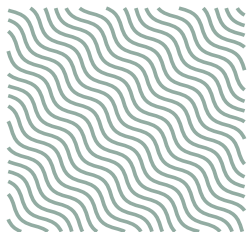
En el año 2016 se firma un acuerdo entre el Ministerio de Industria y la Cámara Uruguayo-Alemana con el objetivo de cooperar en el impulso de la industria local 4.0, que implica digitalizar e incorporar inteligencia al sector manufacturero del país.

Es relevante el trabajo realizado por Impulsa Industria, proyecto ejecutado por la Cámara de Industrias del Uruguay (CIU) y apoyado por el Instituto Nacional de Empleo y Formación Profesional (INEFOP), el cual toma a la I4.0 como una de las líneas de acción, buscando asistir a las empresas industriales en el cambio tecnológico asociado a la manufactura avanzada, mediante capacitaciones, asesoramientos, talleres y articulación con diferentes instituciones y actores.

Al igual que el desarrollo académico de ambas temáticas, las acciones locales vinculadas a la EC y a la I4.0 continúan en aumento, su interrelación aún permanece poco explorada, por lo que la presente investigación puede contribuir a proveer nuevas miradas y concepciones actualizadas, que faciliten la integración de ambos temas y consoliden modelos sustentables de producción y consumo.

1. [oportunidadescirculares.org](http://oportunidadescirculares.org)

2. [biovalor.gub.uy](http://biovalor.gub.uy)



## OBJETIVOS

### OBJETIVO GENERAL

Comprender los conceptos y tecnologías sobre los que se asienta la cuarta revolución industrial y, en particular, en cómo la industria 4.0 puede transformar y contribuir al desarrollo de nuevos modelos de negocio basados en una Economía Circular.

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Explorar los distintos habilitadores tecnológicos comprendidos en la industria 4.0 y los conceptos asociados a la EC.
- Identificar las distintas dimensiones en las que la Industria 4.0 contribuye al desarrollo de una Economía Circular.
- Analizar, a través del estudio de casos, las distintas interrelaciones entre las tecnologías de la I4.0 y los modelos de negocios circulares.
- Ampliar competencias del diseño que harán de esta investigación una guía para futuros proyectos, como herramienta para la implementación de los distintos conceptos explorados.

## METODOLOGÍA

El trabajo se centrará en realizar una investigación exploratoria, para la cual se propone una revisión bibliográfica para el análisis de los distintos conceptos vinculados a la economía circular y a la industria 4.0 extrayendo información que permitirá el estudio de casos de éxito y sus posibilidades de aplicación.

Se pretende aportar información novedosa y sistematizar conocimientos relativos a la integración de ambos conceptos, aplicando una metodología dividida en dos etapas retroalimentadas:

### Primera Etapa: Marco teórico

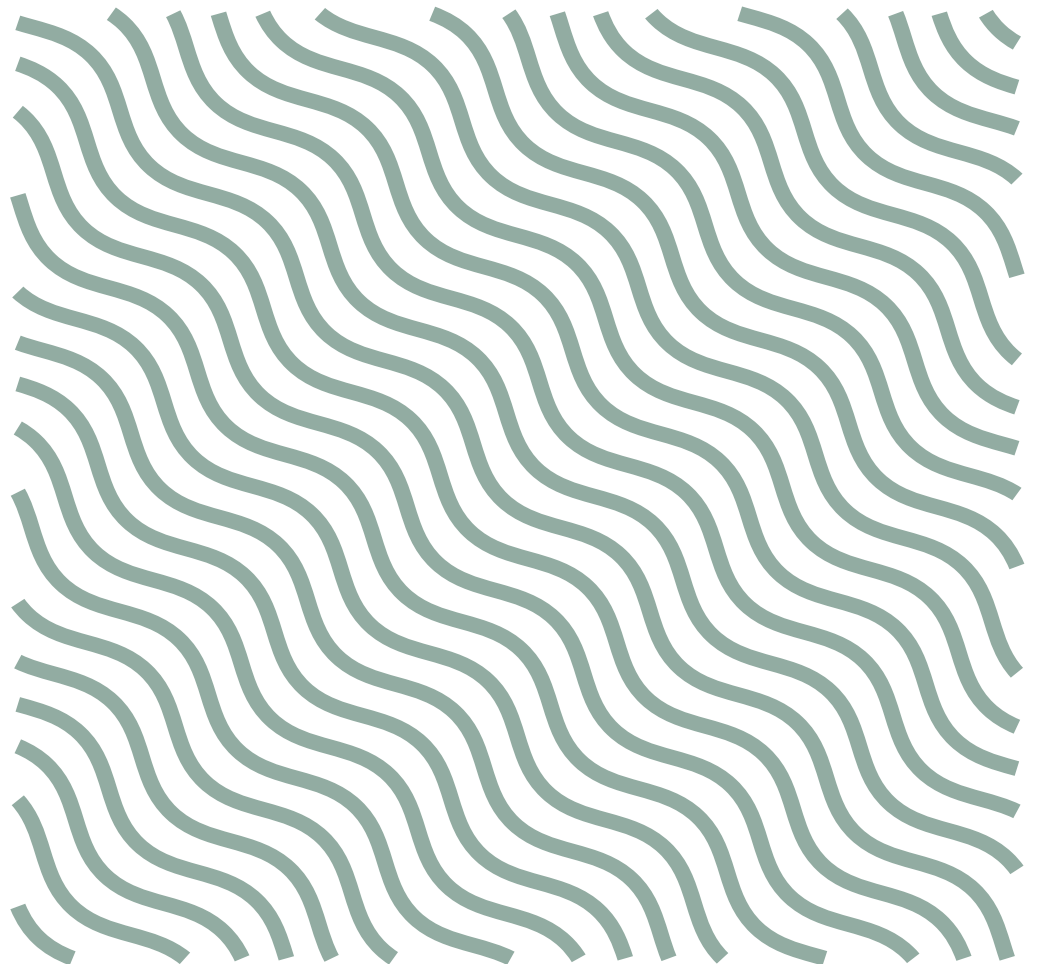
- A. Definición de los criterios y protocolos para la revisión bibliográfica.
- B. Identificación y categorización de los documentos relevantes.
- C. Extracción y análisis de la información relevante.

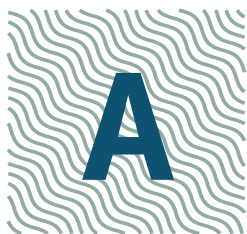
### Segunda Etapa: Análisis de casos de estudio

- D. Determinación de criterios para la selección de casos.
- E. Exploración y recopilación de casos prácticos.
- F. Análisis de los casos de estudio.
- G. Conclusiones y pasos a seguir.

## **PRIMERA ETAPA**

### **Marco teórico**





# Definición de los criterios y protocolos para la revisión bibliográfica.

## METODOLOGÍA DE LA REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Teniendo como cometido identificar la relación entre I4.0 y la EC, se implementó una revisión sistemática de la literatura para extraer los conceptos claves en esta relación.

Primero se identificaron los criterios para la búsqueda y selección de los artículos relevantes que expongan vínculos existentes entre I4.0 y la EC, consultándose otras fuentes de información para aumentar el número inicial de documentos.

En segundo lugar, se clasificaron los artículos y otros documentos para considerar su idoneidad para el alcance del análisis.

Finalmente, los documentos seleccionados fueron analizados en detalle, considerando sus macro y microtemas y su relevancia en la investigación.

El progreso de la investigación se describe en la siguiente subsección.

## CRITERIO DE BÚSQUEDA

El proceso de revisión consideró literatura formal e informal (incluidos libros, informes científicos e industriales y publicaciones de organizaciones mundialmente reconocidas), centrándose en títulos, resúmenes y palabras clave.

La base de datos de referencia utilizada fue Scopus, por su amplio reconocimiento internacional, accediendo a la misma a través del Portal Timbó<sup>3</sup>. Inicialmente, se realizó una búsqueda estructurada de palabras clave en Scopus, complementando la exploración en Web of Science, derivando en resultados similares.

Como criterio general se evaluaron artículos publicados 2015 y 2021, sin restricciones de idioma.

Los criterios de búsqueda se resumen en la *Figura 01*.

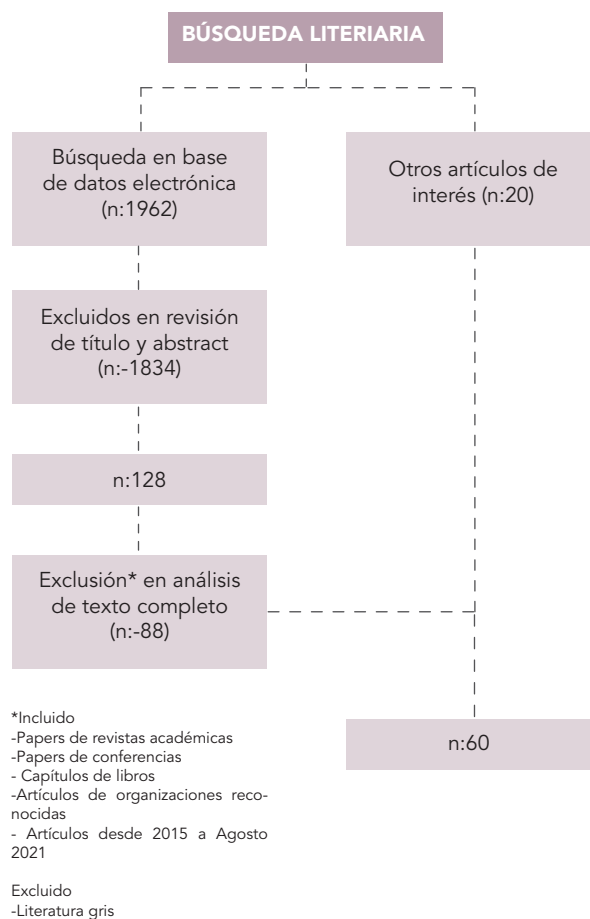
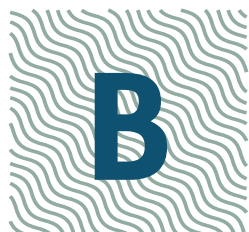


Fig. 01: Estrategia de búsqueda

3. <https://foco.timbo.org.uy/home>



# Identificación y categorización de los documentos relevantes.

## BÚSQUEDA DE ARTÍCULOS

Mediante la sección de 'búsqueda avanzada' de Scopus, se utilizaron 20 cadenas de búsqueda para recopilar documentos que examinan (en su título) el vínculo entre la EC y la I4.0 (o algunos de sus subtemas). De los 1962 documentos identificados inicialmente se realizó un análisis de relevancia del título y abstract, lo que determinó un conjunto de

128 documentos relevantes en Scopus.

En la Figura 02 se muestran las cadenas de búsqueda y el número resultante de documentos.

Luego del análisis de texto completo se consideraron 60 artículos, de los cuales 38 son artículos de revistas, 12 informes de revisión sobre la situación actual y 10 papers de conferencias. Ver figura 01.

Nº	CONSULTA	DOCUMENTOS INICIALES (SCOPUS)	LUEGO EXCLUSIÓN POR TÍTULO Y ABSTRACT
1	TITLE-ABS-KEY ( circular AND economy AND industry 4.0 )	219	47
2	TITLE-ABS-KEY (circular AND economy AND additive AND manufacturing)	87	10
3	TITLE-ABS-KEY (circular AND economy AND big AND data)	121	15
4	TITLE-ABS-KEY (circular AND economy AND cloud AND manufacturing)	13	0
5	TITLE-ABS-KEY (circular AND economy AND internet AND of AND things)	130	12
6	TITLE-ABS-KEY (circular AND economy AND cyber-physical AND system)	22	0
7	TITLE-ABS-KEY (circular AND economy AND augmented AND reality)	8	0
8	TITLE-ABS-KEY (circular AND economy AND 3d AND printing)	72	6
9	TITLE-ABS-KEY (circular AND economy AND fourth AND industrial AND revolution)	24	2
10	TITLE-ABS-KEY (circular AND economy AND simulation)	315	8
11	TITLE-ABS-KEY (circular AND economy AND smart AND production)	107	0
12	TITLE-ABS-KEY (circular AND economy AND smart AND manufacturing)	57	0
13	TITLE-ABS-KEY (circular AND economy AND digital)	322	28
14	TITLE-ABS-KEY (reuse AND industry 4.0)	108	0
15	TITLE-ABS-KEY (recycle AND industry 4.0)	24	0
16	TITLE-ABS-KEY (recycling AND industry 4.0)	111	2
17	TITLE-ABS-KEY (remanufacturing AND industry 4.0)	48	3
18	TITLE-ABS-KEY (repair AND industry 4.0)	97	2
19	TITLE-ABS-KEY ( circular AND business AND model AND industry 4.0 )	67	2
20	TITLE-ABS-KEY ( circular AND economy AND industry 4.0 case AND of AND study )	10	3
	Subtotal	1962	140
	Total (Scopus sin repetición)		128
	Artículos de interés de fuentes externas		20
	Excluidos en análisis de texto completo		-88
	<b>Documentos resultantes</b>		<b>60</b>

Fig. 02: Búsqueda de cadenas y documentos resultantes

### ANÁLISIS DEL CONTENIDO DE LOS ARTÍCULOS

El resultado del proceso de búsqueda en términos del número de trabajos publicados por año determina que del número total de documentos considerados (60) la concentración del 80% en los últimos tres años revelan la gran atención que los autores dedican a estos temas en la actualidad.

La evolución histórica de las publicaciones se muestra en la *Figura 03*.

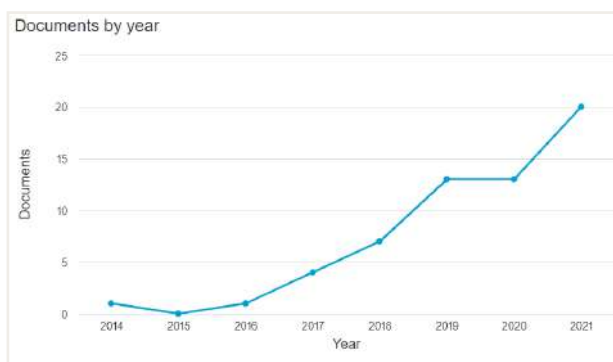
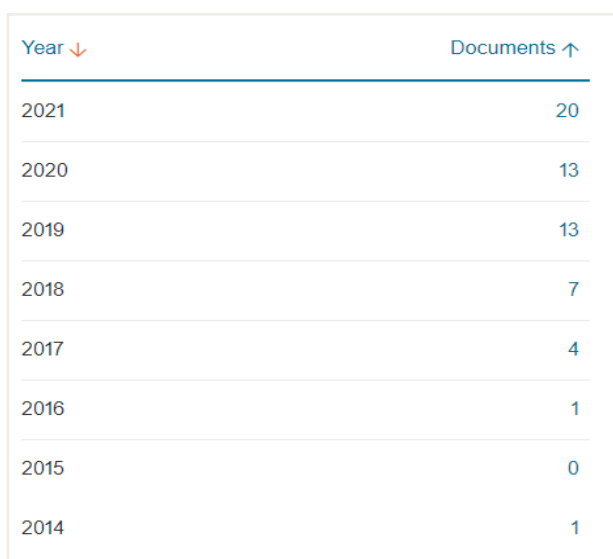


Fig. 03: Serie histórica de artículos publicados.

La *Figura 04* muestra los países donde se ubican las instituciones a las que están afiliados los autores de los artículos.

La distribución se concentró principalmente en el Reino Unido, Italia, Brasil, India y Finlandia. Estos cinco países representaron el 75% del número total de trabajos publicados. La distribución geográfica muestra la globalidad de la relevancia del tema.

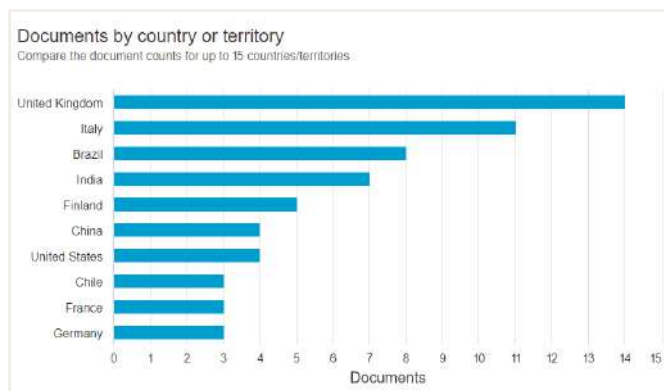


Fig. 04: Documentos por país.

Los macrotemas predominantes extraídos del análisis de las palabras claves que son abordados por los artículos publicados (ver *Figura 05*) se evalúan de acuerdo a la aplicación de las tecnologías I4.0 en el desarrollo y transición hacia una EC.

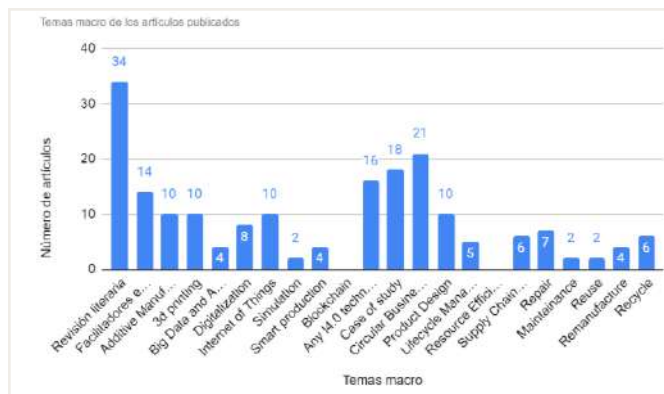
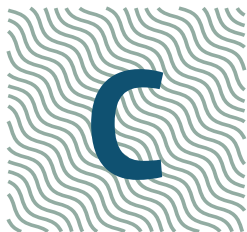


Fig. 05: Temas macro de artículos publicados.



## Extracción y análisis de la información relevante.

### RESULTADOS DE LA EXPLORACIÓN BIBLIOGRÁFICA

Desde una perspectiva genérica los autores afirman que el desarrollo de la I4.0 puede actuar como habilitador de procesos sostenibles favoreciendo la transición hacia un sistema circular dentro de la cadena de valor de las empresas.

La principal área de investigación de los expertos está direccionada a la revisión literaria en la relación de ambos conceptos, donde la digitalización de los procesos es el principal factor común como facilitador de la EC.

Dentro de las consideraciones frecuentes se establece que las tecnologías de la I4.0 podrían contribuir a la circularización de la producción de las empresas, mediante la optimización de los procesos, el monitoreo de las etapas y la automatización de la maquinaria, apoyado por la obtención de datos

en tiempo real y el desarrollo de nuevos métodos de fabricación sostenibles.

En cuanto a las materias primas las tecnologías habilitarán la regeneración de los ecosistemas y la disminución de la dependencia de recursos naturales escasos mediante sistemas de trazabilidad de materiales, componentes y productos, así como también facilitar estrategias de diseño que permita mantener y recuperar el valor de los materiales en el tiempo.

Otra perspectiva común es que la I4.0 podrá habilitar el involucramiento de clientes, proveedores y stakeholders en general, dentro de la cadena de valor, en una integración conjunta con los productos y servicios. Esta integración proporciona herramientas para la obtención de datos útiles para la toma de decisiones en todo el ciclo de vida del producto, facilitando el diseño circular, la optimización de los procesos de creación de valor y la innovación en nuevos modelos de negocio.

## CONCEPTUALIZACIÓN DEL TEMA

### ECONOMIA CIRCULAR

La economía circular es presentada como una alternativa de crecimiento sostenible al sistema económico lineal que ha dominado las actividades económicas y productivas desde hace más de dos siglos hasta el presente, impulsado principalmente por el desarrollo de las Revoluciones Industriales del siglo XVIII y XIX (Capricho, N. 2020).

Este modelo lineal de producción y consumo se basa en la extracción de materias primas para su procesamiento y la fabricación de productos, que luego son distribuidos y vendidos, y una vez consumida su vida útil son desechados, por lo que el valor que es incorporado en las etapas previas al uso se destruye y las estrategias de recuperación posteriores resultan ineficientes.

La economía circular en cambio propone un nuevo modelo de producción y consumo, imitando a los procesos naturales, donde ningún recurso se pierde y no existe el concepto de desperdicio.

Se esfuerza en restaurar y regenerar los ecosistemas mediante el diseño de productos que se conciben para ingresar a ciclos continuos de recuperación, maximizar y mantener el valor en el tiempo, a través el diseño eficiente de productos y materiales con un pensamiento sistémico y estrategias que apoyen a los modelos de negocio.

### Diagrama mariposa

Como se observa en el "Diagrama mariposa" (Fig.07) la EC se basa en dos ciclos de recuperación de recursos materiales para crear valor en un sistema circular para reconstruir capital económico, social y natural, contribuyendo a que los productos y materiales mantengan su utilidad y máximo valor en todo momento.

Estos ciclos son, el biológico y el técnico.

*El ciclo biológico* regenera los ecosistemas al reducir la extracción excesiva de recursos naturales utilizando fuentes de energía renovable y materiales que pueden ingresar de manera segura al mundo natural como nutrientes biológicos luego que han pasado por uno o más ciclos de uso.

En este ciclo, los productos se diseñan para ser consumidos o metabolizados en los ecosistemas y regenerar el valor como un nuevo recurso natural, mediante el aprovechamiento de los residuos orgánicos mediante digestión anaeróbica, utilizando materiales biodegradables o compostables o la generación energética mediante biogás.

*En el ciclo técnico* los productos pueden contener materiales no renovables por lo que deben circular en circuitos cerrados de recuperación el mayor tiempo posible, haciendo énfasis en la extensión de su vida útil.

En este ciclo se debe apelar a una jerarquía de estrategias de circularidad, priorizando las que conservan en mayor medida la integridad del producto original, como son, la reutilización, mantenimiento y reparación, redistribución, remanufactura y por último el reciclaje.

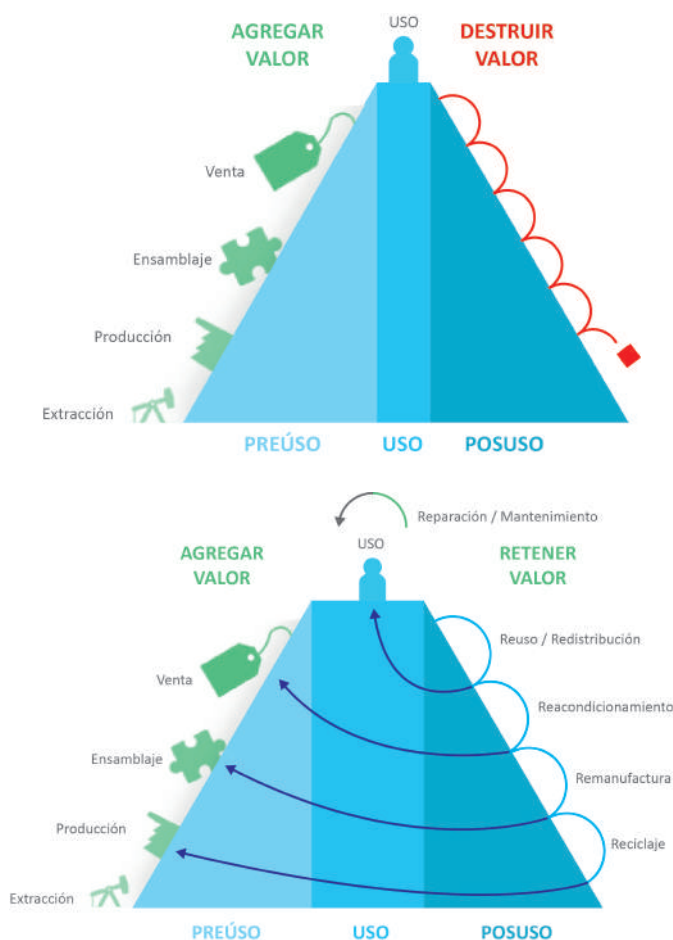


Fig. 06. Pirámide de valor. Comparación de la creación de valor en un E.L vs E.C. Adaptación de Achterberg, Hinfelaar y Bocken, 2016.



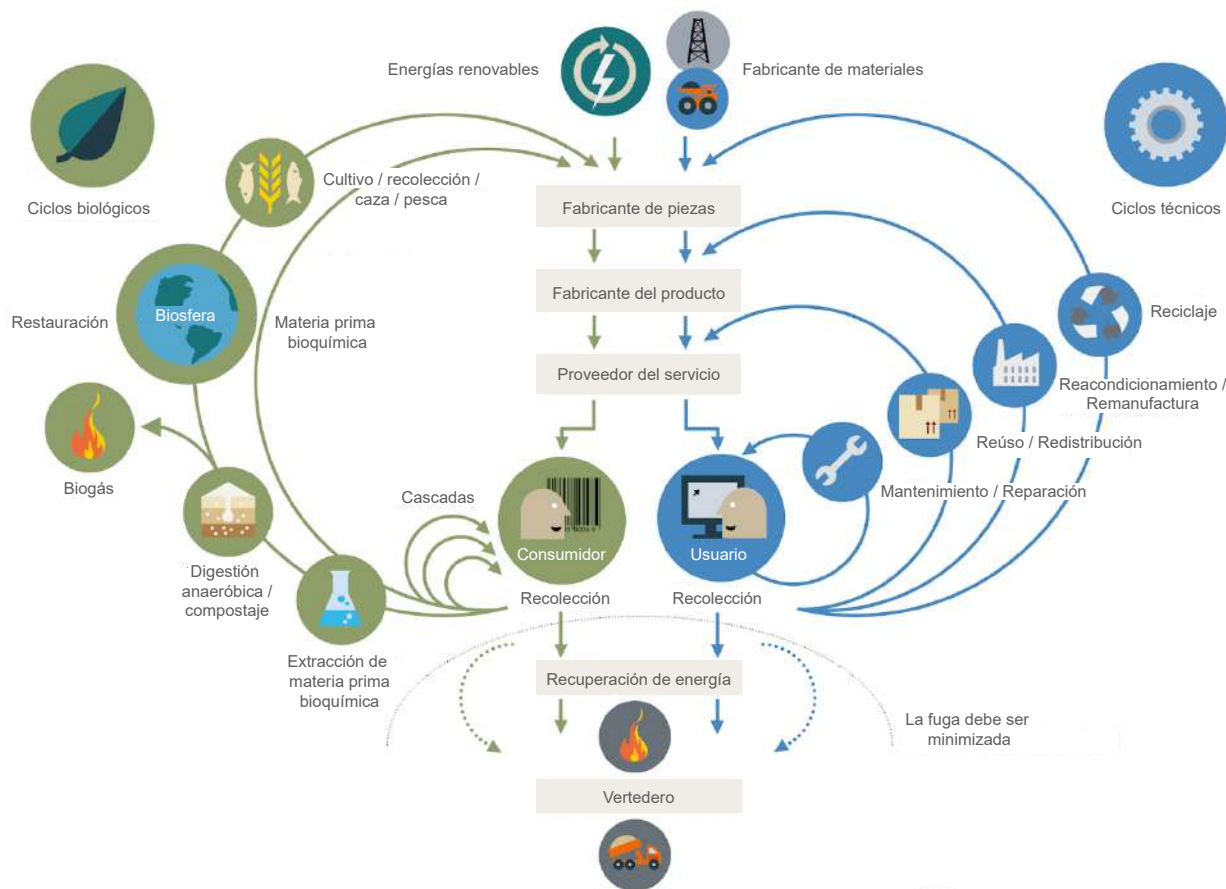


Fig.07. Diagrama de Mariposa. The circular economy (Ellen MacArthur Foundation 2012, p.24).

**Marco RESOLVE**

La Fundación Ellen MacArthur (2014) ha impulsado en los últimos años la transición hacia una economía circular y ha propuesto seis acciones, el marco ReSOLVE, para guiar a las organizaciones a implementar los principios de la EC.

En el presente trabajo se tomarán estas seis acciones como insumo para establecer los elementos claves de la Economía circular.

**Regenerate (REGENERAR)**

Significa el cambio hacia el uso de energía y materiales renovables y la conversión de residuos orgánicos en fuente de energía y materia prima para otras cadenas. De esta manera se reduce la dependencia de recursos escasos y se incrementa la resiliencia de los sistemas.

**Share (COMPARTIR)**

Comprende el concepto de la economía del intercambio donde los bienes y activos, por ejemplo los subutilizados, se comparten entre individuos u organizaciones para intensificar su uso y obtener nuevo capital económico. Además, contempla el modelo de negocio "Producto como servicio" donde las empresas, propietarias del bien, establecen contratos de arrendamiento o pago por uso a los usuarios. De esta forma, los productos deben estar diseñados para durar por más tiempo y facilitar actividades de reparación y mantenimiento para permitir la reutilización y prolongar los ciclos de vida de los productos.

**Optimise (OPTIMIZAR)**

Se basa en la optimización de los distintos procesos centrándose en la utilización de tecnologías como

la fabricación digital, sensores, automatización, identificación por radio frecuencia (RFID), big data, entre otras, para minimizar los impactos negativos y desperdicios en las distintas etapas del ciclo de vida de un producto o servicio y a lo largo de toda la cadena de valor.

**Loop (BUCLE)**

Se basa en los ciclos biológicos y técnicos. Donde los biológicos se centran en recuperar el valor de los residuos orgánicos, por ejemplo, mediante digestión anaerobia y los ciclos técnicos se enfocan en mantener y extender la vida útil de los productos mediante la reparación, reutilización, remanufactura y reciclaje.

**Virtualise (VIRTUALIZAR)**

Se basa en la desmaterialización de los productos sustituyendo los bienes físicos o análogos por re-

ursos virtuales o digitales.

**Exchange (INTERCAMBIAR)**

Se trata de sustituir bienes antiguos y no renovables por productos y materiales avanzados y renovables, además de la aplicación de nuevas tecnologías y modelos de negocios innovadores.

**Elementos claves de la Economía circular**

Se toma como base el informe Global Mapping Project 2022 Knowledge Hub Community Guidelines<sup>4</sup> como marco para establecer los elementos claves de la economía circular.

Esta categorización servirá de insumo como guía para el análisis de casos y establecer la interconexión con los habilitadores de la industria 4.0.

ELEMENTO	DEFINICIÓN	CONCEPTO CLAVE
Recursos regenerativos	Garantizar que los recursos renovables, reutilizables y no tóxicos se utilicen como materiales y energía de manera eficiente y contribuyan a regenerar los ecosistemas.	Eficiencia en la utilización de recursos y abastecimiento de materias primas.
Extensión de vida	Procurar maximizar la vida útil de los recursos, materiales y productos, dándoles una segunda vida a través de estrategias de recuperación de valor como el mantenimiento, la reparación y la remanufactura.	Productos de larga duración. Diseño para el mantenimiento y la reparación. Diseño para el apego y la confianza Diseño para el reuso
Residuo como recurso	Utilizar los flujos de residuos como fuente de recursos secundarios y recuperar materiales y componentes para su reutilización y reciclaje.	Recuperación de recursos Eliminación de desechos
Repensar el modelo de negocio	Considerar oportunidades para crear mayor valor y alinear incentivos a través de modelos comerciales que se basen en la interacción entre productos y servicios.	Plataformas compartidas Producto como servicio Impacto social, económico y ambiental
Diseño para el futuro	Perspectiva de los sistemas durante el proceso de diseño, para usar los materiales correctos, diseñar para una vida útil adecuada y diseñar para un uso futuro prolongado.	Digitalización Nuevas concepciones de producto Personalización Modularidad Estrategias para facilitar la recuperación
Asociatividad	Trabajar juntos a lo largo de la cadena de suministro, dentro de las organizaciones y con el sector público para aumentar la transparencia y crear valor conjunto.	Simbiosis industrial Optimización de la cadena de valor

Fig.08. Elementos claves de la Economía circular  
Elaboración propia

4. <https://knowledge-hub.circle-lab.com/frameworks/9?n=Key-elements-of-the-circular-economy>

## CONCEPTUALIZACIÓN DEL TEMA

### INDUSTRIA 4.0

La productividad industrial ha aumentado drásticamente con el impulso de los avances tecnológicos en el transcurso de la historia. Estos avances se han permitido inicialmente con el desarrollo de las máquinas a vapor en las fábricas de la era de la Revolución Industrial en el siglo XIX derivando en la mecanización de la producción, la innovación en la electrificación de la producción en el siglo XX y sus consecuencias en la fabricación en masa y posteriormente la automatización de la industria en la década de los 70, mediante la electrónica y las TIC. En las décadas posteriores los avances tecnológicos industriales han sido únicamente incrementales, especialmente en las comunicaciones móviles y el comercio electrónico. (Rüßmann, 2015).

Actualmente, nos encontramos en presencia de una nueva era de avances tecnológicos y por consecuencia una nueva revolución en la industria, donde se fusionan el mundo físico, digital y biológico. Esta nueva era es conocida como Industria 4.0.

Según el informe de Mckinsey Global Institute (2016)<sup>5</sup> la Industria 4.0 se define como la próxima fase en la digitalización del sector manufacturero, impulsada por cuatro disrupciones principales: el aumento en los volúmenes de datos, el poder computacional y la conectividad, el surgimiento de capacidades analíticas y de inteligencia de negocios; nuevas formas de interacción hombre-máqui-

na, como interfaces táctiles y sistemas de realidad aumentada; y mejoras en la transferencia de instrucciones digitales al mundo físico, como robótica avanzada e impresión 3D.

La industria 4.0 combina métodos de producción con tecnología de información y comunicación facilitada por los grandes avances en el desarrollo de la digitalización de procesos autogestionados, derivando en el concepto de fabricación y fábricas inteligentes.

La innovación tecnológica juega un papel importante en hacer realidad la visión de la economía circular.

Por ejemplo, los activos inteligentes e interconectados pueden permitir que el mantenimiento predictivo prolongue su vida útil; el blockchain puede crear trazabilidad y transparencia en las cadenas de suministro para reducir desperdicio; y la reparación se facilita mediante la impresión 3D de piezas de repuesto.

La inteligencia artificial puede apoyar y acelerar el ritmo de la innovación humana para diseñar productos, reunir aspectos de éxito para modelos de negocios circulares y optimizar la infraestructura necesaria para crear un bucle de productos y materiales recuperados a la economía.

En resumen, el uso de los habilitadores de la I.40 tienen el potencial de crear un cambio radical que va más allá de la obtención de ganancias comerciales, sino que contribuyen a efectivizar la transición hacia un sistema regenerativo y circular.

1A REVOLUCIÓN INDUSTRIAL 1780-1840	2DA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL 1870-1914	3RA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL 1945-1970	4TA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL 1970 - EN ADELANTE
Creación de la máquina de vapor. Se mecaniza la producción.	Desarrollo de la energía eléctrica. Producción en masa.	Innovación tecnológica mediante la aparición de la electrónica y TICs. Producción automatizada.	Combinación de las tecnologías. Fusión del mundo físico, digital y biológico

Fig.09. Evolución histórica de la industria  
Elaboración propia

5. <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/manufacturings-next-act>

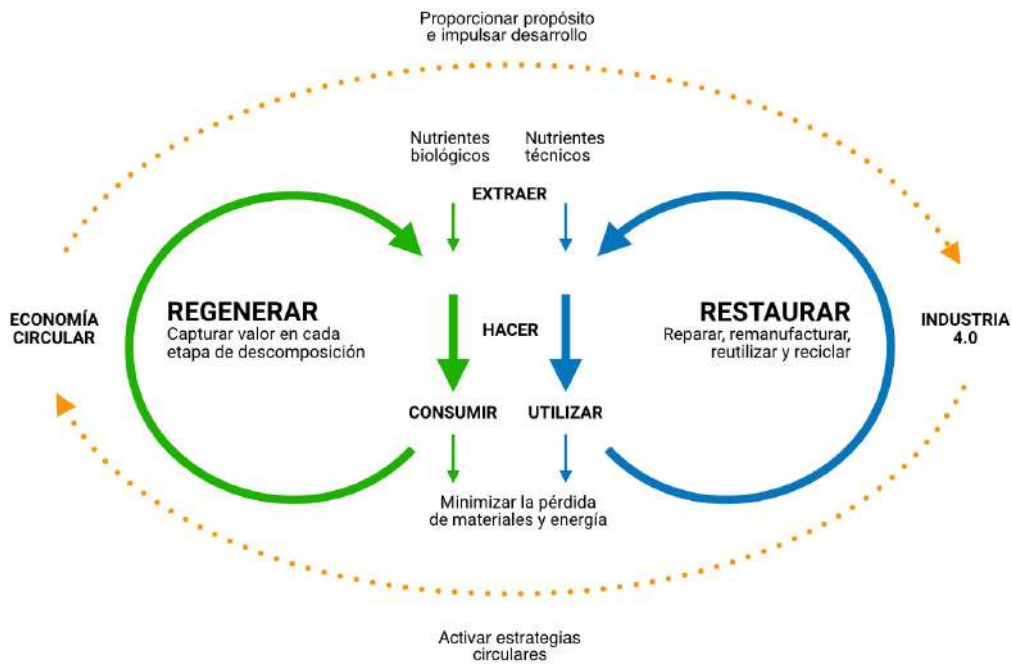


Fig.10. Diagrama mariposa I4.0 y EC  
ciecircular.com

### Elementos claves de la Industria 4.0

El análisis bibliográfico muestra que no existe un consenso entre los expertos en cuanto a las tecnologías que pueden agruparse bajo el concepto de la industria 4.0. Sin embargo, las investigaciones giran en torno a nueve pilares fundamentales.

En la implementación del presente trabajo se estudiarán cinco de los nueve pilares, basado en su importancia dentro del análisis bibliográfico.

Los nuevos pilares se describen brevemente a continuación:

#### **Fabricación Aditiva (FA)**

Se refiere a todas las técnicas de fabricación por adición de material para producir objetos tridimensionales. Es un proceso industrial controlado por computadora que involucra la impresión 3D. (Ostereich y Teuteberg, 2016).

#### **Inteligencia artificial (IA)**

Es una ciencia cognitiva para mejorar las decisiones con importantes actividades de investigación en muchas áreas, como el procesamiento de imágenes, el procesamiento del lenguaje natural, la

robótica o el aprendizaje automático ( Lee et al., 2018 ).

#### **Internet de las cosas (IoT)**

Tiene como objetivo resolver los problemas de comunicación entre todos los objetos y sistemas en una fábrica ( Frank et al., 2019 ). IoT combina máquinas inteligentes y autónomas, análisis predictivo avanzado y colaboración máquina-humano para mejorar la productividad, la eficiencia y la confiabilidad ( Wong y Kim, 2017 ; Thramboulidis y Christoulakis, 2016 ).

#### **Big Data (BD)**

La combinación del uso de IoT y la nube permite conectar diferentes equipos y sistemas productivos o de gestión de empresas y clientes. A través de BD, los datos recopilados se actualizan y analizan constantemente y se mejoran los procesos de toma de decisiones. Esto ayuda a mejorar la flexibilidad de fabricación, la calidad del producto, la eficiencia energética y el servicio de los equipos ( Rübmann et al., 2015 ).

#### **Robótica (RB)**

A medida que las tareas de fabricación se vuelven más individualizadas y más flexibles, las máquinas

deberán realizar tareas variables en colaboración sin reprogramación. Con este fin, los robots son cada vez más autónomos, flexibles y cooperativos, y pronto podrán interactuar entre sí y trabajar de forma segura con los humanos, e incluso aprender de ellos (Kamble et al., 2018 ).

**Realidad Virtual y Aumentada (RVA)**

La RVA permite simular situaciones reales para capacitar a los trabajadores, evitar situaciones de peligro, mejorar la toma de decisiones y/o trabajar con procedimientos. Además, RVA permite la creación de una versión mejorada de la realidad en la que las vistas directas o indirectas en vivo de entornos físicos del mundo real se aumentan con imágenes superpuestas generadas por computadora (Oztemel y Gursev, 2020 ).

**Blockchain (BC)**

Puede considerarse como una forma colaborativa y alternativa de gestionar los datos. En lugar de una base de datos centralizada, los datos se almacenan en un "libro mayor distribuido": una cadena de bloques con marca de tiempo que se comparte en una red de computadoras. El mantenimiento de registros basado en blockchain hace que el cumplimiento, el intercambio de datos y la colaboración

sean más simples. La ventaja de la cadena de bloques es que habilita un registro confiable de todo lo que sucede relacionado con un producto o proceso. (Mavropoulos, A, 2020)

**Simulación**

Los procesos de simulación posibilitan realizar análisis exhaustivos de la información para controlar los sistemas de forma rigurosa y evitar problemas. De esta forma, se anticipan a errores y mejoran la toma de decisiones. Así, la simulación puede servir para el desarrollo de procesos de remanufactura-ción, mejora de la eficiencia en la explotación de los recursos naturales y en el desarrollo de procesos de ciclo cerrado dentro de la cadena de suministro. (Fernández-Arroyo, 2020)

**Sistemas ciberfísicos**

Los sistemas tecnológicos Ciber-Físico permiten la integración del ciberespacio, físico procesos y objetos para conectar máquinas y dispositivos en líneas de producción como un red, poniendo así a disposición datos reales para la toma de decisiones, como para la priorización de órdenes de producción, optimización de tareas, reporte de necesidades de mantenimiento, etc. (Ahmadov, 2016; Leehola, 2015).



Fig. 11 Elementos de la Industria 4.0  
T.E.T. Dantas (2021)

Existen otras tecnologías complementarias a las anteriormente descritas que contribuyen a la transición hacia una EC.

### **Machine learning (ML)**

ML es el aprendizaje en el que una máquina puede aprender por sí misma sin ser explícitamente programada. Es una aplicación de IA que proporciona al sistema la capacidad de automáticamente aprender y mejorar de la experiencia. El objetivo es aprender de los datos sobre una determinada tarea para maximizar el rendimiento. (Mavropoulos, A y Nilsen, A (2020).

### **Almacenamiento en la nube (Cloud Computing)**

Se refiere a una infraestructura capaz de ofrecer servicios de almacenamiento a través de la red para facilitar el acceso a cualquier usuario.

### **Nuevos materiales**

Los avances en el diseño y desarrollo de nuevos materiales es el "habilitador silencioso" de muchas

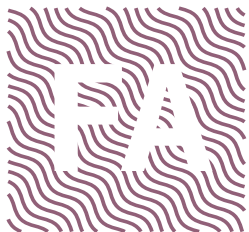
de las mejoras en los productos y maquinaria. Gracias a la mejora de las capacidades de simulación, ahora es posible calcular cómo se comportan los materiales en diferentes condiciones. Estos desarrollos pueden facilitar el diseño bajo demanda de nanofibras, nuevos compuestos y nanomateriales con características especiales. Una progresión natural ha llevado a la incorporación de la IA y el uso de ML complejo en materiales avanzados. (Mavropoulos, A y Nilsen, A (2020).

Las principales tecnologías habilitadoras de la EC que se analizarán serán en el presente trabajo la inteligencia artificial, el internet de las cosas, la fabricación aditiva, big data y blockchain.

En la siguiente sección se desarrollarán los aspectos básicos de estas tecnologías, así como también su vínculo con los elementos claves de la Economía circular.

ELEMENTOS CLAVES ECONOMÍA CIRCULAR	ELEMENTOS CLAVES INDUSTRIA 4.0
Recursos regenerativos	Fabricación aditiva
Extensión de vida	Big data
Residuo como recurso	Internet de las cosas
Repensar el modelo de negocio	Inteligencia artificial
Diseño para el futuro	Blockchain
Asociatividad	Digitalización
	Simulación

Fig. 12. Cuadro resumen de los elementos claves de la EC y la I4.0  
Elaboración propia



## FABRICACIÓN ADITIVA (FA)

La fabricación aditiva es considerada por numerosos autores como uno de los pilares de la Industria 4.0 y un importante habilitador para la EC, teniendo un gran potencial para facilitar estrategias circulares como el suministro de materiales reciclados, nuevos procesos productivos e innovación en productos, como también, la recuperación de materiales al final de su ciclo de vida mediante actividades de reparación y remanufactura. (Kravchenko, M. 2020).



Según la definición<sup>6</sup> de la ASTM<sup>7</sup>, el comité técnico responsable del desarrollo de estándares de fabricación aditiva, la define como, " el proceso de unir materiales para hacer objetos a partir de datos de modelos 3D, generalmente capa sobre capa, en contraposición a las metodologías de fabricación sustractiva".

En términos generales, la fabricación aditiva es un proceso de producción de adición de capas de material para la creación de un objeto físico a partir de los datos obtenidos de un modelo 3D digital.

### ¿Como la Fabricación Aditiva puede promover la EC?

La FA es nombrada con frecuencia como una tecnología con posibilidades de cambiar drásticamente los procesos de fabricación y la economía. Esto se debe a su potencial para facilitar una fabricación sostenible y eficiente mediante la reducción del desperdicio de producción, ya que se agrega únicamente el material necesario en lugar de sustraerlo (fabricación tradicional).

La producción basada en archivos digitales promueve la fabricación local y a baja escala, eliminando los costos asociados al inventario excesivo y al transporte y distribución de objetos físicos. Las posibilidades de fabricación y modificación de componentes individuales facilita las actividades de reparación y remanufactura extendiendo la vida útil de los productos, facilitando la personalización y actualización de piezas por parte de los usuarios estableciendo vínculos de apego hacia productos de larga duración.

Como otro de sus beneficios se considera que habilita la recuperación de recursos mediante el reciclaje de materiales de desecho como nuevas materias primas para la generación de nuevos productos.



6. ASTM International, 2012  
7. American Society for Testing and Materials



**Principales beneficios de la FA como facilitador de las estrategias de la EC.**

**ELEMENTO DE LA ECONOMÍA CIRCULAR**

Eficiencia en la utilización de recursos y abastecimiento de materias primas.

**FACILITADOR DE LA INDUSTRIA 4.0**

Eficiencia en el uso de material mediante el proceso de adición de capas, la fabricación local, el uso de monomateriales y materias primas recicladas.

**BENEFICIOS**

Reduce el impacto y costo del transporte de materiales. Se tiene mayor control de la materia prima y se reduce el riesgo de desabastecimiento.

Promueve el reciclaje mediante la utilización de un único material, diseños modulares y materias primas biodegradables, recicladas y reciclables.

**01 RECUPERACIÓN DE RESIDUOS**

**Print your city  
The New Raw  
Paises Bajos**

Emprendimiento que revaloriza los residuos plásticos de las ciudades en productos del espacio público con impresión 3D robótica y participación ciudadana.

[thenewraw.org](http://thenewraw.org)







**Principales beneficios de la FA como facilitador de las estrategias de la EC.**

**ELEMENTO DE LA ECONOMÍA CIRCULAR**  
Reducción del impacto y la optimización en la fabricación

**FACILITADOR DE LA INDUSTRIA 4.0**  
Producción bajo demanda y flexibilidad productiva.  
Fabricación en bajos volúmenes, prototipado rápido, precisión y minimización de herramientas auxiliares (moldes).

**BENEFICIOS**  
Eliminación de excedentes de producción, reducción del stock y distribución de productos terminados. Construcción de economías de escala mediante la producción local. Cadenas de suministros cortas y reciclables.

## 02 REPARACIÓN

**Co.Project**  
**Fundación Ellen MacArthur, HP, Teleplan, IKEA, Philips e iFixit Global**

Proyecto de colaboración que busca explorar nuevas aplicaciones de la tecnología de impresión 3D. El proyecto se centró específicamente en las piezas de repuesto para facilitar la reparación a pequeña escala.

[www.ellenmacarthurfoundation.org/articles/brands-team-up-to-see-how-3d-printing-can-revolutionise-repair](http://www.ellenmacarthurfoundation.org/articles/brands-team-up-to-see-how-3d-printing-can-revolutionise-repair)





### Principales beneficios de la FA como facilitador de las estrategias de la EC.

**ELEMENTO DE LA ECONOMÍA CIRCULAR**  
Productos de larga duración.

**FACILITADOR DE LA INDUSTRIA 4.0**  
Personalización, actualización y adaptabilidad de los componentes.

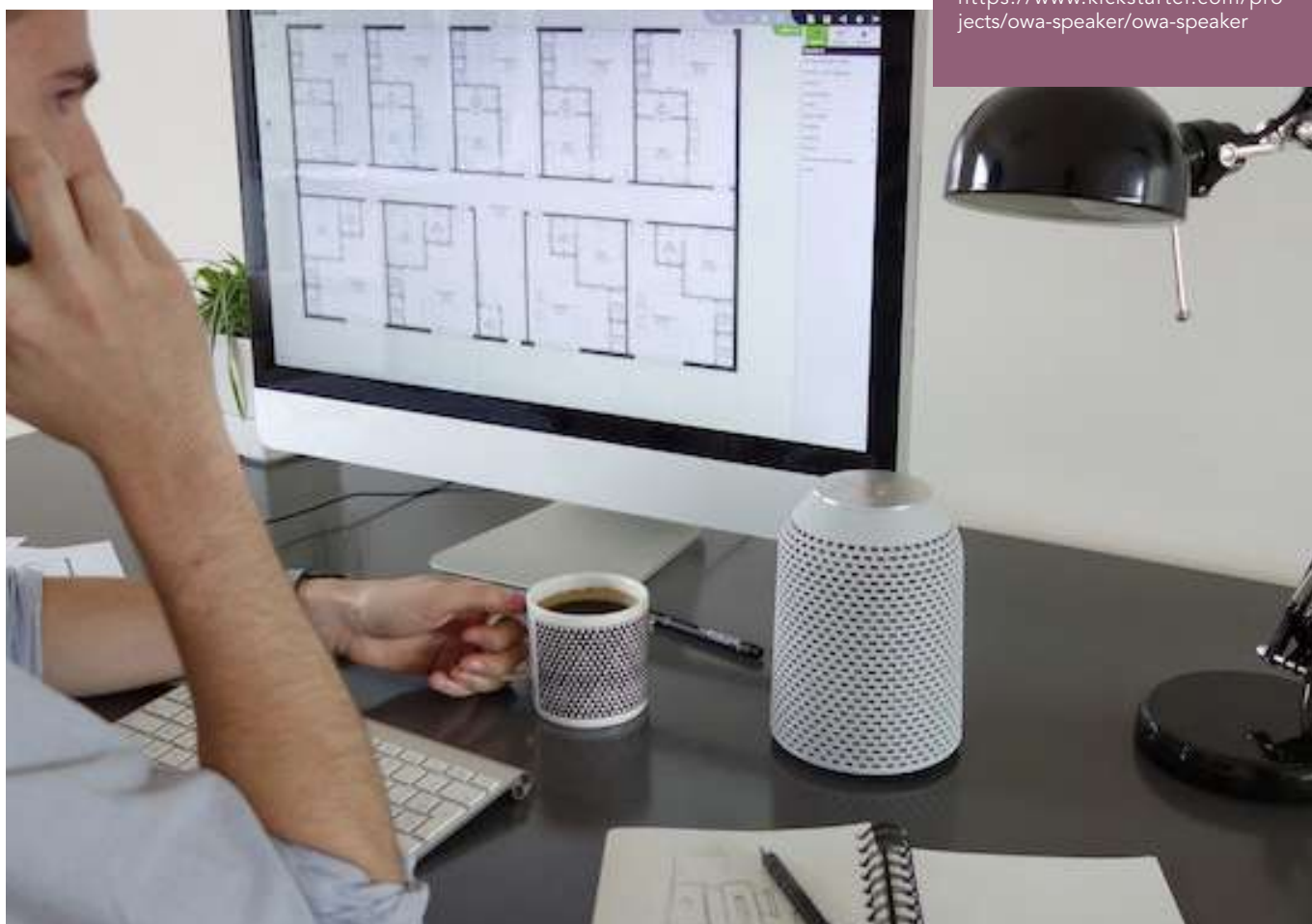
**BENEFICIOS**  
Mantener el valor del producto en el tiempo, estableciendo características que promueven el apego emocional y la flexibilidad estético-funcional con el usuario, evitando sustituir el producto por uno nuevo.

## 03 PERSONALIZACIÓN

**Owa speaker  
Armor 3d  
EEUU**

El altavoz OWA está impreso con filamentos reciclados de vasos de yogur y cartuchos vacíos. Disponible en 12 colores y una gran cantidad de patrones y formas, permite la fabricación de un altavoz personalizable creado a partir de materiales sostenibles.

<https://www.kickstarter.com/projects/owa-speaker/owa-speaker>





**Principales beneficios de la FA como facilitador de las estrategias de la EC.**

**ELEMENTO DE LA ECONOMÍA CIRCULAR**  
 Digitalización de productos.  
 Plataformas compartidas de intercambio.

**FACILITADOR DE LA INDUSTRIA 4.0**  
 Promueve el intercambio de archivos digitales para la fabricación o modificación de productos a nivel global.

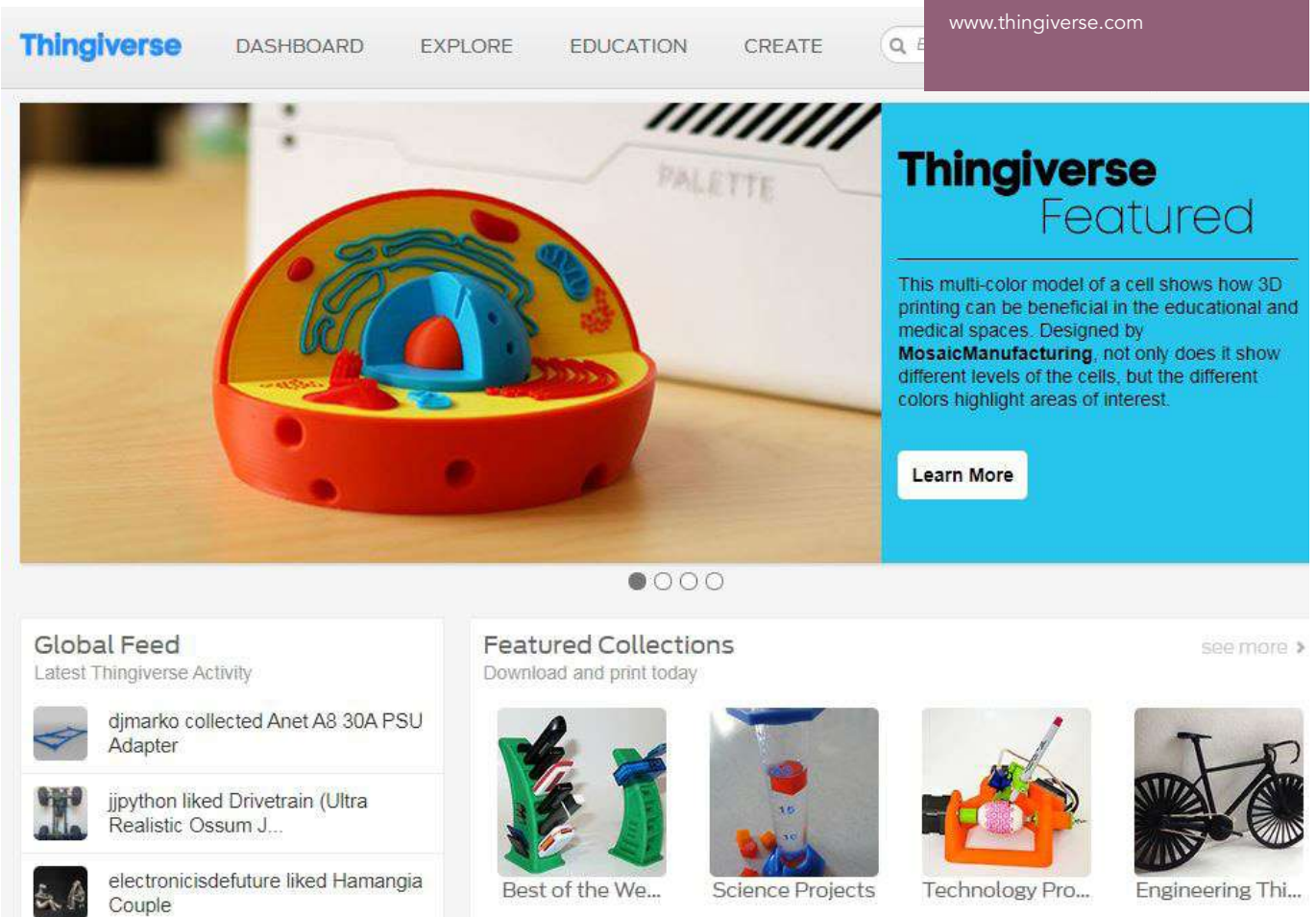
**BENEFICIOS**  
 Plataformas de intercambio de archivos digitales. Diseño local y fabricación descentralizada. Eliminación del stock y distribución de productos.

**04 PLATAFORMAS COMPARTIDAS**

**Thingiverse**  
**MakerBot Industries**  
**EEUU**

Comunidad de diseño para descubrir, hacer y compartir cosas imprimibles en 3D con licencia Creative Commons, lo que significa que los usuarios pueden usar o modificar cualquier diseño.

www.thingiverse.com





**Principales beneficios de la FA como facilitador de las estrategias de la EC.**

**ELEMENTO DE LA ECONOMÍA CIRCULAR**  
Nuevas concepciones de producto.

**FACILITADOR DE LA INDUSTRIA 4.0**  
Optimización de estructuras y complejidad geométrica.

**BENEFICIOS**  
Nuevas posibilidades morfológicas de los productos y eficacia en el uso de recursos debido a las posibilidades constructivas, reducción de peso y estructuras internas.

## 05 OPTIMIZACIÓN ESTRUCTURAL

### Piezas aeroespaciales 3d Systems EEUU

Asistencia en el desarrollo de piezas ligeras a costos operativos reducidos que permiten mejorar la eficiencia de combustible. Con la optimización topológica, se pueden diseñar componentes con características complejas que mantienen o incluso mejoran la resistencia del material.

<https://es.3dsystems.com/aerospace-defense>





**Principales beneficios de la FA como facilitador de las estrategias de la EC.**

**ELEMENTO DE LA ECONOMÍA CIRCULAR**  
Extensión de vida del producto a través de la remanufactura.

**FACILITADOR DE LA INDUSTRIA 4.0**  
Facilita la reparación, mantenimiento y remanufactura de componentes.

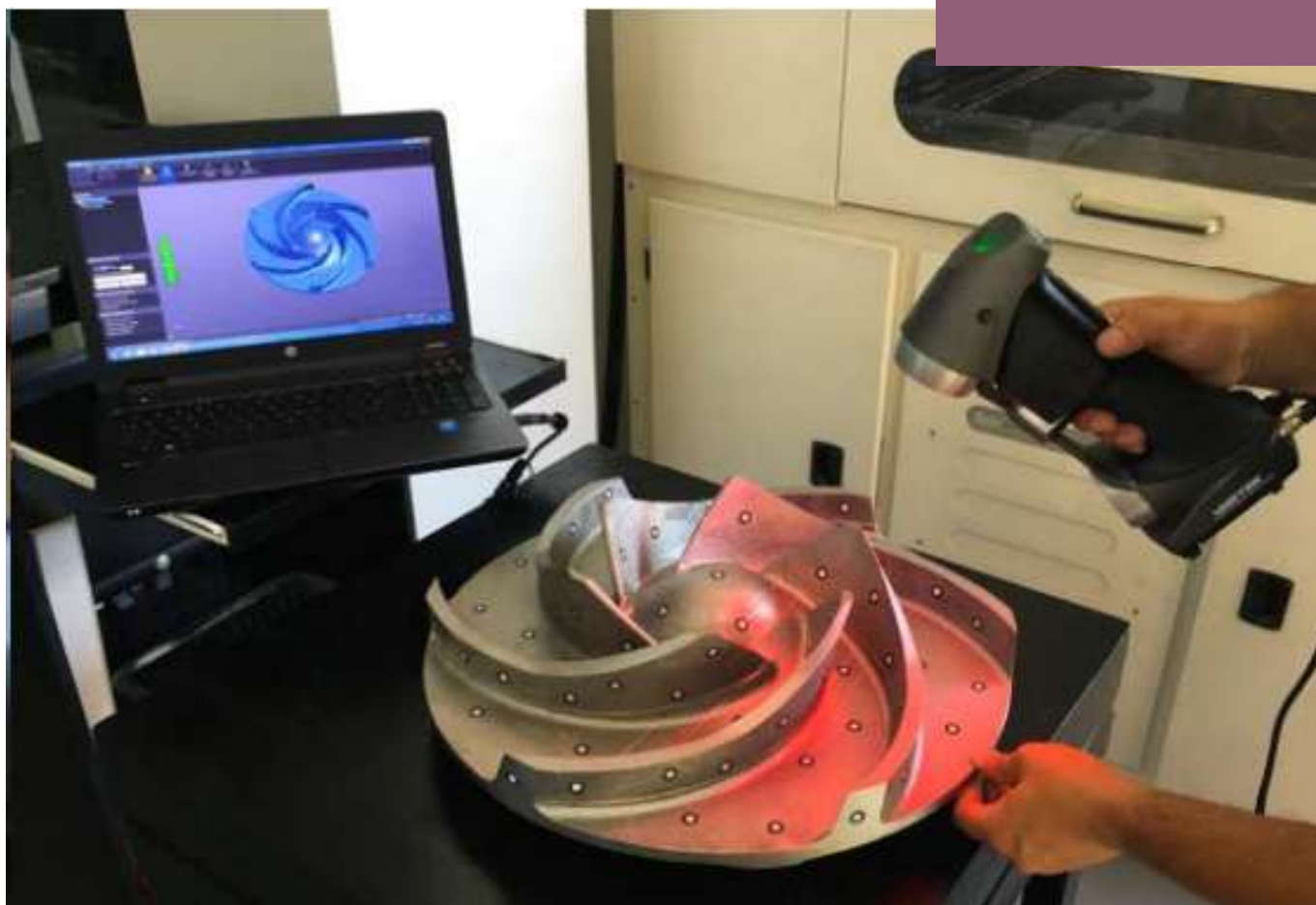
**BENEFICIOS**  
Posibilidades de reparación y remanufactura de componentes desgastados o próximos a presentar fallas.  
Posibilita el remplazo de componentes individuales sin sustituir el producto en su totalidad.  
Permite el desarrollo de nuevos modelos de negocio asociados a la servitización.

## 06 REMANUFACTURA 4.0

### Neptuno Pumps Chile

Diseña, fabrica, remanufactura y desarrolla software para bombas industriales enmarcado en un sistema circular de recuperación de valor, mediante la predictibilidad de fallas, remanufactura 4.0 e impresión 3d.

<https://neptunopumps.com/economiacircular>





**Principales beneficios de la FA como facilitador de las estrategias de la EC.**

**ELEMENTO DE LA ECONOMÍA CIRCULAR**  
Recuperación de recursos.

**FACILITADOR DE LA INDUSTRIA 4.0**  
Utilización de bioplásticos y materiales reciclados.

**BENEFICIOS**  
Canales de recuperación de residuos locales para el posterior reciclaje.  
Reducción de los costos de transporte.  
Mayor control sobre la calidad y propiedades de los materiales.

## 07 RECUPERACIÓN DE RECURSOS

**Second Nature**  
**The new raw**  
**Países Bajos**

Proyecto que reimagina un ecosistema donde el plástico marino es la materia prima para una nueva economía, utilizando la innovación tecnológica y cultural para generar un cambio social.

Desarrollo de una colección de conchas marinas y otros objetos creados digitalmente, elaborados a partir de redes de pesca de origen local y producidos con tecnologías de fabricación y diseño digital.

[www.thenewraw.org/Second-nature-Seashells](http://www.thenewraw.org/Second-nature-Seashells)





**Principales beneficios de la FA como facilitador de las estrategias de la EC.**

**ELEMENTO DE LA ECONOMÍA CIRCULAR**  
Nuevos modelos de negocio.

**FACILITADOR DE LA INDUSTRIA 4.0**  
Desarrollo de nuevas posibilidades de crear valor en los usuarios, mediante venta de archivos digitales, customización e intercambio de partes.

**BENEFICIOS**  
Establecer relaciones de relaciones fuertes y duraderas con los clientes mediante la co-creación, rápida respuesta a las necesidades y prototipado rápido.

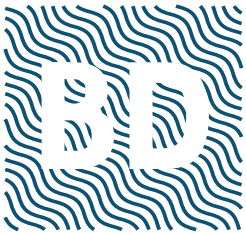
**08 MODELOS 3D QUIRÚRGICOS**

**Armor Bionics Uruguay**

Software que convierte tomografías computarizadas o resonancias magnéticas en modelos 3D imprimibles mediante FA y que sirven como guía para la planificación quirúrgica previa. El uso de esta tecnología reduce el tiempo en cirugía, conduce a tiempos de recuperación más rápidos y produce resultados quirúrgicos más positivos en general.

<https://www.armorbionics.com>





**BIG  
DATA (BD)**

El término Big Data se refiere principalmente a la recopilación, procesamiento y análisis de grandes volúmenes o conjunto de datos que por su masividad (volumen), complejidad (variabilidad), frecuencia de generación (velocidad) y calidad-eficacia (veracidad) no pueden ser tratados de manera convencional ya que superan las capacidades de las herramientas y tecnologías utilizadas habitualmente.

El concepto engloba nuevas infraestructuras tecnológicas y oportunidades de negocio debido a que posibilita la transformación de los datos en información, facilitando la toma de decisiones.



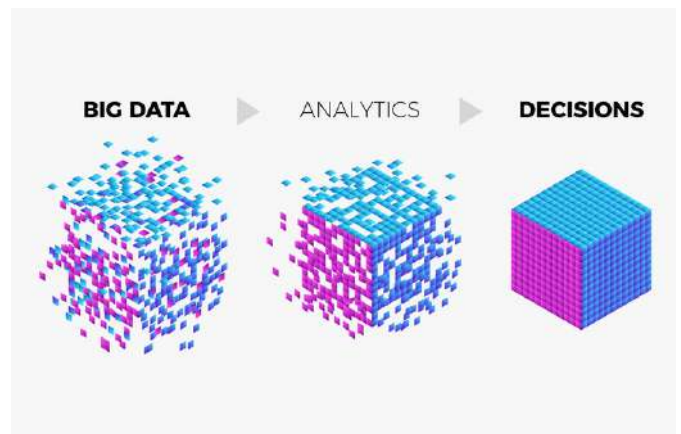
**¿Como el Big Data puede promover la EC?**

La principal contribución del Big data como habilitador de la EC, radica en la posibilidad de digitalización, acceso y análisis de datos.

Esta digitalización permite, automatizar posibles rutas de valor para materiales secundarios, impulsar simbiosis industriales potenciales, promover la reutilización mediante el desarrollo de herramientas, procedimientos, datos y servicios de código abierto. (Rosa,P. 2020)

En adición, promueve la generación de plataformas digitales de recopilación y análisis de datos para implementar modelos comerciales innovadores mediante la evaluación del comportamiento de los consumidores y la toma de decisiones para un diseño eficiente.

En lo que refiere a los procesos facilita la implementación de prácticas de fabricación inteligente y en productos, la recopilación o administración de datos sobre el ciclo de vida, mejora la secuencia de desmontaje, reducción de costos en procesos de remanufactura, la separación y clasificación de residuos en procesos de reciclaje.







### Principales beneficios del BD como facilitador de las estrategias de la EC.

**ELEMENTO DE LA ECONOMÍA CIRCULAR**  
Nuevos modelos de negocio. Plataformas compartidas

**FACILITADOR DE LA INDUSTRIA 4.0**  
Identificación y seguimiento de los flujos de materiales de distintos sectores para facilitar las posibilidades de recuperación, reutilización, y/o reciclaje.

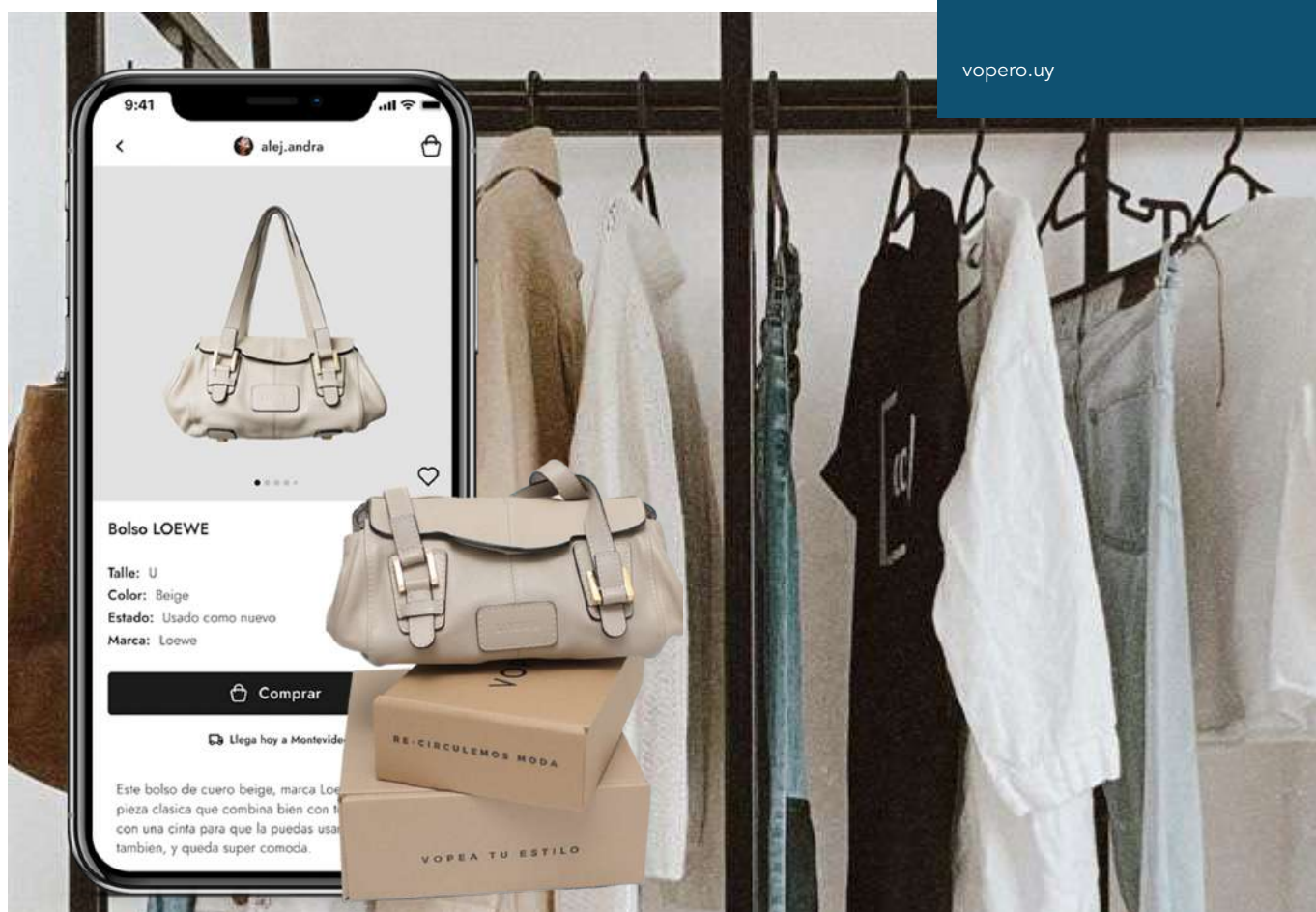
**BENEFICIOS**  
Facilita la creación de plataformas digitales inteligentes "marketplace" que conectan usuarios y organizaciones, públicas y privadas, a través de Internet, facilitando el intercambio de información y la reutilización de materiales.

## 01 REVENTA INDUMENTARIA

### Vopero Uruguay

Vopero es un marketplace de moda circular y sustentable, diseñado para la reventa de prendas de vestir usadas en perfectas condiciones. Esta iniciativa le permite a nuevos clientes acceder a moda sostenible a un precio asequible, por medio de un catálogo personalizado y una experiencia única.

vopero.uy





**Principales beneficios del BD como facilitador de las estrategias de la EC.**

**ELEMENTO DE LA ECONOMÍA CIRCULAR**  
Eficiencia en la utilización de recursos.

**FACILITADOR DE LA INDUSTRIA 4.0**  
Integrado a recursos del Internet de las cosas permite el monitoreo, control y la obtención de información para la toma de decisiones.

**BENEFICIOS**  
Permite obtener y procesar información de distintos dispositivos para tomar decisiones referidas a optimizar procesos, aumentar la eficiencia de los recursos y crear nuevos modelos de negocio como el "Producto como servicio".

**02 OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA**

**Philips Lighting  
SEAT - Philips  
España**

-----  
Implementación de un modelo de negocio de "Producto como servicio" con el objetivo de sustituir las fuentes de luz exterior por iluminación LED controlada y monitoreada que permite a la compañía ahorrar un 80% en el consumo de energía, más de 900 MWh por año.

[www.lighting.philips.com/main/education/lighting-academy](http://www.lighting.philips.com/main/education/lighting-academy)





### Principales beneficios del BD como facilitador de las estrategias de la EC.

**ELEMENTO DE LA ECONOMÍA CIRCULAR**  
Minimizar el impacto en las distintas etapas del ciclo de vida de los productos.

**FACILITADOR DE LA INDUSTRIA 4.0**  
Utilización de grandes volúmenes de datos para la toma de decisiones.

**BENEFICIOS**  
Recopila y administra datos sobre los distintos elementos, materiales, procesos e impactos en las diferentes etapas del ciclo de vida de los productos.

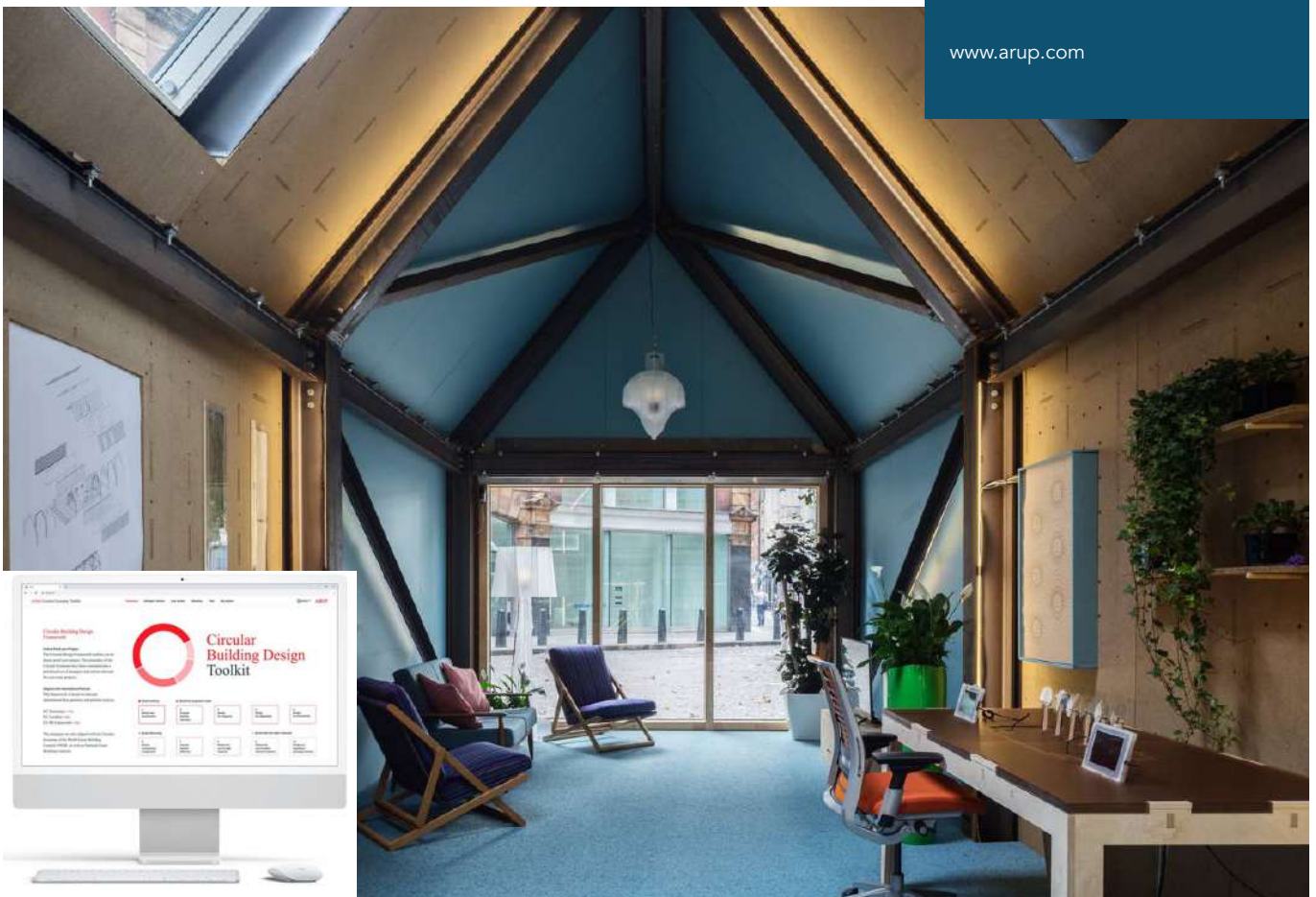
## 03 CONSTRUCCIÓN INTELIGENTE

**Arup3**  
**Arup - Ellen McArthur**  
**Fundation**  
**Reino Unido**

-----

Desarrollo de un kit de herramientas para edificios circulares utilizando big data e IoT para maximizar la utilización de componentes y materiales en la construcción de un edificio. La instalación fue diseñada para facilitar el desmontaje no destructivo y el uso de materiales no tóxicos.

[www.arup.com](http://www.arup.com)





**Principales beneficios del BD como facilitador de las estrategias de la EC.**

**ELEMENTO DE LA ECONOMÍA CIRCULAR**  
Fabricación descentralizada y personalizada.

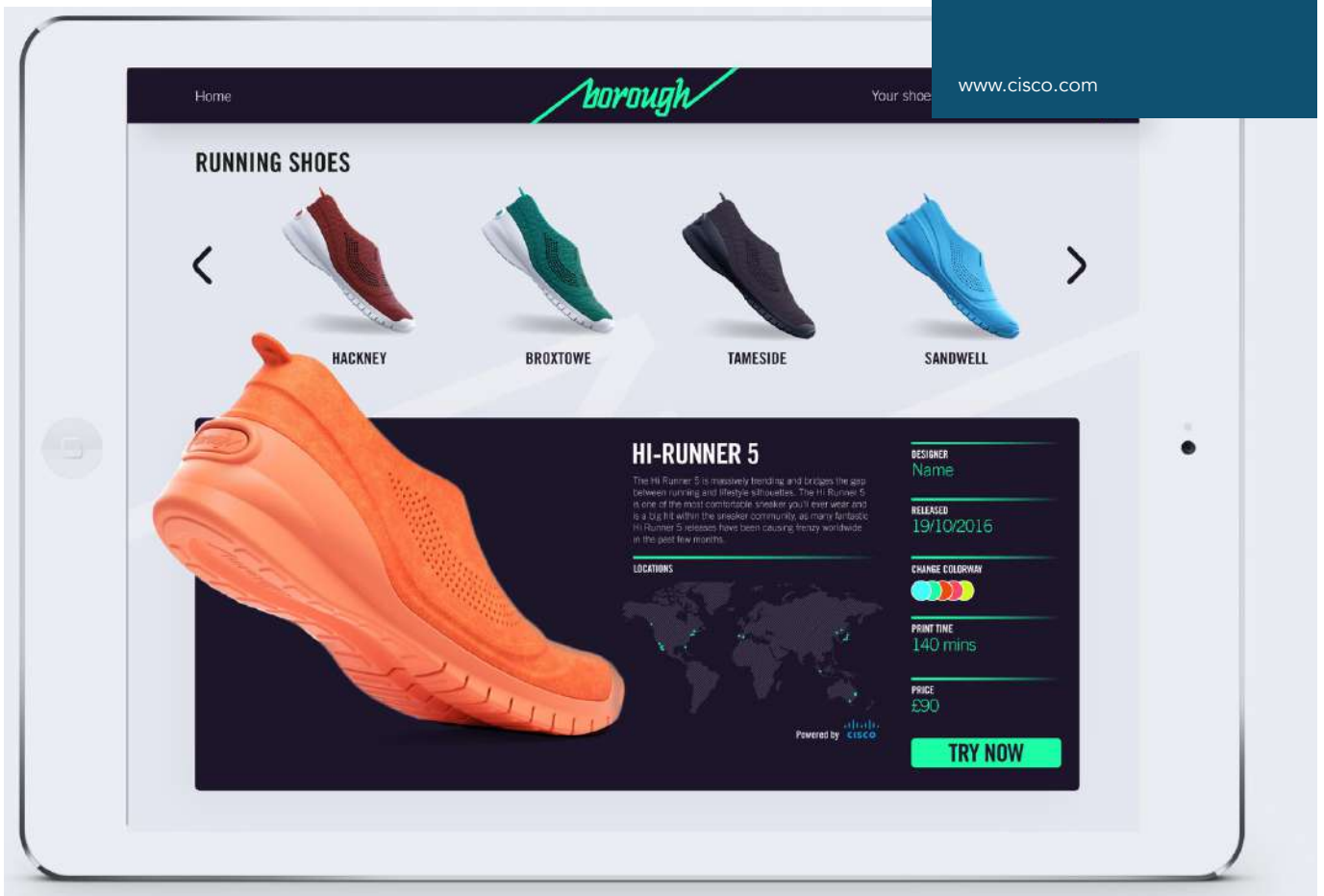
**FACILITADOR DE LA INDUSTRIA 4.0**  
Combinación de distintas tecnologías para la implementación de un sistema de fabricación redistribuida.

**BENEFICIOS**  
En combinación con el IoT, la digitalización de los procesos y el uso de impresión 3d permite la recolección de información de los clientes, para la producción descentralizada de productos personalizados y adaptados a sus necesidades.

**04 PRODUCCIÓN LOCAL**

**Shoe Lab  
Cisco's sport shoes  
EEUU**

Colaboración entre Cisco, la Universidad de Cranfield y The Clearing resultó en un proyecto para explorar la combinación de big data, IoT y tecnología digital para impulsar un nuevo modelo circular de producción y consumo de zapatos deportivos, que permitió la implementación de un sistema de fabricación redistribuida (RdM) en Reino Unido.





**Principales beneficios del BD como facilitador de las estrategias de la EC.**

**ELEMENTO DE LA ECONOMÍA CIRCULAR**  
Gestión de residuos.

**FACILITADOR DE LA INDUSTRIA 4.0**  
Soporte de análisis y decisiones en tiempo real basados en análisis sofisticados aplicados a conjuntos de datos de clientes y sensores integrados.

**BENEFICIOS**  
Posibilita la implementación de un modelo efectivo de ciudad inteligente a partir de herramientas de recopilación de datos para obtener información en torno al impacto de la gestión de residuos.

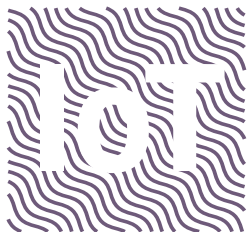
## 05 GESTIÓN DE RESIDUOS

### Smart Waste The Circular Lab- Ecoembes- España

Aplicación tecnológica para la gestión de los procesos de recogida, selección y reciclado de envases. Esta plataforma de gestión integral de la cadena del residuo coordina contenedores inteligentes e integrados; camiones conectados por GPS que determinan peso y rutas, gestionándolas en tiempo real, usa vehículos híbridos y eléctricos para reducir las emisiones y lleva a cabo un Análisis de Ciclo de Vida (ACV), para calcular el beneficio ambiental de la correcta gestión de los residuos.

[www.thecircularlab.com/smart-waste](http://www.thecircularlab.com/smart-waste)





## INTERNET DE LAS COSAS (IoT)

En el análisis de los documentos estudiados se considera a el IoT, junto con la fabricación aditiva, como una de las tecnologías más importantes capaces impulsar la transición hacia una EC.

El internet de las cosas es un sistema interrelacionado que permite la interconexión digital y la cooperación entre las personas, máquinas y objetos a través de un sistema de dispositivos informáticos interrelacionados provistos de identificadores únicos (redes inalámbricas, sensores, etc), con la capacidad de transferir datos a través de una red sin necesidad de comunicación de persona a persona o persona-computadora. Esto permite la generación de una gran cantidad de información que debe ser gestionada y almacenada, para posteriormente ser utilizada. (Mavropoulos y Nilsen. 2020)

En este sentido, el Big data permite realizar el análisis del volumen y variedad de datos que provienen de la aplicación del internet de las cosas.

Los recursos más comunes utilizados en la implementación del internet de las cosas son la Identificación de frecuencia de radio (RFID), etiquetas tecnológicas, sensores, códigos de barras y teléfonos inteligentes (Atzori,L. 2010)



### ¿Como el IoT puede promover la EC?

Los potenciales usos se extienden a una gran cantidad de áreas en su relación con sistemas circulares.

En líneas generales la información obtenida por la aplicación del internet de las cosas en combinación con el análisis de los datos mediante el Big data, permite extender el ciclo de vida de los productos, establecer sistemas eficientes de gestión y recuperación de residuos, reducir el consumo de materias primas, optimizar las cadenas de suministro y desarrollar redes de colaboración a través de la simbiosis industrial.





**Principales beneficios del IoT como facilitador de las estrategias de la EC.**

**ELEMENTO DE LA ECONOMÍA CIRCULAR**  
Regenerar los ecosistemas y reducir el uso de recursos.

**FACILITADOR DE LA INDUSTRIA 4.0**  
Utilización de sensores para el control y monitoreo de procesos permitiendo una gestión sostenible de los recursos.

**BENEFICIOS**  
Reducción del consumo de los recursos (agua, nutrientes, energía, etc) para mejorar la productividad de las cosechas y prolongar el ciclo de vida de la tierra.

**01 OPTIMIZACIÓN AGRÍCOLA**

**WiseConn  
Digi International Inc  
EEUU**

Desarrollo del sistema DropControl combinando IoT y big data para ayudar a los agricultores a maximizar sus cosechas y optimizar el riego mediante el control preciso de la humedad del suelo, los pozos, las válvulas y las estaciones meteorológicas, lo que permite ahorrar hasta un 30% de agua.

[es.digi.com](http://es.digi.com)





### Principales beneficios del IoT como facilitador de las estrategias de la EC.

#### ELEMENTO DE LA ECONOMÍA CIRCULAR

Eliminación de los residuos  
Residuo como recurso

#### FACILITADOR DE LA INDUSTRIA 4.0

Obtención de datos en tiempo real para optimizar las actividades y procesos de recuperación y recolección de residuos. Incorporación de sensores, etiquetas RFID y códigos de barra para recuperar el valor una vez finalizado un ciclo de uso.

#### BENEFICIOS

Desarrollar nuevas infraestructuras de obtención de datos como estrategia para la gestión de residuos en ciudades inteligentes. Facilita el rastreo de los elementos para su posterior reutilización, reciclaje, reacondicionamiento o remanufactura.

## 02 CONTENEDORES INTELIGENTES

### Big Belly EEUU

Red inteligente de los residuos y el reciclaje, para el desarrollo de una solución inalámbrica que reduzca la cantidad de recursos y tiempo necesario para recoger la basura y los materiales. Cada cubo de basura está conectado a Internet. Cuando los sensores indican que están llenos, se envía una señal para notificar a los equipos de recogida de residuos para su correcta recolección.

[bigbelly.com](http://bigbelly.com)







**Principales beneficios del IoT como facilitador de las estrategias de la EC.**

**ELEMENTO DE LA ECONOMÍA CIRCULAR**

Nuevos modelos de negocio  
Plataformas compartidas

**FACILITADOR DE LA INDUSTRIA 4.0**

Nuclear usuarios a través de sitios web y aplicaciones haciendo un seguimiento de su comportamiento para la toma de decisiones.

**BENEFICIOS**

Permite conectar a las personas y compartir información relacionada con la oferta y demanda de productos, facilitando la especificación y personalización de los servicios, aumentando la satisfacción de los clientes.

**03 MONITOREO DE BATERIAS**

**Gogoro  
Taiwán**

Modelo de negocio con tecnologías de IoT, Big data y cloud computing para acelerar el concepto de economía colaborativa de la economía circular. Permite monitorear el ciclo de vida de las baterías en tiempo real, realizar rendimiento predictivo y facilitar el reemplazo en las estaciones de carga, además de permitir analizar el comportamiento del usuario.

[www.gogoro.com](http://www.gogoro.com)





### Principales beneficios del IoT como facilitador de las estrategias de la EC.

**ELEMENTO DE LA ECONOMÍA CIRCULAR**  
Consumo sostenible de recursos.

**FACILITADOR DE LA INDUSTRIA 4.0**  
Utilización de sensores para monitorear el desempeño de los productos y equipos.

#### BENEFICIOS

Permite a las organizaciones predecir el comportamiento de los productos, la posibilidad de fallas e información sobre su rendimiento en la fase de uso.

En función del consumo de recursos, por ejemplo energía y agua, las organizaciones pueden monitorear, intervenir y controlar el desempeño de las maquinarias en tiempo real, evitando el uso excesivo de recursos.

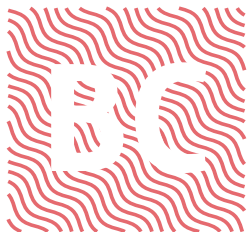
## 04 PAGO POR USO

### Homie Países Bajos

Empresa que ofrece lavadoras, lavavajillas, secadoras y otros electrodomésticos adoptando un modelo de negocio de producto como servicio. Incorpora sensores de IoT lo que permite la supervisión de los dispositivos y su control durante su uso, así como también la recopilación de grandes cantidades de datos que son analizados a través del Big Data. Esta tecnología permite optimizar la fase de uso y realizar un mantenimiento preventivo ofrecido en el servicio.

[www.homiepayperuse.com](http://www.homiepayperuse.com)





## **BLOCKCHAIN (BC)**

Esta tecnología es nombrada con menor frecuencia entre los autores como un facilitador hacia la economía circular; de todas formas se entiende como un elemento clave para la I4.0 ya que su campo de actuación es extremadamente amplio y tiene una gran relevancia en la digitalización de los procesos de la industria y empresas en combinación con otras tecnologías.

Blockchain es una forma colaborativa de gestionar datos. En lugar de una base de datos centralizada, los datos se almacenan en un libro mayor inmutable y compartido entre un grupo de entidades interesadas. Los datos se proporcionan de manera inmediata, transparente e inalterables a los que únicamente tienen acceso las partes autorizadas.

Mediante una red de Blockchain se habilita un registro confiable de todo lo que sucede relacionado a un producto o proceso, facilitando el registro de transacciones y de seguimiento de activos en una red de negocios.

### *Elementos claves de Blockchain*

#### **Tecnología de libro mayor distribuido**

Cada entidad que necesite consultar los datos almacenados en el libro mayor, puede tener una copia propia de la base de datos, completa y actualizada en tiempo real. Las transacciones se registran una única vez, eliminando la duplicación de información típicas de las redes de negocio tradicionales.

#### **Registros inmutables e inalterables**

Cada registro del Blockchain está sellado en el tiempo y enlazado al registro anterior. Una vez que la información es introducida en el libro mayor, la misma no es modificable o alterable sin romper la lógica interna y corromper la base de datos. Si el registro incluye un error se debe realizar un nuevo registro para revertir el error, quedando ambos visibles.

#### **Consensuada**

Cada registro introducido en la base de datos requiere el acuerdo de las entidades implicadas mediante un contrato inteligente el cual se almacena en el blockchain y se ejecuta automáticamente, permitiendo la aceleración del registro y la fiabilidad del mismo.

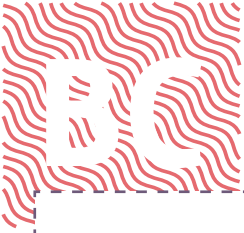
### **¿Cómo el Blockchain puede promover la EC?**

Las principales aplicaciones del Blockchain radica en facilitar la trazabilidad de transacciones, productos, materiales y residuos, enriqueciéndose con otras tecnologías asociadas como el internet de las cosas (IoT) o el Big data para aportar soluciones mixtas y multiplicar sus beneficios de sostenibilidad.

Mediante esta combinación de tecnologías se puede realizar el seguimiento de mercancías o materias primas registrando el avance por toda la cadena de suministro de forma rápida, segura y transparente.

En productos o componentes reutilizados se facilita la obtención de datos de vida útil, la interacción entre los usuarios y posibilita el desarrollo de estrategias de gestión del ciclo de vida ya que proporciona integridad de datos en un entorno de tiempo real a nivel de cadena de valor.





**Principales beneficios del BC como facilitador de las estrategias de la EC.**

**ELEMENTO DE LA ECONOMÍA CIRCULAR**  
Extensión de vida de los productos.

**FACILITADOR DE LA INDUSTRIA 4.0**  
La obtención de datos de los productos a lo largo de todas las etapas de su ciclo de vida.

**BENEFICIOS**  
Permite la trazabilidad de los productos facilitando la correcta gestión de fin de vida y estrategias de recuperación de valor.

**01 REVENTA DE INDUMENTARIA**

**MonoChain Reino Unido**

Esta empresa utiliza blockchain para mantener indumentaria en uso y evitar su deposición final en vertederos, conectando mercados principales y de segunda mano, lo que facilita la reutilización de productos y ayuda a extender la vida útil de los productos.

Los clientes finales pueden ver en tiempo real la procedencia de los artículos, su valor original y su valor de reventa, a la vez que pueden descubrir los mejores lugares para venderlos cuando quieran dejar de usarlos. Esto da seguridad a los clientes de una manera sencilla y asequible para ellos.

[monochain.org](http://monochain.org)





**Principales beneficios del BC como facilitador de las estrategias de la EC.**

**ELEMENTO DE LA ECONOMÍA CIRCULAR**

Facilitar la redistribución y reducción de residuos.

**FACILITADOR DE LA INDUSTRIA 4.0**

Permite la trazabilidad de los productos de forma segura y transparente.

**BENEFICIOS**

Reincorporar al mercado productos defectuosos o residuos con valor mediante la posibilidad de rastreo, transparencia y seguridad de la cadena de valor.

## 02 DESPERDICIO FARMACÉUTICO

### Remedichain EEUU

Remedichain - brinda - una solución al desperdicio farmacéutico que redistribuye medicamentos no caducados entre los pacientes que lo necesitan. La plataforma ofrece un incentivo para que los miembros de la comunidad envíen una imagen de sus recetas no utilizadas a través de SMS. Cuando se identifican los medicamentos, la plataforma genera un formulario de donación de recetas y un enlace que cubre el envío a su centro.

La plataforma, que utiliza la cadena de bloques Ethereum, verifica la calidad de las donaciones y rastrea su origen hasta el destino, ya sea a los pacientes o a los incineradores aprobados por el gobierno.

[www.remedichain.org](http://www.remedichain.org)





**Principales beneficios del BC como facilitador de las estrategias de la EC.**

**ELEMENTO DE LA ECONOMÍA CIRCULAR**  
Optimizar la cadena de valor.

**FACILITADOR DE LA INDUSTRIA 4.0**  
Proporciona transparencia y seguridad en la obtención de datos ambientales.

**BENEFICIOS**  
Seguimiento de productos a través de toda su cadena de valor, favoreciendo la toma de decisiones y la información de impacto ambiental en las distintas etapas del ciclo de vida.

### 03 TRAZABILIDAD AGRÍCOLA

#### Bext360 EEUU

Es una startup en el campo de la agricultura que está utilizando blockchain para rastrear, verificar y autenticar la cadena de suministro del algodón orgánico o de café, favoreciendo la transparencia a través del seguimiento y el conocimiento de la cadena de suministro de sus productos de extremo a extremo, obteniendo datos sobre el impacto ambiental de las distintas etapas del ciclo de vida.

[www.bext360.com](http://www.bext360.com)





**Principales beneficios del BC como facilitador de las estrategias de la EC.**

**ELEMENTO DE LA ECONOMÍA CIRCULAR**  
Recuperación de valor al final del ciclo de vida.

**FACILITADOR DE LA INDUSTRIA 4.0**  
Eliminación de intermediarios y trazabilidad de envases.

**BENEFICIOS**  
Aumentar las tasas de recuperación de distintos materiales mediante un sistema eficiente de trazabilidad y la participación activa de productores, autoridades y ciudadanos.

## 04 GESTIÓN DE ENVASES

### Empower Noruega

Desarrollo de una aplicación basada en blockchain que elimina la necesidad de intermediarios en la gestión de envases plásticos. Los envases se etiquetan y quien los devuelve recibe una recompensa en forma de token digital (una tecnología similar a la que usan las criptomonedas). Así, se eliminan barreras como la necesidad de tener una identificación o una cuenta bancaria.

[www.empower.eco](http://www.empower.eco)





**Principales beneficios del BC como facilitador de las estrategias de la EC.**

**ELEMENTO DE LA ECONOMÍA CIRCULAR**  
Recuperación de recursos.

**FACILITADOR DE LA INDUSTRIA 4.0**  
Trazabilidad de productos, residuos y procesos.

**BENEFICIOS**

La transparencia que ofrece el Blockchain ayuda a conocer con exactitud todo el proceso por el que pasa un residuo, asegurando que cumple con la normativa internacional y facilitando su trazabilidad por todas las partes implicadas en el proceso.

**05 GESTIÓN DE ENVASES**

**Heura - SigneBlock España**

La aplicación del blockchain en este modelo trata de dar una solución para garantizar la trazabilidad y optimización de la gestión de envases utilizados en los procesos agrícolas potenciando la protección del medio ambiente y la generación de modelos eficientes de economía circular.

[www.signeblock.com](http://www.signeblock.com)







## INTELIGENCIA ARTIFICIAL (IA)

Es una ciencia cognitiva para mejorar las decisiones con importantes actividades de investigación en muchas áreas, como el procesamiento de imágenes, el procesamiento del lenguaje natural, la robótica o el aprendizaje automático ( Lee, 2018 ).

Es un término general que nuclea un conjunto de tecnologías que crean modelos y sistemas informáticos que realizan funciones cognitivas similares a las humanas, como el razonamiento y el aprendizaje.

El software de IA, a diferencia de los convencionales, preprogramados, es capaz de aprender de la experiencia.

Para la resolución de problemas realizan tareas como la detección de patrones, predicción de tendencias, optimización de procesos y generación de recomendaciones, tomando como referencia datos de videos, imágenes, audio, números, texto, etc.

### ¿Como la IA puede promover la EC?

Se puede utilizar para acelerar la transición a una economía circular, centrándose en la creación de sistemas regenerativos mediante la introducción de IA en el diseño de productos para eliminar los desechos y la contaminación, aumentar la eficacia y optimizar nuevos modelos comerciales, innovar en nuevos materiales, optimizar la infraestructura necesaria para mantener los productos y materiales en uso y facilitar los sistemas de gestión de residuos.





**Principales beneficios del IA como facilitador de las estrategias de la EC.**

**ELEMENTO DE LA ECONOMÍA CIRCULAR**

Diseño para el futuro.

**FACILITADOR DE LA INDUSTRIA 4.0**

Puede ser incorporada al proceso de diseño para analizar rápidamente fuentes de datos y sugerir alternativas para el proceso proyectual.

**BENEFICIOS**

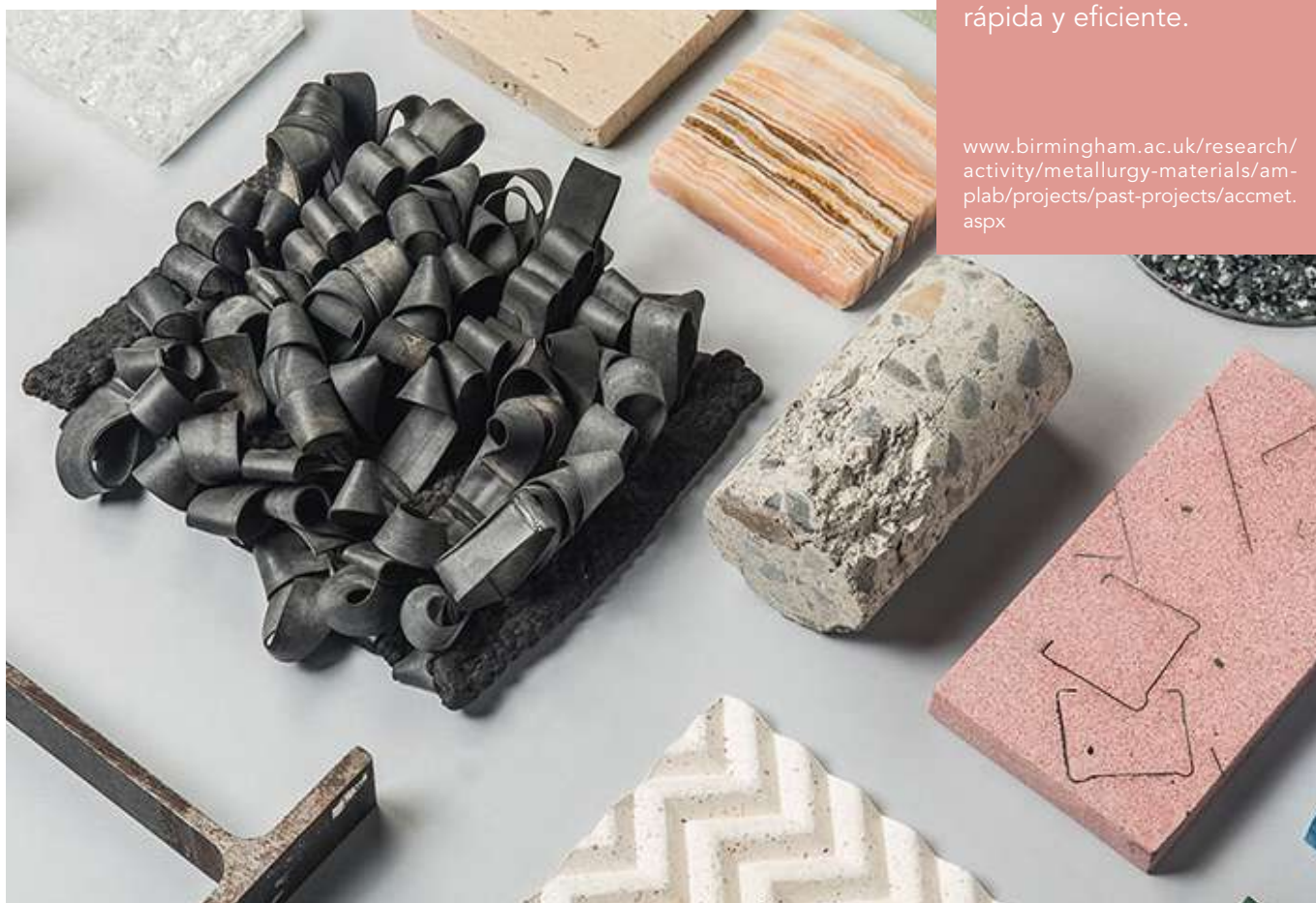
Crear productos, componentes y materiales con un diseño efectivo de una manera rápida, debido a la velocidad del algoritmo de IA para analizar grandes cantidades de datos y sugerir diseños iniciales, que luego en el proceso de diseño se revisarán, modificarán o aprobarán. De esta forma facilitar la toma de decisiones y conducir a un mejor resultado en un período de tiempo más corto.

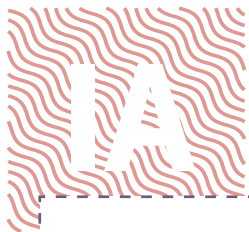
**01 DISEÑO DE MATERIALES**

**Accelerated Metallurgy project  
Reino Unido**

El Proyecto Accelerated Metallurgy impulsado por la Agencia Espacial Europea junto con un grupo de los principales fabricantes, universidades y diseñadores en el área, ha utilizado la IA para acelerar el diseño de materiales. La tecnología se utilizó para crear, producir y probar de una forma rápida y sistemática nuevas aleaciones metálicas. Se produjo de materiales completamente nuevos de una manera rápida y eficiente.

[www.birmingham.ac.uk/research/activity/metallurgy-materials/amplab/projects/past-projects/accmet.aspx](http://www.birmingham.ac.uk/research/activity/metallurgy-materials/amplab/projects/past-projects/accmet.aspx)





**Principales beneficios del IA como facilitador de las estrategias de la EC.**

**ELEMENTO DE LA ECONOMÍA CIRCULAR**  
Nuevos modelos de negocio.

**FACILITADOR DE LA INDUSTRIA 4.0**  
Esta tecnología tiene la capacidad de recolectar grandes cantidades de datos de productos y clientes, utilizando algoritmos dinámicos para respaldar la toma de decisiones estratégicas.

**BENEFICIOS**  
Aumentar la eficacia y optimizar los modelos de negocio de la economía circular. Respalda la fijación de precios, pronosticar la demanda y crear plataformas comerciales para recursos secundarios, componentes y productos subutilizados.

**02 REVENTA DE PRODUCTOS**

**Stuffstr**  
**Reino Unido**

Stuffstr compra y recolecta productos usados de los consumidores y los vende en mercados de segunda mano.

Un algoritmo de IA ayuda a Stuffstr a establecer precios competitivos para el vendedor, maximizando el valor de los productos en el tiempo mediante la redistribución.

[www.stuffstr.com](http://www.stuffstr.com)





**Principales beneficios del IA como facilitador de las estrategias de la EC.**

**ELEMENTO DE LA ECONOMÍA CIRCULAR**  
Circuitos circulares.

**FACILITADOR DE LA INDUSTRIA 4.0**  
Utilización de técnicas de reconocimiento visual, en combinación con robótica, para optimizar la infraestructura necesaria para mantener los productos y materiales en uso.

**BENEFICIOS**  
Al contribuye a crear valor al realizar flujos circulares de materiales, permitiendo una mayor valorización de materiales y productos, mediante la clasificación de productos mixtos posconsumo, evaluando de forma automatizada el estado de los productos usados y estableciendo criterios para sus posibilidades de reuso, reventa, reparación o reciclaje teniendo como prioridad maximizar la conservación de valor.

**03 CLASIFICACIÓN DE RESIDUOS**

**ZenRobotics  
Finlandia**

La empresa automatiza la clasificación de desechos mediante la utilización de cámaras y sensores, cuya entrada de imágenes permite que la IA de robots clasificadores controle los desechos de manera eficiente. Estos robots pueden alcanzar un nivel de precisión del 98 % en la clasificación de innumerables materiales corrientes, desde envases de plástico hasta residuos de construcción.

[www.zenrobotics.com](http://www.zenrobotics.com)





**Principales beneficios del IA como facilitador de las estrategias de la EC.**

**ELEMENTO DE LA ECONOMÍA CIRCULAR**  
Eliminación de desperdicios.

**FACILITADOR DE LA INDUSTRIA 4.0**  
Combinar distintas tecnologías para contribuir a un uso eficiente de los recursos y minimización de desperdicios.

**BENEFICIOS**  
Uso de datos recopilados de los campos agrícolas por drones, sensores remotos, imágenes satelitales y granjas inteligentes, para reducir los desechos en la agricultura y la producción de alimentos. También permite la posibilidad de que la IA se utilice para reducir el desperdicio de alimentos durante el procesamiento de los mismos.

**04 DESPERDICIO ALIMENTARIO**

**TOMRA  
Noruega**

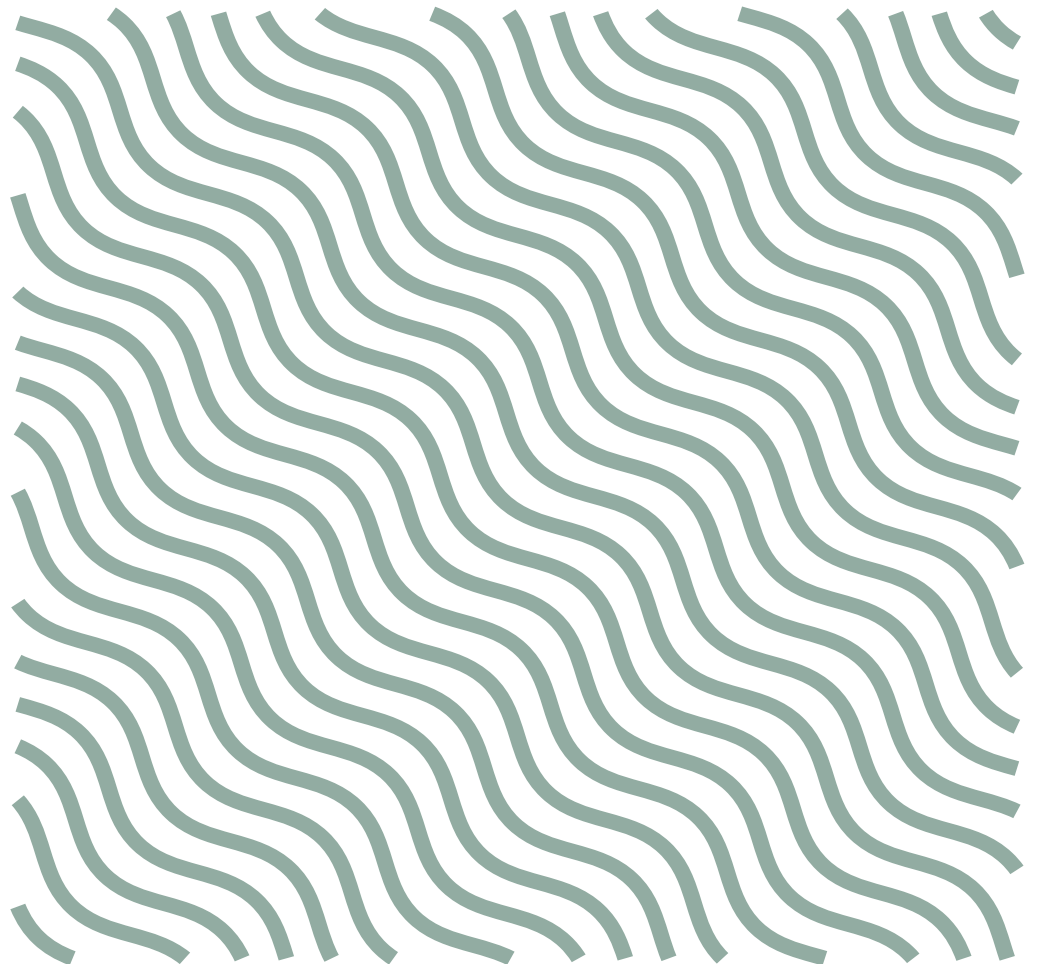
Soluciones de clasificación de alimentos que utilizan algoritmos de IA para analizar imágenes y datos de cámaras, espectroscopia de infrarrojo cercano, rayos X y láseres, para identificar productos no uniformes, como zanahorias y papas, y clasificar cada uno de acuerdo con su uso óptimo.

[www.tomra.com](http://www.tomra.com)



## **SEGUNDA ETAPA**

### **Análisis de casos de estudio**





## Proceso de selección de los casos de estudio.

En el proceso de selección de casos se establecieron requisitos que los ejemplos deben cumplir como marco para realizar un análisis que contribuya a evaluar las relaciones entre la industria 4.0 y la economía circular.

Se toma como base el trabajo realizado por la consultora *Circle Economy*<sup>8</sup> en *Global Mapping Project 2022 Knowledge Hub Community Guidelines*<sup>9</sup>.

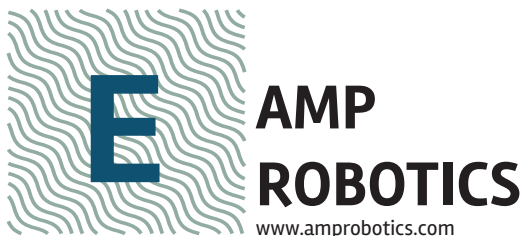
La evaluación se llevó a cabo en conformidad con un análisis cualitativo y de acuerdo con los siguientes criterios de selección:

REQUISITOS	DESCRIPCIÓN
Indispensables	<ul style="list-style-type: none"> <li>Están categorizados bajo al menos uno de los elementos claves de la Economía circular, aunque pueden pertenecer a múltiples elementos.</li> <li>Incorporar alguna tecnología habilitadora de la Industria 4.0</li> <li>Puede ser un caso de negocios (es decir, una empresa o iniciativa que está implementando una estrategia circular)</li> <li>Puede ser un caso de política (es decir, una política regional, nacional o internacional)</li> <li>Puede ser un informe (es decir, una pieza de investigación/artículo de revista que consiste en análisis o ideas sobre la circularidad)</li> </ul>
Deseables	<ul style="list-style-type: none"> <li>Que pueda demostrar resultados para la actividad económica y, al mismo tiempo, que genere beneficios sociales y/o medioambientales.</li> <li>Que explique de forma concreta e inteligible el proceso desarrollado para lograr los resultados mencionados con anterioridad.</li> <li>Priorizar los estudios de caso con mayor potencial para ser reproducidos en otros contextos similares o frente a desafíos comparables.</li> </ul>
Opcionales	<ul style="list-style-type: none"> <li>Priorizar las experiencias que cuentan con una evaluación o un análisis cuantitativo de sus resultados.</li> </ul>
No deben	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ser una iniciativa empresarial en fase puramente conceptual</li> <li>Ser promocional de un negocio, aunque sea circular:</li> <li>Un caso se considera promocional cuando:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>describe la propuesta comercial en lugar de un impacto fáctico o un resultado de la iniciativa comercial.</li> <li>está escrito en primera persona</li> <li>usa superlativos no admitidos</li> </ul> </li> </ul>

Fig.13. Tabla de criterios para la selección de casos

8. <https://www.circle-economy.com>

9. <https://knowledge-hub.circle-lab.com>



www.amprobotics.com

PAÍS Estados Unidos	IMPLEMENTADO América del Norte, Asia y Europa	AÑO desde 2014	INDUSTRIA   SECTOR Reciclaje
------------------------	--	-------------------	---------------------------------

### RESUMEN

Mediante la Inteligencia artificial y la robótica, AMP Robotics procesa millones de imágenes de residuos para analizar cada uno de los materiales de los que están compuestos.

Este sistema inteligente aprende en segundos a precisar y categorizar los tipos, colores, tamaños, marca y forma de materiales de los residuos desde papel, plásticos, metales, orgánicos y residuos de construcción.

De esta forma, almacena datos sobre cada elemento que percibe para posteriormente poder separar los materiales reciclables, reduciendo la contaminación y creando materia prima de alto valor para crear nuevos suministros con valor económico.

### PROBLEMA

Costos en el proceso de reciclaje y la clasificación de residuos. A nivel mundial, AMP ha estimado que más de USD 200 mil millones en materiales reciclables no se recuperan anualmente.

### SOLUCIÓN

Incorporación de distintas tecnologías para optimizar el sistema de reciclaje y la reducción de costos mediante la identificación de distintos materiales y la automatización de su recuperación.

### PROCESO

La plataforma de IA (AMP Neuron), utiliza la visión por computadora para reconocer patrones de ma-

teriales reciclables específicos dentro de un complejo flujo de desechos de objetos aplastados, doblados y combinados.

Neuron permite la mejora continua de la identificación y categorización de diferentes polímeros plásticos, tipos de papel, contenedores de metal y packaging de varias capas para caracterizar qué hay en el flujo de reciclaje y qué debe clasificarse durante las diferentes etapas del proceso.

### RESULTADO

Clasificar y recoger el doble de rápido que humanos con mayor grado de precisión, mejorando el rendimiento y reduciendo los costos operativos, aumentando el valor de los recursos secundarios y mejorando la economía del reciclaje.

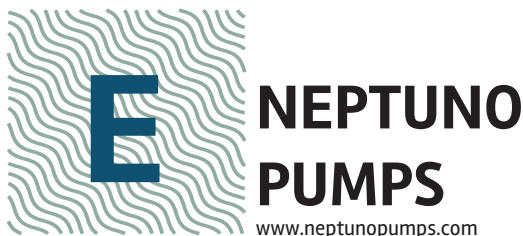
### IMPACTOS

La plataforma puede clasificar los materiales reciclables a una velocidad de 80 artículos por minuto con una precisión de hasta el 99 %. Reconoce más de 50 000 millones de objetos al año de las instalaciones de campo, y ese número aumenta diariamente mediante el aprendizaje continuo para crear los niveles más altos de confianza en los datos producidos.

El sistema abarca el conjunto de datos del mundo real más grande conocido de materiales reciclables para el aprendizaje automático, con la capacidad de clasificar más de 100 categorías y características diferentes de materiales reciclables.







www.neptunopumps.com

PAÍS Chile	IMPLEMENTADO Chile	AÑO desde 2014	INDUSTRIA   SECTOR Minería
---------------	-----------------------	-------------------	-------------------------------

### RESUMEN

Empresa de bombas centrífugas de alta eficiencia que desarrolla equipos energéticamente eficientes y de alta confiabilidad, diseñados 100% a medida de sus clientes a través del uso de tecnologías de industria 4.0 como la simulación computacional o impresión 3D.

Los productos son fabricados con materiales reciclados de la industria minera; diseñados incorporando los principios de circularidad, utilizando la menor cantidad de materiales y energía para su fabricación; aumentando y multiplicando sus ciclos de vida a través del reciclaje, reparación y remanufactura.

### PROBLEMA

Combatir el cambio climático, la sobreexplotación de los recursos naturales y el volumen de desechos asociados a la actividad (400 toneladas mensuales).

### SOLUCIÓN

Modelo de economía circular que reutiliza y recicla materiales de equipos antiguos y desechados. Utiliza tecnologías de simulación para la fundición de metales, así como la impresión 3D para el diseño y fabricación de sus bombas industriales. Esto permite producir equipos que optimizan el uso de materiales y energía, lo que reduce el coste de fabricación y las emisiones de gases de efecto invernadero.

### PROCESO

La empresa cuenta con un sistema de devolución de bombas de agua usadas o rotas y un centro de remanufactura donde reciben las maquinarias para reparar, independientemente de la marca. El material se funde en planta, con capacidad de fundición de 150 toneladas mensuales de elementos de desgaste para la minería.

La app Neptuno Analytics muestra la trazabilidad completa y en tiempo real de cada uno de los productos (fabricados y remanufacturados), visualizando porcentajes de reciclaje de materiales, reutilización de componentes, ahorros de CO2 y ciclos de operación.

Se ofrece el servicio de impresión 3d para piezas de repuesto de rápida repuesta.

### RESULTADO

Diseño de bombas más eficientes y de gran confiabilidad, reduciendo la generación de residuos. Además, al ser una empresa con todos sus procesos de ingeniería y fabricación integrados verticalmente ofrece productos refabricados que son hasta un 25 % más eficientes energéticamente, 30% más baratos y con la misma garantía que un equipo nuevo.

### IMPACTOS

Reducción del 70% de desechos y emisiones de CO2 (huella de carbono) en la fabricación.  
Utilización de 60% de materiales reciclados.  
Bombas 30% más eficientes.



#### Remanufactura 4.0

##### ELEMENTOS CLAVES I4.0

Simulación  
Impresión 3d

##### ELEMENTOS CLAVES EC

Extensión de vida: Re-  
manufactura, reciclaje,  
diseño para el futuro



**TOMRA  
FOOD**

www.tomra.com

PAÍS Noruega	IMPLEMENTADO Global	AÑO desde 1972	INDUSTRIA   SECTOR Residuos – Alimentos
-----------------	------------------------	-------------------	--

## RESUMEN

TOMRA ofrece diversas soluciones para aumentar la productividad de los recursos en la clasificación y procesos de recolección de residuos en general.

En la industria alimentaria, proporcionan equipos avanzados de clasificación de alimentos basadas en sensores y soluciones poscosecha integradas para potenciar el uso y reducir la pérdida de los alimentos contribuyendo a una economía circular mediante la incorporación de la IA en sus procesos.

## PROBLEMA

El 30% de los alimentos cultivados son desechados a nivel mundial mientras que 925 millones de personas en el mundo sufren hambre.

Gran porcentaje de los productos alimenticios no son adecuados para la venta directa a los consumidores por falta de optimización en las etapas de procesamiento y clasificación.

## SOLUCIÓN

Las tecnologías de TOMRA incorporan la IA para detectar y clasificar alimentos, ayudando a redirigir productos de buena calidad no considerados adecuados para la venta directa a los consumidores para su uso en otros productos alimenticios, evitando que se conviertan desperdicio.

## PROCESO

Las soluciones basadas en sensores de TOMRA

evalúan de forma autónoma los productos alimenticios en función de diferentes criterios, como el proceso de maduración y defectos visuales. Los algoritmos de IA ayudan a detectar, analizar y clasificar productos en función de los usos potenciales.

Otros algoritmos de IA aseguran que las máquinas de procesamiento corten los productos en piezas consistentes, independientemente de la forma y el tamaño originales, lo que reduce el desperdicio general.

## RESULTADO

Maximiza el rendimiento de la producción y la recuperación a la par que contribuye a reducir los desperdicios.

Minimiza el uso de productos químicos y el consumo de energía.

Mayor productividad gracias a un sistema de clasificación de mayor capacidad.

Contribuye a que los alimentos siempre presenten altos niveles de calidad homogéneos.

Garantiza la seguridad de los alimentos para los consumidores.

## IMPACTOS

Aumenta el rendimiento de producción entre un 5 y 10% equivalente a 25.000 camiones de papas por año. La maquinaria permite reducir el 25% del consumo de energía y un 28% el consumo de agua en comparación de máquinas similares.





# HEURA SIGNEBLOCK

www.heura.net

PAÍS España	IMPLEMENTADO Prueba piloto - España	AÑO desde 2016	INDUSTRIA   SECTOR Reciclaje
----------------	--	-------------------	---------------------------------

## RESUMEN

Heura es una consultora medioambiental española especializada en la puesta en marcha de Sistemas Colectivos de Responsabilidad Ampliada del Productor (SCRAP). En 2020 inició una prueba piloto para fabricantes, envasadores y distribuidores de productos de uso agrícola profesional.

La aplicación del blockchain en este modelo de SCRAP trata de dar una solución para garantizar la trazabilidad y optimización de la gestión de envases utilizados en los procesos agrícolas potenciando la protección del medio ambiente y la generación de modelos eficientes de economía circular.

## PROBLEMA

Generación de miles de toneladas de residuos de envases procedentes de la actividad agroindustrial.

## SOLUCIÓN

Sistema que evidencie el ciclo completo, la ubicación y trayectoria de un producto o lote de productos a lo largo de la cadena de suministros. Obteniendo información del tratamiento de los residuos de envases, desde cómo y dónde se generan, almacenan, procesan, recuperan e incluso se eliminan, quedando cada una de las fases registradas en la red blockchain. El productor debe abonar una cuota de licencia que cubre todos los gastos de la recuperación y del reciclaje de sus envases usados, de acuerdo con las leyes vigentes y aplicables.

## PROCESO

Se establecen puntos de compra o de recogida de envases agrícolas para que los agricultores entreguen los envases utilizados activando las solicitudes de recogida.

Los envases recibidos se acumulan y son identificadas de forma única, se aporta información básica (como tipo de envase y peso) y se genera un código QR que se adhiere a cada una de ellos para su trazabilidad a lo largo de todo el proceso.

A partir de ahí, los transportistas, tanto en el proceso de recogida en origen como en la entrega en destino, utilizan los QR generados para transaccionar mediante el Blockchain, proporcionando información del usuario, la geoposición y el timestamp de ambas operaciones a través de una App.

## RESULTADO

Desde que se puso en marcha este modelo de SCRAP se ha evitado el abandono de 800 toneladas de envases de plástico residual, y la previsión es multiplicar esa cifra por 10 en los próximos años.

## IMPACTOS

Aumenta el rendimiento de producción entre un 5 y 10% equivalente a 25.000 camiones de papas por año. La maquinaria permite reducir el 25% del consumo de energía y un 28% el consumo de agua en comparación de máquinas similares.

### Blockchain en el sector del reciclaje

**ELEMENTOS CLAVES I4.0**  
Blockchain  
Internet de las cosas

**ELEMENTOS CLAVES EC**  
Eficiencia de recursos,  
Residuo como recurso, recuperación de materiales





# PRINT YOUR CITY

www.printyour.city

PAÍS Países Bajos	IMPLEMENTADO Países Bajos – Grecia	AÑO desde 2016	INDUSTRIA   SECTOR Reciclaje
----------------------	---------------------------------------	-------------------	---------------------------------

## RESUMEN

Print Your City es una iniciativa creada por el estudio de diseño holandés, The New Raw. La empresa plantea el desarrollo del mobiliario urbano de una ciudad usando sus propios residuos plásticos como materia prima y a sus habitantes como virtuales diseñadores de cada modelo a través de una página web.

## PROBLEMA

El estilo de vida desechable de las ciudades contemporáneas ha aumentado la demanda de envases de plástico de un solo uso y residuos plásticos. Solo en Ámsterdam, los residentes generan un promedio de 23 kg de desechos plásticos por persona al año (2015), lo suficiente como para imprimir en 3D 1 banco por cada 2 habitantes de Ámsterdam cada año.

## SOLUCIÓN

Transformar los residuos plásticos de las ciudades en mobiliario para el espacio público con impresión 3D robótica, involucrando al ayuntamiento, la sociedad y la industria.

## PROCESO

Cada usuario puede moldear a su gusto el mobiliario a través de una web, luego los diseños se someten a votación ciudadana para fabricarlos mediante

tecnología de impresión 3d robótica. El proyecto ofrece una gama de opciones para promover un estilo de vida urbano sano y ecológico: desde el tipo de forma o el color hasta integrar funciones específicas en el mobiliario.

## RESULTADO

La solución permite cerrar el ciclo de material plástico con una ruta de reciclaje corta y un proceso de producción de cero residuos. Además, puede combinar la reparación modular y la personalización masiva, haciendo posible una ciudad más circular con ciudadanos más comprometidos y menos emisiones de CO2.

El mobiliario urbano impreso en 3D tiene jardineras integradas que promueven un estilo de vida saludable y respetuoso con el medio ambiente en la ciudad. Además, las geometrías se basan en curvaturas ergonómicas que se adaptan a una postura corporal relajada.

## IMPACTOS

Un mobiliario urbano recicla 50kg de plástico desechado por los habitantes de las ciudades, ahorrando por cada producto 125kg de CO2.

The New Raw pretende reciclar cuatro toneladas de residuos plásticos, que equivale aproximadamente a la misma cantidad producida por 14 familias en Grecia.

### Revalorización de residuos plásticos ciudadanos

**ELEMENTOS CLAVES I4.0**  
Fabricación aditiva, robótica, digitalización

**ELEMENTOS CLAVES EC**  
Revalorización de residuos, producción local, reciclaje, participación ciudadana





PAÍS	IMPLEMENTADO	AÑO	INDUSTRIA   SECTOR
Reino Unido	Reino Unido	desde 2016	Calzado

### RESUMEN

Colaboración entre Cisco, Cranfield University y la consultora de marca The Clearing. El proyecto consiste en una investigación centrada en identificar y evaluar las oportunidades de aplicación de nuevas tecnologías, como el Big data, IoT y la fabricación digital, para implementar nuevos modelos de negocios mediante la producción redistribuida (RdM).

El resultado son recomendaciones para fabricantes, evidenciando el potencial de RdM para satisfacer las necesidades cambiantes de los consumidores e impulsar la innovación circular para resolver problemas existentes y problemas comerciales inminentes

### PROBLEMA

El aumento de la población en ciudades y la fabricación centralizada, supone un problemática en cuanto a la reducción del espacio para el almacenaje y venta de productos. Los cambios de hábitos y necesidades de los consumidores, mostrando una tendencia hacia la búsqueda de experiencias en lugar de objetos físicos y las posibilidades de personalización de los bienes.

### SOLUCIÓN

Implementar un modelo de suscripción para la fabricación redistribuida o descentralizada de zapatos deportivos inteligentes, impulsado por la combinación de tecnologías de la industria 4.0, que permiten la personalización y flexibilización de la

fabricación, así como también la obtención de información relacionada a los modos de consumo de los usuarios.

### PROCESO

Los clientes escanean en su casa sus pies en 3D mediante una aplicación y luego utilizan la tecnología de realidad virtual para personalizar su diseño en línea basado en cientos de opciones predefinidas que se adaptan a sus requisitos estéticos y de rendimiento, pagando directamente o a través de una suscripción continua.

Los zapatos 'inteligentes' están integrados con sensores que pueden rastrear su ubicación, los datos de rendimiento y estado del calzado.

Los zapatos se imprimen en 3D con el diseño personalizado en el tamaño específico y requisitos determinados por los usuarios. La fabricación, refamanufactura y actualización de los componentes tiene lugar en una tienda próxima al cliente.

Se realiza la entrega en la ubicación deseada del cliente en el momento indicado.

### RESULTADO

El proyecto demuestra cómo traducir innovación y tecnología de manera práctica en nuevos modelos de negocio y proporciona aprendizajes valiosos para los fabricantes de la industria sobre cómo el futuro implementar sistemas sostenibles en la fabricación de bienes de consumo.

**Fabricación redistribuida mediante la combinación de tecnologías**

**ELEMENTOS CLAVES I4.0**  
Big data, Internet de las cosas, Impresión 3d, digitalización, realidad virtual

**ELEMENTOS CLAVES EC**  
Personalización, Fabricación descentralizada, Recolección de información de los clientes



# HOMIE PAYPERUSE

www.homiepayperuse.com

PAÍS Países Bajos	IMPLEMENTADO Países Bajos	AÑO desde 2020	INDUSTRIA   SECTOR Electrodomésticos
----------------------	------------------------------	-------------------	---

## RESUMEN

Homie ofrece una solución de pago por uso para distintos electrodomésticos duraderos a un precio accesible y flexible. Por ejemplo, en el caso de la lavadora, donde los consumidores solo pagan por lavado y menos por un lavado a baja temperatura que por un lavado a alta temperatura, se ven estimulados a usar menos el electrodoméstico a una temperatura más baja. Además, HOMIE tiene como objetivo extender la vida útil de los productos.

## PROBLEMA

La vida útil de los productos en general ha ido disminuyendo. Más del 50 % de las lavadoras presentan defectos en 5 años y los costos de reparación suelen ser altos. Las máquinas de segunda mano son menos costosas de comprar, pero a menudo presentan fallas sin ninguna garantía y potencialmente serán un desecho.

## SOLUCIÓN

Ralentizar los ciclos de los recursos facilitando la reparación, la reutilización y la longevidad del producto; estrechando el círculo al permitir el uso sostenible por parte del consumidor mediante un sistema de pago por uso de electrodomésticos de bajo consumo.

## PROCESO

Los consumidores reciben una lavadora (u otro electrodoméstico) en sus hogares y solo comienzan

a pagar cuando usan la máquina. El servicio, la reparación, el mantenimiento y la devolución, los realiza HOMIE. El modelo de la empresa se centra en el pago por uso: el costo del electrodoméstico se recupera después de una cierta cantidad de usos.

Para facilitar la opción de pago por uso, las lavadoras están conectadas a la plataforma Homie a través de un rastreador inteligente y el WiFi del cliente. El esquema de pago por uso alienta a los usuarios a usar temperaturas de lavado más bajas, lo que resulta en un consumo más eficiente de energía por parte de los usuarios.

## RESULTADO

Al mostrar a los clientes sus propios patrones de uso, se proporcionan incentivos para cambiar el comportamiento hacia patrones de lavado que requieran menos recursos.

Un estudio en profundidad mostró que el esquema de pago por uso redujo la cantidad de lavados por hogar en aproximadamente un 20%. Además, la temperatura media de lavado descendió de 40,2°C a 38,1°C.

## IMPACTOS

El modelo "Product como servicio" de HOMIE ahorra en promedio alrededor del 25% en consumo de agua y energía.

Además de intensificar el uso de los productos y desarrollando estrategias de extensión de vida.





## Análisis de los casos de estudio.

El análisis de los casos de estudio expuestos en el apartado anterior exhibe resultados interesantes en cuanto a la diversidad de aplicaciones que posibilita la implementación de tecnologías de la Industria 4.0 para contribuir a un sistema sostenible de producción y consumo.

El mapeo realizado no ha arrojado, salvo excepciones, casos relevantes de aplicación de Industria 4.0 en interrelación con la EC en países en desarrollo. En este contexto las empresas priorizan el uso de tecnologías de gama baja (por ejemplo, de seguimiento y control) y no las de mayor impacto como por ejemplo el análisis de datos, inteligencia artificial, etc. En este sentido, la poca presencia de aplicaciones importantes en estos países puede deberse a la bibliografía seleccionada (principalmente de países del primer mundo) y que no se realiza un análisis en nuestras latitudes o a que efectivamente la implementación de estas tecnologías continúa en desarrollo en estas regiones.

Los resultados de la exploración de casos resultó en la selección de grandes empresas o demasiado especializadas para ser consideradas pymes genéricas. Por lo tanto, su uso como punto de referencia para iniciativas de pequeño porte es limitado. Desde esta perspectiva, surge la necesidad de nuevos estudios que expliquen en la práctica los principios de implementación en diferentes mercados.

La información recabada arroja resultados esperanzadores en cuanto a la reducción del impacto ambiental. Sin embargo, estos datos generalmente no son expuestos en profundidad por parte de las empresas así como tampoco los beneficios económicos y sociales de la implementación de estos modelos.

Los hallazgos obtenidos muestra que la influencia mas importante de la I4.0 para la EC, radica en los beneficios potenciales de la digitalización de procesos, principalmente las estrategias para la gestión del ciclo de vida de los productos y residuos.

En cuanto a las aplicaciones analizadas puede observarse el gran número de casos que implementan una combinación de tecnologías para apoyar su modelo de negocios. Generalmente estos emprendimientos o proyectos han sido concebidos en los últimos años, por lo que la adopción de estas tecnologías y la preocupación por al impacto ambiental de sus actividades son valores centrales de su negocio.

Resultan interesantes las distintas propuestas a nivel gubernamental y privado en cuanto a la gestión de residuos y la trazabilidad de los mismos en toda la cadena de valor. Si bien, estas soluciones requieren una gran inversión en infraestructura, el costo ambiental y social a largo plazo de las actuales políticas de gestión pueden resultar aún mas costosas.

En términos generales, se entiende que la aplicación de las tecnologías presenta barreras como la factibilidad cultural de los modelos propuestos y el apoyo requerido por parte de los gobiernos. Resulta necesario el involucramiento de los distintos actores en las cadenas de valor, así como también es fundamental el rol de la participación ciudadana y las instituciones gubernamentales.

En términos generales, el análisis demuestra que las tecnologías de la I4.0 son un habilitador de la EC, y no al revés, por lo que puede concluirse que la interrelación es unidireccional en términos generales.



## Conclusiones y pasos a seguir.

El presente trabajo tuvo como objetivo comprender los conceptos claves asociados al vínculo entre la Industria 4.0 y la Economía circular para analizar las interrelaciones entre ambos, a través de una revisión sistemática de la literatura y el estudio de casos de éxito.

Los resultados demostraron que desde la óptica de las tecnologías de la Industria 4.0 como habilitador de la Economía circular pueden tener un efecto positivo en la gestión del ciclo de vida de los productos y en facilitar modelos de negocios circulares. Cada habilitador influye en mayor o menor medida en los elementos claves y principios en los que se basa un sistema circular. En este sentido, la fabricación aditiva, internet de las cosas y big data aparecen con mayor relevancia en su capacidad de facilitar procesos sostenibles. La fabricación aditiva se relaciona con la fabricación descentralizada y la recuperación de materiales mediante el reciclaje y la reparación. Mientras que la combinación de big data e internet de las cosas permiten la obtención de información para la generación de nuevos modelos de negocios a través de la obtención de datos y su análisis.

La inteligencia artificial resulta un campo interesante de estudio y sus aplicaciones abarcan un amplio campo de acción. En combinación con la robótica pueden generar un gran progreso en la identificación y clasificación de residuos. La incorporación de blockchain permite la trazabilidad de productos, componentes y materiales, por lo que su aplicación será prometedora en los sistemas de reutilización de bienes y control de las cadenas de valor.

El campo de estudio continúa en desarrollo y se requiere investigación en distintas áreas para comprender la interrelación entre ambos temas. En ese sentido falta evidencia práctica para comprender

de que manera las empresas aplican las nuevas tecnologías en un contexto circular.

En adición, sería conveniente estudiar en como las pequeñas empresas puede implementar estos modelos y la inversión necesaria. En términos generales, los casos de éxito estan asociados a grandes organizaciones o a un sistema donde participan un gran número de actores, por lo que complejiza su aplicación y extrapolación a otro contexto.

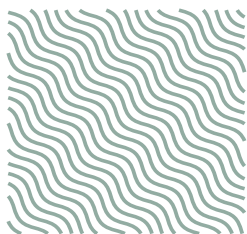
Si bien ambas temáticas se encuentran en evolución y su interdependencia continúa en investigación, este trabajo concluye que en el devenir de los años se reducirán las barreras y su aplicación será mas accesible, ya sea por la innovación tecnológica, reducción de costos, fuentes de financiamiento para su implementación, políticas gubernamentales y la creciente preocupación por el cuidado del medioambiente y el impacto de nuestras acciones en el entorno y la sociedad.

Así como la economía circular ha comenzado a incluirse en las currículas académicas, sería interesante la inclusión del estudio de las nuevas tecnologías como complemento a la formación de diseñadores y profesionales en general.

Finalmente, resulta evidente que la transición hacia una cadena de suministro digital es inevitable. En consecuencia, las empresas deben considerar la Cuarta Revolución Industrial como una gran oportunidad para revisar su modelo de negocios y migrar sus actividades con un enfoque circular, que modificará profundamente toda la economía global, pero que seguramente traerá beneficios ambientales, sociales y económicos.

Con el presente trabajo se espera que el mismo contribuya a proporcionar un marco de referencia para futuras investigaciones.





## Bibliografía

- Askoxyllakis, I. (2018). A framework for pairing circular economy and the internet of things. Paper presented at the IEEE International Conference on Communications, , 2018-May doi:10.1109/ICC.2018.8422488
- Atif, S., Ahmed, S., Wasim, M., Zeb, B., Pervez, Z., & Quinn, L. (2021). Towards a conceptual development of industry 4.0, servitisation, and circular economy: A systematic literature review. *Sustainability (Switzerland)*, 13(11) doi:10.3390/su13116501
- Atzori, L., Iera, A., Morabito, G. (2010). The Internet of Things: A Survey. *Computer Networks Volume 54, Issue 15*, Páginas 2787-2805, ISSN 1389-1286, <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2010.05.010>.
- Awan, U., Shamim, S., Khan, Z., Zia, N. U., Shariq, S. M., & Khan, M. N. (2021). Big data analytics capability and decision-making: The role of data-driven insight on circular economy performance. *Technological Forecasting and Social Change*, 168 doi:10.1016/j.techfore.2021.120766
- Awan, U., Sroufe, R., & Shahbaz, M. (2021). Industry 4.0 and the circular economy: A literature review and recommendations for future research. *Business Strategy and the Environment*, 30(4), 2038-2060. doi:10.1002/bse.2731
- Bag, S., & Pretorius, J. H. C. (2020). Relationships between industry 4.0, sustainable manufacturing and circular economy: Proposal of a research framework. *International Journal of Organizational Analysis*, doi:10.1108/IJOA-04-2020-2120
- Bag, S., Yadav, G., Dhamija, P., & Kataria, K. K. (2021). Key resources for industry 4.0 adoption and its effect on sustainable production and circular economy: An empirical study. *Journal of Cleaner Production*, 281 doi:10.1016/j.jclepro.2020.125233
- Bressanelli, G., Adrodegari, F., Perona, M., & Saccani, N. (2018). Exploring how usage-focused business models enable circular economy through digital technologies. *Sustainability (Switzerland)*, 10(3) doi:10.3390/su10030639
- Cagno, E., Neri, A., Negri, M., Bassani, C. A., & Lampertico, T. (2021). The role of digital technologies in operationalizing the circular economy transition: A systematic literature review. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(8) doi:10.3390/app11083328
- Capricho Marocci, N. (2020). El diseño industrial en la economía circular: estrategias de diseño en modelos de negocios circulares. Trabajo de grado. Universidad de la República (Uruguay), Facultad de Arquitectura Diseño y Urbanismo. [https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/26987/1/05\\_TFG\\_CAPRICH0.pdf](https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/26987/1/05_TFG_CAPRICH0.pdf)
- Capricho Marocci, N., Olivera, A., Cristóbal, S., Martínez, M. (2022). Manual de ecodiseño circular. Centro Tecnológico del Plástico (CTplas). Laboratorio Tecnológico del Uruguay (Latu). ISBN 978-9915-9367-3-4
- Cavaliere, A., Reis, J., & Amorim, M. (2021). Circular economy and internet of things: Mapping science of case studies in manufacturing industry. *Sustainability (Switzerland)*, 13(6) doi:10.3390/su13063299
- Cezarino, L. O., Liboni, L. B., Oliveira Stefanelli, N., Oliveira, B. G., & Stocco, L. C. (2019). Diving into emerging economies bottleneck: Industry 4.0 and implications for circular economy. *Management Decision*, 59(8), 1841-1862. doi:10.1108/MD-10-2018-1084
- Chauhan, A., Jakhar, S. K., & Chauhan, C. (2021). The interplay of circular economy with industry 4.0 enabled smart city drivers of health-care waste disposal. *Journal of Cleaner Production*, 279 doi:10.1016/j.jclepro.2020.123854
- Cwiklicki, M., & Wojnarowska, M. (2020). Circular economy and industry 4.0: One-way or two-way relationships? *Engineering Economics*, 31(4), 387-397. doi:10.5755/j01.ee.31.4.24565
- Dantas, T. E. T., de-Souza, E. D., Destro, I. R., Hammes, G., Rodriguez, C. M. T., & Soares, S. R. (2021). How the combination of circular economy and industry 4.0 can contribute towards achieving the sustainable development goals. *Sustainable Production and Consumption*, 26, 213-227. doi:10.1016/j.spc.2020.10.005
- DePalma, K., Walluk, M. R., Murtaugh, A., Hilton, J., McConky, S., & Hilton, B. (2020). Assessment of 3D printing using fused deposition modeling and selective laser sintering for a circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 264 doi:10.1016/j.jclepro.2020.121567
- Despeisse, M., Baumers, M., Brown, P., Charnley, F., Ford, S. J., Garmulewicz, A., . . . Rowley, J. (2017). Unlocking value for a circular economy through 3D printing: A research agenda. *Technological Forecasting and Social Change*, 115, 75-84. doi:10.1016/j.techfore.2016.09.021
- Dev, N. K., Shankar, R., & Qaiser, F. H. (2020). Industry 4.0 and circular economy: Operational excellence for sustainable reverse supply chain performance. *Resources, Conservation and Recycling*, 153 doi:10.1016/j.resconrec.2019.104583
- Fundación Ellen MacArthur (2014). Hacia una economía circular: motivos económicos para una transición acelerada [en línea]. s. l.: Ellen MacArthur Foundation. <http://www.ellenmacarthurfoundation.org/>.
- Fundación Ellen MacArthur (2019). Circular economy systems diagram [en línea]. <https://ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy-diagram>
- García-Muiña, F. E., González-Sánchez, R., Ferrari, A. M., & Settembre-Blundo, D. (2018). The paradigms of industry 4.0 and circular economy as enabling drivers for the competitiveness of businesses and territories: The case of an Italian ceramic tiles manufacturing company. *Social Sciences*, 7(12) doi:10.3390/socsci7120255
- García-Muiña, F. E., González-Sánchez, R., Ferrari, A. M., Volpi, L., Pini, M., Siligardi, C., & Settembre-Blundo, D. (2019). Identifying the equi-

- brium point between sustainability goals and circular economy practices in an industry 4.0 manufacturing context using eco-design. *Social Sciences*, 8(8) doi:10.3390/socsci8080241
- Garmulewicz, A., Holweg, M., Veldhuis, H., & Yang, A. (2018). Disruptive technology as an enabler of the circular economy: What potential does 3D printing hold? *California Management Review*, 60(3), 112-132. doi:10.1177/0008125617752695
- Giurco, D., Littleboy, A., Boyle, T., Fyfe, J., & White, S. (2014). Circular economy: Questions for responsible minerals, additive manufacturing and recycling of metals. *Resources*, 3(2), 432-453. doi:10.3390/resources3020432
- Gupta, S., Chen, H., Hazen, B. T., Kaur, S., & Santibañez Gonzalez, E. D. R. (2019). Circular economy and big data analytics: A stakeholder perspective. *Technological Forecasting and Social Change*, 144, 466-474. doi:10.1016/j.techfore.2018.06.030
- Ilhan, I., & Karakose, M. (2019). Cybersecurity framework for requirements of repair, update, and renovation in industry 4.0. Paper presented at the 1st International Informatics and Software Engineering Conference: Innovative Technologies for Digital Transformation, IISEC 2019 - Proceedings, doi:10.1109/UBMYK48245.2019.8965488
- K. Jayakrishna, K.E.K. Vimal, S. Aravind Raj, Asela K. Kulatunga, M.T.H. Sultan, J. Paulo Davim  
Series: Manufacturing Design and Technology  
Publisher: CRC Press, Year: 2020  
ISBN: 1138606847,9781138606845
- Kanojia, A., & Visvanathan, C. (2021). Assessment of urban solid waste management systems for industry 4.0 technology interventions and the circular economy. *Waste Management and Research*, 39(11), 1414-1426. doi:10.1177/0734242X211992424
- Kerin, M., & Pham, D. T. (2019). A review of emerging industry 4.0 technologies in remanufacturing. *Journal of Cleaner Production*, 237 doi:10.1016/j.jclepro.2019.117805
- Khan, I. S., Ahmad, M. O., & Majava, J. (2021). Industry 4.0 and sustainable development: A systematic mapping of triple bottom line, circular economy and sustainable business models perspectives. *Journal of Cleaner Production*, 297 doi:10.1016/j.jclepro.2021.126655
- Khan, S. A. R., Razaq, A., Yu, Z., & Miller, S. (2021). Industry 4.0 and circular economy practices: A new era business strategies for environmental sustainability. *Business Strategy and the Environment*, doi:10.1002/bse.2853
- Kristoffersen, E., Blomsma, F., Mikalef, P., & Li, J. (2020). The smart circular economy: A digital-enabled circular strategies framework for manufacturing companies. *Journal of Business Research*, 120, 241-261. doi:10.1016/j.jbusres.2020.07.044
- Kumar, P., Singh, R. K., & Kumar, V. (2021). Managing supply chains for sustainable operations in the era of industry 4.0 and circular economy: Analysis of barriers. *Resources, Conservation and Recycling*, 164 doi:10.1016/j.resconrec.2020.105215
- Leino, M., Pekkarinen, J., & Soukka, R. (2016). The role of laser additive manufacturing methods of metals in repair, refurbishment and remanufacturing - enabling circular economy. Paper presented at the Physics Procedia, , 83 752-760. doi:10.1016/j.phpro.2016.08.077
- Lieder, M., Asif, F. M. A., Rashid, A., Miheli, A., & Kotnik, S. (2017). Towards circular economy implementation in manufacturing systems using a multi-method simulation approach to link design and business strategy. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 93(5-8), 1953-1970. doi:10.1007/s00170-017-0610-9
- Liu, Z., Liu, J., & Osmani, M. (2021). Integration of digital economy and circular economy: Current status and future directions. *Sustainability (Switzerland)*, 13(13) doi:10.3390/su13137217
- Lopes de Sousa Jabbour, A. B., Jabbour, C. J. C., Godinho Filho, M., & Roubaud, D. (2018). Industry 4.0 and the circular economy: A proposed research agenda and original roadmap for sustainable operations. *Annals of Operations Research*, 270(1-2), 273-286. doi:10.1007/s10479-018-2772-8
- Magrini, C., Nicolas, J., Berg, H., Bellini, A., Paolini, E., Vincenti, N., . . . Bonoli, A. (2021). Using internet of things and distributed ledger technology for digital circular economy enablement: The case of electronic equipment. *Sustainability (Switzerland)*, 13(9) doi:10.3390/su13094982
- Mavropoulos, A., & Nilsen, A. W. (2020). Industry 4.0 and circular economy: Towards a wasteless future or a wasteful planet?. *John Wiley & Sons*.
- Moreno, M., Court, R., Wright, M., & Charnley, F. (2019). Opportunities for redistributed manufacturing and digital intelligence as enablers of a circular economy. *International Journal of Sustainable Engineering*, 12(2), 77-94. doi:10.1080/19397038.2018.1508316
- Nascimento, D. L. M., Alencastro, V., Quelhas, O. L. G., Caiado, R. G. G., Garza-Reyes, J. A., Lona, L. R., & Tortorella, G. (2019). Exploring industry 4.0 technologies to enable circular economy practices in a manufacturing context: A business model proposal. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 30(3), 607-627. doi:10.1108/JMTM-03-2018-0071
- Nobre, G. C., & Tavares, E. (2020). Assessing the role of big data and the internet of things on the transition to circular economy: Part I an extension of the ReSOLVE framework proposal through a literature review. *Johnson Matthey Technology Review*, 64(1), 19-31. doi:10.1595/205651319x15643932870488
- Nobre, G. C., & Tavares, E. (2017). Scientific literature analysis on big data and internet of things applications on circular economy: A bibliometric study. *Scientometrics*, 111(1), 463-492. doi:10.1007/s11192-017-2281-6
- Pagoropoulos, A., Pigosso, D. C. A., & McAloone, T. C. (2017). The emergent role of digital technologies in the circular economy: A review. Paper presented at the Procedia CIRP, , 64 19-24. doi:10.1016/j.procir.2017.02.047
- Pham, T. T., Kuo, T. -, Tseng, M. -, Tan, R. R., Tan, K., Ika, D. S., & Lin, C. J. (2019). Industry 4.0 to accelerate the circular economy: A case study of electric scooter sharing. *Sustainability (Switzerland)*, 11(23) doi:10.3390/su11236661
- Piscitelli, G., Ferazzoli, A., Petrillo, A., Cioffi, R., Parmentola, A., & Travaglioni, M. (2020). Circular economy models in the industry 4.0 era: A review of the last decade. Paper presented at the Procedia Manufacturing, , 42 227-234. doi:10.1016/j.promfg.2020.02.074
- Ponis, S., Aretoulaki, E., Maroutas, T. N., Plakas, G., & Dimogiorgi, K. (2021). A systematic literature review on additive manufacturing in the context of circular economy. *Sustainability (Switzerland)*, 13(11) doi:10.3390/su13116007
- Poor, P., & Basl, J. (2020). Machinery maintenance model for evaluating and increasing maintenance, repairs and operations within industry 4.0 concept. Paper presented at the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, , 947(1) doi:10.1088/1757-899X/947/1/012004
- Rajput, S., & Singh, S. P. (2019). Connecting circular economy and industry 4.0. *International Journal of Information Management*, 49, 98-113. doi:10.1016/j.ijinfomgt.2019.03.002
- Rajput, S., & Singh, S. P. (2019). Industry 4.0 – challenges to implement circular economy. *Benchmarking*, 28(5), 1717-1739. doi:10.1108/BIJ-

12-2018-0430

Ramakrishna, S., Ngowi, A., Jager, H. D., & Awuzie, B. O. (2020). Emerging industrial revolution: Symbiosis of industry 4.0 and circular economy: The role of universities. *Science, Technology and Society*, 25(3), 505-525. doi:10.1177/0971721820912918

Rocca, R., Rosa, P., Sassanelli, C., Fumagalli, L., & Terzi, S. (2020). Industry 4.0 solutions supporting circular economy. Paper presented at the Proceedings - 2020 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation, ICE/ITMC 2020, doi:10.1109/ICE/ITMC49519.2020.9198517

Romani, A., Rognoli, V., & Levi, M. (2021). Design, materials, and extrusion-based additive manufacturing in circular economy contexts: From waste to new products. *Sustainability (Switzerland)*, 13(13) doi:10.3390/su13137269

Romero, C. A. T., Castro, D. F., Ortiz, J. H., Khalaf, O. I., & Vargas, M. A. (2021). Synergy between circular economy and industry 4.0: A literature review. *Sustainability (Switzerland)*, 13(8) doi:10.3390/su13084331

Rosa, P., Sassanelli, C., Urbinati, A., Chiaroni, D., & Terzi, S. (2020). Assessing relations between circular economy and industry 4.0: A systematic literature review. *International Journal of Production Research*, 58(6), 1662-1687. doi:10.1080/00207543.2019.1680896

Rossi, J., Bianchini, A., & Guarnieri, P. (2020). Circular economy model enhanced by intelligent assets from industry 4.0: The proposition of an innovative tool to analyze case studies. *Sustainability (Switzerland)*, 12(17) doi:10.3390/su12177147

Rüßmann, Michael, Markus Lorenz, Philipp Gerbert, Manuela Waldner, Jan Justus, Pascal Engel, and Michael Harnisch. 2015. "Industry 4.0 - The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries." doi:10.1007/s12599-014-0334-4.

Ruohomaa, H., & Ivanova, N. (2019). From solid waste management towards the circular economy and digital driven symbiosis. Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, , 337(1) doi:10.1088/1755-1315/337/1/012032

Sauerwein, M., Doubrovski, E., Balkenende, R., & Bakker, C. (2019). Exploring the potential of additive manufacturing for product design in a circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 226, 1138-1149. doi:10.1016/j.jclepro.2019.04.108

Schwanholz, J., & Leipold, S. (2020). Sharing for a circular economy? an analysis of digital sharing platforms' principles and business models. *Journal of Cleaner Production*, 269 doi:10.1016/j.jclepro.2020.122327

Shayganmehr, M., Kumar, A., Garza-Reyes, J. A., & Muktadir, M. A. (2021). Industry 4.0 enablers for a cleaner production and circular economy within the context of business ethics: A study in a developing country. *Journal of Cleaner Production*, 281 doi:10.1016/j.jclepro.2020.125280

Spaltini, M., Poletti, A., Acerbi, F., & Taisch, M. (2021). A quantitative framework for industry 4.0 enabled circular economy. Paper presented at the Procedia CIRP, , 98 115-120. doi:10.1016/j.procir.2021.01.015

T.E.T. Dantas, E.D. de-Souza, I.R. Destro, G. Hammes, C.M.T. Rodriguez, S.R. Soares, How the combination of Circular Economy and Industry 4.0 can contribute towards achieving the Sustainable Development Goals, *Sustainable Production and Consumption*, Volume 26, 2021, Pages 213-227, ISSN 2352-5509, <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.10.005>.

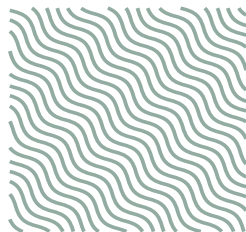
Uçar, E., Le Dain, M. -, & Joly, I. (2020). Digital technologies in circular economy transition: Evidence from case studies. Paper presented at the Procedia CIRP, , 90 133-136. doi:10.1016/j.procir.2020.01.058

Unruh, G. (2018). Circular economy, 3D printing, and the biosphere rules. *California Management Review*, 60(3), 95-111. doi:10.1177/0008125618759684

Wang, B., Farooque, M., Zhong, R. Y., Zhang, A., & Liu, Y. (2021). Internet of things (IoT)-enabled accountability in source separation of household waste for a circular economy in china. *Journal of Cleaner Production*, 300 doi:10.1016/j.jclepro.2021.126773

Wang, X. V., & Wang, L. (2019). Digital twin-based WEEE recycling, recovery and remanufacturing in the background of industry 4.0. *International Journal of Production Research*, 57(12), 3892-3902. doi:10.1080/00207543.2018.1497819

Yang, S., Raghavendra, M. R. A., Kaminski, J., & Pepin, H. (2018). Opportunities for industry 4.0 to support remanufacturing. *Applied Sciences (Switzerland)*, 8(7) doi:10.3390/app8071177



**Convocatoria "Proyectos de iniciación a la investigación 2021"**  
"Industria 4.0 para el desarrollo de una Economía circular".

**Autor**

Lic.DI. Nicolás Capricho Marocci

**Tutora**

PhD. Rosita De Lisi

Escuela Universitaria Centro de Diseño - EUCD  
Facultad de Arquitectura Diseño y Urbanismo - FADU  
Universidad de la República - UDELAR

Montevideo - Uruguay  
2021 -2022