

# ESTUDIO SOBRE LAS POSIBILIDADES DE IMPLEMENTAR UN MODELO DE SIMBIOSIS INDUSTRIAL EN LOS SECTORES MAS REPRESENTATIVOS DE LA INDUSTRIA VALENCIANA.



Càtedra de  
Transformació del  
Model Econòmic  
Economia Circular  
en el Sector de l'Aigua



Xarxa  
Càtedres de  
Transformació  
del Model Econòmic



GENERALITAT  
VALENCIANA  
Conselleria d'Hisenda  
i Model Econòmic



UNIVERSITAT  
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT  
POLITÀCNICA  
DE VALÈNCIA



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante



UJI UNIVERSITAT  
JAUME I



UNIVERSITAS  
Miguel Hernández

<b>1. Introducción .....</b>	<b>2</b>
<b>2. La simbiosis industrial como elemento clave para la transición hacia la economía circular</b>	<b>3</b>
<b>2.1. Que es la Simbiosis Industrial .....</b>	<b>3</b>
<b>2.2. Casos de éxito.....</b>	<b>4</b>
<b>3. Diagnóstico de simbiosis Industrial en la Comunitat Valenciana .....</b>	<b>9</b>
<b>3.1. Observatorio de Simbiosis Industrial de la Comunitat Valenciana (OSICV) .....</b>	<b>9</b>
<b>3.2. Estudio diagnostico sobre relaciones de Simbiosis Industrial en la Comunitat Valenciana (OSICV).....</b>	<b>10</b>
<b>4. Aspectos clave para facilitar la implementación de la simbiosis industrial .....</b>	<b>17</b>
<b>4.1. La innovación.....</b>	<b>17</b>
<b>4.2. Potenciar la digitalización de los sectores productivos y de servicios .....</b>	<b>19</b>
<b>5. Conclusiones.....</b>	<b>25</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>26</b>

## 1. Introducción

La transición del modelo económico lineal tradicional a uno circular pretende acabar con el consumo excesivo de recursos naturales y reducir la presión sobre ellos. Se trata de promover estrategias basadas en la reducción, la reutilización, el reciclaje y la recuperación de productos en todas las fases del ciclo de producción, distribución y consumo, garantizando el bienestar social, económico y medioambiental de las generaciones presentes y futuras. Se trata de un proceso complejo, debido al gran número de actores públicos y privados, empresas, tecnología y recursos implicados. Sin embargo, a pesar de la complejidad de la transición, el modelo de economía circular es clave para proteger el medio ambiente y mejorar la calidad de vida de las personas de forma sostenible.

La "economía verde" sintetiza todas aquellas acciones encaminadas a reducir el consumo de energía, materias primas y agua, minimizando la generación de contaminación y gases de efecto invernadero, y fomentando la reducción de la reutilización de residuos (Comisión Europea, 2019). En una economía verde, las inversiones del sector económico se centran en la reducción de las emisiones de carbono, al tiempo que aumentan la eficiencia en los procesos de producción, reduciendo el consumo de energía y de recursos no renovables. Como resultado, las inversiones generan un crecimiento del empleo a la vez que evitan la pérdida de biodiversidad y de servicios de los ecosistemas. La economía verde y la economía circular están estrechamente relacionadas. La economía circular pretende reducir el consumo de recursos no renovables y utilizar los residuos como una nueva fuente de recursos sostenibles. Para lograr este objetivo, la economía verde tiene en cuenta el impacto medioambiental generado, por ejemplo, controlando las emisiones de carbono generadas por los procesos de producción. La combinación de ambos conceptos implica generar nuevas formas de abastecimiento y producción con menor impacto ambiental, así como asegurar un crecimiento económico sostenible. En España, por ejemplo, existe la Estrategia Española de Economía Circular, España Circular 2030 (MINECO, 2018), que sienta las bases para el fomento e implantación de la economía circular en los siguientes ejes: producción, consumo, gestión de residuos, materias primas secundarias y reutilización del agua. Este último aspecto, la reducción y reutilización de los residuos se basa en considerar los residuos como recursos e integrarlos en la cadena

de producción, este concepto lo define la Economía Circular cuyo objetivo es mantener los materiales y productos el mayor tiempo posible en el bucle, convirtiendo los residuos en recursos, mejorando la eficiencia de los procesos y alargando la vida útil de los productos (Zajac y Avdiushchenko 2020).

Si bien las políticas globales son esenciales para realizar la transición a la economía circular, las ciudades tienen un papel clave. En primer lugar, porque son centros que concentran una gran cantidad de actividad humana y, en consecuencia, son grandes consumidores de recursos y productores de residuos. Y en segundo lugar, porque aunque las ciudades son sistemas socioeconómicos y político-administrativos complejos (Turcu & Gillie, 2020), desde el punto de vista administrativo y legislativo, tienen las competencias necesarias para promover algunas acciones en el marco de la economía circular. En la actualidad, más de la mitad de la población humana se concentra en los centros urbanos, y se espera que esta cifra aumente cuando las ciudades de los países en desarrollo alcancen el índice de residentes urbanos de los países industrializados avanzados. Así que, no solo por razones de sostenibilidad, sino por economías de escala, es mucho más realista reutilizar, reciclar y recuperar los materiales postconsumo a gran escala.

## 2. La simbiosis industrial como elemento clave para la transición hacia la economía circular

### 2.1. Que es la Simbiosis Industrial

La simbiosis industrial es el proceso por el cual los residuos o subproductos de una industria o proceso industrial se convierten en materia prima para otra. La aplicación de este concepto permite utilizar los materiales de forma más sostenible y contribuye a la creación de una economía circular. La simbiosis industrial puede entenderse como un modelo de ecología industrial, donde el aspecto fundamental es la colaboración y la sinergia productiva que puede existir entre diferentes actividades económicas como resultado del intercambio y la puesta en común de recursos.

La simbiosis industrial puede ser un factor clave en la transformación del actual modelo económico lineal e insostenible hacia un modelo económico más sostenible y circular, en

el que las materias primas y los productos permanezcan más tiempo en el sistema económico, aumentando así la eficiencia de los recursos y reduciendo los residuos generados. Podemos decir que la simbiosis industrial se encuentra bajo el paradigma de la economía circular, entendiéndola como una estrategia o herramienta que actúa fundamentalmente sobre el sector industrial y productivo, transformándolo en un sistema productivo más sostenible.

## 2.2. Casos de éxito

A continuación, se presentan diferentes ejemplos de simbiosis industrial a nivel local. Se trata de ciudades en las que existe una red de empresas que trabajan conjuntamente para maximizar la eficiencia en el uso de los recursos, compartiendo y aprovechando al máximo los flujos de energía, agua y materiales, y recirculando los residuos. De esta forma, se consigue reducir el impacto que el sistema productivo genera sobre el medio ambiente, y además se consigue crear valor a partir de los residuos, por lo tanto, se consigue desvincular el crecimiento económico de la degradación del medio ambiente impulsando un desarrollo sostenible.

### **Simbiosis industrial en Kalundborg (Dinamarca)**

Una de las principales redes industriales que operan en simbiosis y que sirve como ejemplo e inspiración para implementar la simbiosis industrial en otras ciudades es el que se ha desarrollado durante más de 50 años en la ciudad danesa de Kalundborg.

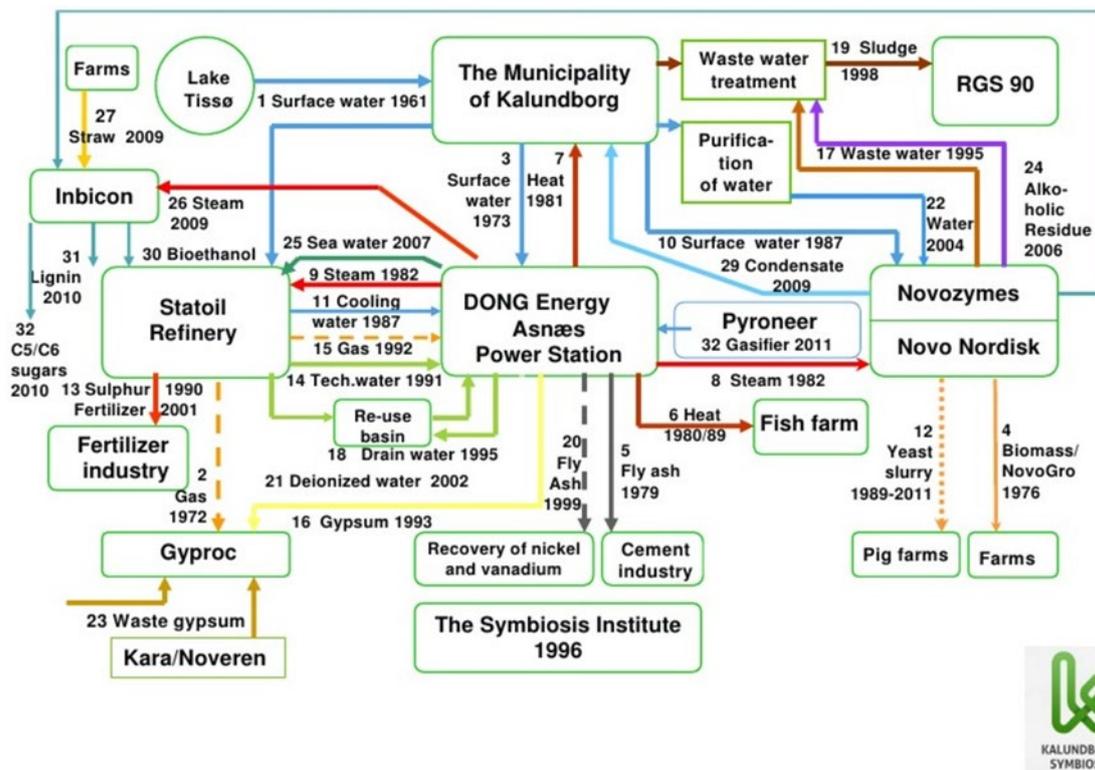
La colaboración entre empresas en Kalundborg tuvo lugar por primera vez en 1961 con la construcción de una red de tuberías para abastecer a una refinería. En el mismo año, se establece un acuerdo entre la refinería y una central eléctrica mediante el cual se intercambian gas y energía. Posteriormente, en 1972, la refinería se compromete a traspasar el exceso de gas que genera a una empresa cementera. Un año más tarde, la empresa energética pasa a utilizar también la red de abastecimiento de agua que se creó inicialmente para el suministro de agua de la refinería, compartiendo ambas empresas las infraestructuras de abastecimiento de agua. En 1976, se incorpora a la red una empresa farmacéutica cuyos fangos producidos, con un alto contenido en nutrientes, son reaprovechados en las granjas vecinas. A lo largo de los años se han ido incorporando empresas y generando nuevos flujos de materiales como por ejemplo la creación de una

red de calor a partir del gas residual generado por la planta de gas, o la recuperación de azufre en la refinería...hasta crear una red de más de 14 empresas, tanto públicas como privadas, procedentes de diferentes sectores industriales, y de diferente tamaño (desde grandes empresas hasta pequeñas) que generan 20 flujos de recursos entre ellas.

Según datos del Análisis del Ciclo de Vida realizado en 2020 por la organización *Symbiosis*, gracias a esta relación de simbiosis entre las 14 empresas que configuran dicha red, ha permitido evitar la extracción de 4 millones de m<sup>3</sup> de agua subterránea, la emisión de 586.000 toneladas de CO<sub>2</sub>, y se han reciclado 62.000 toneladas de materiales evitando que fuesen tratados como residuos.

Cabe señalar que gran parte del éxito de la simbiosis industrial de Kalundborg se debe a la existencia de la figura del intermediador, la cual recae en el departamento de desarrollo del municipio, el cual se encarga de gestionar el centro de Simbiosis de Dinamarca que actúa como secretariado en la asociación de redes de simbiosis industrial, a través del cual se establece el contacto directo con los directores y los administradores locales de las empresas.

Figura 1: Esquema de las relaciones de simbiosis industrial en Kalundborg en 2012. Fuente: <http://www.symbiosis.dk/en/>

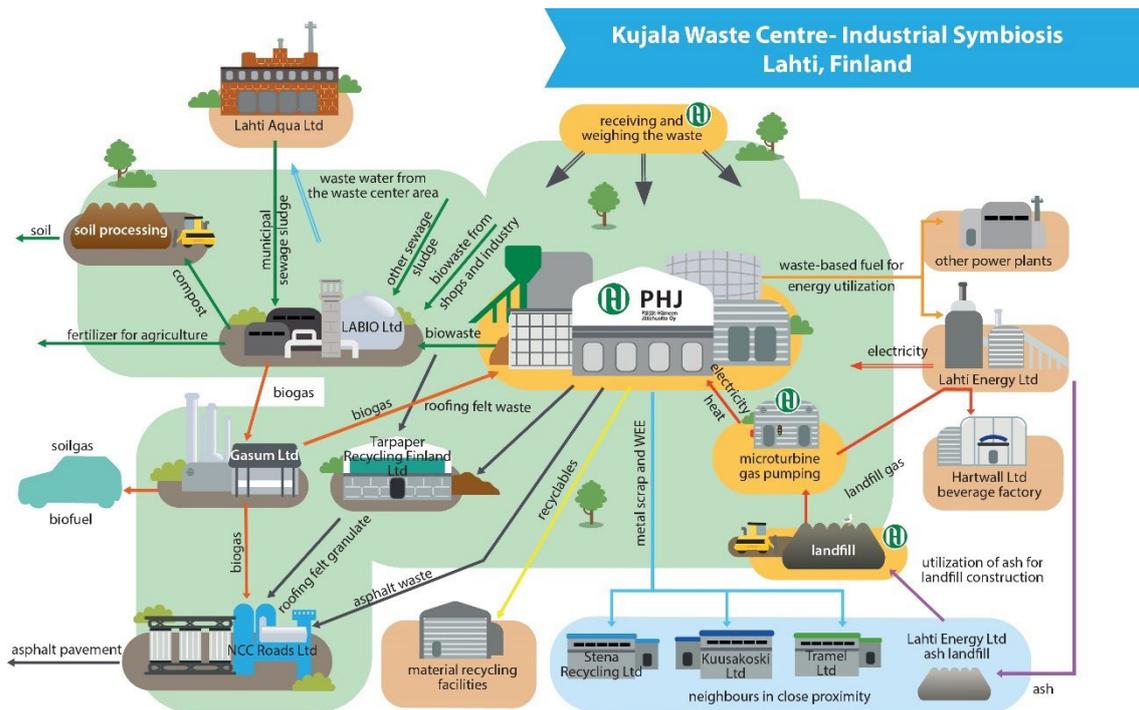


## **Centro de residuos de Kujala en Lahti (Finlandia)**

Päijät-Häme Waste Management Ltd (PHJ) ha empleado los principios de la simbiosis industrial en la ciudad de Lahti para optimizar el procesamiento, el tratamiento y el reciclaje de residuos. Su proyecto del Centro de Residuos de Kujala ha agrupado varias empresas relacionadas con los residuos en un único emplazamiento de más de 70 hectáreas para que los productos de una puedan transferirse fácilmente a otra para su reutilización o procesamiento. El emplazamiento original, que se encargaba de la recepción y clasificación de los residuos, se completó en 2001. Desde entonces, se han ido añadiendo nuevas empresas y el emplazamiento contiene ahora 20 unidades operativas interconectadas para almacenar, manipular, recuperar, transferir y eliminar los residuos.

Los residuos se clasifican y se recicla la mayor cantidad posible de material. La mayoría de los residuos reciclables se refinan y se utilizan en la producción de nuevos materiales que pueden utilizarse en la industria. La materia orgánica se utiliza para la generación de biogás y en la planta de compostaje. El biogás bruto se produce a partir de biorresiduos, residuos de jardinería y lodos de aguas residuales. A continuación, se mejora en la instalación para producir biogás de alta calidad que se transfiere a la red de gas natural. El material restante se convierte en abono para su uso en la agricultura y en los medios de cultivo. El gas producido a partir de los residuos que se depositan en el vertedero se recupera y la mayor parte se bombea a una estación de calefacción donde se utiliza para generar el vapor que se emplea en la fabricación de refrescos. El gas restante de los vertederos se utiliza para generar energía en Kujala. Los lixiviados de los vertederos y las aguas sucias de otros procesos e instalaciones de gestión de residuos se tratan en Ali-Juhakkala de Lahti Aqua Ltd.

Figura 2: Esquema de la simbiosis industrial desarrollada en Lahti (Finlandia). Fuente: European Green Capital 2018



Boosted by LADEC Designed Anna Polkutie in collaboration with Esa Ekholm and Hanna Bergman

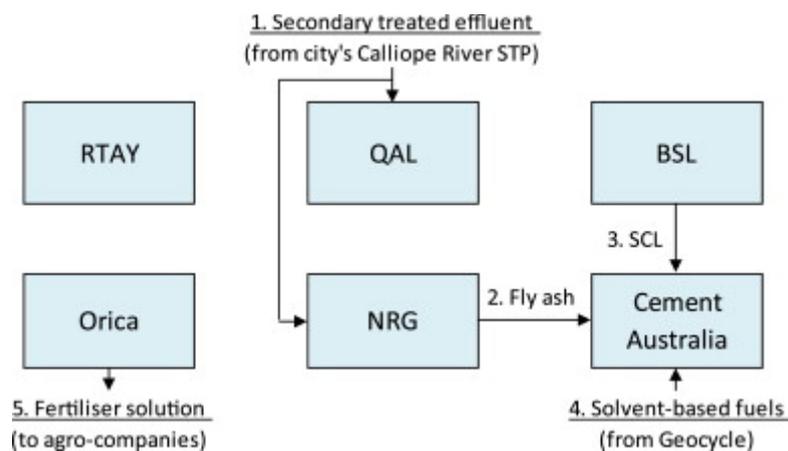
### Simbiosis Industrial en Gladstone, Australia

La primera industria del actual entramado de empresas que constituye la red de simbiosis industrial de Gladstone es una refinería que se estableció en el área industrial en 1963. Pero realmente, no fue hasta finales del siglo XX cuando comenzaron a tener lugar verdaderas relaciones de simbiosis entre las empresas del actual complejo industrial (Golev et al.2014).

La red industrial la constituyen un total de 9 empresas, muchas de ellas relacionadas con la extracción y procesamiento de minerales, puesto que la región australiana en la que se encuentra este polígono industrial es rica en recursos minerales, se trata de: Queensland Alumina Ltd-QAL(alumina); Central eléctrica NRG Gladstone (generación de electricidad); Cemento Australia Holdings Pty Ltd, planta de Gladstone (Cemento, caliza, cal, cal viva); Boyne Fundiciones Ltd (aluminio y aleaciones de aluminio); Orica Yarwún (nitrato de amonio, cianuro de sodio, cloro); Río Tinto Alcan Yarwun (alúmina); QER Pty Ltd (Diésel, combustible de aviación, fueloil ligero). Por lo que se refiere a los flujos de energía son principalmente 5:

- 1) El agua procedente de la planta de tratamiento de aguas residuales es reutilizada por la central eléctrica (NRG) y la empresa Queensland Alúmina Ltd, generalmente en los procesos de lavado.
- 2) Las cenizas volantes que genera la central eléctrica son reutilizadas por la industria cementera.
- 3) Los revestimientos de celdas usadas (SCL), o cenizas calcinadas utilizadas por la empresa Boyne Fundiciones Ltd se reutilizan por Queensland Alúmina Ltd y Cemento Australia Holdings Pty Ltd como combustible alternativo y materia prima en la producción de clinker.
- 4) Por su parte, Orica suministra un subproducto de la producción de nitrato de amonio (utilizado como explosivo para operaciones mineras), a las empresas agrícolas de la región como fertilizante.

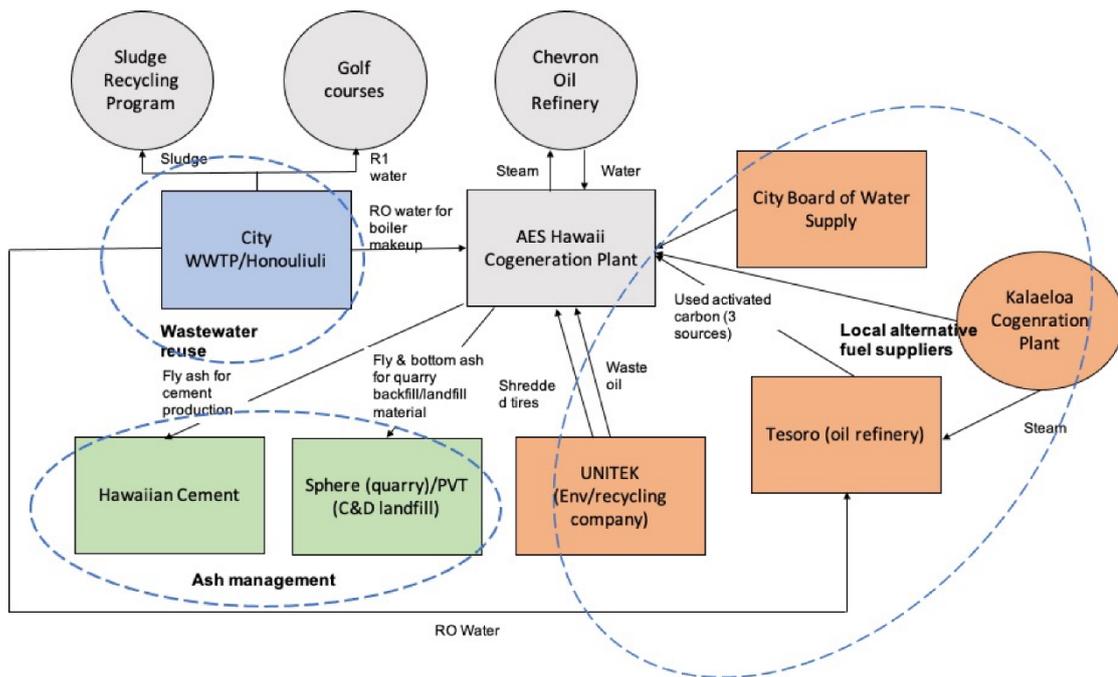
*Figura 3. Esquema de simbiosis industrial en Gladstone (Australia). Fuente: Golev et al. (2014)*



### Simbiosis Industrial Campbell en Hawái (EE.UU)

El Parque Industrial Campbell es el mayor parque industrial del estado de Hawái (EE.UU.) desarrollado entorno a la principal central eléctrica de carbón. El entramado de industrias que configuraban la red en el año 2006 constaba de la central eléctrica, una refinería de petróleo, una planta de reciclaje de agua de la ciudad, un productor de hormigón, una cantera, un vertedero de residuos de construcción y demolición, una agencia de aguas de la ciudad y una empresa de reciclaje que intercambian nueve materiales diferentes.

Figura 4. Esquema de la simbiosis industrial en Hawai. Fuente: Branca et al. (2021)



### 3. Diagnóstico de simbiosis Industrial en la Comunitat Valenciana

#### 3.1. Observatorio de Simbiosis Industrial de la Comunitat Valenciana (OSICV)

El pasado 2021 se creó el Observatorio de Simbiosis Industrial de la Comunitat Valenciana (OSICV), iniciativa impulsada por el IVACE (Institut Valencià de Competitivitat Empresarial) para fomentar la implementación de relaciones de Simbiosis Industrial entre las empresas valencianas, es decir, promover un sistema basado en un mayor aprovechamiento de los recursos y servicios, y la recirculación de subproductos y residuos mediante la colaboración conjunta de distintas empresas.

El OSICV se crea con los siguientes objetivos:

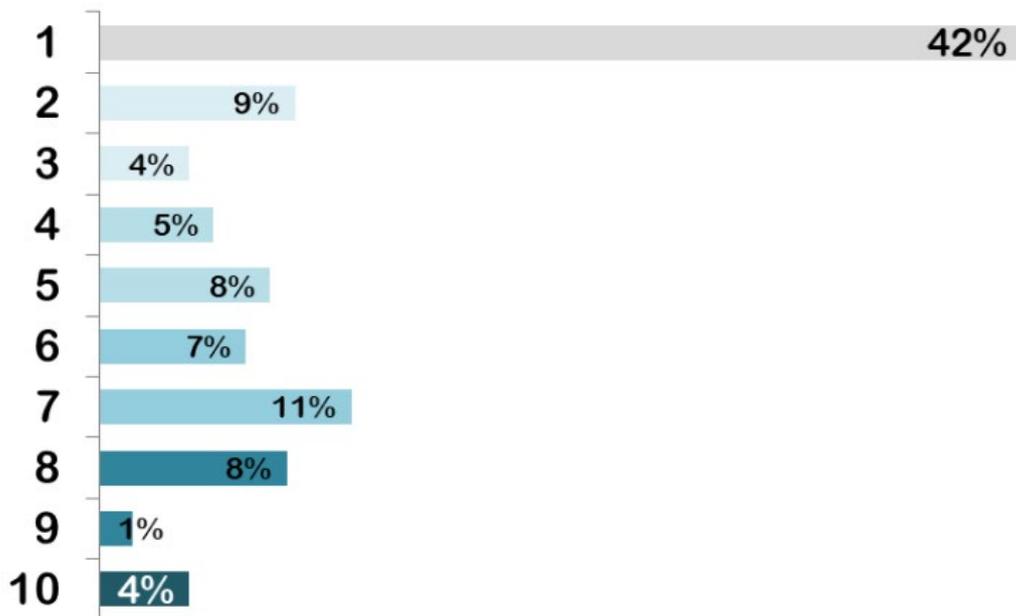
- Promover los conceptos de economía circular y simbiosis industrial como herramientas empresariales.
- Asegurar que los resultados de las iniciativas y proyectos relacionados se comuniquen y difundan en una amplia gama de actores locales/regionales.
- Comprender e intercambiar buenas prácticas locales derivadas de dichas iniciativas/proyectos, así como las barreras o problemas encontrados.
- Apoyar sinergias y elementos demostrativos.

- Proponer un plan de acción único y coordinado en el medio plazo haciendo seguimiento de las iniciativas que se pongan en marcha.

### 3.2. Estudio diagnóstico sobre relaciones de Simbiosis Industrial en la Comunitat Valenciana (OSICV)

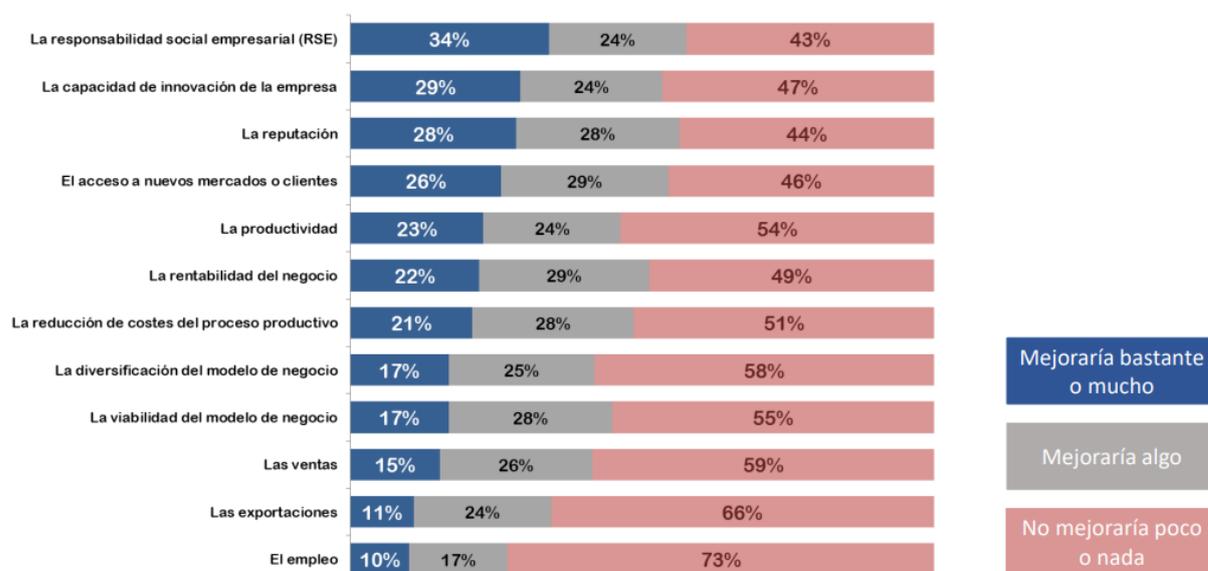
Con el fin de evaluar el estado de la Comunidad Valenciana en materia de simbiosis industrial, la primera actividad que ha realizado el OSICV ha sido un estudio de diagnóstico inicial. En este estudio en el que han participado 277 empresas, uno de los resultados más importantes es el relacionado con el nivel de conocimiento de las empresas. En una escala de puntuación del 1 al 10 se les preguntó a las diferentes empresas que participan en el estudio sobre su conocimiento sobre la simbiosis industrial, y la mayoría de ellas indicaron que su nivel de conocimiento en simbiosis industrial es muy bajo (Figura 5). Por lo tanto, aquí encontramos una de las principales limitaciones en la Comunidad Valenciana para la puesta en marcha de proyectos relacionados con la simbiosis industrial. Para que estas relaciones tengan lugar es necesario fortalecer en primer lugar este aspecto, dando a conocer el término simbiosis industrial y las numerosas ventajas a nivel económico y logístico que este tipo de relaciones ofrecen a corto plazo para las propias empresas, así como los beneficios económicos, sociales y ambientales que se generan a escala global.

Figura 5. Conocimiento de las empresas sobre la simbiosis industrial en una escala del 1 al 10. Fuente: OSICV



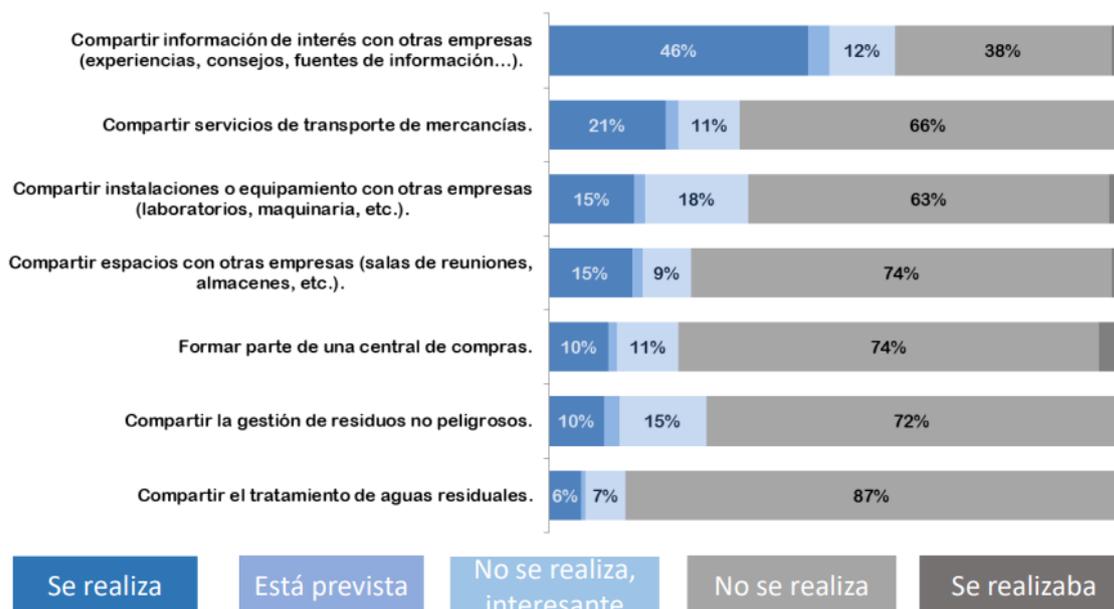
Además de valorar el propio nivel de conocimiento sobre la simbiosis industrial, se pidió a las empresas que calificasen el impacto que este tipo de relaciones generaría en las propias empresas a través de su influencia en determinados aspectos como la mejora de la productividad, el acceso a nuevos mercados o clientes, el empleo, la reducción en los costes del proceso... la respuesta que generalmente predomina en todos los aspectos contemplados es que la simbiosis industrial no mejoraría nada (o muy poco) ninguno de estos aspectos. Estos resultados que reflejan la percepción de las empresas hacia la simbiosis industrial pueden estar relacionada con el poco conocimiento de las empresas sobre la simbiosis industrial, sus beneficios, los procesos que conlleva, etc. La información es el motor del cambio, por lo que es necesario proporcionar a las empresas todo el conocimiento sobre cómo pueden implementarse relaciones de simbiosis industrial y las ventajas que generaría a nivel interno (propia empresa) y externo (social y ambiental).

Figura 6. Impacto de la simbiosis industrial en diferentes áreas empresariales. Fuente: OSICV



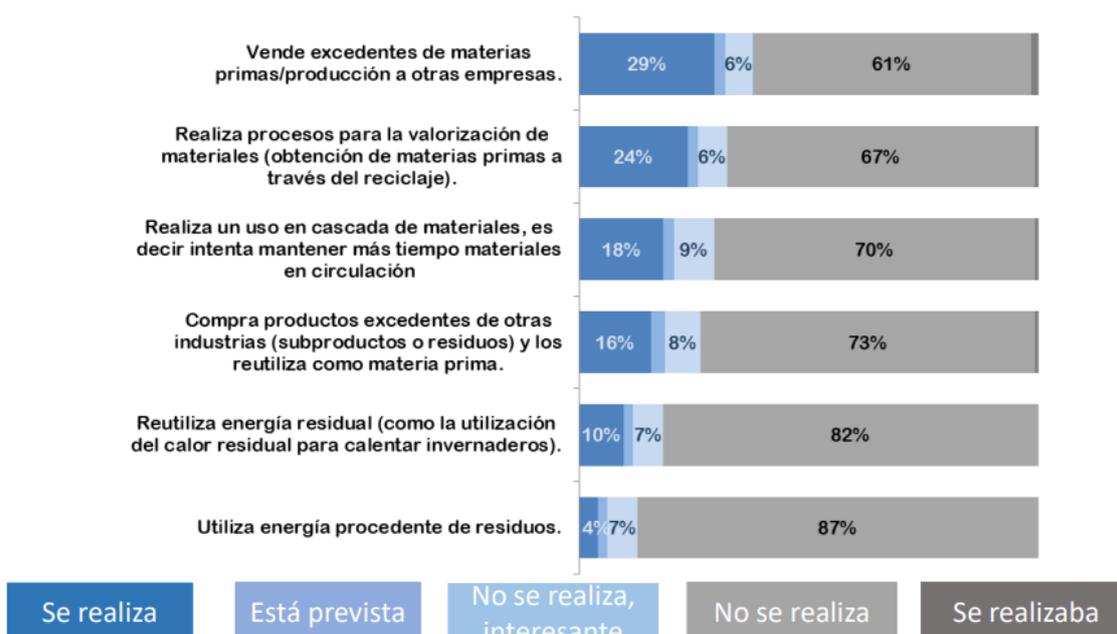
Pese al desconocimiento general que manifiestan las empresas sobre el concepto de simbiosis industrial, este estudio de diagnóstico inicial ha sacado a la luz que algunas empresas ya están realizando actuaciones propias de las relaciones de simbiosis industrial sin ser conscientes de ello como son el hecho de compartir información o recursos con otras empresas, y el aprovechamiento de recursos y materiales. Para plasmar en que grado las empresas desempeñan o están dispuestas a realizar actuaciones relacionadas con el hecho de compartir recursos e información se realiza una encuesta en el que se presentan diferentes actuaciones como el compartir información, infraestructuras, recursos, gestión de recursos entre otras, y las empresas manifiestan si actualmente están realizando este tipo de actuaciones o no, si en algún momento se realizaron, y si de alguna manera consideran las actuaciones interesantes o si están previstas implementarlas. Los resultados muestran que, por lo general, no hay una conexión entre las empresas en lo referente a compartir información y recursos. Si bien, destaca que un gran porcentaje de empresas comparten información que puede ser de interés con otras empresas. Sin embargo, aquellas actuaciones relacionadas directamente con un aprovechamiento de recursos más eficiente y la reducción de residuos son realizadas con menor frecuencia.

Figura 7. Actuaciones relacionadas con el hecho de compartir recursos e información entre empresas:  
Fuente: OSICV



Por lo que se refiere al aprovechamiento de recursos se consideran acciones como la venta de excedentes de materias primas, la valorización de materiales, la reutilización de energía residual, o la utilización de residuos con el fin de producir energía entre otras actividades. En este sentido, la colaboración entre empresas es aún menor. Entre las actuaciones más realizadas se encuentran la venta de excedentes de materias primas y la valorización de materiales.

Figura 8. Actuaciones relacionadas con el aprovechamiento de recursos y materiales entre empresas



De acuerdo con el Observatorio de Simbiosis Industrial de la Comunitat Valenciana (OSICV) uno de los principales inconvenientes para desarrollar relaciones de simbiosis industrial entre empresas en la Comunidad Valenciana es de tipo administrativo/legislativo/político y económico.

*Figura 9. Principales barreras detectadas en la Comunidad Valenciana para implementar la simbiosis industrial. Fuente: OSICV*



La integración de las economías mundiales (globalización) ha tenido un gran impacto en las políticas, los instrumentos y las decisiones de inversión en las ciudades, reduciendo el número de actores implicados en la gestión de los recursos y haciéndolos cada vez más dependientes de los operadores privados. Esta situación limita o dificulta a veces la implantación o la entrada en el mercado de nuevos productos, generalmente recursos

no convencionales como el agua regenerada o la energía procedente de fuentes alternativas a las tradicionales. Para aplicar estrategias más sostenibles, como las promovidas en los modelos de economía circular, es necesaria una reestructuración económica, política y tecnológica. Pero este cambio no puede ser apoyado por la política actual, muy influenciada por el mercado y regida por los beneficios a corto plazo.

Hay que tener en cuenta que la política y la regulación pueden influir tanto en el comportamiento de los productores como en el de los consumidores, creando instrumentos que promuevan e incentiven la reparación y la reutilización o el reciclaje de los productos o el fomento de la economía colaborativa. A nivel productivo, ciertas acciones políticas como los incentivos económicos pueden promover el desarrollo de alternativas innovadoras para mejorar la eficiencia de los procesos (Ilić y Nikolić, 2016), o por el contrario, los procesos productivos ineficientes pueden ser penalizados económicamente a través de tasas (Zhu et al., 2015), ambas situaciones promoverían la producción eficiente y limpia.

A nivel de la Unión Europea se está trabajando en el desarrollo de normativas con el objetivo de realizar una gestión integrada y conjunta de los recursos. Sin embargo, para que las directrices establecidas surtan efecto, deben ser adaptadas a las legislaciones nacionales de los diferentes países, que a su vez deben ser trasladadas a las normativas regionales y/o locales, teniendo en cuenta las diferentes administraciones. De tal manera que una normativa que pretende ser integradora a todos los niveles se convierte en una normativa transversal que no permite la gestión intersectorial de los recursos. Sin embargo, la integración de algunas normativas no siempre es fácil debido a que la gestión de los diferentes recursos suele estar muy fragmentada y dividida entre diferentes administraciones con distintas competencias sobre el mismo recurso, lo que dificulta enormemente su gestión y la puesta en marcha de acciones de reutilización, reciclaje y valorización de residuos.

Desde el punto de vista económico y financiero, para potenciar las relaciones de simbiosis industrial y en última instancia la economía circular, es imprescindible crear o modificar el funcionamiento del mercado actual para financiar los modelos de negocio de la economía circular y amortizar los elevados costes de inversión inicial de las acciones (Grafström y Aasma, 2021). Es necesario crear un mercado para los productos

reutilizados, reciclados o recuperados, que tienen poco o ningún valor económico, y esto es algo que hay que cambiar. Sin embargo, para que este mercado tenga éxito e impulse la demanda de estos productos, la creación del mercado debe ir acompañada de un sistema que certifique la calidad de los productos, dando a los clientes más confianza y seguridad ([Mhatre et al., 2021](#); [Ghisellini et al., 2016](#)).

Otro aspecto que también debe abordarse es el suministro de productos en cantidad. Actualmente, la cantidad de un producto recuperado para su reutilización puede no satisfacer la demanda de los consumidores y, a su vez, esto también es un problema para las empresas que intentan recuperar un subproducto en sus procesos, ya que la puesta en marcha de un proceso de recuperación puede suponer un coste elevado en relación con la cantidad de subproducto obtenido.

Además de esto, las materias primas suelen tener un precio muy bajo en comparación con los materiales o productos reutilizados, lo que no permite que estos productos sean competitivos ([Kirchherr et al., 2018](#)). Actualmente, los bajos precios de las materias primas están actuando como un desincentivo para el consumo de productos reciclados o reutilizados e impiden el avance hacia un modelo de economía circular.

Según [Masi et al. \(2018\)](#) uno de los principales problemas que obstaculizan el avance hacia la economía circular es la falta de inversión para implementar las tecnologías necesarias para maximizar la recuperación y gestión de materiales. Actualmente existe mucha incertidumbre sobre la demanda y el valor de los productos reciclados, por lo que la disposición a invertir en mercados de materiales reciclados es muy baja.

Hay que tener en cuenta que cualquier cambio que implique un desarrollo tecnológico requiere una fuerte inversión que debe abordarse junto con otros instrumentos económicos para amortizar estos costes ([Grafström y Aasma, 2021](#)). Por ejemplo, la incorporación de externalidades ambientales en los productos que utilizan materias primas procedentes de recursos naturales limitados puede aumentar el precio de las materias primas y de los productos que las utilizan. De este modo, los productos reciclados o reutilizados podrían ser más competitivos en el mercado. Al mismo tiempo, el mercado actual está marcado por relaciones y contratos muy arraigados en el sistema

de producción lineal, por lo que es necesario estar abierto a nuevas relaciones y contratos.

## 4. Aspectos clave para facilitar la implementación de la simbiosis industrial

### 4.1. La innovación

La innovación es un factor clave detrás de la aparición de nuevos negocios circulares y constituye uno de los elementos básicos para cerrar el ciclo de vida de los materiales y productos, aumentando su vida útil y reintroduciéndolos en el sistema económico. Según de [Jesús et al. \(2018\)](#) la innovación no sólo está ligada a la sofisticación técnica de los productos o materiales, sino que también tiene que ver con la adaptación al contexto de su uso, incluyendo aspectos económicos, sociales y/o ambientales. Algunos autores al hablar de innovación en el marco de la economía circular se refieren a ella como eco-innovación ([Prieto-Sandoval et al., 2018](#); [de Jesús et al., 2018](#)).

El término eco-innovación hace referencia a cualquier novedad o avance en cuanto a la producción, aplicación o comercialización de un bien del que se beneficia una empresa o usuario, cuya finalidad es reducir el impacto ambiental generado por otras alternativas, de manera que las necesidades sociales y/o ambientales se convierten en el motor de dicha innovación ([Prieto-Sandoval et al., 2018](#); [Cohen y Muñoz, 2016](#); [Hofstra y Huisingh, 2014](#)). Además, según la OCDE, la ecoinnovación es una herramienta que puede hacer que un producto o servicio sea más competitivo al reducir los efectos negativos sobre el medio ambiente o la sociedad, por lo que también es un facilitador del desarrollo sostenible.

La innovación puede tener lugar en cualquier fase del sistema de producción y consumo. Las publicaciones revisadas por [Prieto-Sandoval et al. \(2018\)](#) identifican varias formas innovadoras de aplicar los principios circulares:

- Innovaciones en el modelo de negocio, relativas a cómo las organizaciones o empresas construyen y extraen valor añadido.

- Innovaciones de redes, resultantes de la colaboración simbiótica entre varias empresas.
- Innovaciones en términos de estructura organizativa, en las que se desarrollan prácticas organizativas y de gestión innovadoras para respaldar las políticas verdes.
- Innovaciones de proceso, relacionadas con cambios en la forma en que las empresas fabrican sus bienes u ofrecen servicios.
- Innovaciones de producto, relacionadas con la calidad y la funcionalidad de los productos.
- Las innovaciones de servicios que se introducen en el contexto de la economía circular tienen como objetivo ampliar la vida útil de los productos mediante la disminución de su propiedad; es decir, el mismo producto puede ser utilizado por diferentes usuarios muchas veces, mediante acciones de alquiler o de uso compartido. En consecuencia, tiene un impacto en la infraestructura de servicios.
- Innovaciones de mercado, generadas a través de las experiencias compartidas por los clientes, los valores de la marca y el posicionamiento de sus productos.
- Innovaciones de compromiso con el cliente, centradas en la satisfacción de los clientes.

Una de las formas de analizar la relación y las oportunidades de la innovación y la economía circular es desglosando la economía circular por niveles. Cuando se habla de innovación a nivel micro, se suele relacionar con el producto, el proceso o un nuevo modelo de negocio. A nivel de producto o servicio, una mejora en el diseño, la calidad y la durabilidad da lugar a un producto más sostenible. Cuando la innovación se aplica al proceso, suele ser para aumentar la eficiencia del mismo en términos de recursos utilizados y residuos generados, lo que da lugar a una producción más limpia. Cuando la innovación se realiza a través de un modelo de negocio, el objetivo es mejorar la competitividad de un producto o servicio más sostenible, que sea aceptado y valorado por los usuarios.

En el nivel meso, lo que se busca es la innovación colectiva, ya sea tecnológica o no, su finalidad es promover la cooperación entre múltiples actores. El objetivo de esta nueva forma de colaboración es que los diferentes actores o empresas compartan procesos,

materiales, productos, infraestructuras o servicios, optimizando el uso de los recursos. Por último, la innovación a nivel macro viene de la mano de entidades o instituciones nacionales o más globales con los mecanismos necesarios para generar un contexto en el que promover acciones o políticas propias de la economía circular, como la gestión de residuos, la mejora científica y tecnológica, o la concienciación ciudadana, por ejemplo.

Un ámbito importante de la economía circular en el que la innovación juega un papel relevante es en la consecución de una mayor eficiencia en la reutilización y el reciclaje de productos y materiales, ya que el nivel de consumo mundial ha aumentado y seguirá haciéndolo en los próximos años, tanto en los países desarrollados como en los subdesarrollados. Por lo tanto, para promover la reutilización y el reciclaje, es necesario diseñar un sistema innovador de gestión de residuos, con tecnologías que mejoren y agilicen la separación y clasificación de materiales y productos para recuperar la mayor cantidad posible. Hay que tener en cuenta que la innovación tecnológica por sí sola no puede lograr este objetivo y requiere nuevas formas organizativas que permitan una adecuada gestión de los residuos. Por lo tanto, es necesaria una nueva reorganización del sistema de gestión de recursos que permita el flujo de información entre productores y consumidores para crear un mercado de oportunidades realistas ([de Jesus y Mendonça, 2018](#)).

#### 4.2. Potenciar la digitalización de los sectores productivos y de servicios

Un gran aliado de la Economía Circular es la innovación, y ésta tiene mucho que ver con la implantación de la tecnología digital en diferentes ámbitos y con diferentes fines. En el sector industrial, la digitalización se ha convertido en el motor de la producción sostenible, interviniendo en todas las fases del proceso, desde el ecodiseño de materiales y productos, el aumento de la eficiencia en el uso de los recursos, la puesta en marcha y el funcionamiento del propio proceso productivo más respetuoso con el medio ambiente, hasta la gestión sostenible de los residuos que facilita la reutilización y el reciclaje de los productos ([Geissdoerfer et al., 2017](#)). Tal es la importancia de la digitalización en los procesos productivos que todas las empresas que no avanzan en su implantación ponen en riesgo su competitividad y supervivencia en el mercado ([Bag et al., 2021](#)).

Tanto la economía circular como la digitalización se encuentran en un estado emergente y existen muy pocas referencias sobre cómo aprovechar las tecnologías digitales para implementar de forma efectiva un modelo económico circular que garantice la sostenibilidad del sistema de producción y consumo ([Kristoffersen et al., 2020](#)). A pesar de ello, muchos autores encuentran una relación positiva entre la economía circular y la digitalización ([Barteková y Börkey, 2022](#); [Bag et al., 2021](#); [Sarc et al., 2019](#)).

Entre las principales ventajas que ofrecen las tecnologías 4.0 se encuentra su capacidad para la monitorización de procesos, la recogida de datos, la minería de datos, el tratamiento de datos y el procesamiento de datos, lo que genera información que puede ser fácilmente compartida entre diferentes sectores, empresas o individuos. De este modo, la digitalización puede abordar una de las principales barreras que dificultan la operatividad de los modelos de economía circular, como es la de proporcionar acceso y facilitar el intercambio de datos, información y conocimiento entre los diferentes actores implicados.

La economía circular se presenta como un ciclo cerrado, en el que la circularidad del flujo de materiales y productos depende de la interacción de los diferentes sectores productivos (industrias, servicios, gestores de residuos, etc.) y de los propios consumidores. Para garantizar este flujo circular, es imprescindible que paralelamente exista un flujo de información y conocimiento que permita conocer los materiales que componen los productos, su procesamiento y fabricación, así como información sobre la reparación y el reciclaje que maximice la recuperación de todos los materiales que constituyen el producto. Cuando se trata de la reutilización de un equipo o de alguno de sus componentes, la información sobre su estado y origen es sumamente importante para programar o realizar las tareas de mantenimiento pertinentes o las posibles reparaciones. La ausencia de esta información provoca ineficiencias en los procesos productivos en los que intervienen estos equipos, lo que redundaría en un mayor consumo de recursos materiales y económicos.

Actualmente, la falta de información sobre el origen, condiciones y calidad de los productos y materiales reciclados o reutilizados genera desconfianza entre los consumidores, impidiendo la adopción de un modelo de economía circular. La implantación de diferentes tecnologías digitales facilitaría la disponibilidad de esta

información, contribuyendo a aumentar el valor añadido de los productos y materiales al reintroducirlos en el mercado y asegurar el cierre del ciclo de los productos y materiales. Existen numerosos tipos de tecnologías digitales, que por sus características y fines pueden adaptarse más fácilmente a unos contextos que a otros. Dado que no hay espacio para mencionar todos los tipos de tecnologías digitales existentes, a continuación se mencionan las más relevantes y versátiles para diferentes procesos y campos:

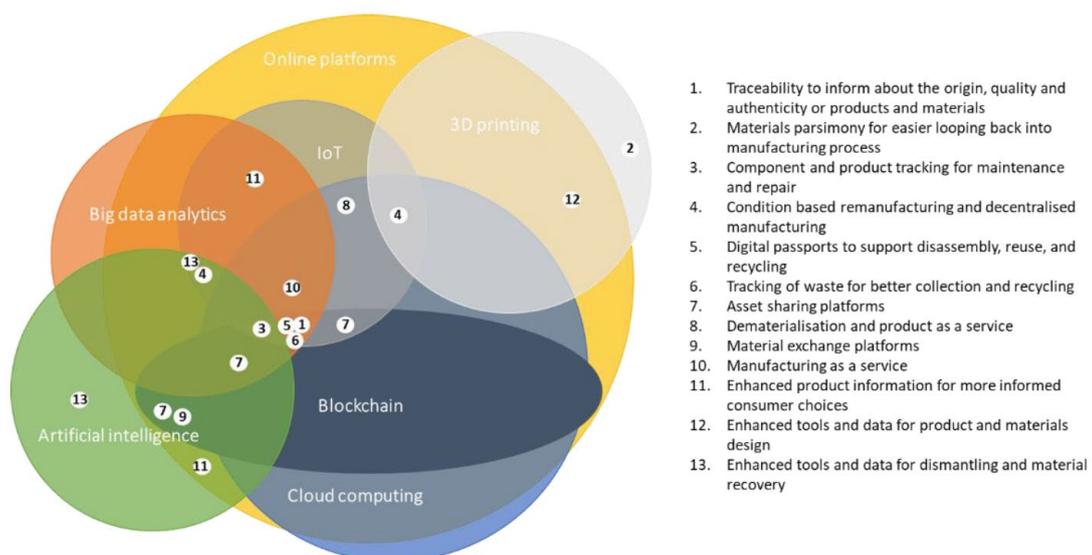
- Internet de las cosas: Se concibe como una gestión dinámica de la información que intercambia y recoge datos de diferentes sistemas electrónicos que transfieren datos de productos, servicios, procesos, actividades o tareas en tiempo real ([Tavera Romero et al., 2021](#)). Esta herramienta digital permite generar, recopilar y analizar la información necesaria para alcanzar los principios de las cadenas de suministro circulares, como la trazabilidad de los residuos y recursos, la logística inversa, la independencia de los recursos naturales limitados, la producción remota, la remanufactura y la reutilización.
- Big Data: El papel principal del Big Data es reunir datos e información de diferentes plataformas y usuarios para lograr una toma de decisiones afectiva ([Kazancoglu et al., 2021](#)). La importancia de los datos radica en la posibilidad de utilizarlos para mejorar tanto los servicios como los productos ajustando su calidad o características a la demanda de los usuarios, reduciendo los retrabajos y promoviendo acciones de economía circular como la reutilización y el reciclaje y la ampliación de la vida útil de los productos ([Chauhan et al., 2022](#)).
- Inteligencia artificial: Según [Agrawal et al., \(2021\)](#) Dentro del marco de la EC la inteligencia artificial permite mejorar la eficiencia de los procesos productivos y la vida útil de los productos a través del análisis de la gran cantidad de datos generados en el proceso. Por tanto, esta herramienta se convierte en una herramienta muy útil para tomar decisiones que apoyen los principios de la economía circular.
- Blockchain: se puede definir como una base de datos digital segura (gracias a la criptografía) que facilita todo tipo de transacciones (no sólo las económicas) entre diferentes actores sin necesidad de intermediarios. Blockchain puede generar incentivos para establecer nuevos sistemas de precios y promover el intercambio

de recursos a precios más bajos, de forma transparente y segura (Treiblmaier y Beck, 2019). Esta nueva forma de comercio promueve la reducción de residuos, así como la reutilización y el reciclaje de productos y materiales.

- Computación en la nube: es una herramienta digital que proporciona acceso a aplicaciones informáticas y de procesamiento remotas alojadas por una empresa o un proveedor de servicios. La implantación de estas plataformas en las empresas permite operar de forma más coordinada y eficiente, integrando los diferentes departamentos, mejorando en gran medida la eficiencia en el uso de los recursos y reduciendo los residuos al tiempo que se escala el proceso de toma de decisiones.

Como se ha mencionado anteriormente, las tecnologías presentadas anteriormente no son las únicas que existen, ni las únicas con efectos positivos en el impulso hacia un modelo de economía circular. Además, diferentes tipos de digitalización pueden contribuir a la consecución del mismo principio de la economía circular, como puede verse en la figura 5. Sin embargo, la combinación de diferentes herramientas digitales puede magnificar sus efectos. El impacto de la digitalización en la economía circular se potencia cuando se combinan diferentes tecnologías digitales, lo que permite su escalabilidad y la ampliación de sus efectos a diferentes niveles y ámbitos.

Figure 1. Effect of Combining different digital technologies on the circular economy. Source: Barteková and Börkey (2022)



La tecnología digital puede transformar la forma en que tradicionalmente producimos y consumimos, ayudando a las empresas y al sector productivo a afrontar uno de los principales retos: convertirse en productores sostenibles. En esta situación, la digitalización del sistema de producción y consumo se convierte en una herramienta con gran potencial como facilitador de la producción sostenible y la economía circular. Las principales características de las tecnologías digitales son la generación y el procesamiento de datos, que a su vez pueden ser compartidos en tiempo real entre diferentes departamentos de una misma empresa o entre diferentes empresas y sectores.

La disponibilidad y el flujo simultáneo de información permite que los diferentes operadores interactúen, promoviendo un uso más eficiente de los recursos y reduciendo los residuos. Además, el hecho de que la información pueda recogerse y compartirse en tiempo real permite ajustar la producción o los servicios a los cambios en el mercado o la demanda, agilizando el proceso de toma de decisiones y la capacidad de actuación, lo que también redundará en un uso más eficiente de los recursos y en una menor generación de residuos. Otra característica de la tecnología digital que contribuye a la consecución de los principios de la economía circular es la descentralización de la información, el abastecimiento de materias primas y la producción.

La reintroducción de productos o materiales en el mercado prolonga la vida útil de los productos y aumenta el número de fuentes de suministro de productos o materias primas, lo que reduce significativamente la presión sobre los recursos naturales, así como la producción de residuos que dañan gravemente el medio ambiente. Por último, una de las principales ventajas de las tecnologías digitales que debe tenerse en cuenta es la virtualización, que permite recrear un entorno físico en el que se pueden realizar simulaciones y escenarios, reduciendo así los residuos industriales, además de promover prácticas medioambientales o aumentar las oportunidades de reciclaje.

Algunos de los principales ámbitos de la economía circular en los que la digitalización resulta especialmente útil son los siguientes ([Chauhan et al., 2022](#))

- Remanufactura: una de las principales acciones dentro de la economía circular es el fomento de la refabricación. Las principales barreras con las que se encuentra

el sector productivo a la hora de realizar la remanufactura son la alta demanda de recursos materiales y económicos que conlleva, así como el tiempo. En este sentido, las herramientas de digitalización podrían ayudar a superar estas barreras mediante la implementación de modelos de optimización que permitan la selección de aquellas piezas potencialmente recuperables en términos de costes, materiales y tiempo.

- Colaboración: gracias a la recogida y flujo de datos entre productores y consumidores, se puede generar un entorno de colaboración que favorezca la reutilización y el reciclaje de productos y materiales a través de un nuevo modelo de negocio.
- Valorización, reciclaje y recuperación de recursos: muchas de las características de la digitalización acaban favoreciendo la valorización, el reciclaje y la recuperación de recursos. Los flujos de información no sólo conectan a proveedores y consumidores, sino que también pueden utilizar técnicas digitales para optimizar la recuperación de recursos y analizar su viabilidad.
- Logística inversa y cierre del bucle: la aplicación de las tecnologías digitales puede ser decisiva en la recogida, el tratamiento y el transporte de los residuos para su refabricación. A nivel logístico, sería posible realizar un inventario de materiales para reintroducirlos en el mercado de forma eficiente y controlada, cerrando así el ciclo.
- Segregación de residuos: Para cerrar el ciclo de materiales y productos y recuperar, reutilizar y reciclar de forma óptima, es fundamental tener identificados, controlados y segregados los materiales. En la actualidad, esta es una tarea larga y laboriosa, pero la mejora y sofisticación de un sistema de triaje y clasificación de materiales agilizaría el proceso, potenciando el flujo circular de materiales.

Por tanto, la digitalización puede ser uno de los elementos clave en la transformación hacia un modelo económico circular.

## 5. Conclusiones

Los resultados del estudio diagnóstico realizado por el OSICV muestran que aún existe un largo camino que recorrer para que las relaciones de simbiosis industrial tengan lugar. Para poder implementar este tipo de relaciones es necesario que haya un flujo de información constante entre las empresas. El hecho de que un gran número de empresas de la Comunidad Valenciana esté compartiendo información con otras es un buen comienzo para seguir desarrollando y potenciando relaciones de simbiosis industrial, ya que en muchas ocasiones las empresas se muestran reticentes a compartir información y conocimientos entre ellas y con las instituciones en perjuicio del progreso. Por lo tanto, es importante seguir potenciando este hábito y promover que éste sea un comportamiento habitual.

Con el fin de mejorar la eficiencia en la gestión de residuos, y reducir y reutilizar los residuos generados es necesario que se detallen datos cualitativos y cuantitativos sobre los flujos de residuos y las necesidades de material/agua/energía de las diferentes industrias/empresas que participan en la red de simbiosis industria. En ocasiones, proporcionar información detallada sobre los procesos industriales y las empresas genera desconfianza, limitando el desarrollo de la simbiosis industrial. Para superar esta barrera y garantizar el flujo de información y generar un ambiente de confianza entre las empresas puede ser de gran utilidad la inclusión de un actor que actúe como coordinador e intermediario neutral, siendo el encargado de gestionar la información y las relaciones, potenciando de esta forma las sinergias entre las empresas.

Tanto la digitalización como la innovación pueden facilitar el desarrollo de una red de empresas o industrias que interactúen sinérgicamente potenciando un sistema de producción más eficiente. Una de las principales características de la digitalización y la innovación es que pueden aplicarse a todos los niveles, local, regional o nacional e incluso internacional, facilitando el intercambio de información e implementando estrategias que generen sinergias entre ellas. Son herramientas con un gran potencial para impulsar la transformación hacia un modelo económico circular que genere un crecimiento económico y social más inclusivo y sostenible.

## REFERENCIAS

- Agrawal, R., Wankhede, V. A., Kumar, A., Luthra, S., Majumdar, A. and Kazancoglu, Y. (2021) An exploratory state-of-the-art review of artificial intelligence applications in circular economy using structural topic modeling, *Operations Management Research*, 1-18.
- Bag, S., Yadav, G., Dhamija, P. and 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, 125233.
- Barteková, E. and Börkey, P. (2022) Digitalisation for the transition to a resource efficient and circular economy.
- Branca, T. A., Fornai, B., Colla, V., Pistelli, M. I., Faraci, E. L., Cirilli, F., & Schröder, A. J. (2021). Industrial symbiosis and energy efficiency in European process Industries: A review. *Sustainability*, 13(16), 9159.
- Chauhan, C., Parida, V. and Dhir, A. (2022) Linking circular economy and digitalisation technologies: A systematic literature review of past achievements and future promises, *Technological Forecasting and Social Change*, 177, 121508.
- Cohen, B. and Muñoz, P. (2016) Sharing cities and sustainable consumption and production: towards an integrated framework, *Journal of Cleaner Production*, 134, 87-97.
- de Jesus, A., Antunes, P., Santos, R. and Mendonça, S. (2018) Eco-innovation in the transition to a circular economy: An analytical literature review, *Journal of Cleaner Production*, 172, 2999-3018.
- de Jesus, A. and Mendonça, S. (2018) Lost in Transition? Drivers and Barriers in the Eco-innovation Road to the Circular Economy, *Ecological Economics*, 145, 75-89.
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P. and Hultink, E. J. (2017) The Circular Economy – A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, 143, 757-68.

Ghisellini, P., Cialani, C. and Ulgiati, S. (2016) A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems, *Journal of Cleaner Production*, 114, 11-32.

Golev, A., Corder, G. D., & Giurco, D. P. (2014). Industrial symbiosis in Gladstone: A decade of progress and future development. *Journal of cleaner production*, 84, 421-429.

Grafström, J. and Aasma, S. (2021) Breaking circular economy barriers, *Journal of Cleaner Production*, 292, 126002.

Hofstra, N. and Huisingh, D. (2014) Eco-innovations characterized: a taxonomic classification of relationships between humans and nature, *Journal of Cleaner Production*, 66, 459-68.

Ilić, M. and Nikolić, M. (2016) Drivers for development of circular economy – A case study of Serbia, *Habitat International*, 56, 191-200.

Kazancoglu, Y., Sagnak, M., Mangla, S. K., Sezer, M. D. and Pala, M. O. (2021) A fuzzy based hybrid decision framework to circularity in dairy supply chains through big data solutions, *Technological Forecasting and Social Change*, 170, 120927.

Kirchherr, J., Piscicelli, L., Bour, R., Kostense-Smit, E., Muller, J., Huibrechtse-Truijens, A. and Hekkert, M. (2018) Barriers to the Circular Economy: Evidence From the European Union (EU), *Ecological Economics*, 150, 264-72.

Kristoffersen, E., Blomsma, F., Mikalef, P. and Li, J. (2020) The smart circular economy: A digital-enabled circular strategies framework for manufacturing companies, *Journal of Business Research*, 120, 241-61.

Masi, D., Kumar, V., Garza-Reyes, J. and Godsell, J. (2018) Towards a more circular economy: exploring the awareness, practices, and barriers from a focal firm perspective, *Production Planning & Control*, 29, 539-50.

Mhatre, P., Panchal, R., Singh, A. and Bibyan, S. (2021) A systematic literature review on the circular economy initiatives in the European Union, *Sustainable Production and Consumption*, 26, 187-202.

Prieto-Sandoval, V., Jaca, C. and Ormazabal, M. (2018) Towards a consensus on the circular economy, *Journal of Cleaner Production*, 179, 605-15.

Sarc, R., Curtis, A., Kandlbauer, L., Khodier, K., Lorber, K. E. and Pomberger, R. (2019) Digitalisation and intelligent robotics in value chain of circular economy oriented waste management – A review, *Waste Management*, 95, 476-92.

Tavera Romero, C. A., Castro, D. F., Ortiz, J. H., Khalaf, O. I. and Vargas, M. A. (2021) Synergy between circular economy and industry 4.0: A literature review, *Sustainability*, 13, 4331.

Treiblmaier, H. and Beck, R. (2019) *Business transformation through blockchain*, Springer.

Turcu, C., & Gillie, H. (2020). Governing the circular economy in the city: Local planning practice in London. *Planning Practice & Research*, 35(1), 62-85.

Zajac, P., Avdiushchenko, A., (2020). The impact of converting waste into resources on the regional economy, evidence from Poland, *Ecol. Model.* 437, 109299.

Zhu, Q., Geng, Y., Sarkis, J. and Lai, K. (2015) Barriers to promoting eco-industrial parks development in China: Perspectives from senior officials at national industrial parks, *Journal of Industrial Ecology*, 19, 457-67.