

ESTUDIO SOBRE LA VIABILIDAD ECONÓMICA Y PRINCIPALES BENEFICIOS DE IMPLEMENTAR LA SIMBIOSIS INDUSTRIAL EN LOS SECTORES MÁS REPRESENTATIVOS DE LA ECONOMÍA VALENCIANA

Lledó Castellet Viciano

Águeda Bellver Domingo

Francesc Hernández Sancho



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



Xarxa
Càtedres de
Transformació
del Model Econòmic



GENERALITAT
VALENCIANA
Conselleria de Hacienda y Economía



VNIVERSITAT
ID VALÈNCIA



UNIVERSITAT
POLITÀCNICA
DE VALÈNCIA



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante



UJI UNIVERSITAT
JAUME I



UNIVERSITAS
Miguel Hernández

INDICE

1. INTRODUCCIÓN	2
2. LA SIMBIOSIS INDUSTRIAL COMO MOTOR DE LA ECONOMÍA CIRCULAR EN LOS SECTORES INDUSTRIALES	5
3. PRINCIPALES VENTAJAS DE LOS MODELOS DE SIMBIOSIS INDUSTRIAL 9	
3.1. Beneficios económicos	10
3.2. Beneficios sociales	11
3.3. Beneficios ambientales	12
4. SECTORES CLAVE DE LA ECONOMÍA EN ESPAÑA Y LA COMUNIDAD VALENCIANA.....	14
4.1. Análisis macroeconómico de España	14
4.2. Análisis macroeconómico de la Comunidad Valenciana.....	15
5. APLICACIÓN DE UN MODELO DE SIMBIOSIS INDUSTRIAL EN SECTORES ECONÓMICOS ESTRATÉGICOS DE LA COMUNIDAD VALENCIANA.....	17
5.1. Sector cerámico	17
5.2. Sector agroalimentario.....	21
6. CASOS DE ÉXITO DE MODELOS DE SIMBIOSIS INDUSTRIAL EN ESPAÑA25	
6.1. Simbiosis industrial en Manresa.....	25
6.2. Simbiosis industrial entre las empresas Prolactea y Entrepinares.....	28
6.3. Simbiosis industrial entre una EDAR, la industria agroalimentaria y una planta de biogás	29
6.4. Planta de captura de CO ₂ de Garray (Soria).....	29
6.5. Simbiosis industrial entre las empresas Dupont y Gonvarri.....	29
6.6. Simbiosis Industrial en Galicia.....	30
7. CONCLUSIONES	31
REFERENCIAS	32

1. INTRODUCCIÓN

El modelo económico que rige nuestro sistema productivo y de consumo nació entre mediados del siglo XVIII y principios del XIX en Gran Bretaña con la Revolución Industrial, y supuso una gran transformación económica y social. El desarrollo tecnológico que se produjo en esta época permitió un acceso más rápido y fácil a los recursos naturales favoreciendo la producción a gran escala. Hay que tener en cuenta que este modelo económico nace en un contexto totalmente diferente al actual, en el que se necesitaba incrementar la producción de forma rápida para poder satisfacer las necesidades de la población, y los recursos naturales que constituían las materias primas eran abundantes.

Sin embargo, este sistema económico lineal y unidireccional que se instauró y se ha mantenido a lo largo del tiempo hasta la actualidad, ha puesto en jaque la sostenibilidad de los recursos naturales y el propio sistema económico (Allan and Ojeda-García, 2022; Oberle *et al.*, 2019). El consumo de recursos naturales a un ritmo superior a la capacidad de recuperación de la naturaleza genera una gran presión sobre el conjunto de los ecosistemas terrestres y pone en riesgo el equilibrio y la sostenibilidad ambiental (Ghisellini *et al.*, 2016). La escasez de recursos naturales está empezando a mostrar de manera evidente sus efectos sobre la economía global y el desarrollo social. Los recursos naturales, como los metales, combustibles fósiles y el agua, se están volviendo cada vez más limitados debido a la sobreexplotación y el crecimiento de la demanda (Doran *et al.*, 2023; Hegab *et al.*, 2023). En este contexto, el modelo económico lineal, basado en "coger-usar-tirar", está demostrando ser insostenible. Este sistema no solo pone en riesgo el suministro de las materias primas que sostienen la producción, sino que también resulta en un encarecimiento significativo y en la volatilidad de sus precios, lo cual afecta directamente a las economías y empresas que dependen de estos insumos. A medida que los depósitos de recursos fácilmente accesibles se agotan, las empresas deben recurrir a zonas de difícil acceso para la extracción de materias primas, lo que aumenta los costos y los riesgos, tanto económicos como ambientales (Wang and Azam, 2024). Además, la explotación en áreas más remotas conlleva un impacto ambiental significativo, poniendo en peligro hábitats naturales y contribuyendo a la degradación del medio ambiente.

En este contexto, el concepto de Economía Circular emerge como una solución prometedora para hacer frente al uso descontrolado de los recursos (Mangers *et al.*, 2021). A diferencia del modelo lineal, la Economía Circular busca minimizar el desperdicio y

maximizar la reutilización de materiales. Su objetivo es mantener los productos, componentes y recursos en uso durante el mayor tiempo posible, promoviendo la eficiencia de los recursos y la reducción de los desechos (Alka *et al.*, 2024; Ellen MacArthur Foundation, 2015). Este modelo implica estrategias como el reciclaje, la reutilización y la reparación, así como el rediseño de productos para que tengan un ciclo de vida más largo y sean más fáciles de recuperar y reciclar. Sin embargo, aunque el término “Economía Circular” ha ganado mayor notoriedad en los últimos años, ya en los años 70, se hablaba de este concepto y de sus principales estrategias, las cuales se denominaron las "3R", iniciales de las tres acciones principales sobre las que se construye el concepto de Economía Circular, que son: Reducir, Reutilizar y Reciclar. Sin embargo, con la publicación de la Directiva de Residuos de la UE en 2008 (2008/98/EC), las 3R se ampliaron a 4R, incorporando "Reducción" para minimizar la generación de residuos. Posteriormente, se introdujeron las "6R": Reutilizar, Reciclar, Rediseñar, Remanufacturar, Reducir y Recuperar. Más recientemente, el número de estrategias ha sido ampliado a las "9R", dando un enfoque más amplio a la economía circular (Potting *et al.*, 2017; Kirchherr *et al.*, 2017). A continuación, se presentan las estrategias de la Economía Circular basadas en las 9R, las cuales se agrupan en tres objetivos clave:

Tabla 1. Estrategias de la Economía Circular. Fuente: Potting et al. (2017)

ESTRATEGIA		DESCRIPCIÓN
Uso y producción más eficientes de bienes y servicios.	R0 RECHAZAR	Volver el producto innecesario, ya sea porque ha perdido su utilidad o porque se ha sustituido por otro que realiza la misma función.
	R1 REPENSAR	Aumentar el uso de los productos mediante el intercambio entre usuarios o empleándolos para diversos propósitos.
	R2 REDUCIR	Fabricación y uso más eficientes de productos y servicios utilizando menos recursos y materiales naturales.
Prolongar la vida útil de los productos y sus componentes.	R3 REUTILIZAR	Reutilización de un producto rechazado que aún puede ser utilizado por un usuario diferente.
	R4 REPARAR	Restaurar un producto (mediante mantenimiento o reparación) para devolverle su funcionalidad.

	R5 REACONDICIONAR	Actualizar un producto antiguo.
	R6 REMANUFACTURAR	Crear un nuevo producto a partir de componentes de un producto desechado. El nuevo producto desempeña la misma función que el que se descartó.
	R7 RECONVERTIR	Construir un nuevo producto utilizando partes de un producto descartado. El producto resultante tiene una función diferente a la del que fue desechado.
Uso efectivo de materiales	R8 RECICLAR	Procesamiento de materiales para ser reutilizados.
	R9 RECUPERAR	Producción de energía mediante la incineración de materiales.

En un mundo cada vez más consciente de la necesidad de un desarrollo sostenible, se vuelve imperativo transformar la manera en que producimos, consumimos y gestionamos nuestros recursos. Priorizar los recursos renovables, como la energía y los materiales no tóxicos, es el primer paso hacia un futuro sostenible. Al mismo tiempo, conservar los recursos existentes mediante prácticas de eficiencia, mantenimiento y reutilización se presenta como una forma efectiva de prolongar su vida útil y reducir el desperdicio. Además, es fundamental cambiar nuestra percepción de los residuos, considerándolos como recursos útiles a través de la valorización material y energética.

Esta revalorización abre la puerta a repensar los modelos de negocio tradicionales, incorporando conceptos innovadores como la remanufactura, los sistemas de retorno y la servitización. En este contexto, el eco-diseño juega un papel esencial, promoviendo un enfoque que favorezca la modularidad, el desmontaje y el reciclaje. La integración de la tecnología digital se convierte en un aliado crucial, facilitando la gestión de datos, la personalización y la virtualización, lo que permite optimizar procesos y recursos. Por último, la colaboración entre distintos actores es fundamental para crear valor compartido, impulsando iniciativas como la economía colaborativa y los circuitos locales.

Figura 1. Estrategias para la implementación de un modelo de Economía Circular. Fuente: Lluís and Martínez (2022)



PRIORIZAR LOS
RECURSOS
RENOVABLES



CONSERVAR LOS
RECURSOS
EXISTENTES



ENTENDER LOS
RESIDUOS COMO
RECURSOS ÚTILES



REPENSAR LOS
MODELOS DE
NEGOCIO



ECO-DISEÑAR PARA
EL FUTURO



INCORPORAR LA
TECNOLOGÍA
DIGITAL



COLABORAR PARA
CREAR VALOR
COMPARTIDO

En conjunto, estas estrategias van a permitir alcanzar un modelo económico que minimice el impacto ambiental, y simultáneamente promueva el bienestar social y económico a largo plazo. Mediante la Economía Circular no solo se reduce la dependencia de la extracción de nuevos recursos, sino que se reduce la generación de residuos, lo cual permite en última instancia disminuir la presión sobre los ecosistemas naturales, lo cual es clave para hacer frente al cambio climático y preservar la biodiversidad. Además, contribuye a la estabilización de los precios y crear nuevas oportunidades de negocio y empleo. En definitiva, un modelo económico circular presenta numerosos beneficios económicos y ambientales.

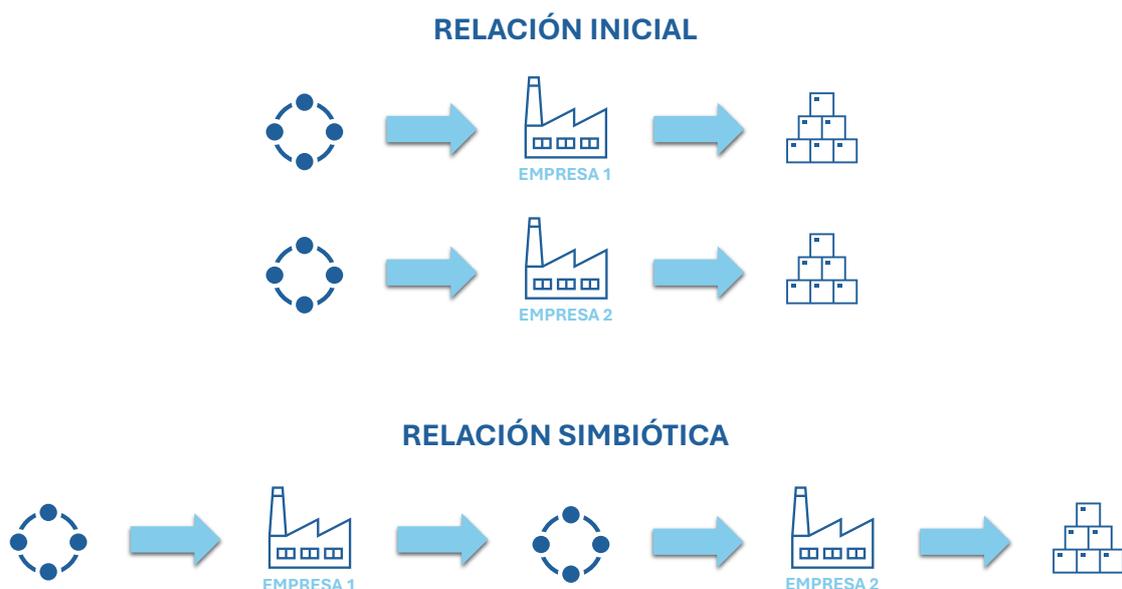
2. LA SIMBIOSIS INDUSTRIAL COMO MOTOR DE LA ECONOMIA CIRCULAR EN LOS SECTORES INDUSTRIALES

Etimológicamente hablando, la palabra "simbiosis" proviene del griego "sýn" (con) y "bios" (vida), y puede interpretarse como "vivir juntos" o "medio de subsistencia". En biología, este término se utiliza para describir cualquier tipo de asociación en la que los organismos involucrados se benefician mutuamente, creando un vínculo que les permite optimizar recursos y maximizar su capacidad de supervivencia. La simbiosis se convierte en una estrategia evolutiva clave que permite a diferentes especies prosperar en un entorno que podría ser desafiante o competitivo si se enfrentaran por separado.

Si aplicamos el concepto de simbiosis al sector industrial, obtenemos un modelo de ecología industrial, donde el aspecto fundamental es la colaboración y la sinergia productiva entre diferentes actividades económicas. En este contexto nace la simbiosis industrial, la cual fomenta la colaboración entre distintas empresas e industrias para que los subproductos, residuos o excesos de energía de una empresa puedan ser utilizados como insumos por otra (Marconi *et al.*, 2018). Esto no solo reduce el volumen de residuos que se generan y se envían a vertederos, sino que también permite un aprovechamiento más eficiente de la energía y de los recursos naturales. De este modo, se crean sinergias que promueven la reducción de costes y la disminución del impacto ambiental, impulsando una economía menos dependiente de los recursos naturales y más resiliente frente a la escasez de materias primas.

Además, la simbiosis industrial contribuye a la innovación en los procesos de producción, ya que requiere un rediseño de la forma en que las empresas gestionan sus materiales y energías. Se favorece la implementación de tecnologías limpias, la búsqueda de soluciones creativas para la reutilización de recursos y el desarrollo de nuevos productos que aprovechen materiales que antes se consideraban residuos. Esta transformación del sector productivo hacia un sistema más cíclico e interconectado ayuda a disminuir la huella de carbono, a promover el uso de energías renovables y a generar una economía más inclusiva, que redistribuya mejor los beneficios y las oportunidades.

Figura 2. Sistema productivo lineal y sistema productivo en simbiosis

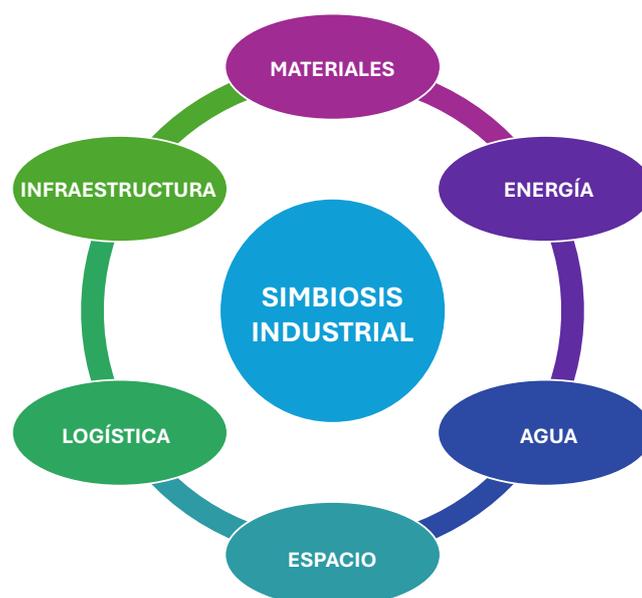


La simbiosis industrial puede convertirse en un elemento clave en la transición del actual modelo económico en un modelo más sostenible, tanto desde el punto de vista económico como ambiental (Bressanelli *et al.*, 2022; D'Amato *et al.*, 2019). Podemos decir que la simbiosis industrial se encuentra 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 más sostenible gracias a la optimización del uso de los recursos, la reducción de residuos y la maximización del valor de los materiales a lo largo de toda la cadena de producción. Las industrias pueden ser la fuerza impulsora detrás del cambio que implica la economía circular. Esto significa colaborar entre sí, compartir recursos, establecer nuevas relaciones entre competidores, proveedores, consumidores y otros actores involucrados, con el fin de promover un crecimiento industrial regenerativo.

2.1. Tipos de Simbiosis Industrial

A continuación, se identifican y clasifican los distintos tipos de simbiosis industrial que pueden existir. El criterio de clasificación depende del tipo de elemento que une o genera la sinergia entre las empresas, su gestión, la dimensión geográfica de la relación, y su evolución. Las relaciones de simbiosis industrial entre diferentes empresas o procesos productivos pueden involucrar el intercambio de productos tangibles como intangibles, así como una combinación de ambos (Neves *et al.*, 2020).

Figura 3. Intercambio de productos dentro de una asociación de simbiosis industrial.



De tal forma que según el tipo de elemento que une o genera la sinergia entre distintas empresas o procesos productivos Marchi et al. (2017) distingue tres tipos de relaciones simbióticas:

- **Sinergias de mutualidad o “soft”**: en este tipo de sinergias no existe un flujo de materia o productos, sino que ambas empresas obtienen un beneficio claro gracias al uso compartido de servicios, instalaciones o infraestructuras. (Ejemplo: suministro de energía o tratamiento de residuos, planificación de emergencias, formación, logística y transporte).
- **Sinergias de sustitución o “hard”**: consiste en una transferencia de productos tangibles, en la que los residuos o subproductos de una empresa o proceso industrial son aprovechados por otra empresa formando parte de su flujo de recursos y reemplazando a otro recurso obtenido de fuentes convencionales (Ejemplo: intercambio de subproductos, residuos, calor residual, etc.)
- **Sinergias de génesis**: las cuales implican la creación de una nueva actividad para satisfacer la necesidad de reutilización de cualquier flujo o empresa.

A su vez, en función de cómo se gestionen estas relaciones podemos distinguir entre (Domenech *et al.*, 2019):

- **Autogestionadas (“Self-organised activities” o “bottom-up”)**: Se refiere a aquellas relaciones que surgen de la interacción directa entre diferentes actores industriales de forma más o menos espontánea ya que ambas partes pueden obtener un beneficio de la colaboración conjunta. En muchas ocasiones son de carácter local y vinculadas a una agrupación de actividades manufactureras que suelen incluir sectores primarios. Pese a que, generalmente están impulsadas por agentes privados, en muchos casos están apoyadas y cuentan con la participación de los gobiernos locales. Este tipo de relaciones simbióticas es muy característica de países con un alto grado de concienciación ambiental y estrictas normativas ambientales.
- **Planificadas (“Planned networks” o “top-down”)**: Se trata de relaciones simbióticas que han sido planificadas de antemano para una determinada área industrial, y a menudo comparten infraestructuras y servicios que garantizan el flujo de recursos entre ellas.

- **Organizadas** (“Facilitated networks” o “intermediary”): Se trata de aquellas relaciones simbióticas que disponen de un tercer actor que actúa como intermediario de la actividad. Este tipo de relaciones pueden aplicarse con gran facilidad a todos los niveles: local, regional y nacional.

Pese a que es a escala local donde la simbiosis industrial cobra mayor sentido y es más fácil de aplicar (Morató et al., 2019), éstas pueden abarcar distintos niveles geográficos. En base a ello se diferencian entre:

- **Relaciones conjuntivas:** Requieren de cierta proximidad geográfica.
- **Relaciones disyuntivas:** no requieren proximidad geográfica.

Finalmente, Paquin y Howard-Grenville (2012) distinguen entre diferentes tipos de simbiosis industrial según su evolución puede ser de dos tipos:

- **Fortuita** (“serendipitous”): la interacción ocurre de forma casual entre las partes, las cuales basan su relación en los beneficios individuales que pueden obtener
- **Intencionada** (“goal-directed”): tiene lugar cuando los actores involucrados actúan siguiendo un plan o con el fin de conseguir unos objetivos determinados

3. PRINCIPALES VENTAJAS DE LOS MODELOS DE SIMBIOSIS INDUSTRIAL

La simbiosis industrial puede generar beneficios no solo para las empresas, sino también para las comunidades y el entorno en general. Se trata de una herramienta con un gran potencial para transformar los sistemas productivos actuales en sistemas más sostenibles y eficientes. La reducción en el uso de recursos, la minimización de residuos ayuda a crear una economía más circular y sostenible, que nos ayudará hacer frente a los desafíos ambientales actuales y futuros (Ramírez-Rodríguez et al., 2024). Además de los beneficios ambientales asociados a la simbiosis industrial a través de la cooperación entre empresas también genera ventajas competitivas para sí mismas, así como múltiples beneficios para las comunidades locales y regionales.

En el contexto actual de escasez creciente de recursos naturales, el concepto de simbiosis industrial, muy relacionado con los de economía circular y ecología industrial, se presenta como una gran oportunidad para incrementar la eficiencia económica, la sostenibilidad ambiental y la competitividad empresarial. A continuación, se citan los distintos beneficios

asociados a los modelos productivos basados en la cooperación de empresas agrupados según su naturaleza: económica, social y ambiental (Harfeldt-Berg, 2024).

3.1. Beneficios económicos

- **Ahorro de Costes:** Al reutilizar materiales y energía se reducen los costes de materias primas y se disminuyen los gastos relacionados con la eliminación de residuos. También, las compañías pueden beneficiarse mutuamente al disminuir las exigencias de transporte de materiales, aumentando la eficacia de la cadena de suministro en su totalidad.
- **Mejora de la calidad de los productos/servicios y de las condiciones para la producción/prestación de servicios:** La reducción de costes asociada a la gestión de residuos, transporte y otros aspectos logísticos permite reasignar recursos a dentro del proceso de producción o a la prestación de otros servicios.
- **Fomento de Innovación y mejora de la eficiencia:** Gracias a la implementación de estrategias de simbiosis industrial se fomenta la innovación en los procesos productivos. Con el fin de utilizar los subproductos generados en el propio proceso productivo o en otros, las empresas necesitan desarrollar nuevas tecnologías que les permita su aprovechamiento, así como optimizar y mejorar la eficiencia de los procesos. Esto contribuye a incrementar la sostenibilidad del entorno y la competitividad de las empresas que participan en este tipo de redes colaborativas.
- **Creación de Nuevas Oportunidades de Negocio:** La utilización de subproductos abre nuevas oportunidades comerciales, como la creación de productos secundarios que antes no eran considerados valiosos, abriendo de esta forma una nueva fuente de ingresos. Un nuevo mercado puede traer consigo a nuevos clientes, y ampliar la red de negocios, lo cual favorece una mayor actividad empresarial en el municipio, y ofrecer un mercado más atractivo tanto para los establecimientos existentes como para los nuevos.
- **Marketing positivo y mayor competitividad empresarial:** Al involucrarse en una red de simbiosis industrial, las empresas pueden posicionarse como líderes en sostenibilidad y responsabilidad social, lo cual mejora su imagen frente a clientes, inversores y socios potenciales. Esto a su vez, supone una ventaja competitiva, ya que a menudo las empresas que promueven prácticas sostenibles atraen a más

clientes u fortalecen sus relaciones con proveedores y colaboradores. Las relaciones de simbiosis industrial generan publicidad de forma indirecta ya que los logros son compartidos, lo cual aumenta la visibilidad de las empresas y crea nuevas oportunidades de colaboraciones futuras.

3.2. Beneficios sociales

- **Crecimiento y estabilidad laboral:** Las colaboraciones entre empresas a través de la simbiosis industrial ayudan a crear nuevos empleos y a estabilizar los ya existentes. La dependencia de unas empresas de otras, dentro de la red, da lugar a puestos de trabajo estables, reduciendo el riesgo de que se produzca un posible traslado de la empresa a otra región. A su vez, resultado de la colaboración y optimización de los procesos, es muy probable que las empresas necesiten incrementar sus capacidades y se expandan, e incluso atraigan a nuevas empresas, generando nuevos puestos de trabajo en la región.
- **Intercambio de conocimiento:** Este intercambio no es sólo un elemento esencial para garantizar el éxito de un modelo de simbiosis industrial, sino una de las mayores ventajas. Gracias a este intercambio de conocimiento las empresas aúnan fuerzas para mejorar sus competencias y conocimientos técnicos y tecnológicos para hacer frente a problemas comunes como son la reducción en la generación de residuos, su gestión, el uso más eficiente del consumo energético, etc. de tal forma que no sólo fortalecen sus capacidades individuales, sino que refuerzan y optimizan el buen funcionamiento del conjunto de la red.
- **Mejora de la salud de los habitantes:** La recirculación de subproductos permite reducir la cantidad de residuos generados, lo cual contribuye a la disminución de la contaminación ambiental (agua, aire, suelo), dando como resultado consecuencias positivas sobre la salud de las personas. La reducción de elementos tóxicos presentes en la ambiente mejora la calidad del aire, del agua, y del suelo reduciendo las afecciones relacionadas con la contaminación.
- **Mayor autosuficiencia dentro del municipio:** La puesta en valor y aprovechamiento de los residuos permite llevar a cabo un mejor aprovechamiento de los recursos y cerrar el ciclo, de modo que se genera un sistema económico local más autosuficiente y resiliente, y menos vulnerable a las fluctuaciones del mercado.

- **Aumento de la fuerza innovadora:** La implementación de la simbiosis industrial requiere de soluciones innovadoras para optimizar la gestión de los recursos, lo cual tiene un impacto positivo en la comunidad local, ya que se crea un ambiente en el que se fomenta la creatividad, se impulsa la investigación y la implementación tecnológica, lo cual permite a los municipios o comunidades locales mantenerse a la vanguardia en la creación de productos y prestación de servicios.
- **Crecimiento poblacional:** Las oportunidades laborales derivadas de la estabilidad que genera disponer de una red empresarial con un funcionamiento óptimo no solo reduce la despoblación por la búsqueda de mejores condiciones laborales, sino que incluso puede ser un reclamo para atraer a más población.
- **Buena imagen:** La puesta en marcha de prácticas de producción más limpias y sostenibles, así como el esfuerzo y la cooperación constante para lograr objetivos comunes pone de manifiesto el compromiso y la responsabilidad que adquieren las empresas dentro de la red de simbiosis industrial. Esto otorga a las empresas mayor credibilidad creando un entorno propicio para que surjan nuevas colaboraciones.

3.3. Beneficios ambientales

- **Mayor circularidad:** Dado que la simbiosis industrial es una herramienta de la economía circular, el pilar fundamental de la sinergia y cooperación de las empresas que forman parte de la red de simbiosis industrial es el fomento de la circularidad de los materiales y productos que entran en el sistema productivo para que permanezcan en el mismo el mayor tiempo posible. La mayor circularidad no sólo ayuda a reducir los residuos y la demanda de nuevos recursos, sino que también impulsa a las empresas a diseñar productos con una mayor vida útil y que puedan ser fácilmente reciclados o reutilizados al final de su ciclo de vida.
- **Reducción en la generación de residuos y contaminación:** Gracias al aprovechamiento de subproductos de las empresas, la simbiosis industrial logra minimizar la generación de residuos. De este modo, un subproducto que en un proceso lineal sería desechado y podría requerir un tratamiento costoso y ambientalmente perjudicial, se convierte en un recurso valioso. Gracias a esto se reduce la cantidad de residuos que van a vertedero y pueden generar emisiones contaminantes durante su tratamiento o eliminación, reduciendo a su vez el riesgo

de que se produzcan derrames, filtraciones o emisiones nocivas durante su transporte.

- **Reducción en la eliminación de residuos:** El aprovechamiento de lo que en un sistema económico lineal se consideraba un desecho, permite reducir significativamente las cantidades de residuos generados que se disponen en vertederos para ser tratados. Esto supone una reducción en las emisiones de metano, un potente gas de efecto invernadero que se genera a partir de la descomposición de residuos orgánicos. Además, se disminuye la presión sobre los sistemas de gestión de residuos locales, lo que contribuye a un entorno más limpio y saludable.
- **Reducción del consumo de materias primas:** La reutilización de los subproductos hace que las empresas ya no dependan del consumo de materias primas, y por lo tanto, esto no sólo contribuye a reducir la presión y la sobreexplotación de los recursos naturales sino que también se minimizan los impactos asociados a la extracción de éstos, como por ejemplo la degradación del suelo, la deforestación o la pérdida de biodiversidad.
- **Mayor eficiencia energética:** Uno de los principales objetivos de la simbiosis industrial es la reducción del consumo de energía. Para ello, las empresas hacen grandes esfuerzos para encontrar soluciones que les permitan reducir el consumo de energía a través de sistemas de producción más eficientes energéticamente, el aprovechamiento de calor u otros subproductos producidos para generar energía. Se trata, no sólo de optimizar el uso de energía, sino de potenciar el uso de fuentes de energía alternativas más eficientes y sostenibles.
- **Reducción de la Huella de Carbono:** Al fomentar la reutilización de residuos y subproductos, la simbiosis industrial contribuye significativamente a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Esto ocurre porque se disminuye la necesidad de extracción y procesamiento de nuevas materias primas, procesos que suelen ser intensivos en energía y carbono.
- **Disminución del transporte:** Las empresas que forman parte de una red de simbiosis industrial tienden a compartir el sistema logístico y de transporte con el fin de optimizar el número de trayectos que se realizan para transportar las materias primas y los subproductos y servicios generados. Esta colaboración reduce

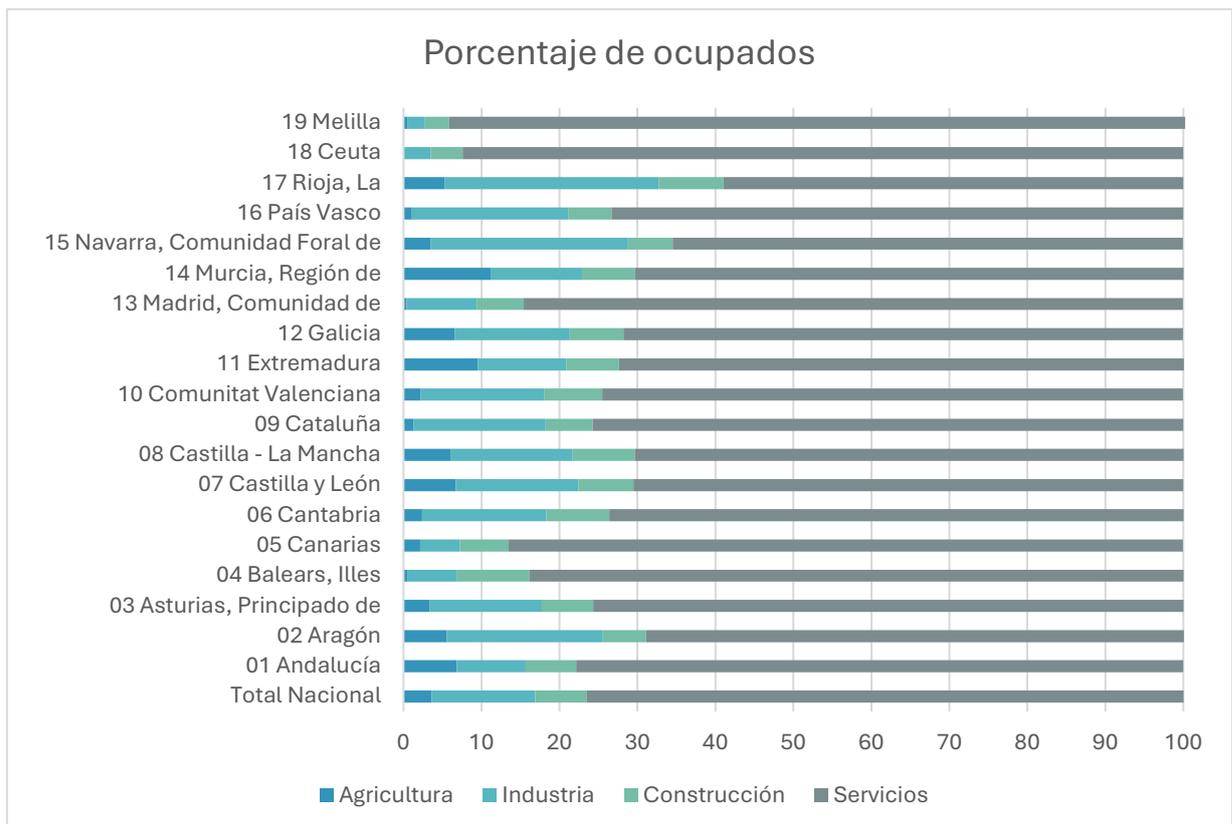
significativamente las emisiones de gases contaminantes derivados del transporte, como el dióxido de carbono (CO₂) y otros compuestos nocivos.

4. SECTORES ECONÓMICOS CLAVE EN ESPAÑA Y LA COMUNIDAD VALENCIANA

4.1. Análisis macroeconómico de España

Al analizar el porcentaje de ocupados en España, se puede observar que el sector servicios juega un papel predominante en el mercado laboral y la economía española. A excepción de Andalucía y Extremadura, donde la agricultura es el segundo sector más representativo en cuanto a ocupación se refiere, en el resto de las comunidades autónomas es el sector industrial el que sigue en relevancia al sector servicios. Esta situación es reflejo de una economía diversificada que incluye el turismo, el comercio y la producción industrial.

Figura 4. Porcentaje de ocupados españoles por comunidad autónoma y sector. Fuente: INE



Por lo que a la producción industrial se refiere, el análisis macroeconómico de España muestra que nuestro país presenta una economía importante a nivel global en términos de producción y comercio. Según datos del Observatorio de Complejidad Económica, en

2022, España ocupó el puesto número 15 en cuanto al valor total de bienes y servicios producidos (PIB medido en \$ corrientes). Si analizamos las importaciones y exportaciones, se observa que España es un país con una gran participación en el comercio global, ocupando la posición número 20 en el ranking de países más exportadores y la 15 en el de importaciones.

Entre los productos exportados con mayor valor se encuentran los relacionados con el sector automovilístico (44,6 mil millones USD), siendo España uno de los principales productores de coches en Europa, con muchas plantas de ensamblaje que fabrican tanto para marcas nacionales como internacionales, y que no solo exporta coches completos, sino también piezas y accesorios para ensamblaje y reparación en otros países. A este sector le sigue el petróleo refinado (17,2 mil millones USD), aunque España no es un gran productor de petróleo crudo, una gran parte de la actividad económica de nuestro país se basa en el refinado del petróleo importado para producir gasolina y otros combustibles, que posteriormente son exportados a otros países. Otro de los sectores económicos más potentes de nuestro país es el farmacéutico, resultado de ello son las exportaciones de medicamentos envasados (12,7 mil millones USD), así como otro tipo de productos biomédicos y biotecnológicos como vacunas y derivados biológicos, que son críticos para el sector sanitario global (7,57 mil millones USD).

Pese a que los anteriores sectores son los que mayor valor económico presentan, España se consolidó como el mayor exportador mundial en el sector agroindustrial, siendo líder en la exportación de carne de cerdo (5,92 mil millones USD), aceite de oliva puro (4,43 mil millones USD), cítricos (3,65 mil millones USD) y pepinos (969 millones USD). En el ámbito industrial, España es líder en la exportación de pigmentos preparados, composiciones vitrificables, engobes, abrillantadores (lustres) líquidos y preparaciones similares, de los tipos utilizados en cerámica, esmaltado o en la industria del vidrio; frita de vidrio y demás vidrios, con ventas que alcanzaron los 1,21 mil millones de dólares.

4.2. Análisis macroeconómico de la Comunidad Valenciana

En cuanto a la contribución económica a nivel nacional, la Comunidad Valenciana es una de las regiones más importantes para el comercio exterior de España, ya que una gran parte de las principales exportaciones nacionales tienen su origen en la Comunidad Valenciana, como los automóviles, cítricos, productos cerámicos y destilados de petróleo. Con su contribución de 39,6 mil millones de euros en exportaciones, en 2023, la Comunidad

Valenciana se posicionó como la cuarta comunidad autónoma con mayor volumen de exportaciones en España.

En 2023, la provincia de Valencia exportó 21,6 mil millones de euros, lo que la convirtió en el tercer mayor exportador de las 52 provincias españolas. Entre los principales productos exportados destacan los relacionados con el sector automotriz como automóviles de tamaño pequeño, convertidores estáticos y motores de reciprocación (4,6 mil millones de euros). Otro de los productos exportados con relevancia a nivel nacional son las naranjas con un valor de 558 millones de euros.

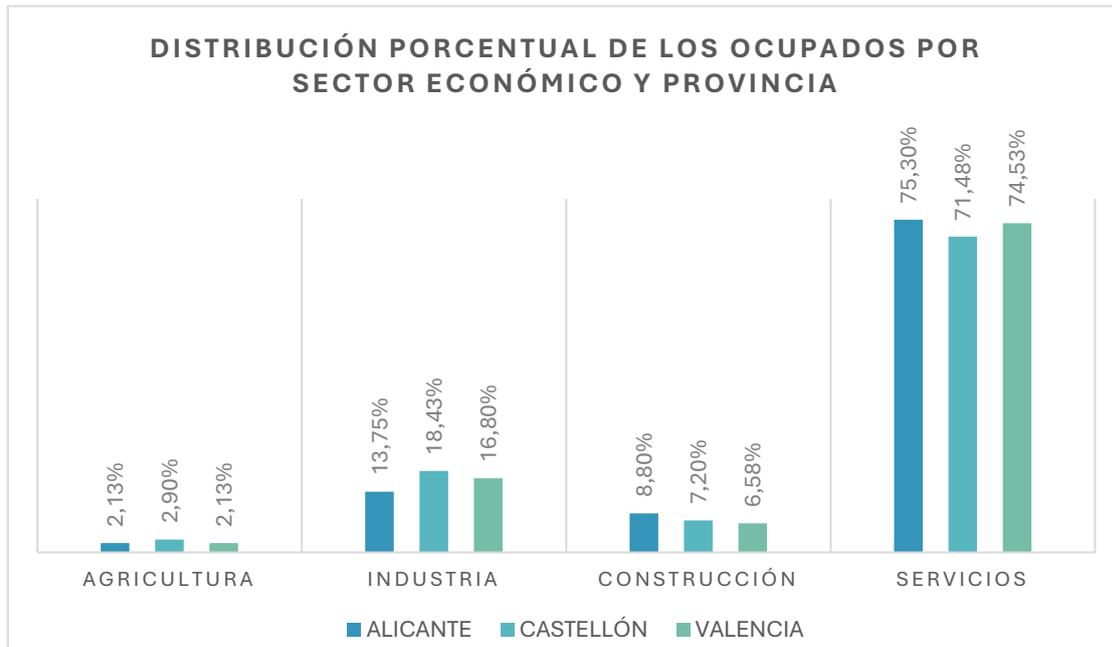
Castellón es otra provincia clave dentro del panorama nacional de exportaciones. En este caso es el sector cerámico, junto con el biodiesel y los pigmentos, los que posicionan a la provincia de Castellón como el 13º mayor exportador de las 52 entidades exportadoras de España. Entre los principales productos exportados encontramos: los azulejos de cerámica de primera categoría (2,25 mil millones de euros), los azulejos de cerámica de segunda categoría (720 millones de euros), el biodiesel y mezclas (342 millones de euros), los pigmentos para cerámica (319 millones de euros), y el éter de petróleo para vehículos (318 millones de euros).

Por lo que a la provincia de Alicante se refiere, el análisis macroeconómico muestra que la industria del calzado es fundamental para la economía de la provincia, siendo el principal exportador de calzado con suela de goma y plásticos superiores (369 millones de euros), el calzado con suela de goma/plástico y textil superior (208 millones de euros), y botas de suela de goma o cuero (184 millones de euros). Al sector del calzado le sigue el sector agrícola, especialmente con la exportación de almendras frescas o secas, con cáscara (191 millones de euros). El conjunto de exportaciones, procedentes fundamentalmente de estos dos sectores, convierte a la provincia de Alicante en el 18º mayor exportador de las provincias españolas.

Si analizamos la distribución porcentual de los ocupados por sector económico en la Comunidad Valenciana, observamos que se repite la dinámica nacional. En las tres provincias, el sector servicios es el más significativo en términos de empleo, despuntando en la provincia de Alicante con un 75,30%, seguido por Valencia con un 74,53%, y finalmente Castellón con un 71,48%, estos porcentajes evidencian la importancia de este sector en la economía local, seguido del sector industrial. A su vez, se puede notar que la agricultura representa una fracción muy pequeña del mercado laboral en comparación con

los sectores industrial y de servicios. El porcentaje de ocupados en el sector agrícola más alto se observa en Castellón con un 2,9%. La provincia de Castellón también muestra el mayor porcentaje de ocupados en la industria, seguido por Valencia y Alicante con un 18,43%, 16,80% y 13,75%, respectivamente. Por lo que al sector de la construcción se refiere, Alicante lidera en la ocupación en este sector con un 8,80%, seguido de la provincia de Castellón con un 7,20% y Valencia con un 6,58%.

Figura 5. Porcentaje de ocupados en la Comunidad Valenciana por provincia y sector. *Fuente: INE*



5. APLICACIÓN DE UN MODELO DE SIMBIOSIS INDUSTRIAL EN SECTORES ECONÓMICOS ESTRATÉGICOS DE LA COMUNIDAD VALENCIANA

5.1. Sector cerámico

Principales razones para implementar un modelo de simbiosis industrial en el sector cerámico:

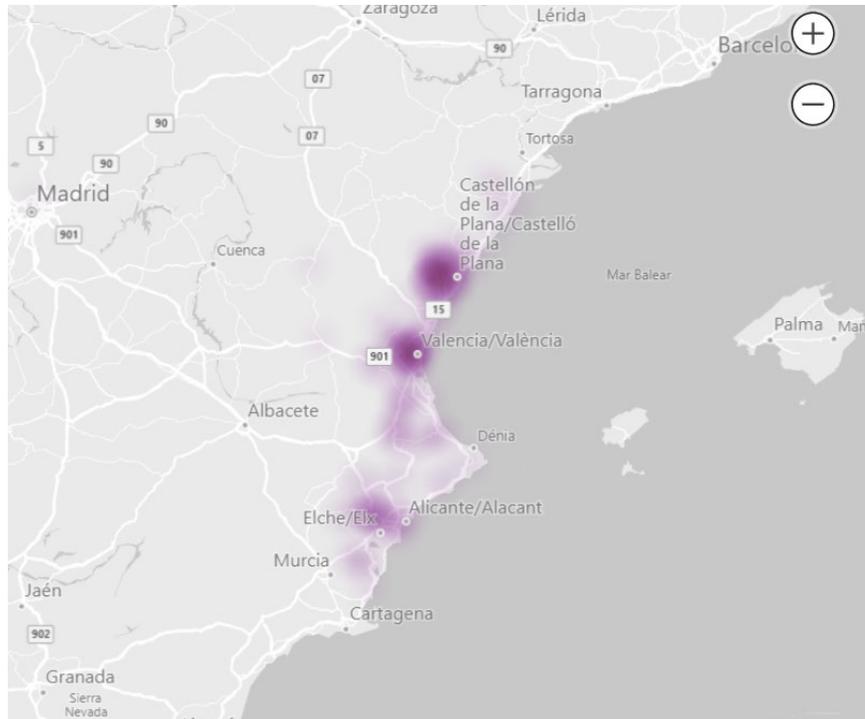
Contribución importante en el PIB nacional: La industria cerámica no es solamente un sector clave en la economía de la provincia de Castellón, sino que también lo es a nivel nacional. Se calcula que alrededor del 95% de la producción cerámica nacional proviene de esta región, lo que la convierte en una de las más competitivas de Europa en este sector. Según datos del Observatorio de Simbiosis

Industrial, en la Comunidad Valenciana el sector calificado como *Industrias de otros productos minerales no metálicos* en el cual incluye los subsectores: 1) Corte, tallado y acabado de la piedra; 2) Fabricación de cemento, cal y yeso; 3) Fabricación de elementos de hormigón, cemento y yeso; 4) Fabricación de productos cerámicos para la construcción; 5) Fabricación de productos cerámicos refractarios; 6) Fabricación de otros productos cerámicos; y 7) Vidrio; alberga un total de 354 empresas que generan 24.300 puestos de trabajo, y unos ingresos de 7.032 millones de euros. En concreto, sólo el subsector *Fabricación de otros productos cerámicos* genera casi el 80% del total de los ingresos, y el 70% de los puestos de empleo, concentrándose toda la actividad en un total de 134 empresas.

- **Concentración geográfica de empresas del mismo sector:** Como ya se ha mencionado con anterioridad, la industria cerámica en España se concentra predominantemente en la provincia de Castellón, donde forma un clúster industrial que agrupa a fabricantes de baldosas cerámicas, fritas, esmaltes, colores cerámicos y maquinaria especializada. La proximidad geográfica de empresas de un mismo sector facilita la colaboración entre industrias, lo que es esencial para la simbiosis industrial. Gracias a esta concentración geográfica, las empresas del clúster pueden aprovechar los subproductos, residuos o excesos de energía generados por unas para ser utilizados como insumos por otras, optimizando recursos y reduciendo el impacto ambiental. Además, la proximidad permite una logística más eficiente, un mayor intercambio de conocimientos y una colaboración más fluida en el desarrollo de soluciones innovadoras para la sostenibilidad.
- **Alta dependencia de recursos naturales como agua y energía, y producción de un gran volumen de residuos:** Esta industria, intensiva en el uso de recursos, demanda principalmente silicatos, rocas silicatadas y una amplia variedad de minerales, situando a España como el tercer mayor consumidor mundial de estos materiales (Galán & Aparicio, 2006). Asimismo, el sector requiere grandes cantidades de agua y energía para llevar a cabo sus procesos productivos. Por lo que se refiere a la generación de residuos, según datos del Observatorio de Simbiosis Industrial de la Comunidad Valenciana, el sector calificado como *Industrias de otros productos minerales no metálicos* está generando actualmente 22.339 toneladas de residuos peligrosos y 3.764.326 toneladas de residuos no peligrosos. Ante esta situación, es necesario buscar relaciones intra e intersectoriales que permitan la circulación de subproductos para reducir los

residuos generados la mayor parte de los cuales se destina a vertedero y reducir la dependencia de materias primas extraídas de la naturaleza.

Figura 6. Concentración de la actividad del sector denominado "Industrias de otros productos minerales no metálicos". Fuente: Observatorio de Simbiosis Industrial de la Comunidad Valenciana



Posible asociación simbiótica en el sector cerámico:

El sector cerámico ha experimentado un notable desarrollo tecnológico, lo que ha permitido mejorar la eficiencia de sus procesos y fomentar la reutilización de subproductos. Dado el gran volumen de agua que requieren los procesos productivos relacionados con el sector cerámico y los costes que supone tanto el abastecimiento como la gestión del agua residual generada, algunas de las empresas han implementado sus instalaciones con sistemas de tratamiento de agua residual que permite la reutilización del agua en sus propios procesos. De esta forma, las empresas no solo disminuyen sus costes, sino que reducen la presión sobre los recursos hídricos de la zona. Pero el agua no es el único subproducto que puede reintroducirse en el proceso, el proyecto LIFECERAM, cuyo objetivo era lograr un balance neto de cero residuos en la fabricación de baldosas cerámicas, demostró que es posible producir baldosas utilizando hasta un 95% de materiales reciclados de diferentes tipos, como desechos crudos y cocidos, lodos de esmalte y de pulido, residuos de fritado y el polvo recogido en los filtros de los hornos. Además de reducir los residuos generados y

minimizar la extracción de materias primas del entorno, el proyecto mostró que este proceso productivo, que integra la reutilización de subproductos, es menos intensivo en consumo de energía y requiere menos agua, aproximadamente hasta un 80 y 75% menos, respectivamente.

Además del reciclaje de subproductos para abastecer al propio proceso, con el fin de reducir la generación de residuos, pueden desarrollarse relaciones tanto con empresas diferentes del propio sector, como con empresas de otros sectores. Actualmente, ya existen algunas relaciones simbióticas entre la industria cerámica y las empresas dedicadas a la fabricación de vidrio, donde las compañías cerámicas emplean subproductos generados por las fábricas de vidrio como materia prima en sus propios procesos productivos. No obstante, este tipo de colaboración podría ampliarse aún más.

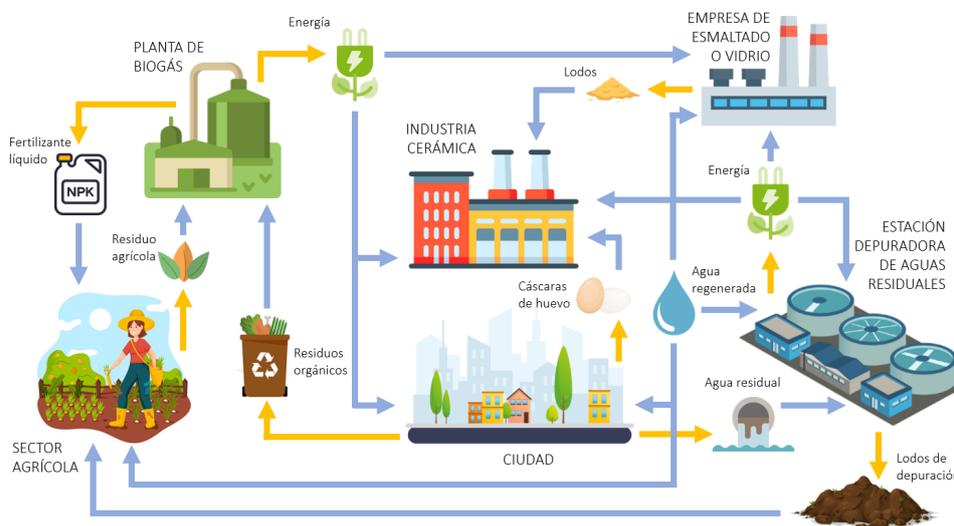
Un ejemplo es la sinergia entre las EDARs y el sector cerámico, lo cual ha sido abordado en el proyecto REWACER. Este proyecto nace con el objetivo de mitigar los riesgos que enfrenta el suministro de agua en la provincia de Castellón, derivados tanto de la escasez de recursos hídricos como del incremento en la demanda de agua y la sobreexplotación de los acuíferos costeros, factores que amenazan la disponibilidad de este recurso en la región. Con el fin de preservar los recursos hídricos y reducir la presión sobre éstos, el proyecto persigue fomentar el uso de agua regenerada producida en las EDARs para abastecer al sector cerámico. Se estima que fruto de esta sinergia, podría abastecerse la demanda hídrica del 54% de las empresas del clúster cerámico, con un volumen de agua regenerada de 4,82 hm³/año, y un ahorro de 3.566.800 € anuales en el bombeo de agua procedente de acuíferos.

Otro ejemplo de relación simbiótica intersectorial es abordado en el proyecto LIFE FOUNDRYTILE, el cual muestra cómo el sector cerámico puede establecer sinergias con la industria de la fundición, aprovechando la similitud en la composición mineralógica de ciertos subproductos de fundición (como arenas y fracción fina de metales ferrosos) con materias primas utilizadas en la fabricación de baldosas cerámicas. Este proyecto demostró que incorporar estos subproductos en pequeñas cantidades es técnicamente viable y seguro para la salud, además de reducir la extracción de materias primas en el sector cerámico y disminuir los residuos de fundición destinados a vertederos, mejorando así el impacto ambiental de ambos sectores.

Pero quizás, el proyecto más innovador de simbiosis industrial que envuelve al sector cerámico es el LIFE EGGSHELLENCE el cual une al sector cerámico con el alimentario, en este caso promoviendo la reutilización de miles de toneladas de cáscaras de huevo con el fin de incorporar el carbonato cálcico que estas contienen como submateria prima en composiciones de azulejos cerámicos.

No obstante, además del intercambio de subproductos tangibles, para optimizar al máximo los recursos del sector cerámico, puede potenciarse el uso compartido de infraestructuras o sistemas logísticos entre empresas del sector que utilicen los mismos recursos con el fin de incrementar su eficiencia y minimizar costes.

Figura 7. Relaciones simbióticas en la industria cerámica. Elaboración propia.



5.2. Sector agroalimentario

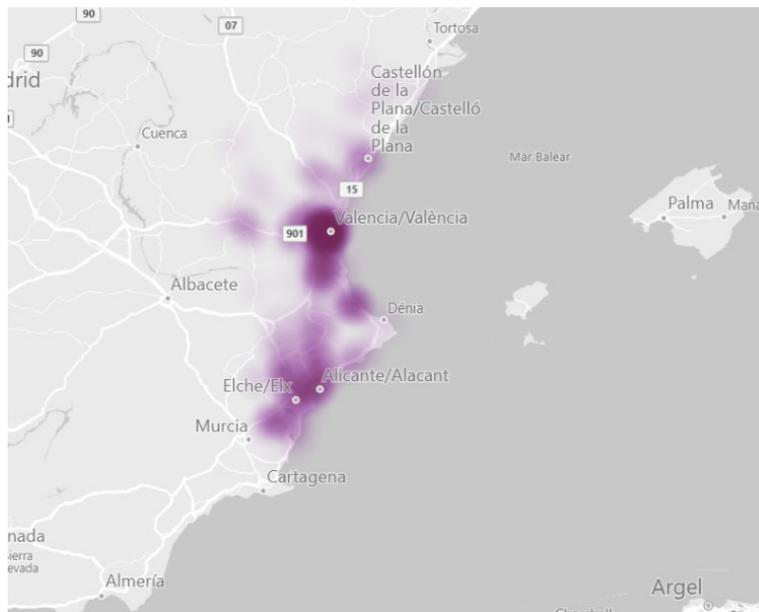
Principales razones para implementar un modelo de simbiosis industrial en el sector agroalimentario:

- **Contribución importante en el PIB nacional:**

El sistema económico agroalimentario, engloba una amplia red de trabajadores y empresas diversas que garantizan la producción, procesamiento de alimentos, su distribución y venta, generando un gran número de puestos de empleo. En España se estima que solo el sector agroalimentario aporta alrededor del 11% del PIB (ICEX, 2018), por lo que se erige como un elemento fundamental de nuestra economía. Dentro del sector cabe destacar el papel significativo de la producción primaria, la cual representa el 12% del total de la UE, consolidando a nuestro país como el cuarto productor más importante de los estados miembros de la UE, según

datos estadísticos de Eurostat para el 2017. Por lo que a exportaciones se refiere, España también destaca como uno de los países que más exportaciones de alimentos realiza, situándose el cuarto en la UE y el octavo a nivel mundial. En la Comunidad Valenciana, tal y como muestra el Observatorio de Simbiosis Industrial, existen un total de 574 empresas dedicadas a la fabricación de bebidas y la industria alimentaria, sectores que generan un total de 33.600 puestos de trabajo y unos ingresos de 10.496 millones de euros.

Figura 8. Concentración de la industria agroalimentaria en la Comunidad Valenciana. Fuente: Observatorio de Simbiosis Industrial de la Comunidad Valenciana



- **Gran vulnerabilidad:** Gran cantidad y diversidad de agentes involucrados con características y necesidades muy distintas unos de otros. El sector agroalimentario es el resultado de una compleja red de actores que desempeñan actividades específicas y diferenciadas que interactúan de forma sinérgica para satisfacer las demandas alimentarias de la población y convertirse en uno de los principales motores de la economía regional, nacional e incluso internacional. Cada uno de los actores o fases que intervienen en el sector agroalimentario desempeñan actividades específicas, que hace que cada uno presente unas características propias y deban hacer frente a retos también distintos.

Figura 9. Elementos que componen el sector agroalimentario.



Además de esta fragmentación del sector, existen otros factores que amenazan su estabilidad, como son la constante elevación de costes de producción. Paralelamente, la caída de los precios percibidos por los agricultores y ganaderos representa otro desafío crucial. Esta disminución de precios se deriva de la volatilidad en los costes de las materias primas y de la falta de equilibrio en la fijación de precios a lo largo de la cadena alimentaria. La combinación de estos factores crea una situación de riesgo para la estabilidad del sector, afectando la viabilidad económica de los productores agrarios (Wahdat and Lusk, 2023; Marsden *et al.*, 2019; Marconi *et al.*, 2018; Zhao *et al.*, 2017).

- Se le reconoce como un **sector estratégico**, dado que tiene amplias implicaciones sociales al generar empleo para un gran número de personas. Además, forma parte esencial de nuestra cultura, tradiciones y gastronomía, y contribuye a la modelización del paisaje.

Posible asociación simbiótica en el sector agroalimentario:

La simbiosis industrial puede convertirse en un buen aliado para la transformación del actual sector agroalimentario en un sistema económico más sostenible y circular. Una de

las líneas de actuación en esta dirección es la generación de energía a partir de residuos alimentarios que ya no son aptos para el consumo para producir electricidad y biogás. De esta manera, no sólo se reduce el volumen de residuos generados, sino también la dependencia energética de los combustibles fósiles.

Otro enfoque innovador que también contribuye a la generación de fuentes de energía más sostenibles está relacionado con la creación de redes de calor/frío con biomasa propia (por ejemplo, paja) o ajena para alimentar los procesos de producción alimentaria (como el calor en hornos) o el aprovechamiento del calor residual de los procesos de preparación alimentaria para usos como precalentar agua.

Por lo que se refiere al uso del agua, este recurso puede ser optimizado mediante el aprovechamiento del agua de limpieza de envases reutilizables (como los de bebidas) para la refrigeración de maquinaria y en última instancia para riego. Seguidamente, el ciclo del agua utilizado a lo largo de los distintos procesos de la industria agroalimentaria puede cerrarse mediante su tratamiento y reutilización, así como la recuperación de la materia orgánica, la cual puede ser compostada para obtener fertilizante para uso agrícola.

Asimismo, los residuos alimentarios, tanto propios como de otras industrias alimentarias, pueden utilizarse para alimentar al ganado. A través de la colaboración entre distintas empresas, se pueden desarrollar nuevas categorías de productos alimentarios a partir de subproductos orgánicos y crear productos de bajo impacto ambiental, empleando residuos agroindustriales. De esta forma, se diversifican las fuentes de ingresos más allá del producto tradicional, aprovechando los subproductos orgánicos en otros sectores, como la alimentación animal, la industria farmacéutica, cosmética o la producción de fertilizantes.

En el ámbito logístico, la colaboración entre todas las empresas de la cadena agroalimentaria se presenta como una oportunidad para mejorar los servicios de transporte y distribución de mercancías. Optimizar las rutas y cargas disponibles no sólo reduce costes, sino que también contribuye significativamente a la sostenibilidad, disminuyendo la huella ambiental asociada con el transporte de productos. Asimismo, trazar alianzas público-privadas se revela como una estrategia poderosa para realizar proyectos que contribuyan a alcanzar los principios de la economía circular.

Sin embargo, en el caso de la industria agroalimentaria, las sinergias no tienen que limitarse solo a las empresas y pueden tener un propósito social. Por ejemplo, aquellos establecimientos que tienen comida en perfecto estado, pero que no ha sido vendida,

cumplir con los estándares que exige la normativa para el agua residual industrial. En el proceso de tratamiento del agua residual industrial de Provital, se producen una serie de lodos que la empresa Tradebe se encarga de tratar, generando un subproducto llamado compost gris, que se valoriza energéticamente en cementeras.

Otro subproducto generado en el proceso productivo de Provital son los aceites vegetales, los cuales son vendidos a EcoMotion para la fabricación de combustible en su planta de Montmeló para producir biodiesel, el cual es vendido a Provital y utilizado simultáneamente por EcoMotion en el proceso de transporte y distribución de su producto a los clientes.

Una parte de los residuos orgánicos de Provital es utilizada por la empresa Formigrup cuya actividad se centra en el suministro de áridos, artificiales y naturales, y hormigón. Con el fin de sustituir el árido natural, Fromigrup utiliza los residuos orgánicos de Provital para producir áridos reciclados para la fabricación de hormigón y tierras vegetales artificiales que son utilizadas en agricultura, jardinería y restauración de áreas degradadas. Cabe mencionar que dentro del grupo Formigrup, el cual está integrado por las empresas Sorres i Graves Egara y Formigons Montcau también se desarrolla asociación simbiótica. La primera de las empresas del cluster se encarga de la extracción, fabricación y comercialización de áridos, que son llevados a una planta de tratamiento donde se trituran, lavan y clasifican según su granulometría, para posteriormente ser transportados a Formigons Montcau, quien se dedica a la fabricación y comercialización del hormigón preparado. En todo este proceso, el hormigón sobrante de la planta de producción y de la limpieza de los camiones, es reintroducido en el proceso productivo con el fin de maximizar la producción de ambas empresas mientras se reduce el desperdicio de recursos

6.1.2. Valorización de residuos plásticos

Una de las empresas que forma parte de esta red colaborativa es Tecnum, empresa dedicada a la fabricación de instalaciones para el transporte de fluidos corrosivos volátiles que utiliza como materia prima barras de polipropileno. Como resultado de esta actividad se generan grandes cantidades de desechos plásticos en forma de virutas de polipropileno, los cuales son utilizados por la empresa Lutesor, especializada en semiacabados termoplásticos y la producción de barras de propileno. De esta forma, las virutas de polipropileno que genera Tecnum y que inicialmente eran un residuo, son reintroducidas en el ciclo productivo a través de Lutesor, que utiliza este producto como materia prima

para producir las barras de polipropileno que posteriormente son utilizadas por Tecnum y otras empresas. Sin embargo, Tecnum no es la única empresa que genera residuos plásticos, en el polígono industrial de Bufalvent existen numerosas empresas que generan plásticos en menores cantidades, pero a través de un sistema de recogida común, estos residuos son recuperados y revalorizados de forma eficiente y económica.

A través de esta asociación, en términos económicos las empresas consiguen reducir sus costes asociados a la gestión de residuos, y en el caso concreto de Tecnum, tiene garantizado el abastecimiento de la materia prima que necesita para su proceso de producción de forma más asequible. Desde el punto de vista ambiental, la reintroducción en el ciclo de residuos plásticos tiene repercusiones muy positivas ya que se trata de un residuo con consecuencias nocivas para el medio ambiente y la salud de las personas, que necesita un largo periodo de tiempo para descomponerse.

6.1.3. Valorización de calor residual

Para reducir el consumo energético de red, el excedente de calor, junto con otros residuos producidos por la planta depuradora, la fundición Condals y el Consorcio de Residuos, se utiliza en la central de calor/frío para generar energía térmica. Esta energía se distribuye, en forma de vapor o agua, a través de una red de tuberías a todos los usuarios conectados al sistema, cubriendo la demanda de agua caliente y/o fría, así como de climatización en el mismo polígono y en el centro comercial Els Trullols.

6.1.4. Valorización de residuos metálicos

La fundería Condals se dedica a la fundición de hierro nodular y gris para producir piezas utilizadas en el sector de la automoción, principalmente, aunque también abastece a otro tipo de industrias como son los ferrocarriles, la construcción, la hidráulica y maquinaria, entre otros sectores. En el proceso de fabricación de las distintas piezas de hierro se generan arenas de fundición como subproducto, las cuales son utilizadas por otras dos empresas del sector de la construcción (Fiasa Mix y Prebesec) para la fabricación de mortero y hormigón seco, sustituyendo de esta forma a la piedra caliza.

A través de esta relación se valorizan las arenas de fundición, lo cual no solo supone un ahorro en la gestión de residuos para la empresa que las produce (Fundería Condals), sino que además este subproducto se convierte en una nueva fuente de ingresos. Por su parte,

aguas residuales. En 2023, este sistema logró un índice de 19,45 kg de residuos no peligrosos por cada 1.000 litros de leche procesada, lo cual es un buen indicador de eficiencia y sostenibilidad.

6.3. Simbiosis industrial entre una EDAR, la industria agroalimentaria y una planta de biogás

En 2019, Subproductos Tuero, empresa gestora de residuos, puso en marcha su planta de biogás en Venta de Baños (Palencia), la cual procesa principalmente lodos de depuradoras y residuos vegetales no utilizables procedentes fundamentalmente de la empresa Cerealto Siro Foods (resultado de la fusión del Grupo Siro y Ceraletto) así como otras empresas agroalimentarias. Actualmente, Cerealto Siro Foods es uno de los principales fabricantes de galletas, pastas y pan de molde de España. Inicialmente la planta de biogás se puso en marcha para el autoabastecimiento de la propia empresa Subproductos Tuero, pero gracias a la colaboración de ingeniería Genia Global Energy, el rendimiento de la planta se ha incrementado obteniendo un excedente energético que se destina a Cerealto Siro que opera en el mismo polígono industrial. Además del biogás, la planta también produce un biofertilizante de alta calidad, que es absorbido rápidamente por las plantas, permitiendo su reutilización en los campos agrícolas de Palencia, favoreciendo la producción de cereales en la zona.

6.4. Planta de captura de CO₂ de Garray (Soria)

La planta de generación de energía de ENSO (Gestamp Biomass OM) produce electricidad a partir de biomasa procedente de los residuos vegetales generados por el invernadero de Aleia Roses. Durante este proceso, los gases de combustión generados por la caldera son transformados en CO₂ verde en una nueva planta construida por SE Carburos Metálicos. La mayor parte del CO₂ capturado se reutiliza en los invernaderos de ALEIA ROSES para mejorar su producción, cerrando así el ciclo del carbono, mientras que el resto es licuado para su comercialización en sectores como el agroalimentario.

6.5. Simbiosis industrial entre las empresas Dupont y Gonvarri

El complejo industrial de DuPont en Asturias y el grupo Gonvarri, con plantas en Asturias, Burgos y Tarragona, se asociaron a través de un innovador acuerdo con el que pretenden reducir notablemente sus consumos de energía, agua y transporte.

En el proceso productivo del complejo industrial de DuPont en Asturias, se genera como subproducto un flujo de ácido clorhídrico de concentración media difícilmente comercializable. El grupo Gonvarri, en sus instalaciones de Cancienes (a 3 km de distancia del complejo de DuPont), utiliza en su proceso productivo un ácido clorhídrico en concentración similar a la del producto secundario de DuPont. Pese a que llevar a cabo este intercambio de productos ha requerido una fuerte inversión económica para acondicionar las infraestructuras necesarias para que se produzca esta sinergia, los beneficios internos obtenidos para ambas empresas han sido significativos.

Por un lado, DuPont evita comprar, transportar y manejar sosa, para neutralizar el subproducto obtenido (ácido clorhídrico de concentración media), proceso que comporta un gasto económico además de aumentar el consumo de recursos y necesidades de transporte. Por el otro, Gonvarri adquiere el ácido a coste reducido para sus líneas de decapado y todo ello redunda en un menor consumo de cloro, y un ahorro económico. Pero con esta asociación, no solo se obtienen beneficios económicos sino ambientales, ya que se minimiza la producción de residuos y la extracción de materias primas, reduciendo la huella medioambiental de ambos procesos productivos.

6.6. Simbiosis Industrial en Galicia

En Cambre, Galicia, un conjunto de agricultores ha creado una red propia de proveedores de insumos derivados de residuos procedentes de empresas cercanas para producir biofertilizantes denominada Os BiosBardos. Entre los residuos utilizados se encuentran borras de café, polvo de roca, cartones, lana de oveja, derivados de harinas, conchas de vieira, alpacas de paja, restos de maderas, etc. Además de la producción de biofertilizantes, esta asociación se ha abierto una línea de financiación, ya que percibe un complemento económico por lo que supone la gestión de los residuos. Esta nueva línea de negocio, además de aportar un suplemento económico está generando nuevos empleos. Gracias a esta colaboración entre agricultores e industrias, se evita que los residuos biológicos generados por las industrias próximas acaben en vertederos, y por el contrario se devuelvan en forma de biofertilizante de alta calidad para el suelo de sus cultivos.

7. CONCLUSIONES

Según el estudio realizado la simbiosis industrial presenta un gran potencial para ser implementada en la Comunidad Valenciana, donde el sector industrial es el segundo motor económico, solo superado por el sector servicios. Se evidencia la importancia de la actividad industrial en nuestra región y la relevancia de una serie de sectores clave como el automovilístico, la producción de cítricos, la industria cerámica y la producción de destilados de petróleo en la economía nacional. En un entorno en el que la actividad industrial está tan concentrada geográficamente y especializada en la producción de un tipo de producto, la simbiosis industrial juega un papel fundamental para garantizar la sostenibilidad ambiental y económica de una determinada zona. Pese a que no existe una delimitación en cuanto a la escala geográfica de las redes de colaboración, lo que se ha observado a través de los casos de éxito analizados es que este modelo industrial tiende a funcionar de manera más efectiva a nivel local o, en su defecto, a escala subregional.

Pese a que las políticas globales son esenciales para realizar la transición hacia la economía circular, para que la implementación de un modelo de simbiosis industrial se pueda materializar a gran escala es necesaria una transformación cultural a nivel empresarial. Para ello, debe promoverse un ambiente colaborativo, cuyos pilares son la confianza y cooperación entre empresas, con el fin de maximizar el beneficio mutuo. En este sentido, el papel de las ciudades es crucial para impulsar la transición hacia un modelo económico circular y más sostenible, ya que, desde el punto de vista administrativo y legislativo, tienen las competencias necesarias para promover algunas acciones en el marco de la economía circular. Y además cada ciudad presenta unas particularidades y necesidades específicas que deben ser abordadas desde el propio municipio.

La colaboración entre empresas a través de un sistema de simbiosis industrial ofrece múltiples beneficios, tanto para las propias empresas como para la sociedad y el medio ambiente. No cabe duda del impacto positivo que tiene la simbiosis industrial en el medio ambiente, ya que se enmarca dentro la estrategia de la economía circular, cuya finalidad es reducir el consumo de recursos y reducir la cantidad de residuos que se generan y acaban siendo depositados en el medio ambiente. Desde la perspectiva ambiental, la simbiosis industrial fomenta un uso más responsable de los recursos ya que se prolonga su vida útil dentro del sistema productivo, reduciendo la presión sobre ellos y contribuyendo a su conservación. Todo ello, acaba teniendo repercusiones a nivel económico y social.

Desde el punto de vista económico, la optimización de la producción y el intercambio de recursos, subproductos y servicios entre las empresas les permite reducir sus costes productivos asociados tanto a la obtención de materias primas como a la gestión de recursos. De forma indirecta, como resultado de esta colaboración para alcanzar una producción más sostenible ofrece a las empresas nuevas oportunidades de negocio y da un valor añadido a sus productos, mejorando de esta forma su competitividad en el mercado. A su vez esta mayor competitividad, puede atraer a nuevos inversores o potenciar un producto en el mercado, favoreciendo al desarrollo económico local. Esto no sólo tiene implicaciones económicas, sino que aporta grandes beneficios para la comunidad local, ya que no solo afianza los puestos de empleo ya existentes sino que se pueden generar nuevos, y además posiciona a las empresas a la vanguardia en la creación de productos, implementación tecnológica, y prestación de servicios.

En definitiva, la simbiosis industrial es una herramienta que permite integrar los principios de la economía circular en el sector productivo, y que presenta una gran adaptabilidad para ser implementada en diferentes sectores económicos. Tal y como se ha demostrado, a lo largo del informe es necesario potenciar la colaboración entre las diferentes empresas para promover un sistema productivo más sostenible y que garantice el desarrollo económico con beneficios tangibles para la sociedad, el medio ambiente y la economía en su conjunto.

REFERENCIAS

- Alka, T. A., Raman, R. and Suresh, M. (2024) Research trends in innovation ecosystem and circular economy, *Discover Sustainability*, 5, 323.
- Allan, J. and Ojeda-García, R. (2022) Natural resource exploitation in Western Sahara: new research directions, *The Journal of North African Studies*, 27, 1107–36.
- Bressanelli, G., Visintin, F. and Saccani, N. (2022) Circular Economy and the evolution of industrial districts: a supply chain perspective, *International Journal of Production Economics*, 243, 108348.
- D'Amato, D., Korhonen, J. and Toppinen, A. (2019) Circular, Green, and Bio Economy: How Do Companies in Land-Use Intensive Sectors Align with Sustainability Concepts? *Ecological Economics*, 158, 116–33.
- Domenech, T., Bleischwitz, R., Doranova, A., Panayotopoulos, D. and Roman, L. (2019) Mapping Industrial Symbiosis Development in Europe_ typologies of networks, characteristics, performance and contribution to the Circular Economy, *Resources, Conservation and Recycling*, 141, 76–98.
- Doran, E., Golden, J., Matus, K., Lebel, L., Timmer, V., van 't Zelfde, M. and de Koning, A. (2023) The emerging role of mega-urban regions in the sustainability of global production-consumption systems, *npj Urban Sustainability*, 3, 23.

Ellen MacArthur Foundation. (2015) Delivering the circular economy: A toolkit for policymakers, Ellen MacArthur Foundation.

European Commission (2014) Towards a circular economy: A zero-waste programme for Europe

Galán, E., y Aparicio, P. (2006). Materias primas para la industria cerámica. Seminarios De La Sociedad Española De Mineralogía, 2, 31-49.

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.

Harfeldt-Berg, L. (2024) Distribution of benefits and adverse effects and their role in industrial symbiosis decision-making – A Swedish case study, *Cleaner Environmental Systems*, 13, 100202.

Hegab, H., Shaban, I., Jamil, M. and Khanna, N. (2023) Toward sustainable future: Strategies, indicators, and challenges for implementing sustainable production systems, *Sustainable Materials and Technologies*, 36, e00617.

Kirchherr, J., Reike, D. and Hekkert, M. (2017) Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions, *Resources, Conservation and Recycling*, 127, 221–32.

Lluís, A. and Martínez, A. (2022) Manual Simbiosis Industrial: Implementación de un programa de economía circular para un desarrollo económico sostenible en México, Obtenido en: <https://lc.cx/01gURP>, .

Mangers, J., Minoufekar, M., Plapper, P. and Kolla, S. (2021) An innovative strategy allowing a holistic system change towards circular economy within supply-chains, *Energies*, 14, 4375.

Marchi, B., Zanoni, S. and Zavanella, L. E. (2017) Symbiosis between industrial systems, utilities and public service facilities for boosting energy and resource efficiency, *Energy Procedia*, 128, 544–50.

Marconi, M., Gregori, F., Germani, M., Papetti, A. and Favi, C. (2018) An approach to favor industrial symbiosis: the case of waste electrical and electronic equipment, *Procedia Manufacturing*, 21, 502–9.

Marsden, T., Moragues Faus, A. and Sonnino, R. (2019) Reproducing vulnerabilities in agri-food systems: Tracing the links between governance, financialization, and vulnerability in Europe post 2007–2008, *Journal of Agrarian Change*, 19, 82–100.

Ministerio para la Transformación Ecológica y el Reto Demográfico. Estrategia Española de Economía Circular y Planes de Acción. <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/economia-circular/estrategia/>

Morató; J., Tollin, N., Jiménez, L. et al (2017). Situación y evolución de la economía circular en España. Fundación COTEC para la Innovación, Madrid. Disponible en: <http://cotec.es/media/informe-CotecISBN-1.pdf>

Neves, A., Godina, R., Azevedo, S. G. and Matias, J. C. O. (2020) A comprehensive review of industrial symbiosis, *Journal of Cleaner Production*, 247, 119113.

Oberle, B., Bringezu, S., Hatfield-Dodds, S., Hellweg, S., Schandl, H. and Clement, J. (2019) Global resources outlook: 2019, International Resource Panel, United Nations Envio, Paris, France.

Paquin, R. L. and Howard-Grenville, J. (2012) The Evolution of Facilitated Industrial Symbiosis, *Journal of Industrial Ecology*, 16, 83–93.

Potting, J., Hekkert, M. P., Worrell, E. and Hanemaaijer, A. (2017) Circular economy: measuring innovation in the product chain, Planbureau voor de Leefomgeving, .

Ramírez-Rodríguez, L. C., Ormazabal, M. and Jaca, C. (2024) Mapping sustainability assessment methods through the industrial symbiosis life cycle for a circular economy, Sustainable Production and Consumption, 50, 253–67.

Wahdat, A. Z. and Lusk, J. L. (2023) The Achilles heel of the US food industries: Exposure to labor and upstream industries in the supply chain, American Journal of Agricultural Economics, 105, 624–43.

Wang, J. and Azam, W. (2024) Natural resource scarcity, fossil fuel energy consumption, and total greenhouse gas emissions in top emitting countries, Geoscience Frontiers, 15, 101757.

Zhao, G., Liu, S. and Lopez, C. (2017) A literature review on risk sources and resilience factors in agri-food supply chains, in Collaboration in a Data-Rich World: 18th IFIP WG 5.5 Working Conference on Virtual Enterprises, PRO-VE 2017, Vicenza, Italy, September 18-20, 2017, Proceedings 18, Springer, pp. 739–52.

