La transformación circular de la Industria Química Europea (II)



Unsplash

"La industria debe priorizar el llevar a escala industrial las soluciones circulares, fomentando la innovación y facilitando la viabilidad económica de los modelos circulares."

Ana Isabel Elduque y Juanjo Ortega



Envato

“Para mejorar la disponibilidad y el acceso a las materias primas circulares para la industria, tiene una importancia primordial la recogida y la clasificación efectiva de residuos y de biomasa.”

Este artículo constituye la segunda parte del estudio realizado. La primera parte apareció en el número 36 de esta publicación. En esta ocasión, los autores se centran en las alternativas a las materias primas fósiles como fuentes de carbono y a desarrollar el “Plan de Acción de 5 Puntos” para facilitar y acelerar la transición circular de la industria química europea.

Para una mejor comprensión de la necesidad de la transformación circular, se recomienda la lectura de ambos artículos sucesivamente.

https://divulgacionciencias.unizar.es/revista-conCIENCIAS/numero/36

MATERIAS PRIMAS CIRCULARES PARA LA TRANSICIÓN CIRCULAR DE LA INDUSTRIA QUÍMICA

La investigación y la aplicación de fuentes alternativas de materias primas para sustituir las de origen fósil es una parte esencial de la transición a la economía circular. Las materias primas basadas en residuos, en compuestos de origen biológico y en CO_2 pueden usarse para aumentar la autonomía estratégica, reducir la dependencia de materiales fósiles y promover la economía circular. Por medio de utilizar y potenciar los usos de estas materias alternativas y hacer el ciclo del carbono tan grande como sea posible, el uso de materias fósiles puede reducirse significativamente.

El carbono sigue siendo central para los productos químicos y los materiales usados en la sociedad, pero esto no significa que sea un obstáculo insalvable para alcanzar la economía circular. Mientras que la descarbonización es esencial para el sector energético, su papel en el uso de materiales está más matizado. El carbono es un elemento clave en muchos materiales y procesos industriales, especialmente en el sector químico.

La industria química juega un papel vital en suministrar estos materiales alternativos, apoyando el cambio hacia productos de menor dependencia de materias primas de carácter fósil, mejorando la circularidad. Por tanto, es crucial el acceso a fuentes alternativas de carbono, como los residuos, el CO_2 capturado de procesos industriales y los biorrecursos. Sin embargo, la transformación depende de la disponibilidad de materias primas de forma suficiente, a costes adecuados, de calidad, de las innovaciones tecnológicas y de la existencias y adaptaciones de las infraestructuras. La colaboración efectiva en toda la cadena de valor es necesaria para una economía circular exitosa.

Los retos clave para adoptar el uso de materias primas circulares incluyen el acceso limitado a las mismas, la dificultad de los aumentos de producción y los elevados costes de inversión. Las empresas químicas solo pueden emplear materias circulares a una determinada escala si disponen de materias primas de calidad con suministros a largo plazo a un coste adecuado, y para una producción destinada a un mercado sólido para estos materiales. Esta amenaza hace que las materias primas fósiles sean más atractivas debido a su mayor abundancia, consistencia, madurez y sus menores costes.

Para mejorar la disponibilidad y el acceso a las materias primas circulares para la industria, tiene una importancia primordial la recogida y la clasificación efectiva de residuos y de biomasa, lo que precisa de la infraestructura adecuada en el lugar necesario. Esto

puede asegurar flujos de residuos de calidad para su ulterior procesado como materias primas secundarias.

También los incentivos a la creatividad y al fomento de la demanda de materiales reciclados, de origen bio y basados en CO_2, son requisitos para los productos que no tienen todavía suficiente mercado.

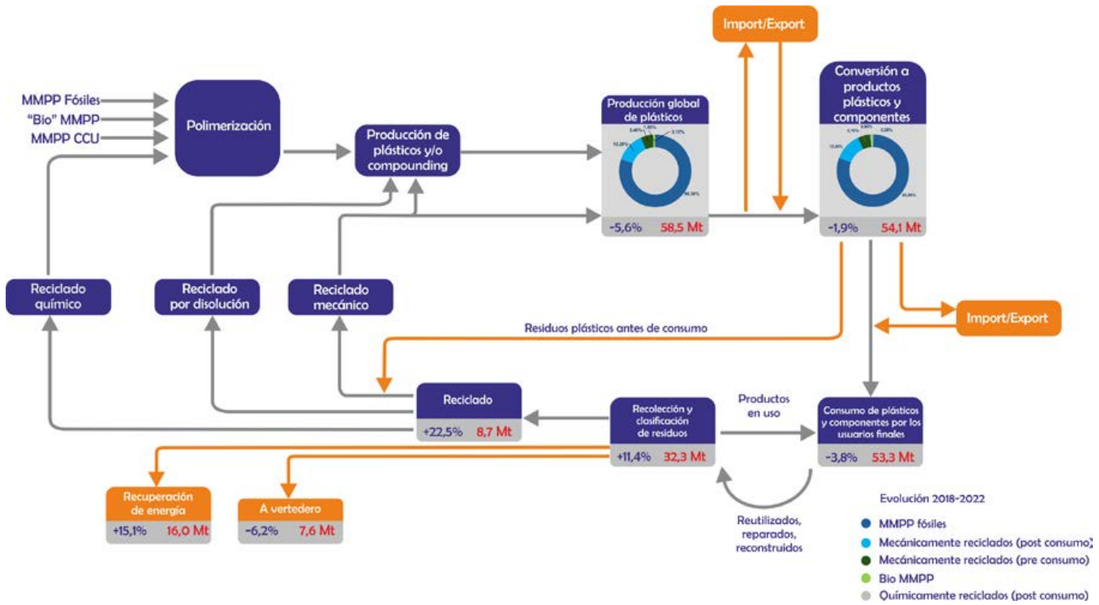
Esta transición exige inversiones significativas, a menudo obstaculizadas por la incertidumbre política, entendida como un entorno regulatorio fluctuante, que promueve poco el cambio junto a una débil demanda. La industria química europea está encarando retos sin precedentes debido a las presiones geopolíticas y estratégicas, experimentando la recesión más severa de la década. Se ha puesto de manifiesto la necesidad de inversiones significativas a corto plazo mientras Europa esté llevando a cabo la transición hacia la neutralidad climática, la circularidad, la digitalización y la fabricación de productos químicos seguros y sostenibles.

RESIDUOS COMO MATERIA PRIMA

Una fuente de carbono alternativa conocida para la economía circular la forman los residuos, al ser usados como materias primas. Fijándonos especialmente en los plásticos, aproximadamente el 80% de los 58,8 millones de toneladas producidos anualmente en Europa no tienen camino de retorno para ser convertidos nuevamente en productos. Por el contrario, la mayoría de los plásticos son enviados a depósitos y vertederos, incinerados o exportados. Gran parte del origen de esta situación puede ser atribuida a la falta de un mercado para estos materiales reciclados, a la incertidumbre política y a la mayor competitividad de las materias vírgenes frente a las recicladas, a lo que se une una mayor efectividad de la deposición o la incineración de los residuos frente al reciclado.

En la figura 1 se muestra un balance de los plásticos en Europa durante el periodo 2018-2022. Se aprecia claramente cómo la incineración y la deposición de residuos plásticos en los vertederos son todavía destinos finales de los plásticos mucho más significativos que el reciclado para su reutilización como fuente de materias primas.

Figura 1. Balance del uso de plásticos en el periodo 2018-2022 en Europa.



Fuente: Plastics Europe (2024). The Circular Economy for Plastics A European Analysis 2024. Plastics Europe, Brussels.



Unsplash

El reciclado mecánico, aunque generalmente tiene una huella de carbono menor que el químico, tiene efectividad solo cuando se aplica a categorías seleccionadas de plásticos. También ocurre que el reciclado mecánico tiene un potencial más limitado para la revalorización continua de materiales que ya hayan entrado anteriormente en los ciclos cerrados de consumo, debido a que estas tecnologías mecánicas suelen deteriorar los plásticos.

El reciclado químico puede romper los residuos poliméricos en sus componentes moleculares básicos, superando las limitaciones y pudiendo manipular una amplia variedad de residuos. Este proceso no solo proporciona una nueva vida a productos fuera de uso o difíciles de reciclar, sino que también produce unas materias primas alternativas de la misma calidad que las vírgenes de origen fósil.

Para lograrlo, hay una necesidad de recogida y clasificación de los residuos suficientes, que haya reglas en la UE para calcular el contenido de materiales reciclados, potenciando los balances de materias en la cadena de custodia, que se emitan normativas obligatorias de objetivos de contenidos de materiales reciclados y que haya una legislación armonizada de materias primas secundarias y recicladas. Es imprescindible permitir al reciclado químico ser contabilizado para lograr en Europa las tasas que se pretenden.

BIOMASA COMO MATERIA PRIMA

La bioeconomía se define como el uso de recursos biológicos renovables de origen marino o terrestre, como cosechas, podas, pesquerías, animales y microorganismos para producir comida, materiales y energía.

Las materias primas de origen biológico siguen siendo indispensables, habiendo muchas industrias que han desarrollado una economía circular sostenible apoyadas en ellas. Los productos de derivados de la biomasa, la biotecnología para su conversión y la bio-fabricación pueden contribuir a alcanzar la economía circular, actuando tanto como un medio para cerrar el ciclo de

> “El 80% de los 58,8 millones de toneladas producidos anualmente en Europa no tienen camino de retorno para ser convertidos nuevamente en productos.”

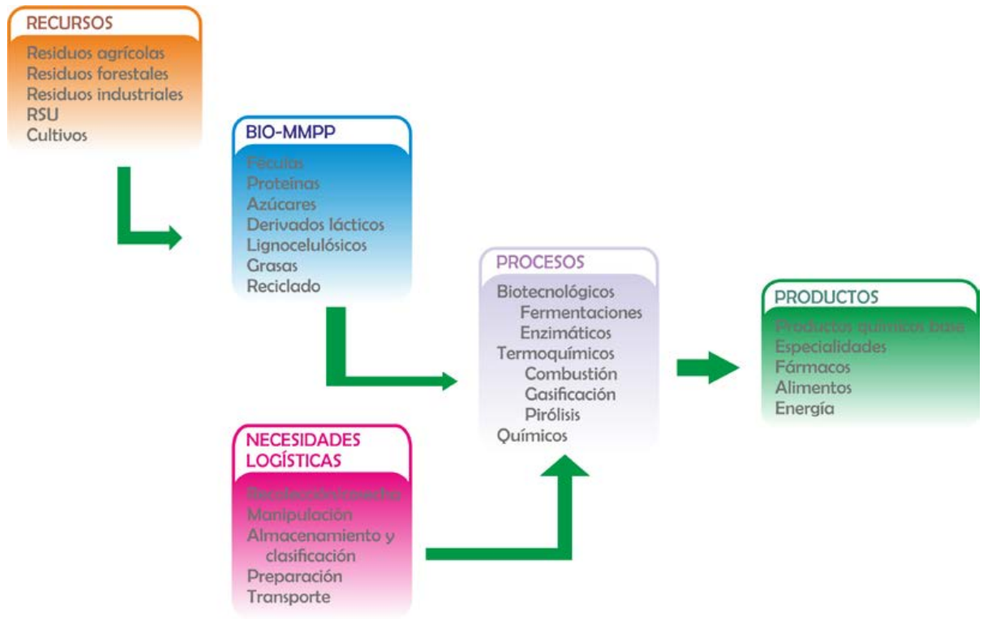


Figura 2. Flujos en la utilización de biomasa como fuente de materias primas.

carbono, como una alternativa a las materias primas fósiles con bajo carbono e, incluso, para la captura biológica y uso de este carbono.

Aunque el uso de materias primas de origen biológico tiene ventajas que pueden ser trasladadas a los productos finales, las dificultades de la estacionalidad de la biomasa y las fluctuaciones en su calidad, almacenamiento y transporte, así como la competencia por ellas entre diversas industrias, como es su uso alimentario o para biocombustibles, que aumenten fuertemente la demanda al beneficiarse de incentivos como los derivados de la Directiva de Energía Renovable, están creando problemas para que los productos derivados de biomasa puedan sobrevivir en el mercado.

La introducción de materiales "bio-atribuidos" por medio de balances de materia puede ayudar a mitigar alguno de estos obstáculos, permitiendo una integración más flexible y escalable de las bio-materias primas en los procesos de producción existentes. Esta idea apoya el crecimiento gradual del "bio-contenido" en la industria, a la vez que usa de manera óptima la infraestructura disponible.

"El uso de materias primas biológicas en la industria química está limitado debido a que, entre otros factores, hay una falta de competitividad con las correspondientes de origen fósil."

Actualmente, los productos químicos procedentes de biomasa representan solo el 3% del mercado interior de la UE en términos de masa, aunque están mostrando un fuerte potencial de crecimiento. Es interesante saber que la cuota de mercado de los bio-productos de la UE es el 31% a nivel global. Si comparamos esta cifra con la equivalente para productos de origen fósil, se aprecia la importancia de los productos derivados de biomasa del sector químico de la UE en el conjunto mundial y su enorme potencial.

El aumento de la demanda también elevará la preocupación sobre la disponibilidad de biomasa y de los conflictos que se puedan generar con otros sectores, como la alimentación y los combustibles. Medidas de apoyo al uso de la biomasa como fuente de materias primas pueden proceder de:

- Sinergias entre el uso de biomasa entre diferentes sectores. Instalaciones de proceso integradas que produzcan a la vez un rango de productos (productos químicos, plásticos, combustibles) a partir de biomasa pueden alcanzar una mayor sostenibilidad de los procesos integrados debido a la gran eficiencia en el uso de la biomasa en estos ecosistemas.

- Hay un potencial no utilizado que puede desplegarse en la mejora de la recolección de biorresiduos, como desechos alimentarios y agrícolas, tal y como estipula la Directiva Marco de Residuos, y promoviendo la utilización de estas corrientes de residuos como materias primas para su conversión. Actualmente, casi el 75% de los residuos alimentarios generados en la UE no son recogidos.

- La biotecnología ofrece soluciones al potenciar la eficiencia en la utilización de los recursos de origen biológico, como es el desarrollo de microorganismos y enzimas para procesos bioquímicos más selectivos y eficientes.

En la figura 2 se resumen fuentes de materias primas, procesos necesarios para su conversión y productos potencialmente obtenibles de materias primas procedentes de bio-materias primas.

Sin embargo, el uso de materias primas biológicas en la industria química está limitado debido a que, entre otros factores, hay una falta de competitividad con las correspondientes de origen fósil. Por ejemplo, solo el 1% de los plásticos es procedente de origen biológico, lo que


Unsplash

supone el 0,029% de la demanda global de biomasa en 2021. La participación de la biomasa en las aplicaciones de la industria química puede crecer significativamente por medio de generar sinergias entre diferentes sectores, combinando diferentes fuentes de biomasas sostenibles y aplicando en cascada los principios del uso de la biomasa, con el objetivo de una mayor eficiencia en su uso y reduciendo su impacto ambiental.

EL CO_2 COMO FUENTE DE MATERIA PRIMA

Otra forma de cerrar los ciclos del carbono y reducir la huella de productos y polímeros es usar CO_2 como materia prima. Se han desarrollado varias tecnologías para la captura y purificación de CO_2 de fuentes industriales. Un amplio abanico de procesos avanzados (incluyendo soluciones catalíticas, electroquímicas y biotecnológicas) se han desarrollado para el uso de CO_2 como alternativa a las materias primas convencionales para la síntesis de varios productos base, especialidades químicas y polímeros cuya producción actual está basada en el uso de materias primas fósiles.

Algunas tecnologías están todavía en fase de desarrollo, pero otras pocas ya han demostrado su capacidad a mayor escala, como la conversión de CO_2 a metanol, y la captura de CO_2 de la producción convencional de urea a partir de amoniaco. Barreras económicas y regulatorias significativas todavía obstaculizan el despliegue de los procesos "de CO_2 a productos". La producción a gran escala a partir de CO_2 requeriría una gran disponibilidad de electricidad renovable o de bajo carbono que pudiera compensar los altos costes de operación y las inversiones en los nuevos activos de producción.

Un obstáculo importante que salvar en el uso de carbono procedente de captura de CO_2 (*Carbon Capture Use, CCU*) es su consideración legal como emisión. Mientras

Figura 3. CCU como palanca de la transición circular.


Unsplash

"La industria química está haciendo significativos esfuerzos en el avance hacia la economía circular, demostrando liderazgo en la innovación, la colaboración y las prácticas circulares."

que la utilización de CO_2 como materia prima, ya ha sido reconocida como un contribuyente a la circularidad del carbono en la Comunicación sobre Ciclos de Carbono desde diciembre de 2021, la captura de CO_2 de instalaciones industriales y su uso para productos químicos y polímeros todavía se consideran emisiones y están bajo la normativa de comercio de emisiones (*Emissions Trading Scheme, ETS*).

En la figura 3 se muestra un resumen de la situación actual del CCU, en la que se aprecia claramente las realidades y las potencialidades del uso de estas tecnologías, tanto como procesos descontaminantes, como de fuentes de materias primas de origen no fósil.

PLAN DE ACCIÓN DE 5 PUNTOS. FACTORES DE ÉXITO

La industria química está haciendo significativos esfuerzos en el avance hacia la economía circular, demostrando liderazgo en la innovación, la colaboración y las prácticas circulares. Como ya se comentó con anterioridad, el plan de 5 puntos identifica cinco factores claves para encarar los retos y avanzar en la transición circular que afecta a todos los grupos de interés relevantes de la cadena de valor, tanto en la UE como en los estados miembro. Estos factores de éxito son los siguientes:

1. Direccionarse hacia un entorno regulatorio favorable, acompañado de incentivos.

- Mejorar de forma pragmática e implementar un entorno regulatorio claro y unificado entre los estados miembro orientado a la economía circular, alineando los modelos de negocio para crear una demanda de productos circulares.
- Proveer incentivos para hacer competitivos a los materiales reciclados y circulares, animando su uso en la cadena de valor.
- Simplificar los procesos de aprobación para acelerar la innovación circular.
- Armonizar la legislación para crear un mercado único de residuos, de materias primas y productos circulares, eliminando las barreras fronterizas.

2. Facilitar las inversiones en infraestructuras y tecnologías circulares:

- Expandir los mecanismos de financiación para tecnologías disruptivas y acelerar los permisos para inversiones en proyectos circulares.


Unsplash

“Bajo el Gran Pacto Verde, la UE está haciendo esfuerzos para ser el primer continente climáticamente neutro, siendo el Plan de Acción de Economía Circular (*Circular Economy Action Plan, CEAP*) uno de sus bloques constitutivos clave.”

- Invertir en reciclado, en biotecnologías y en las basadas en CCU, así como robustecer los procesos de recogida y clasificación de residuos, para maximizar la recuperación de materiales y su reutilización.
- Proveer el acceso a energía de bajo carbono y renovable de forma suficiente y en condiciones adecuadas.
- Movilizar la colaboración sectorial dentro de la UE para incentivar a los mercados y acelerar la adopción de actividades de negocio circulares.

3. Establecer un cambio en la mentalidad hacia un pensamiento circular interiorizado en la sociedad.

- Campañas de educación a los consumidores para animar los comportamientos de compra sostenibles y circulares. Procurar al público criterios e incentivos para priorizar los productos circulares.
- Integrar, desde las primeras etapas educativas hasta la educación superior, la sostenibilidad y la circularidad en los planes formativos.

4. Incentivar las innovaciones por medio de la colaboración entre grupos de interés diferentes.

- Colaborar entre industrias, tecnólogos e investigadores para crear sinergias y utilizar los recursos eficientemente.
- Crear plataformas para el intercambio de conocimiento y reconocimiento de redes para la planificación y la implementación.
- Esfuerzos de innovación para dirigir a grupos de diferentes orígenes a la colaboración “eco-sistémica”.

5. Monitorizar y medir para evaluar el progreso e identificar las necesidades de esfuerzos y medidas adicionales.

- Implementar métricas estandarizadas de circularidad, que faciliten el entendimiento de la transición circular.
- Utilizar herramientas como los Indicadores de Transición Circular (*Circular Transition Indicators*, CTI) para medir e informar del progreso de una forma consistente, alineándose con los objetivos ESG (*Environmental, Social and Governance*).
- Desplegar la aplicación de métricas no solo para informar de la situación, sino también para fomentar la transparencia, para evaluar las tendencias observadas, aumentar la concienciación, identificar riesgos y oportunidades y desencadenar las mejoras.
- Focalizarse en las métricas que reflejen la transición requerida para una economía circular de bajo carbono en Europa. El *Circularity Metrics Lab* de la Agencia Ambiental de la Energía (*Environmental Energy Agency*) es un ejemplo de medida de métricas.

En la figura 4 se resumen este Plan de 5 puntos y las acciones propuestas en cada uno de ellos.

REVISIÓN POLÍTICA ACTUAL DENTRO DE LA UE

Bajo el Gran Pacto Verde, la UE está haciendo esfuerzos para ser el primer continente climáticamente neutro, siendo el Plan de Acción de Economía Circular (*Circular Economy Action Plan, CEAP*) uno de sus bloques constitutivos clave. El CEAP anunció iniciativas para el ciclo de vida del producto completo, poniendo objetivos en cómo son diseñados los productos, promoviendo los procesos circulares, apoyando un consumo sostenible y centrándose en reducir residuos y mantenerlos en ciclos cerrados. Estos objetivos proporcionan un sólido marco donde continuar el trabajo.

“La transición a una economía circular es un imperativo económico, social y ambiental.”

Figura 4. Plan de Acción de 5 Puntos.



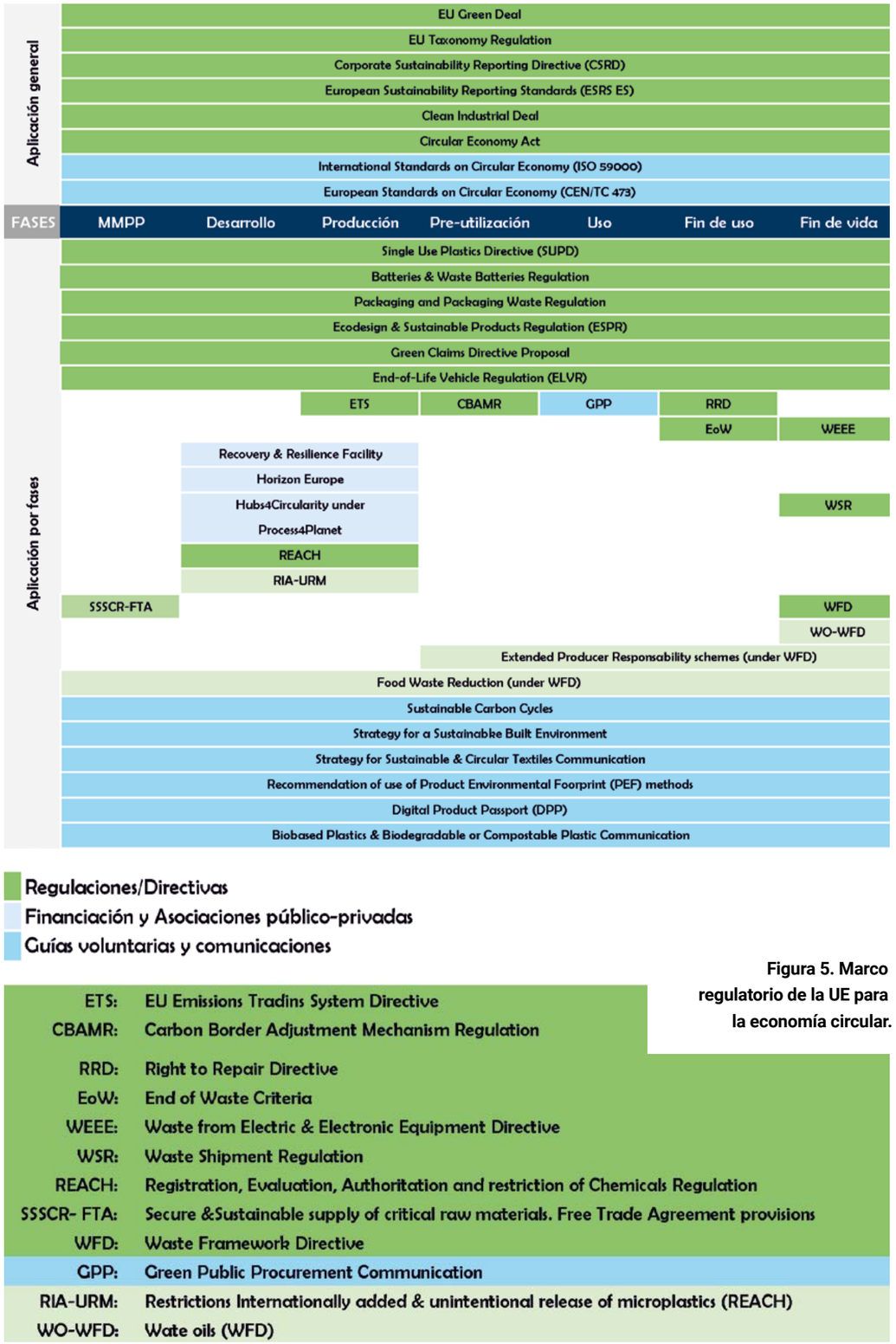


Figura 5. Marco regulatorio de la UE para la economía circular.

En la figura 5 se muestra una revisión de los marcos regulatorios seleccionados como más relevantes en la UE para apoyar la transición a la economía circular. Después de las regulaciones y directivas, también se muestran guías voluntarias, marcos de comunicación y asociaciones tanto públicas como privadas para estos objetivos.

CONCLUSIÓN

La transición a una economía circular es un imperativo económico, social y ambiental. Mientras que la industria química está haciendo progresos significativos, quedan pendientes retos persistentes que requieren un esfuerzo coordinado por parte de los líderes industriales, los legisladores y la sociedad.

Para avanzar, la industria debe priorizar el llevar a escala industrial las soluciones circulares, fomentando la innovación y facilitando la viabilidad económica de los modelos circulares. Un entorno político coherente es esencial para proporcionar los incentivos necesarios, reducir la incertidumbre regulatoria y crear un tirón del mercado hacia productos circulares. Además, promover un cambio cultural hacia la circularidad entre el mundo de los negocios, los consumidores y la sociedad en general será el punto de apoyo para superar los retos y avanzar en la economía circular.

La transición a una economía circular no es solo un reto, es una oportunidad para dar una nueva forma a los modelos industriales europeos, aumentar la sostenibilidad y fortalecer el liderazgo global de Europa. Por medio de la innovación, la colaboración y el cambio sistémico, la industria química puede dirigirse adecuadamente hacia un futuro circular y próspero. Es momento de actuar.

Ana Isabel Elduque
Coordinadora del Máster en Química Industrial
Facultad de Ciencias
Universidad de Zaragoza
Decana del Colegio Oficial de Químicos
de Aragón y Navarra

Juan José Ortega
Tesorero del Colegio Oficial de Químicos
de Aragón y Navarra

BIBLIOGRAFÍA

- European Commission: Directorate-General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs, International Synergies, Technopolis, TNO, Trinomics, University College London, Artola, I., Doranova, A., Domenech, T., Roman, L.Smith, M. (2018). Cooperation fostering industrial symbiosis. Market potential, good practice and policy actions: final report. Publications Office, Brussels.
- European Commission (2024). Ecodesign for Sustainable Product Regulation. Establishing a framework for the setting of ecodesign requirements for sustainable products, amending Directive (EU) 2020/1828 and Regulation (EU) 2023/1542 and repealing Directive 2009/125/EC. Official Journal of the European Union, Brussels.
- Caldeira, C., Farcal, R., Garmendia Aguirre, I., Mancini, L., Tosches, D., Amelio, A., Rasmussen, K., Rauscher, H., Riego Sintes, J. and Sala, S (2022). Safe and sustainable by design chemicals and materials - Framework for the definition of criteria and evaluation procedure for chemicals and materials. Publications Office of the European Union, Luxembourg, JRC128591.
- Cefic (2024). Safe and Sustainable-by-Design: A guidance to unleash the transformative power of innovation. Cefic, Brussels.
- Cefic (2023). Restoring Sustainable Carbon Cycles. [Online] [Cited 30 March 2025], https://cefic.org/app/uploads/2023/03/Cefic_Position_Paper_Restoring-Sustainable-carbon-cycles-update_-carbon-removals_holistic-vision.pdf.
- Plastics Europe (2024). The Circular Economy for Plastics – A European Analysis 2024. Plastics Europe, Brussels.
- Plastics Europe (2023). The Plastics Transition - Our Industry's roadmap for plastics in Europe to be circular and have net zero emissions by 2050. Plastics Europe, Brussels.
- European Commission (2025). The Clean Industrial Deal: A joint roadmap for EU competitiveness and decarbonisation.
- Cefic (2024). The Antwerp Declaration for a European Industrial Deal. [Online] [Cited: 18 April 2025] https://antwerp-declaration.eu/.
- WBCSD (2024). Circular Transition Indicators (CTI) - Guidance for the chemical industry to accelerate the deployment of circular metrics. WBCSD, Geneva.
- Accelerating the Circular Transition. Cefic-Unity (2024).