



La transformación circular de la Industria Química Europea (I)

“A diferencia de otros momentos históricos, el desarrollo humano nos ha llevado a una situación no vivida nunca y que excede a cualquier planteamiento ideológico.”

Ana Isabel Elduque y Juanjo Ortega



“En Europa, debido a nuestra escasez de materias primas y de fuentes de energías fósiles, junto a uno de los niveles de vida más altos del planeta, la exigencia del cambio es insoslayable.”

La transformación circular de la economía va mucho más allá de una declaración de intenciones sobre cómo debería funcionar nuestro sistema económico. A diferencia de otros momentos históricos, donde las relaciones socioeconómicas tenían mucha relación con los planteamientos políticos de las ideologías existentes (liberalismo, socialismo, economía social de mercado, etc.), el desarrollo humano nos ha llevado a una situación no vivida nunca y que excede a cualquier planteamiento ideológico. Tanto el número de personas que habitamos el planeta, como la evidencia de la escasez de recursos, exigen un replanteamiento general de nuestra sociedad. Además, la demostración incuestionable del efecto en el entorno de las actividades humanas, y sus graves consecuencias sobre nuestra salud global y particular, hace que la necesidad de cambio sea imperiosa. Pero a lo anterior hay que añadir factores no menos importantes, como son las exigencias ciudadanas de no perder calidad de vida y la voluntad de muchas más personas de querer alcanzar los mismos estándares que una parte de la población ya disfrutamos. La transición circular pretende extender el acceso a los bienes y servicios que nos han permitido disponer de una vida más saludable y longeva que la de las generaciones anteriores, sin comprometer las condiciones del medioambiente, es decir, sin poner en riesgo el futuro. En resumen, la transición circular busca

un nuevo modelo económico donde se aleje el riesgo de escasez de recursos y no sea inherente utilizar el planeta como una mera fuente de riquezas y como lugar donde desprendernos de lo que ya no tiene utilidad inmediata.

Los objetivos que se derivan de lo anterior son extremadamente ambiciosos y, por ende, complejos de lograr. Solo a través de muchas acciones colectivas será posible. Una de las más complicadas es conseguir que nuestro sistema industrial pueda operar eficientemente, tanto en lo técnico como en lo económico, siguiendo principios distintos a los que han regido durante más de dos siglos y medio de revolución industrial. La industria química no es ajena a ello, ya que es uno de los sectores que más aporta al resto de las actividades económicas. Sin las sustancias y los materiales fabricados por la industria química no es posible que nuestras sociedades sigan siendo como son.

Esta situación es global para todos los países, pero en Europa, debido a nuestra escasez de materias primas y de fuentes de energías fósiles, junto a uno de los niveles de vida más altos del planeta, la exigencia del cambio es insoslayable. Por ello, la industria química europea ha comenzado desde hace tiempo a crear e implantar planes y soluciones a los problemas que hay que afrontar.

tar. Cómo podemos hacer lo que necesitamos tan eficientemente como ahora, sin depredar los recursos de terceros y sin convertir nuestro entorno en un vertedero inhabitable e irrespirable.

La producción de las diferentes industrias del sector está presente en el 95% de los bienes que usamos a diario. No es realista que se proponga dejar de utilizar unos determinados materiales, ya que son necesarios e irremplazables. Necesitamos la transformación a procesos más sostenibles, usando menos recursos y más circulares y reduciendo el impacto generado.

Esta transformación afecta tanto a las materias utilizadas, a los productos fabricados, a los residuos generados y a las fuentes de energía que mueven el sistema. Debido a la enorme amplitud de temas, es imposible tratarlos todos en un artículo breve como este. Por ello, nos centraremos únicamente en lo que afecta a productos y procesos, no entrando en aspectos relacionados con la producción de energía, sin que esto signifique que no se considere de vital importancia.

El artículo publicado en este número constituye la primera parte del estudio realizado. La segunda parte aparecerá en un próximo número de esta publicación.

Esta primera trata sobre el significado de la transformación circular, así como de las áreas de actuación y de las estrategias que se perfilan como las más adecuadas para la industria química europea. El objetivo de hacer un planteamiento de esta índole es mostrar claramente que existe una conciencia y una voluntad de cambio por parte del mundo económico e industrial. No se trata de consejos voluntaristas propuestos solo por expertos. Hay mucha realidad detrás basada en la experiencia de los que rigen las grandes compañías.

En la segunda parte se explicarán las materias primas alternativas a las de origen fósil para facilitar la descarbonización de la industria. También se detallará con más profundidad el denominado "Plan de Acción de 5 Puntos", que especifica las acciones concretas para facilitar la transición circular.

Antes de comenzar con el artículo es necesario añadir que, a la luz de los idearios políticos que se están desplegando en los países occidentales últimamente, se podría pensar que la transición circular ha sido una moda pasajera de la que nos podemos olvidar fácilmente. Nada más lejos de la realidad. Son precisamente los

que niegan esta necesidad de cambio los más perdedores. En breve, la realidad se impondrá de nuevo. Aunque EE.UU., como primera potencia mundial, parezca que abandona estos postulados, la otra gran economía emergente del mundo, China, está caminando hacia ella de forma silenciosa, pero imparable, como la movilidad eléctrica nos ha demostrado. El dominio que ha conseguido en unos pocos años es innegable. Esta transformación permitirá que el gigante asiático se convierta en, además de un gran productor, el generador de las tecnologías químicas necesarias para la transición. Europa no debería olvidar esto.

INTRODUCCIÓN

La industria química europea, durante los últimos años, está bajo una fuerte presión que está obligando a todas las compañías a llevar a cabo unos replanteamientos estratégicos de enorme calado. En los últimos lustros, la aparición de los gigantes asiáticos, China en especial, pero no solo ella, ha supuesto que la industria europea haya perdido un 11% de cuota de mercado mundial desde 2008, hasta el actual 13% del valor de la producción. Este menor crecimiento de



“En los últimos lustros, la aparición de los gigantes asiáticos ha supuesto que la industria europea haya perdido un 11% de cuota de mercado mundial desde 2008.”

la industria europea se debe a varios factores, pero destacan entre otros la débil demanda del mercado interior de la UE, no habiéndose todavía alcanzado el nivel de consumo prepandemia, y la pérdida de competitividad de la producción europea frente a la de terceros países, lo cual también tiene efectos dentro de la Unión, debido al aumento de las importaciones a costa de la producción interna.

La producción europea no ha sido capaz de competir en igualdad de costes con otras regiones del mundo, en las que se continúan las prácticas de la economía lineal clásica (comprar → producir → consumir → tirar). En esta situación, la industria europea en general, y la química en particular, tiene que soportar mayores costes (laborales, energía, gravámenes sobre residuos, emisiones y efluentes...) que otros países no soportan. Además, los procesos administrativos sobre permisos y autorizaciones son, por norma general, más lentos en Europa. Un factor que también incide es el poco control que se ejerce sobre la propiedad intelectual fuera de Europa, lo que lleva a que las medidas de protección no tengan utilidad fuera de la UE y países asimilables.



envato

Todo esto incide en que los costes unitarios de los productos europeos sean más caros que los de importación. Ante esta situación, la primera respuesta que se ocurre es proponer que, dentro de la UE, se apliquen las mismas prácticas industriales que en el resto de países del mundo, para competir en igualdad. Pero esto no es una solución. Si así se hiciera, seguirían persistiendo los problemas que muchos se niegan a reconocer. La falta de sostenibilidad de los recursos materiales y energéticos, la necesidad de alcanzar lo antes posible la neutralidad climática que, al menos, mitigue los efectos del cambio climático que ya nos afecta y conseguir para Europa una autonomía estratégica que nos haga menos dependientes de suministros procedentes de más allá de nuestras fronteras seguirán amenazando nuestra estructura económica y, por ende, nuestro modelo económico y social.

Los expertos de todos los sectores, los pensadores y los intelectuales de los países más avanzados saben que el problema radica en la imposibilidad de continuar con los mismos esquemas de producción y consumo

que hasta la fecha, lo que se conoce como economía lineal. Es, según la mayoría de las opiniones más relevantes, tiempo de cambio, de cambio sistémico. Es el momento de comenzar a desarrollar el nuevo paradigma de la economía circular.

“La producción europea no ha sido capaz de competir en igualdad de costes con otras regiones del mundo, en las que se continúan las prácticas de la economía lineal clásica.”

LA TRANSICIÓN HACIA LA ECONOMÍA CIRCULAR EN LA INDUSTRIA QUÍMICA EUROPEA

La economía circular está por desarrollarse. De momento sabe qué es lo que no tiene que hacer. Pero el qué, el cómo y el cuándo depende de muchos factores propios de cada actividad industrial y de consumo. Además, nadie cree que se pueda sustituir un modelo económico tomando unas pocas y sencillas medidas. Requiere de todo un desarrollo temporal, que es lo que se denomina transición hacia la economía circular.

Muchos sectores están elaborando planes para iniciar y desarrollar esta transición, y la industria química europea es uno de los más avanzados. El conjunto del sector, pilotado por la principal asociación empresarial de la industria química europea, CEFIC (*Conseil Européen des Fédérations de l'Industrie Chimique*), publica de forma habitual guías y recomendaciones sobre cómo hacer la transición circular. En las siguientes líneas vamos a explicar cuáles son las principales líneas estratégicas y planes de desarrollo considerados.

PLANIFICACIÓN DE LA TRANSICIÓN CIRCULAR

Ya se ha mencionado anteriormente que la industria europea se enfrenta a unos retos globales que se deben afrontar para asegurar su supervivencia. Recordemos que estos problemas generales son:

- La búsqueda de un modelo más sostenible, tanto en recursos, fuentes energéticas y residuos generados.
- La necesidad de una autonomía estratégica que permita a Europa obtener los recursos anteriores de forma más segura y menos dependiente de fuentes exteriores.
- La urgencia por alcanzar una neutralidad climática que desacelere y, en un futuro próximo detenga, el cambio climático que ya afecta a todos los países.

A estos factores socioeconómicos hay que añadir últimamente la inestabilidad geopolítica que se ha generado por la implantación en algunos países de gran relevancia, especialmente los EE. UU., de políticas proteccionistas que obstaculizan el comercio mundial y fomentan las prácticas de la economía lineal.

Identificados los problemas globales, es necesario conocer cuáles son los principales retos y obstáculos que

“Es el momento de comenzar a desarrollar el nuevo paradigma de la economía circular.”

debe superar la transición circular. No son pocos ni fáciles de vencer, pero sí que están bien identificados. Se pueden agrupar en los siguientes apartados de naturaleza común:

- i. Competitividad de costes. Tanto los procesos como las materias primas lineales suelen ser de menor coste que sus equivalentes circulares. Por tanto, operar instalaciones industriales siguiendo prácticas circulares supone, ya de inicio, un mayor coste de los productos fabricados, lo cual no es fácil de trasladar al mercado sin poner en riesgo la rentabilidad de las compañías.
- ii. Este mismo fenómeno ocurre con las fuentes de energía. La industria química es, tradicionalmente, un importante consumidor energético. Si este input se obtiene de fuentes renovables, su mayor coste incide en una pérdida adicional de competitividad.
- iii. Los mercados para productos circulares son muy inmaduros y poco desarrollados. El consumidor final todavía no ha interiorizado el mayor coste, entendido como un precio de adquisición superior, de los productos circulares frente a los lineales, por lo

que su demanda es aún pequeña y, muchas veces, el bajo sobrepeso no compensa los mayores costes de producción.

- iv. Los procesos circulares exigen fuertes inversiones, tanto individuales de las compañías, como en infraestructuras de uso general, que se están ralentizando por diversas causas. Sin estas inversiones, no es posible poner en práctica los cambios tecnológicos necesarios para la transición.
- v. Existe una gran incertidumbre regulatoria sobre la transición circular. Europa no se ha caracterizado por saber implantar políticas de forma rápida y ordenada en todos los estados. La trasposición de medidas a los estados miembros suele convertirse en causas de bloqueo por falta de unanimidad. Europa es un continente pequeño y la falta de armonización regulatoria no permitirá desarrollar mercados que puedan competir a nivel global.

ÁREAS CLAVE DEL DESARROLLO DE LA TRANSICIÓN CIRCULAR

Ante estos problemas, los expertos de la industria química han identificado tres áreas clave de trabajo conjunto para desarrollar la transición circular, campos de trabajo sobre los que se debe actuar simultáneamente y de forma coordinada. Estas tres áreas clave son:

- Simbiosis industrial. Se refiere a la colaboración entre compañías industriales y otros grupos de interés para optimizar el uso de recursos infrautilizados y mantenerlos en uso productivo durante más tiempo.
- Innovación y digitalización. El diseño innovador de los productos con una mentalidad circular se enmarca en las estrategias de las 10R (ver más adelante), usando nuevas tecnologías y soluciones digitales. Hay que ir más allá del diseño del producto, y centrarse en nuevos modelos de negocio.
- Materias primas circulares. Hay que pensar en materias primas procedentes de residuos reciclados y de otras fuentes renovables como biomasa sostenible y de captura de CO₂. Todas estas materias primas sustituyen y reducen la dependencia de las de origen primario.



Figura 1. Situación general de la transición circular.



Para los expertos, lo comentado hasta aquí no pasa de ser un mero diagnóstico, unas pocas ideas, por lo que han trabajado en elaborar planes más concretos sobre los que desarrollar proyectos específicos. El marco general ha sido la elaboración del llamado "Plan de Acción de 5 Puntos" centrado en los retos y obstáculos indicados, aportando ideas de trabajo en cada uno de ellos. Este plan será detallado más minuciosamente en apartados posteriores.

En la figura 1 reflejamos la situación general expuesta sobre cómo afrontar la transición circular en la industria química.

SIMBIOSIS INDUSTRIAL

Los productos químicos no suelen ser fabricados para su propio uso. Su beneficio surge de su utilidad para una amplia variedad de mercados, aplicaciones y usos finales. Por tanto, la industria química está fuertemente interconectada con otros sectores. Ni la industria química ni ninguna compañía individual pueden aplicar un flujo circular de una forma aislada. La transición a una economía circular requiere una perspectiva mucho más integrada y sistémica, que aúne las competencias y el conocimiento a través de todo el entramado circular.

“Hay que pensar en materias primas procedentes de residuos reciclados y de otras fuentes renovables como biomasa sostenible y de captura de CO₂.”

La simbiosis industrial exige que organizaciones operativas en diferentes sectores de actividad se junten en transacciones mutuamente beneficiosas para reutilizar desechos y subproductos, encontrar formas innovadoras para suministrarse elementos necesarios y optimizar el valor de los residuos de sus procesos.

En la industria química, la simbiosis industrial es bien conocida, está bien establecida y totalmente arraigada dentro de las formas de desarrollo comunes de la industria



Figura 2. Creación de ecosistemas sostenibles por medio de simbiosis industrial.

como, por ejemplo, en grandes clústeres químicos. En ellos se pueden aprovechar y optimizar los flujos de materiales entre compañías para crear oportunidades de negocio nuevas.

Los niveles de colaboración dentro de estos clústeres son muy variados. El objetivo último de la transición circular es la creación de los llamados ecosistemas integrados y sostenibles, que deben superar sus propios retos. Podemos decir que, en modelos de menor nivel colaborativo, los intereses particulares suelen imponerse a los generales, lo que es fuente de disputas en aspectos relativos al reparto de las cargas económicas de inversiones y costes, de derechos de propiedad intelectual, de transparencia en las transacciones, de compartir información y otros. Esta mentalidad más individualista hace perder oportunidades al conjunto como tal y en la posibilidad de relacionarse con otros. Esto es por lo que los expertos van más allá de los tradicionales polos de desarrollo, para proponer los llamados ecosistemas que posibiliten nuevas expansiones de los negocios, tanto geográficamente como en nuevas actividades. La búsqueda de nuevas fuentes de materias primas procedentes de materiales reciclados es un buen ejemplo de cómo estos ecosistemas pueden ser de máxima utilidad.

En la figura 2 se muestra cómo se pretende que se constituyan los ecosistemas sostenibles, así como la búsqueda de interacciones con otros ecosistemas, incluso de diferentes sectores industriales.

La simbiosis industrial es un importante paso para avanzar hacia la economía circular, especialmente en el sector químico, el cual se ha beneficiado en el pasado del trabajo en redes de cooperación de diversos grupos de interés. De cualquier manera, existen retos que demuestran la necesidad de un mayor nivel de madurez en la cooperación. Los retos indicados pueden ser sintetizados en tres aspectos claves:

“La UE ha lanzado algunas iniciativas y programas de financiación cuyo objetivo es potenciar las prácticas de economía circular.”

Viabilidad económica de los modelos circulares

El modelo lineal, donde cada miembro de la cadena de valor se focaliza en un papel específico, crea una barrera significativa de viabilidad económica para los modelos circulares. La especialización fomenta la estabilidad y la eficiencia, lo que dificulta los modelos circulares que requieren mayor colaboración e integración para competir económicamente. Establecer negocios de beneficio mutuo es clave en la colaboración circular.

Generar confianza y transparencia en la colaboración

Un reto clave es superar la tendencia de los miembros de la cadena de valor a proteger sus posiciones propias e intereses, lo cual perjudica una colaboración abierta. Las compañías deben encontrar formas de trabajo conjunto más transparente y compartir información crítica para la circularidad, sin crear problemas relacionados con asuntos de propiedad intelectual y sin violar leyes antimonopolio o de protección de la competencia. Esto requiere generar confianza, asegurar el cumplimiento legal y alentar un ámbito colaborativo entre todas las partes para hacer negocios de beneficio mutuo, incluso compartiendo información sensible.

Compartir las cargas

Un aspecto clave es compartir cargas. En una simbiosis industrial, si un incidente de una compañía interrumpe el flujo de un material, ¿quién es responsable de las pérdidas de producción? Esto requiere soluciones técnicas y de acuerdos claros sobre responsabilidades, de cómo compartir costes y de su imputación. Aceptar las cargas comunes lleva a objetivos más ambiciosos, como mejora de la transparencia de las emisiones, estrategias de mitigación... Sin embargo, una focalización excesiva en la localización de las cargas puede dificultar algunas prácticas circulares y de simbiosis industrial. Sin un marco justo de compartición de cargas, el deseo de incorporarse a asociaciones simbióticas disminuye.

La simbiosis y la creación de ecosistemas integrados es una fuente de oportunidades para los integrantes del sistema, como son las que indicamos a continuación:

- i. Expandir el objetivo geográfico y sectorial de la colaboración. Las industrias pueden aumentar la variedad de fuentes materiales disponibles para la reutilización, fomentando una mayor innovación y avances tecnológicos. La integración de las com-

“El fondo FEDER financia proyectos que se orientan al fortalecimiento de la cohesión económica y social en la UE, corrigiendo los desequilibrios entre regiones.”

pañías de gestión de residuos y de clasificación en redes industriales, junto al uso de subproductos, biomasa y CO₂ industrial como materias primas y la innovación circular, bajo la idea de la reutilización gracias al desmantelamiento de los productos, pueden llevar a una utilización más eficiente de los recursos y a una mejor coordinación en toda la cadena de valor.

- ii. La estandarización y el aprovechamiento de definiciones comunes puede apoyar la incorporación de residuos, subproductos y emisiones de CO₂ hacia procesos de producción innovadores, incluso para las compañías pequeñas.
- iii. Además, alinear los incentivos económicos con los modelos circulares puede hacerlos más competitivos que los modelos lineales tradicionales, lo que animaría a ampliar la participación.

La UE ha lanzado algunas iniciativas y programas de financiación cuyo objetivo es potenciar las prácticas de economía circular, incluyendo el desarrollo de polos de circularidad (*Hubs for Circularity, HAC*), gérmenes de futuros ecosistemas integrados. Las iniciativas más importantes son:

Fase	Estrategia R	Interpretación	Ejemplos
DISEÑO	Rechazar (Refuse)	Considerar la necesidad de fabricar productos y la necesidad de usar materias primas específicas o sustancias desde una óptica de la valoración ciclo de vida (Life Cycle Assessment, LCA) y una aproximación basada en los riesgos.	BASF y Citroën han reducido el peso global y el consumo de recursos de un coche aumentando la funcionalidad, combinado una movilidad más sostenible y menos costosa. Eliminar los sistemas de audio a bordo, debido a que la mayoría de los consumidores disponen de los suyos propios. BASF ha desarrollado OxsilanR, una fina película protectora de metales para protegerlos de la corrosión antes del pintado. Esto permite una mayor productividad con menor uso de materiales y mayor seguridad, salud y menor impacto que el proceso convencional de fosfatado.
	Repensar (Rethink)	Desarrollo de nuevos modelos de negocio que priorizan el servicio sobre el volumen (leasing químico). Repensar y rediseñar los productos para capacitarlos y/o facilitar una o más de las estrategias R relacionadas con la fase de uso o del final de vida.	YARA suministra herramientas y producción digitales agrícolas para reducir el volumen de fertilizantes y de pesticidas. Kemira es un proveedor tanto de productos como de servicios. Utiliza biomasa renovable como materias primas. Transforma azúcar y melazas para producir detergentes y ácido poliláctico por medio de fermentación bacteriana y acrilato etílico a partir de bioetanol. Niaga y Allnex diseñan polímeros para que puedan ser reparados y reciclados.
	Reducir (Reduce)	Centrarse en mejoras de la eficiencia para reducir la cantidad de materiales y energía usadas en la producción. Reducir el uso de materias primas primarias.	Reducir el uso de recursos primarios empleando otros no usados o subproductos, por medio de simbiosis industrial (materias primas, agua, energía...). Ejemplos son NextGen District, la gestión de subproductos de Kemira y Circular Republic. Detergentes con mayor potencia y concentración para reducir los recursos necesarios y empaquetados rellenables son ejemplos de Unilever y KAO. Usar materias primas renovables de materiales orgánicos. Usar la captura de CO ₂ como materia prima, como Arcelor Mittal y Lanzatech, Perstorp, Borealis y Unilever.
USO	Reusar (Reuse)	Utilizar materiales o sustancias después de su uso inicial para el mismo propósito para el que fueron diseñados, sin etapas de reciclado.	Reutilizar materiales de embalaje. Reutilizar disolventes recuperados o fluidos térmicos. Reutilizar embalajes facilitando el rellenado.
	Reparar (Repair)	Potenciar modelos de negocio producto-servicio centrándose en el mantenimiento y la reparación que ayude a aumentar la vida de equipos y productos.	Film de PV de Dow para reparar módulos de PV agrietados y neumáticos autosellantes. Adhesivos que se puedan despegar para permitir desmantelar conjuntos, repararlos y reutilizarlos. Reparación de morteros de cemento de Sika para trabajos de restauración, reparando desconchados de hormigón dañado en estructuras de construcción.
	Renovar (Refurbish)	Potenciar modelos de negocio orientados a la renovación que ayuden a aumentar la segunda vida de los productos.	Proveer materiales utilizados en la renovación.
	Refabricar (Remanufacture)	Reconstruir un producto hasta las especificaciones del original usando una combinación de partes nuevas y usadas, incluyendo la reparación o sustitución de componentes dañados u obsoletos.	Reutilizar el sulfato de hierro de los vertederos como materia prima para la fabricación de coagulantes por Kemira para tratamiento de aguas.
	Reproponer (Repurpose)	Explorar otras iniciativas para utilizar productos descartados o componentes para una función para la que no fueron ni diseñados ni producidos originalmente.	Reproponer neumáticos sintéticos al final de su vida para pellets de goma con destino a campos deportivos de hierba artificial.
FINAL DE VIDA	Reciclar (Recycle)	Avanzar en técnicas complementarias de reciclado químico a otras para recuperar y reutilizar materiales que previamente fueron considerados no reciclables para su uso como materias químicas.	Muchas compañías químicas están invirtiendo en el reciclado químico, complementario del reciclado mecánico. Una planta de reciclado ha sido lanzada por SABIC y otras compañías tienen planes similares (LyondellBasell y Eastman). Los reciclados mecánico y químico aplican en reciclaje de colchones (Niaga, Evonik y Dow). La membrana de Sika (Cradle-to-Cradle) está fabricada con material de chatarra anteriormente usado. Fulerro recicla mecánica y químicamente ácido poliláctico usado.
	Recuperar (Recover)	Extraer energía de materiales residuales que no pueden ser reciclados o reutilizados.	Incineración de residuos con recuperación de energía (producción de electricidad y/o vapor). "Reminero" de vertederos como materia prima para producir coagulantes para tratamiento de agua por Kemira.

Tabla 1: Interpretaciones de las estrategias R.



Figura 5. Dimensiones de seguridad y sostenibilidad de los productos químicos, materiales y procesos según los principios SSbD.

Cefic (2024). Safe and Sustainable-by-Design: A guidance to unleash the transformative power of innovation. Cefic, Brussels.

(Safe and Sustainable-by-Design, SSbD), desarrollado bajo la Estrategia Química de la UE para la Sostenibilidad, indica cómo el sector químico mejora continuamente hacia productos más seguros y sostenibles. El SSbD se centra en integrar seguridad, circularidad y funcionalidad a lo largo de todo el ciclo de vida, promoviendo una transición a una economía eficiente en el uso de los recursos, segura, no polucionante y climáticamente neutra. SSbD cubre varios aspectos económicos, sociales, de seguridad y ambientales (ver figura 5).

Además de la innovación en producto, materiales y tecnología, la transición hacia una economía circular en la industria química también precisará del desarrollo de modelos de negocio circulares. Los modelos de negocio lineales tradicionalmente establecen sus soluciones en las que el éxito es medido únicamente en términos de volumen vendido. Esto contradice los principios circulares, como son la durabilidad del producto y la eficiencia del uso de los recursos (hacer más con menos materias).

El Marco de Sistema Producto-Servicio (Product-Service System, PSS) establece categorías de modelos de negocio que integran productos y servicios para aumentar la sostenibilidad. En la industria química, el modelo PSS

“Estos modelos ponen su énfasis en la eficiencia de los recursos y en un mayor ciclo de vida del producto.”

fomenta la economía circular por medio de cambiar los objetivos tradicionales, de venta de producto, por otros basados en el servicio, como es la Chemical Leasing y los Performance-Based Contracts. Estos modelos ponen su énfasis en la eficiencia de los recursos y en un mayor ciclo de vida del producto, asegurando que los productos químicos son más efectivos y tienen un menor impacto ambiental. Priorizando la funcionalidad sobre la propiedad, las compañías mantienen el control de los recursos, incentivan la reutilización, el reciclaje y la innovación en química sostenible. Cambiar a modelos de negocio más circulares no implica eliminar completamente la tradicional venta de productos (por ejemplo, la venta de commodities), sino que innova y hace repensar los modelos donde sea posible, combinando venta de productos y servicio. En la figura 6 se ilustra cómo el cambio de modelos modifica objetivos e incentivos de productor y consumidor.

Con este conjunto de recomendaciones y regulaciones, tanto las procedentes ESPR como las derivadas de la SSbD, la innovación circular dispone de todo un conjunto de criterios de evaluación de la innovación circular que se resumen en la figura 7.

Una cuestión adicional, y no de importancia menor, es la referida a qué técnicas y metodologías son las más útiles para que la innovación circular tenga éxito. Las formas de relación y el intercambio de información, dentro de la misma cadena de valor, y con otras, es fundamental para obtener el éxito en los procesos de innovación. Además, en el mundo actual, la digitalización de los procesos es básica ya que permite estudiar alternativas, prever situaciones, manejar grandes cantidades de información, llevar a cabo simulaciones y otros estudios de forma previa y con elevadas probabilidades de que el resultado final sea el mejor de los posibles. Por ello se han definido un conjunto de métodos y herramientas cuya aplicación serán un importante factor de éxito para la transformación circular. Estas palancas de pensamiento son:

Figura 6. Aproximaciones lineal y circular de los modelos de negocio.



CRITERIOS DE EVALUACIÓN DE INNOVACIÓN CIRCULAR



Figura 7. Cambiar a modelos de negocio más circulares no implica eliminar completamente la tradicional venta de productos.

Accelerating the Circular Transformation. CEFIC-Unity. Brussels (2024).

“Estos modelos ponen su énfasis en la eficiencia de los recursos y en un mayor ciclo de vida del producto.”

- **Aumentar la transparencia, la trazabilidad y la evaluación.** Hay que considerar el ciclo completo de vida del producto, desde las materias primas hasta el fin de vida. Las tecnologías digitales están siendo cruciales para simplificar las medidas y las comparativas del impacto de las iniciativas circulares y su progreso.
- **Pasaportes digitales de producto (Digital Product Passports, DPP).** Los DPP pueden facilitar la transparencia y la trazabilidad, promoviendo la circularidad en la UE y creando una corriente de intercambio de información. La ESPR de la UE incluye DPP para gestionar y ofrecer la información relacionada con el producto entre las entidades de la cadena de valor, los entes regulatorios y los consumidores.
- **Capacitación digital.** Una mentalidad hacia la apertura de datos es crucial, apoyada por una educación comprensiva sobre habilidades digitales y guías de implementación de los DPP. Establecer un ecosistema digital entre la compañía y la cadena de valor es esencial, facilitando la colaboración, el intercambio de ideas y compartiendo responsabilidades.

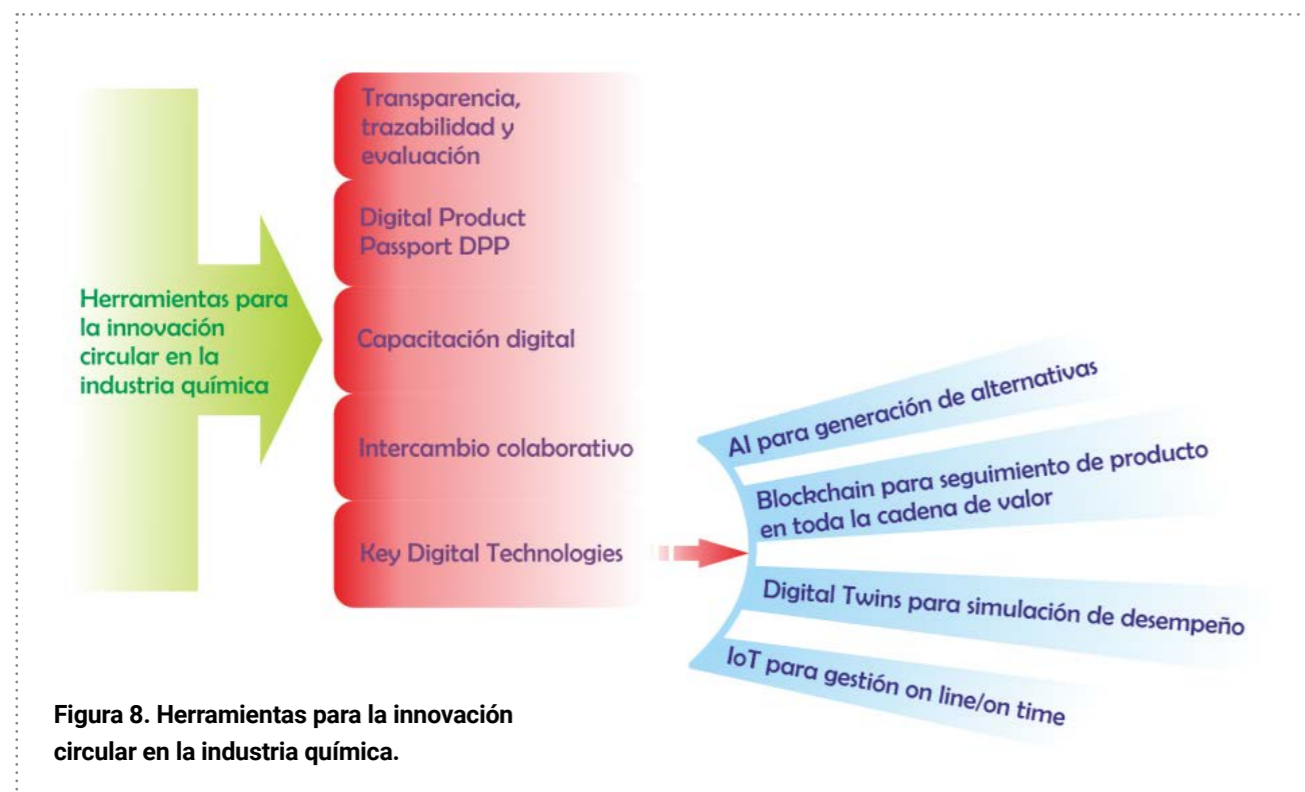


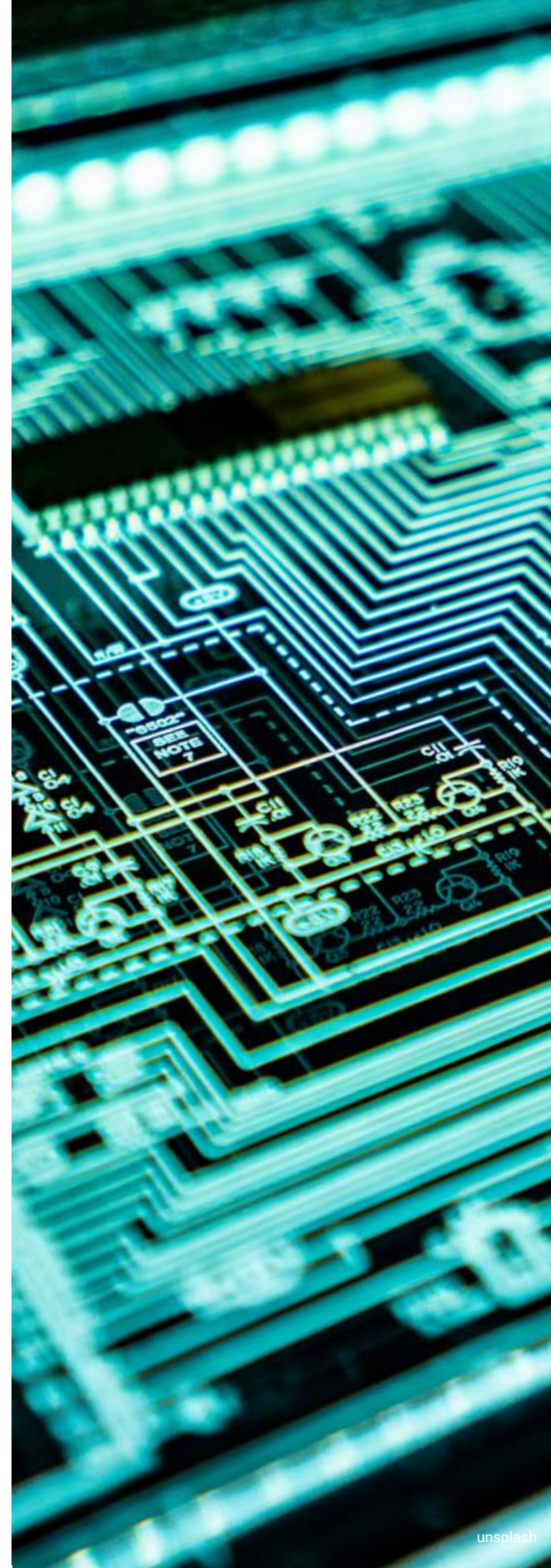
Figura 8. Herramientas para la innovación circular en la industria química.

- **Intercambio colaborativo de datos y seguridad.** La colaboración dentro de la cadena de valor es esencial, pero las políticas como las leyes antimonopolio y de defensa de la propiedad intelectual crean incertidumbres y obstáculos que precisan ser gestionados cuidadosamente en estas redes. Exige, por tanto, investigar en prácticas de seguridad y de valoración de riesgos.
- **Tecnologías digitales clave (Key Digital Technologies).** Las tecnologías digitales llevan a diseños e innovaciones circulares porque facilitan a las empresas crear productos sostenibles desde el principio. En la industria química, la digitalización aporta herramientas para la transparencia, la trazabilidad y la colaboración en la cadena de valor. Las tecnologías como la IA, el Blockchain, los *Digital Twins* y el Internet de las Cosas (*Internet of Things, IoT*) optimizan el flujo de materiales, la trazabilidad y la medida del impacto, facilitando la circularidad en los ecosistemas por medio de asegurar la transparencia relativa al impacto de medidas circulares, el origen de los materiales y la reciclabilidad.

En la figura 8 se resumen estas palancas para la innovación circular en la industria química.

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

Juanjo 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.
- Cefic (2024). The Antwerp Declaration for a European Industrial Deal. [Online] [Cited: 18 April 2025] <https://www.antwerp-declaraton.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).