



Polímeros biobasados

Claves para una economía circular y climáticamente neutra

Índice

Resumen ejecutivo

1. Introducción.
2. Contribución de plásticos biobasados a la circularidad y la neutralidad climática.
3. Fuentes y materias primas para la fabricación de polímeros biobasados.
4. Principales polímeros de fuentes renovables/ biobasados.
5. Capacidades actuales y proyecciones de biomasa para aplicaciones en polímeros biobasados.
6. Aplicaciones industriales de los polímeros biobasados.
7. Innovación tecnológica y tendencias de desarrollo en polímeros biobasados.
8. Gestión del fin de vida de los polímeros biobasados.
9. Anexo.
10. Glosario y definiciones.



Resumen ejecutivo

En un contexto global marcado por la urgencia climática y la necesidad de transitar hacia modelos productivos más sostenibles, los polímeros biobasados emergen como una alternativa estratégica para la industria de los plásticos. Este informe ofrece una visión integral sobre el papel de los polímeros biobasados en la economía circular y climáticamente neutra, abordando su marco regulatorio, oportunidades, retos, materias primas, aplicaciones, innovación y gestión de sus residuos al final de su vida útil.

Los plásticos biobasados, definidos como aquellos plásticos de origen biológico, biodegradables o compostables, representan una vía para reducir la dependencia de recursos fósiles y mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero. Su producción a partir de biomasa —ya sea agrícola, forestal, ganadera o procedente de residuos orgánicos— permite cerrar ciclos de carbono y avanzar hacia una bioeconomía regenerativa. No obstante, su desarrollo requiere una cuidadosa selección de materias primas que no compitan con la cadena alimentaria y que garanticen la sostenibilidad ambiental y social. Este estudio pretende centrarse principalmente en los plásticos de origen biológico.

Europa ha establecido un marco normativo ambicioso que reconoce el papel de los polímeros biobasados en la transición ecológica. Estrategias como la de Bioeconomía, la de Plásticos en una Economía Circular o el Plan de Acción para la Economía Circular, promueven el uso de materiales renovables y la creación de mercados para productos sostenibles. España, a nivel nacional, y de manera regional, varias comunidades autónomas han desarrollado planes específicos para fomentar la bioeconomía.

El informe identifica múltiples oportunidades para los plásticos biobasados: desde su contribución a la descarbonización del sector hasta su potencial para generar empleo, innovación y valor añadido en diversos sectores. Sin embargo, también se detallan retos significativos: la necesidad de reducir costes, mejorar la eficiencia de las biorrefinerías, garantizar el acceso a biomasa sostenible, armonizar las políticas europeas y nacionales, y aumentar la demanda y el conocimiento público sobre estos materiales.

Uno de los aspectos clave abordados es la clasificación de las materias primas en función de su generación (1G, 2G y 3G), así como el papel de las biorrefinerías como instala-

ciones integradas para la producción de bioproductos y bioenergía. Se destaca el potencial de la biomasa lignocelulósica y de los residuos agroindustriales como fuentes prometedoras para la producción de polímeros biobasados de segunda y tercera generación, más sostenibles y con menor impacto ambiental.

En cuanto a las aplicaciones, los polímeros biobasados están ganando terreno en sectores como el envasado, la agricultura, la automoción, la electrónica, la construcción y la salud. Su versatilidad, combinada con avances en investigación y desarrollo, está ampliando su aplicabilidad y mejorando sus prestaciones técnicas. La innovación es un motor clave, con numerosos proyectos europeos y patentes que reflejan el dinamismo del sector.

En resumen, los plásticos biobasados representan una oportunidad real para avanzar hacia una industria de los plásticos más circular, resiliente y climáticamente neutra. Su desarrollo requiere una acción coordinada entre industria, administraciones públicas, centros de investigación y ciudadanía, así como un marco normativo claro, incentivos adecuados y una apuesta decidida por la innovación y la sostenibilidad.

Introducción

1



La gran mayoría de los plásticos proceden del petróleo. Si bien el porcentaje del petróleo destinado a la fabricación de los materiales plásticos a nivel mundial es bajo (3–4 %), es importante avanzar hacia estrategias más sostenibles que ayuden al sector en su transición a un modelo circular y hacia las cero emisiones netas. En este sentido, existen diversas opciones para fabricar plásticos de materias primas renovables, como la biomasa, el reciclado o a partir de la captura y uso de dióxido de carbono (CO₂).

Los plásticos fabricados a partir de biomasa pueden reducir significativamente los gases de efecto invernadero (GEI) e incluso servir como una forma de almacenamiento de carbono.

Según confirma el informe *“ReShaping Plastics”*, la circularidad es uno de los medios más rápidos, asequibles, eficaces y fiables para reducir las emisiones de GEI de los plásticos y un factor clave para la reducción de las emisiones en el corto y medio plazo. Tal y como refleja la hoja de ruta *“The Plastics Transition”* de los productores de materias primas plásticas, presentada por Plastics Europe, todas las palancas deben activarse

para conseguir esta transición hacia la circularidad de los plásticos desde la reutilización, que permite reducir el número de aplicaciones de un sólo uso, el diseño para su reciclado o la fabricación de plásticos circulares (obtenidos a partir de materias primas renovables o plásticos biobasados, así como reciclados y los obtenidos de la captura y uso del dióxido de carbono).

Los recursos renovables son aquellos de origen natural que se pueden restaurar por procesos biológicos a una velocidad superior a la del consumo por parte de los seres humanos. Si hablamos de materiales plásticos, los plásticos renovables a partir de biomasa son los denominados biobasados. Se trata de materiales plásticos que se derivan de fuentes renovables, como el maíz, la caña de azúcar, los residuos de alimentos o agroindustriales y otras materias primas de origen vegetal.

No obstante, para poder comparar el impacto ambiental de diferentes materiales, es necesario analizar siempre la totalidad de su ciclo de vida mediante herramientas ambientales adecuadas. En este sentido, generalmente los

plásticos biobasados presentan una huella de carbono menor que el mismo plástico virgen procedente del petróleo, lo que permite contribuir a la hoja de ruta del sector hacia las cero emisiones netas, junto con otras medidas relacionadas con la eficiencia energética o el empleo de energías renovables.

Los polímeros biobasados pueden ser valorizados al final de su vida útil mediante diferentes procesos de reciclaje y valorización, en función de sus características, el sistema de gestión asociado y la infraestructura disponible.

La industria de los plásticos ha de seguir avanzando hacia la sostenibilidad y descarbonización; la fabricación, transformación, uso y valorización de materiales y productos renovables constituye una necesidad y oportunidad para el sector y la sociedad. Por ello, **el presente informe se centra en los plásticos que se pueden obtener a partir de fuentes renovables (plásticos biobasados)**, mediante la valorización de biomasa, como una de las principales estrategias para conseguir los objetivos de circularidad y descarbonización.

1 <https://plasticseurope.org/changingplasticsforgood/reshaping-plastics/>

2 https://plasticseurope.org/wp-content/uploads/2023/10/PlasticsEurope_Report_24.10.pdf

1.1 Marco regulatorio

El sector de los bioproductos ha sido declarado por la UE como un ámbito prioritario, con un alto potencial de crecimiento futuro, reindustrialización y respuesta a los retos sociales.

El tamaño del mercado mundial de productos químicos de base biológica fue de 73,16 mil millones de dólares en 2023 y se prevé un crecimiento desde 99,86 mil millones de dólares en 2024 hasta 207,95 mil millones de dólares en 2032 con una tasa compuesta anual del 9,6 % durante el período previsto (2024–2032). Europa dominó el mercado de productos químicos de origen biológico con una cuota de mercado del 61,15 % en 2023 ³.

Según los datos de la Joint Research Centre (JRC), el sector de la bioeconomía generaba en España en 2021 un volumen de negocio de 260 mil millones de euros (10 % del total de la UE–27), 75 mil millones de euros de valor añadido (10 % del total de la UE–27) y 1,47 millones de empleos (9 % del total de la UE–27) (Figura 1) ⁴.

Figura 1. Empleos por sector, valor añadido y volumen de negocios en España en 2021

Según los datos obtenidos mediante la colaboración de la JRC y Nova-Institute.⁵



³ <https://www.fortunebusinessinsights.com/bio-based-chemicals-market-106586>.

⁴ Data-Modelling platform of resource economics. Jobs and Wealth in the European Union Bioeconomy. (Biomass producing and converting sectors). Resultados obtenidos mediante la colaboración de la JRC y Nova-Institute. <https://datam.jrc.ec.europa.eu/datam/mashup/BIOECONOMICS/index.html> [consultada: 15/12/24].

⁵ 25 años de Biotecnología. Informe AseBio 2023. Editado por la Asociación Española de Bioempresas (AseBio).

De acuerdo a la información publicada por AseBio en su informe de 2023, durante 2022, el sector biotecnológico en España realizó una inversión de 1.218 millones de euros en I+D, lo que supone más de un 6,3 % de la inversión nacional total en I+D. El 67 % de lo invertido se financió con fondos propios. El sector biotecnológico captó en 2023 unos 228 millones de euros y 4.477 empresas realizaron actividades de biotecnología en 2022.

A nivel europeo hay que resaltar las siguientes políticas y legislaciones relacionadas con bioproductos:

La **Estrategia Industrial Europea**⁶ tenía como objetivo incrementar la contribución de la industria al PIB de la UE al 20 % en 2020. Uno de los aspectos a tener en cuenta son las Tecnologías Habilitadoras Clave (*Key Enabling Technologies*, KET) y sus materiales avanzados, donde aquellos polímeros biobasados destacan como área prioritaria, con un alto potencial de crecimiento futuro para hacer frente a los desafíos sociales.

La **Estrategia de Bioeconomía Europea**⁷ tiene como principal objetivo que la economía europea se oriente a un uso sostenible de los recursos renovables. Además, fomenta el desarrollo de mercados y de la competitividad en los sectores de la bioeconomía, en el aumento de la sostenibilidad de la producción primaria y en las biorrefinerías (conversión de los residuos en productos de valor añadido) y en la mejora de la producción y la eficiencia de los recursos. Sus puntos clave son:

- Garantizar la seguridad alimentaria y nutricional.
- Gestión sostenible de los recursos naturales.
- Reducir la dependencia de recursos no renovables e insostenibles.
- Limitar y adaptarse al cambio climático.
- Reforzar la competitividad europea y crear empleo.

La **iniciativa para una Europa eficiente en el uso de los recursos**,⁸ dentro de la Estrategia Europea 2020, apoya la transición hacia una economía baja en carbono, eficiente en recursos para conseguir un crecimiento sostenible.



⁶ https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/europe-fit-digital-age/european-industrial-strategy_en

⁷ European Commission, Directorate-General for Research and Innovation, A sustainable bioeconomy for Europe – Strengthening the connection between economy, society and the environment – Updated bioeconomy strategy, Publications Office, 2018, <https://data.europa.eu/doi/10.2777/792130>

⁸ Communication from the commission to the European Parliament, the council, The European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. A resource-efficient Europe – Flagship initiative under the Europe 2020 Strategy. COM/2011/0021 final. Bruselas, 26.1.2011 COM(2011) 21 final

Bioeconomía

Conjunto de actividades económicas que obtienen productos y servicios, generando valor económico, utilizando, como elementos fundamentales los recursos de origen biológico, de manera eficiente y sostenible.

Biomasa

Toda materia orgánica susceptible de ser transformada en bioenergía o bioproductos.

El **Plan de Economía Circular**⁹ establece el vínculo entre bioeconomía y economía circular. En él se expresa el compromiso explícito de evaluar los plásticos de origen biológico con el fin de determinar los supuestos en los que produce beneficios ambientales adicionales a los propios de la reducción en la utilización de recursos fósiles. Tiene como objetivo el garantizar la sostenibilidad de los biomateriales renovables, en particular mediante las iniciativas previstas en la Estrategia de Bioeconomía y el correspondiente Plan de Acción.

La **Estrategia Europea de los plásticos para una Economía circular**,¹⁰ incide en el desarrollo de materiales alternativos para la producción de plásticos, siempre que sean más sostenibles en comparación con las alternativas no renovables, definiendo la necesidad de crear mercados viables para los plásticos reciclados y renovables. Destaca que el incremento de estos materiales contribuiría a reducir la dependencia de los combustibles fósiles.

La Comisión Europea adoptó el 27 de noviembre de 2025 un nuevo **Marco Estratégico para una Bioeconomía de la UE Competitiva y Sostenible** (COM(2025) 960), con el objetivo de acelerar la sustitución progresiva de materiales y productos de origen fósil por recursos biológicos sostenibles —procedentes tanto de la tierra como del mar—. La Estrategia persigue impulsar una economía más circular, descarbonizada y resiliente, reforzando al mismo tiempo la autonomía estratégica y reduciendo la dependencia de materias primas fósiles e importadas.

El nuevo marco sitúa a los **materiales y productos biobasados**, incluidos los **biopolímeros** y **bioplásticos**, como uno de los ámbitos prioritarios de actuación, al considerarlos elementos clave para la transformación de sectores industriales intensivos en materiales. En este contexto, la Estrategia reconoce el potencial de los biopolímeros para contribuir a la desfosilización de la industria, siempre que su desarrollo y despliegue se base en criterios claros de sostenibilidad, eficiencia en el uso de recursos y enfoque de ciclo de vida completo.

⁹ Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones “Nuevo Plan de acción para la economía circular por una Europa más limpia y más competitiva” Document 52020DC0098

¹⁰ Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, The European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions “A European Strategy for Plastics in a Circular Economy” COM/2018/028 final. Document 52018DC0028



Para ello, el plan pone el foco en cuatro líneas de acción principales. En primer lugar, **escalar la innovación y la inversión** para facilitar el paso de las soluciones biobasadas del laboratorio al mercado, mediante un entorno regulatorio más claro, predecible y ágil. Esto resulta especialmente relevante para los biopolímeros, cuyo despliegue industrial requiere tanto de avances tecnológicos como de señales regulatorias estables que favorezcan la inversión y el escalado de capacidades productivas.

En segundo lugar, la Estrategia apuesta por **crear mercados líderes para materiales y tecnologías biobasadas**, entre los que se incluyen explícitamente los bioplásticos, junto con otros materiales como textiles sostenibles, bioquímicos o productos de construcción. En este marco se plantea la creación de una **Bio-based Europe Alliance**, orientada a agregar demanda y facilitar la adopción de soluciones biobasadas en el mercado, contribuyendo así a mejorar su competitividad frente a las alternativas de origen fósil.

En tercer lugar, se subraya la necesidad de **asegurar un suministro sostenible de biomasa**, promoviendo la circularidad y el uso en cascada de los recursos biológicos. Este enfoque es particularmente relevante para los biopolímeros, ya que pone el acento en la utilización

de materias primas sostenibles, subproductos y residuos, así como en la coherencia entre las políticas de bioeconomía, economía circular y gestión de residuos. La Estrategia refuerza además el papel de agricultores y silvicultores dentro de estas cadenas de valor, mediante incentivos vinculados a la protección de suelos, sumideros de carbono y recursos hídricos.

Por último, el marco estratégico plantea **aprovechar las oportunidades globales** de la bioeconomía mediante asociaciones internacionales y un mejor acceso a los mercados, evitando nuevas dependencias de una única región o recurso. En el caso de los biopolímeros, esta dimensión internacional resulta clave tanto para el aseguramiento de materias primas sostenibles como para el posicionamiento industrial y tecnológico en un contexto de creciente competencia global.

En conjunto, la nueva Estrategia de Bioeconomía establece un marco de referencia para el desarrollo de los biopolímeros como parte integrante de una transición industrial basada en materiales renovables, subrayando la importancia de combinar innovación, sostenibilidad verificable y coherencia regulatoria para maximizar su contribución a los objetivos climáticos, industriales y de circularidad.¹¹

De origen biológico

Plástico procedente de biomasa (fuentes sostenibles). Debe cumplir criterios de sostenibilidad, indicar su contenido biobasado e indicarse mediante etiquetado certificado.

Biodegradable

Material que se descompone por acción biológica en condiciones concretas, no debe desecharse como basura. Debe especificarse el entorno (compostaje, suelo, agua) y comunicarse claramente en su etiquetado.

Compostable

Son plásticos biodegradables que se descomponen en condiciones de compostaje. El etiquetado debe indicar si es industrial o doméstico y cómo desecharlo correctamente.

El marco regulatorio establece que un producto debe estar correctamente etiquetado y que las etiquetas deben ser otorgadas por organismos de certificación reconocidas e imparciales, que a su vez trabajan de la mano de laboratorios reconocidos y acreditados para realizar los estudios correspondientes y poder garantizar que efectivamente el producto es «de origen biológico», «biodegradable» o «compostable». Estos productos deben cumplir con las siguientes definiciones/condiciones fundamentales:

El término **«de origen biológico»** indica que el origen del plástico proviene de biomasa, y que ésta procede de fuentes sostenibles y que no perjudican al medio ambiente. Esto quiere decir que el origen de estos plásticos debe cumplir los criterios de sostenibilidad. Además, se sugiere que el término se utilice especificando la proporción exacta y medible de plástico de origen biológico que contiene el producto.

Respecto al uso del término **«biodegradable»**, es preciso que se comunique con claridad que estos productos no deben desecharse como basura y que se especifique el medio en el que estos productos tienen la capacidad para biodegradarse, considerando que existen diversos medios de biodegradación controlados (compostaje, digestión anaerobia) y abiertos (suelo, agua dulce o marina).

El uso del término **«compostable»** en el etiquetado debe limitarse a los plásticos que cumplan las normas pertinentes. Las etiquetas deben informar claramente si se trata de un compostaje industrial o doméstico. Se sugiere que las etiquetas de los productos compostables incorporen un esquema que indique la forma en que los artículos deben eliminarse.

A nivel nacional, España cuenta con una **estrategia nacional de bioeconomía**¹² que fue publicada en el año 2015 y tiene su horizonte en el 2030. Su objetivo es la producción y comercialización de alimentos, así como productos forestales, bioproductos y bioenergía, obtenidos mediante transformaciones físicas, químicas, bioquímicas o biológicas de la materia orgánica no destinada al consumo humano o animal y que impliquen procesos respetuosos con el medio, así como el desarrollo de los entornos rurales.

A nivel autonómico, seis comunidades autónomas (Andalucía, Castilla y León, Cataluña, País Vasco, Cantabria y Castilla-La Mancha) tienen alguna estrategia o plan específico relativo a la bioeconomía. Además, otras comunidades están trabajando en estos temas, aunque no tengan un documento de estrategia concreta actualmente.

1.2 Oportunidades y retos

El empleo de polímeros biobasados es una oportunidad para el sector de los plásticos. Su relación con la reducción de gases de efecto invernadero, conlleva que su utilización produzca un menor impacto ambiental. Además, aumenta la sostenibilidad de los productos, al permitir reducir la dependencia de materias primas de origen fósil.

Sin embargo, se debe seguir avanzando para fomentar el uso de plásticos de origen biológico frente a los plásticos de origen fósil.

Hoy en día, los retos a los que se enfrentan los polímeros biobasados son numerosos:

- **Fomentar la producción** a partir de cultivos que no compitan con la producción de alimentos.
- **Impulsar la fabricación a partir de residuos agrícolas** y de la industria agroalimentaria, reduciendo así su impacto ambiental. En este sentido, es clave mejorar la eficiencia de los procesos.
- **Reducir los costes de producción** para hacerlos más competitivos frente a los plásticos convencionales, manteniendo las mismas funcionalidades.

- **Desarrollar nuevas biorrefinerías y aumentar la capacidad de producción global.**
- **Promover la investigación** que responda a las necesidades del sector en aplicaciones de mayor valor añadido.
- **Evidenciar su valor ambiental** mediante herramientas como el **análisis de ciclo de vida**.
- Establecer un sistema de **etiquetado claro y veraz** sobre la naturaleza de los polímeros biobasados y su contenido en los productos (porcentaje de material biobasado).
- Mejorar la **coherencia** y armonización entre las políticas nacionales y la **normativa de la Unión Europea**.
- **Estimular la demanda de productos de origen biológico y aumentar el conocimiento público** sobre sus beneficios.
- **Garantizar el acceso a biomasa sostenible**, aplicando el principio de uso en cascada.





Producción de plásticos biobasados a partir de cultivos que no supongan una competencia con la alimentación

El limitado acceso a materias primas que sean competitivas desde el punto de vista del coste es una de las principales barreras para una economía de escala. La disponibilidad de dichas materias primas puede estar limitada por diversos factores. Por un lado, porque la alimentación humana y animal es prioritaria al empleo de biomasa en la industria y, por otro, las fluctuaciones estacionales unidas a la dependencia climatológica, que hacen que exista una variabilidad de costes por la cantidad y calidad de biomasa disponible.

Aunque la biomasa se puede utilizar para muchas aplicaciones, se estima que no habrá suficiente para cubrir todas las necesidades futuras. La Comisión Europea predijo en 2022 una brecha del 40-70 % para 2050¹³ entre la oferta y la demanda de biomasa para alimentos, materiales y energía en Europa. Uno de los obstáculos que dificultan que los polímeros biobasados puedan ser competitivos es el hecho de que existan políticas de incentivos al combustible (derivadas de la revisión de la Ley de Fiscalidad Energética Directiva) que impulsan la biomasa hacia la producción de biocombustibles, en lugar de su empleo para otros fines, como la producción

de polímeros biobasados¹⁴. Aunque también hay políticas que pueden favorecer la balanza hacia estos últimos, tales como la estrategia forestal europea para 2030 en la que la Comisión Europea propuso integrar el “principio en cascada del uso de la biomasa” en Europa, o los planes de apoyo nacionales, que incentivarían y darían prioridad al empleo de biomasa para la fabricación de nuevos materiales (incluidos los polímeros biobasados) frente a la generación de energía.

Actualmente, la producción de plásticos de origen renovable, es decir, a partir de la biomasa, incluyendo los bioatribuidos, es de un 0,73 % de la producción de plásticos global (413,8 Mt), con 3 Mt producidas en 2023. El coste de los mismos, la falta de herramientas normalizadas para evaluar su sostenibilidad, el marco regulatorio, el uso de etiquetas u otros criterios de certificación, son factores limitantes para potenciar la producción de polímeros biobasados. Sin embargo, con incentivos adecuados, tanto económicos como regulatorios, se podría duplicar la demanda de este tipo de materiales en cada década, pasando a 2,7 Mt en 2030 (CAGR de 8,5 %) y 11,4 Mt en 2050 (7,5 % CAGR).^{15, 16}

¹³ European Commission. (2022). Biobased plastic: sustainable sourcing and content: final report. Publications Office of the European Union. <https://data.europa.eu/doi/10.2779/668096>

¹⁴ European Commission. (2021, July 14). Revision of the Energy Taxation Directive (ETD): Questions and Answers. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/qanda_21_3662

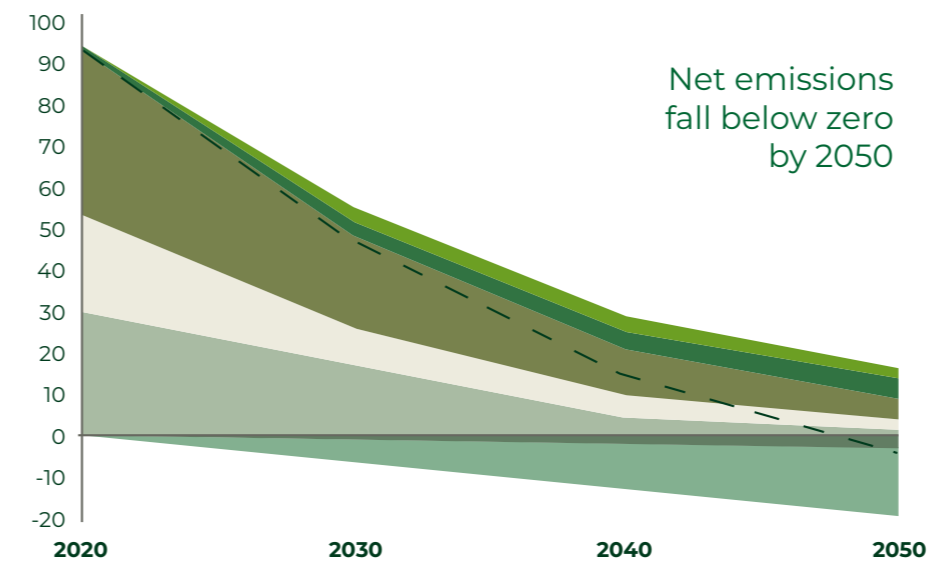
¹⁵ SYSTEMIQ (2022). ReShaping Plastics: Pathways to a Circular, Climate Neutral Plastics System in Europe.

¹⁶ <https://plasticseurope.org/wp-content/uploads/2022/04/SYSTEMIQ-ReShapingPlastics-April2022.pdf>

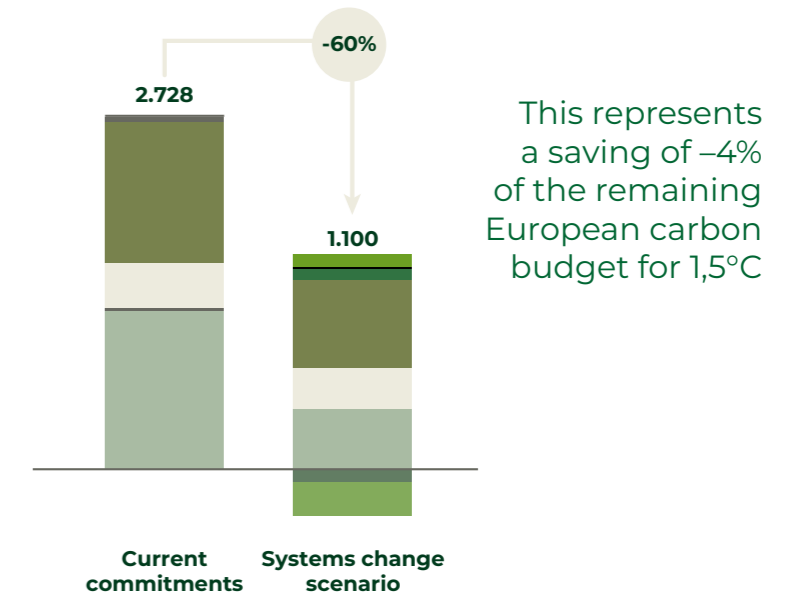
El empleo de biomasa como materia prima, implica cambiar la fuente de carbono del plástico fabricado a partir de fuentes fósiles, a formas sostenibles procedentes de la biomasa. En la selección de dicha biomasa, hay diversos aspectos relevantes a tener en cuenta, como evitar la competencia con la cadena alimentaria, la dependencia de una economía ineficiente y generadora de residuos y evitar riesgos geopolíticos. El potencial estimado para la biomasa bajo un escenario de cero emisiones netas es aproximadamente de 7 Mt (14 % de los plásticos). Se estima que hay entre 1 y 1,3 exajulios de biomasa sostenible apta para su uso por parte de la industria europea y que el plástico se considera uno de los cuatro sectores para los que debería reasignarse la biomasa. De este total, la biomasa leñosa ha sido seleccionada por ser transportable y densa en carbono, no entrando en competencia con la cadena de suministro alimentaria. Esta estrategia reduce las emisiones de carbono acumulativas, como muestra la siguiente figura (Figura 2) con el objetivo de conseguir un 60 % de reducción de GEI en el periodo entre 2020 y 2050.¹⁷

Figura 2. Escenarios donde se plantea la traslación de la producción fósil a la de fuentes de materias primas alternativas que permitirá conseguir cero emisiones de GEI en 2050

Net Zero Scenario Annual GHG Emissions (Mt CO₂e / year)



Cumulative emissions (Mt CO₂e)



- Reduction
- Mechanical recycling
- Virgin fossil production
- Collection and sorting
- CO₂ + H₂ --- Emisiones netas
- Substitution
- Chemical recycling
- Polymerisation and conversion
- Disposal
- Biomasa

17 <https://plasticseurope.org/wp-content/uploads/2022/04/SYSTEMIQ-ReShapingPlastics-April2022.pdf>

Sigue existiendo preocupación respecto a los impactos en la sostenibilidad del uso de cultivos de primera generación (alimentación humana o animal) para otras aplicaciones distintas y, abriendo el debate entre alimentos y combustibles. Por ello, se plantea como alternativa, el empleo de cultivos de segunda y tercera generación (véase sección 3.3), aunque diversos estudios muestran que los cultivos alimentarios a menudo presentan una alta eficiencia de la tierra, y ofrecen beneficios adicionales pues permiten obtener subproductos (que también podrían usarse para productos químicos) y que pueden actuar como un amortiguador en épocas de malas cosechas. Estos

cultivos suelen aportar más biomasa por hectárea que otras materias primas renovables, y su competencia para tierras cultivables se ve contrarrestada por la excelente eficiencia, habiendo un margen para ampliar las oportunidades para la obtención de productos de alto valor sin comprometer las necesidades alimentarias mundiales.

Es importante tener en cuenta en este sentido la necesidad de tener criterios claros en la legislación agrícola de la UE, para saber establecer qué y cuántos de estos desechos pueden utilizarse y a qué precios, en particular sin perjudicar al impacto en otros mercados. Un acercamiento para conseguir la armonización con el concepto

de economía circular con el sistema de gestión de residuos, en particular la Directiva marco sobre residuos, podría aumentar la disponibilidad de desechos y residuos como materias primas donde la bioeconomía circular se integre en el modelo productivo europeo.

Por ello, es interesante seguir investigando nuevas oportunidades de materias primas ya que, dentro de la agricultura, más de la mitad de la cosecha mundial de masa seca está formada por residuos agrícolas y biomasa no comestible, como paja de cereales y leguminosas; brotes de tubérculos, aceites y azúcares; tallos de cultivos vegetales, hojas y brotes; y podas de árboles frutales y nogales. La principal barrera para aumentar el uso de productos agrícolas y residuos forestales, son los costes asociados con la adaptación de la logística de cosecha que, a menudo, es superior que los costes de materiales fósiles primarios. Además, los residuos son un importante factor para la calidad del suelo y la necesidad de permanecer en el campo en cierta medida para evitar el agotamiento de nutrientes. Por ello, deben desarrollarse sistemas locales de biorrefinería que inteligentemente acerquen el suministro de residuos y la demanda de materiales, ya que la amplia dispersión de residuos no es apropiada para las economías de escala de las industrias petroleras existentes.¹⁸





Producción de polímeros biobasados a partir de residuos de cultivos y de la industria agroalimentaria, que reduzcan su impacto ambiental

Aunque el uso de tierra relacionado con la producción de polímeros biobasados es muy baja¹⁹ (0,021 % del área global agrícola en 2023, con una previsión del 0,073 % en 2028) y relacionado con el reto anterior, debemos incluir la potencialidad de producir polímeros biobasados empleando como fuente residuos, tanto de la agricultura como de la industria agroalimentaria, que permitan reducir el impacto ambiental gracias a un aumento de la eficiencia del proceso.

Una de las barreras más relevantes a tener en cuenta es la **disponibilidad de soluciones rentables** como materia prima, puesto que los costes de materiales determinan la viabilidad económica de la cadena de valor planteada. A esta situación, se suman varios aspectos a tener en cuenta:

- Los **costes de la materia prima en Europa** son generalmente más altos debido a varios factores: mayores costes de mano de obra y operación, condiciones climáticas y regulaciones.
- La **estacionalidad del cultivo de biomasa** conduce a una fluctuación natural de la disponibilidad y calidad

de la materia prima, lo cual supone un reto para los requisitos continuos de los procesos industriales.

- Además, la **recogida, almacenamiento y distribución** de biomasa aún están en niveles de desarrollo. El carácter local del suministro de biomasa y el costoso transporte de larga distancia requiere de soluciones innovadoras, así como de soluciones locales.
- Las empresas también consideran el **espacio** como un requisito problemático para una bioeconomía a gran escala, en tiempos donde la tierra se considera cada vez más un recurso limitado, lo que está relacionado con el reto mencionado anteriormente de competencia con la cadena alimentaria.

Un aumento del rendimiento de producción de biomasa existente sería una solución para aumentar la disponibilidad de la misma, evitando una demanda adicional de uso de la tierra. Ya en 2009, el Foro de Expertos de Alto Nivel de la FAO²⁰ afirmó que “el potencial para aumentar el rendimiento de los cultivos incluso con las tecnologías existentes parece considerable”.

¹⁹ <https://www.european-bioplastics.org/>

²⁰ How to Feed the World in 2050. http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert_paper/How_to_Feed_the_World_in_2050.pdf

Se pueden citar aquí dos campos tecnológicos que producirían un aumento de eficiencia:

1. **Organismos genéticamente modificados** (OGM), o cultivos en este caso, que brindan oportunidades para mejorar la productividad y la calidad de los cultivos para una mayor eficiencia de la tierra, en combinación con una mayor sostenibilidad. Los OGM son un tema controvertido en cuanto a los efectos a largo plazo, y en algunos campos de aplicación podrían considerarse particularmente críticos.
2. Aplicación de mayores conocimientos y tecnologías más modernas en el campo de la **agricultura de precisión y alta tecnología**, como la inteligencia artificial, los robots y los drones, pueden apoyar una transformación agrícola hacia mayores rendimientos con menor consumo de recursos. En su caso, la agricultura vertical es una alternativa que pueda ofrecer la producción agrícola en o cerca de ciudades, utilizando suelo urbanizado. Existen también estudios que indican que se debería fomentar las prácticas agrícolas como los cultivos intercalados, para reducir la erosión del suelo y mejorar su fertilidad, mantener o mejorar la eficiencia agrícola y los rendimientos. Además, estos cultivos brindan a los agricultores flexibilidad para decidir qué cultivar cada año en función de la evolución de los precios, lo que les permitirá adaptarse a la legislación agrícola liberalizada de la UE.



Para **desarrollar y establecer nuevas fuentes de materias primas**, se pueden seguir las siguientes acciones:

- **Emplear biomasa seca** que no sea comestible y que esté compuesta de residuos de la agricultura.
- Utilizar la fracción orgánica procedente de residuos alimentarios que está formando parte de los **residuos sólidos urbanos**. Contiene una gran cantidad de materiales fermentables y aunque una de las dificultades es que se encuentran en combinación con otros que no lo son, su separación es factible.
- Hacer uso de **biomasa lignocelulósica**, cuya cantidad es muy relevante.
- Emplear **corrientes marinas**. Los océanos ofrecen grandes oportunidades para abordar, como en el caso de los residuos lignocelulósicos, una bioeconomía en cascada. Incluyen, por ejemplo, el uso de descartes pesqueros (~40 % de pescado capturado), biorrefinerías y cultivos de algas, nuevos productos desarrollados a partir de medusas, nuevos fármacos procedentes de ecosistemas marinos, etc.

También es necesario empoderar a los productores primarios, permitiendo que tomen decisiones sobre el aprovechamiento de sus residuos y que estén involucrados activamente como partes interesadas, al mismo

tiempo que se garantice la percepción de un precio justo por la recogida de residuos que podrían ser utilizados como materia prima de 3ª generación.

Es necesario potenciar la investigación y desarrollo enfocados hacia el uso en cascada y la utilización de flujos de residuos que actualmente no están siendo utilizados.

Muchos proyectos de I+D financiados por la UE han abordado dichos flujos.

Si en el futuro, la demanda de biocombustibles comienza a disminuir gradualmente a medida que avanza la descarbonización del transporte, la materia prima que actualmente se está dirigiendo a este uso, estaría disponible

para aumentar el suministro de biomasa sin necesidad de más tierras cultivables.

Tal como se ha comentado anteriormente, en comparación con las materias primas fósiles, la logística de los productos de base biológica es más exigente y por ello, para incrementar la eficiencia de las cadenas de suministro de biomasa, hay que considerar que es necesario mejorar en Europa la recogida, el almacenamiento y el transporte de biomasa. Un ejemplo de una logística bien establecida entre la industria forestal y la recogida de paja es la planteada en Dinamarca, que podría ofrecer ideas y aprendizajes.²¹ La digitalización ayudará a conseguir que las cadenas de suministro de biomasa sean más eficientes, especialmente mediante mejoras en cuanto a la información relacionada con las materias primas, en la distribución y garantizando un suministro continuo de materia prima.

Uno de los objetivos a definir puede ser el establecimiento de una plataforma para proveedores de materias primas, socios logísticos y consumidores (en este caso la industria química) para optimizar el uso de las materias primas, para un uso más eficiente de los recursos.





Reducción de precios de los polímeros biobasados, que los haga más competitivos, frente a los plásticos convencionales con las mismas funcionalidades

Al comparar los productos químicos de base biológica con sus homólogos de origen fósil, la barrera clave típica es el mayor coste de producción para la opción de base biológica. Esta falta de competitividad de costes es el resultado de algunas de las barreras o retos mencionados anteriormente y supone una limitación crítica para la industria química. Si un producto químico de base biológica tiene una contrapartida de origen fósil más económica, es necesario disponer de razones claras y específicas para seguir optando por generar o fabricar u obtener productos de base biológica. Por ello, es necesario mostrar los claros beneficios de apostar por ellos para que pueda conseguirse una transición real hacia los polímeros biobasados.

Los expertos del Grupo de Productos de Base Biológica publicaron 15 recomendaciones ya en 2016 para conseguir una mayor adopción de estos productos,²² pero la implementación ha resultado difícil. Una alternativa podría ser establecer incentivos por los productos químicos y plásticos con bajas emisiones de gases de efecto invernadero o etiquetas específicas que indiquen la proporción de carbono de origen biológico en un producto.

Los *stakeholders* o partes interesadas se han mostrado en ocasiones críticos con estos instrumentos porque permiten aumentar artificialmente la competitividad de los productos o servicios apoyados, pero sólo mientras se proporciona dicha ayuda. En lo que la mayoría está de acuerdo es en que, para aumentar la competitividad de los productos de base biológica, son necesarias una investigación y un desarrollo continuos. En un mundo con objetivos políticos claros (reducir las emisiones de GEI, aumentar la sostenibilidad y la circularidad), los instrumentos de atracción del mercado pueden ser muy eficaces para dirigir la situación económica general hacia el cumplimiento de estos objetivos.

También se ha argumentado que algunos instrumentos de atracción del mercado son difíciles de implementar a nivel regional, como en la UE, debido a posibles desventajas en los mercados globales. Por ello, deberían ser implementados a escala global, algo que parece inalcanzable en el complicado entorno político actual.

Ejemplos de **instrumentos de atracción del mercado** que pueden ser interesantes y que se podrían utilizar para estimular el cambio hacia una industria química que utilice carbono renovable en lugar de carbono de origen fósil son los siguientes:²³

- Establecer objetivos de carbono renovable en productos *drop in* en la industria química y de los plásticos. En las mismas, los productos *drop-in* son aquellos que pueden sustituir directamente a los materiales convencionales sin necesidad de modificar los procesos de fabricación existentes.
- Promover que las empresas del sector químico e industrias de los plásticos compartan información anual sobre el porcentaje de carbono renovable utilizado en su producción.
- Elaboración de certificados y etiquetas armonizados que indiquen la proporción de carbono renovable.
- Créditos fiscales por la captura, el almacenamiento y la utilización de CO₂.
- Objetivos vinculantes para el uso de carbono renovable.

- Mercados bióticos comercializables (productores de productos químicos de base biológica) / los materiales reciben un *bioticket* y pueden ser vendidos o ser comercializados a los productores, quienes luego los utilizan para cumplir con sus objetivos de energía renovable.
- Contratación pública como parte de una política general de adquisición de productos sostenibles y respetuosos con el medio ambiente, o utilización de instrumentos más innovadores, como la Contratación Pública *Pre-Commercial*, la Contratación Pública de Soluciones Innovadoras, o la Contratación Pública Verde.
- Marcos regulatorios que promuevan e incentiven la fabricación de productos químicos y plásticos con bajas emisiones de gases de efecto invernadero.



²³ Carus, M., Raschka A. Renewable Carbon is Key to a Sustainable and Future-Oriented Chemical Industry. <http://news.bio-based.eu/renewable-carbon-is-key-to-a-sustainable-and-future-oriented-chemical-industry/>
DIN EN 16785-1:2016-03 Bio-based products - Bio-based content - Part 1: Determination of the bio-based content using the radiocarbon analysis and elemental analysis, German version EN 16785-1:2015



Desarrollo de nuevas biorrefinerías y aumento de la producción global de polímeros biobasados

En una biorrefinería, la biomasa se transforma en un espectro de productos valiosos tales como químicos, materiales, piensos y combustibles, electricidad y, como subproducto, calor. El concepto de biorrefinería implica utilizar la biomasa al máximo, pero también aplicar tecnologías específicas para aislar componentes, prevenir residuos y optimizar los aspectos logísticos y de la cadena de valor. La Comisión Europea ha alentado a las biorrefinerías a adoptar un enfoque en cascada que favorezca el mayor valor añadido y productos eficientes en el uso de recursos, por ejemplo, bioenergía²⁴.

El Consorcio de Bioindustrias (BIC) y Nova-Institute crearon un mapa que recoge las 224 biorefinerías existentes en Europa en 2017²⁵.

Las biorrefinerías se desarrollan con la intención de procesar materias primas diversas, incluidas recursos agrícolas, forestales y de biomasa marina. Una biorrefi-

nería ideal podría procesar una amplia gama de biomasa en un espectro de productos y energía comercializables, como piensos, fibras, productos químicos, fertilizantes, biocombustibles o energía en forma de electricidad y calor. Si se consigue una alta integración, las fuentes disponibles de biomasa podrán utilizarse de forma más eficaz.

Numerosos proyectos centrados en biorrefinerías se han abordado y se están desarrollando, siendo una línea potencial que debe seguir aumentando en capacidades. Implican un papel clave para ofrecer una variedad de productos de origen biológico a la industria química y al mismo tiempo, brindar la oportunidad de unir los principios de la economía bio y circular, especialmente cuando se utilizan materias primas de segunda y tercera generación.

²⁴ European Environmental Agency (EEA) (2021). *Growth without economic growth*.

²⁵ Bio-based industries Consortium. Annual Report 2017. https://biconsortium.eu/sites/biconsortium.eu/files/publications/BIC_Annual_Report_2017_web.pdf#:~:text=For%20the%20first%20time%20the%20European%20biorefineries,more%20visible%20on%20the%20new%20biorefinery%20poster.&text=BIC's%20mission%20is%20to%20build%20innovative%20bio%2Dbased,to%20accelerate%20market%20acceptance%20of%20bio%2Dbased%20products

Investigación en nuevos plásticos biobasados que cubran las necesidades del sector para aplicaciones de mayor valor añadido

Es necesario seguir trabajando tanto en el desarrollo de nuevos polímeros biobasados, como en la modificación de los existentes para dotarlos de mejores propiedades o en la mejora del rendimiento de los procesos asociados. Desarrollar la investigación y aplicarla al mercado permitirá que aumente su presencia en nuevas aplicaciones y se afiance en las ya existentes, como objetivo principal.

Un aspecto muy importante es la biotecnología, que, aunque actualmente es una realidad, en muchas ocasiones todavía requiere una verdadera implementación en el mercado, así como seguir trabajando para aumentar su eficiencia.

Es clave la investigación y la colaboración público–privada para alcanzar este objetivo.

Demostrar el valor ambiental de los plásticos biobasados a través de herramientas como el análisis de ciclo de vida

El Plan de Acción para la Economía Circular señala la necesidad de abordar la evaluación de los casos en los que el uso de materias primas de origen biológico produce auténticos beneficios medioambientales, que van más allá de la reducción del uso de recursos fósiles (emisión de gases de efecto invernadero y cambio climático). Esto implica también garantizar que el uso de materias primas de origen biológico no tenga repercusiones negativas en la biodiversidad, los ecosistemas o el uso de la tierra y el agua.

Es clave mostrar cuál es el impacto ambiental de un polímero bioplástico y si su uso implica una mejora ambiental respecto al material al que sustituye. Para ello se debe hacer una comparación ambiental veraz con herramientas adecuadas. El análisis de ciclo de vida (ACV) es una herramienta reconocida por la comunidad científica que permite de manera objetiva evaluar los impactos que tendrán cada uno de los productos sobre el medio ambiente durante todas sus etapas de vida. Entre los impactos que tiene en cuenta, cabe destacar el potenciamiento de calentamiento global, el potencial de acidificación y eutrofización, y la reducción de la capa de ozono o la toxicidad, entre otros.





Trabajar en un etiquetado veraz sobre la naturaleza de los plásticos biobasados y su contenido en los productos

En la nueva estrategia europea de bioeconomía,²⁶ se establece la necesidad de fortalecer y ampliar el sector de base biológica y, entre otras medidas, la promoción y el desarrollo de normas y etiquetas para la aceptación en el mercado de productos de base biológica, como la etiqueta ecológica de la UE o la contratación pública ecológica.

Es clave que a los consumidores les llegue una información veraz y a la vez entendible de los polímeros biobasados para que realmente haya una repercusión en el mercado y no se produzca un efecto *greenwashing* o blanqueo ecológico. Hay que tener en cuenta que en muchas ocasiones el consumidor tiene una comprensión limitada de la bioeconomía y que se tiende a simplificar para facilitar el concepto.

Las etiquetas son una herramienta que permite transmitir información clave a los consumidores y al público en general.

Existen etiquetas en el mercado de renovabilidad, aunque en general no son reconocidas por los ciudadanos, por ejemplo:

- La **certificación ISCC** (*International Sustainability Carbon Certification*) es aplicable a plásticos de origen renovable procedentes de producciones sostenibles de biomasa. Esta certificación, además del propio origen renovable, promueve los derechos humanos, laborales y de la tierra, así como las buenas prácticas para su gestión; asegura una cadena de suministro libre de deforestación y la protección de tierras con biodiversidad y stock de carbono. Además, proporciona la metodología para verificar las emisiones de gases de efecto invernadero y las reducciones de emisiones.
- La **certificación DIN Geprüft biobased** de DIN CertCo y la **biobased** de la NEN son aplicables a productos fabricados total o parcialmente (al menos un 20 %) a partir de recursos renovables. Hay tres rangos (biobasado 20–50 %; biobasado 50–85 % y biobasado >85 %). En ella se determina el contenido de ¹⁴C de los productos según la norma DIN EN 16785–1.²⁷
- La **certificación biobased** de NEN es similar a la DIN CertCo anterior y además realiza un análisis elemental (carbono, nitrógeno, oxígeno e hidrógeno) de los materiales.

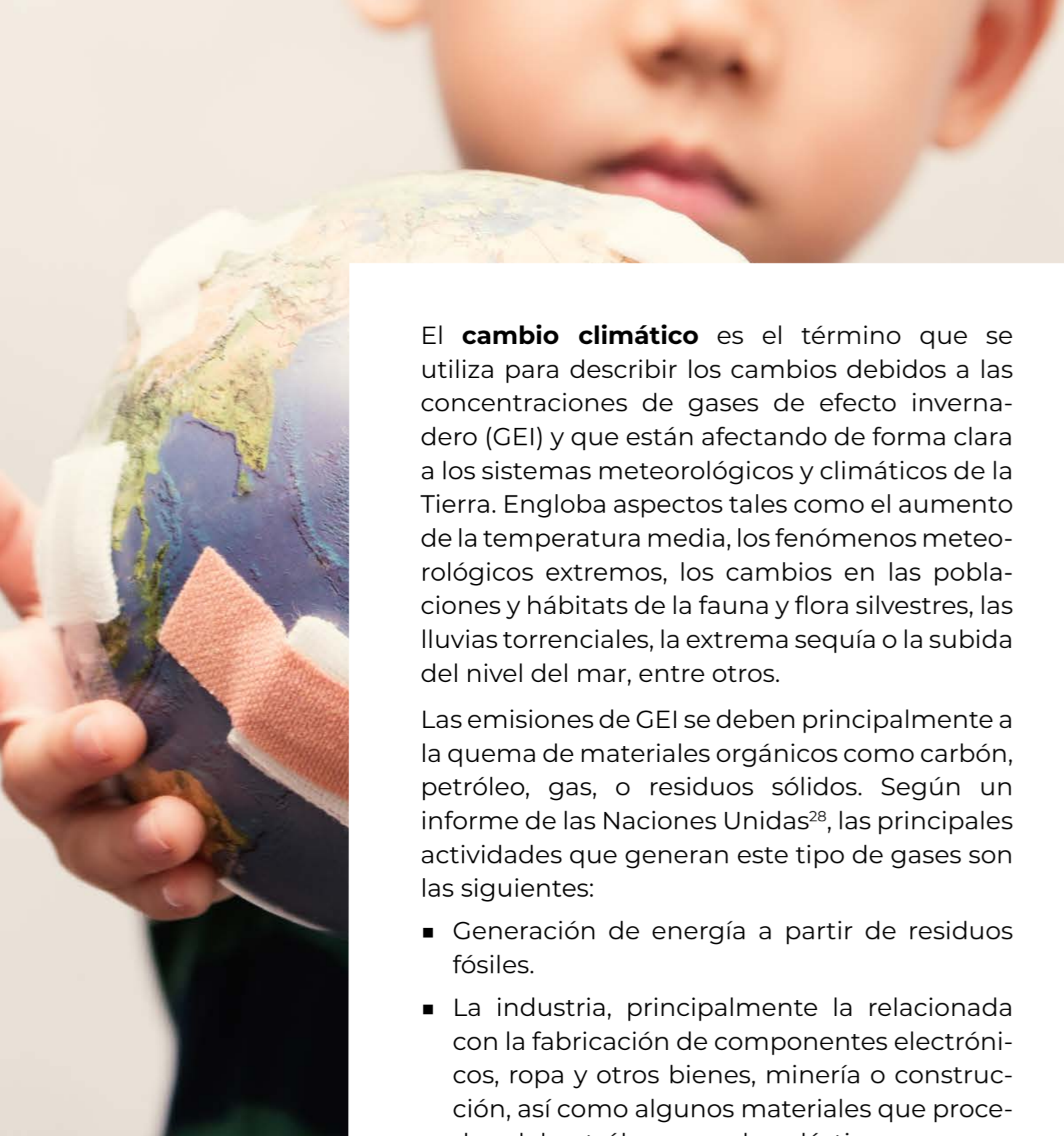
Se requiere por tanto trabajar en el desarrollo de etiquetas y seguir con la educación, formación y sensibilización del consumidor.

²⁶ https://roadtobio.eu/uploads/publications/deliverables/RoadToBio_D22_Public_perception_of_bio-based_products.pdf

²⁷ DIN EN 16785-1:2016-03 Bio-based products - Bio-based content - Part 1: Determination of the bio-based content using the radiocarbon analysis and elemental analysis, German version EN 16785-1:2015

Contribución de los plásticos biobasados a la circularidad y la neutralidad climática





El **cambio climático** es el término que se utiliza para describir los cambios debidos a las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) y que están afectando de forma clara a los sistemas meteorológicos y climáticos de la Tierra. Engloba aspectos tales como el aumento de la temperatura media, los fenómenos meteorológicos extremos, los cambios en las poblaciones y hábitats de la fauna y flora silvestres, las lluvias torrenciales, la extrema sequía o la subida del nivel del mar, entre otros.

Las emisiones de GEI se deben principalmente a la quema de materiales orgánicos como carbón, petróleo, gas, o residuos sólidos. Según un informe de las Naciones Unidas²⁸, las principales actividades que generan este tipo de gases son las siguientes:

- Generación de energía a partir de residuos fósiles.
- La industria, principalmente la relacionada con la fabricación de componentes electrónicos, ropa y otros bienes, minería o construcción, así como algunos materiales que proceden del petróleo como los plásticos.

- La tala de árboles, con un efecto doble, puesto que durante la tala se libera carbono almacenado y por la pérdida de la capacidad de los bosques de absorber CO₂.
- El transporte, debido a su funcionamiento mediante combustibles fósiles.
- La producción de alimentos, tanto por lo relacionado con la deforestación, como la roturación de tierras para la agricultura, el pastoreo, la alimentación del ganado bovino y ovino, la producción de fertilizantes, el abono utilizado para los cultivos, y el uso de energía fósil para el funcionamiento de los equipos de granjas o de los barcos pesqueros.
- La energía de los edificios comerciales y residenciales, que consumen más de la mitad de la electricidad total, que se acrecienta con la alta demanda de calefacción y climatización.

En general, el consumo excesivo y no responsable hace que estos aspectos sean aún más críticos.

En este entorno, es necesario un cambio y el sector de los plásticos no debe ser ajeno al mismo. Debe seguir trabajando en la circularidad y en la neutralidad climática, alcanzando su objetivo de cero emisiones netas de gases de efecto invernadero (GEI), puesto que la circularidad es la palanca más importante para reducir dichas emisiones o para su reducción. Las acciones para conseguirlo pasan por:

- Mayor eficiencia energética y electrificación de los procesos.
- Disponibilidad de combustibles y materias primas bajos en carbono.
- Disponibilidad de electricidad baja en carbono para su empleo.
- Captura, almacenamiento y uso de carbono.

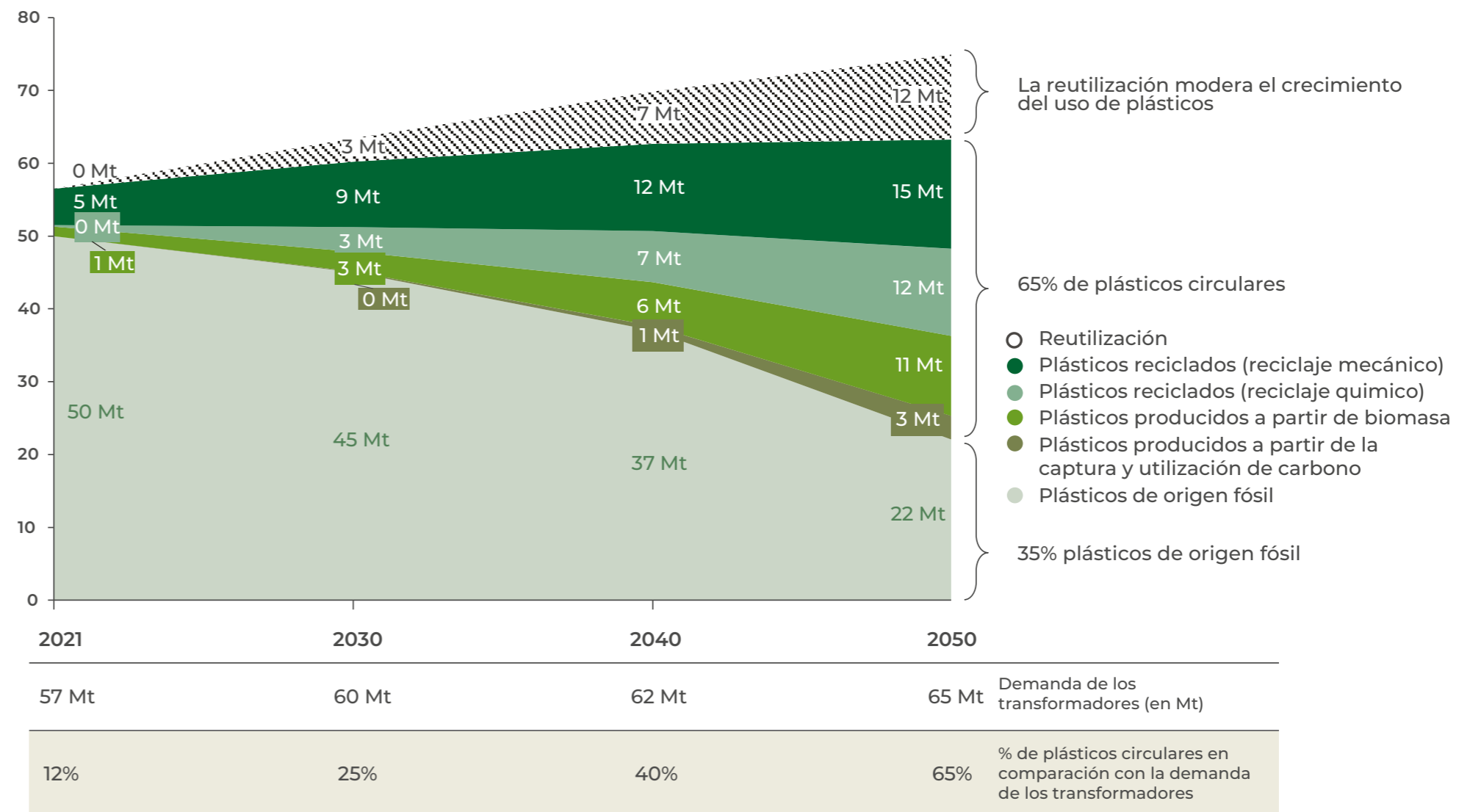
- Estos aspectos están relacionados con la facilidad en el acceso a estas energías, al establecimiento de igualdad de condiciones con competidores globales, la propia reducción de las emisiones de GEI en la transformación de materiales plásticos y el incremento del reciclado de residuos plásticos frente a la incineración y/o el vertedero. Estos aspectos incidirán también en la circularidad, recuperando los residuos como recursos introduciéndoles otra vez en el ciclo productivo.

El informe independiente *ReShaping Plastics* aporta una perspectiva independiente sobre la transición a las emisiones netas de carbono cero de la UE y los objetivos de circularidad para 2050. En él se plantean un conjunto de medidas que incluyen recomendaciones para ayudar a la cadena de valor del plástico a su consecución.

En este sentido, Plastics Europe y sus miembros reconocen la gravedad de la crisis climática, el desafío de la transición del plástico y que un cambio sistémico más rápido es esencial para cumplir con éxito el objetivo de emisiones netas cero de la UE y objetivos de circularidad. Por ello han presentado *The Plastics Transition*, una hoja de ruta que permita facilitar la transición al ecosistema de los plásticos europeo, estableciendo los caminos más directos y viables dirigidos a conseguir la circularidad, integrado en un sistema que permita producir y disponer de plásticos climáticamente neutros en Europa.²⁹

En dicha hoja de ruta se recogen objetivos a medio y largo plazo, así como diversos indicadores que ayuden a monitorizar el progreso identificando obstáculos o limitaciones, al mismo tiempo que se plantean soluciones para seguir avanzando para conseguir los objetivos planteados, todo ello en un marco de circularidad para alcanzar la neutralidad climática (Figura 3).

Figura 3. Evolución de los plásticos circulares para reemplazar los plásticos fósiles con el apoyo de los decisores políticos y el aumento de la colaboración entre los diferentes agentes de la cadena de valor³³



²⁹ https://plasticseurope.org/wp-content/uploads/2023/11/1814354_Roadmap-copychange_112023.pdf

Los principales retos identificados en dicho estudio relacionados con la producción y el final de vida de los plásticos fueron:

- El primer desafío tiene que ver con el actual ciclo de vida de los plásticos, en el que todavía hay un camino por recorrer. Por ejemplo, el empleo de plásticos de un solo uso, en aplicaciones donde no son necesarios está siendo cada vez más examinado y controlado, mediante regulaciones como la Directiva de plásticos de un sólo uso (SUPD, de sus siglas en inglés). Normalmente, el problema medioambiental es debido en gran medida a la mala gestión de los residuos al final de su vida útil y/o a su abandono en entornos naturales. Además,



es necesario seguir trabajando en mejorar las tasas de recogida, clasificación y reciclado de residuos plásticos, así como incorporar cada vez más plásticos circulares a la economía europea.

- El segundo reto, está relacionado con la huella de carbono de los plásticos. La OCDE considera que 1.800 millones de toneladas de CO₂ o un 3,7 % de las emisiones globales se atribuyen a la cadena de ciclo de vida de los plásticos. En concreto, en la Unión Europea, la industria del plástico generó 175,1 Mt o el 4,9 % del total de 3,6 Gt de las emisiones de la UE en 2021.³⁰
- El tercer reto refleja las preocupaciones relacionadas con la salud y las contaminaciones en el medioambiente debido a malas gestiones a lo largo de la cadena de suministro, como puede ser el caso de los microplásticos.

Dentro de las potenciales acciones identificadas para ser abordadas por la industria, el empleo de la biomasa o el CO₂ como materias primas se incluyen tanto en las medidas planteadas en el marco temporal de corto plazo (2023–2027), indicando que es necesario crear nuevos modelos de negocio circulares que incorporen a los plásticos de esta procedencia, así como en las medidas a abordar a medio plazo (2028–2030), incluyendo el

aumento de la cooperación entre proveedores de fuentes de biomasa sostenibles para escalar los plásticos producidos a partir de biomasa, a la vez que se maximiza la eficiencia energética de los procesos de captura y uso de CO₂ para reducir las emisiones, incluyendo también sistemas de gestión de riesgos verificados por terceras partes para los aditivos de plásticos.

En cuanto a recomendaciones y acciones solicitadas hacia los decisores políticos y otros actores implicados en la cadena de valor de los plásticos, se describen del mismo modo, a corto plazo (2023–2027) el aporte de incentivos económicos para el empleo de la biomasa como materia prima y el respaldo necesario para alcanzar un equilibrio incorporando estos polímeros biobasados, así como la incorporación de sistemas de certificación y estándares para la búsqueda de materias primas de biomasa sostenibles. En cuanto al medio plazo (2028–2030), se plantea incrementar la calidad y cantidad de los residuos de biomasa recogidos para ser empleados como materias primas para producir polímeros biobasados y, por otro lado, el crear incentivos y un marco legal para la valorización de emisiones de CO₂ capturadas garantizando contratos a largo plazo para la producción de productos químicos básicos a partir del CO₂ capturado.

³⁰ European Parliament. (2022, December 13). Deal reached on new carbon leakage instrument to raise global climate ambition. Retrieved from European Parliament: <https://www.europarl.europa.eu/news/pt/pressroom/20221212IPR64509/deal-reached-on-new-carbon-leakage-instrument-to-raise-global-climate-ambition> Eurostat. (2022, December 21). EU economy emissions in 2021: -22% since 2008. Retrieved from ec.eurostat.eu: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/w/ddn-20221221-1>

Fuentes y materias primas para la fabricación de polímeros biobasados





Atendiendo a la definición de bioeconomía, hemos de tener en cuenta que el objetivo es utilizar los recursos biológicos, es decir, animales, plantas, microorganismos y biomasa derivada, incluidos los residuos orgánicos, para producir plásticos de origen biológico, que no compitan con la cadena alimentaria.

3.1 Tipos de biomasa (que no compiten con la cadena alimentaria)

Según la definición de biomasa, ésta puede ser de origen agrícola, forestal, ganadero, o provenir de industrias asociadas tales como la agroalimentaria, forestal, acuicultura, etc., sin olvidar la fracción orgánica de los residuos municipales.

La biomasa utilizada como materia prima para la producción de plásticos puede provenir de plantas de primera generación (caña de azúcar, cultivos de cereales, madera cultivada específicamente para dicha finalidad...), o de residuos orgánicos de segunda generación (aceite de cocina usado, bagazo, u otros) o incluso de tercera generación (algas, microalgas, etc.).

Los plásticos pueden ser producidos a partir de biomasa empleando tanto procesos segregados como procesos dedicados. Esto significa que se

pueden obtener tanto a partir de fuentes renovables como plantas y otros materiales orgánicos, en lugar de depender únicamente de combustibles fósiles como el petróleo, **plásticos biobasados**, como haciendo uso de sistemas de producción existentes interconectados que procesen biomasa junto con materia prima de origen fósil (balance de masa etiquetado como **plásticos “bioatribuidos”**); este proceso consistiría en combinar los sistemas de producción existentes con biomasa y materias primas de origen fósil mediante la integración de procesos termoquímicos y bioquímicos.

Es importante destacar que España es el tercer país europeo en potencial de biomasa. Cuenta con una capacidad, tal y como muestran los

datos publicados en estudio técnico de Evaluación del potencial de energía de la biomasa del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE)³¹ de más de 88 millones de toneladas anuales, considerando sólo la biomasa agrícola y forestal. Como referencia para apreciar la magnitud que suponen estos datos, en España se consumieron 8 millones de toneladas de biomasa con fines energéticos en 2006, lo que significa un orden de magnitud menor.

En cuanto a los tipos de biomasa existentes, hay diferentes tipos de clasificaciones. Una de ellas ampliamente utilizada en el sector divide la biomasa en natural, residual y aquella producida mediante cultivos energéticos. Según esta división:

³¹ Evaluación del Potencial de energía de la biomasa. IDAE.
http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_11227_e14_biomasa_A_8d51bf1c.pdf

Biomasa natural

La que se produce en la naturaleza sin intervención humana.

Biomasa residual

La que se centra en los residuos orgánicos producidos por la actividad humana. Por ejemplo, los residuos sólidos urbanos o los que provienen de actividades agrícolas, ganaderas o industriales. Ésta, a su vez, puede clasificarse en húmeda o seca.

Biomasa producida por cultivos energéticos

La que tiene como finalidad el aprovechamiento de energía y en los que se planta una especie concreta para maximizar la producción de materia viva.

Otra clasificación, según el Proyecto Nacional de Desarrollo de Educación Energética (NEED)³², establece cuatro tipos de biomasa diferente: la madera y productos agrícolas, los residuos sólidos, el biogás y los combustibles alcohólicos (como el etanol o el biodiesel).

Tal como puede comprobarse, diversas clasificaciones se están centrando en su aplicación como fuente de energía calorífica y como combustible, pero no en su uso con otros fines.

Según se indica en el manual sobre las biorrefinerías en España³³, las biomاسas pueden clasificarse según su procedencia en: agrícolas, forestales, ganaderas, industriales y domésticas (incluido HORECA³⁴):

- **Biomاسas agrícolas:** pueden a su vez ser clasificadas en:
 - **Cultivos:** especies herbáceas o leñosas producidas mediante las actividades de cultivo en terreno agrícola, cosecha y, en caso necesario, del procesado de las materias primas recolectadas. También se incluyen en este grupo los cultivos de algas, al producirse en medio acuoso.

– **Residuos de las actividades agrícolas:** biomasa residual originada durante el cultivo y primera transformación de productos agrícolas.

- **Biomاسas forestales:** pueden clasificarse en:

– **Cultivos:** especies principalmente leñosas producidas mediante las actividades de cultivo en terreno forestal, cosecha y, en caso necesario, del procesado de las materias primas recolectadas. También se consideran los productos forestales no madereros como las plantas aromáticas y medicinales, procedentes de recolección en sus hábitats naturales.

– **Aprovechamientos forestales:** biomasa originada como producto de las operaciones silvícolas en las masas forestales que precisen de permiso de corta o en su defecto plan de ordenación para su extracción.

– **Residuos forestales**³⁵: biomasa residual generada en la limpieza y en el mantenimiento de las masas forestales y los espacios verdes.

- **Biomاسas ganaderas:** son residuos orgánicos generados en las explotaciones ganaderas. Se trata principalmente de la mezcla de deyecciones y la cama de ganado, denominándose comúnmente según la especie de la que proceden en estiércol, purines y gallinaza.

³² https://www.need.org/wp-content/uploads/2022/01/BiomassAtAGlance_11x17.pdf; <https://www.need.org/>

³³ https://www.suschem-es.org/docum/pb/2017/publicaciones/Manual_de_Biorrefinerias_en_Espana_feb_2017.pdf

³⁴ HORECA: hoteles, restaurantes y catering.

³⁵ En la “Ley 21/2015, de 20 de julio, por la que se modifica la Ley 43/2003, de 21 de noviembre, de Montes” se considera la cadena de valor de la biomasa forestal, no existe la denominación ‘biomasa forestal residual’. Sí se encuentra la definición de “Aprovechamientos forestales” como “los maderables y leñosos, incluida la biomasa forestal, los de corcho, los de resina, pastos, caza, frutos, hongos, plantas aromáticas y medicinales, productos apícolas y los demás productos y servicios con valor de mercado característicos de los montes.

- **Biomasa industrial:** son los subproductos y residuos generados en los procesos productivos que tienen lugar en las industrias agrícola, forestal y alimentaria:
 - **Subproductos y residuos procedentes de instalaciones industriales del sector agroalimentario:** producción del aceite de oliva, procesamiento de cítricos, extracción de aceite de semillas, industria vinícola y alcoholera, conservera, cervecera, animal, producción de frutos secos y de arroz y procesamiento de algas, entre otras.
 - **Subproductos y residuos procedentes de instalaciones industriales del sector forestal:** industrias forestales de primera y segunda transformación (cortezas, serrerías, carpinterías, etc.), subproductos de la industria de la celulosa (lejías negras), procedentes de la recuperación de materiales lignocelulósicos (palés, materiales de construcción, muebles viejos, etc.).
- **Biomasa doméstica** (procedentes de residuos urbanos): es la fracción biodegradable de los residuos urbanos que se generan diariamente en todas las localidades. Además, se incluyen en esta categoría los lodos de depuradora, las aguas residuales y los residuos HORECA (aceites de fritura, etc.).

Actualmente, entre las alternativas de biomasa más prometedoras destaca la lignocelulósica, sobre todo si la finalidad es dirigirla hacia la producción de plásticos biobasados, sin olvidar la importancia de la utilización de la fracción orgánica de los residuos alimentarios y agroindustriales.



La biomasa lignocelulósica es de importancia crítica por los siguientes motivos:

- Es una materia prima abundante, renovable y neutra en carbono, que puede reducir las emisiones de CO₂. Esto también aplica a otros tipos de biomasa.
- Además, la celulosa, el componente principal de la biomasa lignocelulósica, se considera el candidato potencial más fuerte para reemplazar los polímeros a base de petróleo, debido a su capacidad de renovación, biocompatibilidad y biodegradabilidad.

Como describe la hoja de ruta *“The Plastics Transition”*, elaborada por Plastics Europe y sus empresas asociadas,³⁶ el aumento de la producción de plásticos a partir de biomasa es un camino importante para avanzar en la circularidad del sector, pero también puede tener importantes impactos ambientales. Puesto que el tipo de materia prima y sus condiciones de cultivo tienen impactos divergentes en el uso de la tierra y su productividad, proyectar la materia prima de biomasa para la producción de plásticos para 2050 requerirá promedios y supuestos que dependen, en gran medida, de las medidas políticas relacionadas. El modelo planteado se basa en datos de referencia sobre la biomasa necesaria para la producción de plásticos (EEA 2021³⁷, el uso de la tierra para

³⁶ <https://plasticseurope.org/changingplasticsforgood/the-plastics-transition/>

³⁷ European Environmental Agency (EEA), (2021). Growth without economic growth.

la producción de biomasa (análisis de Deloitte³⁸, 2023 y las ganancias de eficiencia a lo largo del tiempo (Escobar y Britz 2021)³⁹. Se estima una distribución del 50 % entre la biomasa de primera y segunda generación, teniendo en cuenta que una tonelada de plásticos generados a partir de biomasa de primera generación requiere unas 1,3 toneladas de biomasa o 0,15 ha de tierra. El modelo proyecta que el 50 % se producirá localmente para 2050. Se supone que la biomasa de segunda generación no tendrá impacto directo en el uso de la tierra. Para llevar a cabo este reto, de aquí a 2050 deberán obtenerse 5,7 Mt de plásticos a partir de biomasa de primera generación, lo que implica que para 2050 se necesitarían 8.749 km² o el 0,28 % de la tierra cultivable de la UE, teniendo en cuenta que el 50 % de la biomasa de primera generación se obtuviera localmente (análisis de Deloitte, 2023). La creación de un sistema de suministro de biomasa sostenible y resiliente que permita cumplir con estas expectativas requerirá la colaboración entre las partes interesadas a lo largo de toda la cadena de valor. Varios miembros de Plastics Europe se están asociando con productores de biomasa y coinvirtiéndose en desarrollos tecnológicos estas estrategias, pero también se plantean algunas cuestiones a los responsables políticos (Tabla 1).

Por otro lado, tal como hemos comentado previamente,

Tabla 1. Aspectos a solicitar a los decisores políticos para apoyar el empleo de biomasa sostenible como materia prima

<p>CORTO PLAZO 2026 – 2027</p>	<p>Hacer financieramente atractiva la utilización de biomasa de origen sostenible para producir plásticos Se pide a los responsables políticos establecer sistemas de incentivos que fomenten el uso de biomasa como materia prima.</p> <p>Respaldar el enfoque de balance de masas para plásticos con atribución biológica Se solicita respaldo legal al sistema que permite atribuir cantidades de biomasa en procesos con múltiples productos, especialmente donde haya alta demanda de plásticos bioatribuibles.</p> <p>Respaldar sistemas y estándares de certificación fiables para el abastecimiento sostenible de biomasa Se propone crear un marco legal obligatorio con criterios claros de sostenibilidad e incentivos para etiquetas y certificación verificada por terceros, fomentando el mercado europeo.</p> <p>Armonizar definiciones, requisitos y reportes sobre residuos orgánicos y subproductos en la UE Se pide establecer una política clara con definiciones y requisitos específicos para corrientes de biomasa usadas como materia prima.</p>
<p>MEDIO PLAZO 2028–2030</p>	<p>Mejorar la calidad y cantidad de biorresiduos recogidos, adecuados como materia prima para plásticos Se recomienda incentivar a hogares y empresas a clasificar residuos biológicos aptos para usarse como materias primas.</p>

³⁸ Deloitte analysis. (2023). Deloitte analysis based on SystemIQ (2022) and Plastics the Facts (2022).

³⁹ Neus Escobar, Wolfgang Britz. Metrics on the sustainability of region-specific bioplastics production, considering global land use change effects, Resources, Conservation and Recycling, Volume 167, 2021, 105345, ISSN 0921-3449, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105345>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344920306601>)

hemos de tener en cuenta también el empleo del CO₂ capturado para la producción de polímeros biobasados, como complemento en la estrategia definida de circularidad y emisiones cero netas. En la hoja de ruta “The Plastics Transition”, se planteó como objetivo producir 3,1 Mt de polímeros biobasados mediante el empleo de metanol obtenido a partir de CO₂ capturado y de hidrógeno con bajas emisiones de carbono. En este sentido, los volúmenes de producción son todavía reducidos. El escalado de estas tecnologías requiere cierto tiempo, investigación e interrelaciones de diferentes actores de la cadena de suministro y nuevamente, el apoyo de los decisores políticos será necesario para conseguir este propósito.



3.2 Residuos potenciales como materia prima

En sus inicios, la producción de polímeros biobasados empezó a llevarse a cabo a partir de fuentes renovables como el maíz, la caña de azúcar, las grasas y aceites usados. Sin embargo, el empleo de residuos con este fin ha presentado un creciente interés, sobre todo el empleo de residuos de biomasa lignocelulósica y aguas residuales, principalmente, al no ser cultivos alimentarios, que se generan en diferentes actividades de la agricultura y otras actividades agroindustriales.

Tal como se ha descrito en el apartado 3.1, la biomasa se deriva de material orgánico procedente de árboles, plantas, así como de residuos agrícolas y urbanos.

En cuanto a los **recursos de biomasa procedentes de la agricultura**,⁴⁰ la mayor parte de la biomasa producida por dicha aplicación en la UE se presenta en forma de biogás y como materia prima para producir biodiesel y bioetanol. El biodiesel se produce a partir de aceites vegetales y semillas oleaginosas, mientras que el bioetanol se produce principalmente a partir de cereales y remolacha azucarera de la UE. En la categoría de biogás

también se incluye la producción en pequeñas plantas municipales y en granjas a partir de residuos biológicos no agrícolas. Además, el monte bajo de rotación corta proporciona biomasa sólida, mientras que la agricultura también proporciona subproductos y residuos (como la paja) utilizados para bio-calor y bio-energía.

Los cultivos dedicados a energía de un modo directo, como los pastos perennes, la silvicultura y el monte bajo de rotación corta, proporcionan biomasa celulósica y lignocelulósica no alimentaria. Las plantaciones actuales son todavía muy limitadas, con excepción de Escandinavia y, en cierta medida, Italia. Por varias razones, se espera que se expandan los cultivos dedicados a energía.

Los pastos de biomasa, la silvicultura de rotación corta y el monte bajo de rotación corta tienen altos rendimientos energéticos, aproximadamente tres veces los de los cultivos energéticos tradicionales. Implican una menor presión ambiental y se pueden regar con aguas residuales⁴¹.

⁴⁰ https://agriculture.ec.europa.eu/sustainability/economic-sustainability/bioeconomy/agricultural-biomass_en

⁴¹ European Commission. Biomass resources in agriculture. https://agriculture.ec.europa.eu/cap-my-country/sustainability/economic-sustainability/bioeconomy/agricultural-biomass_en

Al hablar de la **conversión de la biomasa lignocelulósica en productos químicos y polímeros**, hay que tener en cuenta su potencial y los desafíos a abordar. La lignocelulosa ha evolucionado para resistir su degradación y esta propiedad inherente de los materiales lignocelulósicos los hace, por tanto, resistentes a la degradación enzimática y química. Por ello, para modificar las propiedades físicas y químicas de la matriz lignocelulósica, es esencial pretratarla, lo que suele ser un procedimiento costoso, tanto desde el punto de vista ambiental como económico.

Aunque los materiales lignocelulósicos son abundantes y generalmente de bajo precio, el desafío crucial en la conversión de la biomasa lignocelulósica es producir productos químicos de alto valor añadido con altas selectividades y rendimientos a costes económicos. Actualmente, se están llevando a cabo amplias investigaciones a nivel mundial para abordar este problema. Así, se han desarrollado biorrefinerías para refinar la biomasa, como ya se hizo en su momento con las petroquímicas para la producción de petróleo, pero en este caso para obtener

aceites y otras materias primas renovables, como las necesarias para obtener polímeros biobasados. Por ello, cada día aumenta más el número de proyectos piloto y plantas de demostración relacionados con las biorrefinerías.

Uno de los objetivos más importantes para que esta valorización sea viable es fraccionar la lignocelulosa en sus tres componentes principales: celulosa, hemicelulosa y lignina. Para ello, se han desarrollado diferentes pretratamientos para aumentar la accesibilidad y biodegradabilidad de estos componentes mediante procesos enzimáticos o químicos.

Una vez que estos componentes están aislados, los compuestos objetivo pueden obtenerse mediante procedimientos químico-catalíticos o microbianos. Por ello, los desarrollos futuros en la valorización de la biomasa lignocelulósica están directamente correlacionados con mejoras en los campos de la síntesis química y microbiana, y gracias a los recientes avances en estos campos, el número y diversidad de productos basados en biomasa lignocelulósica han aumentado rápidamente.



3.3 Biorrefinerías de 1ª, 2ª y 3ª generación

Tal como se describe en el manual sobre las biorrefinerías en España,⁴² el concepto biorrefinería es análogo al concepto convencional de la refinería de petróleo, es decir, una instalación dónde, mediante diversos procesos de transformación de la materia prima (biomasa), se genera bioenergía (calor, electricidad, biocombustibles) y un amplio espectro de bioproductos (materiales, productos químicos, alimentos y piensos). Para conseguir esta gama de productos, se requiere la integración de diferentes procesos y tecnologías en una misma instalación. Es importante diferenciar entre lo que tradicionalmente se ha conocido como bioindustria, de lo que es una biorrefinería. Mientras que en una bioindustria se producen uno o diversos bioproductos, pero no energía (más allá de la autoconsumida en sus propios procesos); en una biorrefinería, además de bioproductos, se producen biocombustibles y/o energía. Además, la biorrefinería debe llevar implícito un claro componente de utilización eficiente de los recursos, asegurando la sostenibilidad del proceso global. El concepto de biorrefinería lleva asociado procesos de valorización de biomasa.

Estos procesos variarán dependiendo de la biomasa utilizada y de los productos deseados, de manera que existirán distintos tipos de biorrefinería atendiendo a estos dos conceptos (Figura 4).

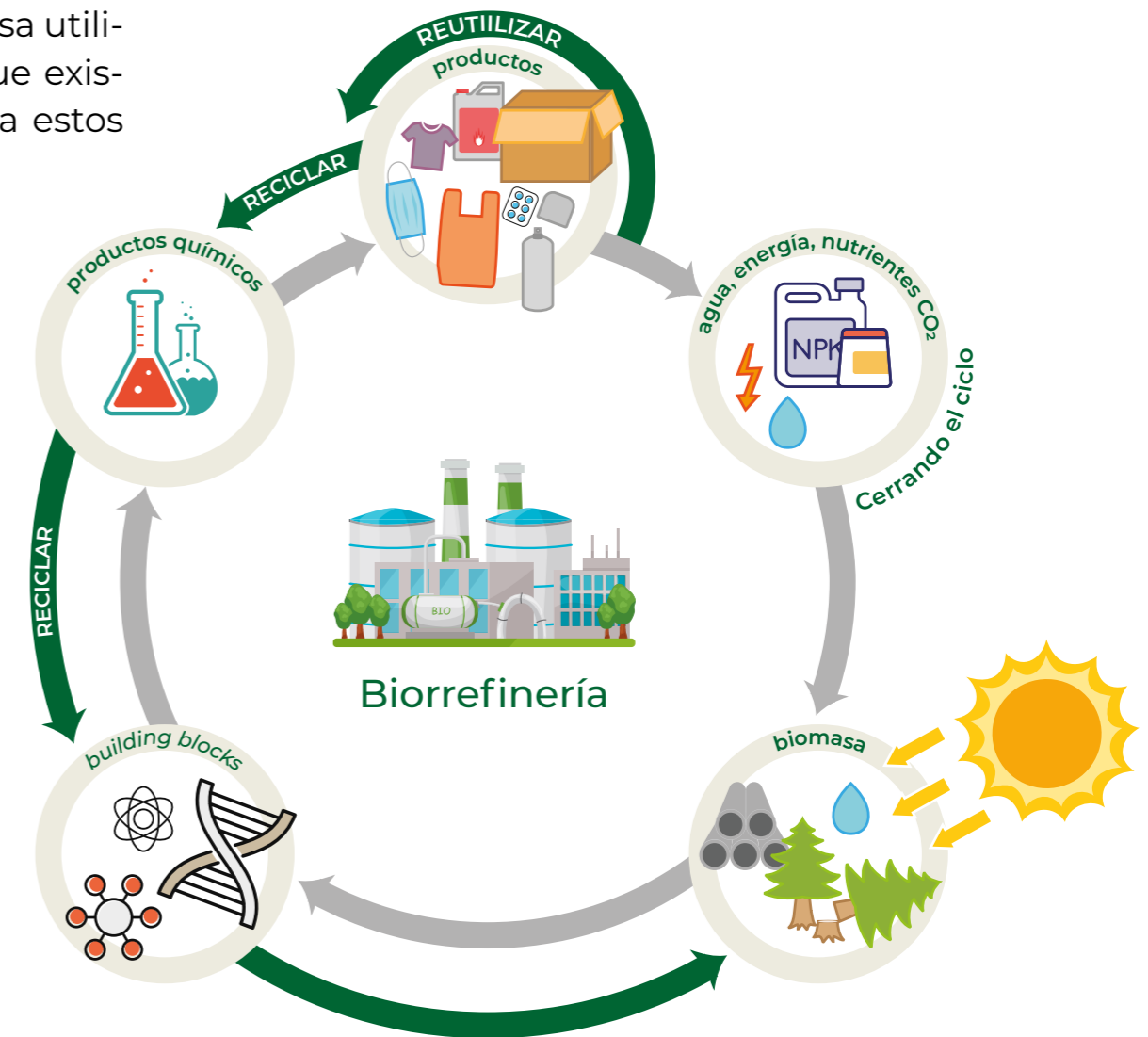


Figura 4.
Cadenas de valor
de origen biológico integradas

Fuente: Vision. Bio-based Industries Consortium (BIC)⁴²



Dada la gran diversidad de biomasa existente y la multitud de posibilidades de conversión de la misma, se multiplican los esquemas de operación que pueden desarrollarse en una biorrefinería, lo que dificulta establecer una clasificación única. Por ello, se clasifican en base a diversos criterios que pueden encontrarse en la extensa literatura científica existente,^{43, 44, 45, 46} tales como:

- Grado de desarrollo tecnológico (biorrefinerías avanzadas vs. convencionales).
- Tipo de biomasa utilizada (biorrefinerías de 1ª, 2ª y 3ª generación).
- Tipo de proceso de conversión que prevalece.
- Complejidad del proceso para englobar el desarrollo de productos a partir de varias plataformas.

La Agencia Internacional de la Energía (IEA), específicamente a través de su grupo IEA Bioenergy Task 42, ha establecido un sistema de clasificación de biorrefinerías basado en cuatro características principales para

describir y normalizar su funcionamiento: materia prima, plataformas, procesos y productos. La clasificación se basa en la combinación de estos cuatro elementos:⁴⁷

1. Plataformas (*Platforms*): Son los intermediarios químicos que unen la materia prima con los productos finales. Es la característica más distintiva, similar al concepto petroquímico. Las principales plataformas identificadas son: azúcares (C5/C6), lignina, biogás, biochar / carbón vegetal, bio-syngas (gas de síntesis), bio-oil (bioaceite), ácidos carboxílicos.
2. Materia prima (*Feedstocks*): El tipo de biomasa utilizada (ej. residuos agrícolas, cultivos energéticos, biomasa lignocelulósica, residuos orgánicos municipales).
3. Productos (*Products*): Productos finales comercializables (biocombustibles, productos químicos, materiales, energía calorífica/eléctrica).
4. Procesos (*Processes*): Los métodos de conversión utilizados, que pueden ser termoquímicos, bioquímicos, químicos o mecánicos/físicos.

⁴³ *Biorefinery Concepts in Comparison to Petrochemical Refineries*. Ed de Jong, Gerfried Jungmeier (2015). http://www.iea-bioenergy.task42-biorefineries.com/upload_mm/6/e/0/9bfbb789-46af-4eae-a8bb-b7427f4e46e4_de%20Jong%202015%20Biorefinery%20Concepts%20in%20Comparison%20to%20Petrochemical%20Refineries%20Book%20Chapter.pdf

⁴⁴ S.N. Naik, Vaibhav V. Goud, Prasant K. Rout, Ajay K. Dalai. *Production of first- and second-generation biofuels: a comprehensive review*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14 (2010) 578-597.

⁴⁵ Star-COLIBRI project (241535-FP7). *Background information and biorefinery status, potential and sustainability* (2010). https://www.researchgate.net/publication/254848033_Background_information_and_biorefinery_status_potential_and_sustainability_Task_212_Market_and_Consumers_Carbohydrates.

⁴⁶ F. Cherubini et al. *Toward a common classification approach for biorefinery systems*. *Biofuels, Bioproducts and Biorefinery* 3: 534-546 (2009).

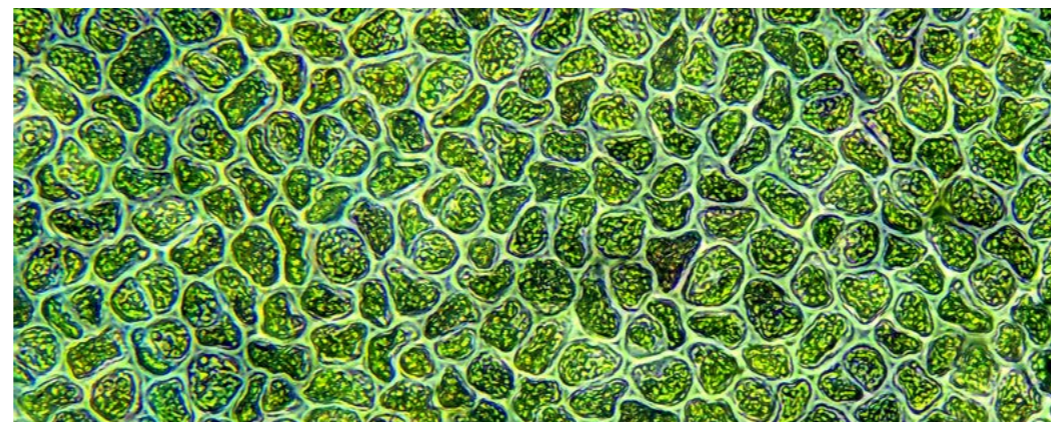
⁴⁷ https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2019/07/TEE_assessment_report_final_20190704-1.pdf

La variedad de tipos de biorrefinerías es amplia, de modo que el grupo de expertos sobre biorrefinerías de la Agencia Internacional de la Energía ha desarrollado un sistema de clasificación de biorrefinerías, basado en una representación en forma de esquema que cubre las cadenas completas desde la biomasa hacia el producto final. De este modo se plantea la división siguiente, que también coincide por la dada en base a la clasificación por productos:

- 1) La **biorrefinería dirigida a la obtención de energía**, que está orientada principalmente hacia la producción de uno o varios tipos de energía (calor y/o electricidad) y/o de biocombustibles. En este caso, también se obtienen bioproductos, que son los residuos del proceso anterior, que pueden ser utilizados para la producción de productos químicos, materiales, alimentos y piensos, para maximizar la viabilidad económica de la cadena de valor completa.
- 2) La **biorrefinería dirigida a la obtención de bioproductos**, que se orienta principalmente hacia la producción de productos químicos, materiales, alimentos y/o piensos. A menudo, los productos secundarios o residuos del proceso anterior son utilizados para la producción de vectores energéticos intermedios (electricidad y/o calor) tanto para usos internos como para distribución en el mercado.

En la clasificación de **biorrefinerías según su estado de avance tecnológico**, podemos encontrar ⁴⁸:

- **1ª Generación** (simple o convencional): en el que se emplea biomasa agrícola (biomasa rica en azúcar: bioetanol; biomasa rica en aceite: biodiesel; biomasa leñosa: papel). Se caracteriza por una baja flexibilidad e integración.
- **2ª Generación** (avanzada): es la que hace uso de la biomasa lignocelulósica como materia prima. Se emplea la misma en su totalidad, mediante un concepto holístico, y presenta una mayor flexibilidad e integración intermedias.
- **3ª Generación** (avanzada): emplea residuos agrícolas y orgánicos, incluyendo los de algas. Se caracteriza por una alta integración y flexibilidad.



En cuanto a la **clasificación por tamaño** encontramos las:

- **Plantas de producción de pequeño y medio tamaño**, que están localizadas en zonas rurales y que muestran un enfoque local.
- **Plantas de producción de gran tamaño**, que están conectadas con una red de plantas de procesamiento primario.
- **Plantas de producción de tamaño muy grande**, que están localizadas cerca de un puerto y usan principalmente biomasa importada.

De acuerdo a su modelo podemos encontrar esta diferenciación, siendo importante destacar que no existe en este caso un criterio de definición homogéneo, ya que algunos de estos sistemas se refieren a tipos de materias primas mientras que otros se centran en las tecnologías:

- **Biorrefinería lignocelulósica**: en la que la principal materia prima es la biomasa lignocelulósica, que es fraccionada en sus tres componentes (celulosa, hemicelulosa y lignina) para obtener múltiples productos.
- **Biorrefinería del cultivo completo**: en la que la materia prima es el cereal, y se realiza una separación mecánica del grano y paja para conseguir un aprovechamiento integral del cultivo.

- **Biorrefinería verde:** que emplea la llamada biomasa verde, que es fraccionada por presión para obtener, por un lado, un jugo verde rico en nutrientes y por otro, una torta fibrosa. Para clarificar, la biomasa verde es considerada aquella compuesta por:
 - Hierba procedente del cultivo permanente de terrenos de pastos, campos cerrados y espacios naturales protegidos.
 - Cultivos verdes como alfalfa, trébol, hojas de remolacha azucarera, hojas de patata, cereales inmaduros de tierras de cultivo extensivo, etc.
 - Las cosechas verdes generan más biomasa y proteínas por hectárea y año que las cosechas maduras o de grano. La pérdida de recursos por el transporte se minimiza si los cultivos son recolectados antes de la floración.
- **Biorrefinería de plataforma doble:** que incluye las plataformas de azúcares y de gas de síntesis.
- **Biorrefinería convencional:** basada en industrias ya existentes (por ejemplo, la del azúcar o la del almidón).
- **Biorrefinería termoquímica:** basada en una mezcla de varios procesos termoquímicos.

- **Biorrefinería algal:** en la que la materia prima es la biomasa marina.
- **Biorrefinería con procesamiento catalítico en fase líquida:** para la producción de hidrocarburos funcionalizados a partir de intermedios derivados de la biomasa.
- **Biorrefinería forestal:** que emplea biomasa forestal para la producción simultánea de papel, fibras, productos químicos y energía.

En el caso de los **polímeros biobasados**, la mayoría de ellos se producen a partir de biomasa en la que la fermentación bacteriana o por algas se lleva a cabo utilizando azúcares que provienen de diferentes fuentes con la finalidad de obtener moléculas denominadas *building blocks* que pueden usarse como monómeros para la producción de polímeros biobasados de segunda generación (2G) o de tercera generación (3G) (Figura 5)⁴⁹.

Figura 5.
Clasificación de polímeros biobasados según su estado de avance tecnológico⁵⁰

Polímeros biobasados 1G
Materias primas

Caña de azúcar:
jugo de caña.

Maíz:
hidrolizado de almidón de maíz.



Polímeros biobasados 2G
Materias primas

Biomasa lignocelulósica:
madera, subproductos o residuos agrícolas o forestales (bagazo de caña de azúcar, paja, etc.).

Aceites vegetales no alimentarios:
aceite de ricino y residuos derivados de la producción de aceites vegetales.



Polímeros biobasados 3G
Materias primas

Azúcares o aceites producidos por microorganismos:
microalgas, bacterias, hongos, levaduras, etc.

Residuos municipales:
residuos orgánicos, aguas residuales, etc.





Actualmente, los polímeros biobasados 2G tienen un papel fundamental en la economía circular mediante el empleo de los azúcares de cinco y seis carbonos, sustituyendo los generados en biorrefinerías 1G, que derivaban generalmente de plantas ricas en carbohidratos como el maíz, la caña de azúcar o la remolacha azucarera, considerados estrictamente como biomasa alimentaria con una competencia crítica con el mercado agroindustrial e implicando un aumento de los costes de los alimentos ⁵⁰.

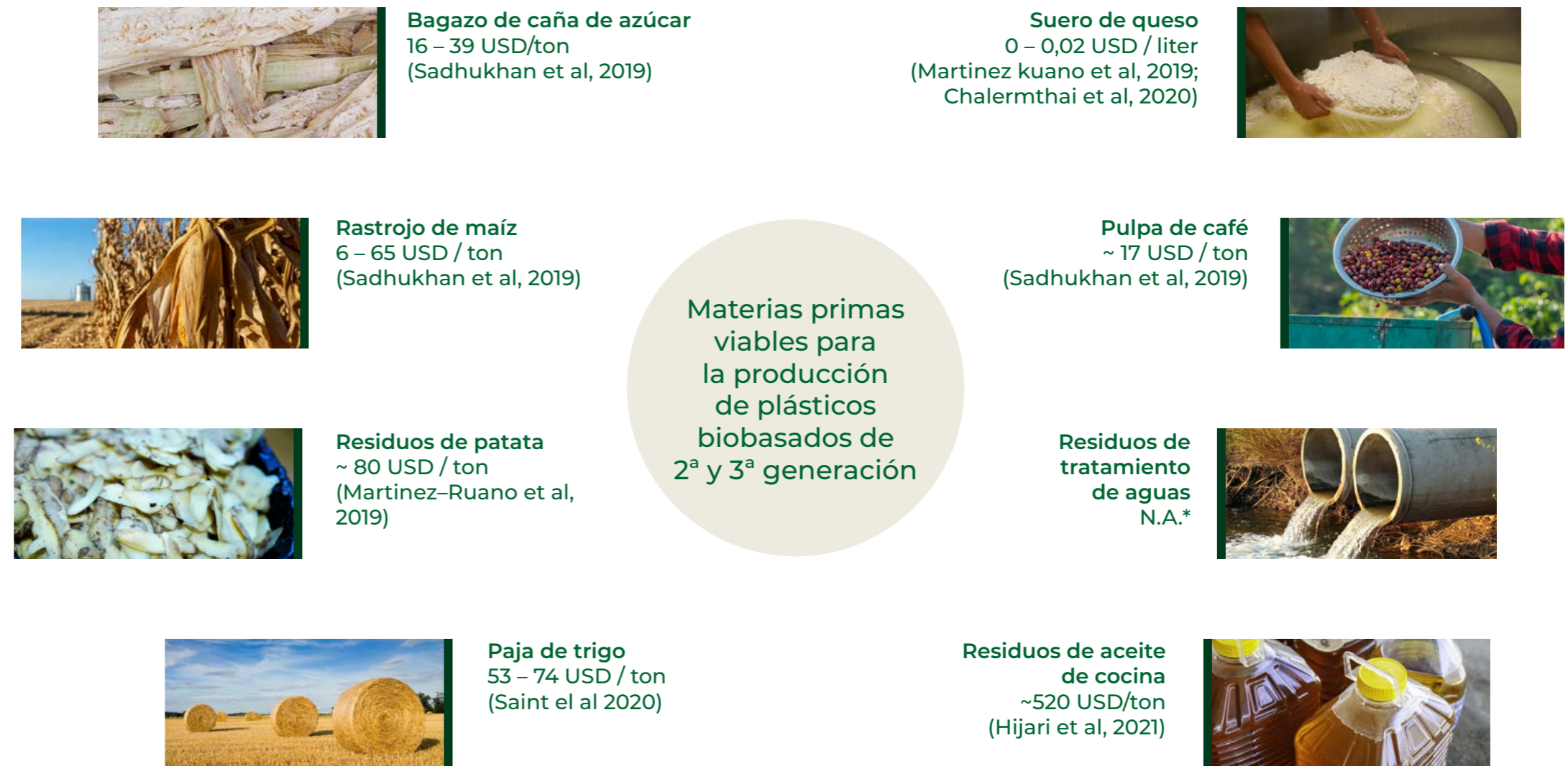
Como resultado, se han explotado biomásas alternativas para los llamados polímeros biobasados 2G que derivan principalmente de residuos, compuestos de pentosas y hexosas que son bioconvertidas en nuevos productos. Como sustratos alternativos se han considerado rastrojos de maíz, bagazo de la caña de azúcar, residuos de trigo y otros residuos de cultivos. Se utilizan también sustratos considerados no alimentarios, como la lignina de la madera, los residuos del reciclado de papel o las aguas residuales y aguas residuales, que, dependiendo de su composición, pueden ser considerados como biomasa de 3G ⁵¹.

⁵⁰ Wellenreuther, C., & Wolf, A. (2020). Innovative feedstocks in biodegradable bio-based plastics: a literature review (HWWI Research Papers, No. 194). Hamburg Institute of International Economics.

⁵¹ Ögmundarson, Ó., Sukumara, S., Laurent, A., & Fantke, P. (2020). Environmental hotspots of lactic acid production systems. *Global Change Biology. Bioenergy*, 12(1), 19-38. <http://dx.doi.org/10.1111/gcbb.12652>.

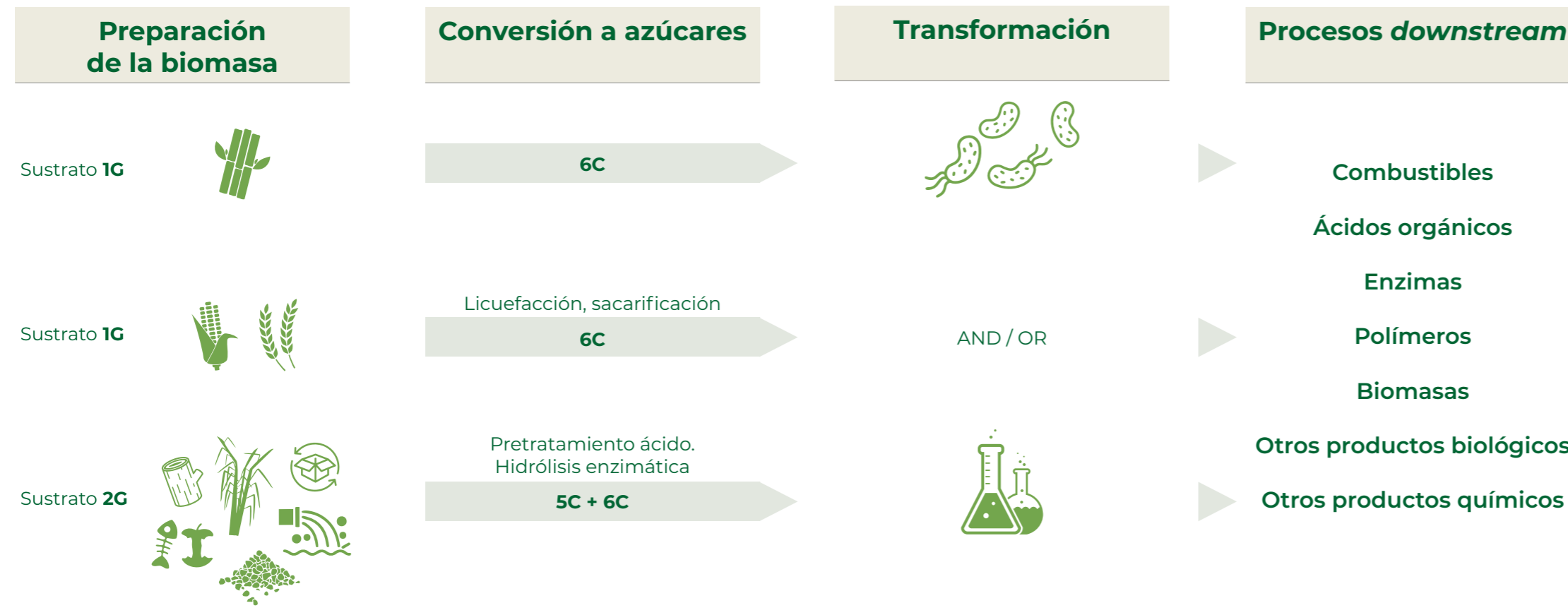
La Figura 6 muestra diversos sustratos que se han empleado para la producción de polímeros biobasados de 2ª y 3ª generación. Esta tendencia es más beneficiosa para el medioambiente y más económica, con biomasa disponible a lo largo de todo el año, pero con algunos retos a afrontar, como la ingeniería de microorganismos que permitan convertir los azúcares en los nuevos polímeros biobasados del modo más eficiente posible y las mejoras en procesos de purificación (Changwichan et al., 2018)⁵². Algunos ejemplos de diferentes sustratos y tratamientos para obtener polímeros biobasados de 2ª generación se muestran en la Tabla 5 del Anexo.

Figura 6. Posibles sustratos para la producción de polímeros biobasados y sus precios medios de mercado



52 Changwichan, K., Silalertruksa, T., & Gheewala, S. H. (2018). Ecoefficiency assessment of bioplastics production systems and end-of-life options. Sustainability, 10(4), 952. <http://dx.doi.org/10.3390/su10040952>

Figura 7. Sustratos y tratamiento para la producción de polímeros biobasados de 1ª y 2ª generación



La nueva generación de plásticos biobasados producidos a partir de azúcares y aceites mediante microorganismos tales como microalgas, bacterias, hongos, levaduras, etc., los clasificados como polímeros biobasados 3G, vienen a reemplazar los anteriores (Zhang et al., 2019)⁵³.

En cuanto a las algas, en la Tabla 6 del Anexo se muestran ejemplos de desarrollos de polímeros biobasados en esta línea. Se pueden producir microalgas en zonas no aptas para la agricultura en diferentes fotobiorreactores. En comparación con el cultivo de plantas terrestres, las microalgas tienen mayores concentraciones de clorofila por unidad de área de producción, lo que resulta en una eliminación de CO₂ relevante, lo que representa 1,83 kg de CO₂ por kg de biomasa de algas (Mendonça et al., 2021⁵⁴; Raeesossadati et al., 2014)⁵⁵. Además, su productividad de biomasa es de 5 a 10 veces más rápida que la de los cultivos alimentarios convencionales. Por lo tanto, las microalgas son una materia prima potencial para la industria de los polímeros biobasados. *Clorella sp.* y *Espirulina sp.* son las principales especies de microalgas empleadas

⁵³ Zhang, C., Show, P.-L., & Ho, S.-H. (2019). Progress and perspective on algal plastics: a critical review. *Bioresource Technology*, 289, 121700. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121700>. PMID:31262543

⁵⁴ Mendonça, H. V., Assemany, P., Abreu, M., Couto, E., Maciel, A. M., Duarte, R. L., dos Santos, M. G. B., & Reis, A. (2021). Microalgae in a global world: new solutions for old problems? *Renewable Energy*, 165, 842-862. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2020.11.014>.

⁵⁵ Raeesossadati, M. J., Ahmadzadeh, H., McHenry, M. P., & Moheimani, N. R. (2014). CO₂ bioremediation by microalgae in photobioreactors: impacts of biomass and CO₂ concentrations, light, and temperature. *Algal Research*, 6, 78-85. <http://dx.doi.org/10.1016/j.algal.2014.09.007>

para la producción de polímeros biobasados ^{56, 57}. Una ruta alternativa es la acumulación intracelular de biomoléculas, como PHA, PHB y almidón, y su posterior extracción (Kartik et al., 2021)⁵⁸. La síntesis de PHA en el metabolismo de las microalgas ocurre de forma natural; sin embargo, el condicionamiento de los medios con deficiencia de nutrientes, como el agotamiento de fosfato y nitrógeno, puede aumentar drásticamente su concentración.

Para la producción de polímeros biobasados de 3^a generación, el empleo de biomasa de microalgas es una alternativa ⁵⁹. Su composición consiste en lípidos (8–70 %), proteínas (40–70 %), carbohidratos (11–56 %), y carotenoides (10–14 %) ^{60, 61}. Su contribución potencial a la bioeconomía global incluye una variedad de bioproductos como biocombustibles, biofertilizantes, nutrición animal y humana, etc.



56 Rai, P., Mehrotra, S., Priya, S., Gnansounou, E., & Sharma, S. K. (2021). Recent advances in the sustainable design and applications of biodegradable polymers. *Bioresource Technology*, 325, 124739. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2021.124739>. PMID:33509643

57 Zeller, M. A., Hunt, R., Jones, A., & Sharma, S. (2013). Bioplastics and their thermoplastic blends from *Spirulina* and *Chlorella* microalgae. *Journal of Applied Polymer Science*, 130(5), 3263-3275. <http://dx.doi.org/10.1002/app.39559>

58 Kartik, A., Akhil, D., Lakshmi, D., Panchamoorthy Gopinath, K., Arun, J., Sivaramakrishnan, R., & Pugazhendhi, A. (2021). A critical review on production of biopolymers from algae biomass and their applications. *Bioresource Technology*, 329(February), 124868. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2021.124868>. PMID:33707076

59 Mustafa, S., Bhatti, H. N., Maqbool, M., & Iqbal, M. (2021). Microalgae biosorption, bioaccumulation and biodegradation efficiency for the remediation of wastewater and carbon dioxide mitigation: prospects, challenges and opportunities. *Journal of Water Process Engineering*, 41, 102009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102009>

60 Devadas, V. V., Khoo, K. S., Chia, W. Y., Chew, K. W., Munawaroh, H. S. H., Lam, M. K., Lim, J. W., Ho, Y. C., Lee, K. T., & Show, P. L. (2021). Algae biopolymer towards sustainable circular economy. *Bioresource Technology*, 325, 124702. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2021.124702>. PMID:33487515

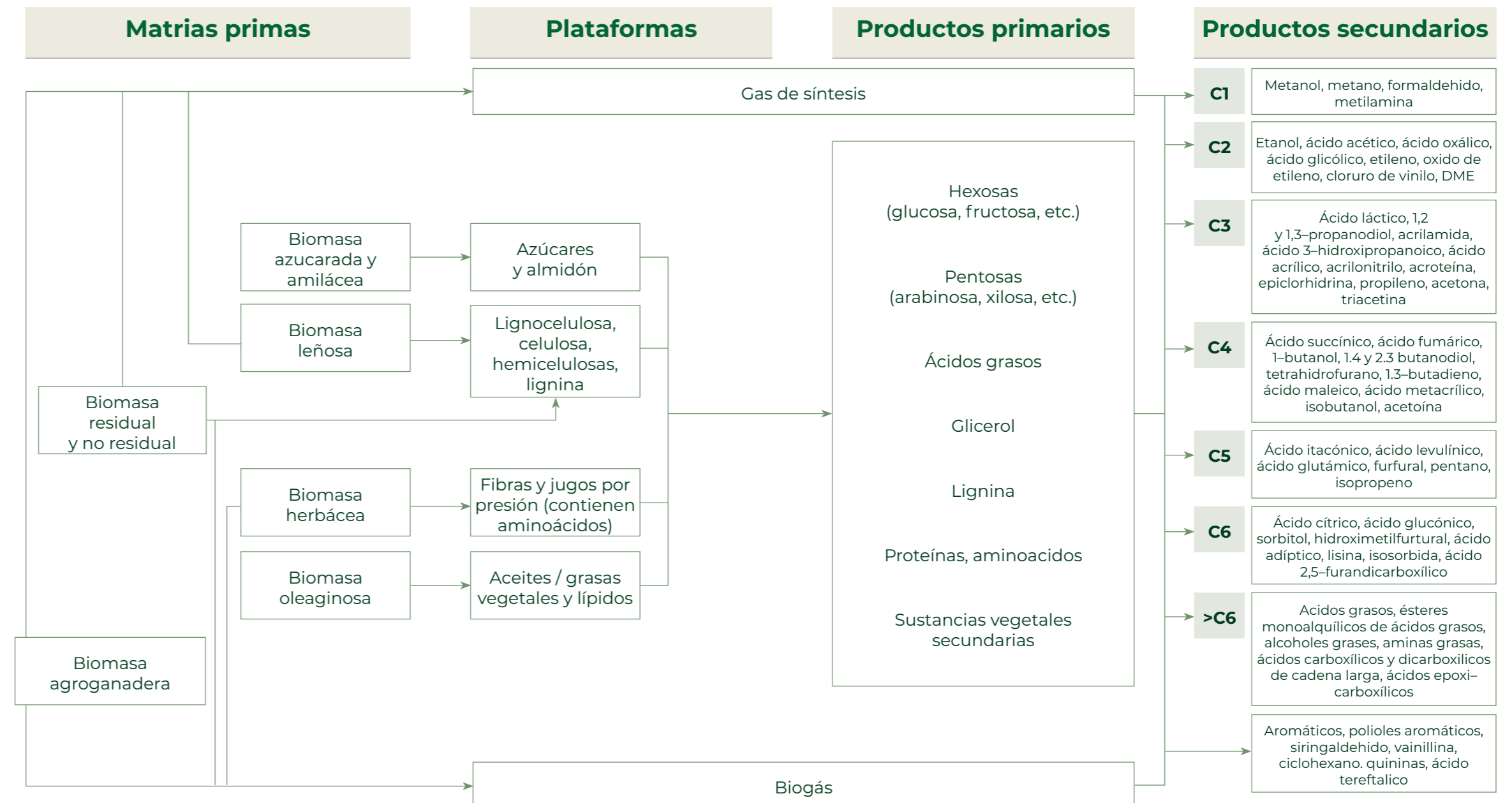
61 Muhammad, G., Alam, M. A., Mofijur, M., Jahirul, M. I., Lv, Y., Xiong, W., Ong, H. C., & Xu, J. (2021). Modern developmental aspects in the field of economical harvesting and biodiesel production from microalgae biomass. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 135, 110209. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2020.110209>

3.4 Valorización de residuos en plataformas químicas

En la siguiente figura⁶² se esquematizan las materias primas, plataformas, productos primarios y secundarios de una biorrefinería ejemplo.



Figura 8. Ejemplo de productos obtenidos de una biorrefinería³⁷



62 Biorefineries Roadmap as part of the German Federal Government action plans for the material and energetic utilisation of renewable raw materials. 2012. https://www.bmbf.de/pub/Roadmap_Biorefineries_eng.pdf

El Laboratorio Nacional de Energías Renovables (NREL) de EE. UU. ha definido seis plataformas tecnológicas esenciales para la obtención de biocombustibles y bioproductos a partir de diversas fuentes de biomasa:


1. Plataforma de azúcares–lignina.
2. Plataforma de gas de síntesis.
3. Plataforma de aceites de pirólisis.
4. Plataforma de biogás.
5. Plataforma de cadenas ricas en carbono.
6. Plataforma de plantas biofactoría.

Otros, han identificado otras posibles plataformas, agrupándolas de forma diferente. Por ejemplo, en el caso de España, el grupo de expertos españoles que desarrolla su actividad en biorrefinerías, representado por BIOPLAT y SusChem–España,³⁷ considera necesario desarrollar el concepto de biorrefinería en función del tipo de plataforma en la que se base, y ha definido 6 plataformas con un alto potencial de desarrollarse en España, debido a su idoneidad para valorizar las materias primas biobasadas identificadas que se muestran a continuación, ordenadas de mayor a menor prioridad y donde las tres últimas se enmarcan como relevantes en un futuro muy próximo: plataforma de aceite vegetal y otros lípidos, plataforma de lignocelulosa, plataforma de azúcares, plataforma de proteínas, plataforma de biogás y plataforma de gas de síntesis.


La siguiente Tabla 2 muestra las biomases que son susceptibles de ser utilizadas para llegar a cada una de las citadas plataformas.

Tabla 2. Materias primas biobasadas que permiten obtener las diferentes plataformas de biorrefinería actualmente presentes en España³⁷


Plataformas identificadas como prioritarias en España	Tipos de biomases susceptibles de ser utilizadas en biorrefinería como materia prima								
	Cultivos lignocelulósicos	Cultivos oleaginosos	Cultivos alcohólicos	Algas	Residuos agrícolas	Aprov. y residuos forestales	Residuos ganaderos	Residuos industriales	Residuos urbanos
Aceite vegetal y otros lípidos									
Lignocelulosa									
Azúcares									
Proteínas									
Biogás									
Gas de síntesis									



Nuevas materias primas que tradicionalmente no han sido utilizadas en esas plataformas pero podrían serlo en el futuro.



Materias primas susceptibles de ser utilizadas en esas plataformas.



Materias primas que tradicionalmente han sido y son utilizadas y procesadas en esas plataformas.

En la Tabla 7 del Anexo basada en la información publicada por BIOPLAT y SusChem-España³⁷ encontraremos los principales *building blocks* y bioproductos que podemos obtener a partir de cada una de las materias primas incluidas en cada bloque de plataforma definida. Como podemos observar, en la **Plataforma de aceite vegetal y otros lípidos** encontramos diferentes materias primas, tales como cultivos oleaginosos y residuos industriales, cultivos de algas y residuos industriales (grasas), así como residuos urbanos (aceites usados), y a partir de los mismos se pueden obtener diferentes moléculas *building blocks* tales como ácidos, ésteres y alcoholes grasos; dioles, etc., y con los mismos a su vez diferentes bioproductos: ácidos grasos, alcoholes y sus derivados; ácidos dicarboxílicos; acetales; ácido acrílico; alimentos; antioxidantes; biodisolventes...).

Del mismo modo, en la **Plataforma de lignocelulosa** partimos de cultivos lignocelulósicos, residuos agrícolas, residuos forestales e industriales, así como residuos urbanos. De ellos se obtienen *building blocks* como el ácido 2,5-furandicarboxílico (FDCA); ácidos acéticos, fórmico o levulínico; azúcares C5 y C6, etc. De éstos se pueden obtener múltiples bioproductos: acetatos y ésteres diversos; acetona; ácido levulínico; ácido succínico; ácido láctico; alcoholes; azúcares C5 y C6; hidrógeno; polímeros diversos...

Pasando a la **Plataforma de azúcares** partimos de fuentes como las algas, los cultivos alcoholígenos, residuos industriales y urbanos, así como cultivos lignocelulósicos. Sus *building blocks* son ácido xilónico; ácido oxálico; ácido fumárico; azúcares C5 y C6; polioles, etc. Son muchos los bioproductos procedentes de los mismos: ácidos orgánicos y derivados como el ácido 2,5-furanodicarboxílico o el ácido 3-hidroxipropiónico; alcoholes como el propanol, alcohol furfurílico; o 2,3-butanodiol; aminoácidos como el ácido aspártico, o el ácido glutámico; antibióticos; azúcares fermentables; CO₂; compuestos carbonílicos como acetona; compuestos de interés alimentario como el xantano; compuestos heterocíclicos como el furano, o el hidroximetilfurfural; Polímeros y oligómeros como el PEF, polihidroxialcanoatos...

En cuanto a la **Plataforma de proteínas** utilizamos como materias primas tanto algas y cultivos alto proteicos, como residuos herbáceos forestales y residuos industriales (alimentación, bebidas, etc.), también los residuos ganaderos y los urbanos (procedente de HORECA). De ellos se obtienen aminoácidos y péptidos principalmente, que son utilizados para desarrollar bioproductos tales como antivirales; antioxidantes; alimentos; aminoácidos; colágeno, gelatina, queratina; vitaminas, etc.

En la **Plataforma de biogás** partiremos de residuos ganaderos, industriales o urbanos con los que producir acetatos, ácidos carboxílicos o compuestos volátiles, para la producción de bioproductos tales como ácidos carboxílicos volátiles, fertilizantes o hidrógeno.

Finalmente, para la **Plataforma de gas de síntesis** se emplean cultivos lignocelulósicos, también se aprovechan y utilizan residuos forestales, así como residuos industriales o urbanos. El *building block* en este caso será el gas de síntesis con el que conseguirán bioproductos tales como ácido acético, ácido butírico, ceras, dióxido de carbono, dimetiléter (DME), gases C1-C5 o hidrógeno, entre otros.

La **primera plataforma química en la biorrefinería pueden ser los compuestos de tipo azúcar obtenidos de biomasa no alimentaria**, siendo crítica la liberación eficiente de los azúcares C5 y C6 con un bajo consumo de energía. La glucosa es el producto de degradación de tipo azúcar de la celulosa, la despolimerización de la hemicelulosa proporciona también glucosa, pero junto a otros azúcares de 5 y 6 carbonos.



Por ejemplo, las aplicaciones del polietileno derivado del petróleo se pueden reproducir fácilmente mediante biopolietileno. Como una perspectiva de futuro diferente, polímeros convencionales existentes también pueden ser reemplazados por sus nuevas alternativas. Como tal, el polifuranoato de etileno (PEF) con una base 100 % biológica puede reemplazar potencialmente al PET en ciertas aplicaciones. Sin embargo, el mayor éxito comercial de los polímeros biobasados dependerá de tres factores: económicos, técnicos y ambientales. El primer factor parece ser más significativo ya que se ha demostrado que los polímeros biobasados exhiben un rendimiento similar y más respetuoso con el medio ambiente en comparación con sus contrapartidas a base de petróleo. Las consideraciones económicas se pueden mejorar con una continua investigación y desarrollo, así como con un marco regulatorio que incentive su utilización, así como la propia economía de escala. Afortunadamente, las tendencias actuales sugieren que estamos en el camino de establecer una bioeconomía mundial en la que la biomasa puede tener una gran contribución.

La sostenibilidad de la producción de combustibles y productos químicos a partir de la biomasa, por otro lado,

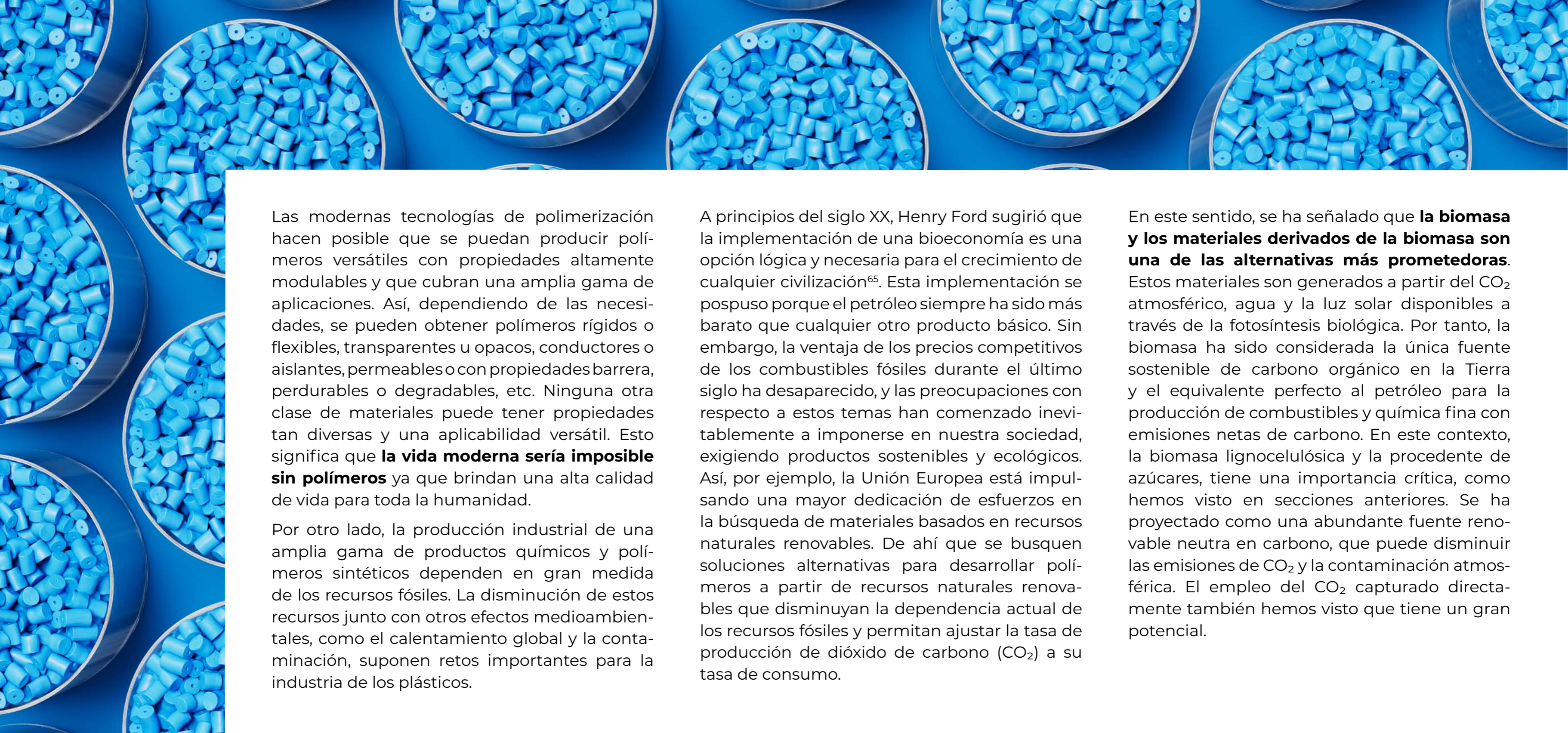
ha sido muy debatida. Uno de los factores clave lo representa la escasez de suelo y el empleo de biomasa que no compitan con la cadena alimentaria. Por ejemplo, se han mencionado preocupaciones con respecto a la sostenibilidad de la producción actual de bioetanol, que se basa en cultivos de almidón y azúcar, pues la oferta limitada de tales cultivos puede generar competencia con la producción de alimentos, monocultivos y pérdida de biodiversidad. Las materias primas lignocelulósicas tienen ventajas sobre otros suministros de biomasa porque se basan en la parte no comestible de la planta y, por lo tanto, no interfieren con el suministro de alimentos. Además; los residuos lignocelulósicos forestales, agrícolas y agroindustriales se generan cada año en grandes cantidades, y la acumulación de estos residuos en el suelo o en vertederos causa graves problemas medioambientales; lo que podría solucionarse si se recogieran y utilizaran para la producción de productos de alto valor añadido⁶³. Desde el punto de vista económico, la biomasa lignocelulósica se puede producir rápidamente y a un coste menor que otras materias primas de bioproductos de importancia agrícola como el almidón de maíz, la soja y la caña de azúcar, siendo significativamente más barata que el petróleo crudo.^{42, 64}

⁶³ Plásticos y Caucho. "España es uno de los mayores productores de biomasa lignocelulósica y lo estamos desaprovechando", 31 de enero de 2022. <https://www.plasticosycaucho.com/espana-es-uno-de-los-mayores-productores-de-biomasa-lignocelulosica-y-lo-estamos-desaprovechando-plasturgia-sostenible-31-01-22#:~:text=Adem%C3%A1s%2C%20los%20residuos%20lignocelul%C3%B3sicos%20forestales%2C%20agr%C3%ADcolas%20y,si%20se%20utilizaran%20para%20la%20producci%C3%B3n%20de>

⁶⁴ Tesis Antonio Domene Vico. Universidad de Alicante (2014). *Valorización de residuos lignocelulósicos mediante vías termoquímicas*. https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/40511/1/tesis_domene_vico.pdf

Principales polímeros de fuentes renovables

4



Las modernas tecnologías de polimerización hacen posible que se puedan producir polímeros versátiles con propiedades altamente modulables y que cubran una amplia gama de aplicaciones. Así, dependiendo de las necesidades, se pueden obtener polímeros rígidos o flexibles, transparentes u opacos, conductores o aislantes, permeables o con propiedades barrera, perdurables o degradables, etc. Ninguna otra clase de materiales puede tener propiedades tan diversas y una aplicabilidad versátil. Esto significa que **la vida moderna sería imposible sin polímeros** ya que brindan una alta calidad de vida para toda la humanidad.

Por otro lado, la producción industrial de una amplia gama de productos químicos y polímeros sintéticos dependen en gran medida de los recursos fósiles. La disminución de estos recursos junto con otros efectos medioambientales, como el calentamiento global y la contaminación, suponen retos importantes para la industria de los plásticos.

A principios del siglo XX, Henry Ford sugirió que la implementación de una bioeconomía es una opción lógica y necesaria para el crecimiento de cualquier civilización⁶⁵. Esta implementación se pospuso porque el petróleo siempre ha sido más barato que cualquier otro producto básico. Sin embargo, la ventaja de los precios competitivos de los combustibles fósiles durante el último siglo ha desaparecido, y las preocupaciones con respecto a estos temas han comenzado inevitablemente a imponerse en nuestra sociedad, exigiendo productos sostenibles y ecológicos. Así, por ejemplo, la Unión Europea está impulsando una mayor dedicación de esfuerzos en la búsqueda de materiales basados en recursos naturales renovables. De ahí que se busquen soluciones alternativas para desarrollar polímeros a partir de recursos naturales renovables que disminuyan la dependencia actual de los recursos fósiles y permitan ajustar la tasa de producción de dióxido de carbono (CO₂) a su tasa de consumo.

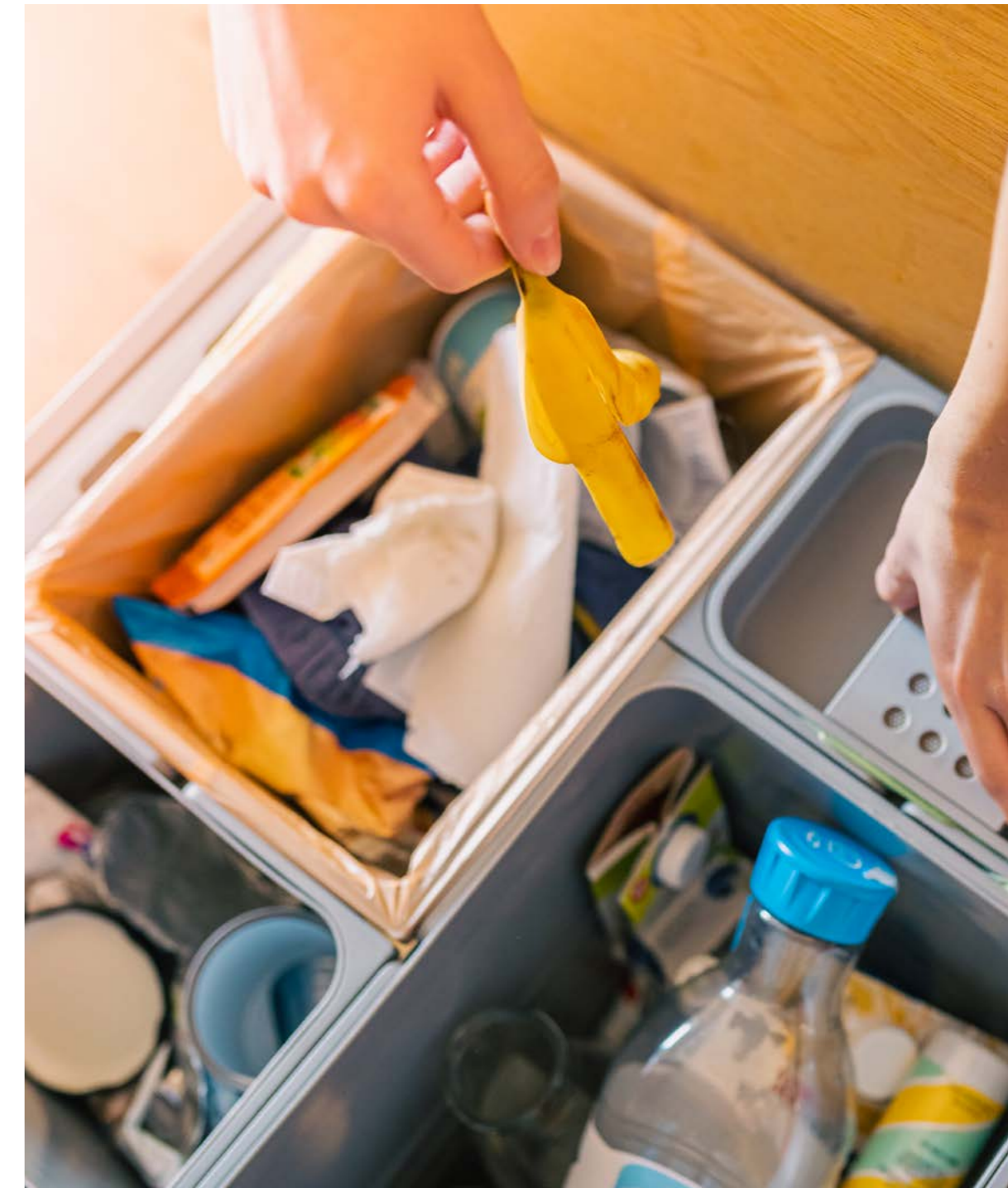
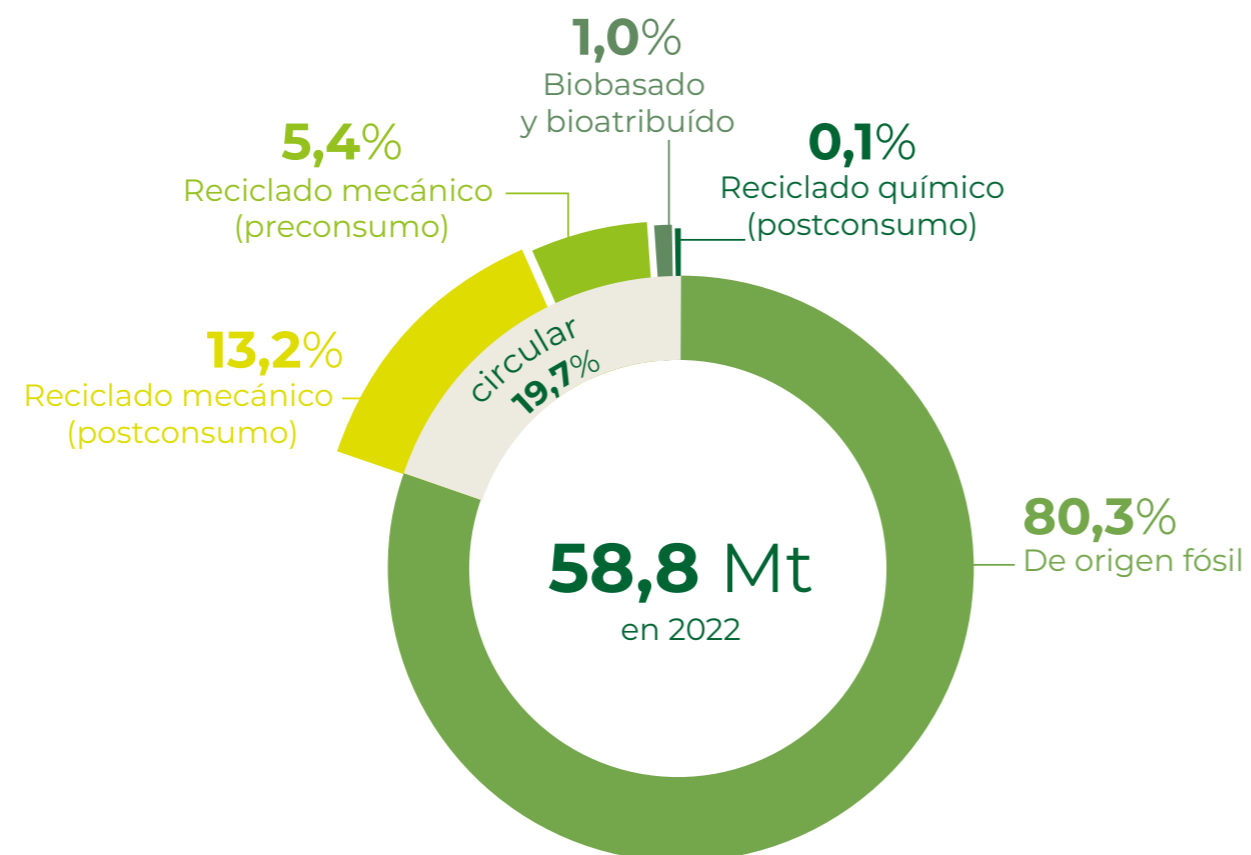
En este sentido, se ha señalado que **la biomasa y los materiales derivados de la biomasa son una de las alternativas más prometedoras**. Estos materiales son generados a partir del CO₂ atmosférico, agua y la luz solar disponibles a través de la fotosíntesis biológica. Por tanto, la biomasa ha sido considerada la única fuente sostenible de carbono orgánico en la Tierra y el equivalente perfecto al petróleo para la producción de combustibles y química fina con emisiones netas de carbono. En este contexto, la biomasa lignocelulósica y la procedente de azúcares, tiene una importancia crítica, como hemos visto en secciones anteriores. Se ha proyectado como una abundante fuente renovable neutra en carbono, que puede disminuir las emisiones de CO₂ y la contaminación atmosférica. El empleo del CO₂ capturado directamente también hemos visto que tiene un gran potencial.

65 Quiroz Trejo, José Othón. *Taylorismo, fordismo y administración científica en la industria automotriz*. En: *Gestión y estrategia* No.38, julio/diciembre 2010. pp, 75-87; Rózga Luter, Ryszard. *Globalización, reestructuración económica y cambios territoriales*. UAEMEX, 2001

De los 400,3 millones de toneladas de plásticos producidos en 2022 a nivel mundial, el informe de Plastics Europe *The Circular Economy For Plastics – A European Analysis, 2024* muestra que la producción en Europa de plásticos que pueden considerarse circulares alcanzó 11,7 Mt, lo que representa un 19,7 % de la producción europea en 2022 (Figura 10). De ellos, un 1 % serían biobasados y bioatribuidos.

La capacidad actual de producción de polímeros de fuentes renovables fue en 2022 de 1,9 millones de toneladas, incluyendo los 0,4 millones de toneladas producidas en EU 27+3 (se refiere a los 27 Estados miembros de la Unión Europea, más tres países adicionales, Suiza, Noruega e Islandia, que participan en diversos aspectos del marco de la UE, como el mercado único, sin ser miembros de pleno derecho), tal como se refleja en la Figura 10.

Figura 10. Producción de plásticos circulares en Europa⁶⁶

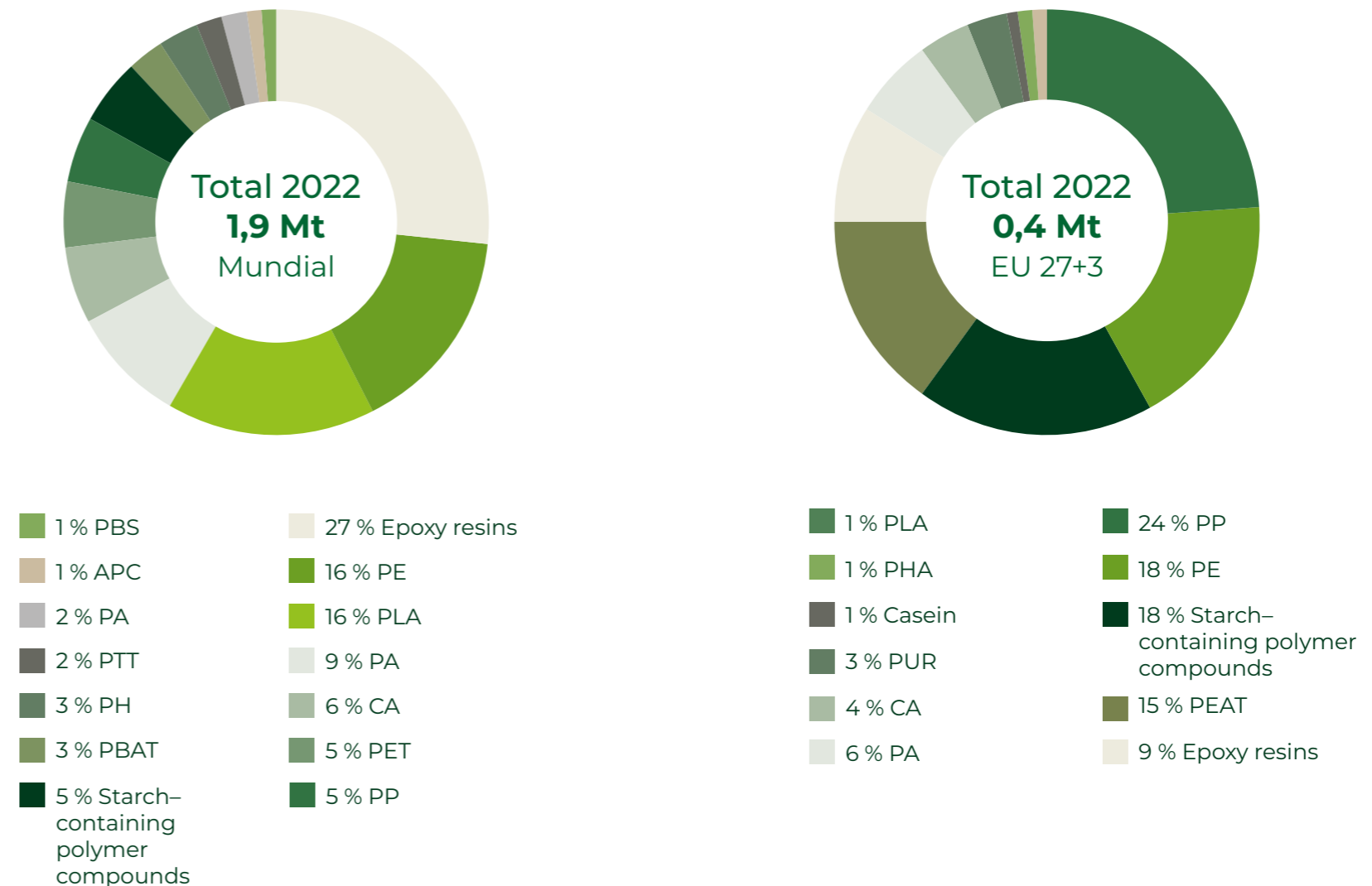


66 <https://plasticseurope.org/knowledge-hub/the-circular-economy-for-plastics-a-european-analysis-2024/>

Como principales polímeros de fuentes renovables podemos identificar en el gráfico del mercado global (Figura 11, izquierda) que destacan las resinas bio-epoxis, con un 27 %, seguido por el bio-PE (bio-polietileno) y el PLA (ácido poliláctico), ambos con un 16 % del mercado, le siguen las bio-PA (bio-poliámidas) con un 9 %, el acetato de celulosa (6 %), y tanto el bio-PET (bio-tereftalato de polietileno), como el bio-PP (bio-polipropileno) y los compuestos basados en almidón, todos ellos con un 5 %. Finalmente encontramos en este orden, PBAT (tereftalato de adipato de polibutileno) y PHAs (polihidroxicanoatos) con un 3 %, PTT (tereftalato de politrimetileno) y bio-poliuretanos con un 2 %, y bio-policarbonatos alifáticos y PBS (succinato de polibutileno) con un 1 %.

En cuanto al mercado de la EU (Figura 11, derecha), destaca que la capacidad de producción es bastante diferente, pues en este caso, el dominante es el bio-PP con un 24 % del mercado, seguido por el bio-PE y los compuestos de almidón con un 18 %, un 15 % corresponde al PBAT, un 9 % a las resinas bio-epoxis (que en el mercado global representaban las mayoritarias), un 6 % de bio-poliámidas, un 4 % de acetato de celulosa, un 3 % de bio-poliuretanos y un 1 % de polímeros basados en caseína, polihidroxicanoatos y PLA. En ambos casos el PEF se refleja con un 0 % de capacidad de producción⁶⁷.

Figura 11. Capacidad de producción de plásticos biobasados a nivel mundial (izquierda) y en EU 27+3 en 2022 (derecha)



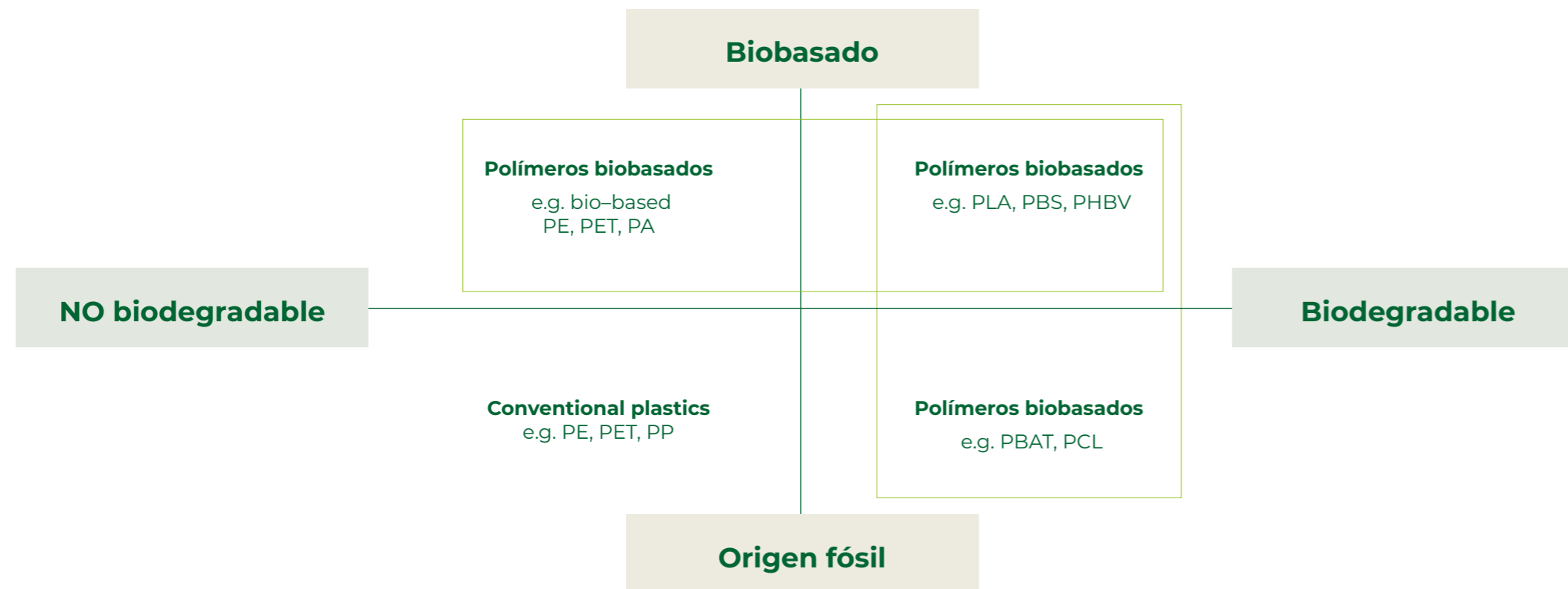
⁶⁷ <https://plasticseurope.org/sustainability/climate/circular-feedstocks/bio-based-and-biodegradable-plastics/>

4.2 Principales polímeros biobasados y biodegradables

Como hemos indicado anteriormente, no todos los polímeros biobasados o producidos a partir de fuentes renovables, son biodegradables, pero algunos sí lo son, al menos en algunos entornos.

Figura 12. Clasificación de polímeros según su fuente y final de vida.

Fuente: European-Bioplastics.org



Los poliésteres biobasados alifáticos son biodegradables puesto que sus enlaces de tipo éster pueden ser fácilmente abiertos mediante hidrólisis y por actividad enzimática⁶⁸. El más conocido sería el PLA, así como los PHAs y el PBS. El PLA es biodegradable en condiciones de compostaje industrial y en digestión anaeróbica termofílica a 52°C. El PHB, como ejemplo de PHA, es biodegradable en todos los entornos. El PBS es biodegradable en compostaje industrial, mientras que el PBSA también lo es en suelo y en compostaje doméstico. Hay que tener en cuenta que el PBSA actualmente sólo es parcialmente biobasado, ya que el ácido adípico utilizado no es biobasado.

En cuanto a poliésteres biobasados aromáticos o aromáticos-alifáticos, hay diferentes situaciones. El PBAT por ejemplo, que combina ambos tipos, se comporta como

el PBSA, y en este caso también hemos de destacar que es parcialmente biobasado por el ácido adípico de nuevo, pero también por el ácido tereftálico. En el caso del PEF (no está reflejado en la figura) presenta una estructura también semiaromática, y biodegrada más rápidamente en condiciones de compostaje industrial que su contrapartida fósil, que es el PET, pero no presenta una notable biodegradación^{69, 70}.

La celulosa es biodegradable en todos los ambientes. Su derivado acetato de celulosa degrada muy lentamente debido a la acetilación, lo que produce un material hidrofóbico⁷¹. Compuestos o modificaciones del mismo, sí dan lugar a productos biodegradables incluso en todos los entornos^{72, 73}. La lignina y el almidón, junto a otros polímeros naturales son también biodegradables en todos ellos.

Comparado con los poliésteres, los poliuretanos son mucho menos biodegradables en cuanto a la variedad de medios y condiciones, debido a una mayor resistencia de los enlaces uretano. Sin embargo, algunos hongos y bacterias del suelo pueden ayudar a hidrolizar los grupos ésteres de los poliuretanos basados en poliéster, como los poliésteres poliol uretanos^{74, 75}.



⁶⁹ Loos, K. et al. *A perspective on PEF synthesis, properties, and end-life*. *Front. Chem.* 8, 585 (2020). Report on the synthesis, properties and end of life of polyethylene furanoate, which is a high-barrier bioplastic soon to enter the market.

⁷⁰ Gruter, G.-J. *Technology and markets day path to the future*. Avantium https://www.avantium.com/wp-content/uploads/2019/06/20190606-Technology-Day_CTO_Gert-Jan_Gruter_breakout_final_.pdf (2019).

⁷¹ Robertson, R. M., Thomas, W. C., Suthar, N. & Brown, D. M. *Accelerated degradation of cellulose acetate cigarette filters using controlled-release acid catalysis*. *Green Chem.* 14, 2266–2272 (2012).

⁷² Huang, Z. et al. *Biodegradability studies of poly(butylene succinate) composites filled with sugarcane rind fiber*. *Polym. Test.* 66, 319–326 (2018).

⁷³ Ferrero, B., Fombuena, V., Fenollar, O., Boronat, T. & Balart, R. *Development of natural fiber-reinforced plastics (NFRP) based on biobased polyethylene and waste fibers from Posidonia oceanica seaweed*. *Polym. Compos.* 36, 1378–1385 (2015).

⁷⁴ Russell, J. R. et al. *Biodegradation of polyester polyurethane by endophytic fungi*. *Appl. Environ. Microbiol.* 77, 6076–6084 (2011).

⁷⁵ Espinosa, M. J. C. et al. *Toward biorecycling: isolation of a soil bacterium that grows on a polyurethane oligomer and monomer*. *Front. Microbiol.* 11, 404 (2020).

Capacidades actuales y proyecciones de biomasa para aplicaciones en polímeros biobasados

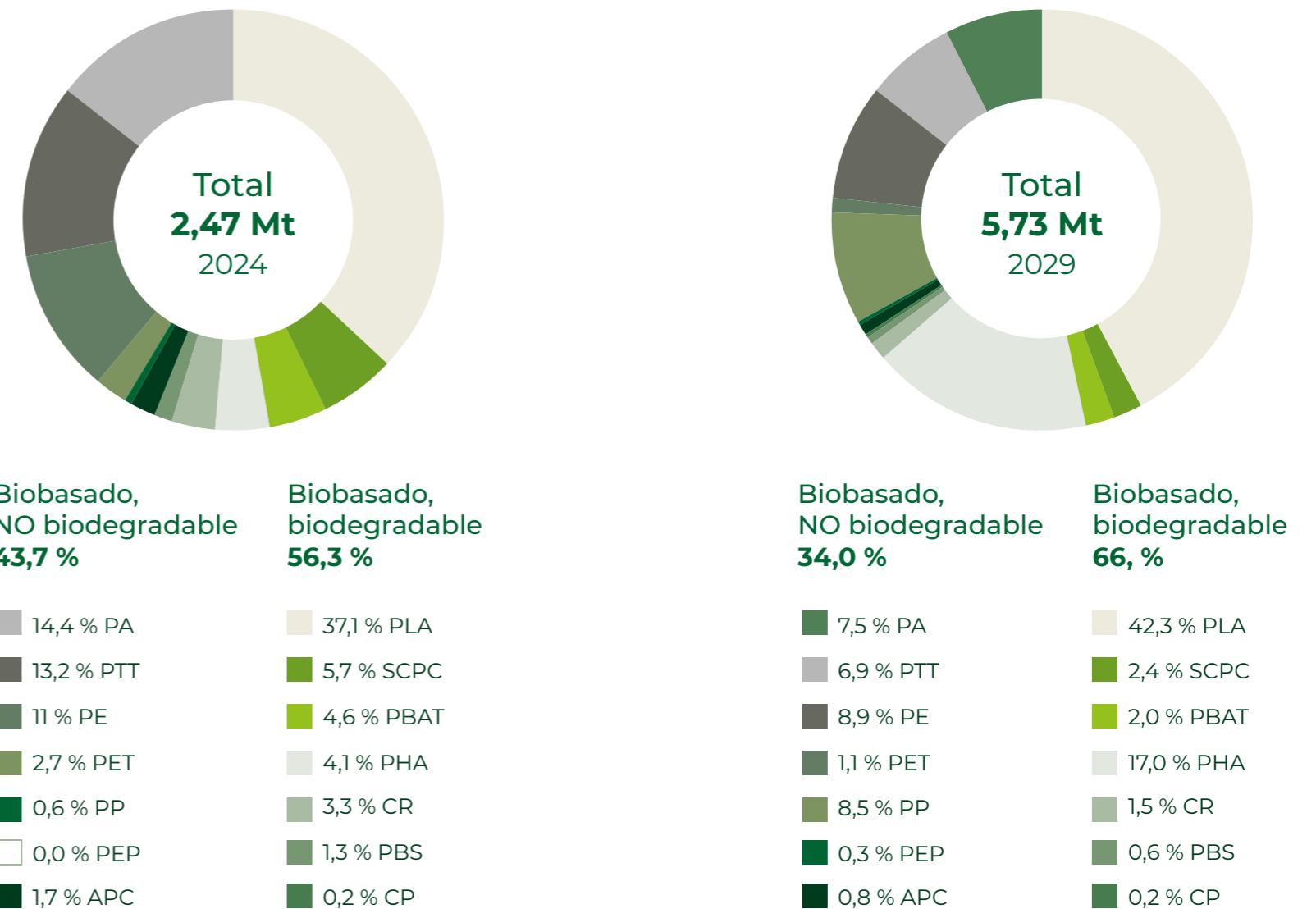
5



Según European Bioplastics⁷⁶ la capacidad global de producción en el año 2024 fue de 2,47 millones de toneladas y se espera que aumente hasta los 5,73 millones de toneladas en 2029. Este crecimiento será desigual en las diferentes partes del mundo y tal como puede observarse en la Figura 13 la capacidad de producción de polímeros biobasados en Europa está reduciendo su porcentaje a nivel mundial debido a un aumento más rápido de la producción en otras regiones, especialmente en Asia y Sudamérica. Esto se debe a varios factores, incluyendo el desarrollo de nuevas capacidades de producción en estos países, costos de producción más bajos y políticas de apoyo a la industria de polímeros biobasados en otras regiones.

Figura 13. Capacidad de producción de polímeros biobasados por tipo de material

Fuente: European Bioplastics



Este aumento de la producción previsto vendrá acompañado de un crecimiento del uso de tierras, que se incrementará hasta los 2,4 millones de hectáreas en 2028, frente a los 0,99 millones de hectáreas empleadas en 2023.

En un escenario de crecimiento ambicioso, se prevé que esta capacidad de producción siga creciendo, estimándose una sustitución de plásticos tradicionales por circulares (en los que se incluyen los polímeros biobasados, junto con los materiales reciclados y los procedentes de carbono capturado y de hidrógeno bajo en carbono) del 65 % en 2050⁷⁷, lo que implica la producción de 11 millones de toneladas de polímeros biobasados.

Los factores que explican la disminución del peso de Europa en la producción de polímeros biobasados son muy variados:

- **Crecimiento acelerado en otras regiones:** Asia y Sudamérica están experimentando un notable aumento en la producción de polímeros biobasados, impulsado por inversiones en nuevas plantas y tecnologías.

- **Menores costes de producción:** En algunas regiones, los costes asociados a la producción de polímeros biobasados son inferiores a los europeos, lo que incrementa su competitividad.
- **Políticas de apoyo más activas:** Algunos países están implementando medidas específicas para fomentar la producción y el uso de polímeros biobasados, atrayendo así inversiones y favoreciendo el crecimiento del sector.

En contraste, Europa se enfrenta a varios desafíos:

- **Altos costes energéticos:** El elevado precio de la energía en Europa afecta negativamente a la competitividad de su industria de polímeros biobasados.
- **Competencia internacional:** Los productores europeos deben competir con fabricantes de otras regiones que operan con costes más bajos.
- **Regulación exigente:** Aunque las normativas europeas sobre plásticos son rigurosas, algunas de ellas podrían estar dificultando el desarrollo del sector de polímeros biobasados frente a otras regiones con marcos regulatorios más favorables.

A pesar de esta pérdida relativa de cuota de producción, la industria europea de polímeros biobasados sigue siendo relevante y se espera que continúe creciendo, aunque a un ritmo más lento que en otras regiones. La demanda global de polímeros biobasados sigue en aumento, impulsada por una mayor conciencia sobre la sostenibilidad y la necesidad de reducir la dependencia de los combustibles fósiles.

En resumen, la reducción del peso de Europa en la producción mundial de polímeros biobasados se debe principalmente al crecimiento más rápido en otras regiones, favorecido por menores costes y políticas de impulso, mientras que Europa enfrenta obstáculos relacionados con costes, competencia y regulación.

Aplicaciones industriales de los polímeros biobasados





En las siguientes figuras se puede observar que los plásticos de origen renovable se utilizan principalmente en el sector del envase, seguido por el uso en menaje del hogar, deporte y ocio y le sigue el de automoción. Construcción y por otro lado agricultura, ganadería y jardinería presentan cuotas similares.

Figura 14. Matriz de conversión de plásticos a nivel europeo

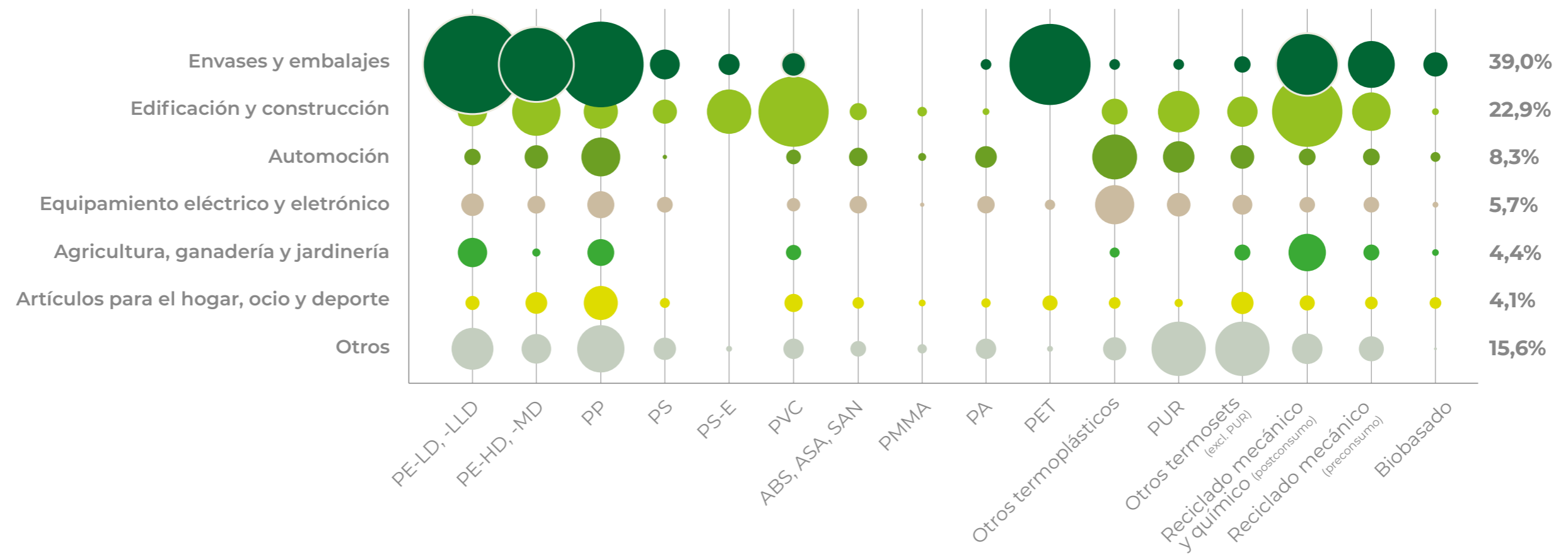


Figura 15. Plásticos circulares en diferentes sectores

2022, UE27+3



El sector de mayor introducción de los polímeros biobasados en general sigue siendo el de los envases. En 2024, la capacidad de producción mundial de polímeros biobasados ascendió a unos 2,47 millones de toneladas, de las cuales el 45 % (1.12 millones de toneladas) se destinó al mercado de envases, el mayor segmento de mercado dentro de la industria de los polímeros biobasados⁷⁸. En cuanto a polímeros biobasados rígidos para estas aplicaciones destacan las de envases alimentarios, pero también las de envases cosméticos en forma de tarros, botellas, etc. El PLA, el bio-PE y el bio-PET en estos casos son los polímeros biobasados que más destacan dentro de los biobasados. En cuanto a envases flexibles, dentro de los polímeros biobasados predomina el empleo de biodegradables, algunos biobasados (como el PLA) y otros no.

En agricultura y horticultura, destacan dentro de los polímeros biobasados, aquellos que son biodegradables en suelo por ejemplo para films de acolchado. En este caso podríamos destacar formulaciones de almidón, derivados de celulosa, PBSA, PBAT, PHAs, etc. En muchas otras aplicaciones se están aplicando y seguramente se ampliará su uso, tales como films para solarización, films para plátano, sistemas de fijación y soporte, macetas y sistemas de cultivo hidropónico, varillas fertilizantes o trampas de feromonas.



En el sector de automoción, los fabricantes están interesados actualmente en sustituir los plásticos de origen fósil por plásticos durables biobasados o al menos parcialmente biobasados para producir componentes resistentes de la guantera, así como partes interiores y exteriores sólidas. También se incluyen fundas para asientos y airbags, así como volantes. Avances en este sentido en innovación, aumentarán la cuota de mercado en este sector y en el de electrónica en el que se incluyen carcasas de ordenador con pantalla táctil y para móviles, altavoces, teclados, aspiradoras, ratones de ordenadores portátiles, etc. Podemos citar aquí como polímeros biobasados empleados o potenciales tanto el PLA como bio-poliamidas, bio-PET, bio-PP, PEF y bio-epoxis, entre otros.

En el sector de la construcción existen diversidad de aplicaciones cubiertas o potenciales a cubrir por plásticos biobasados⁷⁹. Destaca su uso en mezclas de hormigón y morteros, como aditivos para optimizar los productos y modificar así sus propiedades. Muchos de ellos son usados como componentes de adhesivos y masillas. También se emplean como adhesivos para sustituir el cemento, almidón y alginatos. En mezclas de hormigón se han empleado algunos polímeros biobasados como el PLA produciendo PLA expandido (EPLA) para reemplazar

EPS en hormigones ligeros. Algunos polímeros biobasados se han empleado para estabilizar terrenos, tales como goma gellan y goma xantana. Para aplicaciones en este sector mediante impresión 3D se ha empleado lignocelulosa, almidón, algas, quitosano, etc. en forma de aditivos y PLA principalmente como filamento. Residuos celulósicos y micelio también han sido empleados para paneles aislantes acústicos y térmicos, y para bio-ladrillos.

También deben citarse los sectores de aplicación del juguete y sobre todo el sector salud, donde destaca su uso en diferentes ámbitos, tales como dispositivos médicos, implantables, ingeniería de tejidos, etc. En este caso el PLA es uno de los que más destaca por su biocompatibilidad. En impresión 3D también se utiliza desde hace tiempo el PLA, así como PHAs, entre otros. En textiles también podemos encontrar oportunidades, tanto para las bio-poliamidas como el bio-PET, pero también para el PLA, PHAs, etc. Por otro lado, en recubrimientos y adhesivos hay un amplio margen de maniobra, donde podemos incluir a PLA y copolímeros o mezclas con otros polímeros biobasados, politerpenos, PHAs, bio-epoxis, almidón, etc.

Innovación tecnológica y tendencias de desarrollo en polímeros biobasados



7.1 Proyectos de I+D+i de polímeros renovables

La Unión Europea ha apoyado durante varias décadas el desarrollo de plásticos de origen biológico a través de una investigación colaborativa. Se estima que, en este ámbito geográfico, entre 2007 y 2020 se han llevado a cabo más de 130 proyectos de investigación públicos o público-privados en diferentes programas de la UE, como Horizonte 2020 (H2020), *Biobased Industries Joint Undertaking* (BBI-JU) o EU-LIFE. En la actualidad, nuevos programas han aparecido reforzando esta temática, como Horizonte Europa (HEU) o *Circular Bio-based Europe Joint Undertaking* (CBE-JU).

En la actualidad, relacionados con las convocatorias BBI-JU y CBE-JU en el periodo 2018-2023 hubo 194 proyectos en sus diferentes fases (ejecución o finalizado) de los que 34 se corresponden a la temática *bio-based polymers & plastics*; de estos 29 proyectos están participados por empresas, centros tecnológicos o universidades españolas (Tabla 3).

Tabla 3. Proyectos de investigación con participación española financiados en el periodo 2018-2023 en las convocatorias BBI-JU y CBE-JU

Fuente: CBE⁸⁰

Proyecto	Estado	ORIGEN FEEDSTOCK				
		Residuos agroalimentarios	Residuos forestales	Derivados de la industria	Residuos orgánicos	Otros
Barbara	✓					
Biocomem	✓					
Biomotive	✓					
Biontier	⚙️					
Biopyrania	⚙️					
Bioring	⚙️					
Biosprint	✓					
Bizente	✓					
Circular Biocarbon	⚙️					
Cubic	⚙️					
Ecofunco	✓					
Ecoxy	✓					
Embraced	✓					
Enzycle	✓					
Fraction	✓					

✓ Finalizado ⚙️ En ejecución

La tabla 3 continúa en la siguiente página



Tabla 3. [CONTINUACIÓN] Proyectos de investigación con participación española financiados en el periodo 2018–2023 en las convocatorias BBI–JU y CBE–JU

Fuente: CBE ⁸⁰

Proyecto	Estado	ORIGEN FEEDSTOCK				
		Residuos agroalimentarios	Residuos forestales	Derivados de la industria	Residuos orgánicos	Otros
Furious	⚙️					
Lignicoat	⚙️					
Mandala	✅					
Polybioskin	✅					
Polymeer	⚙️					
Polymers–5b	⚙️					
Rebiocycle	⚙️					
Smartli	✅					
Superbark	⚙️					
Thermofire	⚙️					
Unlock	⚙️					
Vibes	⚙️					
Vipriscar	✅					
Woodzymes	✅					

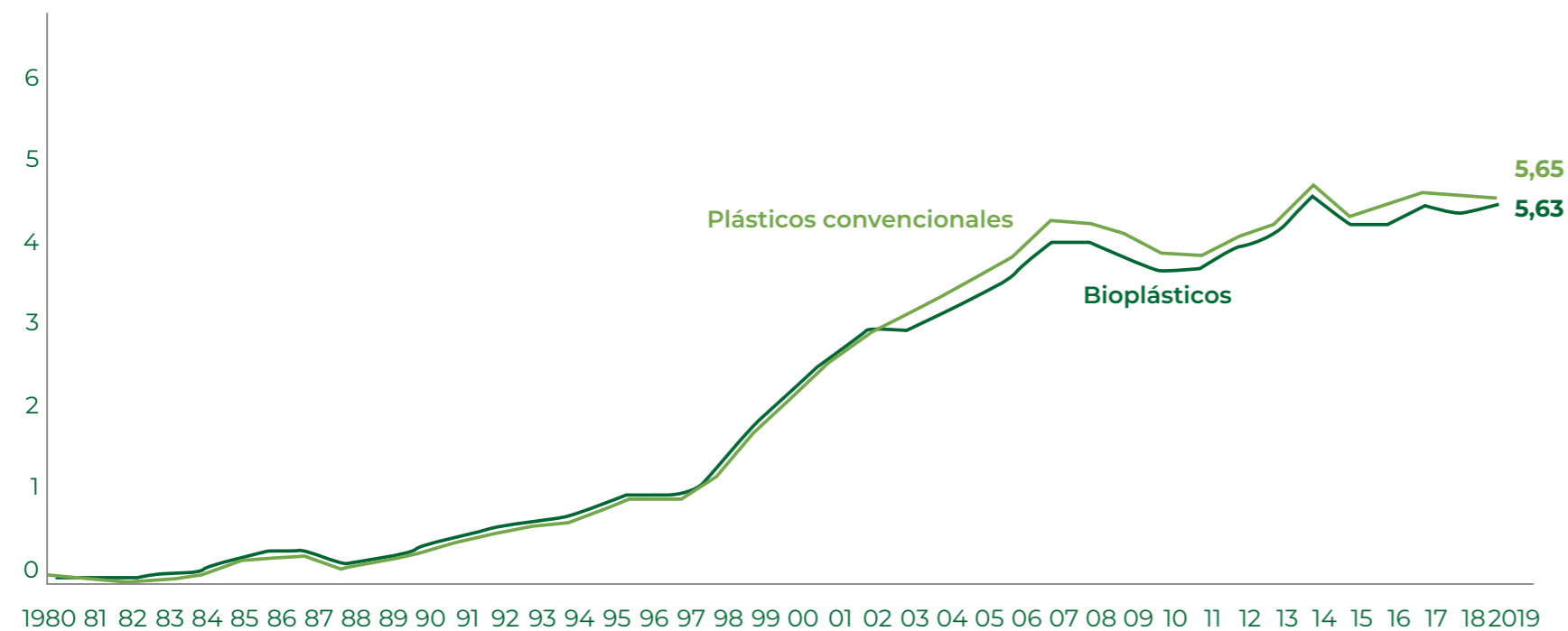
✅ Finalizado ⚙️ En ejecución

7.2 Patentes de polímeros renovables

En paralelo a los proyectos de innovación el número de patentes sobre polímeros renovables está en continua evolución (Figura 16). La innovación se remonta a los años 80 y sufrió un claro crecimiento hasta la crisis económica del 2008, reanudándose a un ritmo más lento en 2014⁸¹, de forma similar al desarrollo de innovación de plásticos convencionales.

Figura 16. Crecimiento de las patentes en polímeros biobasados frente a plásticos convencionales, 1980–2019 (base 1 establecida en 1980)

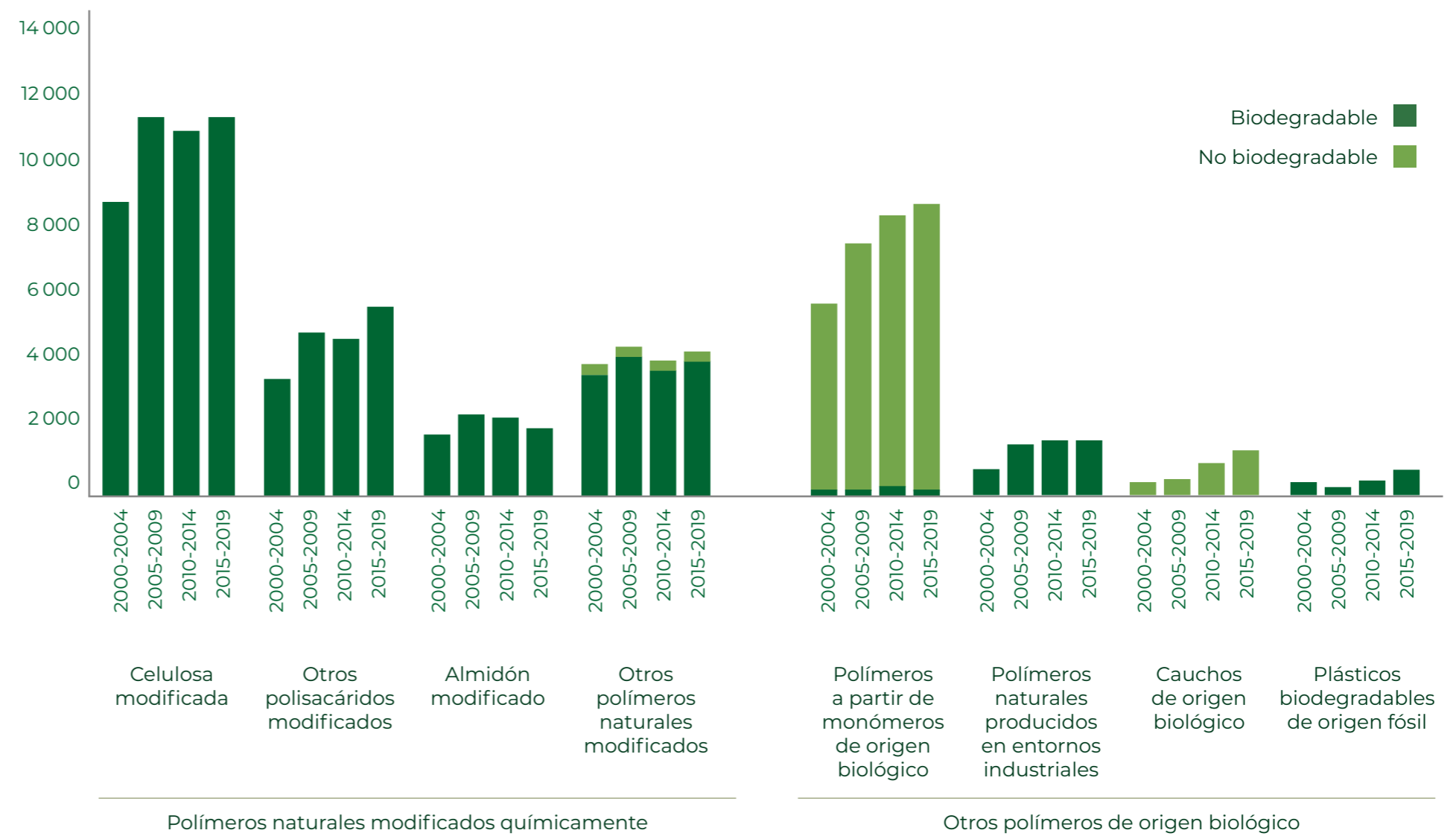
Fuente: Oficina Europea de Patentes



Las patentes se pueden dividir en diferentes temáticas, siendo las de mayor número las relacionadas con la celulosa modificada. En los últimos años, las patentes que han supuesto un mayor crecimiento son aquellas relacionadas con polímeros cuyos monómeros son de origen renovable y que no presentan características de biodegradación, como el Bio-PET, Bio-PE, Bio-PA o Bio-PP (Figura 17).

Figura 17. Número de IPF (*International Patent Families*) según categorías de polímeros biobasados

Fuente: Oficina Europea de Patentes



Respecto a la nacionalidad de las patentes, Europa y Estados Unidos dominan en este campo, generando entre los dos el 60 % de las familias de patentes internacionales (IPF de sus siglas en inglés) durante el periodo 2010–2019 (Tabla 4). Dentro de Europa, Alemania lidera en términos de número de IPF, pero carece de especialización; sin embargo, esta especialización en polímeros biobasados es mostrada por España, junto con Francia, Reino Unido, Italia, Suiza, los Países Bajos, Dinamarca y Bélgica, según el indicador VTR (Ventaja Tecnológica Revelada).

Tabla 4. Origen de los IPF relacionados con polímeros biobasados en el periodo 2010–2019

Fuente: Oficina Europea de Patentes

Zona	Número de IPFs (*)	Cuota de IPFs	IPF por millones cápita	VTR (**)
Convención Europea de Patentes	15.255	30,8 %	22,99	1,12
Estados Unidos	14.905	29,8 %	44,81	1,43
EU27	12.072	25,4 %	27,11	1,06
Japón	8.056	17,7 %	64,38	0,70
Alemania	4.090	8,2 %	48,82	0,82
República de Corea	3.644	5,3 %	70,65	0,84
República Popular China	3.272	5,0 %	2,35	0,56
Francia	2.664	4,3 %	40,81	1,45
Reino Unido	1.654	2,9 %	24,36	1,24
Italia	1.100	2,9 %	18,20	1,18
Suiza	834	2,3 %	96,35	1,33
Holanda	755	1,5 %	44,08	1,14
Bélgica	596	1,0 %	51,39	2,07
España	577	0,9 %	12,34	1,43
Suecia	453	0,7 %	44,85	0,72
Dinamarca	346	0,6 %	59,74	1,29

NOTA (*): El número de IPF por país se calcula en función de la ubicación de los inventores, utilizando el cómputo fraccionado en caso de múltiples inventores para un mismo IPF.

NOTA ():** El índice de ventaja tecnológica revelada (VTR de sus siglas en inglés) indica la especialización de un país en términos de innovación tecnológica en reciclaje de polímeros biobasados en relación con su capacidad global de innovación. Se define como la proporción de IPF de un país en un campo tecnológico concreto dividida por la proporción de IPF del país en todos los campos tecnológicos. Un ACR superior a uno refleja la especialización de un país en una tecnología determinada.

Gestión del fin de vida de los polímeros biobasados

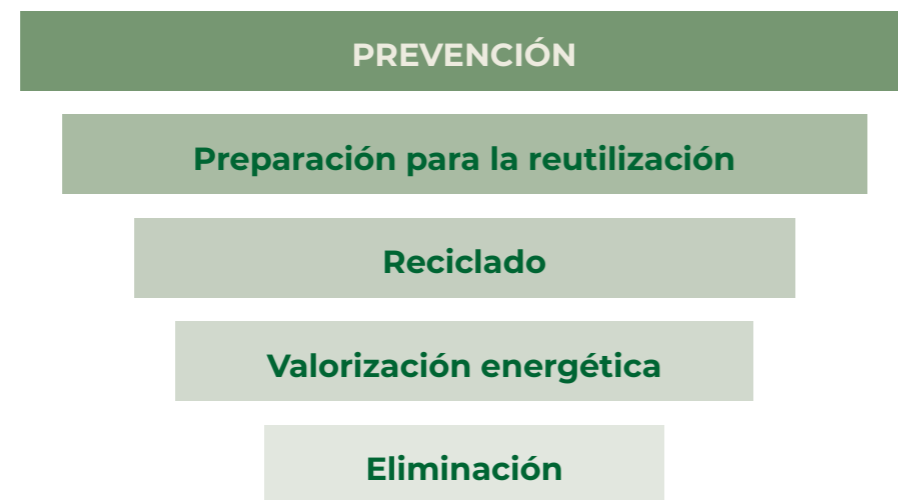




Al final de su vida útil, los productos se convierten en residuos, que deben ser gestionados adecuadamente para volver a introducirlos en forma de materiales, sustancias o energía en el proceso productivo.

Es importante tener en cuenta la jerarquía de residuos (Figura 18), donde se prioriza las soluciones de la parte superior de la pirámide invertida, siempre que el impacto relacionado sea menor.

Figura 18.
Jerarquía de tratamiento de residuos



Cabe destacar la existencia de diferentes procesos de reciclaje (mecánico, físico, químico y biológico); la suma de todos estos procesos complementarios hará posible el cumplimiento de objetivos que exige la Unión Europea y proporcionará una verdadera circularidad a los plásticos renovables.

Al final de su vida útil los productos procedentes de materiales renovables son residuos que deben ser gestionados adecuadamente, de forma similar a la de los residuos de materiales fósiles.

En el caso de materiales que puedan tener ambos orígenes y no son biodegradables ni compostables (por ejemplo, un polietileno) no hay diferencias en su gestión posterior, pudiéndose tratar los residuos de origen fósil y de origen renovable de forma conjunta y obteniéndose los mismos materiales, sustancias o energía con el mismo rendimiento.

Cabe señalar que, en algunos casos, los plásticos de origen renovable también pueden ser biodegradables compostables. En este caso, aunque también pueden ser reciclados o valorizados energéticamente, pueden tener un fin de vida diferente y dependerá del polímero en concreto puesto que los plásticos biodegradables no lo son por igual en todos los medios. Las opciones de valorización mediante biodegradación son:

- Biodegradación aeróbica en planta de compostaje, obteniendo compost.
- Biodegradación aeróbica en compostaje doméstico, obteniendo compost.
- Biodegradación anaeróbica en planta de biogás, obteniendo energía principalmente.

Hay que indicar que en muchos casos la biodegradación se realiza de forma mixta aeróbico/anaeróbico en procesos consecutivos para maximizar los productos obtenidos.

Es importante señalar que, aunque existen otros medios de biodegradación, como el suelo o el agua marina o dulce, la biodegradación en los mismos no constituye un concepto de valorización, correspondiéndose a una eliminación puesto que no hay recuperación de recursos. Todos los fines de vida planteados son posibles si existe un sistema de gestión adecuado, que permita la recogida de los residuos, su clasificación, separación y transporte hasta la planta adecuada de tratamiento.



Anexo

9

Tabla 5. Sustratos y tratamientos para obtener polímeros biobasados de 2ª Generación

Bioplastic	Substrate	Method	Reference
PLA	Sugar beet pulp	Acid and enzymatic hydrolysis, fermentation	Alves de Oliveira et al. (2020)
PLA	Starch from potato waste	The cradle-to-factory gate scope	Broeren et al. (2017)
PLA	Seaweed <i>Ulva</i> spp.	Glucose obtained from hydrolysis, fermentation	Helmes et al. (2018)
PLA	Cheese whey	Enzymatic hydrolysis and fermentation	Liu et al. (2018)
PLA	Coffee waste and coffee pulp	Acid and enzymatic hydrolysis, fermentation	Pleissner et al. (2016)
PHA	Coffee waste – oil extraction containing fatty acids	Organosolvent extraction, evaporation and fermentation	Bhatia et al. (2018)
PHA	Cellulose from rice husks	Alkaline and enzymatic hydrolysis, fermentation	Heng et al. (2017)
PHA	Cheese whey	Acidogenic fermentation	Israni et al. (2020)
PHA	Municipal wastewater	Carbon-rich residuals conversion into volatile fatty acids for fermentation	Morgan-Sagastume et al. (2016)
PHA	Pineapple peel solution	Fermentation	Penkrue et al. (2020)
PHA	Chicken feather waste	Fermentation	Pernicova et al. (2019)
PHA	Waste cooking oil	Fermentation	Sangkharak et al. (2021)
PHA	Palm oil	Fermentation	Thinagaran & Sudesh (2019)
PHA	Wastewater sludge	Pyrolytic pre-treatment, fermentation	Vogli et al. (2020)
PHB	Waste paper from municipal solid waste	Enzymatic hydrolysis pre-treatment and fermentation	Al-Battashi et al. (2019)
PHB	Lignocellulosic biomass	Hot water pre-treatment and fermentation	Yin et al. (2019)



Tabla 6. Resumen de polímeros biobasados producidos a partir de algas

Biomass species	Product	Process description	Reference
<i>S. platensis</i>	<i>S. platensis</i> -PVA blend film	6 % MAH and 30 % glycerol; tensile strength 27.7–28.26 kgf/cm ² and 59.17–66.0 % elongation.	Dianursanti et al. (2018, 2019)
<i>S. platensis</i>	<i>S. platensis</i> -wheat gluten blend thermoplastic	30 % microalgae; wheat gluten; compression mold at 120 °C, 40 bar, 10 min; glycerol or 1,4-butanediol as plasticizers.	Ciaponni et al. (2019)
<i>Spirulina sp.</i>	Spirulina-Polybutylene succinate (PBS) composites	Melt blending at 130 °C, 6 min, with 6 % MAH-grafted PBS and 15–50 % Spirulina biomass.	Zhu et al. (2017)
<i>Chlorella</i>	<i>Chlorella</i> -PVA blend films	Ultrasonic <i>Chlorella</i> treatment; solvent casting at 80 °C with glycerol and citric acid; tensile strength 15.3 kgf/cm ² and 99.63 % elongation.	Sabatini et al. (2018)
<i>Chlorella vulgaris</i>	<i>Chlorella</i> -PVA blend film	Compression molded at 120 °C between <i>Chlorella</i> , glycerol and MAH grafted PVA; tensile strength 42.25 kgf/cm ² and 13.0 % elongation.	Dianursanti & Khalis (2018)
<i>Scenedesmus sp.</i>	PHB	Glucose, N, P, Fe and salinity concentration optimized by Taguchi design; 0.83–2.92 % (w/w) dry weight final accumulation.	García et al. (2020)

Tabla 7. Ejemplo de los principales *building blocks* y bioproductos que pueden ser obtenidos a partir de materias primas provenientes de cada plataforma³⁷

Plataformas

de aceite vegetal y otros lípidos

de lignocelulosa

de azúcares

de proteínas

de biogás

de gas de síntesis

Materias primas	Building blocks	Bioproductos
PLATAFORMA DE ACEITE VEGETAL Y OTROS LÍPIDOS		
Cultivos oleaginosos y residuos industriales	Ácidos y ésteres grasos	Ácidos grasos, alcoholes y sus derivados.
Cultivo de algas	Alcoholes grasos	Ácidos dicarboxílicos: ácido sebácico, ácido 11-aminoundecanoico, ácido azelóico, ceras líquidas.
Residuos industriales (grasas)	Dioles	Acetales, 1,3 propanodiol, 3-hidroxi propional, ácido acrílico y propileno, éteres y ésteres.
Residuos urbanos (aceites usados)	Epiclorhidrina	Alimentos.
	Glicerol	Antioxidantes.
		Biodisolventes.
		Dioles, alfa-limoneno, dodecilsulfonatos.
		Emulsionantes y biolubricantes.
		Ésteres grasos y derivados.
		Fitoesteroles y fitoestanoles.
		Glicerol y derivados.
		Monómeros para polímeros biobasados (diácidos, diésteres, dioles...).
		Polímeros (poliamidas, poliésteres, poliuretanos).
		Vitaminas.
		Proteínas y aminoácidos.

Tabla 7. Ejemplo de los principales *building blocks* y bioproductos que pueden ser obtenidos a partir de materias primas provenientes de cada plataforma³⁷

Plataformas

de aceite vegetal y otros lípidos

de lignocelulosa

de azúcares

de proteínas

de biogás

de gas de síntesis

Materias primas	Building blocks	Bioproductos
PLATAFORMA DE LIGNOCELULOSA		
Cultivos lignocelulósicos	Ácido 2,5–furandicarboxílico (FDA)	Acetatos ésteres diversos, acetona.
Residuos agrícolas	Ácido acético	Ácido levulínico, ácido succínico, ácido láctico.
Aprovechamientos y residuos forestales	Ácido fórmico	Aldehído siríngico y ácido siríngico.
Residuos industriales	Ácido levulínico	Alcoholes (etanol, butanol, isobutanol).
Residuos urbanos	Azúcares C5 y C6	Antioxidantes.
	Dioles	Azúcares C5 y C6.
	Furfural	Biodisolventes derivados de azúcares.
	Gas de síntesis	Ciclohexano.
	Lignina, celulosa e hemicelulosa	Compuestos aromáticos como benceno, tolueno, xilenos, fenoles y anisoles.
	Líquido de pirólisis	Cualquier producto de fermentación.
	Hidroximetilfurfural	Fibras para composites.
	Valerolactona	Formiatos ésteres diversos.
		Furfural e hidroximetilfurfural (HMF). Polímeros preparados a partir de derivados furánicos.
		Hidrocarburos.
		Hidrógeno.
		Levulinatos, ésteres diversos.
		THF, FDCA (ácido 2,5 furandicarboxílico), MTHF (metiltetrahidrofolato), HMFA (ácido 5-hidroximetil-2-furanoico).
		Lignina.
		Líquidos de pirólisis (“bio-oils”).
		Pectinas.
		Piensos.
		Polifenoles.
		Productos del gas de síntesis.
		Vainillina y ácido vainillínico.

Tabla 7. Ejemplo de los principales *building blocks* y bioproductos que pueden ser obtenidos a partir de materias primas provenientes de cada plataforma³⁷

Plataformas

de aceite vegetal y otros lípidos

de lignocelulosa

de azúcares

de proteínas

de biogás

de gas de síntesis

Materias primas	Building blocks	Bioproductos
PLATAFORMA DE AZÚCARES		
Algas	Ácido xilónico	<p>Ácidos orgánicos y derivados: ácido 2,5-furanodicarboxílico; ácido 3-hidroxiopropiónico; ácido adípico; ácido butírico; ácido cítrico; ácido furoico; ácido glucárico; ácido glucónico; ácido glucurónico; ácido 3-hidroxiopropanoico; ácido láctico; ácido levulínico; ácido málico; ácido 2-oxoglutarico; ácido pirúvico; ácido propiónico; ácido succínico; ácido itacónico; ácido xilónico; anhídrido maleico.</p> <p>Alcoholes: propanol; alcohol furfurílico; 2,3-butanodiol; isopropanol, butanotriol, N-metil-N-acil glucamidas (NMGA).</p> <p>Aminoácidos: ácido aspártico; ácido glutámico.</p> <p>Antibióticos.</p> <p>Azúcares fermentables.</p> <p>CO₂.</p> <p>Compuestos carbonílicos: acetona; acetoína.</p> <p>Compuestos de interés alimentario: xantano; ésteres de sorbitano; vitaminas; proteína unicelular.</p> <p>Compuestos heterocíclicos: furano, hidroximetilfurfural, metiltetrahydrofurano; dihidropirano; < THF (tetrahydrofurano).</p> <p>Enzimas.</p> <p>Hidrocarburos: 1,3-butadieno; farnaseno, isopreno, xileno.</p> <p>Lactonas: γ-valerolactona.</p> <p>Polímeros y oligómeros: PEF; polihidroxicanoatos; alquilpoliglicósidos (Triton® BG-10, Glucopon 215 CS UP, APG® 325 N).</p> <p>Poliolés: sorbitol, xilitol, manitol.</p>
Cultivos alcoholígenos	Ácido oxálico	
Residuos industriales	Ácido fumárico	
Residuos urbanos	Ácido acético	
Cultivos lignocelulósicos	Azúcares C5 y C6	
	Etanol	
	Furano	
	Furfural	
	Glicerol	
	Glucosa	
	Poliolés	
	1,3-propanodiol	
	1,2-propanodiol	
	Granos secos de destilería con solubles (DDGS)	

Tabla 7. Ejemplo de los principales *building blocks* y bioproductos que pueden ser obtenidos a partir de materias primas provenientes de cada plataforma³⁷

Plataformas

de aceite vegetal y otros lípidos

de lignocelulosa

de azúcares

de proteínas

de biogás

de gas de síntesis

Materias primas	Building blocks	Bioproductos
PLATAFORMA DE PROTEÍNAS		
Algas y cultivos altoproteicos	Aminoácidos	Antivirales.
Residuos herbáceos forestales	Péptidos	Antioxidantes.
Residuos industriales (alimentación, bebidas, etc.)		Alimentos.
Residuos ganaderos		Aminoácidos.
Residuos urbanos (procedente de HORECA)		Colágeno, gelatina, queratina.
		Compuestos químicos de alto valor añadido.
		Hidrolizados de aminoácidos empleados en la preparación de fertilizantes.
		Péptidos y enzimas.
		Piensos.
		Pigmentos.
		Vitaminas.
PLATAFORMA DE BIOGÁS		
Residuos ganaderos	Acetatos	Ácidos carboxílicos volátiles.
Residuos industriales	Ácidos carboxílicos volátiles	Fertilizantes.
Residuos urbanos		Hidrógeno.
PLATAFORMA DE BIOGÁS		
Cultivos lignocelulósicos	Gas de síntesis	Ácido acético.
Aprovechamientos y residuos forestales		Ácido butírico.
Residuos industriales		Ceras.
Residuos urbanos		CO ₂ .
		Dimetiléter (DME).
		Gases C1-C5.
		Hidrógeno.

Glosario y definiciones

10

Bioeconomía

Conjunto de actividades económicas que obtienen productos y servicios, generando valor económico, utilizando, como elementos fundamentales los recursos de origen biológico, de manera eficiente y sostenible.

La bioeconomía cubre todos los sectores y sistemas que dependen de los recursos biológicos (animales, plantas, microorganismos y biomasa derivada, incluidos los desechos orgánicos), sus funciones y principios.

La Comisión Europea define la bioeconomía como “la producción de recursos biológicos renovables y la conversión de estos recursos y flujos de desechos en productos de valor añadido, como alimentos, piensos, bioproductos y bioenergía”⁸².

Biomasa

Toda materia orgánica susceptible de ser transformada en bioenergía o bioproductos. Puede ser de origen agrícola, forestal, ganadero, o provenir de industrias asociadas a estos sectores

(agroalimentario, forestal, acuicultura, entre otros), sin olvidar la fracción orgánica de los residuos municipales.

Según la Directiva Europea sobre Energías Renovables⁸³, también se entiende por biomasa “la fracción biodegradable de los productos, desechos y residuos de origen biológico procedentes de sustancias agrícolas, incluidas sustancias vegetales y animales, de la silvicultura y de las industrias afines, incluidas la pesca y la acuicultura, así como la fracción biodegradable de los residuos, incluidos los residuos industriales y municipales de origen biológico”.

Biorrefinería

Instalación donde se generan, a partir de la biomasa y de forma sostenible, un amplio espectro de productos de interés comercial (combustibles y materiales que necesitarán o no volver a ser tratados para su incorporación final en el mercado). Según la IEA Bioenergy Task 42, biorrefinería es el procesado sostenible de biomasa en un abanico de productos comer-

ciales (alimentos, piensos, materiales, productos químicos) y energía (combustibles, electricidad, calor). Según la National Renewable Energy Laboratory, una biorrefinería es una instalación que integra los procesos y el equipamiento de conversión de biomasa para producir combustibles, electricidad y productos químicos a partir de biomasa. El concepto de biorrefinería es análogo al de las refinerías convencionales, que producen múltiples combustibles y productos a partir del petróleo.

Gases de efecto invernadero (GEI)

Gases que absorben la energía solar y emiten calor, manteniéndolo en la superficie de la Tierra, provocando un aumento de temperatura. Son los causantes del cambio climático.

Materia prima de primera generación (1G)

Aquella cuya fuente de carbono es el azúcar, los lípidos o el almidón extraídos directamente de una planta. En este caso, se considera su cultivo como potencial competidor frente a cultivos agroalimentarios.

⁸² <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/HTML/?uri=CELEX:52012DC0060&from=SV>

⁸³ Directiva (UE) 2018/2001. <https://www.boe.es/doue/2018/328/L00082-00209.pdf>

Materia prima de segunda generación (2G)

Aquella cuya fuente de carbono deriva de celulosa, hemicelulosa, lignina o pectina. En esta categoría se incluyen, por ejemplo, desechos o residuos agrícolas y forestales, o materias primas no alimentarias cultivadas expresamente (como monte bajo, pastos energéticos...).

Materia prima de tercera generación (3G)

Aquella cuya fuente de carbono deriva de organismos acuáticos autótrofos, como las algas. La luz, el dióxido de carbono y los nutrientes son utilizados para producir la materia prima, “ampliando” los recursos de carbono disponibles para la producción de bioproductos. Sin embargo, un organismo heterótrofo (que utiliza azúcar o celulosa para producir los bioproductos) no se considerarían 3G.

Plásticos bioatribuidos

Aquellos en los que el uso de materias primas de origen biológico, que sustituyen parte de la materia prima necesaria en el proceso de fabricación, se ha atribuido al producto mediante el método de balance de masas

y están certificados según un sistema de certificación independiente. El balance de masas es un enfoque de cadena de custodia que garantiza la contabilización precisa de la materia prima de origen biológico, incluso si el producto final se obtiene utilizando una mezcla de materias primas de diferentes orígenes. No se puede declarar el contenido de carbono ¹⁴C de origen biológico en productos bioatribuidos.

Plástico biodegradable

Es aquel que se degrada por “acción de microorganismos” en agua, dióxido de carbono (o metano) y biomasa, en condiciones específicas.

Plástico compostable

Plásticos diseñados para degradarse biológicamente en compost bajo ciertas condiciones de temperatura, humedad y tiempo, generando compost y produciendo en su descomposición CO₂, agua, compuestos inorgánicos y biomasa, sin generar residuos tóxicos. Están diseñados para biodegradarse en las condiciones de una planta de compostaje industrial, en el caso de plásticos

compostables industrialmente o en las condiciones de un compostador doméstico, en el de plásticos compostables domésticos ⁸⁴.

Plástico de origen biológico o biobasados

Plástico fabricado a partir de biomasa procedente de fuentes sostenibles y que no perjudican al medio ambiente, cumpliendo los criterios de sostenibilidad. Además, se sugiere que el término se use especificando la proporción exacta y medible de plástico de origen biológico que contiene el producto ⁸⁵. De acuerdo con el Reglamento de Envases y Residuos de Envases ⁸⁶, son aquellos plásticos fabricados a partir de recursos biológicos, como biomasa, residuos orgánicos o subproductos, independientemente de que los plásticos sean biodegradables o no biodegradables.

⁸⁴ *Biodegradable and compostable plastics — challenges and opportunities*. European Environment Agency. Published 27 Aug 2020, last modified 13 Feb 2023.

⁸⁵ Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones “Marco político de la UE para los plásticos biobasados, biodegradables y compostables” COM/2022/682 final. Document 52022DC0682

⁸⁶ Regulation (EU) 2025/40 of the European Parliament and of the Council of 19 December 2024 on packaging and packaging waste, amending Regulation (EU) 2019/1020 and Directive (EU) 2019/904, and repealing Directive 94/62/EC (Text with EEA relevance) (https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=OJ:L_202500040&pk_campaign=todays_OJ&pk_source=EUR-Lex&pk_medium=X&pk_content=Environment&pk_keyword=Regulation)



Plastics Europe Ibérica
Hermosilla, 31-1º, 28001 Madrid
Teléfono: +34 91 436 23 52
connect.es@plasticseurope.org



AIMPLAS Instituto Tecnológico del Plástico
Carrer de Gustave Eiffel, 4, 46980 Paterna, Valencia
Teléfono: +34 96 136 60 40
<https://www.aimplas.es/contacto>