

El éxito de las biorrefinerías multiproducto será clave para el desarrollo e implementación de una bioeconomía sostenible

The Success of Integrated Biorefineries Will Be Key to the Development and Implementation of a Sustainable Bioeconomy

Ana Susmozas, Antonio David Moreno – Investigadores del Departamento de Energía del CIEMAT / Researchers from CIEMAT's Department of Energy

El cambio climático y las incertidumbres sobre la escasez en el suministro de energía a corto y medio plazo se encuentran entre las principales preocupaciones de la sociedad actual debido a las implicaciones económicas derivadas de esta problemática. En este contexto, el desarrollo de las denominadas biorrefinerías ha adquirido un gran interés en los últimos años, al perseguir la conversión de fuentes renovables para la obtención de bioproductos que disminuyan nuestra dependencia de los recursos fósiles y garanticen la implementación de una economía sostenible.

Según la tendencia de crecimiento de la población mundial, para el año 2050 se espera que seamos entre 7000 y 10000 millones de personas [1]. Estrechamente ligado a este hecho, la demanda energética se incrementará de forma significativa, pudiendo derivar en una crisis global de consecuencias desconocidas. Dentro de los distintos sectores energéticos, el sector transporte es, además, uno de los principales implicados en la emisión masiva de gases de efecto invernadero debido a su alta dependencia de los combustibles fósiles, contribuyendo en gran medida al fenómeno del cambio climático global [2]. Con el objetivo de asegurar el futuro suministro de energía y combatir el cambio climático, la utilización de recursos renovables para la producción de vectores energéticos sostenibles como los biocombustibles es, por tanto, un requisito indispensable en la sociedad actual, y está liderando la transición a un nuevo modelo económico basado en la utilización de productos de origen biológico de carácter renovable y con un mejor desempeño ambiental.

Las denominadas *biorrefinerías* se consideran industrias capaces de transformar de forma eficiente la biomasa para la obtención de un amplio rango de productos de interés, no sólo para la industria energética, sino también para el sector químico, alimentario y de materiales [3]. Con una producción de 10¹⁰ millones de toneladas anuales [4], la lignocelulosa es el mayor recurso renovable en la naturaleza y representa una importante materia prima para las biorrefinerías. Entre los materiales lignocelulósicos podemos encontrar diversos residuos agrícolas y forestales como la paja de cereal o los residuos procedentes de la poda del olivar, residuos de la industria papelera o la actividad hortofrutícola, o incluso la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (Forsu).

Dentro de los biocombustibles, el etanol lignocelulósico se considera una de las mejores opciones para reducir las emisiones de gases de efecto

Climate change and uncertainties about the scarcity of short- and medium-term energy supply are among the main concerns of today's society due to the economic implications derived from this problem. In this context, the development of so-called biorefineries has acquired great interest in recent years by pursuing the conversion of renewable sources to obtain bioproducts that reduce our dependence on fossil resources and that guarantee the implementation of a sustainable economy.

According to the growth trend of the world population, by the year 2050 it is expected that there will be between 7 and 10 billion people [1]. Closely linked to this fact, energy demand will increase significantly, leading to a global crisis of unknown consequences. Within the various energy sectors, transportation is one of the main sectors involved with the massive emission of greenhouse gases due to its high dependence on fossil fuels, contributing greatly to the climate change phenomenon [2]. With the aim of ensuring the future supply of energy and facing climate change, the use of renewable resources for the production of sustainable energy vectors such as biofuels is, therefore, an essential requirement for today's society, and is leading the transition to a new economic model based on the use of renewable bio-based products with lower environmental impact.

The so-called biorefineries are considered industries capable of transforming biomass efficiently to obtain a wide range of products of interest, not only for the energy industry, but also for the chemical, food, and materials sector [3]. With a production of 10¹⁰ million tons per year [4], lignocellulose is the largest renewable resource in nature and represents an important raw material for biorefineries. Among lignocellulosic materials, we can find various agricultural and forest residues, such as cereal straw or residues from olive pruning, waste from the paper industry or horticultural activity, or even the organic fraction of municipal solid waste (OFMSW).

Within biofuels, lignocellulosic ethanol is considered one of the best options to reduce greenhouse gas emissions

invernadero del sector transporte a corto plazo. Además, el etanol se considera un componente químico esencial para la obtención de otros derivados con aplicación en el propio sector energético (ETBE) e incluso en la alimentación (etileno), incrementando así su interés comercial. En la actualidad, la producción de etanol lignocelulósico mediante procesos biotecnológicos es, sin embargo, un proceso ineficiente, lo cual limita la competitividad de este producto en el mercado. Con el fin de garantizar un mejor balance económico del proceso y disminuir los costes de producción del bioetanol, en los últimos años se ha planteado la utilización integral de todos los componentes de la biomasa para la obtención de diversos compuestos con valor agregado dentro de un contexto de biorrefinería integrada. Esta estrategia de biorrefinerías multiproducto se considera un enfoque muy prometedor y tiene un gran potencial para mejorar la economía de estas industrias y diversificar a su vez los productos obtenidos de las materias primas. Proyectos como Smibio, Waste2bio y Urbiofin, en los que participa la Unidad de Biocarburantes del CIEMAT, son de vital importancia para el establecimiento de dichas biorrefinerías, al abordar los principales cuellos de botella para el desarrollo de una tecnología eficiente de transformación de la biomasa, respaldando a su vez la viabilidad techno-económica y ambiental de los procesos. Las actividades principales, así como los objetivos perseguidos en estos proyectos se resumen a continuación:

1. Proyecto Smibio (<https://www.smibio.net>): *Small-scale Integrated BIOrefineries*, financiado por el 7º Programa Marco de Investigación y Desarrollo Tecnológico de la Unión Europea (ELAC2014/BEE-0249).

El objetivo principal del proyecto Smibio es el desarrollo de biorrefinerías integradas de pequeña escala, capaces de procesar diferentes tipos de biomasa lignocelulósica en reducidas zonas rurales y urbanas de Europa y de países pertenecientes a LAC (América Latina y el Caribe). En el proyecto participan un total de 11 socios (5 de la UE y 6 de LAC) procedentes tanto del sector de la I+D+i como del sector industrial: LNEG (Portugal), CIEMAT (España), Federación Nacional de Cafeteros (Colombia), INTA (Argentina), Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile), Universidad Nacional Autónoma (México), Universidad Nacional de Colombia – Sede

in the transport sector in the short term. In addition, ethanol is considered an essential chemical component for obtaining other derivatives with applications in the energy sector itself (ETBE) and even for food (ethylene), thus increasing its commercial interest. At present, the production of lignocellulosic ethanol through biotechnological processes is, however, an inefficient process, which limits the competitiveness of this product on the market. In order to guarantee a better economic balance of the process and to reduce the production costs for bioethanol, in recent years the comprehensive use of all components of biomass has been proposed to obtain various value-added compounds within an integrated biorefinery context. This strategy of multi-product biorefineries is considered a very promising approach and has great potential to improve the economy of these industries and, in turn, to diversify the products obtained from raw materials. Projects such as SMIBIO, WASTE2BIO, and URBIOFIN, in which CIEMAT's Biofuels Unit participates, are of vital importance for the establishment of such biorefineries, addressing the main bottlenecks for the development of an efficient technology for the transformation of biomass, supporting in turn the techno-economic and environmental viability of the processes. The main activities, as well as the objectives pursued in these projects, are summarized below:

1. The SMIBIO Project (<https://www.smibio.net>): “Small-scale Integrated BIOrefineries”, funded by the 7th Framework Program for Research and Technological Development of the European Union (ELAC2014/BEE-0249).

The main objective of the SMIBIO Project is the development of small-scale integrated biorefineries capable of processing different types of lignocellulosic biomass in small rural and urban areas of Europe and LAC countries (Latin America and the Caribbean). The project involves a total of 11 partners (5 from the EU and 6

from LAC) from both the R & D and the industrial sector: LNEG (Portugal), CIEMAT (Spain), National Federation of Coffee Growers (Colombia), INTA (Argentina), Pontifical Catholic University of Valparaíso (Chile), National Autonomous University (Mexico), National University of Colombia at Manizales (Colombia). As main products, the SMIBIO Project aims at obtaining antioxidants, sweeteners, and prebiotics, as well as various energy vectors, including ethanol. Likewise, it is intended to design an integration strategy that allows for the gradual incorporation of new processes in existing agro-industrial and agro-energy systems, identifying the social and environmental consequences related to the commercialization of the new products. One of the case studies in this project is the development of a refinery based on residues derived from the olive industry (Figure 1). In this case, obtaining bioethanol and antioxidants is the main object of the study. In addition,

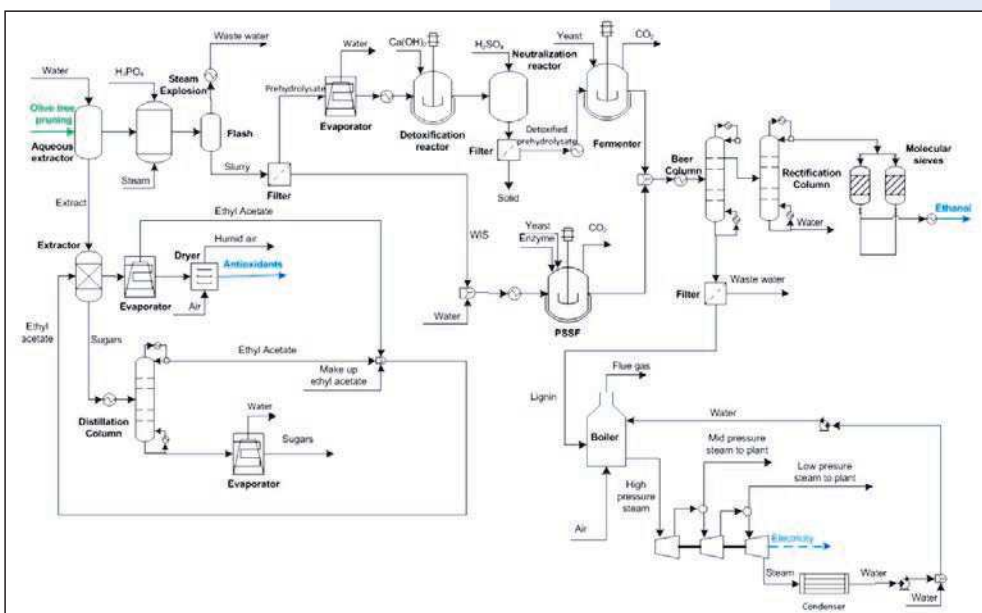


Figura 1. Diagrama de flujo relativo a las diferentes etapas de proceso de producción de etanol, antioxidantes y electricidad, en una biorrefinería basada en la transformación de la biomasa procedente de la poda del olivar.
Figure 1. Flow diagram relative to the different stages of the production process of ethanol, antioxidants, and electricity in a biorefinery based on the transformation of biomass from olive pruning.

Renovables • Renewable

Manizales (Colombia). Como productos principales, el proyecto Smibio contempla la obtención de antioxidantes, edulcorantes y prebióticos, así como diversos vectores energéticos entre los que se incluye el etanol. Asimismo, se pretende diseñar una estrategia de integración que permita la incorporación paulatina de los nuevos proce-

esos en los sistemas agroindustriales y agroenergéticos ya existentes, identificando a su vez las consecuencias sociales y ambientales derivadas de la comercialización de los nuevos productos. Uno de los casos de estudio en este proyecto es el desarrollo de una biorrefinería basada en residuos derivados de la industria del olivo (Figura 1). En este caso, la obtención de bioetanol y antioxidantes es el objeto principal de estudio. Además, se contempla la combustión de corrientes residuales del proceso y otros productos obtenidos (como la lignina) para cubrir los requerimientos energéticos (calor y electricidad) del proceso. De esta forma se pretende llegar a una planta energéticamente autosuficiente y, además, mejorar el desempeño ambiental de la misma.

2. Proyecto Waste2bio (<http://www.waste2bio.com>): *Valorization of urban WASTEs TO new generation of BIOethanol*, financiado por el subprograma ERA-NET BESTF3 en el marco del Horizonte 2020 de la Unión Europea, y cofinanciado por el CDTI y Mineco en España y DECC en Reino Unido.

El proyecto Waste2bio tiene la finalidad de demostrar y validar un proceso global de recuperación de energía a partir del Forsu. En él participan dos grupos de investigación (CIEMAT e Imdea Energía) y dos empresas (Imecal y Exergys) de España y Reino Unido. La eliminación de los residuos sólidos urbanos (RSU) es uno de los principales problemas medioambientales a día de hoy. En este sentido, el proyecto Waste2bio pretende asegurar una mejor utilización del Forsu mediante su conversión en biocombustibles avanzados y otros bioproductos de valor agregado, principalmente bioetanol, biogás y fertilizantes (Figura 2). Con este objetivo, los diferentes procesos de conversión se están evaluando minuciosamente para optimizar y maximizar los rendimientos en cada etapa. Además, se realizará la modelización del sistema con el objetivo de optimizar e integrar cada una de las etapas del proceso y minimizar los recursos energéticos y materiales, reduciendo de esta forma el impacto económico y ambiental.

3. Proyecto Urbiofin (<https://www.urbiofin.eu>): *Demonstration of an integrated innovative biorefinery for the transformation of Municipal Solid Waste (MSW) into new BioBased products*, financiado por la Iniciativa Conjunta de Bioindustrias en el programa Horizonte 2020 de la Unión Europea (N° 745785).

En línea con el proyecto Waste2bio, el proyecto Urbiofin pretende llevar a cabo una evaluación a escala de demostración sobre la viabilidad tecneco-nómica y medioambiental de una biorrefinería dedicada a la conversión de 10 toneladas de Forsu diarias en bioproductos con alto valor en la industria, como son el bioetanol, los ácidos grasos volátiles y el biogás, que serán utilizados como componentes químicos fundamentales para la obtención de biopolímeros y otros aditivos, como por ejemplo fertilizantes ricos en amino ácidos (Figura 3). El Urbiofin es un proyecto ambicioso que cuenta con un

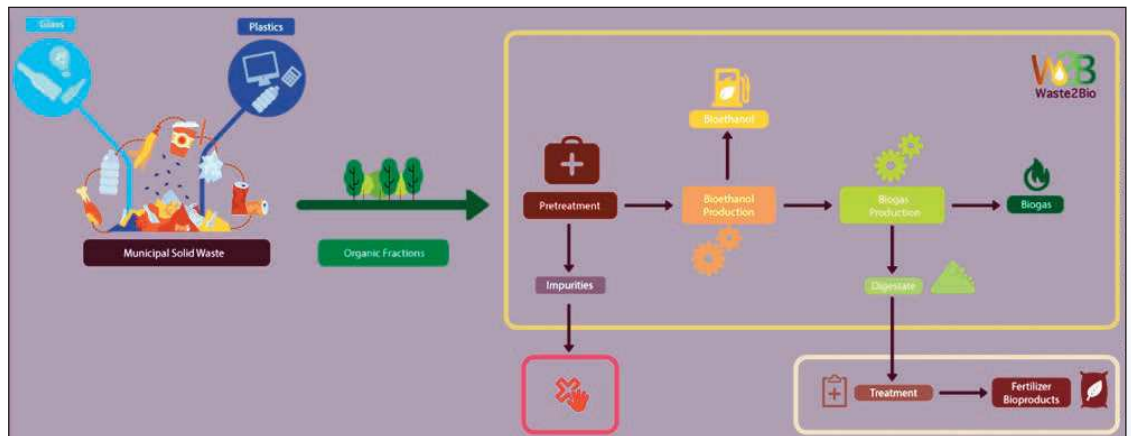


Figura 2. Esquema recogido en el proyecto WASTE2BIO para la valorización de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (FORSU) en bioenergía y otros bioproductos.

Figure 2. Outline from the WASTE2BIO Project for the valorization of the organic fraction of municipal solid waste (OFMSW) in bioenergy and other bioproducts.

for the process. In this way, it is intended to become a self-sufficient energy plant, and also, to improve its environmental performance.

2. The WASTE2BIO Project (<http://www.waste2bio.com>): "Valorization of urban WASTEs TO new generation of BIOethanol", funded by the ERA-NET BESTF3 subprogram within the Horizon 2020 framework of the European Union, and co-funded by CDTI and MINECO in Spain and DECC in the United Kingdom.

The WASTE2BIO Project aims to demonstrate and validate a global process of energy valorization from OFMSW. It involves 2 research groups (CIEMAT and IMDEA Energy) and 2 companies (IMECAL and EXERGYS) from Spain and the United Kingdom. The disposal of municipal solid waste (MSW) in landfill is one of the main environmental problems today. In this sense, the WASTE2BIO Project aims to ensure a better use of OFMSW through its conversion into advanced biofuels and other value-added bioproducts, mainly bioethanol, biogas, and fertilizers (Figure 2). With this objective, various conversion processes are being carefully evaluated to optimize and maximize the yields in each stage. In addition, the system will be modeled in order to optimize and integrate each stage of the process, and minimize energy and material resources, thus reducing the economic and environmental impact.

3. The URBIOFIN Project (<https://www.urbiofin.eu>): "Demonstration of an integrated innovative biorefinery for the transformation of Municipal Solid Waste (MSW) into new BioBased products", funded by the Bioindustries Joint Initiative for the Horizon 2020 program from the European Union (N° 745785).

In line with the WASTE2BIO Project, the URBIOFIN Project aims to perform a techno-economic and environmental evaluation at DEMO scale of a biorefinery dedicated to the conversion of 10 tons of OFMSW per day into bioproducts with high value in the industry, such as bioethanol, volatile fatty acids, and biogas, which will be used as fundamental chemical components to obtain biopolymers and other additives, such as amino-acids-rich fertilizers (Figure 3). URBIOFIN is an ambitious project that has a budget of more than 15 million euros with

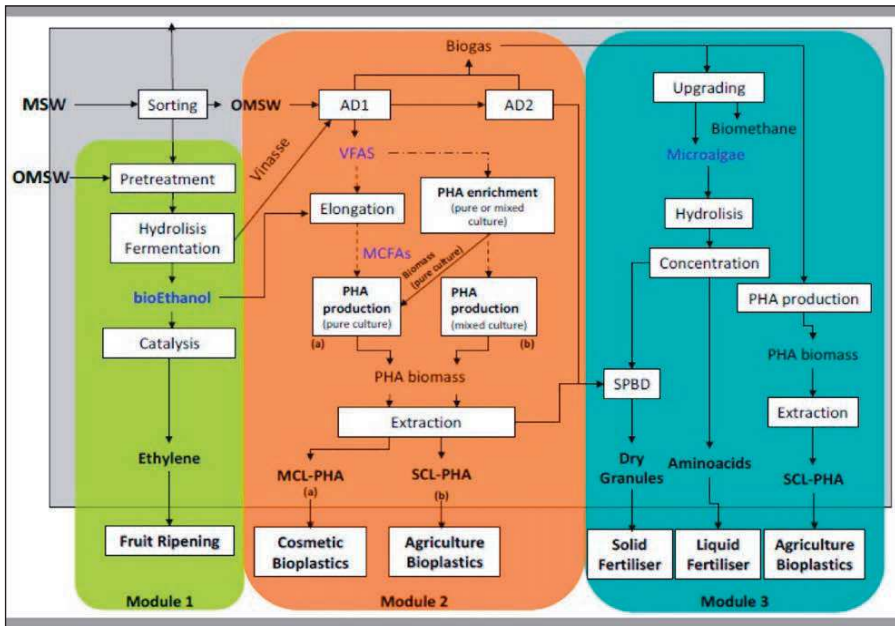


Figura 3. Valorización de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (OFMSW) en bioproductos de interés industrial dentro de la biorrefinería propuesta en el proyecto URBIOFIN
 Figure 3. Valorization of the organic fraction of municipal solid wastes (OFMSW) in bioproducts of industrial interest within the biorefinery proposed in the URBIOFIN Project.

presupuesto de más de 15 millones de euros en el que participan 16 socios de 8 países con una alta representación industrial (Imecal, Urbaser, Biomasa Peninsular, Exergy, Novozymes, G.I. Dynamics B.V., Visum, Natureplast, SES Stefany Emballages Services, Natrue AISBL). El consorcio se complementa con la participación de relevantes centros de investigación públicos y privados (Ainia, Universidad de Valladolid, Wageningen University and Research, CIEMAT, Iriaf), que respaldan y aseguran la obtención de resultados de calidad.

Los proyectos Waste2bio y Urbiofin están coordinados y liderados por la empresa española Imecal, con la que el CIEMAT viene trabajando desde hace años en el desarrollo de la tecnología Perseo Bioethanol®, proceso biotecnológico patentado y desarrollado por el CIEMAT e Imecal, capaz de transformar la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos en un biocombustible líquido de segunda generación apto como carburante para los automóviles, y un combustible orgánico de alto poder calorífico capaz de producir energía térmica y eléctrica por cogeneración, o biogás y biofertilizantes mediante un proceso de digestión anaerobia.

No cabe duda de que los conocimientos generados en estos proyectos tendrán un gran impacto en cuanto al establecimiento de una economía basada en fuentes de origen biológico y con carácter renovable y que ofrezca garantías sobre la rentabilidad de los procesos, minimizando las secuelas que puedan provocar en el medioambiente y favoreciendo, en definitiva, el desarrollo sostenible de nuestra sociedad.

REFERENCIAS / REFERENCES

- [1] United Nations (2017) World Populations Prospects. URL: <https://www.un.org/development/desa/en/news/population/world-population-prospects-2017.html>
- [2] IPCC (2013) Climate Change 2013: The Physical Science Basis. T.F. Stocker et al. (eds.), pp. 659-740. Cambridge, U.K.: Cambridge University Press.
- [3] Moreno y col. (2017) Production of ethanol from lignocellulosic biomass. In: Production of Platform Chemicals from Sustainable Resources. Z. Fang et al. (eds.), pp. 375-410. Springer Nature.
- [4] O.J. Sánchez y C.A. Cardona (2008) Trends in biotechnological production of fuel ethanol from different feedstocks. Bioresource Technology, 99(13):5270-5295.

participation from 16 partners from 8 countries with wide industrial representation (IMECAL, URBASER, BIOMASA PENINSULAR, EXERGY, NOVOZYMES, G.I. DYNAMICS B.V., VISUM, NATUREPLAST, SES STEFANY EMBALLAGES SERVICES, NATRUE AISBL). The consortium is complemented by the participation of important public and private research centers (AINIA, University of Valladolid, Wageningen University and Research, CIEMAT, IRIAF), which support and ensure high quality results.

The WASTE2BIO and URBIOFIN Projects are coordinated and led by the Spanish company IMECAL, which has been working for years with CIEMAT on the development of the PERSEO Bioethanol® technology, a patented biotechnological process that transforms OFMSW into a second-generation liquid biofuel suitable for conventional car engines, and an organic fuel with high calorific value for the cogeneration of thermal and electrical energy, or biogas and biofertilizers through an anaerobic digestion process.

There is no doubt that the knowledge generated in these projects will have a great impact in terms of establishing an economy based on renewable biological sources that guarantees the profitability of the processes, minimizing the environmental consequences and encouraging, ultimately, the sustainable development of our society.



Figura 4. Instalaciones de IMECAL relativas a la planta PERSEO Bioethanol® donde se realizarán algunos de los ensayos experimentales a escala demostración de los proyectos Waste2Bio y URBIOFIN.
 Figure 4. IMECAL facilities related to the PERSEO Bioethanol® plant, where some of the demonstration-scale experimental tests of the Waste2Bio and URBIOFIN projects will be carried out.