

Economía circular en torno a la biomasa de microalgas: proyecto CYCLALG

Sonia Suárez-Alvarez, Iratxe Urreta, Sonia Castañón de la Torre

NEIKER Tecnalia, Instituto Vasco de Investigación y Desarrollo Agrario | www.neiker.net

INTRODUCCIÓN

La Estrategia Española de Bioeconomía-Horizonte 2030 contempla entre sus prioridades potenciar la utilización integral de los recursos biológicos para la obtención de bioenergía y otros bio-productos alternativos a los derivados del petróleo. También hace hincapié en la necesidad de impulsar el uso sostenible de residuos y subproductos generados en los sectores agrario, alimentario y forestal. Esta misma estrategia se refiere a las microalgas como un recurso biológico emergente que puede ayudar a diversificar las cadenas de valor de las bioindustrias¹.

Las microalgas se han empleado tradicionalmente en el ámbito alimentario y en la acuicultura debido a su valor nutritivo. Actualmente varias especies se explotan a escala industrial para la obtención de pigmentos, antioxidantes y ácidos grasos poliinsaturados de alto valor comercial y muy apreciados en el mercado creciente de los sectores de alimentación, nutraceútica y cosmética. En los últimos años también el sector energético ha puesto su atención en las microalgas, en este caso como materia

prima para la obtención de biocombustibles. El interés de la industria energética por las microalgas radica en que la productividad de estos cultivos supera ampliamente a la de los cultivos agra-



rios tradicionales, ocasionan un menor impacto medioambiental y evitan la competencia entre energía y recursos alimentarios. Más allá de su valor como materia prima, las características vinculadas al cultivo de estos organismos permiten el desarrollo de estrategias novedosas de

valorización de residuos que ayudan a minimizar el impacto ambiental de diferentes actividades industriales y por tanto contribuyen al desarrollo de la Economía Circular.

Por todo lo anterior, la biomasa de microalgas también representa hoy en día una materia prima con alto valor para el establecimiento de biorrefinerías, un nuevo modelo de industria donde se combina la producción de energía con la de otros múltiples bio-productos de un modo sostenible.

Este es el marco en el que se desarrolla el proyecto CYCLALG-“Una Red de Centros Tecnológicos para Desarrollar una biorrefinería de algas”, que trata de mejorar la sostenibilidad económica y medioambiental del proceso de obtención de biodiesel de base algal.

El carácter innovador de esta iniciativa radica en que no se limita únicamente al empleo de microalgas como un sistema para la obtención de energía renovable sino que afronta dos de los retos planteados en materia de Econo-

¹<http://bioeconomia.ogripa.org/download-doc/102163>
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:52012AR1112&from=ES>

mía Circular. Por un lado, aborda la valorización de corrientes residuales generadas por industria alimentaria, canalizándolas como nutrientes en el proceso de producción de microalgas. Por otro, consigue un aprovechamiento integral de la biomasa algal para obtener, junto a biodiesel, diversos productos comerciales destinados a las industrias agroalimentaria, acuícola, química y cosmética. La obtención múltiples productos a partir de una única biomasa se consigue gracias a la reutilización en cascada de los residuos generados en el proceso de obtención biodiesel y permite alcanzar el objetivo “residuos cero”.

El proyecto, liderado por NEIKER Tecnalia-Instituto vasco de Investigación y Desarrollo Agrario, está financiado con Fondos Europeos de Desarrollo Regional (FEDER) a través del Programa de Cooperación Territorial España-Francia-Andorra (POCTEFA), creado para fomentar la innovación y el desa-

rollo sostenible del territorio fronterizo entre los tres países.

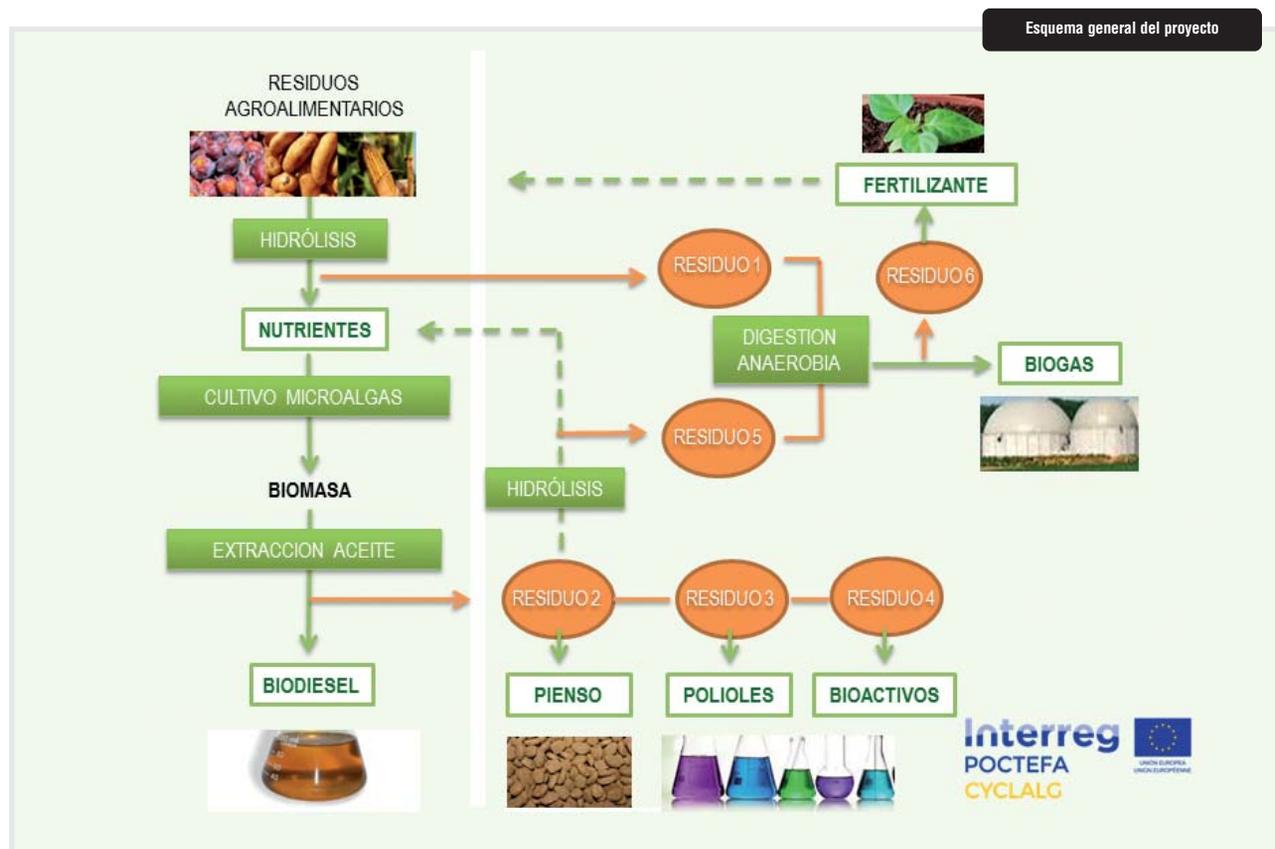
En él participan centros tecnológicos pertenecientes a Euskadi (NEIKER y TECNALIA R&D), Navarra (CENER-CIEMAT) y Aquitania (APESA y CTR-CATAR) que complementan su experiencia para desarrollar, aplicar y validar diferentes tecnologías que finalmente se integren en un proceso global más sostenible en flujos de recursos, productos y energía. Estas tecnologías permiten: (1) la recuperación de nutrientes a partir de residuos orgánicos, (2) la producción de biomasa algal rica en aceite, (3) la extracción del aceite presente en dicha biomasa y su conversión a biodiesel y (4) la transformación de las corrientes residuales generadas en los procesos anteriores para generar siete productos comerciales: soluciones nutritivas de aminoácidos, fertilizantes, piensos para acuicultura, polioles, compuestos

para la industria cosmética y biogás.

En el consorcio también participa un sexto socio, la Asociación de la Industria Navarra (AIN) cuyo papel es acercar los procesos desarrollados al tejido industrial de la región.

VALORIZACIÓN DE RESIDUOS AGROALIMENTARIOS PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA ALGAL

Según indica el Plan de Energías Renovables 2011-2020, el volumen anual de residuos agroalimentarios (incluyendo restos de cosechas, subproductos de la transformación y comercialización de alimentos, etc...) para el conjunto del país supera los 159 millones de toneladas. Esto que demuestra la escasa eficiencia de la cadena de valor de este sector. Hasta la entrada en vigor del actual plan de gestión de residuos (Directiva 2008/98/CE), el destino



más frecuente de esta biomasa era su depósito en vertederos, su compostaje y, en menor medida, la obtención de energía a partir de la de origen forestal.

En CYCLALG se emplea una vía alternativa para la valorización de este tipo de residuos. Consiste en la obtención de azúcares y aminoácidos, que sirven como nutrientes en procesos de microbiología industrial, como fertilizantes avanzados en agricultura y horticultura o incluso como ingredientes alimentarios. Para ello se emplean dos tipos de tecnologías: hidrólisis termomecánica mediante extrusor de tornillo e hidrólisis enzimática.

La primera, ha sido propuesta y validada a escala de planta piloto por el Centro de Recursos Tecnológicos (CTR-CATAR), uno de los socios franceses, resultando efectiva para valorizar residuos ricos en azúcares tales como restos de frutas y hortalizas o granos de maíz. El proceso consiste en un tornillo sin-fin que gira dentro de una camisa. Los residuos orgánicos se introducen a través de la boca de alimentación situada en un extremo del extrusor y son arrastrados y triturados por el giro del tornillo. Durante el proceso también se introduce agua que impregna el residuo y permite que los azúcares se disuelvan en la misma. En la parte distal del extrusor se separa mediante filtración una fracción líquida rica en azúcares, de los restos sólidos. Como producto se obtienen soluciones viscosas que contienen hasta 250 g/L de azúcares naturales.

La segunda tecnología utilizada para valorizar residuos es la hidrólisis enzimática, un proceso que se emplea con frecuencia en la industria agroalimentaria y que en el proyecto se ha aplicado para la recuperación de nutrientes a partir de residuos más complejos en estructura y composición, tales como rastrojos, torta del prensado de colza o residuos orgánicos de origen urbano. Al igual que el caso anterior, el producto

resultante es una solución concentrada que en este caso es rica en aminoácidos. Aunque los rendimientos dependen de la composición del residuo tratado, en la mayoría de los casos se ha conseguido recuperar hasta un 80% del nitrógeno presente en el mismo. En el marco del proyecto, estas soluciones o hidrolizados se han incorporado como compuestos nutritivos en el proceso de crecimiento de microalgas. El residuo sólido co-obtenido en el proceso de hidrólisis, se ha derivado a la obtención de biogás mediante digestión anaerobia.

NEIKER fue responsable de desarrollar un proceso de cultivo que permitiera convertir los nutrientes obtenidos a través de las tecnologías anteriores en biomasa algal. La tecnología de cultivo que se emplea difiere de la que se ha usada hasta ahora para la obtención de biodiesel de base algal, donde el crecimiento de las microalgas depende de la luz solar y del aporte de fertilizantes inorgánicos. En este caso se usa una especie capaz de crecer en oscuridad y asimilando nutrientes orgánicos. El proceso de crecimiento transcurre en reactores cerrados similares a los que usa la industria alimentaria en procesos fermentativos como la producción de cerveza, vinagre, etc...

Entre las ventajas de este tipo de cultivos destaca su elevada productividad, que repercute positivamente en el rendimiento económico del proceso y su independencia de la luz solar, que permite que la actividad productiva se ubique en cualquier región climática. Además, al integrarlos con corrientes residuales agroalimentarias se consigue un proceso sostenible y ventajoso en flujos de materia-residuos-productos.

La tecnología de cultivo desarrollada ya se ha validado a una escala más cercana a la industria, en la planta piloto del Centro de Biocombustibles de Segunda Generación (CB2G) de Navarra, perteneciente a CENER, otro de los socios del proyecto. En esta planta, se

emplearon reactores de hasta 1 m³ de capacidad para producir biomasa algal. A esta escala, el rendimiento del proceso fue de 80 Kg de biomasa (75% humedad) por metro cúbico de cultivo, con una productividad, en términos de peso seco, de 7 Kg m⁻³d⁻¹. El contenido de aceite en la biomasa producida es superior al 50% del peso seco, un valor comparable al de la aceituna y superior al de la semilla de colza.

Por comparar la productividad de este proceso con la de otros cultivos oleaginosos, una planta de producción con una capacidad de 10.000 litros de cultivo, ocupando 800 m² de superficie y operando 300 días al año, produciría anualmente 260 Tn de biomasa algal y 100 Tn de aceite por hectárea. Este rendimiento es más de 10 veces superior al que ofrece el más productivo de los cultivos oleaginosos, la palmera de aceite, con una productividad media 30 Tn/ha/año para el fruto y 7 Tn/Ha/año de aceite.

OBTENCIÓN DE BIODIESEL, NUTRIENTES, METANO Y FERTILIZANTES: UN EJEMPLO DE ECONOMÍA CIRCULAR

El aprovechamiento integral de la biomasa algal comienza con la extracción de aceite a partir de los más 20 kg de algas producidos hasta ahora en la planta piloto. Esta extracción se lleva a cabo sobre la biomasa húmeda, empleando un proceso basado en saponificación que también se ha desarrollado en el marco del proyecto. El aceite extraído, similar al obtenido de semilla de colza, se ha transformado en biodiesel de alta calidad que presenta una riqueza en FAMES superior al 97% y que cumple con los estándares marcados en la legislación vigente que regula la comercialización de biocombustibles (Norma EN14214).

La primera corriente residual generada durante el proceso anterior es la



Arriba: Bioreactores de cultivo microalgas a escala laboratorio (5 litros), y en planta piloto (1.000 litros) a la derecha
Abajo: Extracción de aceite en planta piloto (decantador) y biomasa residual desgrasada de la que se obtienen el resto de los productos a la derecha.

propia biomasa algal desgrasada, que se emplea como materia prima de partida para una de las rutas de valorización en cascada desarrolladas en el proyecto. Se trata de una torta similar a la obtenida del presado de la semilla de colza, compuesta por proteína (12%), hidratos de carbono (70%) y cenizas (16%). Su valorización comienza con un proceso de hidrólisis enzimática que permite transformar el 20% de esta biomasa residual en un producto líquido compuesto por 15 g/L de aminoácidos y 28 g/L de glucosa, además de minerales. En el proceso

se recupera un 80% del nitrógeno contenido en la fracción proteica del residuo desgrasado.

En el proyecto, este hidrolizado se ha empleado para alimentar un nuevo ciclo de cultivo, lo que permite establecer un primer flujo circular dentro del proceso global: nutrientes obtenidos del residuo desgrasado se reincorporan a la producción de biomasa algal rica en aceite. La biomasa residual remanente tras la hidrólisis se usa para obtención de biogás, del mismo modo que se hace con la fracción sólida derivada de la hidrólisis de residuos agroa-

limentarios. El biogás obtenido (186 Nm³/T de biomasa residual), revertirá como parte de la energía necesaria para el funcionamiento de la planta, generando así un segundo flujo circular en el esquema de biorefinería. Como co-producto de esta digestión anaerobia, se obtiene un digestato rico en minerales a partir del cual se desarrolla actualmente un fertilizante agrario. Este uso, permite el retorno final de biomasa residual a la producción primaria, generando un tercer flujo circular.

Esta ruta de valorización secuencial de residuos representa un claro ejemplo de economía circular donde el 100% de la biomasa se emplea para la obtención de cuatro productos. Por cada tonelada de biomasa se producen 500 Kg de FAMES, 2.140 litros de hidrolizado y 65 Nm³ de biogás, junto a un producto fertilizante obtenido a partir del digestato. Además, en el proceso de producción de biomasa algal se reciclan 2.8 toneladas de azúcar recuperada a partir de residuos agroalimentarios por cada tonelada de alga producida.

POLIOLES, MOLÉCULAS PARA COSMÉTICA Y PIENSOS

Sin embargo estos no son los únicos

productos que se contemplan en el modelo en desarrollo de biorefinería de base algal. Durante los procesos de extracción del aceite y obtención de biodiesel, se generan otras dos corrientes residuales, en este caso líquidas, para las que también se exploran vías de valorización.

Uno de estas corrientes es rica en glicerina, un co-producto resultante de la obtención de biodiesel y una molécula extremadamente versátil de la que se pueden obtener numerosos derivados de interés industrial. De la valorización de esta molécula encargan en el Área de Biorefinería de TECNALIA Research and Innovation, donde ya han desarrollado pre-tratamientos para la depuración y concentración de este compuesto a partir de la corriente residual. Además, han desarrollado una ruta que permite la conversión química de esta molécula a polioles y poliuretanos. Estos compuestos son *building blocks* o moléculas plataforma, lo que significa que sirven como intermediarios para sintetizar una amplia variedad de productos. En este caso los polioles obtenidos a partir de glicerol purificado se están empleando para formular diferentes adhesivos de origen renovable. El desarrollo se hace en colaboración con un instituto de innovación y desarrollo vinculado al sector del calzado, que se encargará de evaluar la calidad del producto y de valorar su posible interés para el sector industrial.

La segunda corriente residual es una solución hidroalcohólica que contiene biomoléculas de distinta naturaleza arrastradas de la biomasa algal durante la extracción del aceite. A partir de esta fracción se están identificando y purificando compuesto con interés para formulaciones cosméticas, como son pigmentos naturales, carotenoides, terpenoides, etc. Estos compuesto tienen un alto valor en el mercado, así que proporcionarían un importante valor añadido al proceso global de la biorefinería desde un punto

de vista económico.

La obtención de ingredientes para piensos de uso en la industrial acuícola es otra de las vías de valorización de residuos que incluye el proyecto. Se contempla a partir de la fracción de biomasa desgrasada, y por tanto, como una vía alternativa a la valorización en cascada de dicho residuo anteriormente explicada.

El análisis de impacto ambiental de cada uno de los procesos desarrollados lo lleva cabo APESA (Association pour l'environnement et la Securite en Aquitaine) aplicando Análisis del Ciclo de Vida. Los resultados permitirán seleccionar las vías de valorización más adecuadas para el modelo final de explotación de la biorefinería.

IMPULSO DE REDES ECOINDUSTRIALES EN LA REGIÓN

El proyecto CYCLALG también introduce un acercamiento a la "simbiosis industrial", una herramienta clave en la transición a hacia la economía circular, basada en el uso que una empresa o sector puede hacer de los sub-productos generados por otra. Como parte del proyecto se ha desarrollado una plataforma web que pretende identificar empresas y actividades industriales susceptibles de interactuar con el uso de los productos derivados de la biorefinería de microalgas o con la utilización de las tecnologías desarrolladas en el marco del proyecto. Por ejemplo, empresas agroalimentarias interesadas en valorizar los sub-productos que generan, empresas interesadas en el uso de los hidrolizados, polioles, biomoléculas, etc. Cualquier empresa del territorio se puede registrar en esta plataforma a la que se accede desde la dirección www.mapainteractivocyclalg.com o desde la propia web del proyecto (www.cyclalg.com).

Algunas de las empresas registra-

das, participan actualmente en la validación de los productos obtenidos en el proyecto. Por ejemplo, los hidrolizados obtenidos a partir de biomasa alga desgrasada están siendo evaluados por dos empresas: la guipuzcoana ECONEK (www.econek.es), cuya actividad está dirigida a facilitar la valorización de subproductos para la obtención de fertilizantes e ingredientes para piensos aplicando tecnologías de secado/granulado de desarrollo propio, y la alavesa GUSERBIOT (www.guserbiot.com), que desarrolla procesos de microbiología industrial para los sectores alimentario, enológico y medioambiental, y que validará los hidrolizados como medio de cultivo en sus procesos. El objetivo de esta herramienta es facilitar el establecimiento de colaboraciones entre empresas y la futura creación de redes eco-industriales, más eficientes en el uso de recursos y residuos y por tanto ventajosas para la economía y la sostenibilidad de la región.

El consorcio que desarrolla este proyecto está formado por TECNALIA Research & Innovation, la Asociación de la Industria Navarra (AIN), la Association pour l'environnement et la Securite en Aquitaine (APESA), el Centre d'Application et de Transformation des Agro-Ressources (CATAR-CRITT), el Centro Nacional de Energías Renovables (CENER-CIEMAT), y NEIKER-Tecnalia-Instituto Vasco de Investigación Agraria, como líder del mismo.

El proyecto ha sido cofinanciado al 65% por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) a través del Programa Interreg V-A España-Francia-Andorra (POCTEFA 2014-2020). El objetivo del POCTEFA es reforzar la integración económica y social de la zona fronteriza España-Francia-Andorra. Su ayuda se concentra en el desarrollo de actividades económicas, sociales y medioambientales transfronterizas a través de estrategias conjuntas a favor del desarrollo territorial sostenible.