

**Egoitza / Sede Bizkaia**

Txatxarramendi ugartea z/g  
E-48395 Sukarrieta - Bizkaia (Spain)  
Tel.: +34 946 029 400 - Fax: +34 946 870 006



**Egoitza / Sede Gipuzkoa**

Herrera Kaia - Portu aldea z/g  
E-20110 Pasaia - Gipuzkoa (Spain)  
Tel.: +34 943 004 800 - Fax: +34 943 004 801

<http://www.azti.es>  
e-mail: [info@azti.es](mailto:info@azti.es)

# **PROYECTO: AUKERA**

## **Informe:**

**DESARROLLO DE SISTEMAS DE VALORIZACIÓN INTEGRAL DE SUBPRODUCTOS ALIMENTARIOS**

para:

**Eusko Jaurlaritza - Gobierno Vasco, Dpto. Agricultura, Pesca y Alimentación**

**Derio, Noviembre de 2014**

---

<b>Tipo documento</b>	Resultados 2014
<b>Título documento</b>	Informe
<b>Fecha</b>	28/11/2014
<b>Proyecto</b>	AUKERA. Desarrollo de Sistemas de Valorización Integral de Subproductos Alimentarios
<b>Código</b>	IA14AUKERA
<b>Cliente</b>	Eusko Jaurlaritza
<b>Equipo de proyecto:</b>	Marta Cebrián Marta Rentería David San Martín Mikel Orive Mónica Gutierrez

---

<b>Responsable proyecto</b>	Marta Cebrian
-----------------------------	---------------

---

<b>Revisado por</b>	Jaime Zufia/ Coordinador Área PES
---------------------	-----------------------------------

<b>Fecha</b>	
--------------	--

---

<b>Aprobado por</b>	Leire Barañano, Directora de Valor, Unidad de Investigación Alimentaria
---------------------	---

<b>Fecha</b>	
--------------	--

---

## Indice

1.	OBJETIVOS .....	3
2.	ANTECEDENTES .....	4
3.	TAREAS REALIZADAS Y RESULTADOS OBTENIDOS .....	6
4.	TRANSFERENCIA Y DIFUSIÓN DE RESULTADOS .....	15
5.	CONCLUSIONES .....	16
6.	AVANCE TAREAS 2015 .....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

## JUSTIFICACIÓN TÉCNICA

### 1. OBJETIVOS

Los objetivos generales del proyecto (2012-2015) pueden resumirse en:

- Obtener información actualizada sobre compuestos de valor añadido, tecnologías de obtención y subproductos a partir de los cuales sería factible, desde el punto de vista técnico y económico, la obtención de dichos compuestos o ingredientes, que sirva al sector alimentario como guía para decidir sobre las alternativas de valorización más adecuadas en cada caso.
- Profundizar en las estrategias de valorización de subproductos concretos como es el caso del lactosuero para cada una de las opciones ya estudiadas previamente, mediante la definición de los procesos, nuevas tecnologías, infraestructuras y logística necesaria en los diferentes tipos de queserías de la CAPV y conseguir la implicación del sector recopilando sus aportaciones y consensuando entre todos los siguientes pasos a plantear.
- Estudiar y desarrollar procesos de valorización de subproductos para aplicaciones alimentarias mediante la recopilación de protocolos y la posterior realización y optimización de pruebas de acondicionamiento y extracción de compuestos de interés.
- Desarrollo de tecnologías de valorización energética de subproductos alimentarios no valorizables para alimentación, mediante técnicas de digestión anaerobia (biogás) que permitan determinar su viabilidad técnica y económica y su aplicabilidad al sector.
- Aplicar herramientas de gestión de subproductos basadas en sistemas GIS o similar, para la toma de decisiones en la implantación de instalaciones o planes de actuación para determinados subproductos o para el conjunto de los mismos.
- Elaborar un plan de actuación viable, efectivo y seguro de aprovechamiento de los subproductos vegetales provenientes de la distribución y de la industria alimentaria de la CAPV para su utilización como materias primas para alimentación animal. Esta tarea está relacionada con el proyecto Life + CEANFEED.

Los objetivos específicos a desarrollar en 2014 han sido:

- ☐ **Realización de un estudio ad hoc sobre opciones de valorización** de subproductos de interés en la CAPV (subproductos de sidrería).
- ☐ **Desarrollo a escala piloto de 4 prototipos de alimentos** a partir de fracciones de lactosuero.
- ☐ **Puesta en marcha y seguimiento de una planta piloto de demostración** para la obtención de concentrados de proteína y generación de biogás a partir de lactosuero y permeado de lactosuero en una quesería de la CAPV.
- ☐ Desarrollo de un **proceso mejorado de obtención conjunta de hidrógeno y metano (biohythane)** a partir de lactosuero.
- ☐ **Diseño y recogida de datos preliminares para el posterior desarrollo de una herramienta software basada en GIS** que sirva de ayuda en la toma de decisiones en materia de instalación de nuevas plantas o actividades de valorización en la CAPV.

## 2. ANTECEDENTES

El sector agroalimentario de la CAPV genera alrededor de 4 millones de toneladas de subproductos y residuos. Las industrias alimentarias generan en concreto unas 400.000 TN y aunque su volumen es reducido, su elevado contenido en nutrientes y compuestos de interés los hacen especialmente interesantes desde el punto de vista de su aprovechamiento y valorización. En la CAPV, los sub-sectores más destacados son: el sector pesquero, sector cárnico, sector vitivinícola y sector lácteo.

Las características generales de estos subproductos son la alta humedad y biodegradabilidad, dispersión geográfica, alta variabilidad estacional en su composición, costes de gestión elevados y el alto porcentaje de subproducto con respecto a producto final. Todo ello, unido a las políticas tanto Europeas como a nivel de la CAPV, obligan a las empresas alimentarias a establecer políticas de minimización y reducción de subproductos así como a la implantación de sistemas de valorización que permitan reducir los costes de gestión o incluso generar ingresos adicionales.

Las principales opciones de valorización para los subproductos de origen alimentario dependen fundamentalmente de sus características nutricionales y de su calidad higiénico-sanitaria, pudiendo ir desde la fabricación de nuevos alimentos como re-estructurados de carne o pescado y la extracción de ingredientes para alimentos funcionales, hasta su empleo en piensos animales o como fuente de materias primas para aplicaciones cosméticas, farmacéuticas o de la industria química.

Sin embargo, es necesario determinar en cada caso cuales son las opciones de valorización más adecuadas desde el punto de vista tanto técnico como económico, teniendo en cuenta factores intrínsecos de los subproductos, factores tecnológicos y de mercado. Esto hace que en la mayoría de las ocasiones no se realice un adecuado aprovechamiento de los mismos, bien por dificultades en la logística de recogida y almacenamiento o bien por una escasa demanda de los productos resultantes.

La experiencia de AZTI ratifica la necesidad de llevar a cabo estudios "Ad hoc" para las diferentes tipologías de subproducto y tener en cuenta las especificaciones de cada empresa o área geográfica. Algunos de los proyectos son, VALUE (2001-2013) y PROVALUE (20013-2014), del Programa Interreg SUDOE de la UE, para la obtención de fibra y polifenoles, biomateriales, así como biogás y bioetanol a partir de subproductos vegetales. A nivel de la CAPV se han llevado a cabo proyectos para el aprovechamiento del lactosuero de las queserías. En concreto, CM VALORLAC (20010-2011) y Life + VALORLACT, (2012-2015) en los que se realizó un inventario del suero generado y se identificaron vías de revalorización y aprovechamiento en alimentación humana, alimentación animal y valorización energética, y en el que se pretende desarrollar un Plan de Acción específico que pueda ser implantado una vez consensuado por los diversos sectores y organismos implicados.

En relación con la generación de biogás, los resultados obtenidos en 2013 en el proyecto AUKERA indican que es posible obtener a escala de laboratorio rendimientos de biogás similares a los de otros subproductos utilizados en plantas industriales.

Aunque la producción de biogás a partir de subproductos alimentarios es una alternativa madura y altamente adecuada desde el punto de vista ambiental y tecnológico, los recientes cambios legislativos en materia de energías renovables y de generación de electricidad implantados en España desde 2012, hacen necesario desarrollar otros usos posibles para el biogás obtenido o incidir en la mejora de los rendimientos que permitan reducir el tiempo de amortización de la inversión en este tipo de plantas.

En este sentido una de las alternativas aun por desarrollar es la producción combinada de biohidrógeno y metano, tanto por su afinidad con el proceso de digestión anaerobia, como por su elevado poder energético y la no generación de otros residuos o gases de efecto invernadero. El hidrógeno puede obtenerse a partir de tecnologías como son: la electrolisis, fotólisis y biofotólisis, pirólisis/gasificación, fotofermentación y fermentación oscura o “dark fermentation”. Esta última es, en principio, similar a la metanización, pudiéndose utilizar reactores de digestión anaerobia similares.

Se tratan de procesos complementarios, por lo que el efluente obtenido en la primera etapa de producción de  $H_2$  puede ser utilizado posteriormente en la producción de metano, y el lodo estabilizado residual puede ser utilizado como abono o enmienda orgánica.

La experiencia de AZTI en producción de hidrógeno arrancó en 2010 con la realización del proyecto Saiotek, HIDROMETAN, y posteriormente el proyecto FOODBASK III. Ello ha permitido la realización de pruebas de producción de biohidrógeno a partir de subproductos como bagazo de manzana, peladura de patata, lías de txakolí y lactosuero en una etapa.

Para la gran mayoría de los subproductos alimentarios, uno de los principales problemas identificados está relacionado con la logística de gestión, y en concreto, con la necesidad de concentrar el subproducto o subproductos en un solo punto para alcanzar una masa crítica que haga viable la instalación de una planta de tratamiento. Para ello es necesario desarrollar herramientas que faciliten la toma de decisiones y tengan en cuenta los múltiples factores (geográficos, infraestructuras disponibles, puntos de generación...).

En 2012 y dentro de este mismo proyecto AUKERA se realizaron análisis de las aplicaciones SIG disponibles en el mercado, comparativas para valorar la aplicación más idónea, identificación de los factores críticos y la determinación de la forma en la que los SIG pueden ayudar a la toma de decisiones de la ubicación estratégica y la logística de transporte y recogida. A su vez, se realizaron una serie de experiencias piloto con las herramientas: gvSIG, mapa de generación de lactosuero, y MAP-POINT, mapa de puntos de venta de pescado de una cadena de supermercados.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Plan de Gestión de la Materia Orgánica, Subproductos y Residuos generados en el Sector Agroalimentario de la CAPV 2008-2011: Gestionando biomasa. 2008, Gobierno Vasco.
2. Proyecto Estratégico Singular PROBIOGAS [www.probiogas.es](http://www.probiogas.es)
3. Problemática y posibilidades de aprovechamiento de los subproductos generados en la industria alimentaria en la CEE. Alimentación, equipos y tecnología. Vol. XXII. No.175. p.91-9
4. El Suero de Quesería y sus Posibles Aplicaciones. 3ª parte. Ing. Jaime Valencia M. del C. Mundo Lácteo y Cárnico. Enero/Febrero 2009
5. Situación y perspectivas de la gestión de sueros de quesería generados en Cantabria. Centro de Investigación y Formaciones Agrarias (CIFA) 2005.
6. “Manual de industrias lácteas”. Gösta Bylund, M. 2003.
7. Gómez, X., Fernández, C., Fierro, J., Sánchez, M. E., Escapa, a, & Morán, a. (2011). Hydrogen production: two stage processes for waste degradation. *Bioresource Technology*, 102(18), 8621–7.
8. Show, K. Y., Lee, D. J., Tay, J. H., Lin, C. Y., & Chang, J. S. (2012). Biohydrogen production: Current perspectives and the way forward. *International Journal of Hydrogen Energy*, 37(20), 15616–15631.
9. Ljunggren, M., & Zacchi, G. (2010). Techno-economic analysis of a two-step biological process producing hydrogen and methane. *Bioresource Technology*, 101(20), 7780–8.
10. Alvarez, M. “Últimos avances en Sistemas de Información Geográfica”. Ciclo de videoconferencias del GATE (UPM). 2004.
11. Bordas. “Implementación de una herramienta basada en tecnología SIG y técnicas de decisión multicriterio para la obtención de mapas de orientación a la ubicación de instalaciones de gestión de residuos”. Mapping, ISSN 1131-9100, nº 107, 2006, pags. 32-38. 2006.
12. Gallardo, A. “Metodología para el diseño de redes de recogida selectiva de R.S.U. utilizando sistemas de información geográfica. Creación de una base de datos aplicable a España”. Ed. SPUPV, Valencia.2000.

### 3. TAREAS REALIZADAS Y RESULTADOS OBTENIDOS

Las tareas realizadas durante 2014 en cada una de las Fases contempladas en el proyecto han sido las siguientes:

- Fase 1. Estudios ad hoc de alternativas de valorización de subproductos
- Fase 2. Pruebas piloto de valorización de subproductos
- Fase 3. Investigación y desarrollo de procesos combinados de valorización energética (hidrógeno y metano) a partir de lactosuero
- Fase 4. Desarrollo de herramienta GIS para toma de decisiones en la implantación de opciones de valorización de subproductos

Los resultados obtenidos en cada una de ellas se presentan a continuación

#### FASE 1. ESTUDIOS AD HOC DE ALTERNATIVAS DE VALORIZACION DE SUBPRODUCTOS

##### 1.1. Realización de pruebas experimentales

Las lías o heces de la sidra son restos orgánicos que se generan durante la elaboración de la sidra y durante los trasiegos entre las diferentes cubas. Al tratarse de un resto fácilmente putrescible, necesita una gestión rápida a lo largo de los dos meses en los que se genera, sobre todo en la mayor zona productora de sidra, situada en el entorno Astigarraga-Hernani en Gipuzkoa. Actualmente, la práctica totalidad del volumen generado (unas 250 tm/año) se destina a alcoholera o se aplica a suelo.

El objetivo del estudio ha sido establecer la viabilidad de otras posibles vías de aprovechamiento de las lías como la incorporación en digestores de EDAR o la extracción de compuestos de valor añadido, lo que permitiría un beneficio adicional a la de su valorización energética por la venta de dichos extractos.

##### Extracción de polifenoles

Se llevaron a cabo diversas pruebas para optimizar la extracción de este tipo de compuestos. Los solventes utilizados en la extracción fueron etanol, ácido fórmico y agua en diferentes proporciones y diferentes ratios sólido líquido.

El contenido en polifenoles obtenido se encuentra en torno a los 3,64 gGAE/kg de subproducto, lo que supone un valor superior al encontrado en otros subproductos vegetales estudiados por AZTI como los obtenidos en el procesado del cardo, la coliflor, brócoli, zanahoria o tomate y solamente superado por el del subproducto de alcachofa. (Fuente: AZTI)

Sin embargo, la viabilidad técnico-económica del escalado industrial de este tipo de procesos depende de la masa crítica del subproducto existente. Dado la alta estacionalidad, la reducida cantidad generada junto con un mercado todavía muy incipiente haría inviable la instalación y puesta en marcha de una planta para la obtención de extractos polifenólicos a partir de las lías de sidra. Por tanto, la solución más factible a corto-medio plazo es la valorización energética.

##### Producción de biogas

Con el fin de estudiar posibles inhibiciones en el proceso de digestión anaerobia se realizó en primer lugar un ensayo en régimen discontinuo. Para ello se prepararon diferentes mezclas de

fango obtenidos de una E.D.A.R. con porcentajes crecientes de lías (0 %, 2 % y 5 %). Los porcentajes en peso de sustrato/inóculo utilizados en todos los ensayos en discontinuo fue 50 % de mezcla (fango con porcentajes variables de lías de sidra) con un 50 % de inóculo procedente de un reactor anaerobio.

En esta prueba se obtuvieron incrementos tanto en la Producción específica de Biogas y de Metano (PEB y PEM) a medida que se aumenta el porcentaje de lías con respecto al fango entre un 5 y un 10%, sin embargo estos resultados deben ser validados mediante la realización de pruebas en semi-contiuo para determinar el efecto a largo plazo de cara a su escalado.

### **Resultados pruebas de biogás en semi-continuo**

En esta prueba se procedió a reproducir las condiciones de los digestores de la E.D.A.R. a escala de laboratorio en un reactor semi-continuo de 10 L con el fin de definir las cargas y los tiempos de retención más óptimos, así como para conocer posibles inhibiciones que puedan darse durante el proceso de digestión anaerobia.

Con el fin de ver el efecto de incorporar las lías con respecto a la digestión convencional utilizando como único sustrato fango, se probaron 2 mezclas diferentes:

**Mezcla 1 (M1).** El fango de la E.D.A.R. junto con un volumen de lías equivalente al 10 % del volumen total de alimentación. Esto equivaldría a incorporar todas las lías generadas en un plazo de dos semanas. Sin embargo, el objetivo de alimentar mayores porcentajes de lías, además de reducir los tiempos de procesado, es conocer posibles inhibiciones que pueden darse durante la digestión anaerobia.

**Mezcla 2 (M2).** El fango de la E.D.A.R. junto con un volumen de lías equivalente al 3 % del volumen total de alimentación. Este ajuste equivale a procesar todas las lías generadas por mes durante el mes siguiente a su generación (120 tm/mes), prolongándose por tanto, la incorporación de las mismas para su eliminación durante los dos meses posteriores a su generación.

Tanto los fangos como las lías fueron caracterizados en cuanto a su composición físico química. El reactor semi-continuo se operó durante 200 días. Inicialmente, el reactor se alimentó únicamente con el fango procedente de la E.D.A.R. Durante los siguientes meses se probaron la mezcla 1 y 2.

Los resultados obtenidos indican un aumento del 31-33 % para la M1 y del 18-23% para la M2 respecto a la producción de biogás y metano con lodo de EDAR sin incorporación de lías.

Con respecto a los parámetros de seguimiento del reactor, los resultados correspondientes a pH, nitrógeno total, amoniacal, amoníaco libre y AGVs indican que no se produce una desestabilización o inhibición del proceso a lo largo del tiempo encontrándose todos los parámetros en valores esperados.

Con respecto a la eficacia en la reducción de la carga orgánica en el reactor, los valores finales de eliminación se encontraron en torno a un 60 % para el caso de la DQO<sub>T</sub>, y en torno a 59 % en el caso de los sólidos volátiles, valores que se consideran como óptimos para este tipo de procesos, teniendo en cuenta además las características de los sustratos.

### **1.2. Estudio preliminar de viabilidad técnico-económica**

Los cálculos se han realizado para el digestor en el que se incorporarían las lías considerando el poder calorífico inferior (PCI) típico del biogás (6 kW/Nm<sup>3</sup>):



Proceso tratamiento fango	Producción de biogás(m <sup>3</sup> ·año <sup>-1</sup> )	Generación de energía (kWh·día <sup>-1</sup> )
Digestión anaerobia del fango	99.845	1524,5
Co-digestión anaerobia del fango y lías de sidra	119.625	1812,1

**Tabla 1.** Resultados de producción de biogás y de generación de energía esperados con la implementación de la co-digestión del fango y las lías

De acuerdo a la tabla anterior, el aumento esperado de generación de energía por día para los 2 meses en las que se incorporarían las lías se sitúa entorno al 19 %, con un beneficio económico adicional esperado de unos 2.512 €/año. Este coste podría sufragar los gastos estimados para el transporte hasta la EDAR del subproducto que se ha estimado en 2.440 €/año.

Como inversiones adicionales se requerían una instalación equipada con un silo de almacenaje y una bomba dosificadora con su correspondiente filtro de seguridad para los impropios. Una solución factible, consistiría en dosificar las lías en las tuberías de recirculación del fango de digestión con el fin de garantizar su mezcla.

Así mismo, cabe comentar la reducción en emisiones de gases de efecto invernadero, gracias al tratamiento conjunto de los fangos de la E.D.A.R. y un producto no tóxico y fácilmente biodegradable como las lías de la sidra, que se ha calculado en 5,5 tm/año.

## FASE 2. PRUEBAS PILOTO DE VALORIZACIÓN DE SUBPRODUCTOS

### 2.1. Arranque y puesta en marcha de la planta piloto de ultrafiltración y biogás

En esta tarea se ha llevado a cabo la finalización de la instalación y arranque de la planta piloto ubicada en la quesería de Zamudio, ultimando todas las obras de instalación eléctrica y de fontanería, el montaje de todos los equipos y sus correspondientes conexiones y la realización de pruebas preliminares de funcionamiento de todos los equipos.

Para cada uno de los procesos y operaciones a desarrollar en la planta piloto se han elaborado las instrucciones de trabajo y limpieza, y se han definido los protocolos de arranque e inoculación de los reactores de metanización con lodos procedentes de otro reactor. Así mismo, se han realizado las correspondientes evaluaciones de seguridad y salud de la planta para la protección de los equipos y trabajadores que van a operar en la planta.

Una vez validados los protocolos, con el fin de garantizar el buen arranque de los mismos y debido al lento crecimiento de la biomasa anaeróbica, se procedió al arranque de los digestores mediante la inoculación con biomasa procedente de una planta de biogás y se comenzaron a alimentar cantidades de lactosuero en los depósitos de hidrólisis y metanización, con el fin de ir aclimatando la biomasa y comenzar a producir biogás.

Desde mediados de año se ha venido trabajando en la estabilización del proceso tanto de hidrólisis como de producción de metano en ambos reactores. Se comenzó la alimentación de lactosuero con incrementos paulatinos de 5 litros/semana hasta alcanzar los 80 l/día y se espera poder llegar hasta 150l/día.

Una vez estabilizados los reactores de metanización en los primeros meses de alimentación de lactosuero, se ha procedido a cambiar la alimentación de uno de los dos reactores por

permeado obtenido en la planta de ultrafiltración y así poder obtener datos sobre el potencial de generación de biogás de ambos sustratos.

El permeado necesario para las pruebas de metanización se obtiene mediante ultrafiltración del lactosuero fresco, cuyo concentrado, a su vez, se emplea en la realización de los desarrollos de nuevos productos de revalorización.

Durante los procesos de filtración, el factor de concentración elegido ha sido de 5 para conseguir un porcentaje de sólidos del 18% y un contenido en proteína n torno al 35% (WPC35).



**Figura 1:** Ensayos de ultrafiltración. a) Vista general, b) retentado, c) permeado

En cuanto a los resultados de generación de biogás, los datos preliminares obtenidos indican que la producción de biogás no es todavía constante en el tiempo. Para mejorar el rendimiento del proceso se ha comenzado a adicionar nutrientes así como bicarbonato sódico y amónico con el fin de mantener la alcalinidad en los baremos correspondientes. En adición a esto, se está controlando de forma más exhaustiva la temperatura y el pH de la fase hidrolítica del proceso productivo.

En esta fase de arranque se ha observado también que la composición del biogás también es inestable debido a fallos en el sistema de toma de muestras, detectándose la entrada de aire.

Se espera que con la adición de bicarbonato y otra serie de sales y nutrientes además de con la mejora en el control del proceso productivo, aumentar la concentración de metano y disminuir la de dióxido de carbono, oxígeno y ácido sulfhídrico del biogás que se vaya obteniendo.

Esta tarea se continuará durante al menos los 5 primeros meses de 2015, en los que se espera poder optimizar ambos procesos y aumentar tanto la tasa de alimentación (actualmente en torno a 2 gr SV/díaxlitro hasta 3-4 gr SV/díaxlitro) y reducir los tiempos de retención (actualmente en torno a los 21 días hasta valores de 15 días).

## **2.2. Escalado de prototipos para alimentación humana y estudios de vida útil.**

A partir de las características nutricionales, organolépticas y físico-químicas de los lactosueros analizados, y tras la realización de visitas y contactos con algunas queserías así como con empresas de aditivos alimentarios se definieron una serie de productos alimentarios que podrían tener interés comercial, así como presentar algún tipo de aprovechamiento o

beneficio tanto para las queserías generadoras del subproducto, como para otras empresas del sector alimentario.

Para cada uno de estos productos se elaboró una ficha con las características técnicas y de mercado esperadas y se ha llevado a cabo su formulación y ajuste de ingredientes

Los prototipos contienen entre un 21% y un 70 % de porcentaje de lactosuero en su formulación, por lo que el aprovechamiento de este subproducto se considera elevado y acorde a los objetivos marcados inicialmente.

Con respecto al escalado, se han hecho prueba de escalado para los 4 prototipos de alimentos adaptándose los procedimientos de trabajo a los procesos que habitualmente se realizan a escala industrial. Se han obtenido unos 25 Kg de cada producto que han sido analizados en cuenta a su calidad microbiológica y nutricional. Respecto a los estudios de vida útil, se han realizado estudios de caducidad preliminares en tres de los prototipos: la bebida tiene una vida útil en torno a los 30 días, la salsa sufre un cierto deterioro sensorial en el aspecto y olor al cabo de 31 y 38 días, y en el producto en polvo se estima que la estabilidad sea mucho más elevada pudiendo superar los 5-6 meses.

Todos los prototipos volverán a ser estudiados a principios de 2015 para definir sus periodos de consumo óptimos, mediante análisis microbiológicos y catas con consumidores.

### **FASE 3. INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE PROCESOS COMBINADOS DE VALORIZACION ENERGETICA (HIDROGENO Y METANO) A PARTIR DE LACTOSUERO**

#### **3.1. Desarrollo del proceso combinado de producción de biohidrogeno y metano**

Para las pruebas de obtención combinada de hidrógeno y metano en semi-continuo se ha utilizado una planta de doble etapa para pruebas con separación de fases (hidrogenogénesis y metanogénesis).

Los métodos utilizados para la caracterización de los sustratos fueron los métodos oficiales de análisis de alimentos (Métodos oficiales de análisis de alimentos. MAPA Tomos I-IV, Madrid. 1995). Para el seguimiento de los parámetros de proceso y rendimientos de la digestión anaerobia se utilizaron los métodos para aguas residuales (APHA, 1999).

La humedad y cenizas se midieron mediante métodos gravimétricos, el nitrógeno amoniacal mediante destilación, el Nitrógeno total mediante Kjeldahl y las grasas por el método Soxhlet. La lactosa se determinó mediante el método de la Cloramina-T (norma FIL-28:1964).

La DQO se analizó mediante el método del dicromato y los AGV por cromatografía de gases. La alcalinidad y pH se determinaron mediante un valorador automático Titralab TIM 840 (Radiometer Analytical). Para la medida del contenido de hidrógeno se utilizó un equipo H<sub>2</sub>Scan (Anisol, España) así como Cromatografía de Gases (GC).

En el caso de la etapa de metanogénesis el contenido en metano se determinó mediante un equipo de análisis por Infra Rojo (Geotechnical Instrument, Germany). Para la inmovilización la biomasa se empleó un material denominado Mutag BioChip™ cuyas ventajas principales son su elevada superficie específica (3000 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>), su bajo coste y su alta versatilidad ya que puede ser utilizado para múltiples aplicaciones que van desde acuicultura hasta tratamiento de aguas residuales.

Las pruebas de generación de hidrógeno y metano se realizaron con un lactosuero obtenido en una quesería de Zamudio.

### **1ª ETAPA: Ensayo de obtención de hidrógeno**

En esta tarea se comenzó con la puesta en marcha de la planta de doble etapa para la producción conjunta de hidrógeno y metano a partir de lactosuero. El control del pH se realizó mediante un sistema de dosificación de sosa automatizado que mantiene el pH entorno a un valor de 5,5. La producción específica promedio de hidrógeno (PEH) 60 NL/kg SV·día de para un tiempo de retención hidráulico de 2 días y una carga orgánica de 32,5 g SV/L. El contenido promedio de hidrógeno en el biogás generado se situó entorno al 30 %.

Las analíticas, de la concentración de lactosa en comparación con los valores iniciales, así como un aumento en la concentración de ácidos grasos volátiles indicaron una transformación parcial de la lactosa contenida en el lactosuero en ácidos grasos volátiles, fenómeno deseable de cara a la producción de metano en el segundo reactor. Así mismo, se obtuvieron reducciones inferiores al 20 % en la DQO total y unos porcentajes de metano inferiores al 1 %, indicando el buen funcionamiento del reactor de hidrólisis.

Con el fin de optimizar producción de hidrógeno, se introdujeron posteriormente, como soporte para fijar la biomasa, los filtros Mutag BioChip™. Sin embargo, no se obtuvo un incremento de la producción de hidrógeno ni en la reducción de DQO, estadísticamente significativos. Por tanto, se concluye que para las condiciones de operación estudiadas el posible lavado de biomasa que pueda producirse con el efluente no influye en la producción de hidrógeno.

### **2ª ETAPA: Ensayo de obtención de metano**

Una vez estabilizada la producción de hidrógeno en el etapa 1 se comenzó a alimentar el segundo reactor con el efluente de hidrólisis de la primera etapa. Los tiempos de retención y las cargas iniciales fueron 13 días y 3,5 g SV/L·día. Las máximas producciones medias (condiciones de operación óptimas) de biogás alcanzadas utilizando lactosuero como sustrato en el proceso de 1 etapa fueron 0,436 NL/g SV·día con una contenido medio del 60 % en metano para tiempos de retención en torno a 10 días y una carga orgánica de 5,0 g SV/L·día.

Respecto a la eliminación de ST, SV y DQO, ésta se mantuvo en torno al 75 % para los ST y SV y al 80-85 % para la DQO. Estos valores teniendo en cuenta los sólidos eliminados y la DQO eliminada en la primera etapa, ascenderían hasta un 80 % para los sólidos y hasta un 90 % para la DQO total. Con respecto, al resto de los parámetros de seguimiento, cabe comentar que la relación de las alcalinidades total e intermedia se mantuvo por debajo de los niveles esperados.

En base a los resultados obtenidos se llevó a cabo una comparación, desde el punto de vista del rendimiento energético, de la producción de metano en 1 etapa respecto a la producción conjunta de metano e hidrógeno en 2 etapas. Para el cálculo se han tomado las producciones promedio obtenidas en condiciones de estabilidad y máxima carga admisible.

Según los cálculos realizados, puede concluirse que la producción combinada de hidrógeno y biogás implica un aumento de la producción de energía entrono a un 25 %.

## **2 ETAPAS**

1ª Etapa: HIDRÓGENO	2ª Etapa: METANO
HRT 2 días OLR=32.5 g/L·día, (30% H <sub>2</sub> ) PEH 60 NL/kg SV·día Energía = 607,6 KJ/Kg SV	HRT 10 días, OLR = 5,0 g SV/L·día, (60 % CH <sub>4</sub> ) PEM = 262 NL/kg SV·día Energía = 3896 KJ/Kg SV

**Tabla 2.** Comparacion resultados proceso de 2 etapas

En base a estos resultados se ha realizado el estudio técnico-económico para la obtención combinada de hidrógeno y metano a escala industrial.

### 1.1. Estudio de viabilidad económica comparativo

El estudio se ha centrado en la utilización del lactosuero como sustrato dado sus grandes ventajas para ser digerido en dos etapas frente a una sólo etapa. La siguiente tabla incluye los potenciales de producción de hidrógeno y metano medios obtenidos a escala de laboratorio:

Sustrato	H <sub>2</sub> /OM (Nm <sup>3</sup> /tOM)	H <sub>2</sub> (%)	CH <sub>4</sub> /OM (Nm <sup>3</sup> /tOM)	CH <sub>4</sub> (%)
Lactosuero	22	20,0	436,00	59,2

**Tabla 3.** Datos de potencial de producción de hidrógeno y metano

De cara a realizar la comparativa de viabilidad económica entre ambas opciones, es necesario definir unos datos generales:

- Temperatura media anual de la cabecera de la división administrativa seleccionada.
- Distancia de los residuos.
- Tecnología de la digestión. Se ha optado por la digestión por vía húmeda dado el gran contenido de agua del lactosuero.
- Cantidad de sustrato anual procesado.

Se han contemplado dos escenarios diferentes en función del tipo de valorización del biogás:

**Escenario 1.** El biogás producido se valoriza mediante cogeneración. El excedente de energía eléctrica se destina a su venta. El calor producido se emplea para el autoconsumo de la planta. Como sistema de valorización del biogás se ha optado por la tecnología Stirling ya que es la que menor coste y mayor versatilidad ofrece para los caudales de biogás producidos que se generan.

**Escenario 2.** El biogás producido se inyectaría directamente en la red como biohythane. Aunque actualmente en España la ausencia de un marco regulatorio está impidiendo su potencial desarrollo, el biohythane está llamado a convertirse en una alternativa energética de futuro. La inyección del biohythane en la red de gas natural o en microrredes permite aprovecharlo de forma más eficiente que en motores de cogeneración donde el calor producido no encuentra un fácil aprovechamiento.

Dentro de la estructura de financiación se incluyen las partes financiadas mediante subvención (máximo el 30 %), mediante préstamos así como el tipo de interés del préstamo.

La siguiente tabla recoge todos los datos de entrada definidos inversiones, ingresos, gastos y estructura de financiación necesarios para realizar los estudios de viabilidad para cada uno de los escenarios considerados:

Ingresos	
Precio venta de electricidad	
Precio venta de la energía térmica	
Precio de venta del digerido	
Precio venta de biometano	
Gastos	
Coste de productos como % de ventas	
Coste de la mano de obra	
Intensidad de la mano de obra	
Coste de logística	
Otros costes	
Parte de la inversión financiada mediante subvención	
Parte de la inversión financiada mediante préstamo	
Tipo de interés del préstamo	

**Tabla 4.** Datos utilizados para el estudio de viabilidad

En el apartado de otras inversiones se ha tenido en cuenta el coste total asociado al digestor de obtención de hidrógeno. Este supone aproximadamente el 20 % del coste total de toda la planta de biogás (digestores e instalaciones auxiliares).

La inversión esperada para la implementación del digestor de hidrólisis incluyendo todas las instalaciones auxiliares ascendería a 205.186 €.

A partir de estos datos se ha realizado el balance económico de los dos escenarios estudiados obteniéndose los siguientes resultados:

Escenarios	Inversión M€	Periodo de retorno (años)	Ahorro de emisiones de CO <sub>2</sub> equivalentes (t/año)
<b>Escenario 1</b>	1.578.636	5	1091
<b>Escenario 2</b>	1.439.799	1,9	2333

**Tabla 5.** Inversión, periodo de retorbo y ahorro de emisiones de CO<sub>2</sub> equivalentes

En principio aunque el escenario 2 resultaría más rentable sun imposibilidad de implantación a corto-medio plazo haría más realista la adopción del escenario 1.

## FASE 4. DESARROLLO DE HERRAMIENTA GIS PARA TOMA DE DECISIONES EN LA IMPLANTACION DE OPCIONES DE VALORIZACION DE SUBPRODUCTOS

### 4.1. Selección y obtención de datos sobre factores de viabilidad

En esta tarea se han llevado a cabo la identificación y selección de los factores de viabilidad que tienen influencia en viabilidad de las dos alternativas de valorización a estudiar (producción de piensos y biogás), con el fin de poder posteriormente establecer la viabilidad para cada uno de estos aspectos.

Algunos de los aspectos más importantes identificados para las opciones de valorización de alimentación animal y producción de biogás son los que se muestran a continuación:

- Volumen de negocio: Kilos en cada uno de los meses del año.
- Dimensionamiento De la planta teniendo en cuenta el volumen trabajado en cada mes.
- Indeseables (piensos) o inhibidores (biogás)
- Valor Nutricional (piensos) o potencial de metanización (biogás)
- Ubicación productor:
- Ingreso productos: Ingreso por Gestión de Subproductos; Ingreso por Venta de Harina o electricidad
- Coste Planta: Coste por Logística de Recogida; Coste por Procesado de Subproductos Coste por Gastos Administrativos
- Coste Productor: Coste por Adquisición de Subproductos
- Coste Amortización de Planta:
- Ubicación de planta: Suelo Industrial (Disponibilidad); Tamaño de la planta; Coeficiente de forma
- Impacto: Huella de carbono; Huella hídrica; Potencial de eutrofización del agua dulce
- Nº de plantas de tratamiento: Masa Crítica Mínima; Radio Máximo Área Geográfica

A su vez, se han recopilado datos sobre los puntos de generación de subproductos para los 3 sectores estudiados (lácteos, vegetales y cárnicos), de tal manera que permita su incorporación en el sistema GIS y la herramienta a desarrollar. Para ello, se ha consultado bases de datos; inventarios; organismos oficiales; planes regionales; caracterización de subproductos; presupuestos de construcción y explotación de plantas; requerimientos técnicos, administrativos y legales.

También se están completando las bases de datos con información sobre valores necesarios para cada tipo de subproductos (contenido en proteína, humedad, DQO, sólidos, potencial de metanización,...) que permitan posteriormente realizar los cálculos necesarios para cada uno de los factores definidos (por ejemplo para el factor “ingreso esperado de venta del pienso” necesitamos saber para el subproducto o la mezcla de subproductos el contenido en proteína y otros nutrientes del pienso, la cantidad de subproducto, el rendimiento de fabricación del pienso y el precio en el mercado).

### **1.1. Ponderación de los factores**

En primer lugar, se ha ponderado la importancia relativa de todos los factores de viabilidad, clasificados en función de los 3 tipos de viabilidad que se pretende evaluar: técnica, económica y ambiental, de tal manera que se evalúe el peso de cada factor en cada tipo de viabilidad.

En segundo lugar, para cada uno de los factores de viabilidad, se han definido sus rangos limitantes, es decir valores fuera de los cuales la viabilidad de un punto de generación sería negativa e implicaría que un punto de generación no sea incluido en el escenario de estudio.

A su vez, para los valores que se encuentran dentro de los rangos limitantes, se han definido los rangos condicionantes de la viabilidad para el cálculo de su importancia relativa. Para ello, en primer lugar, se está determinando el sentido de la influencia en la viabilidad y, en segundo lugar, se está cuantificando la magnitud de esa influencia, de cara a la integración de estos rangos de cada factor en la herramienta, mediante algoritmos y ecuaciones. Así, a cada factor de viabilidad, se le asigna una nota ponderada de la viabilidad, de tal manera que la suma de notas ponderadas de cada punto de generación permita evaluar el valor intrínseco que cada



punto generador tiene en la viabilidad de las opciones de valorización de biogás y alimentación animal.

Estos valores límites y rangos condicionantes de la viabilidad deberán ser flexibles, de tal manera que se posibilite su modificación a la hora de simular diferentes Escenarios de Viabilidad.

Teniendo en cuenta lo anterior, la metodología seleccionada para evaluar la viabilidad sigue el siguiente esquema:

*1º Análisis del número óptimo de plantas para el área objeto de estudio:*

*2º Análisis de viabilidad de los productores:*

*3º Análisis geográfico:*

*4º Análisis de la viabilidad técnica y económica:*

*5º Análisis ambiental:*

En base a esta metodología en los próximos meses se desarrollará las bases para la herramienta software y la integración de los sistemas GIS en dicha herramienta.

## 4. TRASFERENCIA Y DIFUSIÓN DE RESULTADOS

Los actos de difusión y comunicación realizados en relación con los resultados del proyecto se han realizado en diferentes ámbitos, cada uno de ellos relacionados con las temáticas de las diferentes tareas llevadas a cabo.

- Posters y presentaciones orales en congresos, jornadas, foros, etc.:
  - Póster en el Congreso Internacional WASTES celebrado en Braga, Portugal (11-13 de septiembre, 2013) “Full use of the whey generated by the dairy industry”.
  - Presentación oral en Congreso ORBIT 2014 en Godollo, Hungría (26-28 de Junio) “Valorization alternatives for cheese whey and permeate in the Basque Country (Spain)”
  - Presentación oral en Congreso Progress in Biogas (Stuttgart, Alemania) 12-13 septiembre. “Anaerobic digestion of salty cheese whey and uf permeate in a two- stage system”
  - Presentación Poster Feria CONAMA (IFEMA, Madrid) 24-27 Nov 2014. Aprovechamiento integral del lactosuero generado en las queserías”
  - Presentación de un poster en el seminario nacional “Energía, Agromateriales y Nuevos Alimentos a partir de Subproductos Vegetales, avances para la bioeconomía” del 20 de febrero de 2013 en La Rioja.
  - Presentación Oral en el VI Foro de Colaboración Público Privada en el centro del INIA en mayo de 2013.
  - Asistencia y difusión del proyecto en el III Congreso de Alimentación Animal: Seguridad Alimentaria y Producción de Alimentos celebrado en Bilbao el 3 y 4 de diciembre de 2013.
  - Presentación de poster en el Congreso internacional ORBIT 2014, en Godollo (Hungría).
  - Presentación oral en el congreso internacional AGRIFOOD LOGISTICS 2014, en Poznan (Polonia).



- Presentación de poster en el congreso internacional AQUACULTURE EUROPE 2014 en Donostia (España).
- Presentación oral en la Jornada Bioterra 2014, Irún (España)
- Presentación oral en la Jornada de Valorización de subproductos 2014, Valladolid (España)
- Artículos técnicos y divulgativos, publicaciones en webs::
  - Artículo técnico: "Aprovechamiento integral del lactosuero generado en el sector lácteo": Proyecto VALORLACT. Industria Lactea Española (ILE). Nº 417 (dic 2013)
  - Artículo en Alimentatec, 20 de mayo de 2013.
  - Publicación de resultados en página web del proyecto VALORLACT ([www.valorlact.eu](http://www.valorlact.eu))
- Difusión en los medios:
  - Notas de prensa enviadas a números medios de comunicación digitales y entrevistas en radio: Onda Vasca, Gastro Radio y Radio Euskadi.
  - Envío de una nota de prensa con los avances del Clean Feed, febrero 2013, del que se han derivado varias publicaciones de artículos en diferentes periódicos y revistas.
  - Grabación de un video para el programa Teleberri en EITB, 27 de marzo 2013.
  - Entrevista en Euskadi Irratia el 06 de junio de 2013.
- Difusión en entidades del sector y organismos públicos:

Envío de encuestas a 120 queserías para informar del proyecto y recogida de información.

Contacto con Dpto. de las Diputaciones, Gobierno Vasco y organismos públicos (HAZI, ELIKA).

Reunión con 7 queserías, la asociación Artzai-Gazta y la D.O. Idiazabal para presentar el proyecto y contrastar opiniones.

Colaboración estrecha con dos queserías de la CAPV para la realización de pruebas y toma de muestras.

## 5. CONCLUSIONES

### FASE 1. ESTUDIOS AD HOC DE ALTERNATIVAS DE VALORIZACION DE SUBPRODUCTOS

Las conclusiones del estudio son:

- A pesar de los buenos rendimientos de extracción de polifenoles obtenidos (por encima del 80 %) a escala de laboratorio, la alta estacionalidad de las lías de la sidra junto con la cantidad anuales generadas limitan de manera muy notable la viabilidad económica de una instalación para la obtención de extractos polifenólicos a partir de lías de sidra. Por tanto, a corto-medio plazo la valorización energética de las lías de sidra representa la opción más factible desde el punto de vista económico y ambiental.
- Los resultados en las pruebas de co-digestión con las lías de sidra en semi-continuo indican un buen comportamiento del proceso a las cargas orgánicas en las que operan los reactores anaerobios en la E.D.A.R. Por tanto, las lías de sidra son un sustrato apto para su descomposición en procesos de digestión anaerobia. Su incorporación a digestores anaerobios de E.D.A.R. permite maximizar la producción de energía en un 19 % además

de dar solución a una problemática de gestión de un residuo de marcado carácter estacional con necesidades de inversiones mínimas.

- Para la recogida de las lías de sidra se propone ruta de recogida por todos los puntos generadores entre los meses de octubre-noviembre. Los costos asociados a la logística podrían ser sufragados por el ingreso extra obtenido (en forma de venta de electricidad) por codigerir las lías de sidra junto con el fango.

## FASE 2. PRUEBAS PILOTO DE VALORIZACIÓN DE SUBPRODUCTOS

- En la parte de **generación de biogás**, los resultados obtenidos en el Reactor 1 alimentado con lactosuero indican un buen arranque del proceso con producciones elevadas de biogás aunque con concentraciones de metano algo bajas (alrededor del 50%), sin embargo se han comenzado a producir procesos de inhibición por bajadas en la alcalinidad por lo que se ha procedido a incorporar bicarbonato en la salida de los tanques de hidrólisis para el ajuste del pH y el mantenimiento de la alcalinidad.
- Los resultados del Reactor 2 indican todavía una producción incipiente de biogás, habiéndose producido problemas técnicos que se esperan solventar en los próximos meses. Esta tarea se continuará durante al menos los 5 primeros meses de 2015, en los que se espera poder optimizar ambos procesos y aumentar tanto la tasa de alimentación (actualmente en torno a 2 gr SV/día-litro hasta 3-4 gr SV/día-litro) y reducir los tiempos de retención (actualmente en torno a los 21 días hasta valores de 15 días).
- En el caso del **desarrollo de nuevos alimentos**, los prototipos contienen entre un 21% y un 70 % de porcentaje de lactosuero en su formulación, por lo que el aprovechamiento de este subproducto se considera elevado y acorde a los objetivos marcados inicialmente.
- Respecto a los estudios preliminares de vida útil realizados, presentan resultados positivos, ya que los periodos de mantenimiento de las características mínimas de calidad y sensoriales son similares a las de otros productos semejantes comercializados en la actualidad.

## FASE 3. INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE PROCESOS COMBINADOS DE VALORIZACION ENERGETICA (HIDROGENO Y METANO) A PARTIR DE LACTOSUERO

- La obtención combinada de hidrógeno y metano en procesos de doble etapa produce una mayor recuperación de la energía contenida en el subproducto (hasta un 25 % adicional) en comparación con los procesos de una sola etapa.
- La inmovilización de la biomasa con el soporte empleado y para las condiciones de operación estudiadas, no produce un aumento estadísticamente significativo de las producciones específicas de hidrógeno y metano.
- De acuerdo a los estudios económico financieros realizados para los dos escenarios considerados, se concluye que para ambos escenarios los indicadores económicos son positivos y por tanto, se podría realizar la inversión de manera rentable. De los dos escenarios contemplados, el **escenario 2** presenta mejores resultados tanto a nivel de inversión inicial, como de retorno de la inversión y desde el punto de vista medioambiental. Sin embargo, a corto-medio plazo el escenario más realista es el escenario 1, ya que a nivel de España actualmente no es posible la inyección del bio-hythane generado en la red de gas natural.

- En el estado actual, la tecnología no es competitiva con otros sistemas de generación de hidrógeno, sin embargo, se considera que existe un amplio margen de mejora de eficiencia que hace que potencialmente sea un sistema viable desde el punto de vista económico.

#### **FASE 4. DESARROLLO DE HERRAMIENTA GIS PARA TOMA DE DECISIONES EN LA IMPLANTACION DE OPCIONES DE VALORIZACION DE SUBPRODUCTOS**

- El listado de factores de viabilidad de las dos opciones de valorización: alimentación y biogás tiene en cuenta la gran mayoría de los aspectos que afectan a la viabilidad,
- Los factores de viabilidad han sido clasificados en función de su importancia relativa en la viabilidad técnica, económica y ambiental y se han definido los rangos limitantes y condicionantes de la viabilidad de las opciones de valorización. No obstante, dichos rangos limitantes y condicionantes deben ser evaluados en varios talleres de simulación de la viabilidad que se realizarán en las siguientes tareas previstas.
- La información disponible sobre la generación de subproductos vegetales, cárnicos y lácteos ha sido actualizada mediante la consulta de bases de datos, inventarios, realización de cuestionarios, etc., por lo que se dispone de información actualizada, de cara al estudio que se prevé realizar.
- La metodología de evaluación de la viabilidad definida se considera suficiente para cumplir los objetivos del proyecto. No obstante, es conveniente contrastarla en los talleres de simulación de la viabilidad que se realizarán en las siguientes tareas previstas para introducir las acciones de mejora que se identifiquen.