

Codigestión anaerobia de lactosuero y purines vacunos para transitar hacia la circularidad

María Rebollo-Sampedro ¹, Esther Acha ^{1,2}, Estíbaliz Sáez de Cámara ^{1,2}, Erlantz Lizundia ^{1,3} y Ion Agirre ^{1,2,*}

¹ Aula de Transición Energética Fundación Repsol sobre "Economía Circular". Escuela de Ingeniería de Bilbao. Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU). Bilbao. España.

² Departamento de Ingeniería Química y del Medio Ambiente. Escuela de Ingeniería de Bilbao. Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU). Bilbao. España.

³ Departamento de Expresión Gráfica y Proyectos de Ingeniería. Escuela de Ingeniería de Bilbao. Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU). Bilbao. España.

* Autor de correspondencia: ion.agirre@ehu.eus

Artículo de divulgación científica

Recibido: 13 de junio de 2025 Aceptado: 26 de julio de 2025 Publicado: 4 de agosto de 2025

DOI: <https://doi.org/10.56845/terys.v4i1.512>

Resumen: El presente artículo aborda la valorización del lactosuero, subproducto altamente contaminante de la industria quesera generado durante la elaboración del queso. Dada su elevada carga orgánica su vertido está estrictamente regulado por la normativa europea ya que sería una amenaza para los ecosistemas acuáticos si se vertiera sin tratar. En este contexto, se plantea su tratamiento mediante digestión anaerobia como una estrategia de economía circular. La composición del lactosuero es rica en azúcares, proteínas, minerales y agua, convirtiéndolo en un sustrato adecuado para la producción de biogás. Se analizan los parámetros clave que afectan a su eficiencia, como la temperatura, el pH, la relación carbono/nitrógeno, y el tiempo de retención en las diferentes etapas del proceso de digestión anaerobia. Asimismo, se evidencia la importancia de la codigestión con otros residuos para evitar desequilibrios en el sistema. Si bien el uso energético del lactosuero mediante digestión anaerobia es prometedor, este estudio explora otros aprovechamientos complementarios en los sectores alimentario, ganadero, químico y biotecnológico. A pesar de su elevado potencial energético, la producción de biogás en Europa está muy por debajo de lo que se podría producir, lo que resalta la necesidad de fomentar su integración en el sistema energético actual. En conclusión, el lactosuero representa una oportunidad ambiental, energética y económica para la industria quesera si se implementan tecnologías de gestión adecuadas.

Palabras clave: codigestión anaerobia; lactosuero; purines; biogás; valorización energética; circularidad

Introducción

En el contexto actual de transición energética y de circularidad de los materiales, la gestión de residuos se ha convertido en un desafío crucial, pero a su vez en una gran oportunidad. Frente a las prácticas tradicionales de gestión de residuos, la valorización permite la reconversión de estos en recursos útiles, ya sea mediante generación de energía o mediante la obtención de nuevas materias. A través del enfoque de aprovechamiento del contenido energético de residuos no sólo se consigue recuperar energía, sino que también disminuye el volumen de residuos a tratar, reduciendo así su impacto ambiental. De esta manera también se facilita la transición hacia sistemas productivos menos dependientes de los combustibles fósiles y se evita la extracción de nuevas materias primas de nuestro planeta. En este contexto, el biogás obtenido a través de residuos es una alternativa de gran potencial. Con ello se da paso a que los residuos dejen de ser un problema y sean una oportunidad en términos energéticos, ambientales y económicos (Alengebawry *et al.*, 2024). Esta línea de actuación se alinea con las principales estrategias europeas en materia de sostenibilidad, como el Pacto Verde Europeo, el objetivo de alcanzar una Europa climáticamente neutra en 2050 y la visión de una economía orientada al residuo cero (*zero waste*).

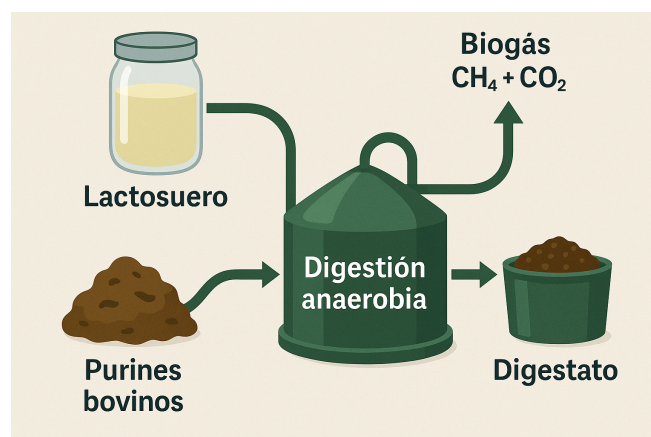


Figura 1. Proceso de codigestión de lactosuero con otros posibles sustratos como pueden ser los purines bovinos.

Uno de los grandes subproductos de la industria láctea es el lactosuero, un líquido translúcido que se obtiene tras la separación del coágulo de la leche durante la elaboración del queso. Debido a su elevada carga orgánica -determinada

mediante la demanda biológica de oxígeno (DBO) y la demanda química de oxígeno (DQO)-, el vertido del lactosuero sin tratar a cauces públicos queda prohibido por normativa de la Unión Europea - Directiva 2024/3019, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas - debido a los impactos ambientales a los que daría lugar. Por ello, se obliga a gestionarlo adecuadamente, ya sea mediante un tratamiento antes de verter a colector, aprovechamiento en alimentación animal o valorización en industrias alimentarias, farmacéuticas o cosméticas (Consejo UE, 2024; García González *et al.*, 2022). En este artículo se presenta una visión general de la valorización del lactosuero, los usos actuales y las oportunidades, así como su aprovechamiento mediante digestión anaerobia.

Desarrollo

El lactosuero: características y desafíos

El lactosuero se produce específicamente tras la precipitación de la caseína, la principal proteína de la leche, la cual se coagula para la producción del queso, y se presenta como un subproducto de interés. Se estima que se generan 9 kilogramos de lactosuero por cada kilogramo de queso producido (Díaz, 2020), lo cual representa alrededor del 85-90 % del volumen de la leche empleada en la producción del queso e incluye más de la mitad de sus nutrientes, concretamente el 55 % (Fernández Rodríguez *et al.*, 2016).

En España, la producción de queso ha experimentado un notable crecimiento en los últimos años, impulsada principalmente por el aumento de la demanda exterior (García González *et al.*, 2022). En 2023, se alcanzó una producción de 534.34 mil toneladas de queso, lo que representaba un 4.9 % del total producido en Europa. De esta forma, España se posiciona como el sexto mayor productor europeo (European Union, 2025b). El lactosuero total generado en España en 2023 fue de alrededor de 4.8 millones de toneladas y 98.53 millones de toneladas en Europa, convirtiéndose su gestión adecuada en una prioridad para el sector.

Existen diversas alternativas que mitigan el impacto ambiental derivado de la gestión del lactosuero. Por ejemplo, mediante ultrafiltración es posible obtener concentrados de proteínas como: β -lactoglobulina, α -lactoalbúmina, que son ingredientes útiles para la industria alimentaria por su buena solubilidad y su capacidad para mejorar la textura, mezcla y conservación de los productos (Contexto ganadero, 2012). Otro uso es su transformación en suero de leche en polvo, empleado en la formulación de otros productos lácteos como: bebidas lácteas, yogures, helados, pastelería, bollería, y alimentos infantiles (Hannainst, 2024). También se usa como alimento para animales, por ser una fuente energética rica en proteínas y lípidos, especialmente útil para las crías de animales. Más allá de su uso alimenticio y ganadero, hay otras aplicaciones avanzadas, como es la obtención de ácido láctico y biopolímeros bioplásticos, por fermentación de microorganismos. O el desarrollo de recubrimientos comestibles para envases biodegradables de alimentos. Además, está en investigación la separación de algunos de sus componentes -como oligosacáridos, fosfolípidos, terpenos o fenoles- con potencial uso en industrias químicas, farmacéuticas o cosméticas (ITACyL, 2023). No obstante, mediante estas soluciones no es posible la salida a la totalidad del lactosuero producido.

Existen dos tipos de lactosuero dependiendo del tipo de queso producido: i) El lactosuero dulce, generado a partir de la coagulación enzimática por la renina y la acción de enzimas coagulantes sobre la caseína de la leche, que produce quesos duros o semiduros, con un pH alrededor de 6.5. ii) El lactosuero ácido, que resulta de la fermentación o adición de ácidos orgánicos o minerales para coagular la caseína, como se realiza para la elaboración de quesos frescos, donde se tiene un pH alrededor de 5 (Sharma *et al.*, 2022).

La composición de este subproducto hace que también pueda ser interesante valorizarlo a través de procesos biológicos llevados a cabo por microorganismos. En la Tabla 1 se muestra la composición de los dos tipos de lactosuero. El lactosuero dulce tiene mayor concentración de lactosa y de proteína. A pesar de que las proteínas no representen la fracción más abundante, estas tienen una gran importancia a nivel nutritivo, ya que son una fuente rica y equilibrada de aminoácidos esenciales, que son de alto valor biológico. Esta composición convierte al lactosuero en un buen sustrato para la digestión anaerobia, ya que las proteínas, además de ser una fuente de nitrógeno fácilmente asimilable para los microorganismos, favorecen la degradación y conversión de la materia orgánica presente, lo que resulta en un buen rendimiento de la digestión. Además, el elevado contenido de agua que contiene el lactosuero -alrededor del 87.6 y 93.4 % en volumen- contribuye al equilibrio hídrico del sistema de digestión sin la necesidad de añadir agua,

facilitando el manejo de la masa del interior del reactor y proporcionando una mezcla homogénea (Zimbardi *et al.*, 2024).

Tabla 1. Composición media del lactosuero dulce y ácido. Modificada de (Panesar *et al.*, 2007).

Composición	Lactosuero dulce [g L ⁻¹]	Lactosuero ácido [g L ⁻¹]
Sólidos Totales	66.5	66.5
Lactosa	49.0	45.0
Proteína	8.0	7.0
Calcio	0.5	1.4
Fosfato	2.0	3.3
Lactato	2.0	6.4
Cloruros	1.1	1.1

La digestión anaerobia: fundamentos y beneficios

Se trata de un proceso microbiológico natural, en ausencia de oxígeno, donde la acción de diversos microorganismos transforma la materia orgánica en biogás y en un residuo líquido aprovechable como fertilizante, denominado digestato. Este proceso, que ocurre espontáneamente en distintos medios naturales -como pantanos-, se puede replicar en reactores por medio de distintas condiciones controladas para tratar residuos orgánicos (Fernández Rodríguez *et al.*, 2016). De esta forma se puede valorizar energéticamente el lactosuero, incrementando la sostenibilidad del sector agroalimentario y su circularidad.

La digestión anaerobia ocurre en cuatro etapas (ver Figura 2). La primera etapa es la hidrólisis, donde los compuestos orgánicos complejos -carbohidratos, proteínas, y lípidos- son hidrolizados a moléculas más simples -como ácidos grasos, azúcares, y aminoácidos-. La siguiente fase es la acidogénesis, donde estos productos son fermentados por microorganismos acidogénicos en ácidos grasos volátiles -AGV- y otros. Posteriormente ocurre la acetogénesis, que se encarga de tomar estos productos y convertirlos en ácido acético, H₂ y CO₂, esenciales para la última etapa. Por último, tiene lugar la metanogénesis, de cuya etapa se encargan las arqueas metanogénicas, las productoras del metano -CH₄- y del dióxido de carbono adicional (Antonio & Aguilera, 2017).

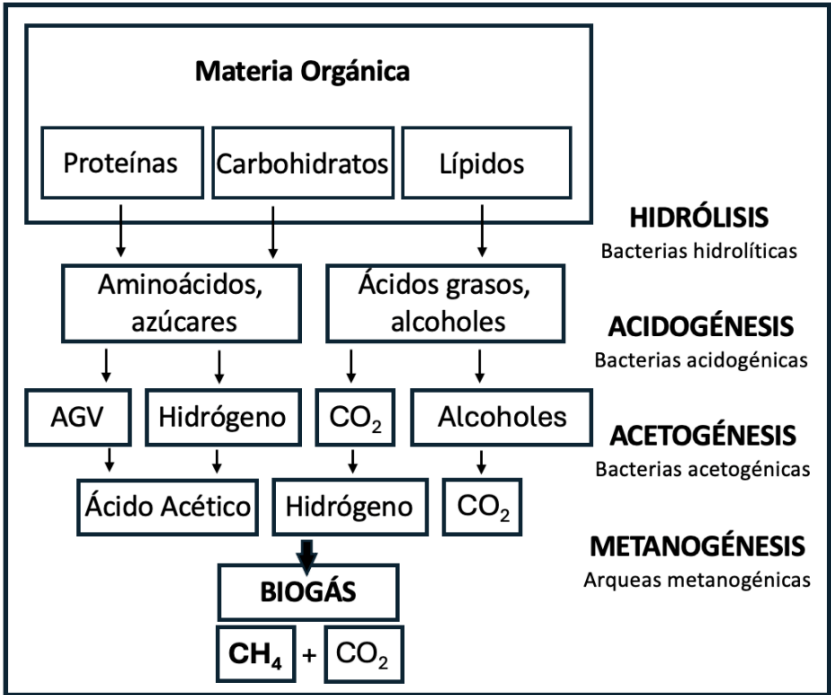


Figura 2. Transformación y Fases de la Digestión Anaerobia. Modificado de IDAE (2007).

El proceso de digestión anaerobia genera como producto el denominado biogás, donde el metano -CH₄- es el componente principal con entre un 55 y un 70 % en volumen. Este compuesto es el principal interés del biogás, debido a su alto poder calorífico entre 21.6 y 23.4 MJ m⁻³ (6.0 y 6.5 kW h m⁻³), por lo que cuanto mayor sea su porcentaje, mejor será la calidad del biogás y más rentable será su producción. En la digestión anaerobia también se obtienen dióxido de carbono en un 35-40 % en volumen, junto con trazas de otros gases como nitrógeno, hidrógeno o sulfuro de hidrógeno (Jameel *et al.*, 2024). Este biogás puede utilizarse como fuente directa de calor, electricidad, o tras su purificación, puede dar lugar a biometano, un sustituto compatible con el gas natural que se encuentra en las redes estatales (Secretaría de Estado de Energía, 2022).

Existen ciertos parámetros físico-químicos que afectan de forma significativa a la eficiencia de la digestión por su relación directa con la actividad microbiana -inóculo- y la estabilidad del sistema. Uno de los principales factores es la temperatura, debido a su gran influencia en la velocidad de digestión, ya que, según aumenta la temperatura, aumenta dicha velocidad, que se relaciona con el crecimiento de distintos grupos de microorganismos y que da lugar a mayores producciones de biogás. La temperatura también determina las comunidades microbianas predominantes, que según el rango térmico se diferencian en tres tipos: psicrófilo (por debajo de 25 °C), mesófilo (25-45 °C), y termófilo (45-65 °C); siendo el rango mesofílico el más utilizado (ver Tabla 2). Además, se debe garantizar una temperatura homogénea en el digestor, ya que los microorganismos anaerobios son muy sensibles a las condiciones ambientales, con lo que se debe tener un sistema adecuado de agitación y un controlador de temperatura, para evitar inhibiciones y pérdidas de rendimiento (FAO, 2019a).

Tabla 2. Rangos de temperatura de comunidad microbiana y su tiempo de digestión.
Modificado de Varnero Moreno, (2011).

Comunidad Microbiana	Rango de temperatura mínima [°C]	Rango de T Óptima [°C]	Rango de T Máxima [°C]	Tiempo de digestión [días]
Psicrófilas	4 – 10	15 – 18	20 – 25	100
Mesófilas	15 – 20	25 – 35	35 – 45	30 – 60
Termófilas	25 – 45	50 – 60	75 – 80	10 – 15

Otro parámetro a controlar durante la digestión es el pH del sistema, ya que éste ha de situarse entre 6.8 y 7.2. Si se produce una acumulación excesiva de AGV, puede provocar una acidificación del sistema, con un descenso del pH -por debajo de 6.3- llevándolo a un shock ácido; y si aumenta la formación de amoníaco libre NH₃, provoca una inhibición, elevando el pH por encima de 7.8. En ambos casos estas desviaciones se traducen en una menor producción de metano (Jaya *et al.*, 2024). Por otro lado, la relación de carbono/nitrógeno -C/N- es esencial, ya que, el carbono es la fuente de la que se obtiene la energía para el proceso, y el nitrógeno es el que impulsa el crecimiento biológico (FAO, 2019). Por ello, se debe tener una relación óptima de ambos, situada en el rango de 20/1 a 30/1 para conseguir estabilidad en la digestión. Es importante controlar el contenido de nitrógeno, ya que un exceso de este elemento conlleva la producción y acumulación de amoníaco, provocando la inhibición de la digestión (Valoralgae, 2022). También se debe tener en cuenta la relación sustrato/inóculo -S/I-, la cual es fundamental en la fase de arranque de la digestión. Con una mayor relación de inóculo se consigue un comienzo de digestión más rápido y el comienzo del crecimiento de los microorganismos es más estable; sin embargo, con un aumento discriminado, puede reducir la eficiencia y dificultar la operación del reactor (Kassongo Id *et al.*, 2022). Por último, el tiempo de retención hidráulico -TRH- es la permanencia de la biomasa en el reactor o digestor, que debe ser suficiente para una completa degradación de la materia orgánica y un rendimiento máximo. Este tiempo se establece generalmente entre 10 y 25 días, pero dependerá de la temperatura, del tipo de sustrato y del sistema utilizado -véase la Tabla 2- (Jaya *et al.*, 2024).

El biogás producido mediante digestión anaerobia de lactosuero puede ser una fuente prometedora de energía renovable. Sin embargo, sigue estando infrautilizado en muchos países, existiendo en Europa un total de 18,943 instalaciones -en 2019- con una producción de 193 TWh, y 725 plantas específicas de biometano que produjeron 26.7 TWh (Secretaría de Estado de Energía, 2022). Teniendo en cuenta que el total de energía generada en la UE es de 20904 TWh, la energía obtenida del biogás sólo abarca un 0.9 % del total (European Union, 2025a). Sin embargo, esta fuente puede cubrir una parte significativa de la demanda global y ser clave en diseños de sistemas energéticos descentralizados, resilientes y bajos en carbono, evitando la emisión de aproximadamente 2.1 millones de toneladas

de CO₂ equivalente al año. Su integración junto con sectores ganaderos, agrícolas o agroindustriales, como la industria láctea, es estratégico para avanzar hacia un modelo más sostenible y potenciar la cadena de valor empresarial en el ámbito rural (IDAE, 2022). En este contexto, el lactosuero destaca como un sustrato ideal para digestión anaerobia, por su alto contenido en materia orgánica y su amplia disponibilidad como subproducto.

A pesar de los usos que se le dan al lactosuero en la actualidad, su digestión anaerobia es una de las alternativas más prometedoras para su valorización, más aún en el contexto de transición energética en el que nos encontramos. Se ha de añadir que, aunque, su uso como mono-sustrato sea rentable, se debe controlar la concentración de carbohidratos, ya que en exceso puede provocar una rápida fermentación, generando acumulaciones de AGV que desestabilizan el proceso, causando acidificación y disminución de la actividad metanogénica (Díaz, 2020). Por ello, una solución eficaz para evitar estos riesgos y para abordar la gestión de otros residuos puede ser la codigestión, que mezcla el lactosuero con otros subproductos de distinta composición para equilibrar la relación entre carbono/nitrógeno -C/N-, mejorar la estabilidad del sistema y aumentar el rendimiento del metano frente a la digestión mono-sustrato, por ejemplo, con la adición de purín vacuno (Hallaji *et al.*, 2019). La presencia de residuos cofermentados aporta nutrientes y compuestos amortiguadores que mantienen un pH óptimo -entre 6.8 y 7.2-, fundamental para las arqueas metanogénicas (Wei *et al.*, 2019).

Esta mejora en el comportamiento del proceso se puede observar en la Figura 3. La digestión del lactosuero como único sustrato refleja una secuencia de fases más escalonada e inestable, mientras que la codigestión con purines muestra una evolución más progresiva y estable. En cuanto a la composición de biogás, se observa que en la digestión mono-sustrato se obtiene una proporción del 55 % de CH₄ y 45 % de CO₂ mientras que en la codigestión se alcanza el 60 % de CH₄. Esto demuestra que la codigestión no sólo estabiliza el proceso, sino que también mejora la eficiencia energética al incrementar la fracción de metano en el biogás generado. Ambas digestiones se realizaron bajo las mismas condiciones operativas: T=39°C, relación sustrato/inóculo (S/I) de 1/2 en base a sólidos volátiles (SV), siendo la relación lactosuero/purines de 1/1 en SV en el caso de la codigestión.

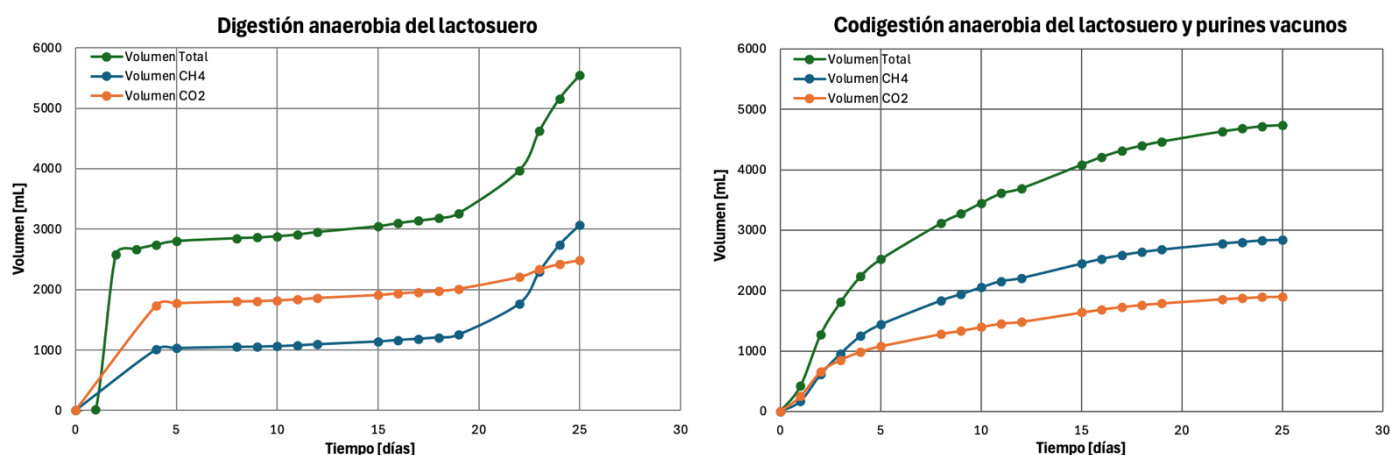


Figura 3. Representación del volumen generado de biogás, de CH₄, y de CO₂ de la digestión del lactosuero y la codigestión junto con purines bovinos.

Conclusiones

La gestión adecuada de subproductos como el lactosuero es un reto ambiental de gran relevancia y a la par una gran oportunidad para la industria láctea. La industria quesera genera millones de toneladas de este subproducto cada año, y su elevada carga orgánica lo convierte en un efluente altamente contaminante sin tratamiento previo. Por ello, su revalorización mediante digestión anaerobia emerge como una alternativa prometedora, no sólo para reducir su impacto ambiental, sino también para la producción de energía a través del biogás generado.

En este estudio se ha evidenciado que su composición altamente rica en nutrientes, con azúcares, proteínas, minerales, y además un alto volumen en agua, permiten favorecer la biodegradación, la actividad microbiológica y cubrir las necesidades hídricas que necesita el sistema de digestión anaerobia-sin recurrir a fuentes externas-. Debido a que su

uso como único sustrato puede dar lugar a desequilibrios -como la acumulación de AGV-, se considera la codigestión con otros residuos un aspecto a considerar para lograr un sistema estable. En concreto, la digestión con purines vacunos ha demostrado mejorar la estabilidad del proceso y favorecer una evolución más progresiva en la producción de biogás, además de mejorar la calidad del biogás generado en cuanto al ratio de CH_4/CO_2 , evidenciando con ello las sinergias entre sustratos que pueden permitir optimizar el rendimiento del sistema.

Aunque la valorización energética del lactosuero es una vía prometedora, no es la única forma de aprovechamiento existente, ya que se puede destinar a alimentación animal, producción de ingredientes u otros usos industriales, lo que amplía su gestión dentro de una estrategia de economía circular y de descarbonización del sector.

En conclusión, el lactosuero representa una oportunidad ambiental, energética y económica para la industria quesera si se implementan tecnologías de gestión adecuadas, siendo la codigestión una estrategia destacable para mejorar su viabilidad.

Bibliografía

- Alengebaw, A., Ran, Y., Osman, A. I., Jin, K., Samer, M., & Ai, P. (2024). Anaerobic digestion of agricultural waste for biogas production and sustainable bioenergy recovery: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 22, 2641–2668. <https://doi.org/10.1007/s10311-024-01789-1>
- Antonio, E., & Aguilera, R. (2017). *Generación de biogás mediante el proceso de digestión anaerobia, a partir del aprovechamiento de sustratos orgánicos*.
- Consejo UE. (2024). *Directiva (UE) 2024/3019 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de noviembre de 2024, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas*. <http://data.europa.eu/eli/dir/2024/3019/ojhttp://data.europa.eu/eli/C/2023/250/oj>
- Contexto ganadero. (2012). El lactosuero y su uso como producto. 09 de Noviembre de 2012. <https://www.contextoganadero.com/blog/el-lactosuero-y-su-uso-como-producto>
- Díaz, M. (2020). *El aprovechamiento del lactosuero para nuevos productos*. Red Estratégica SOSTALIMEN. <https://www.unioviado.es/poloalimentario/el-aprovechamiento-del-lactosuero-para-nuevos-productos/>
- European Union. (2025a). Eurostat: Energy data. https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/explore/all/envir?lang=en&subtheme=nrg.nrg_quant&display=list&sort=category
- European Union. (2025b). Eurostat: Production of cheese. https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/tag00040_custom_16961741/default/bar?lang=en
- FAO. (2019). *Guía teórico-práctica sobre el biogás y los biodigestores*. Colección Documentos Técnicos N° 12. www.fao.org
- Fernández Rodríguez, C., Martínez Torres, E. J., Morán Palao, A., & Gómez Barrios, X. (2016). Processos biológicos de tratamento do soro de leite para a produção de biogas e hidrogénio. Revisão da literatura. *Revista ION*, 29(1), 47-62. <https://doi.org/10.18273/revion.v29n1-2016004>
- García González, M. C., Molinuevo Salces, B., & Riaño, B. (2022). *Proyecto LACTOCyL: alternativas sostenibles para la valorización de lactosuero*. Plataforma Tierra, Grupo Cajamar. <https://www.plataformatierra.es/innovacion/proyecto-lactocyl>
- Hallaji, S. M., Kuroshkarim, M., & Moussavi, S. P. (2019). Enhancing methane production using anaerobic co-digestion of waste activated sludge with combined fruit waste and cheese whey. *BMC Biotechnology*, 19(1), 19. <https://doi.org/10.1186/S12896-019-0513-Y>
- Hannainst. (2024). *Aprovechamiento y revalorización del lactosuero*. HANNA Instruments. <https://www.hannainst.es/blog/1793/aprovechamiento-y-revalorizacion-lactosuero>
- IDAE. (2007). *Biomasa: Digestores anaerobios*. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, Gobierno de España.
- IDAE. (2022). *Hoja de Ruta del Biogás*. Instituto Para La Diversificación y Ahorro de La Energía. <https://www.idae.es/noticias/el-gobierno-aprueba-la-hoja-de-ruta-del-biogas>
- ITACyL. (2023). *La bioeconomía aplicada a la valorización del lactosuero en alimentación, transformación energética y obtención de bioproductos*. Junta de Castilla y León. https://www.itacyl.es/investigacion-e-innovacion/bioeconomia-agroalimentaria/economia-circular/-/asset_publisher/QroKfyOOIZRg/content/lactosuero?_asset_publisher=QroKfyOOIZRg/content/lactosuero?_asset_publisher=QroKfyOOIZRg/content/lactosuero
- Jameel, M. K., Mustafa, M. A., Ahmed, H. S., Mohammed, A. jassim, Ghazy, H., Shakir, M. N., Lawas, A. M., Mohammed, S. khudhur, Idan, A. H., Mahmoud, Z. H., Sayadi, H., & Kianfar, E. (2024). Biogas: Production, properties, applications, economic and challenges: A review. *Results in Chemistry*, 7, 101549. <https://doi.org/10.1016/J.RECHEM.2024.101549>
- Jaya, D., Kumar, P., Kumar Mishra, R., Chinnam, S., Binnal, P., & Dwivedi, N. (2024). A comprehensive study on anaerobic digestion of organic solid waste: A review on configurations, operating parameters, techno-economic analysis and current trends. *Biotechnology Notes*, 5, 33–49. <https://doi.org/10.1016/j.biotno.2024.02.001>
- Kassongo Id, J., Shahsavari, E., & Ball, A. S. (2022). Substrate-to-inoculum ratio drives solid-state anaerobic digestion of unamended grape marc and cheese whey. *Plos One*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0262940>
- Panesar, P., Kennedy, J., Gandhi, D., & Bunko, K. (2007). Bioutilisation of whey for lactic acid production. *Food Chemistry*, 105(1), 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.03.035>
- Secretaría de Estado de Energía. (2022). *Hoja de ruta del biogás*. In *NextGeneration EU*.
- Sharma, P., Sunkesula, V., & Jelen, P. (2022). Standardization of Fat and Protein. *Encyclopedia of Dairy Sciences: Third Edition*, 5, 167–173. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818766-1.00394-9>
- Valoralgae. (2022). Estudio de operación y posibles limitaciones de la digestión en continuo de algas. *Ministerio Para La Transición Ecológica y El Reto Demográfico, Gobierno de España*.

-
- Varnero Moreno, M. T. (2011). *Manual de biogás*. <https://www.fao.org/4/as400s/as400s.pdf>
- Wei, L., Qin, K., Ding, J., Xue, M., Yang, C., Jiang, J., & Zhao, Q. (2019). Optimization of the co-digestion of sewage sludge, maize straw and cow manure: microbial responses and effect of fractional organic characteristics. *Scientific Reports*, 9(1), 2374. <https://doi.org/10.1038/S41598-019-38829-8>
- Zimbardi, F., Scherer, P. A., Arthur, R., Ramos-Suárez, J. L., Álvarez-Méndez, S. J., Tejera, E. P., Ritter, A., & Mata González, J. (2024). Temperature Control Effect on Cheese Whey Anaerobic Digestion with Low-Cost Tubular Digesters. *Processes*. <https://doi.org/10.3390/pr12071452>