



Los gases renovables en la economía circular y en la lucha contra el cambio climático

Xavier Flotats Ripoll

Profesor Emérito de Ingeniería Ambiental. Universidad Politécnica de Cataluña

¿Qué son los gases renovables?

Los gases renovables son los gases combustibles obtenidos de materias primas o fuentes renovables. Agrupa tres tipos de gases:

- ◆ **Biogás**, obtenido mediante el proceso de digestión anaerobia de materiales orgánicos biodegradables, como residuos orgánicos domésticos, lodos de depuradoras o deyecciones ganaderas, entre otros.
- ◆ **Gas de síntesis (syngas)**, obtenido mediante gasificación térmica de biomasa forestal o agrícola.
- ◆ **Hidrógeno (H₂)**, obtenido por métodos biológicos, catalíticos o electroquímicos. El esquema de producción de H₂ a partir de electricidad renovable se denomina P₂G (*power-to-gas*, en inglés), aporta flexibilidad al sistema energético y aumenta la capacidad de almacenamiento y distribución de energía renovable.

El aprovechamiento de los gases producidos a partir de residuos orgánicos, por digestión anaerobia o gasificación, es una forma indirecta de aprovechamiento de la energía solar fijada mediante fotosíntesis en forma de energía química, y el CO₂ generado por su uso es el también fijado por los organismos fotosintéticos. Por ello, estos procesos son clave en el nuevo paradigma de la economía circular y para descarbonizar el sistema energético.

Los tres gases pueden ser depurados, enriquecidos o transformados a un gas rico en metano (CH₄), denominado biometano si se han utilizado métodos biológicos, o metano sintético si se han utilizado métodos fisicoquímicos para su producción o transformación. Este gas producido a partir de los anteriores puede denominarse genéricamente como gas natural renovable (GNR), tiene una composición similar a la del gas natural y, por tanto, es susceptible de ser inyectado en la red de gas para su

transporte, distribución, almacenaje y utilización en los equipos usuales a gas sin ninguna restricción. El hidrógeno también puede ser inyectado a la red, pero con restricciones (ver Figura 1).

La capacidad de almacén de energía del sistema gasista europeo es de 1100 TWh, aproximadamente igual a la energía renovable generada en Europa, 1029 TWh, en 2019. Esta capacidad de almacén, en un contexto de integración de sistemas eléctricos y gasistas, dotaría al sistema energético renovable de flexibilidad y aportaría ahorros económicos respecto un sistema que fuera exclusivamente eléctrico. La capacidad de almacén en España es de 32 TWh, del mismo orden de magnitud que el consumo eléctrico medio anual de unos 6 millones de hogares.

Métodos de producción

La digestión anaerobia consiste en la descomposición microbiana de materia orgánica biodegradable en ausencia de oxígeno. Tiene lugar de forma natural en balsas de purines o en sedimentos orgánicos en zonas pantanosas, por ejemplo. El control del proceso para producir gas para alumbrado puede datarse en la segunda mitad del siglo XIX, y para producir electricidad a principios del siglo XX. El gas, constituido principalmente por CH₄, seguido de CO₂ y trazas de otros compuestos gaseosos, es el resultado de una serie de reacciones, catalizadas por microorga-

Miles de depuradoras en industrias alimentarias de todo el mundo ya utilizan sistemas de depuración anaerobia para procesar sus aguas residuales y recuperar su contenido energético. Este es un primer ejemplo de cómo los sistemas de producción de biogás aprovechan un residuo como recurso, produciendo energía y menos lodos residuales, y contabilizando la protección del medio ambiente como un ingreso o un ahorro

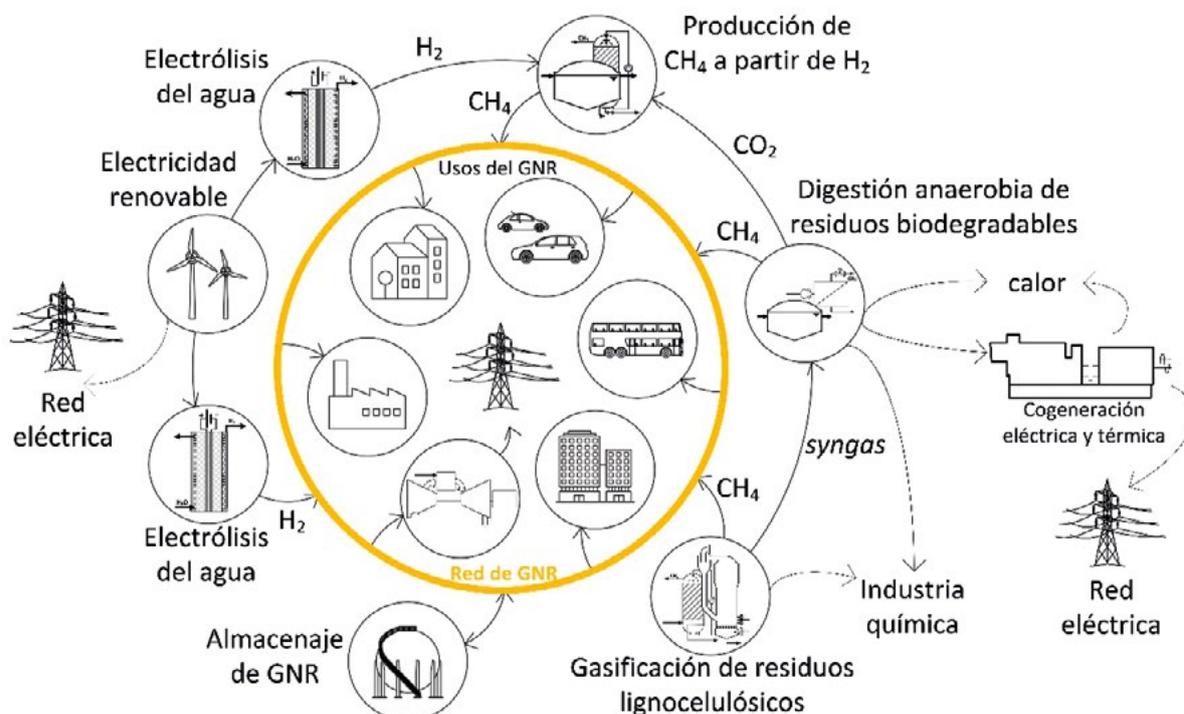


Figura 1:

Esquema de la integración de los gases renovables en una red de gas natural renovable (GNR), y de la integración de sistemas eléctrico y de gas. Fuente: Elaboración propia.

nismos diferentes que actúan de forma sinérgica, por las cuales moléculas orgánicas complejas se transforman a moléculas más simples hasta dar lugar a las formas gaseosas citadas. Estos microorganismos anaerobios tienen una tasa de crecimiento más baja que los aerobios y, por tanto, los tiempos de proceso son más largos, utilizan poca energía química de la contenida en la materia orgánica para su crecimiento, de manera que como resultado se produce poco lodo biológico y mayoritariamente la energía química inicial se recupera en forma de CH_4 , con un rendimiento que depende de la biodegradabilidad.

Esta propiedad es interesante en sistemas de depuración de aguas residuales, como alternativa a los sistemas aerobios. Estos últimos consumen energía para transferir oxígeno y, como resultado, el carbono orgánico de las aguas se transforma en CO_2 y en una masa elevada de lodo biológico, que se debe gestionar, mientras que en los sistemas anaerobios no hay que transferir oxígeno, se produce menos lodo residual y el carbono orgánico se transforma mayoritariamente en CH_4 , una parte del cual sirve para el control de temperatura del proceso. Miles de depuradoras

en industrias alimentarias de todo el mundo ya utilizan sistemas de depuración anaerobia para procesar sus aguas residuales y recuperar su contenido energético. Este es un primer ejemplo de cómo los sistemas de producción de biogás aprovechan un residuo como recurso, produciendo energía y menos lodos residuales, y contabilizando la protección del medio ambiente como un ingreso o un ahorro.

Las deyecciones ganaderas, el subproducto orgánico que se produce en mayor cantidad en casi todos los países, presentan relativa baja biodegradabilidad, por ser productos ya digeridos, y por tanto relativamente baja producción de biogás. Para compensar esta deficiencia y crear instalaciones viables, es usual recurrir a la co-digestión, esto es, a la digestión anaerobia de mezclas con otros subproductos orgánicos con composición complementaria y mayor producción final de CH_4 . Esto permite compartir infraestructuras y unificar metodologías de gestión para diferentes productores, pero requiere planificación y colaboración entre diferentes sectores de actividad, lo cual no resulta siempre fácil. Este es el caso de la granja de cerdos de la Figura 2, con una planta de biogás operati-



Figura 2:

Planta de codigestión anaerobia en granja de cerdos en Vila-sana (Lleida), operativa desde 2007, que cuenta actualmente con una unidad de producción de biometano para uso vehicular en el marco del proyecto Life-Methamorphosis (www.life-methamorphosis.eu). Foto del autor.

va desde 2007 que procesa y gestiona los propios purines y residuos de la industria alimentaria, y que actualmente cuenta con una unidad de transformación del biogás en biometano vehicular.

Controlando el proceso de digestión anaerobia en varias etapas se pueden extraer compuestos intermedios, como hidrógeno y ácidos carboxílicos (acético, propiónico, butírico...), base para la síntesis de moléculas orgánicas más complejas. También es posible producir ácido láctico o polihidroxialcanoatos (PHA), base para la producción de bioplásticos, y finalmente recuperar la energía remanente en forma de CH_4 . La mineralización de la materia orgánica permite recuperar sales amoniacales y/o de fósforo, con baja o nula contaminación por materia orgánica, para su reciclaje sustituyendo fertilizantes químicos.

Existen tecnologías de digestión anaerobia adaptables a prácticamente cualquier materia prima y circunstancia, desde métodos simples para recuperar CH_4 y evitar emisiones de amoníaco a la atmósfera en balsas de purines (Figura 3), hasta plantas depuradoras de alto rendimiento para aguas residuales industriales. En Europa se contabilizaron 18 200 plantas de producción de biogás en 2018, con una producción de energía primaria de 195,4 TWh, una potencia eléctrica instalada de 11,1 GW y una producción eléctrica de 63,5 TWh. De las 483 plantas que en 2018 transformaban el biogás en biometano para su inyección a la red de gas, se pasaron a 729 plantas de biometano en junio de 2020, con una producción de 23 TWh. El grado de implantación de la producción de biogás es desigual, con una producción *per cápita* de energía primaria desde 66 kWh/habitante/año en España hasta 1 MWh/habitante/año en Alemania, con una media de 382 kWh/habitante/año en la Unión Europea en 2018¹. Las diferencias se explican por un diferente grado de implantación de políticas transversales en los ámbitos de la autosuficiencia energética, la lucha contra el cambio climático, la gestión de residuos y el desarrollo territorial.

El proceso de gasificación de biomasa es conocido y aplicado desde inicios del siglo XIX, con primeras patentes que datan de finales del siglo XVIII. Consiste en la oxidación parcial mediante oxígeno, aire y/o vapor, a unos 800 °C, produciendo un gas (gas de síntesis o syngas), compuesto principalmente por H_2 y monóxido de carbono, con concentraciones menores variables de CO_2 , CH_4 , hidrocarburos y humedad, y nitrógeno si se ha utilizado aire. El origen del nombre de este gas es su uso para la síntesis de hidrocarburos líquidos y otros compuestos orgánicos, como CH_4 o alcoholes. Su uso actual más habitual es la producción de energía térmica y eléctrica.



Figura 3:

Balsa de purines antes y después de ser cubierta para evitar emisiones de NH_3 y recuperar CH_4 para su uso energético. Fotos del autor (arriba) y de Agrícola AASA, Chile (abajo).

Los subproductos orgánicos lentamente o no biodegradables son los sustratos ideales para su gasificación, esto es: residuos agrícolas y de jardinería, de cultivos leñosos, residuos forestales, residuos de la industria agroalimentaria constituidos por compuestos lignocelulósicos (cáscaras de almendra u otros frutos secos, por ejemplo) y combustible derivado de residuos (CDR), obtenido de la fracción resto de residuos municipales. El CDR suele contener una cantidad apreciable de plásticos de origen petrolquímico, lo cual le confiere la característica de material no renovable y, por tanto, el gas producido de su gasificación no debe considerarse renovable. Aun así, la gasificación es considerada una tecnología de valorización material de residuos si el syngas se destina a la síntesis de nuevos

compuestos, por lo cual debería ser un proceso a tener en cuenta como alternativa al almacén de la fracción resto en vertederos.

El syngas se puede transformar a CH_4 , mediante procesos fisicoquímicos o mediante procesos biológicos, inyectándolo en un digestor anaerobio ya existente o diseñado a este fin.

El método que permite la producción masiva de H_2 renovable es la electrólisis del agua utilizando electricidad de origen renovable (esquema P2G). La energía eléctrica renovable excedentaria, generada en periodos con baja demanda, presenta el limitante de su acumulación. Su transformación en H_2 mediante electrólisis del agua es una alternativa que permite, o bien la acumulación y uso directo de este gas, o bien su transformación a CH_4 para su inyección a la red de gas.

El H_2 puede ser utilizado en procesos industriales térmicos a alta temperatura, difíciles de cubrir con electricidad renovable, como combustible en transporte pesado y como materia prima para multitud de procesos industriales, como la producción de amoníaco.

Puede inyectarse en la red de gas con ciertas restricciones, para evitar modificaciones sustanciales en la potencia calorífica del gas servido y porque puede causar corrosión en algunos equipos. Con una fuente de CO_2 puede transformarse en CH_4 , para ser inyectado en la red sin ninguna restricción. Un método biológico para transformar H_2 en CH_4 es aprovechar la reacción de metanogénesis de la digestión anaerobia, utilizando el CO_2 separado del biogás para enriquecerlo a biometano, por lo cual es útil abordar proyectos conjuntos para aprovechar esta sinergia.

El potencial energético disponible estimado de los gases renovables en España está comprendido entre 61 y 95 TWh/año, pudiendo llegar a un máximo de 201-228 TWh/año, esto es, de un 25% a un 65% de la demanda actual de gas natural. Estos potenciales energéticos están compuestos aproximadamente de un 35% procedente de biogás de residuos biodegradables, un 42% de gas de síntesis de biomasa forestal y agrícola, y un 23% de hidrógeno producido a partir de excedentes de energía eléctrica renovable.

Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero

En la granja de la Figura 3, con el CH_4 recuperado se ahorran una demanda de 120 t/año de gasoil y 4.620 MWh/año de electricidad, con unas emisiones estimadas por el autor de $-0,73 \text{ kg CO}_2 \text{ eq/kWh}$ de energía ahorrada, aparte del ahorro en las emisiones correspondientes a la fa-

bricación de fertilizantes nitrogenados al haber evitado la pérdida de amoníaco por volatilización. Este valor de emisión negativa (evitada) de gases de efecto invernadero (GEI) ilustra un efecto muy importante de la producción y uso de biogás a partir de deyecciones ganaderas líquidas. Estos subproductos emiten de forma natural CH_4 a la atmosfera (efecto invernadero 25 veces superior al CO_2), con flujos que dependen de las condiciones climatológicas y del método de gestión utilizado en cada explotación, así como amoníaco y otros gases, que respiran los animales si el almacén es en pozos dentro de las mismas naves de cría y engorde. Retirar las deyecciones a la mayor brevedad posible tiene beneficios en la salud animal y en sus índices productivos, y aprovechar el CH_4 , ya sea recuperado o bien optimizando su producción en reactores anaerobios, permite evitar la emisión previa de GEI y ahorrar la emisión correspondiente al combustible fósil que se substituye. Evitar la volatilización de amoníaco en toda la cadena de gestión de las deyecciones también contribuye a la reducción de las emisiones de óxido nitroso (N_2O), gas con un efecto invernadero 298 superior al CO_2 .

Teniendo en cuenta el efecto negativo del transporte para las tecnologías de digestión anaerobia y gasificación, se debería reflexionar sobre la conveniencia de abordar proyectos de pequeña escala, con uso de materias primas locales, e integrados en redes de gran escala como la red de gas, o la eléctrica si es posible el uso eficiente local de la energía térmica de la cogeneración

Intentar producir biogás con purines envejecidos no tiene ningún interés ambiental, energético o económico, porque la mayor parte del CH_4 ya se habrá emitido previamente. Para contribuir efectivamente a la reducción de emisiones GEI en el sector ganadero es necesario un cambio profundo en los sistemas de manejo de las deyecciones y en la visión de estas, para pasar de la apreciación de problema al de oportunidad. También, por ejemplo, para optimizar el aprovechamiento integral de la FORM es prioritaria la participación ciudadana para su separación doméstica.

Sin considerar el transporte de los sustratos y digeridos de la digestión anaerobia, se estiman unas emisiones para deyecciones ganaderas entre -360 y $79 \text{ g CO}_2 \text{ eq/kWh}$ de energía del biometano producido. Este intervalo tan amplio depende de las emisiones del digerido durante su almacenaje y del uso del CH_4 perdido en el proceso. Para cultivos energéticos, utilizando el maíz para las estimaciones, las emisiones están comprendidas entre 108 y $263 \text{ g CO}_2 \text{ eq/kWh}$, valores que dependen de los mismos factores anteriores y de los costes ambientales de la producción del maíz. Para otros biorresiduos las emisiones se estiman entre 50 y $256 \text{ g CO}_2 \text{ eq/kWh}$. Si se compara con las emisiones de la producción de calor a partir de gas natural, los ahorros en emisiones GEI pueden llegar al 238% para deyecciones ganaderas, hasta el 81% para biorresiduos y menos del 58% para cultivos energéticos.

Los valores anteriores son los adoptados por defecto en la Directiva Europea UE-2018/2001, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables. En esta Directiva se indica que los ahorros de GEI respecto de combustibles fósiles han de ser superiores al 80% para instalaciones nuevas a partir de 2021 y del 85% a partir de 2026 para poder acceder a fondos públicos. Para hacer viables algunos proyectos, la Directiva recomienda la co-digestión con deyecciones ganaderas, el único subproducto que puede dar lugar a emisiones GEI negativas.

A diferencia del biogás, existen pocos estudios sobre las emisiones GEI debidas a la producción de gas de síntesis y su transformación a CH_4 a partir de biomasa. Aparte de los factores propios de los procesos de producción del gas, deben considerarse tres grupos de variables: a) preparación y transporte desde el área de producción hasta el de transformación; b) el sumidero de CO_2 que representa mantener los residuos agrícolas y forestales en el suelo, que deja de serlo cuando se retiran para su uso energético; c) el efecto beneficioso que representa una buena gestión de bosques para evitar incendios forestales. Para tener en cuenta el segundo grupo de variables, es necesario adoptar un horizonte temporal largo, con la incertidumbre asociada a los escenarios futuros

a considerar. La variable siguiente en importancia es la distancia de transporte, de manera que las emisiones estimadas utilizando biomasa local, menos de 200 km , son significativamente más favorables. En esta situación, las emisiones para producir GNR pueden estar entre 91 y $123 \text{ g CO}_2 \text{ eq/kWh}$, con un ahorro de emisiones para la producción de calor en el intervalo $53 - 65\%$, cuando se compara con gas natural.

Valores de emisión de referencia para la producción de H_2 a partir de energía eléctrica renovable son del orden de $25 \text{ g CO}_2 \text{ eq/kWh}_{\text{H}_2}$ para energía eólica, $51 - 178 \text{ g CO}_2 \text{ eq/kWh}_{\text{H}_2}$ para energía solar fotovoltaica y alrededor de $50 \text{ g CO}_2 \text{ eq/kWh}_{\text{H}_2}$ para energía hidroeléctrica y termosolar. La gran variación en el caso de energía solar fotovoltaica es debida a las diferencias actuales en la eficiencia de estos equipos. Suponiendo una pérdida de eficiencia del 10% al transformar en biometano e inyección a la red de gas natural, las emisiones anteriores pasarían a $28 - 195 \text{ g CO}_2 \text{ eq/kWh}$, valores que, si se comparan con gas natural y uso para combustión, permitirían un ahorro relativo de emisiones GEI en el intervalo $25 - 89\%$.

Teniendo en cuenta el efecto negativo del transporte para las tecnologías de digestión anaerobia y gasificación, se debería reflexionar sobre la conveniencia de abordar proyectos de pequeña escala, con uso de materias primas locales, e integrados en redes de gran escala como la red de gas, o la eléctrica si es posible el uso eficiente local de la energía térmica de la cogeneración.

Aprovechar estos potenciales implica un ahorro en España de emisiones de GEI comprendido entre $12,3$ y $17,5 \text{ Mt CO}_2 \text{ eq/año}$ o entre $35,9$ y $39,1 \text{ Mt CO}_2 \text{ eq/año}$, para los escenarios de potencial energético disponible o máximo, respectivamente. Los valores de ahorro de emisiones GEI son significativos, si se tiene en cuenta, como referencia, que la absorción de CO_2 por parte de la toda la superficie forestal en España fue de $34,2 \text{ Mt CO}_2 \text{ eq}$ en el año 2017.

Papel de los gases renovables en la economía circular

Aparte de vectores energéticos renovables, estos gases son materias primas para la industria química. Por ejemplo, el hidrógeno es clave para la producción de amoníaco (NH_3), base de la producción de fertilizantes nitrogenados, que actualmente se produce mediante el proceso Haber-Bosch a partir de nitrógeno atmosférico e hidrógeno obtenido por reformado del gas natural. El gas de síntesis es una materia prima para la industria química de síntesis, y la digestión anaerobia permite diversificar su producción, desde compuestos orgánicos para la síntesis de nuevos productos hasta el propio bio-

gás y biometano, aparte que facilita la mineralización y la combinación con procesos de recuperación de nutrientes. En definitiva, los procesos de producción de gases renovables lo son de materiales para su transformación en nuevos bienes y servicios, y deberían contemplarse como prioritarios en la jerarquía de tecnologías de valorización de residuos orgánicos (ver Figura 4).

Los procesos de producción de gases renovables lo son de materiales para su transformación en nuevos bienes y servicios, y deberían contemplarse como prioritarios en la jerarquía de tecnologías de valorización de residuos orgánicos

El objetivo de la economía circular es que el valor de los productos y los recursos se mantengan en la economía durante el mayor tiempo posible. Pasar de una economía lineal a una circular implica una transición durante la cual conviven nuevas tendencias con hábitos antiguos, con paradojas, contradicciones e incertidumbres, por lo cual es importante definir objetivos a corto, medio y largo plazo, y metodología para la revisión continua de los avances. En esta transición se debería cambiar de nomenclatura, objetivos e indicadores de los sistemas de gestión de residuos. Con la visión de la economía circular y las capacidades de procesos como la fermentación, la digestión anaerobia o la gasificación, debería sustituirse el término “tratamiento de residuos”, que se identifica como método para reducir el impacto ambiental, por el de “procesado de recursos”, que se identifica como método para producir un producto final con utilidad y valor económico, adoptando la estrategia tecnológica apropiada para, también, reducir el impacto ambiental. Los indicadores a utilizar también son importantes; así, en lugar

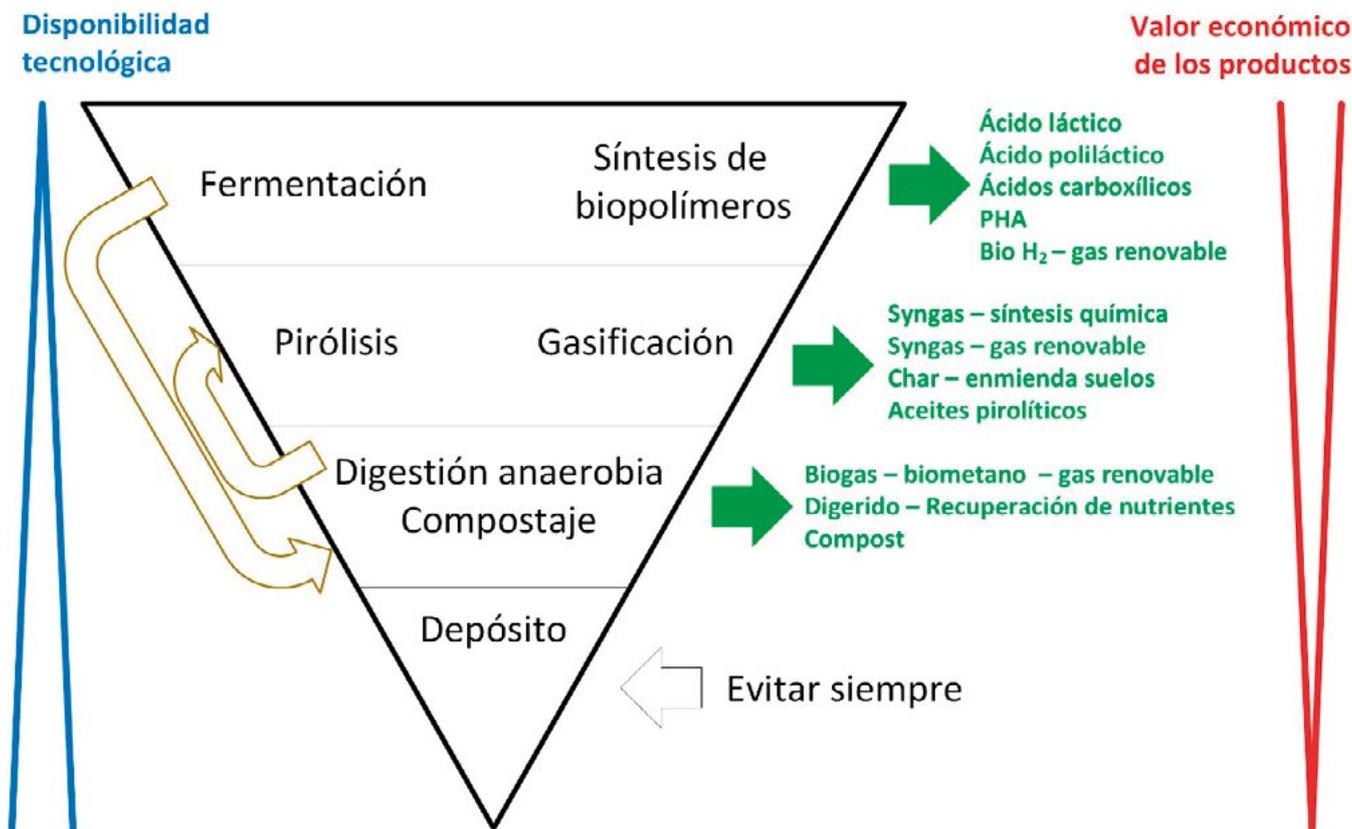


Figura 4: Jerarquía de estrategias tecnológicas para el procesamiento de residuos (recursos) orgánicos. Fuente: Elaboración propia a partir de un esquema de J.R. Bastidas-Oyanedel (SDU, Dinamarca)

de informar sobre las toneladas de residuos tratados, lo importante deberían ser las toneladas ahorradas de petróleo, gas natural o CO₂ emitido, las toneladas de fertilizantes químicos sustituidos, las toneladas de nuevas materias primas producidas, o los GWh de gas o electricidad vertidos a la red correspondiente. Esto significa un cambio en los esquemas de los servicios y concesionarios dedicados a la gestión de residuos, para los cuales los clientes principales deberían ser las empresas y particulares que adquieran sus productos y energía, que siempre reclamaran una calidad mínima.

El período actual es de profunda modificación de muchos esquemas productivos y de consumo, y tanto de los ciclos de los materiales como de la energía. Abordar proyectos de gases renovables focalizando sólo en la energía sería un error, ya que optimizar su contribución a la reducción de emisiones GEI y a la economía circular implica muchos sectores de actividad (ver Figura 5), con lenguajes e intereses diferentes, que deben actuar de forma coordinada, actualizando sus objetivos y métodos, planificando políticas y actuaciones transversales, analizando los problemas de forma integral y adoptando soluciones integradas. Los gases renovables, y los procesos que los producen, tienen vocación de contribuir a este cambio de paradigma social y económico.

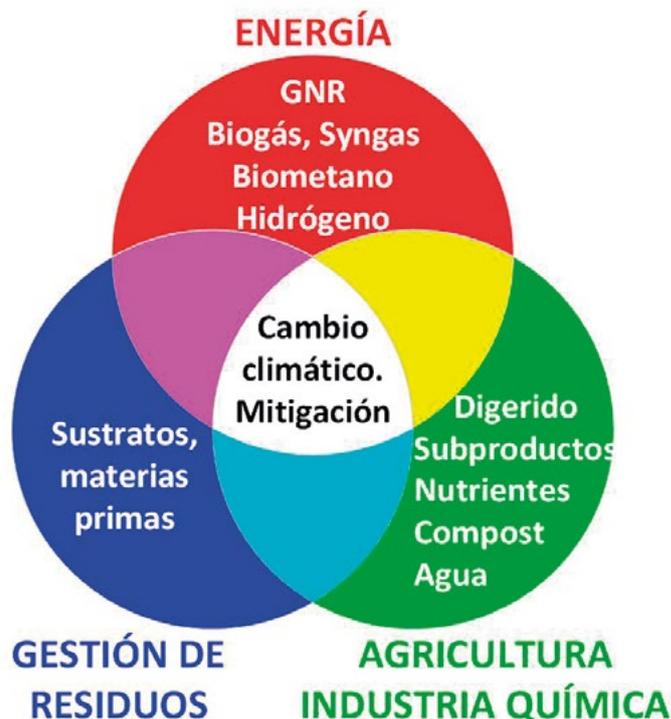


Figura 5: Visión multidimensional de los procesos relativos a los gases renovables. Fuente: elaboración propia.

Con la visión de la economía circular y las capacidades de procesos como la fermentación, la digestión anaerobia o la gasificación, debería sustituirse el término “tratamiento de residuos”, que se identifica como método para reducir el impacto ambiental, por el de “procesado de recursos”, que se identifica como método para producir un producto final con utilidad y valor económico, adoptando la estrategia tecnológica apropiada para, también, reducir el impacto ambiental

Referencias:

Los conceptos y valores numéricos expuestos en este artículo se desarrollan en el libro “Feliu, A., Flotats, X. (2019). [Los gases renovables. Un vector energético emergente](#). Publicaciones de la Fundación Naturgy, Madrid, 290 pp.”

¹ Flotats, X. (2020). [Los gases renovables: un vector energético olvidado en España](#). The Conversation, 20 julio 2020.