

## CAMBIO DE PARADIGMA: RESIDUOS ORGÁNICOS COMO MATERIA PRIMA PARA CONSOLIDAR EL EJE AGUA-ENERGÍA-AMBIENTE-SEGURIDAD ALIMENTARIA

MARISOL PÉREZ RANGEL,  
IVÁN MORENO ANDRADE

Los problemas ambientales globales como la emisión de gases de efecto invernadero, la disminución de combustibles fósiles, el consumo excesivo de recursos y la generación excesiva de residuos requieren del desarrollo e implementación de estrategias que permitan mitigarlos de manera sustentable. Esto impacta en el eje Agua-Energía-Ambiente-Seguridad Alimentaria, donde los residuos orgánicos, considerados originalmente como un problema ambiental, podrían tener un papel importante al considerar futuras soluciones a dichos problemas sin comprometer la disponibilidad de alimentos en futuras generaciones. Una solución atractiva, consiste en aprovechar los residuos orgánicos como materia prima en procesos que permitan su conversión en energía renovable (biocombustibles), productos de valor agregado (bioplásticos, ácidos orgánicos, biofertilizantes, enzimas y proteína celular) y productos químicos especiales (flavonoides, fragancias,

antioxidantes y adhesivos), los cuales podrían ser potencialmente utilizados en el sector industrial, transporte, residencial y agropecuario (Figura 1).

La producción mundial de residuos sólidos asciende a 11 billones de toneladas anuales y se estima que dicha cantidad se duplique para 2025<sup>1</sup>. En dicha producción, alrededor de la mitad está compuesta por residuos orgánicos, lo que representa una gran cantidad de recurso o materia prima disponible para su utilización. Entre los residuos orgánicos con mayor potencial debido a su alta tasa de generación son la fracción orgánica de los residuos sólidos municipales (FORSU), los residuos agrícolas y los residuos industriales. La generación de FORSU es cercana a un billón de toneladas anuales, entre ellos, predominan residuos de comida, residuos de poda de jardín, papel y otros residuos orgánicos como los provenientes de plantas de tratamiento de agua residual. Por otro lado, la generación de residuos agrícolas es de aproximadamente 998 millones de toneladas anuales; entre estos materiales, se encuentran los residuos del crecimiento y procesamiento de frutas, vegetales, carne, aves de corral, productos lácteos y cultivos (paja de cereales). Mientras la generación de residuos orgánicos industriales es de 250 millones de toneladas anuales, estando compuestos principalmente por cáscaras de frutas y verduras, bagazos y aguas residuales industriales ricas en materia orgánica. En su mayoría, dichos residuos provienen de industrias para el procesamiento de alimentos y bebidas.

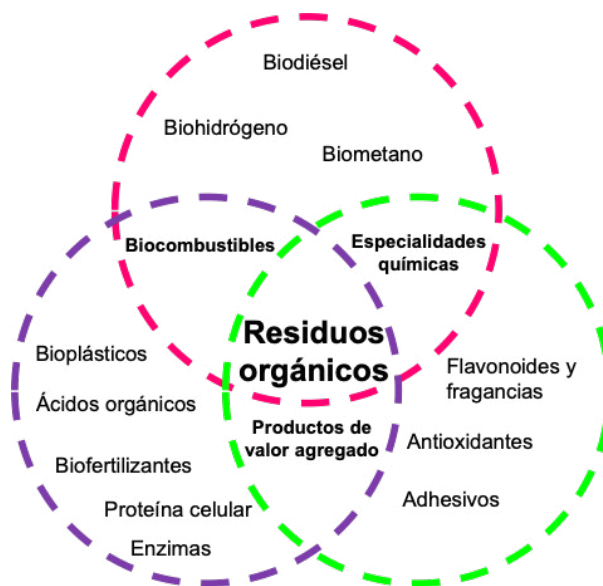


Figura 1. Bioconversión de residuos orgánicos y sus productos<sup>2</sup>.

## Valorización de residuos orgánicos mediante procesos biológicos

Dependiendo de su contenido de carbohidratos, lípidos y proteínas, los residuos orgánicos pueden ser convertidos en determinados biocombustibles y productos de valor agregado a través de diversos procesos fisicoquímicos y biológicos (Figura 2). De manera particular, los procesos biológicos son muy atractivos debido a que permiten la utilización de una amplia variedad de residuos ricos en carbohidratos. Además, permiten maximizar la valorización de los residuos orgánicos, pues a partir de un mismo residuo se puede obtener más de un biocombustible y más de un producto de valor agregado. Enseguida, se describen algunos de los biocombustibles y productos de valor agregado que se pueden obtener a partir de los residuos sólidos orgánicos, los residuos industriales y los residuos agrícolas, los cuales, como ya se mencionó, son los residuos más abundantes.

Los residuos ricos en carbohidratos y polímeros complejos (hemicelulosa, celulosa y lignina) como las pajas de cereales, bagazos y los residuos sólidos orgánicos pueden ser utilizados para llevar a cabo procesos de fermentación oscura y digestión anaerobia, en los cuales, se obtienen biocombustibles como el biohidrógeno y biometano. De manera inherente, en procesos conocidos como fermentación oscura, los residuos ricos en carbohidratos complejos pueden generar enzimas lignocelulolíticas, las cuales tienen potencial de ser aprovechadas en otras

áreas. Además, en dicho proceso se producen corrientes líquidas ricas en ácidos orgánicos y corrientes sólidas ricas en fibras de celulosa, los cuales, a su vez pueden ser utilizados como materia prima para llevar a cabo una fermentación aceto-butírica de la cual se obtendrán como productos solventes (acetona, etanol y butanol). Así mismo, las fibras de celulosa pueden ser utilizadas para la producción de nanomateriales de alto valor en el mercado y muy versátiles en procesos industriales (nanoesferas, nanohojas y nanofibras de celulosa y lignina)<sup>3</sup>. Por otro lado, los residuos orgánicos y la corriente líquida rica en ácidos orgánicos generada en la fermentación oscura pueden ser utilizados para producir biometano mediante digestión anaerobia. En dicho proceso, se pueden obtener de manera adicional probióticos, mejoradores de suelo y biofertilizantes.

Los residuos ricos en carbohidratos simples y proteínas como las aguas residuales municipales y aguas residuales industriales (lías vitivinícolas, vinazas tequileras y suero de leche) se pueden utilizar como sustrato para el crecimiento de microorganismos a partir de los cuales se podrá obtener bioplásticos, enzimas, proteína y biomasa celular. A su vez, la biomasa celular (como la microalgal) puede ser utilizada como materia prima para la producción de biocombustibles como el biohidrógeno y biometano. Cuando se utilizan residuos orgánicos ricos en carbohidratos complejos para el crecimiento de microorganismos, las fibras residuales también pueden utilizarse para la producción de nanomateriales (nanopartículas antibacterianas, antifúngicas y antioxidantes).



Muestreo de la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos que se han trabajado en el Instituto de Ingeniería

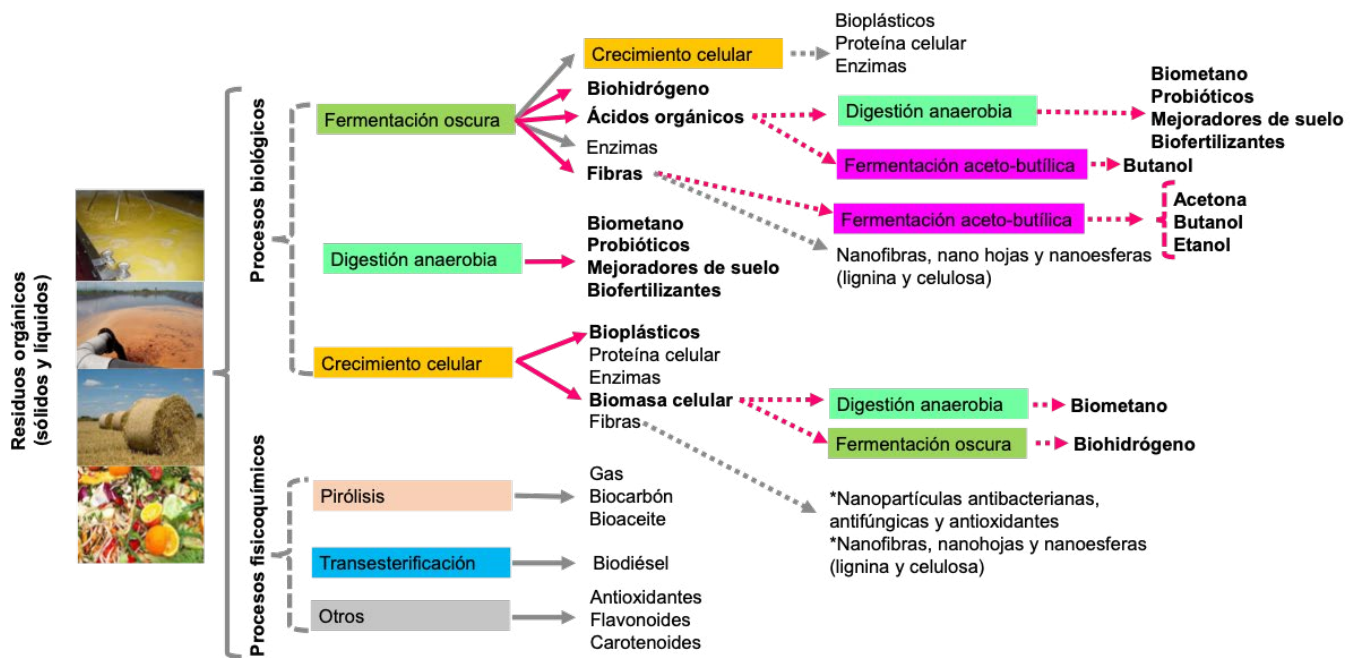


Figura 2. Procesos para la conversión de residuos orgánicos en biocombustibles y productos de valor agregado

### Valorización de residuos orgánicos mediante procesos fisicoquímicos

Entre los procesos utilizados para incrementar la valorización de los residuos orgánicos se encuentra la pirólisis y la transesterificación<sup>1</sup>. En la pirólisis, los residuos orgánicos son incinerados a elevadas temperaturas obteniéndose como productos gas, bioaceite y biocarbón. En la transesterificación, se lleva a cabo una reacción química donde los lípidos son convertidos en biodiésel. Además de los procesos mencionados, existen otros procesos que incluyen métodos de extracción directa con diversos compuestos químicos donde se puede obtener antioxidantes, flavonoides, fragancias, entre otros compuestos de interés industrial.

La implementación de distintos procesos biológicos y físico-químicos en un tren de tratamiento, hace posible no sólo eliminación de los residuos, erradicando este problema ambiental, sino que es posible obtener el planteamiento de biorrefinerías donde los procesos de conversión de residuos orgánicos produzcan combustibles, energía y productos químicos de manera factible, económica y tecnológica.

### Propuesta de un grupo interdisciplinario de investigación

En el Instituto de Ingeniería ya se trabaja en la valorización de diversos residuos orgánicos obteniendo biocombustibles y productos de valor agregado (líneas rosas en Figura 2).

Sin embargo, existe un gran potencial si se interactúa con otras dependencias de nuestra universidad, en particular, con investigadores de áreas complementarias como en energías renovables, la química o incluso en el análisis especializado para la caracterización de residuos. En este sentido, gracias a la convocatoria realizada por el II-UNAM, con el propósito de potenciar y aprovechar la capacidad y la diversidad académica de nuestra universidad, para identificar y generar soluciones sustentables e innovadoras a los retos de la ingeniería, se propondrá la integración de un grupo interdisciplinario de investigación (GII) con académicos de nuestra universidad incluidos del Instituto de Ingeniería (Coordinaciones de Ingeniería Ambiental, Eléctrica y Computación, Mecánica y Energía, y de las Unidades Académicas Juriquilla y Sisal), del Instituto de Energías Renovables, ENES-Juriquilla, Instituto de Física, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología y de la Facultad de Química, para proponer un proyecto de investigación con el objetivo de desarrollar una estrategia multidisciplinaria que equilibre los nexos agua-energía-ambiente-seguridad alimentaria mediante la valorización de sus residuos, mejorando la competitividad y sustentabilidad de distintos sectores como el agroalimentario. |

### Referencias

1. Six *et al.*, 2016. *Biotransformation of agricultural waste and by-products*: 287-307.
2. Yukesh Kannah *et al.*, 2020. *Bioresource Technology Reports*, 11: 100524.
3. Lizundia *et al.*, 2022. *Green Chemistry*, 24: 5429