

Pirólisis una opción para la obtención de combustibles renovable



Dr. Carlos Omar Gonzalez Moran

Dr. Hector Herrera Hernandez

Centro Universitario UAEM

Dra. Gemima Lara Hernandez

Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico de Orizaba

Dr. Jose de Jesus Agustin Flores Cuautle

CONAHCYT-Instituto Tecnológico de Orizaba

larag_139@hotmail.com

El rápido crecimiento de la economía, sumado a las crecientes demandas de la población, ejerce una gran presión sobre la producción industrial. Uno de los factores clave para la industria es el consumo de energía. Para cumplir con los objetivos de crecimiento, la demanda de energía por parte de las industrias ha aumentado considerablemente en los últimos años. Un ejemplo de ello es el incremento en la producción de petróleo, que pasó de aproximadamente 83 millones de barriles diarios en 2010 a 96 millones de barriles diarios en 2023 [1].

Tradicionalmente, la producción de energía en las industrias se ha basado en combustibles fósiles. Sin embargo, en años recientes, la conciencia ambiental y las políticas internacionales han impulsado la búsqueda de fuentes alternativas de energía que sean menos contaminantes y renovables. En 2020, por ejemplo, el uso directo de energías renovables en la industria fue cercano al 9% [2].

Una manera de contribuir a la generación de energía de forma sostenible es aprovechar la biomasa, que es el material orgánico generado

como desecho en diversos procesos industriales y que suele acabar en vertederos. En este contexto, la pirólisis se presenta como una opción viable para tratar la biomasa y, al mismo tiempo, generar energía.

En general, los combustibles que usamos provienen de fuentes fósiles, lo que los convierte en no renovables. Por otro lado, los materiales vegetales pueden ser quemados para producir energía, algo que se ha hecho durante siglos. Recientemente, se ha popularizado el uso de alcoholes y aceites de origen vegetal como combustibles, conocidos como combustibles renovables o “verdes” debido a que su materia prima puede ser cultivada.

En los últimos años ha surgido una tercera opción: la pirólisis, un proceso termoquímico que convierte desechos orgánicos en carbón, aceite y gas, los cuales pueden ser utilizados como combustibles renovables. Este artículo explica el proceso de pirólisis y presenta algunos ejemplos de su aplicación, en combinación con diésel.

Definición de pirólisis

La pirólisis es un proceso termoquímico en el que la materia orgánica se descompone en ausencia de oxígeno y bajo altas temperaturas. Cuando se utiliza biomasa (material vegetal o animal) en este proceso, los componentes lignocelulósicos (fibra vegetal) se descomponen en moléculas más simples [3]. El equipo donde se realiza la pirólisis se llama reactor pirolítico. Los principales productos de este proceso son carbón, aceite y gas, y se les suele añadir el prefijo “bio-” para distinguirlos de los obtenidos directamente de combustibles fósiles.

Las condiciones de operación, como la tasa

de calentamiento, la temperatura final, la presión dentro del reactor, y la presencia o ausencia de catalizadores [4], determinan la naturaleza y composición de los productos obtenidos.

La pirólisis puede ser lenta o rápida [5], dependiendo de la velocidad de calentamiento. En la pirólisis lenta, el proceso toma de horas a días y se alcanzan temperaturas entre 400 y 600°C, produciendo principalmente biochar (bio carbón). En la pirólisis rápida, la tasa de calentamiento es mucho mayor (de 10 a 1000 °C/min) y se llega a temperaturas de hasta 1000°C, obteniendo bioaceite como producto principal.

Tipos de biomasa empleados

Una de las principales ventajas de la pirólisis es que se puede utilizar una gran variedad de biomasa. La biomasa puede clasificarse en tres generaciones (Figura 1):

1. Primera generación: proviene de cultivos destinados a la alimentación, como maíz, caña de azúcar, arroz, jitomate y naranja, entre otros.
2. Segunda generación: proviene de residuos agrícolas o agroindustriales, como el bagazo de caña, cáscara de coco, paja de trigo, paja de avena y estiércol animal [6].
3. Tercera generación: proviene de algas: Los combustibles obtenidos de estas biomásas también se clasifican en primera, segunda o tercera generación, según su origen: residuos agrícolas (caña, maíz, arroz), residuos forestales (madera, ramas, hojas), residuos municipales (comida, papel, cartón) y otros residuos como algas o residuos industriales.

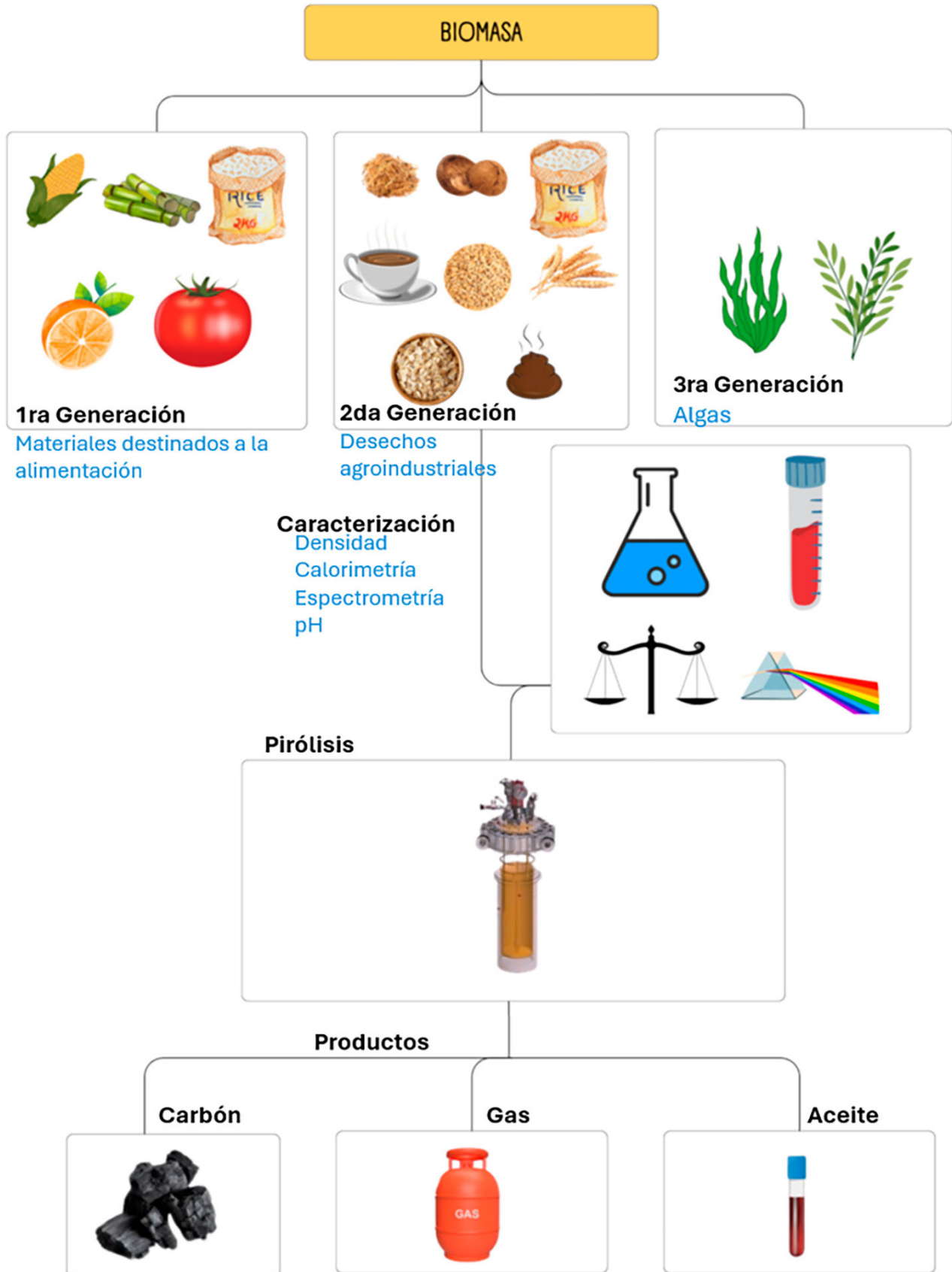


Figura 1. Generaciones de la biomasa.

Productos de la pirólisis

Los productos obtenidos como resultado de la pirólisis incluyen compuestos orgánicos sólidos, gases no condensables y bioaceite. La selección de la biomasa adecuada para este proceso depende de varios factores, como el origen de la biomasa, su composición química, el contenido de humedad y el tamaño de las partículas. Estas propiedades fisicoquímicas influyen en las condiciones experimentales necesarias para obtener los mejores resultados.

Por ejemplo, en la biomasa con un alto contenido de hemicelulosa (un componente de las paredes celulares de las plantas), la descomposición comienza a temperaturas entre 250 y 300°C. En contraste, la lignina (otro componente de las plantas, especialmente en maderas) se descompone a temperaturas más altas, entre 300 y 550°C. Por lo tanto, las muestras con un alto contenido de lignina requieren temperaturas más elevadas para su descomposición [7]. La pirólisis rápida favorece la producción de gases no condensables, lo que significa que, al aplicar altas tasas de calentamiento, se genera una mayor cantidad de gas de pirólisis. Por otro lado, temperaturas entre 500 y 600°C promueven la obtención de bioaceite. Cabe destacar que estos rangos de temperatura son aproximados y pueden variar según el tipo de materia orgánica que se utilice en el reactor.

Finalmente, cuando se emplean materiales de alta densidad, como maderas duras o residuos con un alto contenido de lignina, se obtiene una mayor cantidad de biochar.

Bioaceite

El bioaceite es una mezcla de ácidos grasos y agua. A pesar de su nombre, este tipo de aceite no se utiliza comúnmente en aplicaciones de lubricación, sino que su uso principal es como combustible o como precursor de otras moléculas de interés industrial. Para ello, el bioaceite requiere un proceso de refinación o modificación. Se usa el término “bioaceite” para diferenciar este tipo de aceite de aquellos que provienen del petróleo.

Es importante destacar que el bioaceite resultante de la pirólisis contiene un alto porcentaje de agua, que varía entre el 40% y el 60% [8]. Debido a esto, el bioaceite generalmente debe someterse a un proceso adicional antes de poder ser utilizado como combustible. El poder calorífico (cantidad de energía que puede liberar) del bioaceite depende en gran medida de la biomasa utilizada como materia prima, así como de las condiciones experimentales, en particular, de los rangos de temperatura a los que ha sido sometido durante su producción.

Entre los principales compuestos presentes en el bioaceite se encuentran el pentano, el tolueno, el éter dietílico y el metanol, especialmente cuando la biomasa utilizada proviene de palma o tapioca (yuca). No obstante, debido a la complejidad de la mezcla de estas moléculas orgánicas, existe un gran interés en desarrollar nuevas metodologías que permitan una identificación más precisa de los compuestos obtenidos.

Biochar

El biochar es la fracción sólida que se produce durante la pirólisis, y está compuesto principalmente de cenizas y carbón. Este subproducto tiene un poder calorífico similar al del carbón mineral, lo cual es lógico, ya que el carbono es su principal componente químico. Además del carbono, el biochar contiene otros elementos como nitrógeno y azufre. Gracias a su alta porosidad, el biochar tiene aplicaciones útiles, como en la filtración de agua y la mejora del suelo, ya que ayuda a retener agua y nutrientes.

Gas pirolítico

El gas pirolítico es el gas generado durante la pirólisis a partir de la volatilización de la materia orgánica. Este gas está compuesto principalmente por hidrógeno, metano, monóxido de carbono y dióxido de carbono. La proporción de estos gases varía dependiendo de las condiciones experimentales y del tipo de materia prima utilizada. Para utilizar este gas como combustible, es necesario separar el monóxido y dióxido de carbono, ya que estos son productos de la combustión y no combustibles. Sin embargo, un proceso adicional llamado reformado catalítico permite aprovechar el monóxido y el dióxido de carbono para la producción de productos de alto valor.

Aplicaciones prácticas

Un ejemplo práctico del uso del bioaceite como combustible fue presentado por Divyansh y Abhishek, quienes utilizaron aceite de cocina usado, junto con residuos de bolsas plásticas, para producir un aceite que luego mezclaron con diésel en porcentajes del 10% al 30% en relación con el diésel [9]. Una de las desventajas de

este trabajo fue que el costo del aceite de cocina usado y su posterior procesamiento resultó ser entre un 25% y 30% mayor al costo del diésel comercialmente disponible.

Un uso similar del aceite pirolítico fue reportado por Unal y Rahman [10], quienes emplearon cáscaras de nueces y avellanas junto con residuos plásticos para obtener un bioaceite. Después de un proceso de refinación, este bioaceite se combinó con diésel y se utilizó para alimentar un motor diésel. Los resultados indicaron que es posible usar el bioaceite de cáscaras de nuez y avellana en bajas concentraciones (10%) para hacer funcionar el motor. Sin embargo, en concentraciones más altas (30%), el rendimiento del motor disminuyó y las emisiones contaminantes aumentaron.

Por otro lado, Hui y colaboradores [11] informaron sobre el uso de residuos de madera para producir bioaceite, carbón y biogás. En este estudio, el carbón obtenido se utilizó con éxito para eliminar residuos de colorantes en aguas residuales.

Observaciones finales

A pesar de los beneficios aparentes de la pirólisis en la búsqueda de materiales sustentables y la revalorización de residuos, el impacto ambiental global de estas técnicas aún está en debate.

El proceso de pirólisis requiere una inversión inicial elevada, ya que implica trabajar con altas temperaturas, mantener una estabilidad

térmica en las materias primas y escalar las investigaciones científicas a nivel industrial. Estos factores encarecen su aplicación industrial debido a la complejidad de los equipos necesarios.

Aunque es cierto que estas técnicas permiten dar un segundo uso a los desechos orgánicos, también es verdad que ese aprovechamiento requiere métodos que consumen mucha energía. Las altas temperaturas necesarias para el proceso, junto con la eficiencia energética, son puntos clave en la discusión sobre su viabilidad desde el punto de vista del consumo energético.

Además, la biomasa utilizada como material de partida es generalmente un desecho de otros procesos, lo que genera una alta variabilidad en sus propiedades físicas y químicas. Esta variabilidad complica el control del proceso y la obtención de productos con características uniformes.

Por último, aunque la pirólisis está diseñada para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en comparación con la combustión directa de biomasa, sigue habiendo emisiones de compuestos volátiles y partículas finas. Además, este proceso no elimina por completo la generación de residuos sólidos, por lo que la disposición final de estos residuos sigue siendo un tema pendiente. Por lo tanto, además de los estudios técnicos, es necesario desarrollar análisis económicos, estudios de ciclo de vida y evaluaciones sociales que permitan hacer viable esta tecnología.

Referencias

1. Energy Institute, Statistical review of world energy. 2024, Energy Institute. <https://www.energyinst.org/statistical-review>
2. REN21, Renewables 2023 Global Status Report Collection. 2023. <https://www.ren21.net/gsr-2023/>
3. Li, P, et al., Bio-oil from biomass fast pyrolysis: Yields, related properties and energy consumption analysis of the pyrolysis system. *Journal of Cleaner Production*, 2021. 328: p. 129613. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129613>
4. Stelmach, S., et al., Evaluation of Bio-Oils in Terms of Fuel Properties. *Processes*, 2023. 11 (12): p. 3317. <https://doi.org/10.3390/pr11123317>
5. Kintek. What Is The Difference Between Slow And Fast Pyrolysis. 2024 2027/06/26 2027/07/03]; Available from: <https://kindle-tech.com/faqs/what-is-the-difference-between-slow-and-fast-pyrolysis>.
6. Marín-Valencia, P.A., et al., The integral use of aromatic plants: prefeasibility comparison of stand-alone and biorefinery processes using thyme (*Thymus vulgaris*) as base case. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 2021. 11: p. 681-691. <https://doi.org/10.1007/s13399-020-00734-w>
7. Madhu, P, C. Sowmya Dhanalakshmi, and M. Mathew, Multi-criteria decision-making in the selection of a suitable biomass material for maximum bio-oil yield during pyrolysis. *Fuel*, 2020. 277: p. 118109. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.118109>
8. Weerachanchai, P, C. Tangsathitkulchai, and M. Tangsathitkulchai, Fuel Properties and Chemical Compositions of Bio-Oils from Biomass Pyrolysis. 2007, SAE International. <https://doi.org/10.4271/2007-01-2024>
9. Singh, D. and A. Paul, Energy, exergy, emission, exergoeconomic, enviroeconomic, and sustainability analysis of diesel engine, fueled by waste cooking oil and waste polyethylene co-pyrolysis oil-diesel blends. *Journal of Cleaner Production*, 2023. 426: p. 139186. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.139186>
10. Eraslan, U. and R. Calhan, Investigation of the performance and emissions of a diesel engine fuelled with bio-oil generated through microwave-assisted pyrolysis of a blend of hazelnut, walnut, and polyethylene terephthalate waste. *Industrial Crops and Products*, 2024. 214: p. 118560. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.118560>
11. Guo, H., et al., Production of high-quality pyrolysis product by microwave-assisted catalytic pyrolysis of wood waste and application of biochar. *Arabian Journal of Chemistry*, 2023. 16(8): p. 104961. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2023.104961>