

Universidad de Guanajuato

División de Ingenierías



Verano de la Ciencia UG 2021

Avance de proyecto: Caso de estudio biogás

Nombre:

Eloisa Vargas Martinez

NUA:

192412

Investigador:

Alma Hortensia Serafín Muñoz

**Propuestas de Tecnologías de Innovación para Ciudades
Sustentables: Más allá del COVID-19**

16/Julio/2021

Caso de estudio biogás

Introducción

En los últimos 10 años, se ha visto un aumento considerable en la temperatura sobre del planeta, esto debido al cambio climático ocasionado, por ejemplo, por la quema de combustibles fósiles, los cuáles emiten a la atmósfera gases de efecto invernadero que provocan que la radiación solar quede confinada dentro de la capa de ozono. Además, a este factor se suma el incontrolable vertido de residuos en los rellenos sanitarios, muchos de ellos clandestinos, los cuáles, al estar mal administrados, aumentan los riesgos y casos de quema de basura, así como la descomposición de esta, emitiendo a la atmósfera gases como el metano. Este último punto es el que se tratará en esta sección, debido al alto volumen de generación de residuos sólidos urbanos de origen orgánico. Con base en el reporte del Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de Residuos (SEMARNAT, 2020), el 46.42% de los residuos generados en México son clasificados como orgánicos, lo que quiere decir que diariamente se vierten 2,062 toneladas de este tipo de residuos a los rellenos sanitarios, cuya descomposición aumenta los niveles de metano en la atmósfera, un gas que posee la capacidad de calentar 25 veces más el planeta por acción del efecto invernadero que el dióxido de carbono (Solomon et al., 2007). Un problema que se ha agravado con el paso del tiempo, agregando, además, la infiltración de lixiviados al suelo debido al alto contenido de humedad de estos desechos. A nivel mundial, se estima que se producen 1300 millones de toneladas de residuos sólidos urbanos (RSU) al año (Al Seadi et al., 2013; Hoornweg & Bhada-Tata, 2012), de los cuales un 50% es orgánico. Por esta razón, el darles un correcto tratamiento o, mejor aún, una valorización, disminuiría considerablemente su impacto negativo sobre el ambiente.

Se consideran residuos de origen orgánico a los restos de poda de jardines, residuos agrícolas, restos de frutas, verduras, madera y todo aquel material que pueda ser metabolizado por procesos biológicos (Flores, 2001). Una definición más concreta sobre los residuos sólidos orgánicos la da la Unión Europea, que considera que estos son una mezcla de residuos de jardines, parques y cocinas (Palmisano & Barlaz, 1996). Al ser los residuos de mayor volumen generado, se han propuesto diferentes soluciones para tratar de disminuir su impacto e impedir que lleguen a los rellenos sanitarios, una de estas soluciones es el tratamiento en reactores biológicos para la producción de biogás o biometano.

El biogás, un combustible alternativo.

En términos simples, el biogás es un gas residual que se genera de la degradación biológica de desechos orgánicos como plantas, restos de cultivos, estiércol de animales, lodos de plantas de tratamiento de aguas, etc. Esta degradación es llevada a cabo por microorganismos confinados en un tanque o reactor, herméticamente cerrado para favorecer las condiciones anaerobias. El uso del biogás como combustible se ha extendido a lo largo del mundo, tan solo en India se tenían reportadas más de 100,000 plantas productoras de este gas y cerca de 30,000 plantas en Corea (Mattocks, 1984). Sin embargo, China es el país que más ha invertido en la producción de este combustible alternativo (Perez Rosales, 2006).

El biogás se clasifica dentro de los combustibles que utilizan biomasa para la producción de energía (Perez Rosales, 2006), siendo los residuos sólidos urbanos (de origen orgánico) el tipo de biomasa que se analizara en este caso. El metano (CH_4) y el dióxido de carbono (CO_2), son los constituyentes principales del biogás, sin embargo, también se pueden presentar en cantidades traza gases como el ácido sulfhídrico (H_2S) y el amoníaco (NH_3), mismos que son responsables del olor desagradable de la descomposición de la materia orgánica (Perez Rosales, 2006).

Para la producción de biogás, es indispensable considerar la composición de la biomasa a utilizar, en el caso de los RSU sus características son muy variables, ya que hay que tomar en cuenta el país en el que se recolectarán los mismos, el estilo de vida de la población, la forma de recolección, si se ha separado del resto de los residuos urbanos, si se recuperan directo de la fuente de generación o de un relleno sanitario, entre otros factores (Blanco et al., 2017). En un estudio de recopilación bibliográfica realizado por (Campuzano & Gonzalez-Martinez, 2016), compilaron en una tabla las principales características de los residuos orgánicos de 22 diferentes países (incluido México), para comparar la variación de las características de los RSU debido a los factores descritos con anterioridad y evaluar la cantidad obtenida de metano.

| Country | City | pH | Humidity (%) | TS (%) | VS (%) | VS/TS (%) | KN (g/kg) | TP (g/kg) | Methane (NL/kgVS) | Reactor type | Fermentation | Temperature | Reference |
|-------------------|------------------|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----------|-----------|--------------------------------------|---------------|--------------|--------------|---|
| Australia | Brisbane | - | 70.6 | 29.4 | 22.7 | 77.1 | 8.6 | - | - | - | - | - | Hla and Roberts (2015) |
| Belgium | Gent | - | 74.5 | 25.5 | 24.0 | 94.0 | 11.9 | 0.7 | 319 | Semi | Wet | Meso | Vrieze et al. (2013) |
| China | Shanghai Canton | 4.7 5.3 | 78.8 81.6 | 21.2 18.4 | 19.7 11.3 | 92.8 61.6 | - 4.2 | - 0.4 | 465 ^a 314 ^a | Semi Batch | Dry Dry | Meso Meso | Dai et al. (2013) Dong et al. (2010) |
| Colombia | Bucaramanga | - | 84.0 | 16.0 | 15.1 | 94.4 | 7.7 | 2.2 | 297 ^a | Semi | Dry | Meso | Castillo et al. (2006) |
| Czech Republic | Prague | 5.95 | 67.5 | 32.5 | 23.1 | 71.0 | 4.5 | 0.7 | - | - | - | - | Hanc et al. (2011) |
| Denmark | Lynby | - | 84.0 | 16.0 | 14.9 | 93.4 | 5.2 | - | 579 | Batch | Wet | Meso | Fitamo et al. (2016) |
| | Copenhagen | - | 72.0 | 28.0 | 24.4 | 87.0 | 7.0 | 1.7 | 500 | Batch | BMP | Thermo | Davidsson et al. (2007) |
| | Vejle | - | 70.0 | 30.0 | 24.0 | 80.0 | 6.9 | 1.5 | 515 | Batch | BMP | Thermo | |
| | Kolding | - | 67.0 | 33.0 | 26.4 | 82.0 | 7.9 | 1.7 | 573 | Batch | BMP | Thermo | |
| | Aalborg | - | 70.0 | 29.4 | 25.2 | 85.6 | - | 1.5 | 485 | Batch | BMP | Thermo | Hansen et al. (2007a) |
| | Kolding | - | 68.3 | 31.7 | 26.4 | 83.4 | - | 1.6 | 468 | Batch | BMP | Thermo | |
| | Grindsted | - | 64.4 | 35.6 | 30.7 | 86.2 | 6.3 | - | 373 | Batch | BMP | Thermo | Hartmann and Ahning (2005) |
| | Gistrup | 4.6 | 70.0 | 30.0 | 24.4 | 81.0 | 6.5 | - | 580 ^a | Batch | Wet | Thermo | Angelidaki et al. (2006) |
| Finland | Forssa | 5.3 | 73.0 | 27.0 | 24.9 | 92.3 | 6.5 | 0.7 | - | - | - | - | VALORGAS (2010) |
| France | Rennes | 5.3 | 78.7 | 21.3 | 17.5 | 82.1 | 4.5 | - | - | - | - | - | Adhikari et al. (2013) |
| Germany | Karlsruhe | 5.1 | 74.5 | 25.5 | 22.5 | 88.2 | 7.8 | - | 528 ^a | Batch | Wet | Meso | Nayono et al. (2009) |
| Greece | Xanthi | - | 53.7 | 46.3 | 34.9 | 75.3 | 6.9 | - | - | - | - | - | Komilis et al. (2012) |
| Greenland | Sisimiut | - | 62.6 | 37.4 | 33.7 | 90.0 | 13.9 | 13.0 | - | - | - | - | Eisted and Christensen (2011) |
| India | Kerala | 6.2 | 81.3 | 18.7 | 16.9 | 90.6 | 1.0 | - | - | - | - | - | Sajeena Beevi et al. (2015) |
| | Indore | - | 85.0 | 15.0 | 13.3 | 88.5 | 1.7 | - | 320 | Batch | Wet | Meso | Rao and Singh (2004) |
| Ireland | Cork | 4.1 | 70.6 | 29.4 | 28.0 | 95.0 | 10.4 | - | 529 | Batch | BMP | Meso | Browne and Murphy (2013) |
| Italy | Padova | - | 69.5 | 30.5 | 28.1 | 92.0 | 7.7 | 1.16 | 490 | Batch | BMP | Meso | Alibardi and Cossu (2015) |
| | Lacchiarella | 4.32 | 77.7 | 22.3 | 19.7 | 88.3 | 4.0 | - | 336 | Batch | BMP | Meso | Pognani et al. (2015) |
| | Udine | - | 70.0 | 30.0 | 27.5 | 92.0 | 7.2 | 0.63 | 365 | Batch | BMP | Meso | Cabbai et al. (2013) |
| | Perugia | - | 81.1 | 18.9 | 15.8 | 84.0 | - | - | 0 | Batch | Dry | Thermo | Fantozzi and Buratti (2011) |
| | Milan | 4.38 | 75.8 | 24.2 | 22.2 | 91.6 | 5.0 | 0.5 | 410 | Batch | BMP | Meso | Schievano et al. (2010) |
| | Verona | - | 71.2 | 28.8 | 22.8 | 79.0 | 28.0 | 2.4 | - | - | - | - | Bolzonella et al. (2005) |
| | Treviso | 6.2 | 72.5 | 27.5 | 23.6 | 86.6 | 7.0 | 1.0 | - | - | - | - | VALORGAS (2010) |
| Lebanon | Beirut | - | 81.4 | 18.6 | 17.2 | 92.6 | - | 0.7 | 350 ^a | Semi | Wet | Thermo | Ghanimeh et al. (2012) |
| Mexico | Mexico City | - | 70.3 | 29.7 | 22.3 | 75.1 | 5.4 | 1.8 | 545 | Semi | Wet | Meso | Campuzano and González-Martínez (2015) |
| Portugal | Lisbon | - | 66.2 | 33.8 | 27.6 | 81.7 | 5.1 | 1.7 | - | - | - | - | VALORGAS (2010) |
| Republic of Korea | Daejeon | 3.9 | 78.9 | 21.1 | 17.4 | 82.5 | 13 | - | 502 | Semi | Dry | Meso | Cho et al. (2013) |
| Spain | Barcelona | - | 71.0 | 29.0 | 22.3 | 77.0 | 5.3 | - | 382 | Batch | BMP | Meso | Ponsá et al. (2011) |
| | Different cities | 5.26 | 70.8 | 29.2 | 24.9 | 85.2 | 7.7 | - | - | - | - | - | López et al. (2010) |
| | Cadiz | 7.9 | 82.8 | 17.2 | 7.4 | 43.0 | 26.0 | - | 61 ^a | Batch | Dry | Thermo | Forster-Garneiro et al. (2008b) |
| Turkey | Ankara | - | 64.4 | 35.6 | 33.8 | 94.9 | 7.2 | - | - | - | - | - | Cekmeceoglu and Uncu (2013) |

Figura 1. Características químicas del OFMSW y producción de metano según diferentes autores. Los valores se basan en el peso húmedo. Fuente: (Campuzano & Gonzalez-Martinez, 2016)

En el estudio anterior, se encontró que había cierto grado de similitud en el pH de los residuos analizados, el cuál tuvo un rango de 3.9 a 7.9, siendo dominantes los valores de pH ácidos. Además, los autores analizados destacan la preferencia de producción de biogás en un reactor tipo Batch con temperaturas mesofílicas, en donde la mayor cantidad de metano obtenida fue de 580 NL/KgVS.

Otra clasificación de las características que poseen los residuos orgánicos (mayormente de origen alimenticio), se enlistan en la tabla publicada por (Zhang et al., 2014) en donde analizaron los diferentes parámetros de la digestión anaerobia para la obtención de biogás a partir de residuos.

| Parameters | Zhang et al. [2] | Zhang et al. [3] | Zhang et al. [4] | Li et al. [5] |
|-----------------------|------------------|------------------|------------------|---------------|
| TS (% w.b.) | 18.1 (0.6) | 23.1 (0.3) | 30.90 (0.07) | 24 |
| VS (% w.b.) | 17.1 (0.6) | 21.0 (0.3) | 26.35 (0.14) | 232 |
| VS/TS (%) | 0.94 (0.01) | 90.9 (0.2) | 85.30 (0.65) | 94.1 |
| pH | 6.5 (0.2) | 4.2 (0.2) | - | - |
| Carbohydrate (% d.b.) | 61.9 | - | - | 55.2 |
| Protein (% d.b.) | - | - | - | 15 |
| Fat (% d.b.) | 23.3 (0.45) | - | - | 23.9 |
| Oil (% d.b.) | - | 4.6 (0.5) | - | - |
| C (% d.b.) | 46.67 | 56.3 (1.1) | 46.78 (1.15) | 54 |
| N (% d.b.) | 3.54 | 2.3 (0.3) | 3.16 (0.22) | 2.4 |
| C/N | 13.2 | 24.5 (1.1) | 14.8 | 22.5 |
| S (ppm, w.b.) | 0.33 | - | 2508 (87) | 8.6 |
| P (ppm, w.b.) | 1.49 (0.09) | - | - | 88 |
| Na (% d.b.) | 0.84 | 3.45 (0.2) | - | 2.24 |
| K (% d.b.) | 0.3 | 2.30 (0.04) | 0.90 (0.11) | - |
| Ca (% d.b.) | 0.07 | 0.4 (0.01) | 2.16 (0.29) | 2.44 |
| Mg (% d.b.) | 0.03 | 0.16 (0.01) | 0.14 (0.01) | - |
| Fe (ppm, w.b.) | 3.17 | 100 (23) | 766 (402) | - |
| Cu (ppm, w.b.) | 3.06 | - | 31 (1) | - |
| Zn (ppm, w.b.) | 8.27 | 160 (30) | 76 (22) | - |
| Al (ppm, w.b.) | 4.31 | - | 1202 (396) | - |
| Mn (ppm, w.b.) | 0.96 | 110 (95) | 60 (30) | - |
| Cr (ppm, w.b.) | 0.17 | - | < 1 | - |
| Ni (ppm, w.b.) | 0.19 | - | 2 (1) | - |

Figura 2. Características de los residuos alimenticios reportado en la bibliografía. Fuente: (Zhang et al., 2014)

La digestión anaerobia en la producción de biogás

La digestión anaerobia, es un proceso biológico en el cual, el carbono orgánico (presente en la materia orgánica), se degrada hasta transformarse en dióxido de carbono (CO_2) en su estado más oxidado, y en metano (CH_4) en su estado más reducido, mismos que son considerados como productos de la digestión. Los responsables de llevar a cabo esta transformación son un grupo amplio de microorganismos que catalizan este proceso. Además de los dos gases señalados anteriormente, otros gases que se obtienen en este proceso son el nitrógeno, hidrógeno, sulfuro de hidrógeno y sulfuro de hidrógeno. Aunque estos son considerados gases traza, ya que solamente abarcan menos del 1% del volumen del gas total recuperado. La materia que no fue convertida en gas queda como porcentaje de carbono inorgánico, en forma de minerales orgánicos y sales (Angelidaki et al., 2003). De acuerdo con (Molino et al., 2013), la digestión anaerobia tiene 4 etapas: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis.

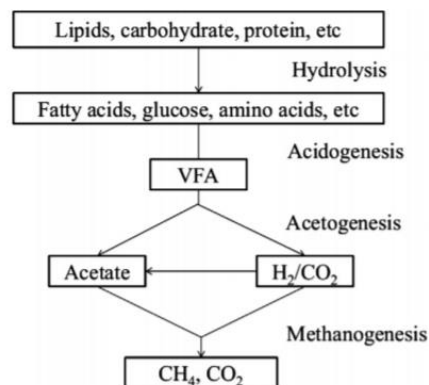


Figura 3. Etapas de la degradación anaerobia en sustratos orgánicos. Fuente: (Molino et al., 2013).

Existen gran cantidad de razones por las cuáles se prefiere la digestión anaerobia como proceso para obtener biogás a partir de la biomasa (en este caso, los residuos orgánicos), al respecto (Nasir et al., 2012) señalan que la digestión anaerobia se prefiere porque se logra reducir significativamente el volumen de los desechos sólidos y se obtiene un biogás de buena calidad (con

alto porcentaje de metano, llegando hasta el 55%) (Stroot et al., 2001). Otra cualidad que destaca de este proceso, según lo planteado por (Gunaseelan, 1997) es que se puede obtener, además del biogás, un digestato con alto contenido en nutrientes que sirve como medio de tratamiento para el suelo. Así mismo, tiene la ventaja de ser un proceso flexible, con el que se pueden tratar diferentes tipos de biomasa para la obtención del biogás y gracias a que se ha estado durante mucho tiempo, existen cada vez más técnicas y mejoras para el pretratamiento de la biomasa y el control de los parámetros de inhibición (Zhang et al., 2014). Lo anterior, con el objetivo de obtener un biogás con mayor eficiencia energética.

El biogás en la economía circular

Como se ha planteado hasta ahora, el biogás es una buena alternativa para disminuir el impacto causado por los combustibles fósiles a la atmósfera, además de ser una solución a la escasez de recursos naturales no renovables, ya que el biogás puede obtenerse de biomasa residual. Todo esto se ajusta al objetivo 11 de la Agenda 2030 publicada por la ONU en 2015, en el cual se incluyen a las ciudades sostenibles. De acuerdo con el estudio realizado por (Yong et al., 2021) el biogás que se obtiene a partir de residuos orgánicos tiene un potencial de producción de energía de 3,941 MWh/día (megavatios por día), ahorrando un total de 2,735 ton/día de dióxido de carbono (CO₂) y 1,128 m²/día de área para rellenos sanitarios, cualidades por las cuales el uso de biogás como combustible, tiene mayores ventajas en comparación con un combustible fósil.

Para incluir a la producción de biogás en una ciudad sostenible, es necesario ajustar sus etapas de elaboración dentro del concepto de economía circular. Por ejemplo, (D'Adamo et al., 2021) establecen que, para que el biogás puede participar dentro de esta nueva estructura en Italia, se debe dar prioridad a la implementación del mismo para la mejora del transporte público, logrando que, con dicho biocombustible, el costo del traslado disminuya, además de cerrar el ciclo de los productos agrícolas que ahí se genera, adoptando la meta de vertido cero ("zero landfilling") y obteniendo subproductos valorizados para los agricultores (como el abono). En otro estudio realizado por (Yaashikaa et al., 2020), la introducción del biogás en la economía circular debe incorporarse desde la correcta gestión de los residuos sólidos urbanos de los cuales se obtendrá el biocombustible, esto quiere decir, que se deben de implementar mejores planes de recolección, recuperación y restitución de estos. Además de la creación de biorrefinerías para el tratamiento de los residuos orgánicos, con el objetivo de obtener productos intermedios y finales de valor agregado. De la misma forma, (Rolewicz-Kalinska et al., 2020), plantean que para implementar la economía circular en el tratamiento de residuos orgánicos se debe de dar prioridad a la producción de biogás con degradación anaerobia, diseñando un sistema de recolección de residuos más efectivo y estableciendo leyes y normativas acordes que involucren tanto a la población como a la industria en el manejo y responsabilidad del destino final de sus residuos.

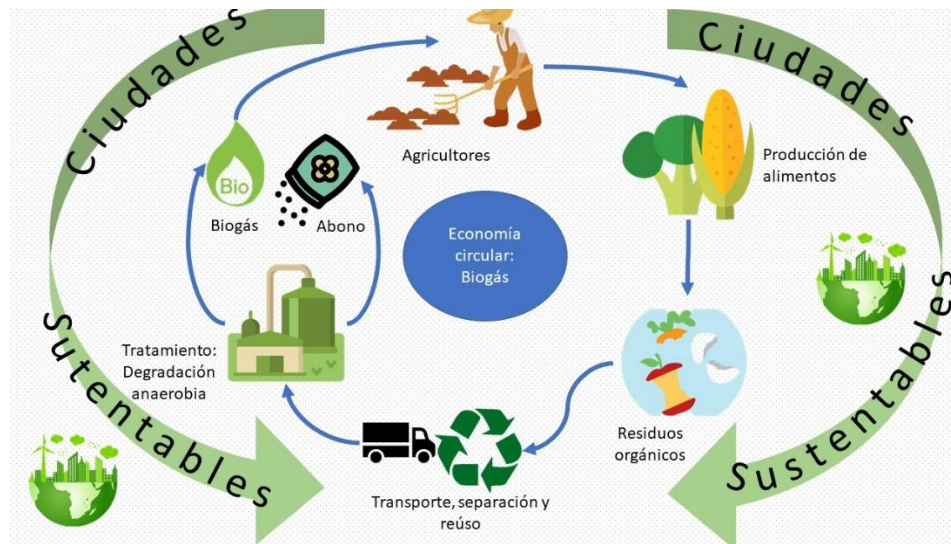


Figura 4. El biogás en las ciudades sostenibles. Elaboración propia con Microsoft PowerPoint 2021.

Bibliografía/Referencias

- Al Seadi, T., Owen, N., Hellström, H., & Kang, H. (2013). Source separation of MSW: an overview of the source separation and separate collection of the digestible fraction of household waste, and of other similar wastes from municipalities, aimed to be used as feedstock for anaerobic digestion in biogas plants. *IEA Bioenergy*, 37, 4-50.
- Angelidaki, I., Ellegaard, L., & Ahring, B. K. (2003). Applications of the anaerobic digestion process. *Biomethanation II*, 1-33.
- Blanco, G., Santalla, E., Córdoba, V., & Levy, A. (2017). Generación de electricidad a partir de biogás capturado de residuos sólidos urbanos. *Argentina: BID. Recuperado el*, 5.
- Campuzano, R., & Gonzalez-Martinez, S. (2016). Characteristics of the organic fraction of municipal solid waste and methane production: A review. *Waste Management*, 54, 3-12. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.05.016>
- D'Adamo, I., Falcone, P. M., Huisingh, D., & Morone, P. (2021). A circular economy model based on biomethane: What are the opportunities for the municipality of Rome and beyond? [Article]. *Renewable Energy*, 163, 1660-1672. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.10.072>
- Flores, D. (2001). Para el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos. *Quito Ecuador. Guía Práctica*(2).
- Gunaseelan, V. N. (1997). Anaerobic digestion of biomass for methane production: a review. *Biomass and bioenergy*, 13(1-2), 83-114.
- Hoornweg, D., & Bhada-Tata, P. (2012). What a waste: a global review of solid waste management.
- Mattocks, R. (1984). Understanding biogas generation.
- Molino, A., Nanna, F., Ding, Y., Bikson, B., & Braccio, G. (2013). Biomethane production by anaerobic digestion of organic waste. *Fuel*, 103, 1003-1009.
- Nasir, I. M., Ghazi, T. I. M., & Omar, R. (2012). Production of biogas from solid organic wastes through anaerobic digestion: a review. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 95(2), 321-329. <https://doi.org/10.1007/s00253-012-4152-7>
- Palmisano, A. C., & Barlaz, M. A. (1996). *Microbiology of solid waste* (Vol. 3). CRC press.

- Perez Rosales, M. (2006). Producción de energía eléctrica a partir de biogás procedente de vertederos de residuos sólidos urbanos. *Trabajo de Graduación*.
- Rolewicz-Kalinska, A., Lelicinska-Serafin, K., & Manczarski, P. (2020). The Circular Economy and Organic Fraction of Municipal Solid Waste Recycling Strategies [Article]. *Energies*, 13(17), 19, Article 4366. <https://doi.org/10.3390/en13174366>
- SEMARNAT. (2020). *Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos*. Ciudad de México Retrieved from <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/554385/DBGIR-15-mayo-2020.pdf>
- Solomon, S., D. Qin, M., Manning, M., Z. C., Marquis, K. B., Averyt, M. T., & Miller., H. L. (2007). A report of Working Group I of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary for Policymakers. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, 18. <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4-wg1-spm-1.pdf>
- Stroot, P. G., McMahon, K. D., Mackie, R. I., & Raskin, L. (2001). Anaerobic codigestion of municipal solid waste and biosolids under various mixing conditions—I. Digester performance. *Water research*, 35(7), 1804-1816.
- Yaashikaa, P. R., Kumar, P. S., Saravanan, A., Varjani, S., & Ramamurthy, R. (2020). Bioconversion of municipal solid waste into bio-based products: A review on valorisation and sustainable approach for circular bioeconomy [Review]. *Science of the Total Environment*, 748, 12, Article 141312. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141312>
- Yong, Z. J., Bashir, M. J. K., & Hassan, M. S. (2021). Biogas and biofertilizer production from organic fraction municipal solid waste for sustainable circular economy and environmental protection in Malaysia [Article]. *Science of the Total Environment*, 776, 11, Article 145961. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145961>
- Zhang, C. S., Su, H. J., Baeyens, J., & Tan, T. W. (2014). Reviewing the anaerobic digestion of food waste for biogas production. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 38, 383-392. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.05.038>