
REVISIÓN DE LA GASIFICACIÓN POR PLASMA, UNA TECNOLOGÍA PARA REUTILIZAR Y PRODUCIR

GIOVANNY MUÑOZ BOLAÑOS



EDNA LINEY MONTAÑEZ H.
Directora

PLANEACION AMBIENTAL Y MANEJO INTEGRADO DE LOS RECURSOS
NATURALES
UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
2018

REVISIÓN DE LA GASIFICACIÓN POR PLASMA, UNA TECNOLOGÍA PARA REUTILIZAR Y PRODUCIR

PLASMA GASIFICATION, A TECHNOLOGY TO REUSE AND PRODUCE: A REVIEW

Giovanny Muñoz Bolaños

Biólogo – Especialización en Planeación Ambiental y Manejo de Recursos

Bogotá, Colombia,

u0500662@unimilitar.edu.co

RESUMEN

Este estudio presenta un preámbulo de lo que es y representa la gasificación por plasma en el ámbito de la eliminación de los residuos sólidos, además, también señala unas condiciones básicas para su funcionamiento. Los sistemas de gasificación por plasma pueden ser alimentados por varios tipos de desechos que pueden ser convertidos en productos con considerable contenido de energía utilizable. Además, el rendimiento de su operación puede ser medido en términos de producción de energía y subproductos de interés industrial, al tener en cuenta el diseño y las características físicas y químicas de los residuos que alimentan la planta. Por otro lado, en términos de manejo de los residuos, impactos ambientales generados y beneficios en el largo plazo, presenta ventajas frente a otros sistemas de manejo como la disposición en relleno sanitario y la pirolisis. En ese sentido, éste trabajo presenta un panorama en el que la gasificación por plasma, surge como la mejor alternativa para el manejo de los residuos sólidos en ciudades como Bogotá y genera un potencial de desarrollo industrial en el ámbito energético. Además, se muestra cómo en términos de eficiencia de los procesos operativos, esta tecnología es superior a los sistemas de manejo convencionales como los rellenos sanitarios y se encontró que este tipo de mecanismo requiere de unas características particulares para su funcionamiento, como porcentajes de humedad y de materia orgánica, parámetros que no sería complicado obtener en los residuos sólidos generados en la capital del país. No obstante, los obstáculos tecnológicos y económicos que se presentan en la actualidad permitirán que se presente una incursión en éstos procesos en el largo plazo.

Palabras clave: Plasma, residuos sólidos, energía, economía.

ABSTRACT

This study presents a review of plasma gasification meaning in the field of the disposal of solid waste, also indicates basic conditions for its optimal operation. Different waste types can feed the plasma gasification systems and be converted into products with a considerable amount of usable energy. In addition, the operation performance can be measured in terms of energy production and by-products of industrial interest, considering the plant design, physical and chemical characteristics of the waste that feeds the plant. On the other hand, in terms of waste management, environmental impacts generated and long-term benefits, it has advantages over other management systems such as landfill and pyrolysis. In this sense, this work presents a panorama in which plasma gasification emerges as the best alternative for solid waste management in cities such Bogotá and generates a potential for industrial development in the energy field. In addition, operating processes were found superior than conventional management systems such as landfills, in terms of efficiency. This technology requires specific operation characteristics, such as humidity and organic matter content, parameters that would not be complicated to obtain in the generated solid waste in Bogotá. However, the technological and economic obstacles that present themselves allow for a long-term incursion into the processes.

Keywords: Plasma, solid waste, energy, economy.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad la eliminación de los desechos sólidos representa un gran desafío para las ciudades tanto a nivel global como a nivel nacional, debido a que los métodos utilizados se basan en la disposición y no en el aprovechamiento, lo que ha generado a través del tiempo, graves problemas de contaminación por residuos sólidos. Varios han sido los métodos utilizados para el manejo de los residuos sólidos, no obstante, no son suficientes para reducir el impacto que genera su disposición, en adición el crecimiento demográfico es un factor que incide en el aumento de la producción de basura y la demanda de energía.

Una posible solución efectiva puede venir de la gestión de residuos mediante la conversión termoquímica la cual adicionalmente produce energía. Aunque aún hoy en día se utiliza la incineración convencional, esta produce emisiones e

impacta el ambiente [1], en algunos países europeos se han implementado estrategias que permiten más de un 80% de aprovechamiento de los residuos sólidos como, por ejemplo, Dinamarca [2], a través de métodos IGCC (integrated gasification combined cycle), realiza un control de los residuos sólidos que son generalmente llevados a disposición y a su vez genera energía que puede ser comercializada [3]-[4].

En la ciudad de Bogotá se observa a un ejemplo de la problemática de la disposición en el relleno sanitario Doña Juana, ubicado muy cerca de la capital del país [5]. Aunque a través del tiempo se ha intentado dar relevancia al tema de reciclaje y recuperación de los desechos, enfocar los avances tecnológicos a evaluar alternativas de procesos que satisfagan la demanda energética y substituyan la forma convencional del manejo de basuras, aún no se han tomado las medidas necesarias. Aunque la vida útil del relleno es cada vez menor, durante varios años, Doña Juana ha sido el destino final de la basura de esta ciudad y sus alrededores [6]. Es por esto que a través de éste estudio se quieren plantear alternativas para el manejo eficiente de los residuos, ya que esto se ha convertido en una necesidad, y la gasificación por plasma surge como una de las elecciones más promisorias por su bajo impacto ambiental, que además es catalogada como una tecnología para el futuro, la cual genera beneficios económicos y ambientales comparados con tecnologías tradicionales y comunes [4]. Por otro lado los resultados que se han obtenido en estudios desarrollados en países europeos (hasta un 97% de aprovechamiento) con distintas características tanto poblacionales como de generación de residuos sólidos, generan gran expectativa para su aplicación en otras regiones.

De acuerdo a lo expuesto anteriormente, en este trabajo se presentan las características generales del proceso de gasificación, se plantea el estudio de las condiciones generales que se requieren para su funcionamiento y finalmente se evidencian las ventajas y desventajas que presenta esta nueva tecnología frente a los métodos convencionales. Por otro lado, se busca proponer la gasificación por plasma como una elección viable para el manejo de residuos, dadas sus características y los modelos ya disponibles para su aplicación. Finalmente se plantea como una fuente de energía que podría generar menos impacto y de la misma manera reducir los efectos que tiene la disposición de basuras en sitios específicos como la capital del país.

1. GENERALIDADES DE LA GASIFICACIÓN POR PLASMA

Los gasificadores de plasma son un tipo de sistemas en los que se genera plasma térmico eléctricamente, por medio de antorchas de plasma [7]. Estos reactores se componen de una cámara dotada de antorchas de plasma dentro y que es alimentada por los desechos, los cuales, al entrar en contacto con el plasma a alta temperatura (aproximadamente 5.500 ° C), se convierten en gas de alta calidad (para la parte orgánica) y en vitrificados como subproducto (para la

parte inorgánica). Estos últimos, pueden reciclarse y venderse como un producto secundario [7]. Por su parte, el gas generado sigue un proceso de enfriamiento y purificación, en donde se usa un enfriador potente para llevar el gas a 900 ° C y seguidamente baja a unos 450 ° C mediante el uso de un intercambiador de calor por convección. Las partículas se eliminan luego a través de un filtro, y la temperatura se reduce hasta 120°C. En este punto, el gas se limpia de HCl, HCN y amoníaco a través de un venturi y finalmente se enfía a 35 °C, que luego se comprime a través de un compresor de tres etapas con refrigeración intermedia [8].

Se considera una tecnología comercialmente preparada a pesar de que todavía enfrenta algunos desafíos económicos y técnicos [9]. En la Figura 1 se observan los procesos generales más importantes dentro de una planta de gasificación por plasma y su relación con las actividades que se deben desarrollar.

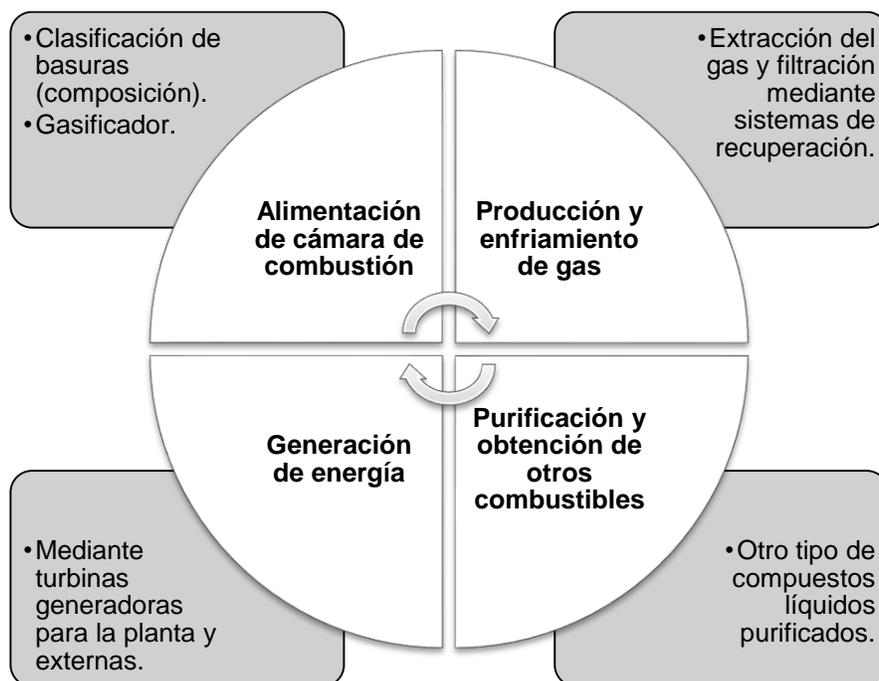


Fig. 1. Esquema general del funcionamiento de una planta de gasificación.
Fuente: Elaboración propia

Las plantas gasificadoras pueden generar energía a través de procesos bioquímicos, fisicoquímicos o termoquímicos para lo cual emplean distintos tipos de residuos sólidos [10], de esta manera, se propone un aprovechamiento de los materiales de desecho, al realizar una extracción de materia orgánica o utilizando únicamente material como el plástico o residuos no reciclables [11].

Particularmente las plantas IGCC tienen la desventaja de poseer un alto costo, sin embargo presentan una mejor rentabilidad a largo plazo y eficacia frente a una planta típica de carbón pulverizado (PC). Por esta razón, se destacan en la reducción de impactos ambientales ya que generan menos emisiones atmosféricas [12].

Según un estimado, el 80% de la energía química dentro de los desechos se extrae como un combustible por lo que es potencialmente mucho más eficiente que la incineración convencional [13].

Actualmente, ya existen varios tipos de plantas de gasificación, entre las que se destacan los gasificadores de flujo los cuales ya cuentan con una comercialización establecida, aunque se basan en carbón por su poder calorífico [14]. Sin embargo, los recientes estudios sobre el tema ubican a la gasificación por plasma como una mejor alternativa por ser una tecnología más eficiente y ambientalmente responsable [15]-[16]. Esta se caracteriza por sus altas temperaturas y densidades que permiten cortos tiempos de reacción y un mayor rango en el tipo de desechos que puede procesar [15]. En adición, utiliza la conversión de combustibles como tipos de desechos industriales, médicos o municipales, carbones de baja calidad, tipo de gas que se produce, que incluye principalmente CO, H₂ y CO. El gas de producido puede usarse como combustible en sistemas para la generación de electricidad y para la producción de hidrógeno. No obstante, el rendimiento del proceso puede cambiar dependiendo de la potencia del plasma, la temperatura del reactor, la tasa de flujo de gas de plasma. En adición, la relación de conversión de material en gas de síntesis depende del consumo de energía y si el reactor tiene gran potencia, alcanza un 99% [16].

2. CONDICIONES PARA EL FUNCIONAMIENTO DE UNA PLANTA DE GASIFICACIÓN

El surgimiento de la gasificación por plasma, plantea una alternativa que genera un gran interés en varias regiones del mundo, ya que convierte los residuos en gas o algún tipo de combustible líquido que puede usarse en mecanismos como motores dentro de la misma planta, lo que produce gran eficiencia [2]-[11].

Dentro de los criterios para la implementación y buen funcionamiento de una planta gasificadora, se encuentran la composición física y química de los residuos generados y las actividades para la operación, condiciones de gran importancia para realizar los cálculos para la alimentación de la planta y la proyección de producción. Es por esto que los flujos y el contenido de humedad del material de entrada tanto como de salida se incluyen en el balance de masa y energía, el cual permite configurar las condiciones del proceso a las

características del sistema y sus instalaciones de gasificación [9]. De esta manera no se superan los límites y no se inician procesos que puedan ser poco eficientes en la generación de gas, electricidad y exceso de calor.

Por otro lado también se debe tener en cuenta la metodología de generación del plasma, pues es necesario un equilibrio térmico para elevar la eficiencia [17].

2.1. Análisis de composición de los residuos sólidos a nivel local

La producción de residuos a nivel local se encuentra caracterizada por un gran contenido de humedad, puesto que no han sido separados en la fuente. En general se tiene que las características de los residuos que llegan a Doña Juana son: pH: 6, Humedad: 38%, Cenizas: 16%, Materia volátil: 82%, Nitrógeno: 1 y Fósforo: 0,05% [18].

En la Tabla 1., se muestra la composición física de los residuos sólidos que se generan en la ciudad de Bogotá y que son en un 90% son llevados a relleno sanitario [18].

Es importante tener en cuenta que más del 70% de los residuos son de tipo doméstico y casi un 15% corresponde a una categoría no clasificada.

Tabla 1. Composición de los residuos sólidos producidos en la ciudad de Bogotá

Tipo de Residuos	Residenciales	Pequeños y Grandes Generadores
Alimentos	60,56%	46,48%
Jardinería	0,87%	3,23%
Papel y Cartón (MPR)	7,10%	11,91%
Plástico (MPR)	10,45%	17,83%
Caucho y Cuero	0,42%	0,91%
Textiles (MPR)	1,89%	1,93%
Madera	0,32%	2,91%
Metal (MPR)	0,85%	1,57%
Vidrio (MPR)	2,08%	3,88%
Cerámicos	1,19%	1,15%
Peligrosos	12,94%	6,95%
Otros	1,32%	1,27%
Total	99,99%	100,2%
MPR	22,37%	37,12%
No Reciclable	77,62%	62,90%
Total	100%	100,0%

Fuente: UAESP 2011

Actualmente se han realizado estudios que buscan aumentar la eficiencia del proceso de gasificación mediante el uso de distintas combinaciones de residuos, especialmente plásticos y de tipo doméstico y además se realizan

distintas relaciones de gases y vapor generados [8]. La Figura 2, muestra los resultados obtenidos e indican que la eficiencia depende de la relación entre gases en la cámara y el contenido de carbono en los residuos utilizados como combustible, esta se define como la relación entre la energía neta producida y el producto entre la tasa de flujo másico de la mezcla de desechos y su valor calorífico; es decir, el rendimiento de la planta sigue directamente al del gasificador de plasma el cual tiene en cuenta la eficiencia de la conversión de carbono en energía, sin embargo, el rendimiento de la planta también se ve directamente afectado por la cantidad de energía requerida para generar el plasma térmico y el valor de calentamiento del gas [8].

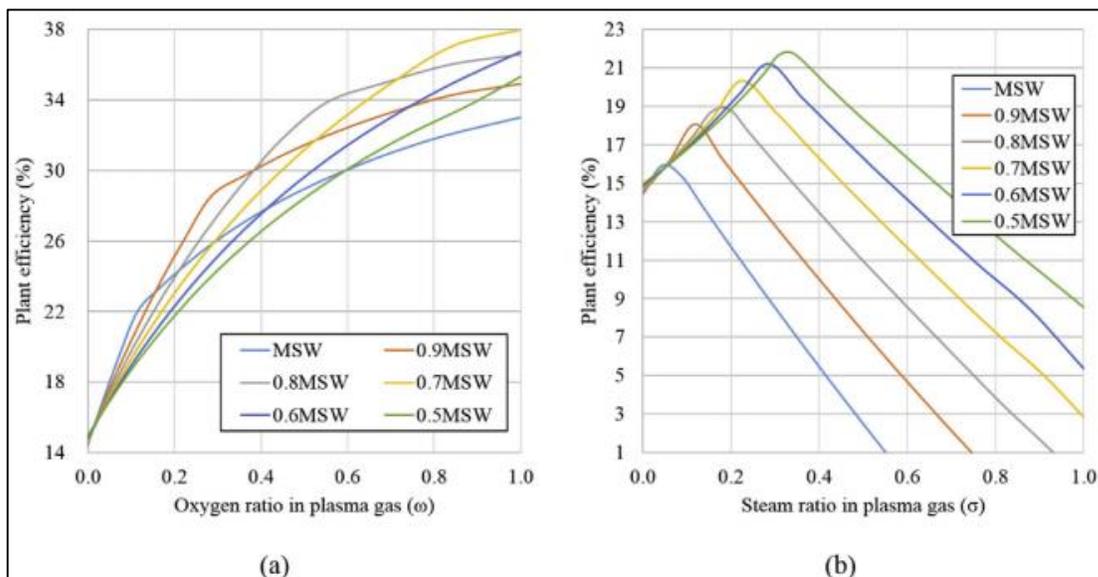


Fig. 2. Eficiencia de la planta IPGCC con respecto a la relación de oxígeno ω (a) y la relación de vapor σ (b) en el gas de plasma.

Fuente: [8]

2.2. Tipos de Gasificación por plasma y equilibrio térmico

Generalmente, el plasma inducido por no-transferencia está en equilibrio térmico, ya que la carga que ioniza el gas se produce entre los electrodos dispuestos y los residuos pasan a través de la zona de plasma. Por otro lado, la condición de equilibrio térmico solo puede proporcionarse para plasma inducido por transferencia cuando el espacio de plasma tiene una presión alta y en este caso la carga se produce entre un solo electrodo y el revestimiento conductivo del recipiente del reactor. En el caso del plasma no térmico, la temperatura de la especie varía ya que cada elemento posee características diferentes y tienen tiempos estimados de reacción distintos.

Lo anterior puede producir variaciones en las temperaturas, ya que los electrones que tienen alta temperatura debido a su baja densidad están con los iones que aún están a temperatura ambiente. Se sabe que las condiciones en el medio de plasma así como la presión, la longitud de descarga o la distancia entre los electrodos y otros parámetros de diseño afectan la condición de equilibrio térmico [17]-[19].

3. COMPARATIVA CON METODOLOGÍAS CONVENCIONALES

Se debe tener en cuenta que existen múltiples factores que inciden en la eficiencia del manejo de residuos. Además, los procesos mencionados en este trabajo tienen requerimientos muy diferentes aunque su objetivo sea en principio el mismo. Por un lado tenemos el impacto ambiental que supone el funcionamiento de un relleno sanitario, que aunque entre otros sistemas de gestión de residuos sólidos es el menos deseable, se sigue empleando incluso en países altamente desarrollados [20]. En el mismo, se puede observar que conforme avanza el tiempo desde la disposición final, se produce mayor cantidad de gas como resultado de la descomposición de la basura. Adicionalmente, se tiene que en los rellenos sanitarios el gas producido se compone en casi un 60% por metano (CH_4), el cual contribuye en gran medida al efecto invernadero y puede estar relacionado con afectaciones sobre la salud humana, desde irritación ocular, dificultad al respirar, hasta convulsiones e incluso el coma [21].

Algunos sistemas diseñados para la realización de pirolisis, los cuales utilizan temperaturas hasta de $800\text{ }^\circ\text{C}$, conllevan a la producción de especies volátiles e incluso material que no puede ser retenido mediante filtrados y esto evidentemente genera impactos a nivel de la calidad del aire.

Por el contrario, el sistema de gasificación a través de plasma reduce las emisiones de gases de efecto invernadero, ya que las temperaturas alcanzan niveles que permiten la disociación de la mayoría de elementos por lo que se generan gases con pocos residuos de otros compuestos. Adicionalmente, el gas producido se filtra y purifica dentro de la planta para transformarlo posteriormente en energía que puede ser utilizada para suplir la demanda de la misma y en productos como etanol o gas natural [4]-[21].

Desde el punto de vista del área requerida para la operación de ambos sistemas se observan grandes diferencias, ya que para el caso del relleno sanitario Doña Juana por ejemplo, se utilizan aproximadamente 205 hectáreas para disponer residuos, de las 456 hectáreas que tiene en total el terreno, es decir que cerca del 40% es utilizado para generar celdas de disposición [5]. En adición se debe tener en cuenta un área que se utiliza para la planta de

tratamiento de lixiviados la cual no cumple actualmente a cabalidad con la normatividad vigente para el procesamiento de aguas residuales de ese tipo.

Contrario a este panorama, tenemos que el área de construcción y operación de una planta de gasificación no superaría las 5 hectáreas, ya que la infraestructura y las vías de acceso son las que se tendrían en cuenta. Esto equivale aproximadamente a un 2.4% del área total dedicada a la disposición de basuras, lo cual en términos operacionales también implica una amplia reducción de costos.

4. CONCLUSIONES

Este estudio presenta una investigación que busca atraer la atención de los gobiernos de la región, así como las industrias interesadas en la producción de energía y el aprovechamiento de una “materia prima” que aumenta constantemente. Por lo tanto se muestra el potencial que tiene esta tecnología para convertirse en una solución a una problemática que ha sido de carácter crítico y que puede a su vez generar productos que representarían ganancias en el mediano plazo.

Como se expuso anteriormente la gasificación representa un avance tecnológico que tiene una aplicabilidad considerable y que puede solventar de manera eficiente la problemática de la acumulación de residuos sólidos en las distintas ciudades. El tratamiento de los desechos sólidos por otros métodos puede implicar ciertas dificultades para la eliminación completa de los residuos; en lo que se refiere a la gasificación del plasma, es posible la eliminación total de los residuos, por lo que podría reducirse ampliamente el riesgo que produce la disposición en relleno sanitario. Sin embargo, es importante avanzar en el que sea más accesible, para lo cual, el proceso puede estar sujeto a reducción de costos mediante un diseño innovador que permita suplir las necesidades locales.

En este trabajo se observa que la tecnología de gasificación por plasma es una gran promesa para el tratamiento de residuos sólidos a nivel global que no presenta un impacto negativo en el medio ambiente, cabe resaltar que también se puede enfocar a la recuperación de subproductos útiles para otras industrias, además, en la actualidad los conceptos de “economía circular” y de la “cuna a la cuna” implican procesos que ésta tecnología lleva implícitos en su desarrollo.

En muchos países con problemas de acumulación de residuos sólidos como Colombia, es importante tener en mente el potencial para el desarrollo de industrias que promuevan ésta tecnología para producir energía y solventar

constantemente la demanda. No obstante, estos procesos aún se encuentran en su etapa inicial de desarrollo y aunque en varios países de Europa se han realizado pruebas exitosas, está lejos de ser implementada a nivel nacional, especialmente debido a factores tecnológicos y económicos que de forma tangencial han sido tratados en ésta revisión

REFERENCIAS

- [1] B. Leckner, "Process aspects in combustion and gasification Waste-to-Energy (WtE) units", *Waste Management*, vol. 37, pp. 13-25, 2015.
- [2] L. Yassin, P. Lettieri, S.J. Simons, A. Germanà, "Techno-economic performance of energy-from-waste fluidized bed combustion and gasification processes in the UK context", *Chemical Engineering Journal*, no. 146, pp. 315-27, 2009.
- [3] A. Concha, A. Andalaft, O. Farias, "Coal gasification for power generation: Analysis with real options valuation", *Revista Chilena de ingeniería*, vol. 17, no. 3, pp. 347-359, 2009.
- [4] C. Nieto, E. Arenas, A. Arrieta, Z. Zapata, C. Londoño, C. Valdes, F. Chejne, "Simulation of IGCC technologies: influence of operational conditions (environmental and fuel gas production)", *Revista Energética*, no. 40, 2008. DOI:10.15446/energetica
- [5] OBSERVATORIO DE SALUD AMBIENTAL. "Relleno Sanitario Doña Juana", 2015.
- [6] J. Avila, "Doña Juana, un desastre de basuras". Bogotá, Colombia: Revista de la facultad de ingeniería, Universidad Militar Nueva Granada. 1998
- [7] X. Gang, B-s. Jin, Z-p. Zhong, C. Yong, N. M-j, K. Cen, "Experimental study on MSW gasification and melting technology", *Journal of Environmental Sciences*, vol. 19, pp. 1398-403, 2007.
- [8] L. Mazzone, I. Janajreh, "Plasma gasification of municipal solid waste with variable content of plastic solid waste for enhanced energy recovery", *International Journal of Hydrogen Energy*, 2017.

- [9] F. Trippe, M. Fröhling, F. Schultmann, R. Stahl, E. Henrich, "Techno-economic assessment of gasification as a process step within biomass-to-liquid (BtL) fuel and chemicals production", *Fuel Processing Technology*, no. 92, pp. 2169-84, 2001
- [10] GAIA, "Gasificación y pirólisis de residuos: procedimientos para el tratamiento de residuos. Analisis del riesgo de las tecnologías de gasificación y pirólisis de residuos", 2017
- [11] C. Cloete, S. Giuffrida, A. Romano, P. Chiesa, M. Pishahang, Y. Larring, "Integration of chemical looping oxygen production and chemical looping combustion in integrated gasification combined cycles", *Fuel*, no. 220, pp. 725-743, 2018. doi.org/10.1016/j.fuel.2018.02.048
- [12] J. Li, K. Liu, S. Yan, Y. Li, D. Han, "Application of thermal plasma technology for the treatment of solid wastes in China: An overview", *Waste Management*, vol. 58, pp. 260-269, 2016
- [13] WSP Environmental Ltd for the Waste Management Branch, "Review of State-of-the-Art Waste-to-Energy Technologies": Stage Two—Case Studies, prepared by the Department of Environment and Conservation, Australia, 2013
- [14] X. Guo, Z. Dai, X. Gong, X. Chen, H. Liu, F. Wang, "Performance of an entrained-flow gasification technology of pulverized coal in pilot-scale plant", *Fuel processing technology*, vol. 88, pp. 451-9, 2007
- [15] F. Fabry, C. Rehmert, V. Rohani, L. Fulcheri, "Waste gasification by thermal plasma: a review", *Waste and Biomass Valorization*, vol. 4, pp. 421-39, 2013
- [16] E. Gomez, D.A. Rani, C. Cheeseman, D. Deegan, M. Wise, A. Boccaccini, "Thermal plasma technology for the treatment of wastes: a critical review", *Journal of Hazardous Materials*, vol. 161, pp. 614-26, 2009
- [17] The National Energy Technology Laboratory. <https://www.netl.doe.gov/research/Coal/energy.systems/gasification/gasifipedia/westinghouse>. Accesada 10 de abril de 2018.
- [18] UAESP, "Caracterización de los residuos sólidos generados en la ciudad de Bogotá D.C", (Caracterización Residencial, Caracterización Comercial, Caracterización Institucional). 2011

- [19] A. Bogaerts, E. Neyts, R. Gijbels, J. V. Mullen, "Gas discharge plasmas and their applications", *Spectrochim Acta*, vol. 57, pp. 609-58, 2002
- [20] D. Jovanov, B. Vujić, G. Vujić, "Optimization of the monitoring of landfill gas and leachate in closed methanogenic landfills", *Journal of Environmental Management*, vol. 216, pp. 32-40, 2018
- [21] Escuela de Salud Pública Universidad del Valle, "Evaluación del Relleno Sanitario Doña Juana en la Salud de Grupos Poblacionales en su Área de Influencia", Cali, Colombia: Universidad del Valle, 2006