

# La tecnología de plasma y residuos sólidos

Taboada-González, P.<sup>1</sup>, Aguilar-Virgen, Q.<sup>2</sup> y Armijo-de Vega, C.<sup>3</sup>

*Fecha de recepción: enero de 2009 – Fecha de aceptación: julio de 2009*

## RESUMEN

El crecimiento de la población y el aumento en el consumo de bienes y servicios han generado un incremento en los volúmenes de residuos y en la demanda de energía. Existen tecnologías para el tratamiento de residuos con recuperación de energía. Muchos países desarrollados adoptaron la incineración y el compostaje de sus residuos sólidos municipales (RSM) como métodos de tratamiento, no obstante las bondades de estas tecnologías actualmente se están disputando por las consecuencias ambientales de las mismas. La tecnología de plasma se ha expuesto como una tecnología limpia, con potencial para procesar toda clase de basura y generar energía eléctrica y otros productos derivados. Esta tecnología ha sido empleada en países como Estados Unidos, Japón y Puerto Rico, por mencionar algunos, con resultados muy alentadores. En este trabajo se describe la tecnología de plasma y se narran algunas experiencias de su uso.

**Palabras clave:** Tratamiento de Residuos, Plasma, Generación de Energía.

## Plasma technology and solid waste

## ABSTRACT

Population growth and an increase in the consumption of goods and services have generated an increase in the volumes of waste and energy demand. There are technologies for the treatment of waste with energy recovery. Many developed countries have adopted composting and incineration of its MSW as methods of treatment, however, this technology is currently disputing by environmental problems. Plasma technology has been exposed as a clean technology with the potential to process all kinds of garbage and generate electricity and other products. This technology has been used in countries like the United States, Japan and Puerto Rico, to name a few, with very encouraging results. This paper describes the technology of plasma and recount experiences from their use.

**Key words:** Treatments, Waste Management, Plasma, Energy Generation.

---

<sup>1</sup> Estudiante de doctorado en Ciencias en Medio Ambiente. Profesor-Investigador. Facultad de Ingeniería Ensenada. Universidad Autónoma de Baja California. e-mail. paultaboada@uabc.mx

<sup>2</sup> Estudiante de doctorado en Ciencias en Medio Ambiente. Profesora-Investigadora. Facultad de Ingeniería Ensenada. Universidad Autónoma de Baja California. e-mail. aguilar\_virgen@uabc.mx

<sup>3</sup> Doctora en Producción limpia, prevención de la contaminación y sustentabilidad por la Erasmus University Rotterdam. Profesora-Investigadora. Facultad de Ingeniería Ensenada. Universidad Autónoma de Baja California. e-mail. carmijo@uabc.mx

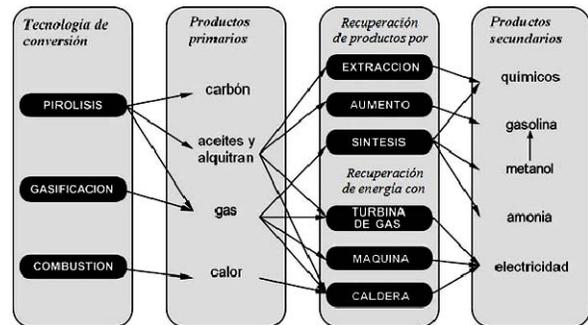
**INTRODUCCIÓN**

El crecimiento de la población y el aumento en el consumo de bienes y servicios han generado un incremento en los volúmenes de residuos. La sensación ficticia de que mayor consumo eleva la calidad de vida está induciendo a las personas a comprar más productos de los que realmente necesita para vivir. Paradójicamente el consumismo afecta negativamente la calidad de vida, debido a que se genera una fuerte degradación del ambiente por una sobreexplotación de los recursos naturales con los que se cuenta y se están generando productos que la naturaleza tarda en asimilar. La creciente demanda de bienes y servicios ha originado también un incremento en la demanda de energía. La electricidad juega un papel muy importante en el desarrollo de las sociedades, a tal grado que se considera tan importante como el agua. Sin energía eléctrica, no se pueden tener satisfactores tales como telecomunicaciones, cuidado de la salud, procesos de conservación de alimento, transporte, calefacción, enfriamiento de ambientes, uso de electrodomésticos, equipos de cómputo, etc. Las actividades relacionadas con la producción y aprovechamiento de la energía tienen mucho que ver con los problemas ambientales que hoy se tienen en nuestro país y en el mundo (Quintanilla y Fisher, 2003). Sin embargo, debe reconocerse también que la producción y el uso de energía están íntimamente relacionados con la calidad de vida de un pueblo, y éstas deben considerarse como elementos de especial importancia para el desarrollo de México. Para aliviar parte de la crisis energética y de la degradación ambiental, llega a ser imperativo el uso de tecnologías apropiadas para recuperar energía de fuentes no convencionales como los residuos orgánicos (Huang y Tang, 2007).

**Residuos en México.** En México, la generación total de residuos sólidos urbanos (RSU) -constituidos principalmente por desechos originados en las viviendas, oficinas, jardines y comercios- llegó a 35 millones 383 mil toneladas en 2005 (INEGI, 2006). Destacan los productos orgánicos con 50% de la generación total, siguiendo en importancia el cartón y el papel con 15%. Las estimaciones disponibles en México en torno a la generación de residuos peligrosos -residuos que por su toxicidad, representan un riesgo alto especialmente para la salud y el medio ambiente- provienen de las empresas que los reportan, pues de acuerdo a la normatividad, éstas deben notificar si los desperdicios que originan son peligrosos o no. En 2000, 27 mil 280 empresas se manifestaron como generadoras de residuos peligrosos, reportando 3,705 846 toneladas. En México sólo el 53% de los residuos sólidos (RS) generados se depositan en 51 rellenos sanitarios

ubicados en ciudades medias y zonas metropolitanas, y muy poco en localidades pequeñas (Arvizu et al., 2005). El resto se deposita en vertederos no controlados y en muchos de estos sitios se practica la quema como una medida para controlar los volúmenes de RS. La contaminación atmosférica derivada de la combustión no controlada de los RS en estos tiraderos y del uso de incineradores sin sistemas de control de la contaminación, representa un serio riesgo para la salud por la presencia de plásticos y otros productos químicos de peligrosidad significativa (SEMARNAT, 2005).

**Incineración vs. Plasma.** Los métodos actuales de tratamiento de residuos incluyen rellenos sanitarios, compostaje, digestión anaerobia, incineración, pirólisis y gasificación. Para la recuperación del poder calorífico de los residuos se han empleado principalmente los tratamientos térmicos, tal como la combustión, gasificación y pirolisis. En la Figura 1 se presentan los productos que se obtienen con cada una de estas tecnologías y las etapas en las que se obtienen. Así, de los productos primarios obtenidos con una tecnología de tratamiento de residuos, se puede hacer una recuperación de productos o energía en una etapa posterior. Un ejemplo de lo anterior sería considerar un proceso de gasificación, con el cual se obtiene gas como producto primario. Este puede ser introducido a una turbina de gas, maquina de combustión o caldera en una etapa posterior para producir electricidad como producto secundario.



**Figura 1.** Procesos de conversión térmica y productos.

**Fuente:** Belgiorno et al. (2003)

La gasificación se refiere a la conversión termoquímica de un material sólido a través de la oxidación parcial. Utilizando aire, oxígeno o calentamiento indirecto se producen gases combustibles (gas de síntesis, el productor de gas), principalmente CO, H<sub>2</sub>, metano, hidrocarburos ligeros y en asociación con CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub> en función de proceso utilizado. (Williams, 2004; Belgiorno et al. 2003). La conversión termoquímica cambia la estructura

química de la biomasa por medio de temperatura alta. La pirólisis es un proceso de gasificación indirecto con gases inertes como agente gasificador.

Los procesos de gasificación también producen líquidos (alquitranes, aceites, y otros condensados) y sólidos (carbón, cenizas) de las materias primas sólidos. Los procesos de gasificación están diseñados para generar combustible o gases de síntesis como el principal producto. Los gases combustibles se pueden utilizar en motores de combustión interna y externa, celdas de combustible y otros (Williams, 2004; Larson, 1998).

Debido a la falta de terrenos, su alto costo o por la cada vez más exigente legislación para la preservación del ambiente, muchos países desarrollados adoptaron la incineración y el compostaje de sus RSU como métodos de tratamiento. Estas tecnologías también fueron adoptadas por varias ciudades de América Latina y el Caribe con resultados casi siempre desalentadores debido a que faltaron los análisis técnicos, institucionales y económicos para establecer la justificación y factibilidad de las inversiones (BID-OP, 1997).

La incineración (combustión) con la recuperación de la energía ha sido viable y una opción usada a menudo en naciones industrializadas como Suecia y Japón. No obstante, esta tecnología usada extensamente en el pasado, se está disputando actualmente porque sin dispositivos de control ambiental causan muchos problemas tales como producción de dioxinas, desechos de metales pesados y pérdidas de calor (Sánchez et al., 2007).

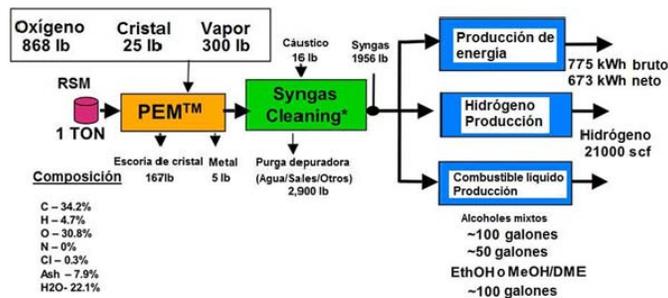
La eficacia de la incineración depende de muchos factores, entre ellos el diseño, el control del proceso, la capacidad y eficacia de los dispositivos de control de la contaminación atmosférica. Un uso inapropiado de los incineradores puede dar lugar a la formación de subproductos transportados por el aire y sólidos peligrosos que representan una grave amenaza para el medio ambiente y la salud pública. Estos subproductos son a menudo más tóxicos que el

producto original (FAO, 1996). La incineración de algunos desechos (industriales, médicos, militares) resulta en la formación de residuos (cenizas, escoria, depósitos de filtro, residuos de sedimentación) de toxicidad relativamente alta (Cedzynska et al., 1999). La aplicación de tecnologías para gasificación, como el plasma, pueden evitar estos problemas.

El plasma es la forma más abundante de materia en el universo. Se forma siempre que materia ordinaria es calentada a más de 5,000° C, lo cual resulta en gases o fluidos cargados eléctricamente que responden a fuerzas electromagnéticas (Leal, 2004; Camacho, 1988; Smirnov, 1977).

La tecnología de plasma se ha expuesto como una tecnología limpia, con potencial para generar energía eléctrica y otros productos derivados tales como baldosas arquitectónicas, ladrillos para construcción, lo cual la hace económicamente rentable. La antorcha de plasma opera a muy altas temperaturas -entre 5,000 y 10,000 grados centígrados- y puede procesar toda clase de residuos a presión atmosférica: sólidos municipales, tóxicos, médicos, biológico-infecciosos, industriales y desperdicios nucleares. No produce cenizas porque a más de 5,000 grados centígrados, todas las moléculas orgánicas son desintegradas y solo la mezcla de H<sub>2</sub> + CO permanece a altas temperaturas (Moustakas et al, 2008; Leal, 2004).

Algunos de los beneficios de utilizar la tecnología de plasma son que los componentes inorgánicos en los residuos se derriten y vitrifican en un residuo sólido vidrioso, como roca, que es altamente resistente a la lixiviación y los materiales orgánicos (plástico, papel, aceites, biomateriales, etc.) son convertidos en gases de síntesis (Syngas) con valor calorífico. El gas y los subproductos sólidos son potencialmente reciclables como gases combustibles útiles y grava para caminos (Bodorow et al., 2005) y los requisitos para la construcción de rellenos sanitarios se eliminan. En la Figura 2 se presenta un diagrama de flujo y energía para el sistema Fundidor Mejorado de Plasma (Plasma Enhanced Melter, PEM), empleando Residuos Sólidos Municipales (RSM).



**Figura 2.** Diagrama de flujo y energía para el sistema PEM®.

**Fuente:** Heberlein y Murphy (2007)

Si la electricidad se produce de los gases combustibles, cerca del 40% serían utilizados para el funcionamiento de las antorchas del plasma y de la planta y el 60% restante podría ser vendida a la red eléctrica. En los volúmenes de rendimiento de hasta 1.000 toneladas por día, los costos de capital del sistema de arco de plasma están casi como los de la tecnología tradicional de la incineración. Sin embargo, las ventajas de los sistemas de plasma sobre los incineradores son numerosas. Las instalaciones prototipo para el tratamiento por plasma de los RSM, de las cenizas de incineradores, asbesto y de los residuos biológico-infecciosos han sido demostradas y comercializadas con éxito (Bodorow et al., 2005).

Algunos inconvenientes mencionados por Leal (2004) son que existen diversas tecnologías de plasma pero no todas tratan el mismo tipo de residuos. Así, algunos tratan residuos en forma gaseosa, otros en forma líquida y sólida pero no gaseosa, y otros pueden tratar residuos en cualquier fase, pero sus necesidades de energía son altas. Para el tratamiento de residuos biológico-infecciosos, Heberlein y Murphy (2007) exponen que requiere de 1100 kWh/ton y Rutberg (2002) de 0.8 a 1 kWh/kg.

Algunas tecnologías están en fase experimental y otras están en forma comercial pero sus costos son elevados. En México operó de forma experimental un incinerador de plasma en las instalaciones de SIMEPRODE, en Salinas Victoria, Monterrey, N.L., pero esta planta fue desmantelada en su totalidad. Lo divulgado al respecto ha sido limitado, pero Caballero y Rivas (2005) enunciaron que en esta planta se buscó

determinar la reducción de volumen y peso en 5 familias de residuos sólidos, líquidos y gaseosos, así como la caracterización de la conversión de residuos municipales en combustibles gaseosos y probar la generación de energía eléctrica con diferentes combinaciones de materiales de desecho.

Leal (2004) expone que la eficiencia energética de la gasificación de biomasa con plasma varía del 75 al 80% y depende de la composición y la capacidad calorífica del material en bruto; la humedad y la materia inorgánica reducen la eficiencia.

**Casos de éxito con tecnologías de plasma.** Dentro de las tecnologías empleadas para el procesamiento de residuos con recuperación de energía se encontró que la tecnología de plasma había sido empleada en países como Estados Unidos, Japón y Puerto Rico, por mencionar algunos, con resultados muy alentadores (Leal, 2004).

La Sociedad Japonesa de Fabricantes de Maquinaria Industrial (Japan Society of Industrial Machinery Manufacturers, JSIM) expone se empleó la antorcha de plasma Ebara para el tratamiento de cenizas producidas por incineradores de residuos municipales. Este sistema solucionó los problemas de dioxinas en la ceniza de la incineración y disponibilidad de rellenos para disposición de ceniza y metales pesados. La ubicación de las instalaciones donde se emplea esta tecnología se muestra en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Instalaciones en Japón que operan con antorchas de plasma de Ebara

	<b>Ubicación</b>	<b>Capacidad de tratamiento (ton/día)</b>	<b>Fecha de terminación</b>
1	Ciudad de Matsuyama	52	Marzo 1994
2	Ciudad de Yonago	29	Marzo 2002
3	Ciudad de Adachi-Ku	130	Octubre 2004
4	Ciudad de Saga	23	Marzo 2003
5	Ciudad de Hirosaki	40	Marzo 2003

**Fuente:** JSIM (2009)

En Japón, Takuma Co, LTD en 1991 comenzó a desarrollar un horno de plasma de corriente directa (CD) que derretía por incineración RSU usando energía eléctrica generada por incineración. Una planta de prueba fue construida en 1993 con 300 kW de salida (7.2 ton/día de rendimiento), la cual fue expandida a 500 kW (12 ton/día de rendimiento) en 1995. Una planta de demostración con 1710 kW de salida y un máximo rendimiento de 25 ton/día fue construida en 1998 (Katou et al., 2001).

Después de la demostración de la tecnología de gasificación para RSM en una planta piloto en Yoshii, Japón durante 1999-2000, el gobierno japonés certificó la tecnología para la construcción de una planta de tamaño comercial. La planta fue completada en julio de 2002. Esta nueva planta usa principalmente residuos automotrices triturados como combustible, con una capacidad aproximadamente de 165 ton/día pero ha sido diseñada para correr con un 50% de humedad de RSU. Esta puede procesar aproximadamente 300 ton/día al 100% de RSM.

Después de comisionar, la planta fue liberada al cliente para la operación comercial en abril de 2003 (Williams, 2004). En diciembre de 2002, las ciudades gemelas de Mihama y Mikata, Japón comisionaron una planta de tratamiento del lodo de RSM y de aguas residuales. Hitachi Metals Ltd. diseñó e instaló esta planta que procesa 24 ton/día de RSM y 4 ton/día de lodo de aguas residuales.

### **CONCLUSIONES**

Con el método tradicional de disposición de residuos (rellenos sanitarios o vertederos), los residuos son enterrados y por tanto, los materiales que los componen no son aprovechados. A diferencia, con el tratamiento por plasma estos materiales se disocian en sus elementos básicos y pueden ser aprovechados en otros procesos productivos.

A nivel mundial, empresas y universidades se encuentran desarrollando proyectos de gasificación

con plasma para el tratamiento de residuos. Aunque la tecnología de plasma tiene sus orígenes en la soldadura y el corte de metales, su aplicación en el área del tratamiento de los residuos sólidos es relativamente reciente. Aún faltan conocer más resultados y un mayor desarrollo en esta tecnología para hacerla más confiable y accesible a países en vías de desarrollo.

Por lo expuesto anteriormente, el plasma puede ser una solución a la problemática de los residuos sólidos al presentar un menor impacto ambiental respecto a otras tecnologías, como la incineración. Su aplicación puede ayudar a minimizar los impactos que una sociedad causa al medio ambiente por el incremento en la generación de residuos con propiedades especiales que complican la disposición final. Ejemplo de esto se puede encontrar en Japón, país que tiene el mayor número de plantas con tecnología de plasma para el tratamiento de residuos sólidos.

### **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Arvizu Fernández, J.L., Huacuz Villamar, J.M., Saldaña Méndez, J.L. (2005). Evaluación del Potencial Energético de los Rellenos Sanitarios. AIDIS / DIRSA, 1-12.
- Belgiorno V, De Feo G, Della Rocca C, Napoli R. M.A. (2003). Energy from gasification of solid wastes. *Waste Management*. 23(1), 1-15.
- BID-OP. (1997). *Diagnóstico de la situación del manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe*. Recuperado el 15 de Septiembre de 2008 de <http://www.iadb.org/sds/doc/ENV107ARossinE.pdf>
- Bodorow, Catherine, Louis J. Circeo, Kevin C. Caravati, Robert C. Martin, Michael S. Smith. (2005). *Plasma arc treatment of municipal and hazardous wastes*. EPA Science Forum. Recuperado el 15 de Septiembre de 2008 de [http://www.epa.gov/sciforum/2005/pdfs/oeiposter/Boduraw\\_OEI30.pdf](http://www.epa.gov/sciforum/2005/pdfs/oeiposter/Boduraw_OEI30.pdf)
- Caballero Galindo, Carlo, Francisco Rivas Garrido. (2005). *Generación de energía eléctrica con desechos sólidos y líquidos*. Recuperado el 15 de Septiembre de 2008 de [http://www.foroconsultivo.org.mx/eventos\\_realizados/competitividad\\_cinco/ponencias/empresarios/4\\_luis\\_caballero.pdf](http://www.foroconsultivo.org.mx/eventos_realizados/competitividad_cinco/ponencias/empresarios/4_luis_caballero.pdf).
- Camacho, S.L. (1988). Industrial worthy plasma torches: state of the art. *Pure&Applied Chemistry* 60(5) 619-632.
- Cedzynska, Krystyna, Zbigniew Kolacinsky, Michal Izydorczyk. (1999). Plasma vitrification of waste incinerator ashes. Kentucky USA: Technical University of Lodz
- Huang, H, L. Tang. (2007). Treatment of organic waste using thermal plasma pyrolysis technology. *Energy Conversion and Management*. 48, 1331-1337.
- INEGI. (2006). *Estadísticas a propósito del día mundial del ambiente*. INEGI.
- JSIM. (2009). *Ebara Plasma Torch Type Incineration Ash Melting System*. Recuperado el 5 de Octubre de 2008 de [http://www.gec.jp/JSIM\\_DATA/WASTE/WASTE\\_3/html/Doc\\_461.html](http://www.gec.jp/JSIM_DATA/WASTE/WASTE_3/html/Doc_461.html)
- Katou, Koutaro, Tomonori Asou, Yoshihito Kurauchi, Ryoji Sameshima. (2001). Melting municipal solid waste incineration residue by plasma melting furnace with a graphite electrode. *Thin Solid Films*. 386, 183-188.
- Larson, E.D. (1998). *Small-Scale Gasification-Based Biomass Power Generation*. Princeton University
- Leal Quirós, Edbertho. (2004). Plasma processing of municipal solid waste. *Brazilian Journal of Physics* 34 (04B), 1587-1593.
- FAO. (1996). *Capítulo 4: Eliminación de residuos*. En Eliminación de grandes cantidades de plaguicidas en desuso en los países en desarrollo, 4: Colección FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations): Eliminación de plaguicidas. ONU. Recuperado el 15 de Septiembre de 2008 de: <http://www.fao.org/docrep/W1604S/w1604s07.htm>,
- Heberlein, Joachim, Murphy, Anthony B. (2007). Thermal plasma waste treatment. *Journal of Physics D: Applied Physics* 41 (5) 053001 (20pp)

- Moustakas, K., G. Xydis, S. Malamis, K.-J. Haralambous, and M. Loizidou. (2008). Analysis of results from the operation of a pilot plasma gasification/vitrification unit for optimizing its performance. *Journal of Hazardous Materials* 151, 473-480
- Quintanilla, Ana Luz, And David W. Fischer. (2003). La energía eléctrica en Baja California y el futuro de las renovables. Una visión multidisciplinaria. Universidad Autónoma de Baja California.
- Rutberg, G. (2002). Some plasma environmental technologies developed in Russia. *Plasma Sources Science and Technology*. 11 (2002) A159–A165
- Sánchez, M.E., M.J. Cuetos, O. Martínez, A. Morán. (2007). Pilot scale thermolysis of municipal solid waste: Combustibility of the products of the process and gas cleaning treatment of the combustion gases. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 78 (1), 125-132.
- SEMARNAT. (2005). *Indicadores básicos del desempeño ambiental de México: 2005*. Recuperado el 2 de Septiembre de 2008 de [http://www.semarnat.gob.mx/informacionambiental/snua/Documents/pdf/Indicadores\\_basicos\\_2005.pdf](http://www.semarnat.gob.mx/informacionambiental/snua/Documents/pdf/Indicadores_basicos_2005.pdf)
- Smirnov, B.M. (1977). Introduction to plasma physics. Mir Publishers, Moscow.
- Williams, Robert. (2004). Technology Assessment for Biomass Power Generation. University of California.

Este documento se debe citar como:

Taboada-González, P., Aguilar-Virgen, Q. y Armijo-de Vega, C. (2009). **La tecnología de plasma y residuos sólidos**. Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY, 13-2, pp. 51-56, ISSN: 1665-529X.