

**BIOGAS: UNA ALTERNATIVA ENERGETICA PARA LOS RELLENOS SANITARIOS  
URBANOS Y UN BENEFICIO MITIGADOR DE CAMBIO CLIMATICO.**

**CARLOS GEOVANNY BORDA PEREZ**

**2700658**

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
PLANEACIÓN AMBIENTAL Y MANEJO INTEGRAL DE LOS RECURSOS  
NATURALES  
BOGOTA, D.C.  
2016**

# **BIOGAS: UNA ALTERNATIVA ENERGETICA PARA LOS RELLENOS SANITARIOS URBANOS Y UN BENEFICIO MITIGADOR DE CAMBIO CLIMATICO.**

## **BIOGAS: AN ENERGETIC ALTERNATIVE FOR URBAN SANITARY FILLERS AND A PROFIT CLIMATE CHANGE ABATEMENT**

Carlos Geovanny Borda Pérez

Ingeniero Civil, Funcionario, Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos –  
UAESP Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia  
c.borda123@gmail.com

### **RESUMEN**

De acuerdo al Protocolo de Kyoto el cual está vinculado a la convención Marco de las Naciones Unidas para el cambio climático (UNFCCC), se hace necesario el establecimiento de compromisos para la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), no obstante bajo esta premisa, en Colombia se desarrollan proyectos de captación de biogás generados por rellenos sanitarios (RS) en ciudades como Armenia, Cartagena, Montería y Bogotá D.C cuyos objetivos tienen como fin evitar la emisión del metano generado directamente a la atmosfera, lo cual se establece con la implementación técnica, control, operación y gestión de proyectos MDL (Mecanismos de desarrollo limpio). Por consiguiente, este tipo de proyectos son desarrollados en los vertederos, puesto que uno de los principales productos derivados de la descomposición de los residuos es la generación del gas de vertedero o biogás, a partir de la degradación de la materia orgánica presente en los residuos tales como restos de comida, papel, etc. mediante la acción de microorganismos en condiciones anaerobias.

Es así, como a través del escenario del cambio climático, se desarrollan alternativas energéticas y a su vez de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GE) con proyectos tales como la captación de biogás, por lo tanto, se hace importante realizar un análisis sobre si este tipo de proyectos contribuyen efectivamente a la disminución de gases de efecto invernadero y poder tener una visión más clara sobre este tipo de metodologías.

**Palabras Clave:** Gases de efecto invernadero (GE), Biogas, energía, metano, vertedero, mecanismos de desarrollo limpio (MDL).

## ABSTRACT

According to the Kyoto Protocol which is linked to the convention of the United Nations Framework on Climate Change (UNFCCC), is necessary the establishment of commitments to reduce emissions of greenhouse gases (GHGs), however under this premise, in Colombia are developed capture projects biogas generated by landfills in cities such as Armenia, Cartagena, Monteria and Bogota D.C whose objectives are intended to prevent the emission of methane generated directly into the atmosphere, which is established with the technical implementation, control, operation and management of projects CDM (Clean Development Mechanisms), which are in the (UNFCCC), now therefore this type of CDM projects are developed in landfills, since one of the main products derived from the decomposition of waste is the generation of landfill gas or biogas from degradation organic matter in the waste such as (food scraps, paper, etc.) by the action of microorganisms under anaerobic conditions.

Thus through the scenario of climate change energy alternatives are developed and in turn reducing emissions of greenhouse gases (GE) with projects such as biogas capture, therefore becomes important to analyze whether this type projects effectively contribute to the reduction of greenhouse emissions and to have a clearer vision of this type of methodology

**Key Words:** Greenhouse gases (GG), Biogas, energy, methane, landfill, clean development mechanism (CDM).

## INTRODUCCION

El cambio climático es, posiblemente, el principal problema relacionado con el ambiente planetario en el presente siglo. Año tras año se superan los registros históricos de la temperatura del aire alrededor del mundo. Las sequías o las inundaciones devastan territorios vinculados con la agricultura y la ganadería y afectan de modo severo la seguridad alimentaria de las comunidades rurales y como consecuencia las comunidades urbanas que dependen de ellas. No obstante, las manifestaciones del cambio climático en Colombia se reflejan en el incremento progresivo de la temperatura del aire en los recientes decenios, en las modificaciones de las condiciones pluviales en relación con los decenios previos y en el aumento en la frecuencia de eventos meteorológicos extremos o sin precedentes. Ahora pues, los cambios previstos en el clima para los próximos decenios, (IDEAM, 2010 [1]) confirman la tendencia hacia mayores temperaturas y eventos extremos más frecuentes que en el siglo XX.

Una de las razones por las que se ha dado el cambio climático es el aumento de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmosfera debido a las actividades antropogénicas, lo que ha contribuido en el calentamiento de la tierra. Una de las actividades importantes a este aumento, ha sido el manejo de residuos sólidos porque estos durante su proceso

de descomposición generan GEI. (IDEAM, 2010). Con el fin de mitigar y reducir este tipo de emisiones de GEI en el Protocolo de Kyoto se establecieron los proyectos de Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), como un instrumento económico, estimulando el emprendimiento verde tanto local como internacional que se traduce en oportunidades de negocio (Sanabria & Hurtado, 2013 [2]).

Por otro lado, de acuerdo a lo mencionado anteriormente el aprovechamiento del Biogás se convierte en un proyecto MDL de importancia significativa para los rellenos sanitarios, debido a que ayuda a reducir las emisiones de GEI, según lo establecido en el protocolo de Kioto, además que trae otros beneficios como mejoras en la calidad del aire (reducción de los malos olores), estabilidad geotécnica de la masa de residuos, minimización del riesgo de incendios, uso del biogás como combustible, entre otros. El relleno Sanitario Doña Juana (RSDJ), no ha sido ajeno a este proceso desde el año 2007 la Unidad Administrativa Especial de Servicios públicos – UAESP, otorgo la concesión para la recolección, tratamiento, aprovechamiento y destrucción del biogás generado en el RSDJ, aplicando el mecanismo de desarrollo limpio (MDL) del Protocolo de Kyoto para reducir las emisiones de contaminantes y gases efecto invernadero generados en el relleno y contribuir al desarrollo sostenible local en términos del medio ambiente, factores sociales y económicos.

Por otra parte, el concepto de sistemas de energía basados en biogás de acuerdo a (A. Arrigoni. 2009 [3]), es hasta cierto grado equivalente al encontrado en los sistemas de energía basados en biomasa, la cual es muy utilizada en grandes industrias para el aprovechamiento de sus residuos, pues de esta manera el proceso aumenta su eficiencia entre un 70% y 85%. En adición, el biogás puede ser producido a partir de estiércol, desechos humanos orgánicos y la degradación vegetal, junto con otra serie de factores, lo cual se puntualizan como lugares ideales para la producción de energía a partir de biogás. Sin embargo esta no es una condición dada para los rellenos sanitarios en donde se ubican los residuos sólidos urbanos (RSU).

Por otra parte, hoy en día gracias a los estímulos financieros de gobiernos de Latino América las plantas de generación se proponen como finalidad reducir las emisiones generadas de GEI, esto gracias a la significativa acogida de los Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL), que han aumentado de forma sobre saliente los beneficios económicos y sociales que se pueden recibir de una planta de generación de energía de este tipo (Panesso, A. *et al.* 2011[4]). Finalmente resulta de gran interés continuar con el desarrollo de los biocombustibles con el objeto de obtener mejores rendimientos y calidad en cuanto a su producción, reduciendo a su vez la contaminación ambiental producida por los RSU y así continuar originando el desarrollo de tecnologías y de igual forma la transferencia de las mismas al sector privado, social y público.

## **1. MATERIALES Y MÉTODOS**

Para la producción de este documento fue necesario realizar un análisis investigativo sobre el gas proveniente de los rellenos sanitarios urbanos y su tratamiento, sin dejar a un lado las observaciones y estudios realizados en el relleno sanitario Doña Juana de la ciudad de Bogotá D. C.

### **1.1. Biogás del relleno sanitario Doña Juana**

De acuerdo a (Ibagon, M. 2012 [5]), el proyecto de biogás Doña Juana surge de la oportunidad existente en la utilización de los escapes de metano que son producidos en el relleno y de los cuales no se tenía ningún uso. Por consiguiente, este proyecto busca el aprovechamiento del gas que proviene del relleno sanitario para la producción de electricidad y en una segunda etapa para ser utilizado como fuente de energía térmica, lo cual se logra a través de la captura de biogás proveniente de la descomposición de lixiviados y basuras, por medio de unas “celdas de combustible que operan gracias a la combinación electroquímica del hidrogeno y el oxígeno para producir energía”. (Giraldo & Espinel. 2010 [6]).

#### **1.1.1. Aspectos básicos**

A través de una serie de investigaciones, se ha evidenciado que en la actualidad los rellenos son una fuente de energía cuyo potencial está siendo desperdiciado, puesto que estos pueden ser utilizados para el aprovechamiento de energía en forma de biomasa y en algunos lugares como biogás. Ahora, para que un relleno genere biogás es preciso que la basura depositada incluya materia orgánica y que existan condiciones para la descomposición anaerobia. Más aun, es necesario considerar que la generación de biogás de los rellenos no es invariable con el tiempo, puesto que en los primeros años hay un aumento (primeras fases de generación del biogás), mientras que a partir del tercer año esta comienza a descender lentamente (A, Beyebach. 2005 [7]).

Ahora pues, esta llamada descomposición anaerobia se realiza en ausencia de aire de la celulosa que contienen materiales orgánicos, tales como estiércol, degradación de plantas y otro tipo de materia orgánica, lo cual da como resultado una diferencia de oxígeno en la fermentación durante la producción de gas combustible denominado biogás.

Los gases que se pueden encontrar en los rellenos incluyen Amoniac (NH<sub>3</sub>), Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), Monóxido de Carbono (CO), Hidrogeno (H), Sulfuro de Hidrogeno (H<sub>2</sub>S), Metano (CH<sub>4</sub>), Nitrógeno (N<sub>2</sub>) y Oxigeno (O<sub>2</sub>) (D. Alzate, A. García. 2009 [8]). El metano

y el dióxido de carbono son los principales gases procedentes de la descomposición anaerobia de los componentes biodegradables de los residuos orgánicos en los rellenos sanitarios urbanos. A continuación en la Tabla 1 se observan los constituyentes típicos encontrados en el gas de un relleno sanitario urbano, cabe aclarar que la distribución exacta varía de acuerdo a la antigüedad del vertedero y las características propias de la basura (D. Alzate, A. García. 2009).

**Tabla 1.** Constituyentes típicos encontrados en el gas de un relleno sanitario urbano.

Componente	Símbolo	Base volumen seco [%]
Metano	CH <sub>4</sub>	50-70
Dióxido de Carbono	CO <sub>2</sub>	35-55
Nitrógeno	N <sub>2</sub>	2-5
Oxígeno	O <sub>2</sub>	0.1-1
Sulfuros, Disulfuros, Mercaptanos, etc.	--	0-1.0
Amoníaco	NH <sub>3</sub>	0.1-1
Hidrógeno	H <sub>2</sub>	0-0.2
Monóxido de carbono	CO	0-0.2

**Fuente:** Panesso, A. et al. 2011.

La producción de biogás ayuda a reducir las emisiones de CH<sub>4</sub> a la atmósfera, el cual es 21 veces más dañino que el CO<sub>2</sub> como gas de invernadero, la transacción de estas emisiones se transforma en contratos de compra-venta en los cuales la parte interesada le paga a la otra por la reducción de estas emisiones de gases para mitigar el cambio climático (Escalera *et al.* 2010 [9]).

## 1.2. Descripción del proceso

En la producción de biogás ocurre una degradación de la materia orgánica vía anaerobia por determinadas bacterias. Este proceso se realiza de forma anóxica, puesto que las bacterias encargadas de realizar este proceso son estrictamente anaerobias y por lo tanto solo pueden sobrevivir en ausencia de oxígeno atmosférico (Hilbert, 2003 [10]).

Existe un número de bacterias que se encuentran implicadas en la digestión anaerobia de la materia orgánica incluyendo bacterias generadoras de ácido acético y metano, estas bacterias se alimentan de los desechos y las hacen experimentar diversos procesos que las convierten a moléculas intermedias incluyendo los azúcares, el hidrógeno y el ácido acético para ser finalmente convertidos a biogás (Smil. 1997 [11]). El proceso de descomposición de residuos orgánicos resulta complejo y ocurre en diversas etapas de acuerdo con las condiciones del medio, determinadas por la temperatura, la presencia de oxígeno, las características del residuo y la edad del relleno sanitario, principalmente (Camargo, Y. & Vélez, A. 2009 [12]). En condiciones ambientales normales, los gases que se producen en el suelo por descomposición de la materia vegetal, van a la atmósfera mediante difusión molecular. En el caso de un vertedero activo, los gases producto de la descomposición de la basura, se encuentran a una presión interna que normalmente es mayor a la presión atmosférica, lo que le permite al gas de vertedero

salir mediante difusión y flujo convectivo (conducido por presión) (Escalera et al. 2010). Es así cómo es posible identificar cinco fases del proceso:

### **1.2.1. Etapas del proceso de generación de biogás en un relleno sanitario urbano (RSU)**

Se identifican cinco etapas:

Fase I: Ajuste inicial: en esta fase los componentes orgánicos biodegradables de los RSU's sufren descomposición microbiana, que inicia inmediatamente después de la disposición de los residuos sólidos en el relleno sanitario y en la que las sustancias fácilmente biodegradables se descomponen por la presencia de oxígeno y se propicia la formación de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), agua, materia parcialmente descompuesta registrando temperaturas entre 35 y 40 °C (Camargo, Y. & Vélez, A. 2009).

La fuente principal de organismos, aerobios y anaerobios, responsable de la descomposición de los residuos, es el suelo que se utiliza como cubrición diaria y final. Otras fuentes de organismos son el lixiviado reciclado y los fangos digeridos de plantas de tratamiento de aguas residuales evacuados en muchos vertederos de RSU's (Villarrubia, M. and Villarrubia, J. 2001[13]).

Fase II: Fase de transición: En esta fase se reduce el oxígeno y comienzan a desarrollarse las condiciones anaerobias. Mientras el vertedero se convierte en anaerobio. Con el desarrollo de condiciones anaeróbicas en la que ocurre el proceso de Fermentación, actúan los organismos facultativos con la producción de ácidos orgánicos y reduce significativamente el pH, condiciones propicias para la liberación de metales en el agua y la generación de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) (Camargo, Y. & Vélez, A. 2009).

Fase III: Fase ácida: es el resultado de la acción de organismos formadores de metano ( $\text{CH}_4$ ), que en las condiciones adecuadas, actúan lenta y eficientemente en la producción de este gas mientras reducen la generación de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Durante esta fase se acelera la actividad microbiana iniciada en la fase II, con la producción de cantidades significativas de ácidos orgánicos y pequeñas cantidades de Hidrógeno. El primer paso implica la transformación, mediada por enzimas (hidrólisis), de compuestos con alto peso molecular como por ejemplo (lípidos, polisacáridos, proteínas y ácidos nucleicos) en compuestos aptos para ser utilizados por los microorganismos, como fuentes de energía y de carbono celular. El segundo paso (acidogenesis) implica la conversión microbiana de los compuestos resultantes del primer paso, en compuestos intermedios de bajo peso molecular, como los son el ácido acético ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) y las pequeñas concentraciones de ácido fulvico y otros ácidos más complejos. El dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) es el principal gas generado durante la fase III, aunque también se producen cantidades más pequeñas de hidrogeno ( $\text{H}_2$ ). Los microorganismos implicados

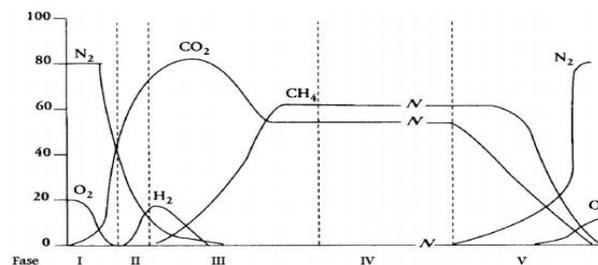
en esta conversión, llamados colectivamente no metano génicos, son bacterias anaerobias (Tchobanoglous, G. *et al.* 1994 [14]).

**Fase IV:** Fase de Fermentación del metano: que registra la más alta producción de metano oscilando entre 40-60% de metano (CH<sub>4</sub>) en volumen. En esta fase predomina un segundo grupo de microorganismos, que convierten el ácido acético y el hidrógeno (producidos en la fase ácida) en CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub>. En algunos casos, estos organismos comenzarán a desarrollarse hacia el final de la fase III. Los microorganismos responsables de esta conversión son estrictamente anaerobios y se llaman metanogénicos. Colectivamente, se identifican en la literatura como metanogénicos o formadores de metano. En la fase IV la formación de metano y ácido se produce simultáneamente, aunque la velocidad de formación de ácidos es considerablemente más reducida (Camargo, Y. & Vélez, A. 2009).

**Fase V:** Fase de maduración: la producción de metano (CH<sub>4</sub>) comienza a disminuir y la presencia de aire atmosférico introduce condiciones aeróbicas en el sistema. Se produce después de convertirse el material inorgánico biodegradable en CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> durante la fase IV. Mientras la humedad sigue migrando a través de los residuos, porciones del material biodegradable que anteriormente no estaban disponibles se van convirtiendo.

Durante la fase V la velocidad de generación del gas de vertedero, disminuye significativamente; porque la mayoría de los nutrientes disponibles se han separado con el lixiviado en las fases anteriores, y los sustratos que quedan en el vertedero son de una degradación lenta. Los principales gases de vertedero que han evolucionado en la fase V son CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub>. Según las medidas de sellado del vertedero, también pueden encontrarse pequeñas cantidades de nitrógeno y oxígeno en el gas (Camargo, Y. & Vélez, A. 2009).

A continuación se presenta la figura 1 de composición de biogás en una celda de relleno sanitario



**Figura 1.** Composición de biogás en una celda de relleno sanitario. **Fuente:** Tchobanoglous, G. *et al.* 1994

Estas fases afectan la composición del biogás y la duración de cada fase se encuentra determinada por las condiciones climáticas y los factores operativos del relleno sanitario. Ahora pues, en el proceso de producción de biogás los factores que intervienen así como

las variables son los mismos que interceden y determinan el rendimiento del mismo. No obstante, cabe destacar que el poder calorífico de un combustible por unidad de masa o volumen es importante porque da idea del rendimiento que esta tendrá al ser usado. En la tabla 2 se muestra el poder calorífico de diferentes combustibles en comparación con el biogás.

**Tabla 2:** Comparación entre el poder calorífico del biogás con el de otros combustibles

Combustible	Poder calorífico Kcal/m <sup>3</sup>	Poder calorífico Kcal/Kg	Equivalentes a 1000m <sup>3</sup> de biogás
Biogás	5,335	-----	1,000m <sup>3</sup>
Gas natural	9,185	-----	581 m <sup>3</sup>
Metano	8,847	-----	603 m <sup>3</sup>
Propano	22,052	-----	242 m <sup>3</sup>
Butano	28,588	-----	187 m <sup>3</sup>
Electricidad	860Kcal/KW-hr	-----	6,203 m <sup>3</sup>
Carbón	-----	6,870	776Kg
Petróleo	-----	11,375	470Kg
Aceite combustible	-----	10,138	526Kg

**Fuente:** López. 2008 [15]; en Gutiérrez, G. *et al.* 2012.

En cuanto a la combustión, un metro cubico de biogás representa un equivalente de 5.96 kW. Por cada kW de energía producido por biogás en lugar de diésel, por ejemplo, se reduce 0.34 kg de CO<sub>2</sub> a la atmosfera (Kumar *et al.* 2000 [16]). El valor neto en calorías de un metro cubico de biogás equivale a la energía emitida por la combustión de 0.55 litros de diésel (Sasse, 1998 [17]). La tasa calorífica del biogás es de 12000 Btu/kWh en turbinas de ciclo combinado. Un equipo de cogeneración (motor térmico, generador asincrinico, sistema de refrigeración externo) consume 8 m<sup>3</sup>/h de biogás y produce 13 kW eléctricos y 32000 Kcal/h.

Es importante hacer mención que un metro cubico de biogás es suficiente para:

- Generar 1.25kW/h de electricidad
- Generar 6 horas de luz equivalente a un bombillo de 60 watts.
- Poner a funcionar un refrigerador de 1 m<sup>3</sup> de capacidad por un periodo de tiempo de una hora.
- Hacer funcionar una incubadora de 1 m<sup>3</sup> de capacidad por un periodo de 30 minutos hacer funcionar un motor de 1 HP durante dos horas (López. 2008).

## 2. RESULTADOS

### 2.1. Relleno sanitario Doña Juana

Como se ha mencionado con anterioridad y gracias a los proyectos MDL el relleno Sanitario Doña Juana, tiene una capacidad instalada para tratamiento de biogás de 15000 Nm<sup>3</sup>/h, en la actualidad destruye térmicamente por combustión aproximadamente 5500 Nm<sup>3</sup>/hr de biogás, cuya composición se encuentra entre el 52 y el 53% de metano, alrededor del 30% es CO<sub>2</sub> y el 2% Oxígeno, el resto son gases no significativos en el proceso, de igual manera las reducciones de emisiones de CO<sub>2</sub>/mes para el año 2015 fueron de 51.849 Ton de CO<sub>2</sub> equivalente/mes, en síntesis, es posible mencionar que desde el 22 de septiembre de 2009, hasta Enero de 2016 se han reducido 4.382.044 ton de CO<sub>2</sub> equivalente.

Por otro lado, en la actualidad la planta de Biogás Doña Juana tiene la capacidad de generar 0.6 mW/h de energía, en resumen, desde de noviembre de 2010 cuando se empezó a generar energía a partir de biogás a la fecha se han obtenido 2.382.378 kW. Con lo anteriormente mencionado es posible ver que los proyectos de energía a partir de biogás son una forma adecuada para la generación de energía y a si mismo reducir los gases de efecto invernadero que se ven implicados en el proceso de calentamiento global. A continuación se observa la **tabla 3** con otros detalles pertinentes al proceso de biogás en Doña Juana.

**Tabla 3.** Observaciones Generales del proyecto de Biogás en el relleno Sanitario Doña Juana.

Se requieren de 0.5 - 0.58 m <sup>3</sup> de biogás con una concentración de metano de alrededor del 53% para generar 1 kw.
1 Ton de residuos orgánicos puede producir entre 60 - 120 m <sup>3</sup> de biogás en 15 años.
De enero a Diciembre de 2015 se han producido 204.531 kw, para autoabastecimiento
Las zonas de las cuales se capta la mayor cantidad de biogás son: optimización fase I, zona VIII y Biosolidos.
Las antorchas deben operar a una temperatura mínima de 700C, que garantiza la destrucción del metano CH <sub>4</sub> .
Comportamiento CRES: actualmente alrededor de 0,68 euros
El kWh a 30 de marzo de 2016 tiene un precio de \$851.18

Fuente: Inter DJ. Union Temporal Inter DJ. 2016 [18]

### 2.2. Actividades adelantadas en el proyecto de generación de energía

En la siguiente **tabla 4** se presentan de forma muy sucinta las acciones generadas en el proyecto de biogás para la generación de energía.

**Tabla 4.** Acciones generadas para el proyecto de Biogás para la Generación de Energía

Se realizó la inscripción de la empresa como generador de energía ante la Superintendencia de Servicios Públicos para operar la planta de 1.7 Mw y la de 19.9 Mw.
Reforma a los estatutos mediante la cual se adecuo su objeto social conforme a las exigencias de la ley 143 de 1994
Notifico el proyecto de generación ante la Comisión de Regulación de Energía y Gas CREG para operar la planta de 1.7 Mw y la de 19.9 Mw.
Solicito y obtuvo la autorización de la ANLA para poner en marcha la planta de 1.7 Mw, conforme al literal d del numeral 4 del artículo 8 del Decreto 2820 de 2010.
Inició el trámite de registro del proyecto de generación de 1.7 Mw ante la Unidad de Planeación Minero Energética UPME, entidad que exonero de esta obligación a BDJ pues esta empresa cuenta con la infraestructura para poner en marcha este tipo de proyectos.
Notifico al concejo nacional de operaciones CON sobre la iniciación del proyecto de 1.7 Mw, pero debido a que CODENSA no ha avanzado en la firma del contrato de conexión, no se ha podido dar inicio al proyecto de generación de 1.7 Mw.
Realizó el registro del proyecto ante la UPME para las 3 fases que conforman el proyecto de 19.9 Mw (Fase 1: 1.7 Mw, Fase 2: 10Mw, Fase 3: 19.9Mw).
La composición del gas que emitimos a la atmosfera es N, O, H, CO2

**Fuente:** Inter DJ. Union Temporal Inter DJ. 2016

En términos generales el Plan de Manejo Ambiental (PMA) del proyecto está bien estructurado ya que cuenta con la (a) información del proyecto, (b) caracterización del área de influencia (biótico, abiótico y socioeconómico), (c) demanda de recursos naturales: permisos para captación de aguas, vertimientos, ocupación de cauces, materiales de construcción, aprovechamiento forestal, levantamiento de veda, emisiones atmosféricas y gestión de residuos sólidos, (d) Información de la evaluación de impactos ambientales y análisis de riesgos, (e) zonificación de manejo ambiental: identificación de áreas de exclusión y áreas de intervención, (f) evaluación económica de los impactos positivos y negativos del proyecto, (g) PMA con programa de manejo para cada proyecto y costos de implementación, (h) programa de seguimiento y monitoreo para cada área de influencia (biótico, abiótico y socioeconómico), (i) plan de contingencias para construcción y operación, frente a derrames, incendios, fugas, emisiones y/o vertimientos, (j) plan de desmantelamiento y abandono: uso final del suelo, medidas de manejo, restauración y reconfiguración morfológica y (k) plan de inversión del 1% como una compensación adicional para la comunidad.

### 3. CONCLUSIONES

Se puede afirmar que la energía eléctrica generada a través del proceso de captación de biogás de los rellenos sanitarios urbanos, pueden contribuir al desarrollo sustentable, a la generación de empleos y al desarrollo de la localidad, Adicionando a ello que la comercialización de energía eléctrica puede generar ganancias adicionales que logran hacer más rentable la operación de los RSU.

Además que, reducir las emisiones de metano de los rellenos sanitarios urbanos es una de las mejores formas de contribuir a un impacto benéfico a corto plazo al mitigar el cambio climático global.

Existe cumplimiento para cada una de las fichas del PMA del relleno sanitario Doña Juana y se evidencia un continuo proceso de sensibilización al personal para mitigar los posibles impactos ambientales que se puedan generar durante la ejecución de las actividades propias y de los contratistas a cargo.

Finalmente, la utilización de este tipo de metodologías trae implícitos beneficios tales como: la reducción de rellenos clandestinos, lo cual disminuye el impacto ambiental que estos generan; la generación de fuentes de empleo debido a la posible instalación de plantas de energía y al ser utilizado el biogás como fuente de energía se genera una reducción de emisiones de gases de efecto invernadero GEI a la atmosfera.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2010). Indicadores, tendencias y escenarios hidrológicos para el Cambio Climático. Disponible en: [http://cambioclimaticomacizo.org/siprocambioclimatico/documentos/indicadores/Indicadores\\_tendencias\\_y\\_escenarios\\_hidrologicos\\_para\\_el\\_Cambio\\_Climatico\\_062010.pdf](http://cambioclimaticomacizo.org/siprocambioclimatico/documentos/indicadores/Indicadores_tendencias_y_escenarios_hidrologicos_para_el_Cambio_Climatico_062010.pdf). Accedida en Abril de 2016.
- [2]. Sanabria, S. E., & Hurtado, E. (2013). Emprendimiento Verde en Colombia: El Caso del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL). En: Revista Entramado, 9(1), 2865.
- [3]. A. Arrigoni, (2009). La Generación Eléctrica mediante el uso de Residuos Sólidos Urbanos. En: Mundo Eléctrico Colombiano, Vol. 23. No. 76. pp. 100-101. 2009.
- [4]. Panesso, A. *et al.* (2011). análisis de gas captado en un relleno sanitario como combustible primario para la generación de energía eléctrica. En: Scientia et Technica, XVII, No 47. Universidad Tecnológica de Pereira. ISSN 0122-1701.

- [5]. Ibagón, L. (2012). Proyecto MDL Biogás Doña Juana. Consultado el 15 de Marzo de 2016. Disponible en: <http://bcduniandes2012.blogspot.com.co/2012/11/proyectomdl-biogas-dona-juana-por.html>
- [6]. Giraldo, E., & Espinel, & D. (2010). Evaluación económica del uso de las celdas de combustible para generar energía utilizando biogás proveniente de un relleno sanitario. Bogotá. D.C.
- [7]. A. Beyebach. (2005). Opinión, El biogás de vertederos. En: Ambienta, pp. 66-69, Sept. 2005.
- [8]. D. Alzate, A. García. (2009). Análisis de viabilidad para el aprovechamiento energético de vertederos controlados de residuos sólidos urbanos, Tesis de Pregrado, Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia. 2009. p. 26.
- [9]. Escalera C, M.E., L.E. Padilla Bernal y A, Gracia. (2010). Un estudio empírico sobre los proyectos MDL en granjas porcinas. Consultado el 4 de Abril de 2016. Disponible en: <http://www.eumed.net/cursecon/ecolat/mx/2010/cbs.htm>
- [10]. Hibert, J. A. (2003). Manual para producción de biogás, Buenos Aires, Argentina, Instituto de ingeniería rural, I.N.T.A, Castelar.
- [11]. Smil, V. (1997). Abonos Nitrogenados: Abuso de una Cosa Buena Investigación y Ciencia, Barcelona, Prensa Científica.
- [12]. Camargo, Y. & Vélez, A. (2009). Emisiones de Biogás producidas en rellenos sanitarios. II Simposio Iberoamericano de ingeniería de residuos. REDISA. UNIVERSIDAD DEL NORTE.
- [13]. VILLARRUBIA, M. and VILLARRUBIA, J. Producción de biogás en vertederos de residuos sólidos urbanos (RSU) En: Montajes e instalaciones. Madrid. Vol.31, no.355 (Nov. 2001) ; p.95 ; Tchobanoglous, George ; Theisen, Hilary y VIGIL, Samuel A. (1994). Gestión Integral de residuos sólidos. España: McGraw Hill.
- [14]. Tchobanoglous, George ; Theisen, Hilary y Vlgil, Samuel A. (1994). Gestión integral de residuos sólidos. España: McGraw Hill.
- [15]. Lopez, C. (2008). Proceso para el tratamiento de residuos ganaderos en la isla de Gran Canaria, Consultado el 26 de Marzo de 2016. Disponible en: <http://www.redisa.uji.es/artSim2008/tratamiento/A13.pdf>.
- [16]. Kumar, M. S. Humar and M.P. Poonia. (2000). Methane, Carbon dioxide and nitrous oxide reduction through the application of biogas technology. Indian Journal of environmental health. 42(3), pp. 117-120.

[17]. Sasse, L. (1998). Biogas plants. Desing and Datails of simple Biogas Plants. Deutsches Zentrum Für Entwicklungstechnologien (GATE). Eschborn, DE. 66.

[18]. Unión Temporal Inter DJ. (2016). Informe Mensual de Avance. Versión 04.