

**OPTIMIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS EN UN RELLENO  
SANITARIO: ESTUDIO DE CASO**

*Yoann OGOR, PROACTIVA MEDIO AMBIENTE, Calle 98 N. 9-03 ofc. 804 Bogotá  
(COLOMBIA), [yogor@biogas.com.co](mailto:yogor@biogas.com.co)*

**RESUMEN**

El Relleno Sanitario Regional Presidente (RSRP) recibe alrededor de 550 toneladas de residuos por día. Se está analizando la factibilidad de implementar un proyecto de destrucción térmica del biogás, así como un aprovechamiento por generación eléctrica para autoconsumo (mediante Mecanismo de Desarrollo Limpio - MDL).

Una evaluación teórica del potencial de producción de biogás indicó que existía una producción de biogás captable alrededor de 1.600 Nm<sup>3</sup>/h (55% CH<sub>4</sub> / 45% CO<sub>2</sub>) para el año 2010. Sin embargo, unas campañas de medición in situ demostraron que la producción real apenas alcanzaba 10-15% de estas proyecciones.

Por eso, se decidió implementar un plan de acción para incrementar la producción de biogás hasta niveles que permitieran la viabilidad económica del proyecto MDL. Este plan incluye la construcción de una planta de tratamiento de lixiviados, y también la realización de una red de trincheras drenantes mixtas biogás-lixiviados (2000 ml).

Esta red de trincheras drenantes ha logrado disminuir la saturación en lixiviados y así mejorar significativamente la estabilidad del relleno. A la fecha no se tienen los resultados en términos de producción de biogás. Sin embargo, se realizó una analogía con otro proyecto del Grupo que reveló una producción de biogás de alrededor de 80 [+/- 20] Nm<sup>3</sup>/h (55% CH<sub>4</sub> / 45% CO<sub>2</sub>) por cada 100 ml de dren en el año 1 del proyecto. Esto ha demostrado un retorno sobre la inversión del proyecto y permitió a la empresa reevaluar y mantener los ingresos del proyecto MDL del RSRP.

**PALABRAS CLAVES:**

Autogeneración eléctrica, Biogás, MDL, Lixiviados, Relleno Sanitario

**INTRODUCCIÓN**

El Relleno Sanitario Regional Presidente (RSRP) es uno de los principales centros de disposición final de los residuos generados por la población del Valle del Cauca. Está ubicado en el Municipio de San Pedro y recibe un promedio diario de 550 toneladas. Su operación empezó en 1998.

Este relleno pertenece y está operado por BUGASEO S.A. ESP, filial de PROACTIVA MEDIO AMBIENTE). En 2009, se tomó la decisión de realizar un proyecto de aprovechamiento del biogás teniendo en cuenta los siguientes puntos:



## II CONFERENCIA INTERNACIONAL 'Gestión de Residuos en América Latina, GRAL 2011'

- La producción de CERs (Certified Emission Reduction = Créditos de Carbono) por destrucción del Metano (CH<sub>4</sub>) presente en el biogás por medio de un proyecto MDL (Mecanismo de Desarrollo Limpio).
- La producción de electricidad por autoconsumo del relleno (alumbrado, oficinas, tratamiento del lixiviado...).

Un diagnóstico preliminar del proyecto (realizado en 2010) demostró que el potencial de producción de biogás era significativamente inferior a las previsiones teóricas debido principalmente a una saturación por lixiviado de los residuos (potencial real alrededor de 10-15% del potencial teórico). Este diagnóstico hizo inviable el proyecto, ya que los ingresos (CERs) son directamente proporcionales a la producción de biogás.

Con base en este diagnóstico, se realizó un plan de acción para mejorar la operación del relleno, y así incrementar la producción de biogás del RSRP.

De este plan de acción, la realización del drenaje horizontal ha sido elemento clave para el proyecto MDL. Este artículo se enfoca en los resultados obtenidos en el incremento de la producción de biogás con base a la realización de los drenajes horizontales mixtos biogás – lixiviados.

Por eso, se apoya en la experiencia realizada en el RSRP, pero también en los resultados obtenidos en el proyecto de extracción de biogás del Relleno Sanitario Doña Juana (Bogotá).

### DIAGNOSTICO DE LA SITUACIÓN INICIAL RSRP

#### Evaluación de la producción de biogás captable (teórica vs. mediciones in situ)

Evaluar con confiabilidad el potencial de producción de biogás de un relleno sanitario es la base para estimar los ingresos del proyecto MDL, y también para definir, si se requiere, un plan de acción para mejorar la producción.

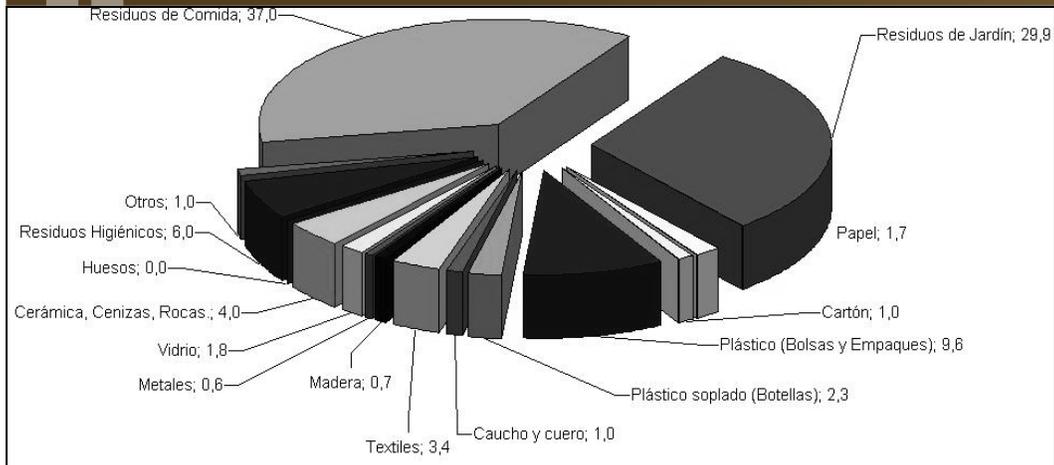
Para esto, siempre se estima, por una parte, el potencial de producción de biogás captable teórico (en función de la caracterización de los residuos, las toneladas recibidas, el tipo de cobertura, etc.) y por otra parte, se compara este modelo con la estimación in situ de la producción de biogás (determinada por medio de mediciones in situ y pruebas de extracción entre otras).

#### Caracterización de los residuos.

Los residuos que entran en el RSRP se componen en un 75% por materia degradable (residuos de comida, jardín, papel, cartón, higiénicos), como lo presenta la Figura 1 (Estudio caracterización residuos, BUGASEO, 2009):



## II CONFERENCIA INTERNACIONAL 'Gestión de Residuos en América Latina, GRAL 2011'



*Figura 1 – Caracterización residuos RSRP.*

Además de esta caracterización realizada sobre los residuos municipales (MSW), el RSRP recibe un promedio de 10% de residuos inertes.

Con base a esta información, se calculó que el potencial de producción de biogás (55%CH<sub>4</sub> / 45% CO<sub>2</sub>) alcanzaba **130 Nm<sup>3</sup>/T** (o sea un potencial de **72 Nm<sup>3</sup>/T CH<sub>4</sub>**).

### Tonelaje recibido

La Tabla 1 indica las toneladas recibidas (hasta 2010) y las proyecciones hasta 2030.

*Tabla 1. Tonelaje recibido RSRP*

Año	Toneladas recibidas RSRP	Año	Toneladas recibidas RSRP
1998	1.842	2015	218.183
1999	98.389	2.016	220.365
2000	137.817	2.017	222.569
2001	152.766	2.018	224.795
2002	157.544	2.019	227.043
2003	155.127	2.020	229.313
2004	155.711	2.021	231.606
2005	164.902	2.022	233.922
2006	185.786	2.023	236.261
2007	194.689	2.024	238.624
2008	207.532	2.025	241.010
2009	195.278	2.026	243.420
2010	207.594	2.027	245.854
2011	209.670	2.028	248.313
2012	211.767	2.029	250.796
2013	213.884	2.030	253.304
2014	216.023		

## II CONFERENCIA INTERNACIONAL 'Gestión de Residuos en América Latina, GRAL 2011'

### Modelo de producción de biogás

La producción teórica de biogás captable se calculó mediante un modelo de producción tipo multifásico de Orden 1.

La Figura 2 indica la producción teórica captable de biogás estimada por el RSRP (línea sólida negra). Se consideró una eficiencia global de captación del 70% (debido a las características de la cobertura existente).

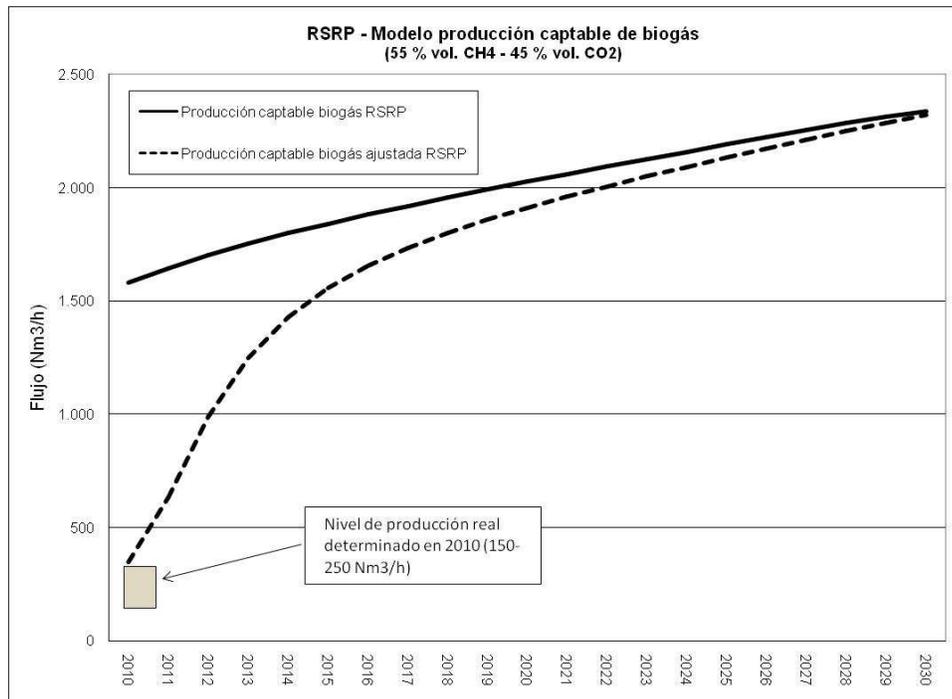


Figura 2 – Modelo producción biogás captable en el RSRP.

Con base a estas hipótesis, se estimó la producción de biogás captable teórica del año 2010 alrededor de **1.600 Nm<sup>3</sup>/h de biogás** (55% CH<sub>4</sub> / 45% CO<sub>2</sub>). Se aclara que en este modelo, el incremento de la producción de biogás está sobre todo relacionado con el incremento de las toneladas recibidas en el RSRP.

### Comparación del modelo teórico con las mediciones in situ.

En 2010, se realizó una campaña de medición in situ de la producción de biogás mediante mediciones pasivas / dinámicas en cada una de las chimeneas existentes. La extrapolación de los resultados, gracias a un modelo estático, reveló que la producción de biogás estaba dentro del rango 150 – 250 Nm<sup>3</sup>/h (55% CH<sub>4</sub> / 45% CO<sub>2</sub>).

## II CONFERENCIA INTERNACIONAL 'Gestión de Residuos en América Latina, GRAL 2011'

En conclusión, los niveles de producción captable medidos in situ representaban 10-15% del potencial de producción captable del RSRP. Esto, impedía la viabilidad económica del proyecto MDL.

El diagnóstico realizado evidenció una combinación de diferentes factores para explicar esta diferencia:

- La producción de biogás en residuos saturados de lixiviados no era significativa.
- La metodología de operación del relleno. Hay que implementar las condiciones anaeróbicas indispensables para iniciar la producción de biogás
- El uso de capas intermedias de cobertura en arcilla no facilitaba el drenaje de los gases / lixiviados ni la circulación de las bacterias

### Plan de acción para optimizar la producción de biogás.

Con base en este diagnóstico, se tomaron las siguientes acciones previas al arranque del proyecto de aprovechamiento del biogás:

- Se suprimió la re-aspersión de lixiviados en la cobertura
- Se adquirió una planta de tratamiento lixiviados con tecnología de membranas vibrantes (VSEP) y capacidad promedio diaria 2,5 L/s (puesta en marcha prevista para septiembre de 2011).
- En paralelo, se inició un plan de acción para limitar el ingreso de las aguas de lluvia dentro del relleno
- Se realizaron alrededor de 2000 ml de drenes mixtos biogás – lixiviados con el objetivo de de-saturar el relleno.
- Se perforaron 5 chimeneas equipadas de bombas neumáticas para lixiviados
- Se cambió el diseño del drenaje en las nuevas celdas del relleno (drenes horizontales y chimeneas gavión)
- Se optimizó la operación diaria del relleno
- Se prevé el cierre definitivo de +/- 60.000 m<sup>2</sup> (incluyendo un sector de 30.000 m<sup>2</sup> previsto con geomembrana)
- Se está evaluando la posibilidad de una recirculación controlada de los lixiviados para favorecer la humidificación + recirculación de las bacterias (operación en modo bioreactor)

Todo esto con el objetivo de incrementar la producción de biogás y permitir así llegar a un nivel económico viable para el proyecto MDL. La Figura 2 indica la producción teórica captable de biogás estimada por el RSRP en el modelo ajustado (*línea punteada negra*).

A continuación, se detallan la metodología de construcción y los resultados obtenidos por el proyecto de drenaje horizontal biogás-lixiviados, elemento principal de este plan de acción.

***METODOS-CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE DRENAJE HORIZONTAL MIXTO.***

Conforme al plan de acción mencionado en la sección anterior, se construyeron en el RSRP alrededor de 2000 ml de trincheras drenantes (obras 2010-2011).

El objetivo fue construir un sistema de drenaje mixto biogás-lixiviados. El lixiviado, siempre se recuperará en la parte inferior del dren, mientras que la captación del biogás puede realizarse en la parte superior o inferior.

Para el éxito del proyecto se requiere ajustar el diseño a las condiciones del relleno. Son numerosos los fracasos en este tipo de proyecto ya que el costo de inversión es significativo, lo que genera un alto riesgo económico.

A continuación, se indican algunas características del diseño (las más relevantes) del proyecto realizado en el RSRP:

**Pendiente del dren:** La pendiente del dren es el criterio más delicado del diseño. De manera general, no puede ser inferior a 8%. Sin embargo, realizando un modelo previsional de los asentamientos, es factible disminuir este valor a condición de que los asentamientos estén previstos en el mismo sentido que el dren.

**Material drenante:** Se consideró grava de río limpia y tamaño 4 pulgadas. Se diseñó una sección del dren de 0,8 m \* 1,0 m. La trinchera drenante fue recubierta de un geotextil no tejido (200 g/m<sup>2</sup>). En función de las oportunidades locales, no hay que descartar el uso de material inerte reciclable (ej: llantas trituradas...), pero siempre hay que validar la compatibilidad química del material con las condiciones in situ (pH 4-8, temperatura 40-60°C...). La protección con geotextil es imprescindible, ya que limita el taponamiento del dren con material fino.

**Tubería PEAD:** Debido a la función mixta del dren (drenaje biogás + lixiviados), se recomienda instalar un tubo en Polietileno Alta Densidad (PEAD) al centro de la trinchera drenante. Este tubo tiene 2 funciones principales:

- Facilitar la distribución de la presión de aspiración a lo largo del dren
- Mejorar el porcentaje de volumen de vacíos dentro de la trinchera drenante

Dependiendo de la ubicación del dren, el diseño consideró tubería PEAD perforada RDE 17, diámetro 110 / 160 mm. Es importante prever por lo menos 5% del área externa del tubo perforado. Para compensar los fuertes asentamientos, la unión de los tubos debe ser flexible, por ejemplo mediante uniones de mayor diámetro. Se recomienda dejar un espacio para movimiento de los tubos PEAD de por lo menos 10%.

**Densidad de los drenes:** La densidad (horizontal y vertical) del sistema de drenaje depende de la permeabilidad de los residuos, del nivel de saturación en lixiviados, así

## II CONFERENCIA INTERNACIONAL 'Gestión de Residuos en América Latina, GRAL 2011'

como de la composición de la cobertura final. Típicamente, el diseño en el RSRP consideró una distancia horizontal entre drenes de 30-50 ml. Por la construcción de las nuevas celdas, en función de los parámetros mencionados anteriormente, se considerará un espacio vertical entre cada capa de dren variable entre 6-10 ml. Es importante tener en cuenta que la permeabilidad horizontal de los residuos es 10 veces mayor que la permeabilidad vertical (debido a la compactación por capas y la presencia significativa de plásticos).

**Sistema de separación biogás-lixiviados:** En la salida inferior del dren debe ubicarse un sistema de separación biogás-lixiviados (mediante un elemento de separación realizado en material PEAD).

**Tanque de compensación hidráulica:** Una vez realizada la separación biogás-lixiviado, se debe diseñar un tanque de compensación hidráulica a la salida de la red de lixiviados. La función del tanque es impedir las entradas de aire debido a la extracción dinámica del biogás. Considerando que la presión de aspiración alcanza hasta -100 mbars, el tanque debe compensar hasta una columna de 1 m de agua.

**Estanqueidad en las salidas del dren:** En ambas extremidades (inferior / superior, si aplica) de las trincheras drenantes, se debe diseñar un sello que impedirá las entradas de aire en el dren así como los brotes no controlados de lixiviados. En el RSRP, se diseñó este sello considerando una tubería de mayor diámetro que la tubería perforada y una estanqueidad que se logra por un sello hecho con una combinación arcilla / bentonita.

La Figura 1 representa la sección típica de los drenes construidos en el RSRP.

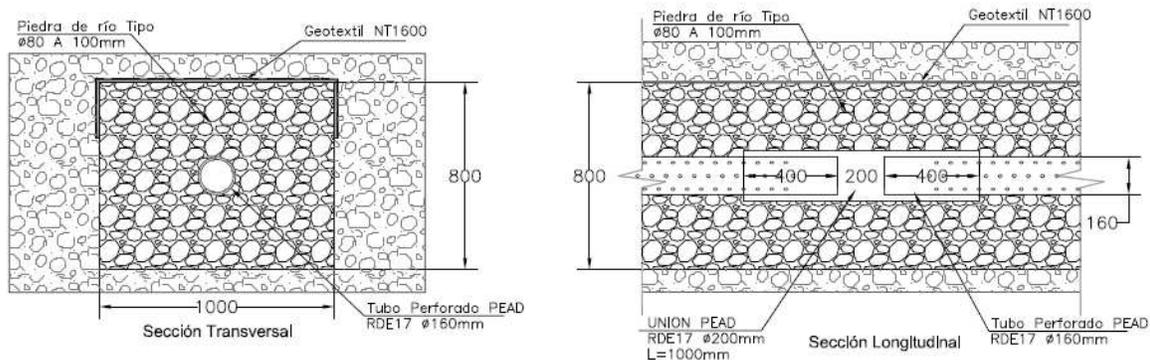


Figura 3 – Sección típica drenaje horizontal.

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN - SISTEMA DE DRENAJE HORIZONTAL MIXTO

#### Resultados del proyecto RSRP

La construcción de las trincheras horizontales empezó en Mayo de 2010. A la fecha, únicamente hay disponibles resultados sobre la producción de lixiviado (la puesta en

## II CONFERENCIA INTERNACIONAL 'Gestión de Residuos en América Latina, GRAL 2011'

marcha de la planta de destrucción térmica del biogás está prevista para enero de 2012). Sin embargo, se observa en el relleno un incremento significativo de la producción de biogás. La Tabla 3 resume los resultados obtenidos a la fecha.

Tabla 3 – Resultados proyecto drenaje horizontal RSRP

Parámetro	Resultado	Unidades
Longitud trincheras realizadas(*)	820 [+/- 50]	ml
Densidad drenes horizontal (*)	Cada 30 ml	
Producción promedia de lixiviado durante el año 1 del proyecto	<b>0,7</b> [+/- 0,2]	m3/h lixiviados por 100 ml de dren

(\*) Se realizó un solo nivel de trincheras drenantes recubiertas en este momento con 5-15 m de residuos. Se considera aquí únicamente el sector en lo cual las trincheras fueron recubiertas de nuevos residuos.

### Resultados del proyecto BDJ

En el Relleno Sanitario Doña Juana BIOGAS DOÑA JUANA (BDJ), opera el contrato de extracción y aprovechamiento del biogás del Relleno Sanitario Doña Juana (RSDJ).

En 2009-2010, se realizó un proyecto similar de trincheras drenantes mixtas con el objetivo de optimizar la producción de biogás. Las especificaciones técnicas fueron similares al diseño realizado en el RSRP. En este proyecto, ya están disponibles los resultados para producción de biogás y lixiviados, ya que la planta de destrucción térmica del biogás está en servicio (desde septiembre 2009). La Tabla 4 resume los resultados obtenidos a la fecha.

Tabla 4 – Resultados proyecto drenaje horizontal RSDJ.

Parámetro	Resultado	Unidades
Longitud trincheras realizadas (*)	1500 [+/- 100]	ml
Densidad drenes horizontal (**)	Cada 30 ml	
Producción promedia de lixiviado durante el año 1 del proyecto	<b>0,9</b> [+/- 0,2]	m3/h lixiviados por 100 ml de dren
Producción promedia de biogás durante el año 1 del proyecto	<b>81</b> [+/- 20]	Nm3/h Biogás (55% CH <sub>4</sub> / 45% CO <sub>2</sub> ) por 100 ml de dren

(\*) Solo se contemplan en este proyecto las trincheras drenantes con salida mixta biogás – lixiviados.  
(\*\*) Existe un solo nivel de trincheras, recubiertas entre 10-20 ml de residuos. Se realizó otro sistema de trincheras drenantes encima de este nivel.

## II CONFERENCIA INTERNACIONAL 'Gestión de Residuos en América Latina, GRAL 2011'

### Interpretación de resultados

Ambos proyectos demuestran una producción de lixiviados muy significativa debido al proyecto de drenaje horizontal. Los resultados con relación a la producción de biogás en el RSDJ demuestran que se rentabiliza la inversión en unos meses. Debido a las deferencias entre los 2 proyectos (tonelaje diario, diseño trincheras...), no es factible exportar directamente el nivel de producción de biogás obtenido en el RSDJ hasta las previsiones de RSRP. Para ajustar el modelo biogás del RSRP, se consideraron unos coeficientes de seguridad al respecto (según resultados indicados en Figura 2).

En el caso de RSRP, se observó un impacto significativamente positivo con relación a la estabilidad del relleno.

Por otro lado, ambos proyecto revelaron los puntos críticos del diseño:

- Realizar un estudio previo del comportamiento de los residuos (permeabilidad, asentamientos provisionales, saturación en lixiviados...).
- El sistema debe tener suficiente flexibilidad para compensar los asentamientos. El sector de la salida del dren se considera como el más crítico.
- El elemento de separación biogás/lixiviados así como el tanque de compensación deben diseñarse para que resistan las características de los lixiviados (precipitación química...). De lo contrario una cantidad significativa de lixiviados puede llegar hasta la planta MDL.
- La instalación de este sistema requiere de una capacidad suficiente para tratamiento de los lixiviados.

### CONCLUSIÓN

A la fecha, se sigue implementando el plan de acción definido para el proyecto MDL del RSRP, con base a lo cual se realizó el ajuste de las previsiones de producción de biogás.

Los resultados concretos obtenidos en el proyecto RSDJ con el sistema de trincheras drenantes permitieron soportar las decisiones económicas del proyecto MDL RSRP. La puesta en marcha de la planta MDL, así como del motogenerador para autoconsumo están previstas para inicio de 2012.

Este proyecto permite concluir sobre:

- La necesidad de una evaluación precisa del potencial de producción de biogás previa al arranque de un proyecto MDL

## II CONFERENCIA INTERNACIONAL 'Gestión de Residuos en América Latina, GRAL 2011'

- La necesidad de incluir en el presupuesto MDL las obras adicionales requeridas para favorecer la producción de biogás (drenaje biogás, perforaciones, cobertura adecuada, recirculación de lixiviados, diseño de celdas...).
- Las dificultades técnicas, así como los riesgos económicos que existen en un proyecto de aprovechamiento del biogás de relleno sanitario, ya que generalmente no se realiza la operación en el sentido de optimizar la producción del biogás (ausencia de tratamiento lixiviado, recirculación lixiviados, cobertura deficiente...).