

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

PROPUESTA METODOLOGICA PARA LA ESTIMACIÓN DE GAS METANO. CASO DE ESTUDIO RELLENO SANITARIO DOÑA JUANA, BOGOTÁ, D.C.

Elizarova Urrego Martínez, elizaurrego@hotmail.com

Este proyecto trata de una propuesta metodológica de estimación de gas metano, caso de estudio Relleno Sanitario Doña Juana, Bogotá D.C., el cual es generado durante la descomposición de los desechos por una serie de procesos químicos y biológicos que generan gases y lixiviados.

El gas es estimado mediante diferentes modelos entre los que se encuentra el modelo IPCC que posee un enfoque de descomposición de primer orden siendo este el más usado en la actualidad. Para el uso de esta metodología según Valero (2008), es necesario contar con datos actuales e históricos, sobre la cantidad, la composición y las prácticas de disposición de los desechos (Valero, 2008). Dicho modelo no cuenta con una serie de variables climatológicas y de descomposición de los residuos, que pueden ayudar a que esta metodología sea más precisa en el cálculo generando. Hasta la fecha se han comparado los tres modelos mas usados para estimar este gas que son le IPCC, EPA y Mexicano, en donde se pudo observar que el IPCC es el que más error típico.

Palabras claves: Estimación, Gas Metano, Metodologías, Residuos sólidos

INTRODUCCION

Actualmente una de las alternativas para la disposición de los residuos sólidos son los rellenos sanitarios o vertederos, los cuales son instalaciones diseñadas para operar de forma que el impacto ambiental sea sanitariamente adecuado. Sin embargo, los rellenos sanitarios por más de que sean operados de una forma adecuada generan emisiones de biogás el cual es producto de la descomposición de la materia orgánica generada por microorganismos en condiciones anaeróbicas (Martín, 1997).

La generación de estas emisiones son variables con el tiempo y con las diferentes condiciones ambientales en las que se lleva a cabo el proceso de degradación de la materia orgánica y de otros compuestos, conlleva a la generación de gas metano (CH₄) como también de compuestos tales como dióxido de carbono (CO₂), óxido nitroso (NO_x) y otros compuestos volátiles, en donde, el gas metano generado corresponde a un 40% - 50% (Fornieles, 2006). El gas metano (CH₄) producido en estos lugares contribuye aproximadamente en un 3 a un 4 por ciento de las emisiones de gases de efecto invernadero antropogénicas anuales en el mundo. (IPCC, 2006).

Esta mezcla de gases especialmente el gas metano, con el tiempo puede llegar a contribuir a la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera y además puede llegar a ser causa de explosiones dentro de los residuos sólidos. Con el propósito de evitar que esto ocurra se ha requerido de modelos de estimación de biogás que permiten proveer su comportamiento en el tiempo, sin embargo, la complejidad de los procesos que ocurren dentro de un relleno sanitario tales como los físicos, químicos y biológicos y además la deficiencia en la obtención de datos poco confiables, no han permitido que se lleve a cabo una buena estimación del biogás por

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

lo que se han creado algunos modelos empíricos para llevar a cabo la estimación de este, tales como aquellos que son regidos por la cinética de degradación de primer orden para la materia orgánica. (Meraz & Domin, 2000).

Este proyecto de investigación contiene una propuesta metodológica en la que se incluye variables y algunas constantes que no han sido consideradas en los modelos de estimación existentes tales como las condiciones ambientales del sitio de disposición final, como son la precipitación, la temperatura de interna de los residuos sólidos, y otras como la cantidad de residuos y el tipo, además, se incluirán constantes como la profundidad de la celda, el espesor de la cobertura, la humedad, pH, y la cantidad de lixiviados que son generados dentro de un vertedero.

Para el desarrollo de este proyecto de investigación se analizaron los tres modelos de estimación más usados en la actualidad EPA, Mexicano e IPCC, en donde se realizó una comparación entre ellos y además, se correlacionaron con la metodología propuesta con el único fin de observar la dispersión que existen en los datos generados por cada uno de ellos y de observar el margen de error que existe entre cada una de ellas.

METODOLOGIA

La metodología que abordó esta investigación tiene un enfoque de estudio de caso y multidisciplinario de tipo descriptivo de carácter cuantitativo, para esto se realizó un análisis estadístico multivariado con el programa SPSS versión 17. Para lograr esto, el presente trabajo se desarrolló en cuatro etapas como se describe a continuación:

Primera etapa: se realizó la revisión bibliográfica y del estado del arte en lo que respecta a las metodologías que existen para la estimación de los gases de efecto invernadero, mediante la consulta de bases de datos sciencedirect, Sage Journals, Dialnet. Dicha revisión bibliográfica llevó a la elaboración del marco teórico y conceptual del proyecto.

Así mismo, se analizó y recolectó información acerca de la emisión de gases de efecto invernadero generados en el proceso de degradación de los residuos sólidos en Bogotá. Este proceso se llevó a cabo mediante la solicitud de información a la Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos –UAESP–, a la planta de biogás y al Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y además, se realizaron visitas al relleno sanitario.

Segunda etapa: Para la estimación del gas metano con las metodologías Mexicano, EPA e IPCC, se hizo necesario descargar los software de las páginas de la EPA e IPCC con el fin de ingresar los datos que fueron suministrados por la UAESP y la planta de biogás y realizar una estimación de éste para el Relleno Sanitario Doña Juana Zona II Área 3. Para el modelo Mexicano se ingresó la cantidad de residuos sólidos dispuestos en esta Zona (clausurada), para el año 2008 246.591 toneladas y para el año 2009 219.216 toneladas.

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

Para el modelo EPA, se ingresó el total de 465.807 toneladas de residuos sólidos recibidas en la Zona II Área 3 para los años 2008 y 2009. Para el modelo IPCC solamente se tuvo en cuenta la temperatura que según este modelo Bogotá se encuentra en clima húmedo con una temperatura de 0°C-20°C y la composición de los residuos que ya está establecido en el software. Una vez hecha la estimación con estos modelos se realizó un análisis estadístico con el programa SPSS versión 17.

Tercera etapa: Para la metodología propuesta se tuvo en cuenta además de la variable de cantidad de residuos, precipitación y temperatura de los residuos sólidos una serie de constantes como la profundidad de la celda, el espesor de la cobertura, pH, humedad y la cantidad de lixiviados. Esta expresión matemática sirvió para estimar la cantidad de gas metano que se genera en el Relleno Sanitario Doña Juana Zona II Área 3, para lo cual se usó el programa estadístico SPSS versión 17. Además, para formular la expresión matemática se hizo necesario tomar como base los datos suministrados por la planta de biogás correspondientes a la captura de gas metano/hora.

RESULTADOS

Modelo Mexicano

Para estimar la cantidad de gas metano, se utilizó el software del Modelo Mexicano de Biogás, modelo que es utilizado en varios países y se aplica en rellenos sanitarios con profundidades mayores a 5 metros. Asimismo, este modelo estima la degradación producida por los residuos sólidos en los rellenos sanitarios, el cual asume que la composición de Gas Metano es del 50% aproximadamente; estimando el biogás en metros cúbicos por hora (m^3/h) o en metros cúbicos por año ($m^3/año$). De otra parte, el Metano generado se calcula usando los índices L_0 = Generación Potencial de Metano y k = Índice de Generación de Metano/año, parámetros que el modelo trae incluidos y los cuales se pueden observar en las tablas 1 y 2.

Tabla 1. Índices de Generación Potencial de Metano L_0

Precipitación anual (mm/año)	L_0 (m^3/Ton)
0-249	60
250-499	80
≥ 500	84

Tabla 2. Índices de Generación de Metano K .

Precipitación anual (mm/año)	K (por año)
0-249	0.040
250-499	0.050

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

500-999	0.065
>1000	0.080

Se ingresó al software las cantidades de los residuos sólidos dispuestas en la zona II área 3 del relleno sanitario para el año 2008 se ingresó un total de 246.591 toneladas y para el 2009 se ingresó un total de 219.216 toneladas. Se asume el 60% de eficiencia de captura, se utiliza el promedio de la precipitación anual 800 mm/año dato que fue proporcionado por la CAR. K (Índice de Generación de Metano): para una precipitación por año de 800 mm que corresponde un valor de 0.065 1/año ; L₀ (Generación Potencial de Metano) para la misma precipitación es de 84 m³/ton. De otra parte la cantidad de residuos sólidos ingresados para la zona II área 3 fue de 246.591 toneladas para el año 2008 y para el año 2009 fue de 219.216 toneladas por un total de 465.807 toneladas. En la tabla numero 3 se puede visualizar el análisis estadístico realizado en el programa SPSS versión 17

Tabla 3. Análisis estadístico Modelo Mexicano

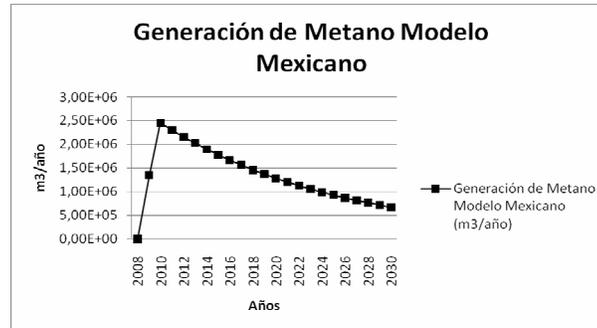
Estadística		
Cantidad Gas Metano Modelo Mexicano		
N	Valid	23
	Missing	0
	Media	1,3229E6
	Error típico	1,24732E5
	Mediana	1,2800E6
	Moda	0,00E0 ^a
	Desviación estándar	5,98195E5
	Varianza	3,578E11
	Rango	2,46E6
	Mínimo	0,00E0
	Máximo	2,46E6
	Suma	3,04E7
	Percentiles 25	8,6900E5
	50	1,2800E6
	75	1,7800E6

a. Multiple modes exist. The smallest value is shown

El promedio de gas metano generado para los años 2008-2030 corresponde a 1.3229E+06 m³/año, con una desviación estándar equivalente a 5.98195E+05 m³/año. El valor mínimo corresponde a 0 porque para el año 2008 comenzó el funcionamiento

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

de la Zona II área 3 y se cerró en el 2009 en donde comenzó las mediciones de gas metano con este modelo. El valor máximo en ese periodo de tiempo equivale a $2.46E+06 \text{ m}^3/\text{año}$. Asimismo, se estima que el 25% de las emisiones de gas metano en este periodo de tiempo equivale a $8.6900E+05 \text{ m}^3/\text{año}$, y el 75% supera el $1.7800E+06 \text{ m}^3/\text{año}$. Las observaciones estimadas se visualizan en la en gráfica 1.



Gráfica No. 1. Generación de Gas Metano. Modelo Mexicano, Relleno Sanitario Doña Juana zona

II Área 3. Modelo Mexicano de Biogás.

Según el modelo Mexicano, el pico máximo de producción de metano comienza en el año 2010 con un caudal de $2,46 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$, para luego comenzar su fase de decaimiento en el año 2011 para estimar que en el año 2030 se generará un caudal con un valor de emisión de $6,70 \cdot 10^5 \text{ m}^3/\text{año}$.

Modelo EPA

Para llevar a cabo la estimación de gas metano por el modelo EPA, se tuvo en cuenta la cantidad de residuos dispuestos acumulados en el año 2008 y 2009 con un total de 465.807 toneladas; los parámetros de L_0 (Índice de Generación de Potencial de Metano) y K (Índices de Generación de Metano), los cuales son dependientes sobre la fracción orgánica disponible, la temperatura y contenido de humedad de los desechos, en donde, se asume que la composición de Gas Metano es del 50% aproximadamente. Este modelo estima la generación de gas metano en metros cúbicos por hora (m^3/h), metros cúbicos por minuto (m^3/min) o en metros cúbicos por año ($\text{m}^3/\text{año}$). El valor ingresado de residuos sólidos para los años 2008 y 2009 fue de 465.807 toneladas. De otra parte los valores de L_0 y para K se pueden observar en la tabla 4.

Tabla 4. Parámetros para L_0 y K para rellenos convencionales

Parámetros del modelo	Valor
K	0.050 por año
L_0	$170 \text{ m}^3/\text{ton}$

II CONFERENCIA INTERNACIONAL

'Gestión de Residuos en América Latina, GRAL 2011'

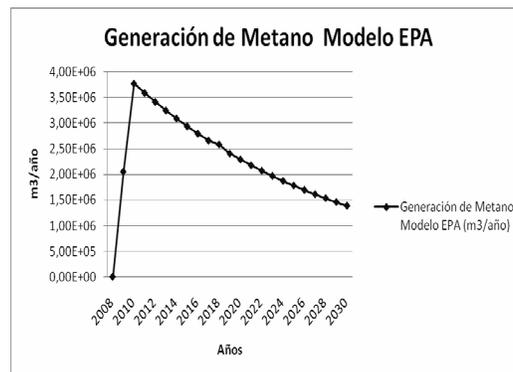
En la tabla numero 5 se puede visualizar el análisis estadístico realizado en el programa SPSS versión 17

Tabla 5. Análisis estadístico Modelo EPA

Cantidad Gas Metano Modelo EPA		
N	Valid	23
	Missing	0
Media		2,2778E6
Error típico		1,79970E5
Mediana		2,1800E6
Moda		0,00E0 ^a
Desviación estándar		8,63107E5
Varianza		7,450E11
Rango		3,77E6
Mínimo		0,00E0
Máximo		3,77E6
Suma		5,24E7
Percentiles	25	1,7000E6
	50	2,1800E6
	75	2,9400E6

a. Multiple modes exist. The smallest value is shown

El promedio de gas metano generado para los años 2008-2030 corresponde a $2.2778E+06$ m³/año, con una desviación estándar equivalente a $8.63107E+05$ m³/año. El valor mínimo corresponde a 0 porque para el año 2008 comenzó el funcionamiento de la Zona II área 3 y se cerró en el 2009 en donde comenzó las mediciones de gas metano con este modelo. El valor máximo en ese periodo de tiempo equivale a $3.77E+06$ m³/año. Asimismo, se estima que el 25% de las emisiones de gas metano en este periodo de tiempo equivale a $1.700E+06$ m³/año, y el 75% supera la $2.9400E+06$ m³/año. Las observaciones estimadas se visualizan en la en gráfica 2.



Gráfica 2. Generación de Gas Metano. Modelo EPA, Relleno Sanitario Doña Juana zona II Área 3. Modelo EPA.

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

Según el modelo EPA, el pico máximo de producción de metano comienza en el año 2010 con un caudal de $3,77E+06$ m³/año, para luego comenzar su fase de decaimiento en el año 2011 para finalmente llegar al año 2030 con un caudal de $1,39E+06$ m³/año. Este modelo presenta un decaimiento similar al modelo Mexicano.

Modelo IPCC

Para llevar a cabo la estimación de gas metano por el modelo IPCC, se tuvo en cuenta la cantidad de residuos dispuestos acumulados en un año, este modelo asume que la generación de metano aumenta durante décadas para luego empezar su fase de decaimiento.

La entrada principal de este modelo es la cantidad de materia orgánica degradable (DOC_m) contenida en los residuos y los diferentes tipos de este. De otra parte a este modelo también se ingresaron valores de índice de generación de metano (K), valor que el modelo asume para un clima seco con temperaturas menores a 20°C y con precipitaciones menores a 1000 mm/año (ver tabla 10); Carbono orgánico degradable -DOC- (ver tabla 11), fracción de Carbono orgánico degradable que se descompone (DOC_f), el cual tiene un valor por defecto recomendado por el modelo de 0.5; factor de oxidación que para el caso del RSDJ el IPCC asume el valor de 0 por ser un sitio de eliminación de desechos sólidos –SEDS- gestionado, y el tiempo de retardo que el modelo considera un valor por defecto de 6 meses, lo que equivale al tiempo donde se lleva a cabo la reacción para la generación de metano al 1° de Enero del año en el cual fueron depositados los residuos sólidos.

Tabla 6. Índice de Generación de metano (K) Modelo IPCC

Índice de generación de metano (K) Modelo IPCC	Valores		
	Rango	Por defecto	Valor
Residuos de Alimentos	0.08-0.20	0,15	0,15
Jardín	0.18-0.22	0,2	0,2
Papel	0.36-0.45	0,4	0,4
Madera	0.39-0.46	0,43	0,43
Textiles	0.20-0.40	0,24	0,24
Pañales	0.18-0.32	0,24	0,24
lodos	0.04-0.05	0,05	0,05
Residuos Industriales	0-0.54	0,015	0,15

En la tabla numero 7 se puede visualizar el análisis estadístico realizado en el programa SPSS versión 17

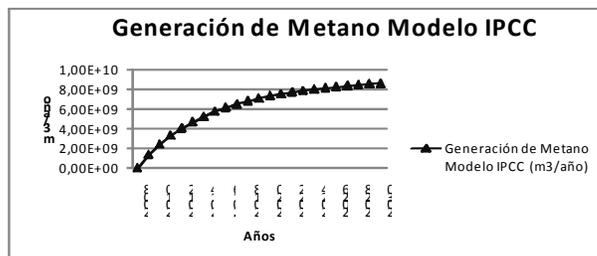
II CONFERENCIA INTERNACIONAL 'Gestión de Residuos en América Latina, GRAL 2011'

Tabla 7. Análisis estadístico Modelo IPCC

Estadística		
Cantidad Gas Metano Modelo IPCC		
N	Valid	23
	Missing	0
Media		6,16E+09
Error típico		5,13E+08
Mediana		7,06E+09
Moda		#N/A
Desviación estándar		2,46E+09
Varianza		6,05E+18
Rango		5,27E9
Mínimo		0,00E0
Máximo		8,59E+09
Suma		1.42E11
Percentiles	25	4.9650E09
	50	7.0600E9
	75	8.1100E9

a. Multiple modes exist. The smallest value is shown

El promedio de gas metano generado para los años 2008-2030 corresponde a $6,16E+09$ m³/año, con una desviación estándar equivalente a $2,46E+09$ m³/año. El valor mínimo corresponde a 0 porque para el año 2008 comenzó el funcionamiento de la Zona II área 3 y se cerró en el 2009 en donde comenzó las mediciones de gas metano con este modelo. El valor máximo en ese periodo de tiempo equivale a $8,59E+09$ m³/año. Asimismo, se estima que el 25% de las emisiones de gas metano en este periodo de tiempo equivale a $4,9650E+09$ m³/año, y el 75% supera el $8,1100E9$ m³/año. Las observaciones estimadas se visualizan en la en gráfica 3.



Gráfica 3. Generación de Gas Metano. Modelo IPCC, Relleno Sanitario Doña Juana zona II Área 3. Modelo IPCC

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

Según el modelo IPCC, la generación de gas metano comienza en el año 2009 con un caudal de $1,38E+09$ m³/año, el cual tiene un crecimiento exponencial, llegando al año 2030 con un caudal $8,58E+09$ m³/año, sin observarse decaimiento pues este modelo estima que después de unas cuantas décadas comienza el decaimiento del gas metano.

A continuación se hace un análisis estadístico comparativo (ver tabla 8) de los tres modelos anteriormente descritos y además se hace una comparación gráfica (gráfica 4).

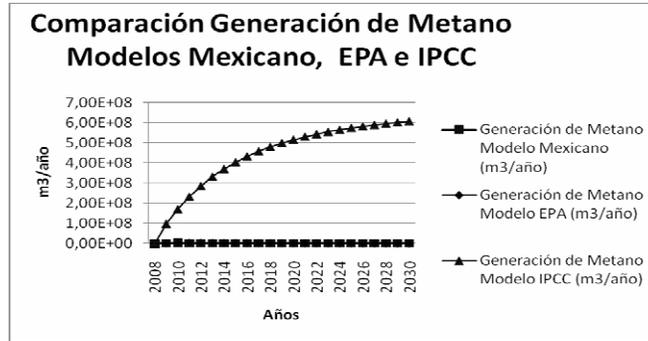
Tabla 8. Análisis comparativo Modelos Mexicano, EPA e IPCC

		Estadística		
		Cantidad Gas Metano Modelo Mexicano	Cantidad Gas Metano Modelo EPA	Cantidad Gas Metano Modelo IPCC
N	Valid	23	23	23
	Missing	0	0	0
	Media	1,3229E6	2,2778E6	4,3462E8
	Error típico	1,24732E5	1,79970E5	3,61318E7
	Mediana	1,2800E6	2,1800E6	4,9800E8
	Moda	0,00E0 ^a	0,00E0 ^a	0,00E0 ^a
	Desviación estándar	5,98195E5	8,63107E5	1,73282E8
	Varianza	3,578E11	7,450E11	3,003E16
	Rango	2,46E6	3,77E6	6,05E8
	Mínimo	0,00E0	0,00E0	0,00E0
	Máximo	2,46E6	3,77E6	6,05E8
	Suma	3,04E7	5,24E7	1,00E10
	Percentiles 25	8,6900E5	1,7000E6	4.9650E09
	50	1,2800E6	2,1800E6	7.0600E9
	75	1,7800E6	2,9400E6	8.1100E9

a. Multiple modes exist. The smallest value is shown

Las observaciones estimadas se visualizan en la en gráfica 4.

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



Gráfica 4. Generación de Gas Metano. Comparación Modelos Mexicano, EPA e IPCC. Relleno Sanitario Doña Juana Zona II Área 3. La Autora. 2011

Según la tabla 8, el modelo Mexicano tiene en promedio un caudal de estimación de gas metano de $1,3229E+6$ m³/año, el modelo EPA de $2,2778E+6$ m³/año y el modelo IPCC de $4,3462E+8$ m³/año. De acuerdo al valor que corresponde a la media se determina que el modelo que menor error típico tiene es el mexicano con un valor de $1,24732E+5$ y el que mas error típico tiene es el modelo IPCC con un valor de $3,61318E+7$. Para cada uno de los tres modelos se calculó el coeficiente de variación obteniendo los siguientes resultados: para el modelo mexicano la variación es del 45.24%, para el modelo EPA es de 37.90% y para el modelo IPCC de 32.67%, lo que indica que hay variabilidad del conjunto de datos con respecto a la medida de tendencia central.

REFERENCIAS

- Fornieles (2006). MDL en rellenos sanitarios. En: Congreso Nacional de Medio Ambiente, p. 8-34. Recuperado el 21 de Agosto de 2010 en http://www.conama8.org/modulodocumentos/documentos/JTs/JT9/JT9_ppt__Jantoni_o20Fornieles.pdf
- Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre Cambio Climático. (2006). Directrices IPCC, 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Modulo desechos, p. 1-44. Recuperado el 22 de Agosto de 2010 en <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/spanish.html>
- Martín (1997). Producción y recuperación del biogás en vertederos controlados de residuos sólidos urbanos: análisis de variables y modelización. Tesis Doctoral. Universidad de Oviedo, p. 1-236. Oviedo: España. Recuperado El 6 de Enero de 2011 en http://www.tdr.cesca.es/TESIS_UOV/AVAILABLE/TDR-1020108-091537//UOV0033TSMG.pdf
- Meraz & Domin (2000). Estudio experimental a escala piloto y modelización de la producción de biogás en relleno sanitario. Centro Interdisciplinario de investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo. Prospectiva sobre medio ambiente y desarrollo. México, D.F., p. 1-11. Recuperado el 10 de Enero de 2011 en <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/ciiemad/estudio.pdf>.

II CONFERENCIA INTERNACIONAL

'Gestión de Residuos en América Latina, GRAL 2011'

