

Emisiones superficiales de metano en vertederos. ¿Por qué y cómo cuantificarlas?

C. Sánchez ; A. Narros ; I. del Peso ; M.M. de la Fuente ; E. Rodríguez

Departamento de Ingeniería Química Industrial y del Medioambiente, Universidad Politécnica de Madrid

carlos.sanchezf@upm.es

Resumen

Las condiciones que se dan en el interior de los vertederos, hacen que la materia orgánica contenida en los residuos sea degradada por digestión anaerobia. El resultado de esta digestión es la formación de una mezcla gaseosa que contiene entre un 40 y un 60 % de metano. La liberación de todo este metano a la atmósfera supondría un grave problema ambiental, debido al elevado efecto invernadero de esta sustancia (25 veces mayor que el del dióxido de carbono). Además, el alto poder calorífico del metano hace que este gas pueda ser valorizado para generar energía en motores térmicos o incluso purificado e inyectado a la red de gas natural.

Por estos motivos, se realizan grandes esfuerzos en el sellado y la desgasificación de vertederos. Desgraciadamente, y pese a estos esfuerzos parte del gas de vertedero puede escapar al sellado y ser emitido a la atmósfera a través de la superficie del propio vertedero. Estas son las llamadas emisiones fugitivas o superficiales. Cuantificar estas emisiones nos da información muy valiosa tanto del impacto ambiental de la instalación como de la eficiencia del sellado y la desgasificación.

Existen varios métodos descritos en la bibliografía para medir estas emisiones. En este trabajo se ha optado por un método basado en dos etapas. La primera consiste en un muestreo de la concentración de metano en la superficie del vertedero. La información recogida en este proceso se utiliza para elegir los puntos en los que, en la segunda etapa, se mide la tasa de emisión de metano para una superficie dada. Para realizar estas mediciones se han utilizado unos dispositivos llamados campanas de flujo, que permiten en un volumen conocido, acumular las emisiones de una superficie conocida del vertedero. El estudio de la evolución de la concentración de metano a lo largo del tiempo en el interior de este dispositivo nos permite calcular la tasa de emisión de metano en diferentes puntos, a partir de lo cual puede estimarse el total de estas emisiones fugitivas. Este método se ha aplicado en varios vertederos españoles y sus resultados han sido comparados por los obtenidos utilizando el modelo propuesto por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático. Los resultados obtenidos indican una sobreestimación de estas emisiones por parte del modelo teórico.

1. Introducción

Uno de los grandes retos medioambientales de la sociedad actual está relacionado con la gestión de los residuos sólidos. Tan solo en la ciudad de Madrid se generaron 1,2 millones de toneladas de residuos urbanos durante el año 2015, con una tasa por habitante de 395,4 kilogramos de residuos al año (1).

Aunque una gran parte de estos residuos es separada para su reciclado o su valorización hay una porción importante cuyo destino es el depósito en vertedero. Existen varios problemas potenciales asociados a la existencia de los vertederos, tales como el deterioro paisajístico, la contaminación de aguas superficiales y/o subterráneas, la producción de olores o la emisión de gases de efecto invernadero.

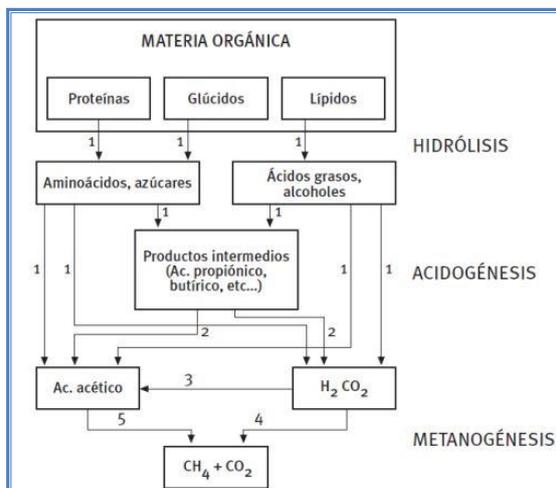


Figura 1. Vías de degradación de la materia orgánica. 1) Bacterias hidrolíticas-acidogénicas; 2) Bacterias acetogénicas; 3) Bacterias homoacetogénicas; 4) Bacterias metanogénicas hidrogenófilas; 5) Bacterias metanogénicas acetoclásticas Fuente IDAE (2)

Esto último está asociado principalmente a las emisiones de gas de vertedero. El gas de vertedero es una mezcla gaseosa que se genera por digestión anaeróbica de la materia orgánica en el interior de los vertederos y que está constituida principalmente por metano, dióxido de carbono y otros gases en pequeñas proporciones (sulfuros, monóxido de carbono, etc). En la figura 1, pueden observarse las diferentes vías de degradación que conducen a la formación de metano a partir de la materia orgánica en condiciones anaeróbicas.

El metano es el segundo en importancia de los gases de efecto invernadero tras el dióxido de carbono y tiene un potencial de efecto invernadero 25 veces mayor que el del dióxido de carbono (3). Se estima que el metano es responsable de un tercio de todo el calentamiento global antropogénico.

A nivel mundial, los vertederos son la tercera mayor fuente de metano antropogénico. Sin embargo, en España constituyen la mayor fuente de emisiones de este gas. (4)

Por estos motivos, el sellado y la desgasificación de vertederos pueden suponer grandes beneficios medioambientales, pero no solo eso. Debido al gran potencial energético del metano su recuperación puede reportar grandes beneficios económicos.

Desgraciadamente y pese a los esfuerzos aplicados en el sellado y la desgasificación de vertederos, es habitual que parte del gas que se forma en su interior alcance la atmósfera, ya sea por difusión a través de la superficie o por fugas en el sellado. Cuantificar estas emisiones difusas y/o fugitivas puede ser de gran interés a la hora de evaluar la eficiencia del sistema de sellado y desgasificación así como el impacto ambiental de la instalación.

2. Materiales y Metodología

Para realizar la medida de las emisiones in situ se han utilizado dos tipos de analizadores.

El PMD (de sus siglas en inglés: Portable Methane Detector) permite medir de manera específica la concentración de metano. Puede llegar a detectar concentraciones desde 1 ppm hasta el 100% en volumen utilizando la espectroscopía de absorción infrarroja combinada con un filtro de paso de banda estrecha. El PMD consta además de una bomba que absorbe el aire desde el exterior hasta la cámara de detección del aparato donde es analizado y posteriormente lo conduce al exterior sin alterar la muestra. Este equipo también dispone de un sistema de autoguardado de datos y GPS.

Además se han utilizado, para determinar la concentración de CO₂, analizadores KIMO HQ210, que disponen de una sonda con sensores pasivos, que permite medir concentraciones de este gas entre 0 y 5000 ppm, temperatura y humedad relativa.

El procedimiento utilizado para cubrir la primera parte del estudio consiste en hacer un barrido caminando sobre la superficie del vertedero en el que, se va midiendo la concentración de metano en la superficie del vertedero a una distancia de 5 o 10 cm del suelo. Para realizar estas mediciones se utiliza el analizador PMD, previamente descrito, acoplado a una sonda que permite muestrear el aire a la altura requerida.

El barrido permite determinar, a partir de la concentración de metano en cada punto muestreado, los principales focos de emisión que suelen estar asociados a fisuras en el sellado, pozos de extracción o a áreas específicas como los bordes o los taludes del vertedero.

Los datos recogidos de esta manera se representan en mapas que nos permiten clasificar las diferentes zonas de la superficie del vertedero en función de la cantidad y distribución de los puntos con elevadas concentraciones de metano. Esta clasificación puede usarse como criterio para fijar el número de puntos para cada área, necesarios para llevar a cabo la determinación cuantitativa de las emisiones. Para determinar cuantitativamente la emisión en cada uno de los puntos seleccionados se utiliza un dispositivo llamado campana de flujo. Este está compuesto por un contenedor de volumen conocido que permite acumular en su interior las emisiones emitidas por una pequeña superficie, de magnitud también conocida. Con los mismos analizadores descritos anteriormente, podemos monitorizar la concentración de metano y dióxido de carbono en el interior del dispositivo y representarla frente al tiempo. El resultado será una recta cuya pendiente nos permitirá determinar la tasa de emisión en masa por unidad de superficie y tiempo.

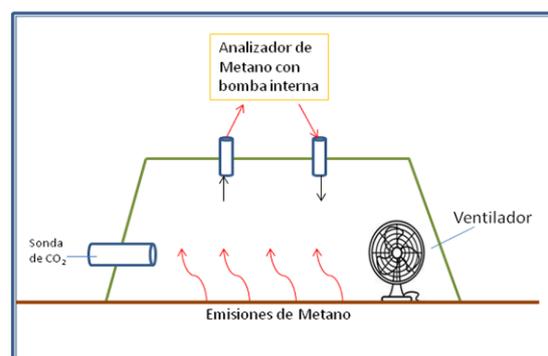


Figura 2. Esquema de una campana de flujo

En la figura 2 se muestra el esquema de una campana de flujo como las que se han utilizado en este estudio. Como puede observarse, tienen dos aberturas: por la primera de ellas se extrae la mezcla gaseosa de la campana hacia el analizador, que una vez la ha analizado la expulsa a través de la segunda abertura hasta el interior del dispositivo de

nuevo. También se coloca en el interior, la sonda del analizador KIMO HQ210 para determinar la concentración de CO₂ además de un ventilador que asegura la homogeneidad de la mezcla gaseosa.



Figura 3. Campana de flujo durante una medición

Como puede verse en la figura 3 se han utilizado materiales muy económicos y accesibles para construir las campanas de flujo.

3. Descripción del lugar

La metodología descrita ha sido aplicada en dos vertederos situados en la Comunidad de Madrid. Ambos se encuentran muy próximos, de modo que están sujetos a las mismas condiciones climáticas.

El primero de ellos (vertedero A) se encuentra clausurado. Durante sus casi 25 años de actividad ha recibido en torno a 21,5 millones de toneladas de residuos. Cuenta con 280 pozos de desgasificación, conectados a 10 estaciones de regulación y medida (ERM) en las que tras homogeneizar y controlar el gas extraído, se envía al centro de extracción principal. El área de influencia de cada una de estas 10 ERM nos proporciona un criterio para dividir la superficie del vertedero en 10 áreas nombradas como A.1 a A.10.

El segundo vertedero (vertedero B) se encuentra en uso. Por ello el estudio se ha centrado en cuatro celdas. Estas cuatro celdas están llenas y selladas. El vertido en ellas comenzó hace 16 años y desde entonces se estima que han recibido 22,7 millones de metros cúbicos de residuos. La superficie de este vertedero está dividida entonces en 4 áreas que llamaremos B.1 a B.4.

Como se ha comentado previamente, estos dos vertederos tienen una meteorología similar. Sin embargo, existen diferencias entre ellos, además de la edad de los residuos, que pueden determinar grandes diferencias en las emisiones de gases. La primera es el tipo de sellado. La segunda gran diferencia es el destino del gas extraído ya que en el caso del vertedero A el gas es canalizado a una planta de cogeneración. En el caso del vertedero B el gas extraído se quema en una antorcha.

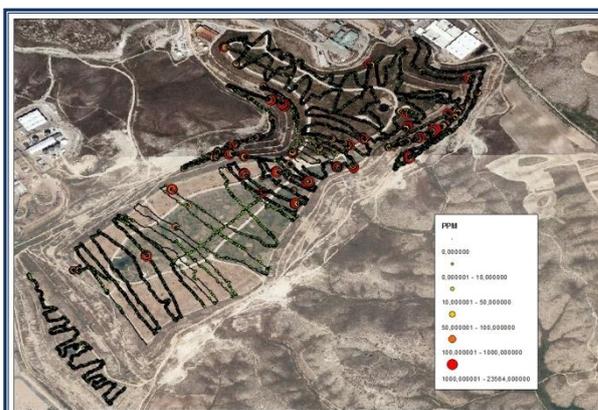


Figura 4. Análisis cualitativo de emisiones en vertedero A

Resultados

Comenzando con los resultados obtenidos en el barrido superficial para el vertedero A, encontramos muchas zonas en las que la concentración de metano está por debajo del límite de detección del aparato. Por otro lado, existen puntos con concentración de metano por encima de los 1000 ppm (figura 4). Además se aprecian grandes

diferencias entre las zonas de bermas y taludes y la meseta de coronación.

Considerando el número de puntos con concentración por encima de los 1000 ppm, en cada área en las que se había dividido la superficie del vertedero, se determina el número de mediciones cuantitativas que se debe realizar en cada una de esas áreas, tal como se muestra en la tabla 1.

Zona	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
Puntos por encima de 1000 ppm	0-1	0-1	2-5	2-5	2-5	2-5	6-10	2-5	2-5	2-5
Número de medidas	4	4	6	6	6	6	10	6	6	6

Tabla 1. Número de puntos con concentración de metano por encima de 1000 ppm relacionada con el número de puntos muestreados para análisis cuantitativo en cada área del vertedero A.



Figura 5. Puntos de muestreo para análisis cuantitativo de emisiones en vertedero A

Además, al haber observado que en las zonas de bermas y taludes se condensa una gran cantidad de puntos con elevadas concentraciones de metano, se plantea realizar un número adicional de mediciones en estas áreas. Dada la dificultad de acceso a las mismas, se concluye tomar 30 mediciones distribuidas en 6 puntos del perímetro a diferentes alturas (ver figura 5).

En el análisis cualitativo de la concentración de metano en la superficie del vertedero B (figura 6) se ha observado que hay un número de puntos con altas concentraciones mucho mayor que en el primero. Además, estos puntos están distribuidos de una manera más uniforme, de modo que se decide tomar el mismo



Figura 6. Análisis cualitativo de emisiones en vertedero B

número de medidas cuantitativas en cada una de las 4 áreas en las que se divide la superficie del vertedero (figura 7).

Una vez elegidos los puntos en los que se medirá, utilizando la campana de flujo, la tasa de emisión de metano, se realizan las mediciones. Para ello, el dispositivo se coloca en el punto elegido, sellado de manera que pueda retener las emisiones que

emanan de la superficie y se registra la concentración de manera continua. Después, se representa para cada punto la concentración de metano frente al tiempo, lo que da lugar a rectas como la de la figura 8.



Figura 7. Puntos de muestreo para análisis cuantitativo de emisiones en vertedero B

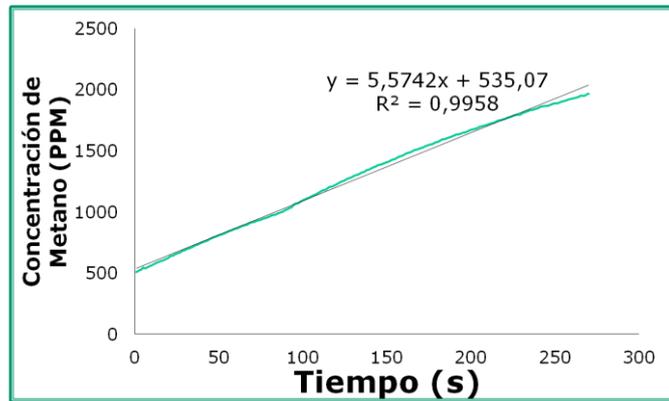


Figura 8. Representación de la concentración de metano frente al tiempo en el interior de una campana de flujo durante una medición cuantitativa

A partir de todos estos datos, y tras un tratamiento estadístico de los mismos, se pueden inferir valores de emisión media para cada uno de los vertederos. Estos resultados se muestran en la tabla 2.

Vertedero	Emisión media (mg/h·m ²)	Límite inferior (95%)	Límite superior (95%)	Emisión total (Kg/h)	Límite inferior (95%)	Límite superior (95%)
A (meseta)	0,31	0,24	0,41	0,16	0,13	0,21
A (taludes)	407,94	197,80	841,32	24,5	11,9	50,5
B	580,75	160,55	2100,72	194,5	53,8	703,5

Tabla 2. Resultados de emisión media y total para cada uno de los vertederos

4. Conclusiones

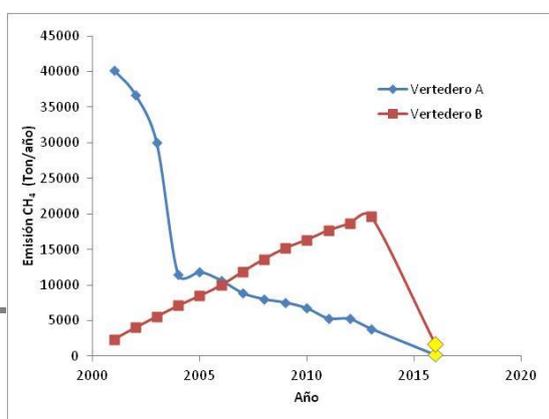
En primer lugar, se puede comprobar que la emisión en el área de la meseta del vertedero A, es prácticamente despreciable frente a la emisión que se da en la zona de taludes. Y que la emisión del vertedero A es mucho menor que la del B, incluso en valores totales, aún teniendo A aproximadamente el doble de tamaño de B. Esto se debe principalmente a dos factores: el primero es la desgasificación a la que el vertedero A ha estado sometido durante más de 10 años que hace que haya menos gas en su interior a medida que la materia orgánica en su interior se va consumiendo. El segundo factor determinante es la presencia de una capa impermeable en el sellado del vertedero A que demuestra una gran efectividad en la zona de la meseta de coronación del vertedero, aunque esa efectividad sea mucho menor en los taludes del mismo debido principalmente al deterioro excesivo del sellado en estas zonas.

Por otro lado, estos valores pueden extrapolarse en el tiempo para expresar la emisión en toneladas anuales. Estos valores se muestran en la tabla 3.

Vertedero	Emisión total (ton/año)	Límite inferior (95%)	Límite superior (95%)
A	216,02	105,38	444,22
B	1703,82	471,29	6162,66

Tabla 3. Resultados de total en toneladas anuales para cada uno de los vertederos

Estos resultados se han comparado con los calculados utilizando el modelo propuesto por el panel IPCC (6) y se han representado en la figura 9.



Se puede comprobar a simple vista que los datos medidos utilizando la metodología propuesta ofrecen resultados que están muy

por debajo de lo estimado por el modelo. En ambos casos la emisión calculada por el modelo es en torno a 10 veces mayor que la calculada por medida directa.

A la vista de estos resultados podríamos afirmar que, para estos dos vertederos, el modelo del IPCC sobreestima las emisiones de metano y que por tanto no ofrece unos resultados satisfactorios.

Figura 9. Valores de emisión anual de metano en toneladas para ambos vertederos. En color amarillo se representan los valores calculados usando la metodología propuesta.

5. Bibliografía

- (1). "Guía de buenas prácticas para reducir los residuos urbanos" Área de Gobierno de medioambiente, Ayto de Madrid.
- (2) IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía), BESEL, S.A. (Departamento de Energía) (2007). Biomasa: Digestores anaerobios. Ministerio de industria turismo y comercio.
- (3) Core Writing Team, Pachauri, R.K. and Reisinger, A. (Eds.) (2007) IPCC Fourth Assessment Report, pp 104
- (4). U.S. EPA (2012). Summary Report: Global Anthropogenic Non-CO2 Greenhouse Gas Emissions: 1990 - 2030. Office of Atmospheric Programs. Climate Change Division. U.S. Environmental Protection Agency
- (5) EA (2010). Guidance on monitoring landfill gas surface emissions. Environment Agency, 2010.
- (6) AM, (2015). Inventario de emisiones de contaminantes a la atmósfera en el municipio de Madrid 2013. Dirección general de sostenibilidad. Ayuntamiento de Madrid, 2015.
- (7) Capaccioni, B., Caramiello, C., Tatàno, F., & Viscione, A. (2011). Effects of a temporary HDPE cover on landfill gas emissions: Multiyear evaluation with the static chamber approach at an italian landfill. Waste Management, 31(5), 956-965
- (8) T. B. Parkin, J. J. Meisinger, S. T. Chester, J. L. Starr, AND J. A. Robinson (1988). Evaluation of Statistical Estimation Methods for Lognormally Distributed Variables. SOIL SCI. SOC. AM. J. 52, 1988
- (9) J. Elíoa, M.F. Ortegaa, B. Nisib, L.F. Mazadiegoa, O. Vassellic, d, J. Caballeroa, E. Chacóna. (2016). A multi-statistical approach for estimating the total output of CO2 from diffuse soil degassing by the accumulation chamber method. International Journal of Greenhouse Gas Control, 47, 351–363
- (10) E. Bagnato, M. Barra, C. Cardellini, G. Chiodini, F. Parello, M. Sprovieri (2014). First combined flux chamber survey of mercury and CO2 emissions from soil diffuse degassing at Solfatara of Pozzuoli crater, Campi Flegrei (Italy): Mapping and quantification of gas release. J.Volcanol.Geotherm.Res., 2014, 289, 26-40

(11) D. Di Trapani, G. Di Bella, G. Viviani. (2013). Uncontrolled methane emissions from a MSW landfill surface: Influence of landfill features and side slopes. Waste Manage., 2013, 33, 10, 2108-2115