

Manejo de biogas y lixiviados en rellenos sanitarios del centro de México, un panorama general

Hugo Alejandro Nájera Aguilar¹
J. Manuel Gómez Ramos¹
Carlos García Lara¹
Rubén Gutiérrez Hdez.²
Ma. Neftalí Rojas Valencia³

RESUMEN

Se presenta un panorama general del manejo que se le da al biogas y lixiviados en tres de los principales rellenos sanitarios del centro de México -Bordo Poniente, Tecámac y Tlalnepantla de Baz-. En cuanto al biogas, no se realiza un aprovechamiento adecuado como alternativa para la generación de energía, lo que se hace es el quemado de los mismos a pesar de las altas cantidades de basura que se disponen en los tres sitios -mayor a 1000 ton/d- y que justifican su aprovechamiento. Para el caso de los lixiviados, sólo una fracción es sometida a un tratamiento real. La "tecnología" empleada en la mayoría de ellos es con base en lagunas de evaporación y sistemas de recirculación, que en su mayoría son deficientes y cuestionables por los problemas de salud que puede representar para los trabajadores.

Palabras clave: Biogas, lixiviados, relleno sanitario.

ABSTRACT

This manuscript is an abstract on the handling of the biogas and leached in 3 Landfills of the center of Mexico -Bordo Poniente, Tecámac and Tlalnepantla of Baz -.Studies are had for the appropriate use as alternative for the energy generation by biogas, at the present time alone it is burn. In the case of leached, alone a fraction is subjected to an appropriate treatment. The "technology" used is evaporation lagoons and recirculation systems, which is questionable because represent risk to the environment.

Key words: Biogas, leachates, landfill.

INTRODUCCIÓN

En México las prácticas más comunes para disponer los residuos sólidos urbanos o municipales en el suelo son: Tiradero a Cielo Abierto (TCA), Relleno Controlado (RC), Relleno Sanitario (RS) y Relleno Metanogénico (RM) o biorreactor.

Un TCA consiste en verter los residuos directamente al suelo en forma diaria sin cubrirlos con tierra. Esta práctica no es adecuada debido a los problemas sanitarios y ambientales que provoca, pero es la más utilizada en el país por ser la más económica y fácil de operar para los municipios; la mayoría de los TCA son clandestinos, ocupan cañadas, caminos,

¹Escuela de Ing. Ambiental UNICACH
Lib. Nte. Pte. 1150. Col. Lajas Maciel. Tel. (961) 12 56033
E-mail: hnajera72@hotmail.com

²Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica
Instituto Tecnológico de Tapachula.

³Universidad Nacional Autónoma de México
Instituto de Ingeniería, C.U. nrov@pumas.iingen.unam.mx

lotes baldíos y cuerpos de agua, pueden ser familiares o municipales. Por su diversidad e irregularidad no se tiene un registro de la mayor parte de ellos.

Un RC es un sitio inadecuado de disposición final que cumple con las especificaciones de un relleno sanitario en cuanto a obras de infraestructura y operación, no obstante, no cumple con las especificaciones de impermeabilización ni con las condiciones y requerimientos técnicos conforme las disposiciones legales y sanitarias vigentes estipuladas en la NOM-083-SEMARNAT-2003. El Instituto de Estadística, Geografía e Informática (INEGI 2010), reporta 23 de este tipo hasta el año 2006.

Mientras que un RS es una obra de infraestructura que involucra métodos y obras de ingeniería para la disposición final de los RSU y de manejo especial, con el fin de controlar, a través de la compactación e infraestructura adicional, los impactos ambientales al entorno. Un relleno de este tipo debe de cumplir cabalmente con la normatividad mencionada anteriormente. El INEGI reporta 104 hasta el año 2006 en la república mexicana (INEGI, 2010).

Finalmente, la tecnología del RM aunque es muy semejante a la del RS convencional, conlleva como requerimiento obligatorio, la recirculación de lixiviados previamente inoculados con agentes enzimáticos; lo cual permite acelerar el proceso de descomposición en su etapa metanogénica, aumentar el tiempo de retención celular y reducir las necesidades de estabilización de los residuos. Al respecto, la experiencia a nivel nacional es aún limitada, no hay suficiente información que permita determinar la factibilidad técnica y económica para su implementación y, en algunos casos, los resultados han sido poco alentadores.

En común en la operación de todos los sitios mencionados anteriormente se generan principalmente dos tipos de emisiones: las gaseosas compuestas principalmente por metano y bióxido de carbono; y las líquidas, constituidas por los jugos que provienen de

desechos heterogéneos en composición y arrastran todo tipo de contaminantes, muchos de ellos en concentraciones elevadas, por lo que son catalogados como uno de los residuos más complejos y difíciles de tratar (Luna *et al*, 2007). En general, estos desechos líquidos son conocidos como lixiviados y se caracterizan por contener concentraciones elevadas de contaminantes orgánicos e inorgánicos, incluyendo ácidos húmicos, nitrógeno amoniacal y metales pesados, así como sales inorgánicas y una gran variedad de microorganismos existentes en la biomasa de los residuos sólidos (López y Peralta, 2005; Wiszniowsky, 2006).

Dada la peligrosidad de estos líquidos, a su potencial capacidad de migración y de contaminación hacia el subsuelo y a fuentes de agua de los alrededores, siempre revestirá gran importancia el manejo que de ellos se haga. Así, en el presente documento, se pretende dar un panorama general de lo que se realiza tanto con los lixiviados como con el biogas generado en algunos de los principales rellenos sanitarios, debido a la cantidad de basura que reciben -arriba de 1000 ton/día-, ubicados en el centro de México, teniendo en cuenta que la problemática por el manejo de los lixiviados depende en gran medida, de la cantidad de basura que ingrese al sitio y de la infiltración del agua (la cual a su vez está en función de al menos tres variables: precipitaciones pluviales, cubierta intermedia y final y evaporación-*evapotranspiración*).

En cuanto a la producción de biogas, esto va a depender, principalmente de la composición de los residuos dispuestos, de su nivel de compactación, del contenido de humedad, de la edad de los residuos, de las condiciones climatológicas y de operación, entre los principales. Por lo general, la masa de residuos en los sitios de disposición final, presentan un alto contenido de materiales orgánicos (arriba del 50%) y la humedad suficiente, para que bajo condiciones anaeróbicas se favorezca la generación de grandes cantidades de gas metano (Rivera y Sarmiento, 2006),

principalmente durante los primeros 5 años de haber sido dispuestos. Así mismo, se puede decir que el metano es el principal constituyente en el biogas, el cual tiene características de flamabilidad, pudiendo formar mezclas explosivas con el aire, en concentraciones del 5 al 15%.

MANEJO DE LIXIVIADOS EN LOS RELLENOS SANITARIOS

Desafortunadamente, en países como México, el tratamiento practicado a los lixiviados cuando éste se lleva a cabo, es cuestionable, con la utilización de tecnologías como son la evaporación y recirculación no adecuada. La acción de utilizar la evaporación y recirculación de los lixiviados a plataformas en celdas de basura como sistema de tratamiento, se encuentra en discusión dada la generación de aerosoles y de otros compuestos peligrosos con la subsecuente exposición de los trabajadores, además de otros impactos negativos tales como posibles daños a la vegetación (Gray *et al.*, 2005), a lo que se sumarían los problemas por la sobreproducción de lixiviados para la época de lluvias (Castillo *et al.* 2006), además de demandarse superficies considerables. Por ello, así como se lleva a cabo en países europeos, es necesario proporcionar tratamientos adecuados a los lixiviados, como los utilizados en las aguas residuales convencionales -sistemas biológicos o fisicoquímicos-. Su éxito en el país radica en que son sistemas relativamente fáciles de operar, sin embargo, el uso de los mismos cada vez es más cuestionable, sobretodo el relacionado con el sistema de evaporación por lagunas, por los argumentos ya mencionados.

Hasta el año 2006, en el territorio nacional existían alrededor de 104 rellenos sanitarios, para el 2008 la SEMARNAT registra 262. Sin embargo la mayoría cumple parcialmente con la normatividad ya que sólo el 34 % del total cuentan con laguna de evaporación. En el resto, los lixiviados escurren libremente pudiendo contaminar cuerpos de agua de los alrededores (INEGI, 2010; Rojas, 2009).

Dentro de los rellenos sanitarios que cuentan con laguna para la evaporación de los lixiviados y recirculación de los mismos a estratos de basura y plataformas de celdas, se tienen los de las ciudades de Mérida, Durango, Nuevo Laredo, Tamaulipas, Puebla, León, Guanajuato, Aguascalientes, Monterrey, rellenos conurbados del Estado de México Tlalnepantla, Bordo Poniente, Tecámac, Naucalpan, entre los principales.

De acuerdo con información generada en visitas realizadas a los diferentes rellenos sanitarios al centro del país, del total de rellenos sanitarios existentes en toda la República Mexicana, únicamente los de Tlalnepantla de Baz -Estado de México- y Bordo Poniente, ubicado en la Zona Federal del ex lago de Texcoco, municipio de Netzahualcóyotl, cuentan además de lagunas de evaporación de lixiviados y sistemas de recirculación, con otros sistemas de tratamiento.

A continuación se presenta una descripción general del manejo de lixiviados en los sitios de disposición final de Bordo Poniente, Tlalnepantla de Baz y Tecámac, los cuales son considerados entre los rellenos que cumplen con la normatividad mexicana y que operan en la zona conurbada de la ciudad de México.

Manejo de lixiviados en el relleno sanitario de Bordo Poniente.

El relleno sanitario de Bordo Poniente recibe principalmente los residuos sólidos urbanos del Distrito Federal, como ya se dijo se ubica dentro de la zona federal del ex-lago de Texcoco, abarcando una superficie total de aproximadamente 1,999 hectárea (ha), mismas que se distribuyen en las cuatro etapas que lo integran de la siguiente manera: 75 ha de la etapa I, 80 ha de la etapa II, 104 ha de la etapa III, 472 ha de la etapa IV y 259 ha de áreas de amortiguamiento y equipamiento. De estas etapas constructivas, la más joven es la etapa IV (figura 1).

La primera etapa ya clausurada produce alrededor de 30 m³/día de lixiviados. Éstos líquidos son tratados

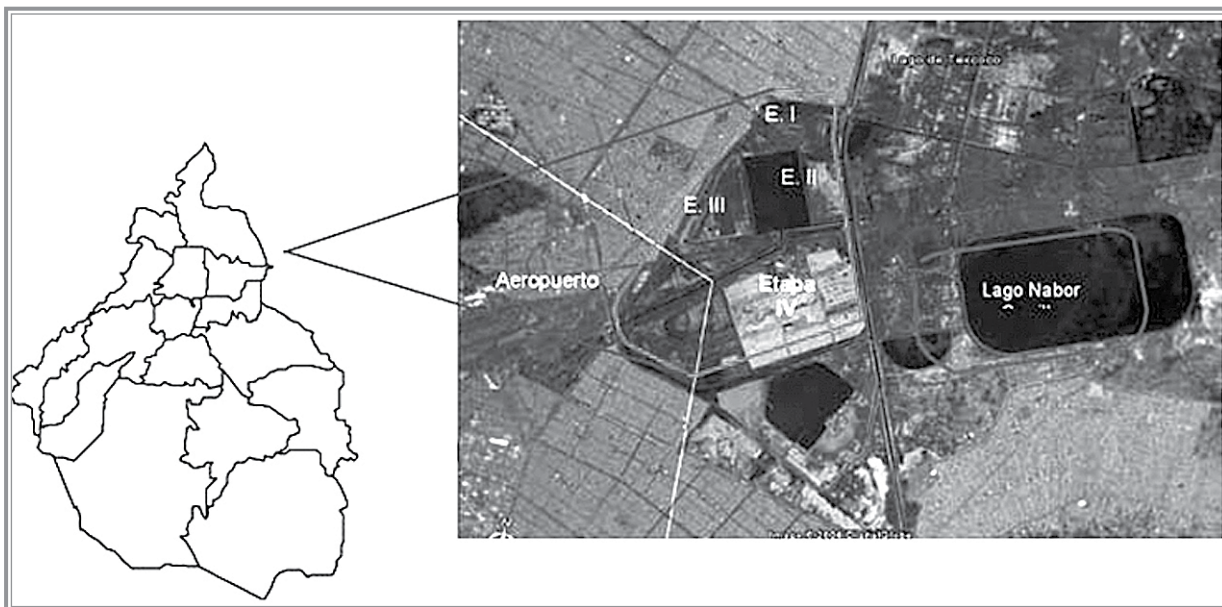


Figura 1 ■ | Ubicación geográfica de la etapa IV de Bordo Poniente en la ciudad de México.

a través de un proceso netamente fisicoquímico –coagulación/ floculación- en una planta que ocupa una superficie de 2100 m². La planta inició operaciones en el año de 1994, -fue la primera planta de tratamiento de lixiviados y la única existente en México hasta el año 2008- (Figura 2), con una capacidad de tratamiento de 3lps, tratando alrededor de 25 m³/día, con concentraciones promedio en el influente en DBO₅ y DQO de 675 y 3500 mg/L, respectivamente -resultados del año 2005- con un índice de biodegradabilidad de 0.19.

El horario de operación de la planta es desde las 9:00 hasta las 16:00 horas, obteniéndose alrededor de un 20% de lodos -4-5 m³/día- que después de ser centrifugados, se disponen en la cuarta etapa del relleno sanitario. El agua tratada es utilizada para el riego de caminos internos de la cuarta etapa del relleno sanitario, dando cumplimiento con la NOM-001-SEMARNAT-1996.

En la periferia del relleno sanitario, se construyó un sistema de cárcamos, de donde los lixiviados

son extraídos mediante camiones cisterna con motobombas y transportados en algunos casos hacia la laguna de lixiviados ubicada en la primera etapa o son recirculados al relleno sanitario, mediante fosas construidas para este fin, en la parte superior de las macroceldas.

Para el tratamiento de los lixiviados, en el proceso se emplean como coagulantes cloruro férrico (FeCl₃) y sulfato de aluminio (Al₂(SO₄)₃), para ello la planta cuenta con un área de almacenamiento de reactivos, donde se encuentran tanques de 15m³ para el alojamiento de ambos coagulantes -Figura 3-, uno más de 5-10m³ para almacenar hipoclorito de sodio (NaHClO). En el caso del hidróxido de sodio (NaOH), la planta cuenta con sacos de 25Kg.

El proceso de coagulación-floculación llevado a cabo en la Planta puede dividirse en 5 fases que a continuación se describen:

Primera fase. Se acondiciona el lixiviado con H₂SO₄ al 98% bajando el pH inicial de 7.3-7.9 a 4.0-

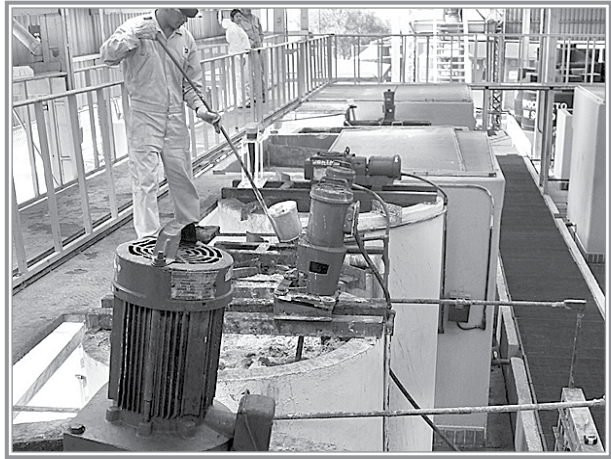


Figura 2 ■ Ubicación geográfica de la etapa IV de Bordo Poniente en la ciudad de México.

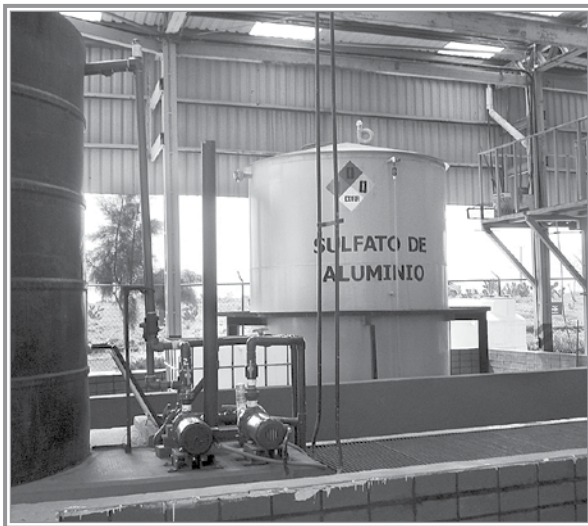


Figura 3 ■ Área de almacenamiento de reactivos químicos en la planta fisicoquímica.

4.5. La finalidad de esta etapa es favorecer una primera remoción de la materia orgánica además de cierta cantidad de carbonatos.

Segunda fase. El pH de la muestra ahora es subido a valores cercanos a la neutralidad, para luego llevar a cabo la mezcla rápida con la adición de los reactivos químicos $-FeCl_3$ y $Al_2(SO_4)_3$ -. Posteriormente se

efectúa la mezcla lenta para favorecer el proceso de floculación.

Tercera fase. Concluida la mezcla lenta, se realiza la primera sedimentación en un tanque provisto de mamparas -Figura 4-.

Cuarta fase. Se efectúa un proceso de oxidación química utilizando $NaHClO$, para remover los contaminantes que no hayan reaccionado durante el proceso de coagulación-floculación. En esta etapa de paso se remueven por oxidación las bacterias presentes.

Quinta fase. Se lleva a cabo un segundo proceso de neutralización para favorecer la sedimentación de los flóculos, durante la última etapa de sedimentación.

Actualmente opera la etapa IV del relleno sanitario de Bordo Poniente, donde se recibe en promedio alrededor de 13,400 ton/día (Secretaría del Medio Ambiente, 2009) de residuos sólidos urbanos provenientes del Distrito Federal principalmente. Referente al manejo que se le proporciona a los lixiviados en esta etapa, al igual que al resto de las zonas del relleno sanitario -excepto el de la primera etapa-, es a través de lagunas de evaporación y recirculación de los líquidos a las masas de basura. Considerando estos métodos, así como



Figura 4 ■ | Tanque sedimentador provisto de mamparas.

el control que actualmente se lleva a cabo y la infraestructura existente en el relleno sanitario de Bordo Poniente, se determinó que la opción más adecuada para el control de los lixiviados sea una combinación de los métodos de evaporación y recirculación.

Hasta Junio de 2008, se estaba probando el tratamiento de una fracción de los lixiviados a través de un sistema de ósmosis inversa -figura 5-, sin embargo, esta tecnología es muy cara con capacidades de tratamiento limitadas para los volúmenes de lixiviados que se generan en todo el relleno.

Manejo de lixiviados en Tlalnepantla de Baz

El RS de Tlalnepantla se encuentra pegado a un tiradero a cielo abierto ya clausurado y saneado, cuenta con 20 ha divididas en 4 celdas, lleva 12 años de

operación. El horario de servicio es desde las 6:00 hasta las 22:00 horas, recibe 800 ton/día de residuos sólidos domésticos principalmente de Tlalnepantla de Baz, y 250 ton/ día de residuos de particulares.

Hasta hace unos años, contaba con un serpentín de 6 km de longitud para acelerar la evaporación de los lixiviados; en la actualidad ya no se lleva a cabo dicha práctica, ahora cuenta con una laguna de evaporación de 5000 m³ y se tratan los lixiviados *in situ* mediante un sistema fisicoquímico con zeolitas, cuenta con filtros rociadores y filtros percoladores, el líquido que sale mediante este tratamiento cumple con la normatividad mexicana para riego agrícola (ver figuras 6 y 7).

Manejo de lixiviados en Tecámac, Estado de México

El RS de Tecámac se localiza sobre la carretera México-Pachuca, instalado en un área de 26 hectáreas de la colonia Santo Tomás Chiconautla -figura 8-, cuenta con una capacidad de tratamiento de 2.5-3 millones de toneladas.

Para el registro de los pesos de los vehículos, en el acceso el relleno sanitario cuenta con dos básculas de rodamiento de 100 ton c/u -Figura 8-, y tanto en esta área como en el frente de trabajo se cuenta con personal del Municipio y de Ecología Estatal que inspecciona las actividades y el tipo de residuos que se disponen.

El relleno cuenta de momento con dos celdas; la primera de 4.5 ha de superficie donde se depositaron aproximadamente 450 mil toneladas -figura 9-, y una segunda de 5 ha actualmente en operación, donde se reciben alrededor de 1200 ton/día -figura 10-, de las cuales 250 ton provienen del municipio de Tecámac y el resto de más de 200 clientes con que cuenta el Relleno. Hasta el año 2008, el costo por la disposición de tonelada de basura era de \$120.00 + IVA.

Para el manejo de los lixiviados, se cuenta con una laguna de evaporación -figura 11- y recirculación de los mismos a las masas de basura. Cabe hacer

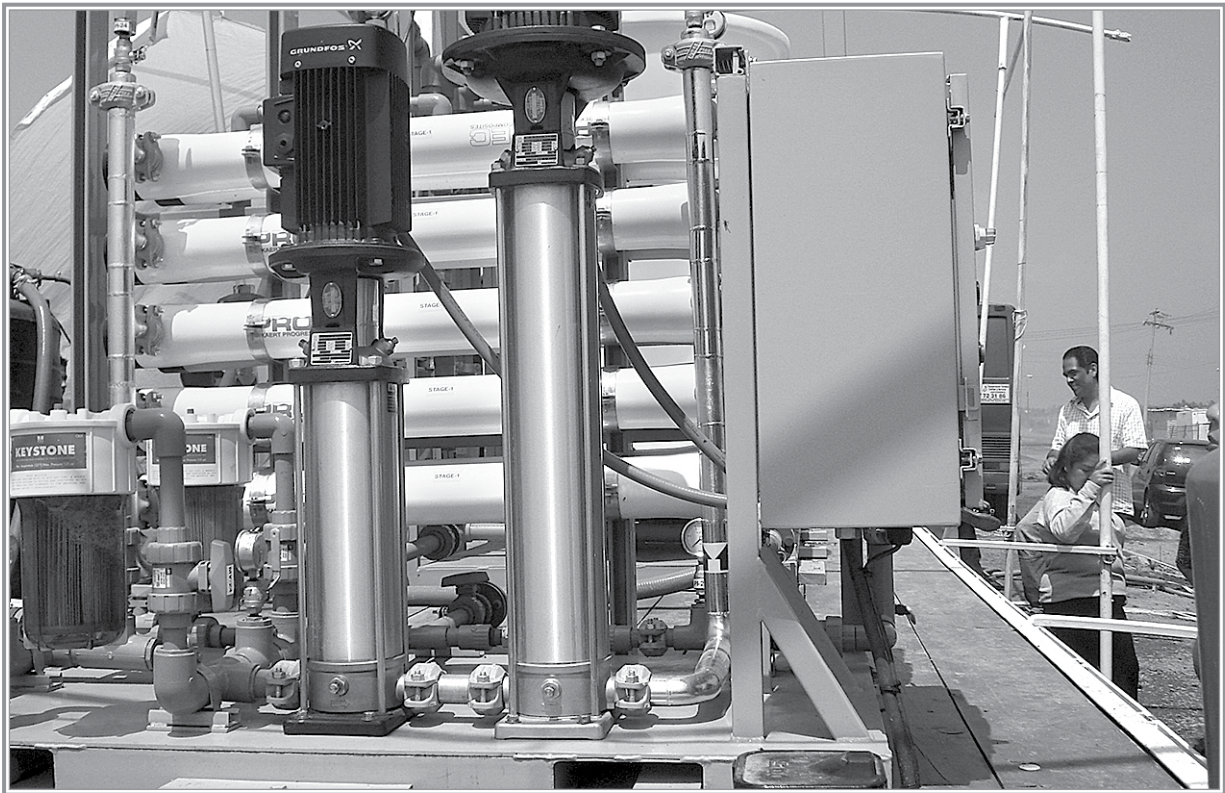


Figura 5 ■ | Planta de ósmosis inversa con una capacidad de tratamiento de 30 m³/día.



Figura 6 ■ | Entrada y laguna de evaporación del RS Tlalnepantla de Baz.



Figura 7 ■ | Planta de tratamientos de lixiviados del RS de Tlalnepantla.

mención, que al igual que sucede en la mayoría de rellenos sanitarios del territorio nacional, este relleno no observa un adecuado sistema de recirculación, y por lo mismo, carece de pozos construidos especialmente para la inyección de los lixiviados.

MANEJO DEL BIOGAS EN LOS RELLENOS SANITARIOS

Los rellenos sanitarios producen biogás -normalmente llamado biogás de relleno- mediante la descomposición de materiales orgánicos bajo condiciones anaeróbicas. El biogás de relleno está compuesto aproximadamente de 45-60 % de metano -CH₄- y 40-60% de bióxido de carbono -CO₂-, con 0.1-1.0% de oxígeno, 2-5% nitrógeno y vapor de agua, así como también pequeñas concentraciones de Compuestos Orgánicos Volátiles -COVs- y Contaminantes del aire dañinos -HAPs por sus siglas en inglés-. De los componentes del biogás, el metano y bióxido de carbono son considerados Gases de Efecto Invernadero -GEI-, los cuales contribuyen al calentamiento global del planeta. Sin embargo, el Panel Intergubernamental en Cambio Climático -IPCC, por sus siglas en inglés- no considera al dióxido de carbono un “biogénico” -producido por un proceso biológico- sino una parte del ciclo natural del carbono. El IPCC sólo considera el contenido



Figura 8 ■ | Localización geográfica y básculas de rodamiento en el acceso al relleno sanitario de Tecámac, Estado de México.

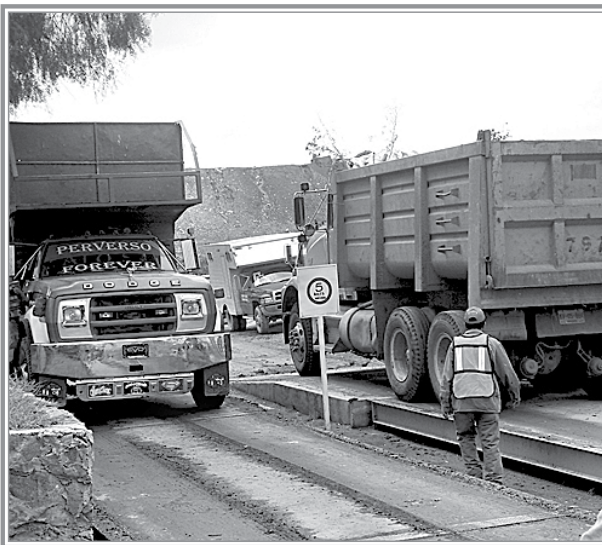




Figura 9 ■ | Talud concluido de celda 1 (lado izquierdo) y frente de trabajo en celda 2 (hacia el fondo).



Figura 10 ■ | Zona de traslape entre celda 1 y 2.

de metano para cálculos de emisiones a la atmósfera (Eastern Research Group, 2007).

El CH_4 es un GEI más potente que el CO_2 , con un potencial de calentamiento global 20 veces mayor al CO_2 (Eastern Research Group, 2007). Por tanto, la captura y combustión del CH_4 -transformándolo a CO_2 y agua- en quemadores y motores generadores u otro dispositivo, resulta en una reducción sustancial de emisiones de GEI, además de los beneficios adicionales por la combustión del biogas, y de mejorar la calidad del aire a través de la destrucción de HAPs y COVs.

Existen dos caminos naturales por los cuales el biogas puede dejar el relleno: por migración subterránea adyacente y por las chimeneas en el sistema de cobertura del relleno. En ambos casos, sin captura o control, el biogas tendrá como destino final a la atmósfera. Debe destacarse el hecho de que en cualquier sitio donde deje de disponerse basura, el biogas continuará generándose durante las siguientes 2 o 3 décadas, alcanzando su máxima producción, por lo general un año después de la clausura del sitio (Tchobanoglous *et al.*, 1994).

Un método común para controlar las emisiones de biogas, es instalar un sistema de recolección de extracción de los gases bajo la influencia de una peque-

ña aspiradora. Los sistemas de control de biogas deben estar equipados con dispositivos de combustión (u otros tratamientos) diseñados para destruir CH_4 , COVs y HAPs, antes de su emisión a la atmósfera.

Una buena calidad de biogas -alto contenido de metano con bajos niveles de oxígeno y nitrógeno- puede ser utilizada como fuente de energía para compensar el uso de combustible fósil convencional. El valor calorífico se extiende típicamente desde 15 hasta 18 Mega joule por m^3 , lo cual es aproximadamente la mitad de valor calorífico del gas natural. De esta manera, en cuanto a su uso potencial, el biogas generalmente caerá dentro de alguna de las siguientes categorías: generación eléctrica, uso directo para calefacción/combustible de caldera, mejorar a gas de alto BTU, además de otros usos tales como combustible para vehículos. En el cuadro 1 se presentan datos de la composición de biogas producido en diferentes rellenos sanitarios de México.

Los valores del cuadro reflejan una relativa uniformidad en los datos de metano -40–58% - y bióxido de carbono (37–58%).

En el año 2007 la LVI Legislatura del Estado de México, a través del comunicado de prensa número 0633, avaló una iniciativa mediante la cual el Ayun-

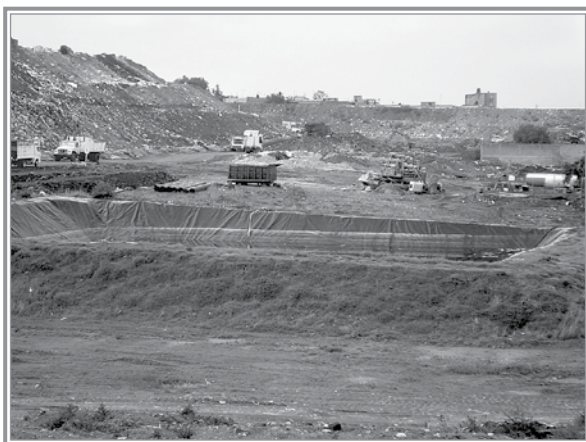


Figura 11 ■ | Laguna de evaporación del relleno sanitario de Tecámac, Estado de México.

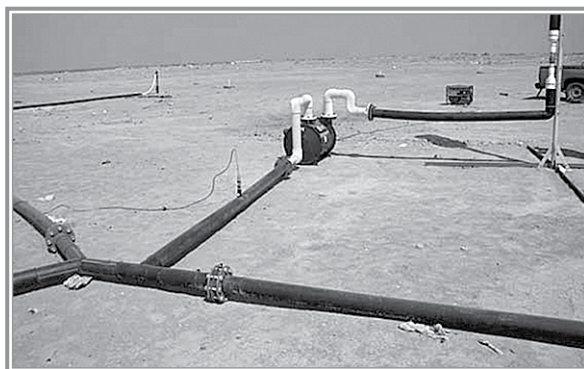


Figura 12 ■ | Sistema para realizar pruebas estáticas y dinámicas de producción de metano en la etapa IV de Bordo Pte, compuesto por tubería PEAD, soplador, planta eléctrica y base de quemador.

Sitio	CH ₄ (%)	CO ₂ (%)	O ₂ (%)	N ₂ (%)
Prados de la Montaña	55.31	38.09	0.94	5.66
Santa Catarina	41.28	58.08	0.00	0.64
Tlalnepantla	57.41	40.95	0.23	1.40
Tepotztlán	52.99	38.91	0.70	7.40
Chimalhuacán	57.08	37.50	0.98	4.43
Querétaro	57.27	42.17	0.08	0.48
Puebla	59.13	37.54	0.83	2.50
Tehuacán	54.43	38.82	1.44	5.30
San Andrés Cholula	55.76	42.04	0.47	1.72
San Pedro Cholula	49.75	36.26	1.26	12.72
Huejotzingo	39.98	48.04	2.55	9.43
Jalapa	55.80	42.31	0.39	1.50
Poza Rica	54.62	42.09	0.70	2.60

Tabla 2 ■ Datos de composición promedio del biogas por sitio (Kiss *et al.*, 2007).

tamiento de Metepec podrá celebrar un contrato de concesión con la empresa Ecomethane, para la construcción y operación de un sistema de colección y aprovechamiento de biogas en el relleno sanitario Socavón.

Aprovechamiento del biogas para rellenos del centro del país

En cuanto al manejo de biogas en el relleno sanitario de Bordo Poniente, el cual se estima que emite al año aproximadamente un millón 200 mil toneladas de

bióxido de carbono equivalente en forma de metano a la atmósfera (SEMARNAT, 2008), de acuerdo con funcionarios de la Secretaría de Obras del Distrito Federal, se planea instalar dentro del relleno una planta productora de biogas, que sería destinado para uso doméstico e industrial. En la actualidad este relleno únicamente cuenta con pozos de venteo, y no existe aprovechamiento alguno del mismo.

La tecnología que se considera implementar, se está utilizando en diferentes ciudades alemanas como Wolfsburg, en la que, con capital privado y gubernamental se recupera un porcentaje de la basura producida en la ciudad, para pasarla al centro de reciclaje y producir biogas para uso doméstico. Con esta tecnología los desechos pasan por una banda en la que se separan orgánicos e inorgánicos; la basura biodegradable es colocada en una fosa, donde se cubre y se recupera el gas, a través de chimeneas para ser almacenado y finalmente se hace llegar a los consumidores (ver instalación figura 12).

Cabe destacar que los resultados muestran que es posible instalar y operar una planta generadora de electricidad de ciclo combinado con capacidad de 62.5 MW, con una generación anual promedio

de 500 millones de MWh durante los próximos 20 años. Se considera suministrar la energía generada en el proyecto de la cuarta etapa de Bordo Poniente de la siguiente forma: 50% para alumbrado público, 20% para el metro, 15% para el bombeo de aguas residuales y 15% para otros usos. Las tarifas promedio aplicadas a estos sectores y los bonos de carbono derivados de la mitigación de los efectos del metano, permiten asegurar la rentabilidad del proyecto (Arvizu, 2008).

Para no ir tan lejos el RS de Bordo debería tomar como modelo el RS de Salinas Victoria, Nuevo León, donde se deposita la basura de sitios conurbados a la ciudad de Monterrey. El cual es el primer proyecto de generación de electricidad con biogas de un RS en México y Latinoamérica, tiene una capacidad nominal de ocho MW y fue inaugurado en el año 2003.

El proyecto contó con el apoyo económico del fondo mundial para el medio ambiente -GEF, por sus siglas en inglés- gestionado a través del Banco Mundial. Se trata de un proyecto de abastecimiento eléctrico, donde el organismo operador del RS -SEMIPRODE- y la empresa Bioeléctrica de Monterrey -conformada por un consorcio mexicano-inglés cos-



Figura 13 ■ Quemadores de biogas instalados en el RS de Tlalnepantla de Baz.

tarricense- constituyó la sociedad de autogeneración junto con las empresas consumidoras de la energía, entre ellas la empresa de agua y drenaje de la ciudad de Monterrey. Este proyecto es un buen ejemplo de lo que se puede lograr en el país (Arvizu y Huacuz, 2008).

Manejo de biogas en el relleno sanitario de Tlalnepantla de Baz

En el RS de Tlalnepantla de Baz, actualmente el biogas sólo es quemado para evitar la migración del metano hacia la atmósfera -figura 13- y se monitorea con un equipo de campo LAND-TEC GEM 2000. En este sitio al igual que en Bordo Poniente se están haciendo estudios para hacer las instalaciones necesarias para producir energía eléctrica, ya esta el proyecto, se espera que quede concluido el próximo año.

Manejo de biogas en el relleno sanitario de Tecámac, Estado de México

En Tecámac con respecto al biogas, contrario a lo que se presenta en Bordo Poniente, en este relleno se encuentra instalado un sistema moderno de quemado -figura 14- que opera a temperaturas de 750-1200°C. Para ello cuenta con dos cabezales de 8 líneas c/u -figura 15-, donde se toman muestras para la calidad del biogas. Por esta actividad, al no emitir compuestos gaseosos que contribuyen con el calentamiento global del planeta, el relleno goza de los programas mundiales de bonos de carbono.

COMENTARIOS FINALES

En países desarrollados los lixiviados se someten a sistemas de tratamiento para la depuración de los mismos, contrario a las prácticas comunes a las que se recurre en países como el nuestro, en la que la “tecnología” empleada es a base de lagunas de evaporación y sistemas de recirculación -en plataformas de celdas-, que en su mayoría son deficientes y cuestionables por los problemas de salud que puede repre-

sentar para los trabajadores. Prácticamente, la forma de manejar los lixiviados en México, ha caído en desuso en aquellos países, donde la legislación dicta que los lixiviados, a pesar de su complejidad, sean vistos como un agua residual más que es necesario tratar.

Por otro lado, con las visitas realizadas a los rellenos sanitarios de Bordo Poniente, Tecámac y Tlalnepantla”, se constata la complejidad que envuelve la disposición final de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial, y más aún para el relleno sanitario de Bordo Poniente, donde se depositan diariamente arriba 13,400 ton/día, circulando 4 tráileres llenos de basura por minuto hacia el relleno, con una generación elevada de lixiviados y con solo una fracción de ellos tratados adecuadamente a través de una Planta fisicoquímica. Con esto queda claro, el gran campo por explorar en la búsqueda de tecnologías que hagan frente a la complejidad de estos líquidos.

En lo que toca al biogas, es claro entender que su manejo no es una tarea fácil de llevar a cabo, sin embargo, puede ser una fuente atractiva de generación de energía, por lo que es apropiado que en los rellenos de alto volumen de captación de residuos, puedan integrarse plantas para el aprovechamiento más que para el quemado de estos gases.

El agotamiento de los combustibles fósiles en México y en el mundo, ha conducido al estudio de otras alternativas para la generación de energía, tal es el caso del biogas de rellenos sanitarios, adicionalmente, con estas estrategias se puede impactar positivamente en el calentamiento global del planeta, con la disminución de gases que provocan el efecto invernadero.

Lamentablemente, excepto por el proyecto de la ciudad de Monterrey, el biogas producido en el país no se aprovecha, por lo que más de 40 toneladas equivalentes de CO₂ terminan incorporándose a la atmósfera con las implicaciones ambientales que conlleva.

Finalmente, el proyecto de aprovechamiento del biogas pensado para el relleno sanitario de Bordo



Figura 14 ■ | Sistema de quemado de biogas.



Figura 15 ■ | Sistema de conducción de biogás (cabezal con 8 líneas).

Poniente, es de inicio sumamente atractivos, sin embargo, dos factores lo convierten en un proyecto de alto riesgo; por un lado, se tiene una inversión muy elevada sin tener la seguridad de que el proyecto va a marchar; por otro, si el proyecto resultase, el sitio sobre el cual se asienta el relleno, es un terreno que se encuentra en una situación legal muy complicada donde convergen intereses políticos y sociales.

LITERATURA CITADA

ARVIZU FERNÁNDEZ, JOSÉ L., 2008. *Generación de electricidad con el biogas producido en el relleno sanitario de Bordo Poniente.* Boletín 042, Octubre – Diciembre 2008 (Breves técnicas). Instituto de Investigaciones Eléctricas.171 -172

ARVIZU, F.J.L., HUACUZ V. J.M., 2003. Biogas de rellenos sanitarios para producción de electricidad. *Boletín IIE.* 118-123.

CASTILLO, B., SALAZAR, G., MÉNDEZ, N., & SAURI, R., 2006. Remoción de metales pesados en el lixiviado de un relleno sanitario mediante un tratamiento fisicoquímico. *XV Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales.*

EASTERN RESEARCH GROUP, INC. Y CARBON TRADE, LTD, 2007. *Estudio de prefactibilidad de potencial del biogas, Relleno Pichacay, Cuenca, Ecuador.*

GÁBOR KISS, SERGIO FLORES, GUILLERMO ENCARNACIÓN Y GUSTAVO SOLÓRZANO, 2007. *Caracterización del Biogas generados en trece sitios de disposición final de residuos sólidos urbanos en México.* Gaceta Ecología No 82. Instituto Nacional de Ecología, México.

GRAY, D., POLLARD, S., SPENCE, L., SMITH, & GRONOW, J., 2005. Spray irrigation of landfill leachate: Estimating potential exposures to workers and bystanders using a modified air box model and generalized source term. *Environmental Pollution* 133: 587-599.

INEGI, 2010. *Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática. Relleno sanitario por entidad federativa.* 1 p.

LOPES, J., Y PERALTA, P., 2005. Use of advanced oxidation processes to improve the biodegradability of mature landfill leachates. *Journal of Hazardous Materials*. B123: 181-186.

LUNA, Y., OTAL, E., VILCHES, L., VALE, J., QUEROL, X., FERNÁNDEZ, C., 2007. Use of zeolitised cal fly ash for landfill leachate treatment: A pilot plant study. *Waste Management*. 27: 1877-1883.

Poder Legislativo del Estado de México, 2007. *Aprueban en Comisiones Aprovechamiento de biogas en relleno sanitario de Metepec.* Comunicado de prensa N° 0633.

RIVERA DE LA TORRE GABRIELA, SARMIENTO BLEICHER CONRADO, 2006. *Programa de pruebas de Campo para la utilización de Biogas del Relleno Sanitario Prado de La Montaña.*

ROJAS-VALENCIA, M. N., 2009. Manejo integral de residuos sólidos, impacto ambiental y costos. *Revista Ingeniería Civil. Organó Oficial del Colegio de Ingenieros Civiles de México.* No. 477 : 12-16.

Secretaría del Medio Ambiente, 2009. *Inventario de Residuos Sólidos del D.F.* Dirección General de Planeación y Coordinación de Políticas pág. 1-49.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2008. *La vida útil del relleno sanitario de Bordo Poniente ha concluido.* Comunicado de prensa Núm. 155/08

TCHOBANOGLOUS G., THEISEN H. & VIGIL S., 1994. *Gestión integral de residuos sólidos.* Ed. McGraw-Hill

WISZNIOWSKI, J., D . ROBERT, J. GORSKA, K. MIKSCH and J. WEBER, 2006. Landfill leachate treatment methods: A review. *Environ Chem Lett.* 4 (1): 51-61

