

LANDFILL GAS, UNA ALTERNATIVA EN EL MERCADO DE REDUCCIÓN DE EMISIONES DE GASES.

Nombre autor/es: María Laura Graziadio, Vanina Noemi Ferramonti.
Empresa: TECNA S.A. Estudios y Proyectos de Ingeniería.

Índice

1. Sinopsis	2
2. Conceptos generales	3
2.1. Efecto invernadero.....	3
2.2. Gases de efecto invernadero	3
2.3. Marco internacional	3
2.4. Proyectos de reducción de emisiones	5
3. Aspectos generales del LFG.....	5
3.1. Generación de gas.....	5
3.2. Composición del LFG.....	6
3.3. Estimación de Producción de Gas	7
4. Procesamiento de LFG.....	9
4.1.1. Pozos de Extracción de Gas.....	9
4.2. Recolección de condensado y sistema de tratamiento.	11
4.3. Sopladores & Compresores	12
4.4. Sistemas de venteo.....	12
4.5. Tratamiento del Gas.....	12
4.6. Tratamiento del LFG	14
4.6.1. Pre-Tratamiento Primario	14
4.6.2. Pre-Tratamiento Secundario	16
4.6.3. Tratamiento post-combustión	19
5. Utilización de LFG	20
5.1. Beneficios ambientales	20
5.2. Beneficios económicos	20
5.3. Beneficios comunitarios	20
5.4. Beneficios en términos de energía	20
5.5. Aplicaciones	21
6. Mediciones y estimaciones LFG en Argentina.....	23
7. Casos de Utilización de LFG	25
8. Bibliografía.....	28

1. Sinopsis

El nuevo panorama que se establece con la entrada en vigencia del protocolo de Kyoto tendrá una clara repercusión económica en las estrategias empresariales. De esta forma la reducción de emisiones de gases como dióxido de carbono (CO₂) y metano (CH₄) tendrá valor económico a través de los certificados de reducción de emisiones, promoverá proyectos productivos sustentables y regulará las obligaciones de las empresas para garantizar dicha reducción. Dentro de este contexto, las distintas empresas dedicadas a la industria energética se disponen a contribuir responsablemente en el desafío que implica la mitigación del efecto invernadero.

Una alternativa de inversión, que en numerosos casos ya ha sido implementada y que en otros se encuentra en etapa de investigación y desarrollo, es la captación y aprovechamiento de Gases de Rellenos Sanitarios o Landfill Gas (LFG).

De acuerdo con lo mencionado anteriormente, el propósito de este trabajo es describir las oportunidades que presentará el aprovechamiento del LFG como recurso para participar en el “mercado de reducción de emisiones de gases”.

A lo largo del trabajo se mencionarán los organismos que regulan este mercado (o lo harán en un futuro cercano), incentivan o sustentan su desarrollo como ser: Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL), Banco Mundial, entre otros.

Además se dará una reseña de los procesos asociados con la captación, procesamiento, disposición y utilización del LFG, mencionando a su vez las consideraciones técnicas que se deben tener en cuenta.

Por último, se presentarán casos reales, los cuales se encuentran en distintas etapas de desarrollo o están actualmente en operación tanto en Argentina como en otros países; y sobre la base de un caso particular se describirán los distintos aspectos relacionados con el negocio del LFG, como ser: reducción de CH₄ (medido en toneladas de CO₂ equivalentes).

2. Conceptos generales

2.1. Efecto invernadero

La Tierra para mantener un balance energético debe: liberar al espacio la misma cantidad de energía que absorbe del sol. Esta energía solar llega a la Tierra como radiación de onda corta, un porcentaje es reflejado pero la mayor parte pasa directamente a la atmósfera y calienta la superficie terrestre, y posteriormente se envía nuevamente al espacio en forma de onda larga (radiación infrarroja).

Los gases de efecto invernadero (vapor de agua, CO₂, CH₄ y otros) absorben gran parte de esta radiación infrarroja impidiendo que se libere al espacio, desequilibrando el balance de energía de la Tierra. Como la energía no puede ser acumulada por ningún sistema, el clima deberá adaptarse aumentando la temperatura.

Si bien una retención de un 2% de la energía a liberar no parece demasiado, en la totalidad del planeta representa la acumulación de 3 millones de toneladas de petróleo por minuto.

2.2. Gases de efecto invernadero

Los dos gases principales de efecto invernadero asociado con los rellenos sanitarios son el metano (CH₄) y el dióxido de carbono (CO₂). Si bien la acción química que tienen estos gases en la atmósfera no serán descriptos es importante mencionar lo siguiente:

- Las toneladas de CO₂ equivalentes debidas a la emisión de CH₄ corresponden a un efecto aproximadamente 21 veces más nocivo que la propia emisión de CO₂.
- Los ciclos de CH₄ en la atmósfera son aproximadamente dos veces más rápidos que los de CO₂, lo que significa que cortar las emisiones de CH₄ dan una respuesta mucho más efectiva para mitigar el efecto invernadero.

Por otro lado es de destacar que el gas de rellenos sanitarios (LFG) es una de las fuentes simples más importantes respecto de emisión de CH₄, particularmente en los EEUU, contribuyendo con un 40% de esas emisiones cada año. Por lo que reducir las emisiones de CH₄ es una lucha crítica contra el cambio climático.

2.3. Marco internacional

El Protocolo de Kyoto es un acuerdo internacional de lucha contra el cambio climático, que se firmó en diciembre de 1997 en la ciudad japonesa. Cien gobiernos de todo el mundo apoyaron la propuesta que respondía al compromiso planteado en la Conferencia de la Tierra de 1992, celebrada en Río de Janeiro, en la que se acordó diseñar un instrumento legal internacional para luchar contra el cambio climático.

Tras firmarse en 1997, el acuerdo necesitaba el apoyo legal de un conjunto de países que supongan el 55% de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero. Pese a la negativa de Estados Unidos de ratificar el protocolo, el apoyo de Rusia, que emite el 17% del CO2 mundial, garantizó ese objetivo del 55%.

El Protocolo de Kyoto obliga a alcanzar una reducción mundial de las emisiones del 5,2% entre 2008 y 2012, frente a 1990. Para lograrlo, el protocolo prevé distintas obligaciones de recorte o aumento de la contaminación, que en conjunto garanticen la reducción del 5,2%.

El Protocolo prevé un conjunto de instrumentos para facilitar la reducción de la contaminación. Son los denominados ‘mecanismos de flexibilidad’ y son básicamente:

- Comercio de emisiones.
- Mecanismos de desarrollo limpio (MDL), que consisten en proyectos limpios en Latinoamérica que generan reducciones de emisiones (esta zona es la capta las mayores iniciativas siendo Brasil y Chile los principales involucrados).
- Proyectos de aplicación conjunta (JI, según sus siglas en inglés), que son como los MDL pero en Europa del Este y norte de África.
- Fondos de carbono, promovidos por el Banco Mundial, en el que puede invertir una empresa y recibirá cambio certificados de reducción de CO2.

La Unión Europea ha lanzado el mercado de emisiones, de modo de comprar o vender derechos de emisiones de CO2, para ajustarse a una asignación de contaminación otorgada por sus Gobiernos a través de un Plan Nacional de Asignación (PNA). Las empresas que tengan que ajustarse a la asignación anual del PNA, si sus emisiones la superan, tendrán que ir al mercado a comprar derechos a otras empresas a las que les sobren.

El Protocolo de Kyoto prevé el comercio internacional de emisiones como una medida, por lo que se espera que acabe surgiendo una bolsa mundial de CO2. Esto tiene dos fases: la primera, entre 2005 y 2007, de carácter experimental, en la que las empresas han recibido derechos de forma gratuita; y la segunda, entre 2008 y 2012, en el que los gobiernos pueden cobrar por los derechos.

Se estima actualmente un valor entre 3 y 5 dólares para los bonos que equivalen a una tonelada de CO2 equivalente no emitido o capturado.

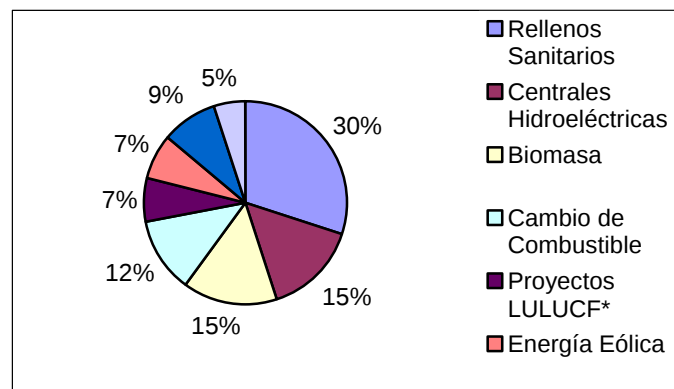
Particularmente en Argentina se ha creado en el año 2001 la Oficina Argentina para el Mecanismo de Desarrollo Limpio, que depende de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable.

2.4. Proyectos de reducción de emisiones

Distintos proyectos han sido aplicados respecto a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, encontrándose proyectos relacionados con:

- Captación de gases de rellenos sanitarios (ocupa el primer lugar en lo que se refiere al volumen).
- Centrales hidroeléctricas.
- Biomasa.
- Cambio de combustible

La distribución se muestra en el siguiente gráfico:



*LULUCF: Land use, Land-use Change and Forestry (utilización del suelo, cambio de la utilización del suelo y silvicultura). Esto implica políticas de reforestación, etc.

El EPA Landfill Methane Outreach Program incentiva a propietarios y operadores de rellenos sanitarios a desarrollar proyectos donde tenga sentido económico. EPA estima que alrededor de 700 rellenos sanitarios en EEUU han sido económicamente viables para generar sistemas de recuperación de energía locales.

3. Aspectos generales del LFG

3.1. Generación de gas

El LFG es generado en todos los rellenos sanitarios por degradación natural anaeróbica de los residuos, resultando en la formación de aproximadamente un 55% de CH₄ y 45% de CO₂ (porcentajes en volumen) con trazas variables de nitrógeno, oxígeno y contaminantes absorbidos conocidos como componentes orgánicos no metanos (NMOCs). Estos son generalmente gases tóxicos como benceno, tolueno, cloroformo, cloruro de vinilo, compuestos halogenados, compuestos químicos tóxicos no halogenados, etc.

La cantidad total de LFG generado depende casi directamente de la cantidad de material orgánico contenido en el relleno sanitario. Estudios efectuados indican que la tasa de formación de gases resulta entre 0.0025 y 0.008 Sm³ de CH₄ /Kg de residuos (la mayoría de los rellenos sanitarios se encuentran por debajo de 0.0063 Sm³ CH₄/ Kg residuos).

En Estados Unidos por ejemplo la generación de residuos se aproxima a 2 Kg de residuos/día, por lo que si contemplamos que el 70% de estos residuos son depositados en rellenos sanitarios, resulta una generación de gas de 0.01 Sm³/día/persona.

Se estima que el 50% de los residuos comerciales y domiciliarios están conformados por materiales que pueden descomponerse y generar LFG, siendo la velocidad de formación de gases favorecida por:

- Mayor contenido de materia orgánica en el relleno.
- Alta humedad.
- Mayor superficie por tamaño de las piezas que conforman el residuo.
- Menor grado de compactación del residuo.
- PH entre 6.7 y 7.2.

3.2. Composición del LFG

El gas natural está conformado aproximadamente por un 75-90% de metano, siendo el porcentaje restante conformado por otros hidrocarburos además de nitrógeno, agua, CO₂, sulfuro y otros contaminantes, mientras que el LFG tiene niveles de metano mucho menores.

A continuación se indican los rangos y los promedios de la concentración de los distintos componentes en el LFG.

Componentes	Concentración en el LFG	
	Rango	Promedio
CH ₄	35 – 60 %	50 %
CO ₂	35 – 55 %	45 %
N ₂	1 – 5 %	5 %
O ₂	1 – 5 %	< 1 %
H ₂	1 – 5%	ND
H ₂ S	1 – 1700 ppmv	21 ppmv
Haluros	ND	132 ppmv
Vapor H ₂ O	1 – 10 %	ND
NMOCs	237 – 14294 ppmv	2700 ppmv

- ND = dato no disponible
- ppmv = partes por millón en volumen.
- Fuente: G.J. Sandelli, Demonstration of Fuel Cells To Recover Energy from Landfill Gas. Phase/Final Report: Conceptual Study.

3.3. Estimación de Producción de Gas

El primer paso en la decisión de utilización de un relleno se basa en determinar si el mismo tiene las características necesarias para ser aplicado al aprovechamiento de energía.

Si el relleno recibe descargas industriales deberá efectuarse un estudio particular por la posible presencia de componentes no orgánicos y altamente tóxicos.

A rasgos generales se puede decir que si se cumplen las siguientes características, el relleno es apto para su desarrollo:

- Relleno que dispone más de 1 millón de toneladas de residuo.
- Relleno aún recibiendo residuos o cercano a recibir residuos en los próximos años.
- Profundidad del relleno mayor a 12 metros.

El siguiente paso es estimar los caudales de gas que pueden ser extraídos para que el sistema se convierta en una opción viable. Una regla básica estima que si los caudales son mayores a 30000 Sm³/d de gas la inversión será económicamente viable.

Una forma grosera de estimar la producción de gas es tomando como único dato la reserva de residuos disponible en el relleno. En este caso la tasa de generación de gas se adopta de acuerdo a datos disponibles de casos probados (a pesar de que muchas características del relleno en particular pueden afectar los resultados reales). La regla de cálculo es entonces la siguiente: para un relleno de 1 millón de toneladas de residuo en el sitio, se estima una producción de alrededor de 15500 m³/d de gas, con una incertidumbre de un 50% (es decir que el caudal puede encontrarse entre 7750 y 23250 m³/d).

Esta aproximación es útil para evaluar el primer año de explotación, luego la declinación toma un papel importante en el balance de masa del relleno y lo anteriormente mencionado no podría ser aplicado.

Otro método de cálculo considera la declinación del relleno, y requiere de la evaluación de 4 variables:

1. Promedio anual de recepción de residuos en el relleno.
2. Cantidad de años que el relleno se ha encontrado abierto.
3. Cantidad de tiempo que el relleno se ha encontrado cerrado.
4. Tasa de generación de metano de acuerdo al tipo de residuo recibido.

De este modo se obtiene el siguiente modelo: $LFG = 2 L_o R (e^{-kc} - e^{-kt})$

Donde:

- LFG = cantidad de gas generado en el año (pies cúbicos, cf).
- L_o = Generación potencial de metano (cf metano /lb residuo). Representa la cantidad total de metano que se espera sea generado en la vida del relleno por libra de residuo.

- R = Promedio anual de masa de recepción de residuos (lb)
- k = Fracción de generación de metano (1/año). Representa la tasa a la cual el CH_4 va a ser liberado por cada libra de residuo.
- t = Tiempo desde que el relleno fue abierto (años)
- c = Tiempo desde el cierre del relleno (años)

En la siguiente tabla se muestran valores recomendados para las variables en cuestión:

Variable	Rango	Valores sugeridos		
		Clima Húmedo	Clima de humedad media	Clima seco
Lo (cf/lb)	0-5	2.25-2.88	2.25-2.88	2.25-2.88
K (1/año)	0.003-0.4	0.1-0.35	0.05-0.15	0.02-0.10
Fuente: Landfill Control Technologies, "Landfill Gas System Engineering Design Seminar," 1994.				

Ejemplo de cálculo: Para un relleno que ha estado abierto 25 años, aún acepta residuos a una tasa anual de 40000 tons. Adoptando los siguientes parámetros: $L_0 = 2.7$ cf/lb, $k = 0.05$. Se obtiene una producción de 8800 m³ por año.

Se disponen de cálculos analíticos que otorgan resultados con menor incertidumbre en el cual se necesitan mayor cantidad de variables de proceso. Estos métodos implican la utilización de software especialmente desarrollado para la evaluación de rellenos sanitarios.

Otro método, el cual es el más exacto, involucra la ejecución de pozos de prueba con medidores de caudal y de otros parámetros asociados (pump tests). En este caso es importante seleccionar la ubicación del pozo que sea representativo de todo el relleno. La ventaja del método es que el gas recolectado puede ser testeado y su calidad y cantidad determinada. Luego, más de un pozo puede ser necesario para disponer de una importante cantidad de datos para evaluar la capacidad que tiene el relleno para producir gas.

Es importante considerar que la eficiencia de la recolección de gas ronda el 75-85% de la cantidad total de gas que se genera en el relleno cuando el gas se utilizará para aprovechamiento de su energía, mientras que, cuando el gas es directamente quemado se efectúan diseños con una eficiencia menor.

4. Procesamiento de LFG

El gas producido es recolectado por un sistema que generalmente consiste en una serie de pozos realizados dentro del relleno sanitario, y conectados a un sistema de cañerías de plástico. El gas que ingresa al sistema de recolección está saturado con agua y ese agua será removida antes de mayor procesamiento.

Los típicos sistemas de recolección y tratamiento de LFG tienen tres componentes centrales:

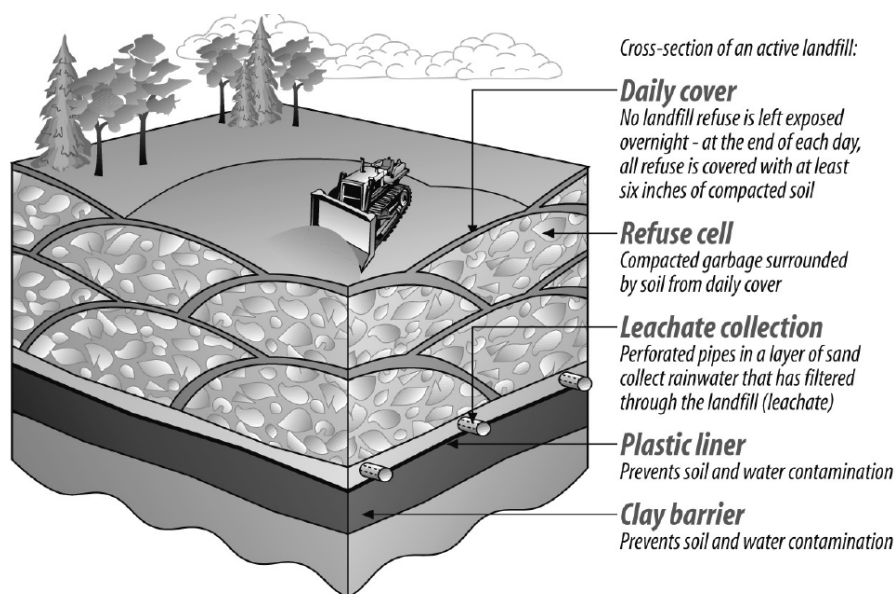
1. Pozos de extracción.
2. Recolección de condensados y sistema de tratamiento.
3. Compresión.

Además muchos rellenos sanitarios con sistemas de recuperación de energía tienen una antorcha para la combustión del exceso de gases y para uso durante la parada de equipos.

Cada uno de estos componentes y procesos serán descritos a continuación.

4.1.1. Pozos de Extracción de Gas.

A continuación se muestra un esquema de relleno sanitario, con la descripción de sus partes:

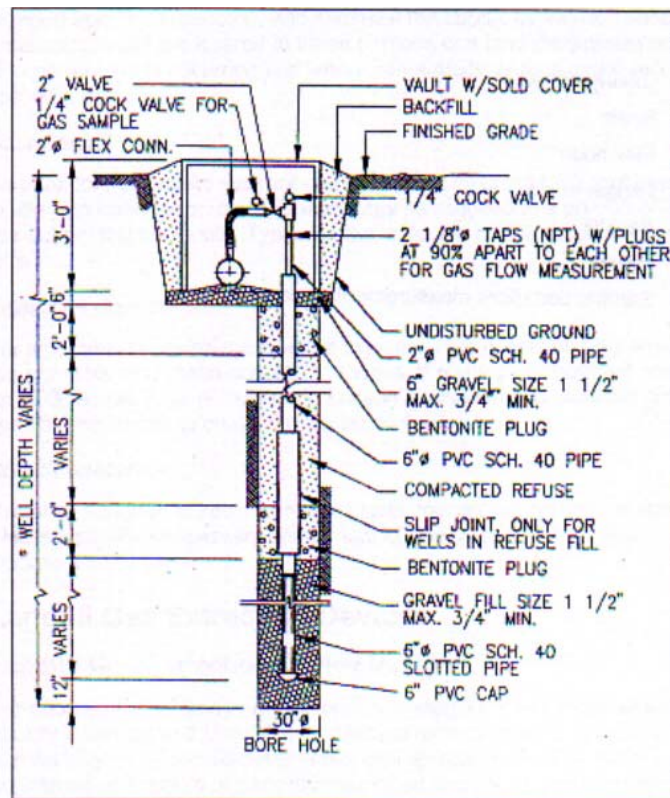


Hay dos configuraciones de sistemas de recolección: pozos verticales y horizontales.

Pozos verticales:

Son el tipo más común para la recolección de gas. Consisten en cañerías de plástico (usualmente PVC o HDPE) de diámetro entre 4 y 8 pulgadas con intervalos de perforaciones separados entre 24 y 36 pulgadas. Los pozos son generalmente instalados a 60–80% de profundidad del relleno.

La siguiente figura presenta un esquema de pozo de extracción vertical.



Pozos horizontales:

Este tipo se aplica particularmente en rellenos profundos.

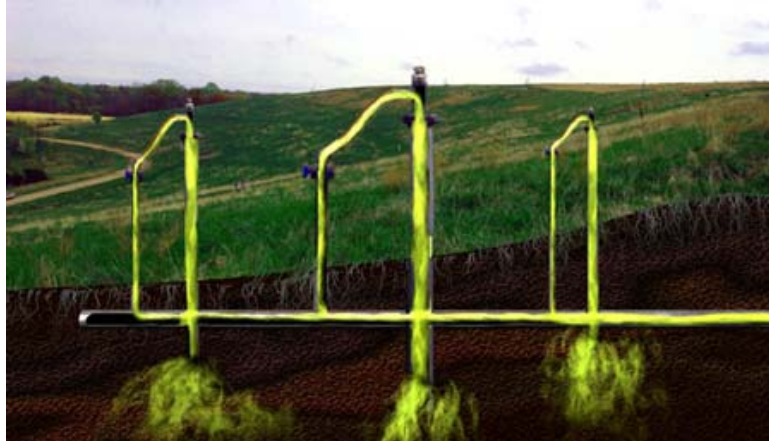
Sistema de recolección:

Sin importar si pozos verticales u horizontales son usados, cada cabeza de pozo (wellhead) es conectada a cañería lateral, la cual transporta el gas al colector principal. Idealmente, el sistema de recolección debe ser diseñado para que el operador pueda monitorear y ajustar el caudal de gas de las distintas áreas cuando se necesario.

Los sistemas de recolección pueden ser enterrados o estar montados sobre el terreno y la ubicación de los pozos estará relacionada a estudios de presión en el relleno y estimaciones de caudales de modo de generar la red de captación más favorable desde el punto de vista hidráulico.

Se muestran a continuación una serie de esquemas que representan pozos pertenecientes a rellenos sanitarios:

Pozos y colector de LFG:



Cabezas de Pozo:



4.2. Recolección de condensado y sistema de tratamiento.

Una parte importante de los sistemas de recolección de gas es la captación de condensados y el sistema de tratamiento asociado.

El condensado se forma cuando el gas caliente proveniente del relleno sanitario se enfría a medida que circula a través del sistema de recolección. Si el condensado no es removido puede bloquear el sistema de recolección e interferir con el proceso subsiguiente. El control de condensados comienza generalmente en el sistema de recolección de campo, donde los caños en pendiente y colectores son usados para permitir el drenaje a los tanques de recolección.

Algunos de los métodos de disposición de condensado son la descarga a sistemas cloacales públicos, tratamientos on-site, y recirculación al relleno sanitario. El mejor método para un relleno en particular dependerá de las características del condensado (el cual puede variar dependiendo de los constituyentes específicos que conforman los residuos), las regulaciones locales y los costos de tratamiento y disposición final.

4.3. Sopladores & Compresores

Los sopladores son necesarios para transportar el gas desde los colectores de los pozos hasta el colector principal, y un compresor puede ser necesario para comprimir el gas antes de que este ingrese al sistema de recuperación de energía. El tamaño, tipo y número de sopladores y compresores dependerá del caudal de gas y nivel de compresión deseado, el cual típicamente es determinado por el equipo de conversión de energía.

4.4. Sistemas de venteo

El sistema de venteo (antorcha) puede ser necesario durante puestas en marcha o emergencias, o para ventear exceso de gas producido si fuera necesario. Se puede disponer de antorchas abiertas o cerradas, disponiendo estas últimas de mayor eficiencia en el quemado de gases.

4.5. Tratamiento del Gas

Una vez que el gas ha sido recolectado y previamente a su utilización debe ser tratado para remover cualquier condensado, partículas u otras impurezas. Los requerimientos de tratamiento dependen de la aplicación del gas y de la composición del mismo.

Después de la extracción del agua, en algunos casos el LFG puede ser utilizado directamente en máquinas reciprocantes.

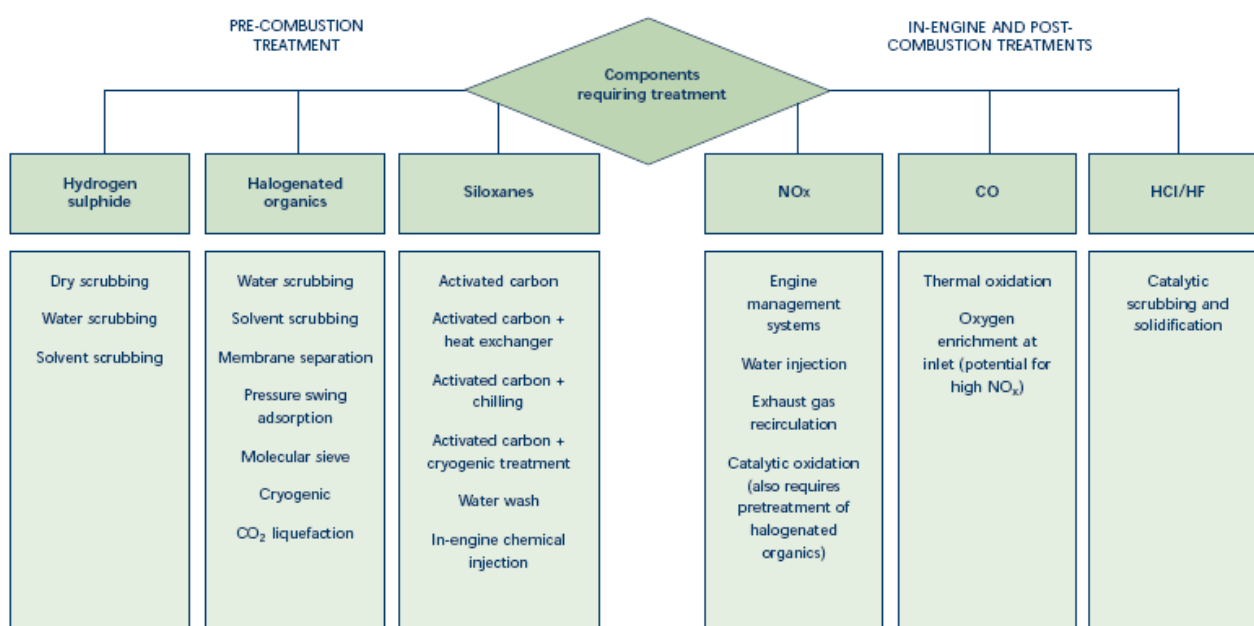
Puede también ser convertido en un gas de alto poder calorífico (usado en calentadores para procesos de manufactura). El proceso de conversión a un gas de alto poder calorífico requiere la remoción del H₂S, del CO₂ y de las trazas de otros componentes. Esto da como resultado un gas con un poder calorífico cercano a 1000 BTU/scf (energía contenida en un gas natural 95% de metano). La producción de un gas de alto poder calorífico proveniente del LFG es generalmente realizado en dos etapas. Primero - pretratamiento: en esta etapa se remueven las mezclas y trazas de componentes por refrigeración, deshidratación o filtración. Segundo - remoción de CO₂: por uno de los muchos procesos comunes usados para este propósito en la industria del petróleo. La primera planta del mundo de LFG usaba lechos de carbón activado para pretratamiento y un tamiz molecular para la remoción del CO₂.

En lo que concierne al medioambiente, la eficiencia de destrucción de ciertos componentes en el proceso de combustión representa un beneficio frente a la liberación de los gases sin ningún tipo de tratamiento. A continuación se listan algunos componentes junto con la eficiencia de destrucción durante el proceso de combustión.

Type of compound	Minimum (%)	Maximum (%)
Methane	96.0	99.6
Alkanes	70.2	>99.9
Alkenes	50.1	>99.6
Alcohols	84.1	>99.8
Aldehydes	>42.4	95.9
Ketones	>87.4	99.9
Aromatic hydrocarbons	92.0	>99.9
Terpenes	–	>99.9
Sulphur compounds	>8.7	>96.6
Halogenated hydrocarbons	>70.1	>99.7

Por otro lado, componentes como HCl, SO_x serán productores de compuestos clorados, y sulfurados que afectan nocivamente el medioambiente, es por esto que el gas a ser quemado requiere en ciertos casos un tratamiento especial. Por esto la composición del gas para destinarlo a la generación de energía eléctrica debe ser considerada en el momento de evaluar económicamente la inversión, ya que sistemas de tratamiento del gas pre- y post- combustión pueden ser necesarios.

A continuación se presenta un diagrama que menciona procesos de tratamiento de gas pre- y post-combustión. El rol del tratamiento pre-combustión es adecuar la calidad del gas para reducir su efecto contaminante e incrementar su efectividad como combustible, mientras que los tratamientos post-combustión se basan en la reducción de emisión de componentes nocivos. Los tratamientos cubren desde simples filtraciones hasta reacciones catalíticas de conversión de sustancias.

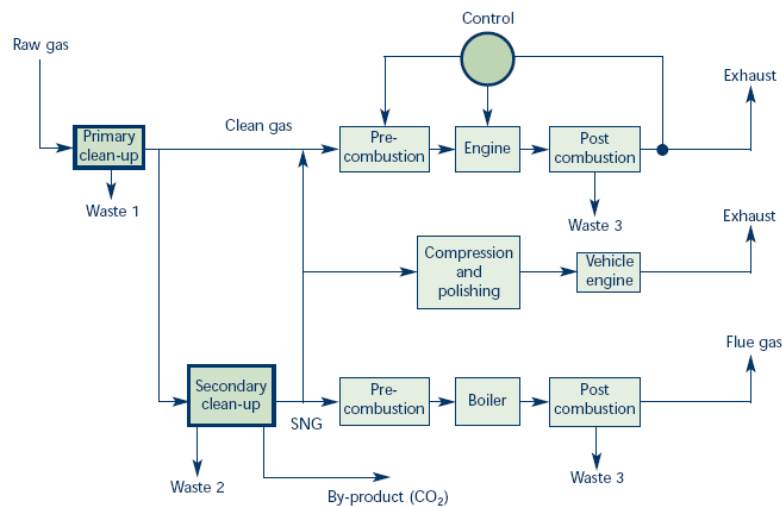


4.6. Tratamiento del LFG

Una de las aplicaciones del LFG más interesantes es su utilización para la generación de energía eléctrica. Los siguientes apartados describen someramente las consideraciones que se deben tener en cuenta para esta aplicación.

Dos estados básicos deben considerarse para el tratamiento del gas:

1. Tratamiento primario destinado a remover agua y partículas.
2. Tratamiento secundario destinado a remover componentes específicos que se asocian al detrimento de los equipos y a la contaminación ambiental.



De este modo los procesos destinados al tratamiento incluyen:

- Tecnologías para adecuación de la calidad del gas para mejorar la performance de las máquinas y reducir costos de mantenimiento.
- Tecnologías asociadas a la reducción de emisiones lo cual incluye: pre y post enfriamiento, eliminación de agua por medio de ciclones u otros medios de separación, filtración de partículas, adaptación de las máquinas de combustión para reducir emisiones.
- Tecnologías más específicas para eliminación de contaminantes por medio de carbón activado, zeolitas, métodos de absorción, separación criogénica, extracción con solventes, separación con membranas, conversión catalítica o por medios térmicos, etc.

4.6.1. Pre-Tratamiento Primario

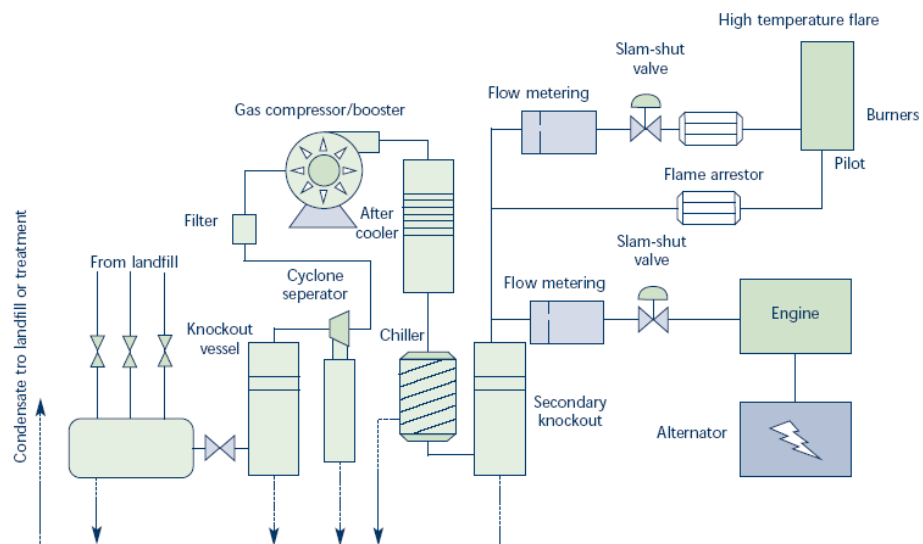
Se componen de tratamientos simples para eliminar agua y partículas.

La presencia de líquido tiene un efecto nocivo ya sea por acumulación de líquido en las líneas de transporte, que reducen el espacio para el pasaje de gas e incrementan la pérdida de carga, además generan inestabilidad al sistema debido al flujo multifásico. Tres conceptos asociados con la presencia de líquido deben ser considerados:

1. Slugs de líquido.
2. Formación de espumas.
3. Eliminación de vapor no condensado.

Captura de líquido:

Comúnmente un Knock Out Drum (KOD) se implementa aguas abajo del sistema de captación, sin embargo en muchos casos trampas de agua se instalan en distintos puntos de la red de captación. La ubicación del KOD junto con otros componentes del sistema pueden observarse en el siguiente gráfico.



Remoción de espumas:

Se colocan elementos coalescedores dentro de los KOD de modo de conglomerar las pequeñas gotas de líquido que saldrían del KOD evitando de esta forma el carryover. En algunos casos se instalan ciclones en la salida de gas del KOD capturando el 99% de gotas mayores a 10 micrones.

Reducción vapor de agua:

Para alimentar máquinas de combustión o para permitir el transporte del gas se aumenta la presión por medio de compresores, como consecuencia se incrementa la temperatura, la cual debe ser disminuída nuevamente para evitar la necesidad de materiales especiales en los elementos localizados los aguas debajo de la compresión.

Este enfriamiento post-compresión provoca la condensación de líquidos causando problemas en las líneas de exportación. En algunos casos es necesario reducir la condensación de agua a un 100%, por lo que se recurre a los siguientes procesos:

- *Secado por refrigeración:* se enfría el gas hasta temperaturas de 0°C o menores, parte del líquido condensa, el gas luego se vuelve a calentar y se asegura que en la línea de transporte (por las condiciones operativas disponibles) no habrá condensación.
- *Absorción:* se pasa el gas húmedo por un lecho de material absorbente (generalmente sales).
- *Stripping con Glicol:* se pasa el gas húmedo por una torre en contracorriente con glicol, el cual absorberá el agua contenida.

Filtración de partículas:

Ciclones y filtros con mallados metálicos (o con partículas cerámicas) son empleados para eliminar cualquier contenido de partículas sólidas, en general biomasa. En el primer caso se eliminan partículas incluso menores a 10 micrones y en el segundo hasta aproximadamente 2 micrones.

4.6.2. Pre-Tratamiento Secundario

Este tipo de tratamientos es posterior al primario, su aplicación dependerá de la utilización del LFG y de los procesos que se dispongan aguas abajo.

Remoción de sulfuro de hidrógeno (H₂S):

Una alternativa es pasar el gas por una esponja de óxido ferroso generando sulfuro ferroso, el cual queda adherido a dicha esponja, siendo muchos de estos materiales ferrosos productos patentados.

El carbón activado tiene una función equivalente al adsorber las partículas de H₂S.

Existen además procesos en medio líquido utilizando torres de absorción, dándose en muchos casos reacciones químicas que transforman el H₂S en azufre elemental u otro producto que se elimina de la corriente de gas. En muchos de estos casos los líquidos son solventes patentados empleados en la industria del gas natural (MDEA, MEA, otros).

Remoción de compuestos orgánicos halogenados:

Los procesos utilizados además de eliminar trazas de contaminantes implican la separación de CO₂.

La separación por membranas consiste en fibras poliméricas dispuestas en un recipiente a presión. Cuando el LFG ingresa en el recipiente, el CO₂ pasa a través de las fibras relativamente sin problemas, mientras que el CH₄ queda retenido. Esto da un gas rico en CH₄ en la salida de las fibras (alta presión). Una sola etapa de separación puede dar hasta una composición de 88% de CH₄ (% en volumen). Los procesos de separación multietapas pueden alcanzar el 98% de CH₄.

Procesos con cambios de presión:

Se da una adsorción selectiva del CO₂ en la superficie de un adsorbente. La adsorción se lleva a cabo a altas presiones, mientras que la separación ocurre cuando la presión en el adsorbente es reducida, de aquí el nombre del proceso: Pressure Swing Adsorption o PSA. Este proceso contiene cuatro pasos:

1. Adsorción a alta presión.
2. Despresurización al ambiente.
3. Eliminación a vacío de CO₂.
4. Represurización del producto.

Hay dos tipos de adsorbentes utilizados para el tratamiento del LFG, los tamices moleculares y los lechos de carbón activado.

Tamices moleculares: conformado por un lecho de material granular (generalmente minerales de aluminosilicatos llamados zeolitas), con propiedades de adsorción que varían en función del tipo de gas a ser separado. Estos materiales son porosos con una alta superficie interna que puede adsorber efectivamente y preferencialmente al CO₂ y otros contaminantes.

Lechos de carbón activado: El LFG a alta presión es adsorbido en lechos de carbón activado. Cuando el lecho es despresurizado, el CH₄ y el CO₂ son desorbidos a diferentes velocidades separándose. Para disponer de un proceso continuo suelen tenerse varios recipientes con carbón activado, mientras unos lechos están adsorbiendo los otros están desorbiendo.

Absorción con solventes líquidos:

Se pasa el gas por torres de absorción en las cuales se introduce un solvente en contracorriente. Este proceso es útil para la remoción de CO₂ como otros contaminantes dependiendo del solvente que se utilice. Las características del solvente deben ser:

1. Alta afinidad por los gases ácidos (en particular por el CO₂).
2. Alta selectividad por el gas a absorber.
3. Baja afinidad con los alcanos (por ejemplo CH₄).

4. Baja presión de vapor a temperatura ambiente.
5. Baja viscosidad.

Aminas y otros solventes patentados han sido utilizados para remoción de H₂S.

Procesos criogénicos:

Estos procesos utilizan el enfriamiento del gas y la condensación para separación y purificación. En el caso del LFG la técnica es aplicada para la condensación del metano de la corriente pretratada, de la cual el CO₂ ha sido removido. La finalidad de esta etapa es extraer el nitrógeno. El punto de condensación del metano es de -162°C y para lograr una condensación el proceso necesita refrigeración. La corriente residual consiste en una mezcla principalmente de nitrógeno con pequeñas cantidades de CH₄, la cual es venteada a la atmósfera o quemada en antorcha.

Tratamiento de compuestos silanos:

Los componentes orgánicos de sílice en el LFG se encuentran presentes principalmente como organo-silanos o silicatos. Las principales fuentes de estos componentes son: cosméticos, detergentes, materiales de construcción, textiles.

Los métodos de extracción de estos compuestos se basan en etapas de enfriamiento, calentamiento y adsorción con carbón activado de particulares características.

En la tabla a continuación se indican algunos métodos de tratamiento.

Type	Stage 1 (gas drying)	Clean-up efficiency ¹	Stage 2 (adsorption)	Siloxane level	Application range
GRW	Warm gas to 35–40°C	0	Activated carbon	<1 mg/m ³	Siloxanes: <10 mg/m ³ Gas flow rate: <150 m ³ /hour
GRK	Cool gas to 2°C Post-warm up to 10°C	Up to 25 per cent	Activated carbon	<1 mg/m ³	Siloxanes: <30 mg/m ³ Gas flow rate: >150 m ³ /hour
GRTK	Cool gas to <-30°C Post-warm up to 10°C	Up to 90 per cent	Activated carbon	<1 mg/m ³	Siloxanes: 200–1,000 mg/m ³

¹ Depends on the type of siloxane within the gas.

Disposición de contaminantes de esta etapa de procesamiento:

Las corrientes de salida que contienen CO₂ y bajas concentraciones de metano (5-10%v/V) suelen ser quemadas en la antorcha o venteado directamente a la atmósfera.

Los condensados acuosos, aunque generalmente son pequeños caudales, son generalmente drenados y retornados directamente al relleno. Los condensados pueden también estar contaminados con solventes del proceso los que requieren un tratamiento especial.

El azufre y cloro removidos no son retornados al relleno. Una buena práctica es tratar estos condensados o destruirlos químicamente.

Los contaminantes sólidos consisten en numerosos materiales dependiendo del proceso de limpieza del gas.

4.6.3. Tratamiento post-combustión

Estos procesos están destinados a reducir óxidos de nitrógeno (NOx), silanos, CO, aldehídos y haluros.

El 98% de las máquinas destinadas a generación de energía a partir de LFG son del tipo de explosión por chispa. Las turbinas de combustión no son corrientemente aplicadas.

Inyección de agua:

La humidificación con agua deionizada antes de la combustión es una tecnología probada de reducción de NOx. El grado de humedad se debe controlar para evitar la formación de HCl o HF que deteriora los componentes de la máquina.

Recirculación de gases de escape:

No es ampliamente utilizado, pero se puede alcanzar una reducción de 10-50% de NOx, sin embargo la desventaja de este sistema es que se pierde gran parte de energía como resultado de la recirculación.

Inyección de químicos:

La inyección de ciertos químicos juntamente con la entrada de aire, actúan sobre los contaminantes, generalmente silanos. Una dosificación elevada puede generar gran cantidad de depósitos que terminan en una mala operación de las máquinas.

Procesos post-combustión:

La oxidación de CO a CO₂ de los gases de escape es un proceso ampliamente aplicado. Conversiones catalíticas también son implementadas, en este casos los gases de escape pasan a través de un lecho conteniendo el catalizador reduciendo de esta forma el contenido de NOx y transformando CO en CO₂.

5. Utilización de LFG

5.1. Beneficios ambientales

La mayor parte de los residuos que generamos terminan en rellenos sanitarios, donde se descomponen y produce LFG. Si este gas no se controla, puede contribuir al smog local y representar amenazas para la salud y la seguridad. El LFG contiene componentes orgánicos volátiles que son continuamente liberados a la atmósfera, y son los mayores contribuyentes al efecto invernadero.

Cuando el LFG es quemado con o sin aprovechamiento de su energía el efecto contaminante se reduce (CH₄ más nocivo que CO₂ respecto del efecto invernadero).

Una vez que el gas es recolectado el propietario u operador del relleno sanitario tiene dos opciones: quemar el gas en antorcha o producir energía para uso local.

5.2. Beneficios económicos

Los proyectos de obtención de energía a partir de LFG crean empleos asociados con el diseño, construcción y operación de sistemas de recuperación. Una parte importante de los fondos para construcción y desarrollo se gasta en la locación para la perforación, construcción y personal de operación. Del mismo modo, es posible que desarrollo económico cerca del relleno sanitario mejore como resultado de las reducciones en olor u otras actividades del proyecto. Por otro lado el mercado de certificados de reducción de emisión CO₂ se presenta como una ventaja económica.

5.3. Beneficios comunitarios

El uso del LFG es una situación en la que todos los socios del proyecto ganan, en especial la comunidad. Los proyectos para la obtención de LFG ayudan a garantizar la buena gestión de los rellenos locales.

5.4. Beneficios en términos de energía

El LFG es una fuente de combustible local. Además, es el único gas renovable que directamente reduce la contaminación de la atmósfera. Puesto que gas de relleno sanitario se produce naturalmente, al recolectarlo y convertirlo en energía se pone en uso una fuente de combustible que de otra forma se desperdiciaría.

5.5. Aplicaciones

En lugar de permitir el escape de LFG a la atmósfera, el mismo puede ser capturado, convertido y utilizado como una fuente de energía. El uso del LFG contribuye a la reducción de olores y otros peligros asociados a las emisiones de gas, y previene la migración de CH₄ a la atmósfera lo cual contribuye al smog local y al cambio del clima global.

Si el LFG será utilizado como energía, entonces el gas deberá ser tratado para:

- Evitar corrosión en las instalaciones.
- Adecuar el punto de rocío de agua e hidrocarburo.
- Incrementar el poder calorífico.
- Adecuarse a las condiciones regulatorias locales.

Existen diversas tecnologías destinadas al tratamiento del gas, las más relevantes se asocian con:

1. Uso directo como gas de poder calorífico medio.
2. Generación de potencia / Cogeneración.
3. Aumento de calidad para transporte (gas de alto poder calorífico).
4. Usos alternativos.
5. Quema directa sin aprovechamiento.

En la opción 1. el gas se emplea mayoritariamente en calderas, una regla básica indica que aproximadamente de 3600 a 4500 Kg de vapor/hora son producidos a partir de un relleno sanitario conteniendo 1 millón de toneladas de residuos.

La opción 2. es la más ampliamente aplicada. La potencia eléctrica generada se destina a consumidores locales. Distintas tecnologías se encuentran disponibles para la generación de energía eléctrica.

A continuación se presenta una tabla comparativa de las tecnologías generalmente aplicadas:

	Máquinas de Combustión Interna (Reciprocantes)	Turbinas de combustión	Turbina de Vapor/ Caldera
Potencia Típica Generada (MW)	> 1	>3	>8
Requerimiento de LFG (mSCMD)	>625	>2000	>5000
Eficiencia (%)	25-35	20-38	20-30
Requerimiento de Compresión - Presión de alimentación (psig)	Bajo 2-35	Alto 165 o más	Bajo 2-5
Ventajas	• Bajo costo. • Alta eficiencia. • Tecnología más comúnmente aplicada.	• Resistente a la corrosión. • Bajo costo de operación y mantenimiento. • Tamaño pequeño de máquinas. • Baja emisión de NOx.	• Resistente a la corrosión. • Puede operar bajo composiciones y flujos cambiantes.

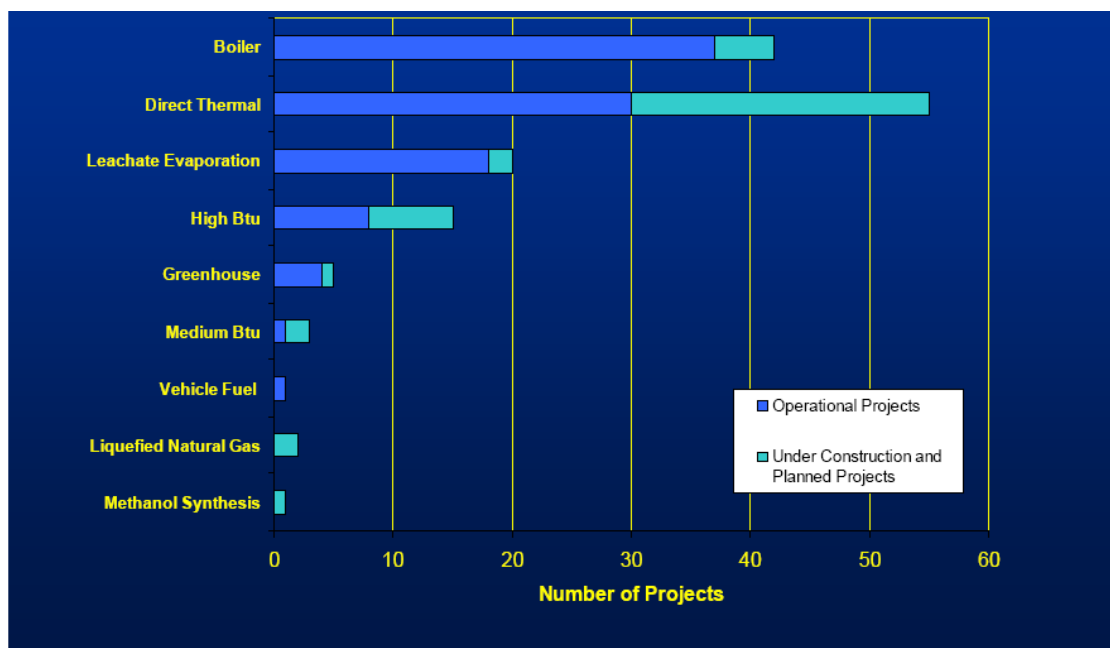
Notas	De 5 a 15 % menos eficientes que con alimentación a gas natural.	- Operaciones con ciclos combinados pueden alcanzar eficiencias de 40%. - No es conveniente la operación a baja carga.	Requieren de sistemas de tratamiento de agua.
-------	--	---	---

La opción 3. tiene un alto costo de capital dado que requiere un intensivo tratamiento del gas para eliminar impurezas y cumplir con las especificaciones del producto.

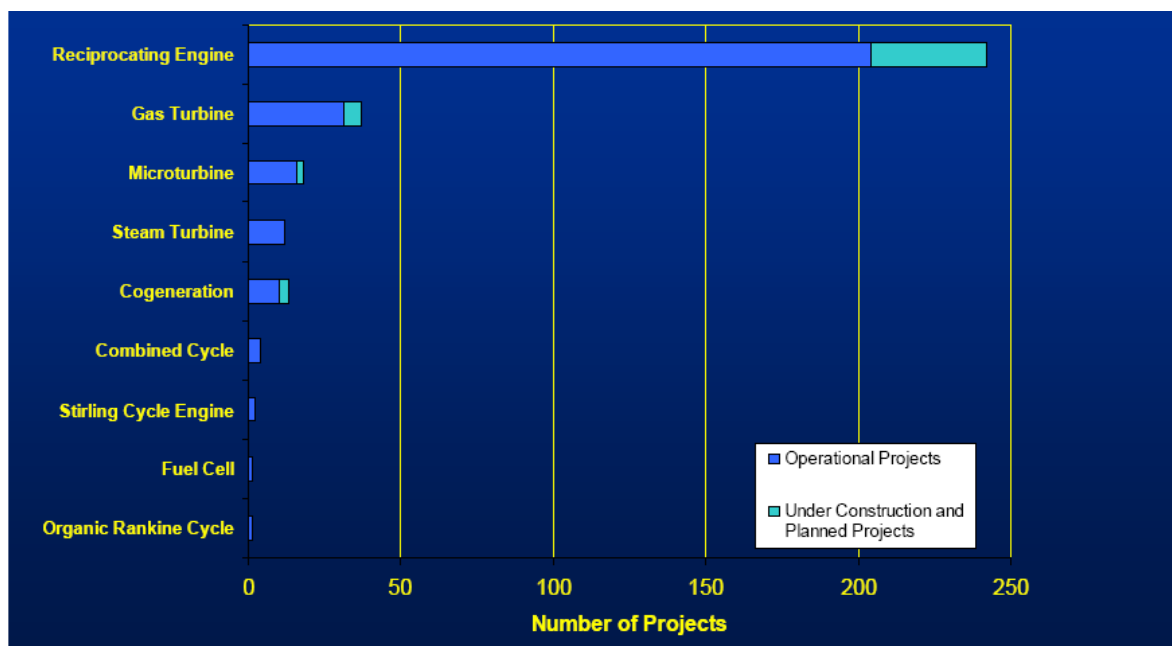
Como opción 4. se tiene la utilización del gas como combustible para vehículos, lo cual se encuentra en fase de desarrollo aunque ha sido aplicado en varios casos. Lo mismo ocurre con la producción de metanol como combustible vehicular a partir de LFG.

La quema directa, opción 5., tiene como resultado fundamental la reducción de la nocividad del CH₄ en el ambiente al transformarlo en CO₂, reduciendo de esta forma el CO₂ equivalente emitido a la atmósfera.

El gráfico que se muestra a continuación muestra la aplicación del LFG, de acuerdo a estudios realizados por el Landfill Methane Outreach Program.



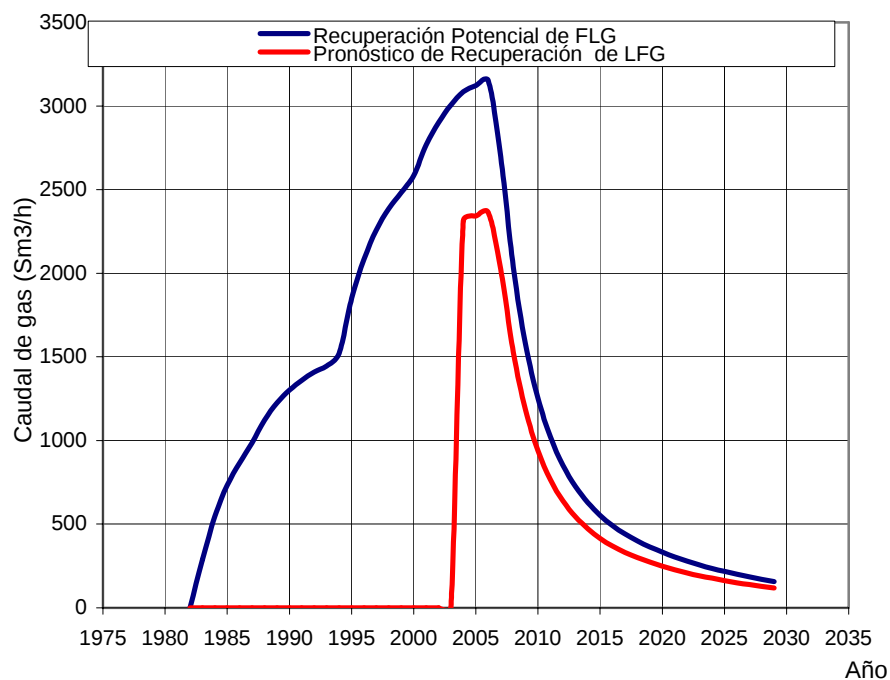
Para los casos asociados a utilización del LFG para generación de energía eléctrica se encuentra la siguiente distribución de la tecnología a ser aplicada:



6. Mediciones y estimaciones LFG en Argentina

Se muestran a continuación algunos resultados de un relleno sanitario dispuesto en la provincia de Buenos Aires, Argentina, en el cual se han realizado mediciones, las cuales fueron el punto de partida para efectuar estimaciones de caudal de LFG. Si bien se dispone de datos de distintos rellenos, solo se mostrarán los resultados de uno de ellos siendo los restantes de características similares.

Año	Tasa de desecho	Masa de Residuos Total	Recuperación Potencial de LFG		Porcentaje de Recuperación de LFG	LFG Pronóstico Recuperación		Pronóstico de Reducción de Gases de Efecto Invernadero	
	miles de Kg/año	miles Kg	m3/h	mmBtu/h	%	m3/h	mmBtu/h	toneladas CH4/año	toneladas CO2eq/año
1982	83166	83166	0	0.0	0	0	0.0	0	0
1983	99799	182965	288	5.2	0	0	0.0	0	0
1984	99799	282764	548	9.9	0	0	0.0	0	0
1985	99799	382563	733	13.2	0	0	0.0	0	0
1986	106591	489154	865	15.6	0	0	0.0	0	0
1987	120176	609330	987	17.8	0	0	0.0	0	0
1988	120176	729506	1123	20.3	0	0	0.0	0	0
1989	120176	849682	1225	22.1	0	0	0.0	0	0
1990	120176	969858	1301	23.5	0	0	0.0	0	0
1991	120176	1090034	1360	24.6	0	0	0.0	0	0
1992	120176	1210210	1408	25.4	0	0	0.0	0	0
1993	132846	1343056	1446	26.1	0	0	0.0	0	0
1994	210916	1553972	1522	27.5	0	0	0.0	0	0
1995	210916	1764888	1851	33.4	0	0	0.0	0	0
1996	210916	1975804	2086	19.6	0	0	0.0	0	0
1997	210916	2186720	2258	40.8	0	0	0.0	0	0
1998	210916	2397636	2386	43.1	0	0	0.0	0	0
1999	218026	2615662	2483	44.8	0	0	0.0	0	0
2000	247946	2863608	2584	46.7	0	0	0.0	0	0
2001	247946	3111554	2767	50.0	0	0	0.0	0	0
2002	247946	3359500	2902	52.4	0	0	0.0	0	0
2003	247946	3607446	3005	54.3	0	0	0.0	0	0
2004	239797	3847243	3085	55.7	75	2314	41.8	6733	141508
2005	239056	4086299	3121	56.4	75	2341	42.3	6812	143159
2006	99607	4185906	3151	56.9	75	2363	42.7	6877	144535
2007	0	4185906	2696	48.7	75	2022	36.5	5884	123665
2008	0	4185906	2038	36.8	75	1529	27.6	4448	93482
2009	0	4185906	1579	28.5	75	1184	21.4	3446	72428
2010	0	4185906	1254	22.6	75	941	17.0	2737	57521
2011	0	4185906	1022	18.5	75	767	13.8	2231	46879
2012	0	4185906	853	15.4	75	640	11.6	1862	39127
2013	0	4185906	726	13.1	75	545	9.8	1584	33301
2014	0	4185906	629	11.4	75	472	8.5	1373	28852
2015	0	4185906	553	10.0	75	415	7.5	1207	25366
2016	0	4185906	492	8.9	75	369	6.7	1074	22568
2017	0	4185906	442	8.0	75	332	6.0	965	20274
2018	0	4185906	400	7.2	75	300	5.4	873	18348
2019	0	4185906	364	6.6	75	273	4.9	794	16697
2020	0	4185906	332	6.0	75	249	4.5	725	15229
2021	0	4185906	304	5.5	75	228	4.1	663	13944
2022	0	4185906	279	5.0	75	209	3.8	609	12798
2023	0	4185906	256	4.6	75	192	3.5	559	11743
2024	0	4185906	236	4.3	75	177	3.2	515	10825
2025	0	4185906	217	3.9	75	163	2.9	474	9954
2026	0	4185906	200	3.6	75	150	2.7	437	9174
2027	0	4185906	185	3.3	75	139	2.5	404	8486
2028	0	4185906	170	3.1	75	128	2.3	371	7798
2029	0	4185906	157	2.8	75	118	2.1	343	7202



De los resultados mostrados se pueden extraer las siguientes conclusiones:

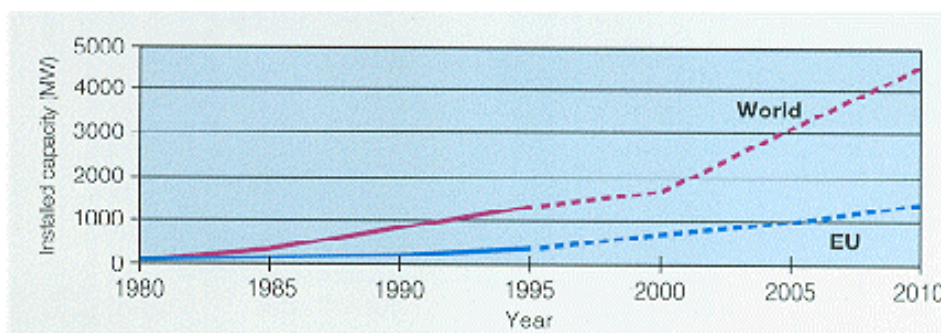
- El relleno alcanza una cantidad de masa in-situ de 4 millones de toneladas, lo que se conoce como un relleno con lata posibilidad de ser explotado.
- Las toneladas de CO₂ equivalentes debido a la emisión de CH₄ corresponden a un efecto aproximadamente 21 veces más nocivo que la propia emisión de CO₂.
- La generación de gas de un relleno sanitario como el ejemplificado representa un caudal de gas que se encuentra entre 5000 y 50000 Sm³/d. Comparable en algunos casos con pozos de gas natural.
- El caso mencionado se corresponde con un gas de poder calorífico medio (aproximadamente 4500 Kcal/Sm³).
- En este relleno en particular se considera que cuando la masa total de residuos existentes en el relleno están alcanzando su valor máximo comienza a explotarse el mismo. Y que no se prosigue con el arrojado de residuos en los años subsiguientes.

7. Casos de Utilización de LFG

El aprovechamiento del LFG ha sido adoptado ampliamente a lo largo de la Unión Europea desde la década del '80 y actualmente se ha proporcionado alrededor de 550MW de potencia a través de generación de calor y electricidad a partir de LFG; y se espera que esto aumente a 1360MW hacia el año 2010, mientras que para el mercado mundial se estima que va a alcanzar 4500MW hacia el año 2010. Hasta ahora, se ha desarrollado 15% de este total, siendo el 50% correspondiente a EE.UU. y Canadá.

La mayor área de crecimiento de proyectos asociados con el LFG acontece en países con economías emergentes, en las cuales la limitación de las emisiones de CH₄ que al momento no están controladas, proveerán oportunidades a países con tecnologías desarrolladas para expandir sus proyectos en estas áreas.

En el siguiente gráfico se muestra como se han incrementado los desarrollos tanto en Unión Europea como en el resto del mundo.



El desarrollo de proyectos se basa en la utilización del know-how de las compañías que proveen tecnología además de herramientas de financiamiento (ya sea gubernamentales o de entes privados) para poder llevar a cabo los mismos. La tecnología es bien conocida y los esquemas de producción existentes ofrecen poco riesgo técnico. Sin embargo otros factores que pueden afectar el desarrollo de los proyectos son los siguientes:

- Obtener financiación para las inversiones.
- Muchos propietarios de terrenos con rellenos sanitarios no son conocedores del potencial uso del LFG, dado que en general no están familiarizados con la industria de la energía.
- En muchos casos no se dispone de un gerenciamiento relacionado con el manejo de residuos.

Si bien en un largo plazo los rellenos sanitarios se espera se reducirán a un mínimo, es importante maximizar tanto la aplicación en el presente como el potencial uso promoviendo el LFG como una fuente de energía.

Puente Hills, EEUU:

Uno de los casos más sobresalientes y mencionados en las distintas fuentes es el relleno sanitario Puente Hills en EEUU, el cual recibe 12500 toneladas de residuos por día y colecta más de 850 MSCMD de 400 pozos verticales y 80 000 metros de cañerías horizontales y se encuentra operando desde 1980.

El gas es usado de tres formas distintas:

- Una turbina a vapor para generar 50MW de potencia.
- Gas combustible en forma de gas natural comprimido.
- Gas para alimentar a caldera.

New Hampshire, EEUU:

Otro caso de destacar es el relleno de New Hampshire en EEUU, el cual utiliza el gas formado de un relleno que ocupa una superficie de 6 hectáreas. En la zona se requiere electricidad trifásica la cual es provista en parte por el LFG.

A partir de 10 pozos verticales y a través de simples filtros de partículas se alimenta al generador a combustión proveyendo una potencia promedio de 50KW.

El proyecto fue desarrollado con un costo total de US\$ 280000, incluyendo es sistema de colección de gas, con costos operativos de aproximadamente US\$ 25000 por año.

Río de Janeiro, Brasil:

NovaGerar Project está llevado a cabo en la ciudad Río de Janeiro un proyecto para la utilización de LFG en conjunto con la acción de EcoSecurities Brasil Ltda y SA Paulista.

En este caso los certificados de reducción de emisiones serán vendidos al Mecanismo de Desarrollo Limpio de los Países Bajos (NCDMF), bajo el acuerdo de una serie de organismos y organizaciones internacionales como lo es el Banco Mundial. El NCDMF comprará hasta el año 2012, 2.5 millones de toneladas de CO2 equivalentes a un precio que ronda los €3.35 por tonelada de CO2 equivalente.

NovaGerar Project recolectará CH4 de relleno sanitario de dos fuentes en Rio de Janeiro, y generará de energía con 12MW de potencia

Los generadores a combustión quemarán el CH4 producido para generar energía eléctrica; y en los momentos que no se produzca energía, el gas será quemado por medio de antorchas. La combustión y la quema en antorchas reducirán en el ambiente alrededor de 11.8 millones de toneladas de CO2 equivalente en los próximos 21 años.

La firma NovaGerar Project es una de las cinco organizaciones gerenciadas por el Banco Mundial dedicadas a la promoción del negocio de reducciones de emisiones. El sponsor del proyecto EcoSecurities, es una compañía de financiamiento de negocios medioambientales especializada en la provisión y asesoramiento de lo referente a estrategias para la mitigación del efecto invernadero. S.A. Paulista es una empresa de construcción y ingeniería civil.

Olavaria, Argentina:

En nuestro país el CEAMSE ha efectuado inversiones para la construcción de plantas en los rellenos sanitarios para tratar o quemar gas CH4. Distintos casos se han dado a conocer en los que se plantea el aprovechamiento de los rellenos sanitarios.

Una de las propuestas que se estuvo analizado en los últimos meses está asociada con el traslado de residuos a rellenos sanitarios en la zona de Olavaria, Buenos Aires con la posibilidad de usar el gas como combustible para las cementeras cercanas. Todo esto dentro del marco del Mecanismo Desarrollo Limpio (MDL), siendo una de las formas de implementación que establece el Protocolo de Kyoto para alcanzar la reducción de emisiones de gases y mitigar el efecto.

Las reducciones de emisiones resultantes serán monitoreadas, verificadas y certificadas como también vendidas a la Community Development Carbon Fund (CDCF, organización compuesta por cuatro gobiernos y doce compañías gerenciadas por el Banco Mundial), la cual está designada a promover el desarrollo de proyectos destinados a la mitigación del efecto invernadero y cambio climático. Esta organización acordó comprar un total de 131000 toneladas de CO2 equivalentes.

Los benéficos económicos derivados de la venta de certificados de reducción de emisiones generados por la captura y quema de metano serán utilizados en la mejora del sistema de agua potable de localidades cercanas a Olavarría.

8. Bibliografía

- Artículos extraídos de www.bancomundial.org.ar, <http://web.worldbank.org>
- Artículos facilitados por Solid Waste Association of North America (SWANA).
- “Landfill Methane Gas Recovery and Utilization: A Handbook for Local Governments”, EPA-CX-818726.
- "Monitoring and Managing Landfill Gas." SCS Engineers. Implementation Guide for Landfill Gas Recovery Projects in the Northeast. Prepared for the Coalition of Northeastern Governors Policy Research Center, Inc. June 23, 1994.
- “Opportunities to Reduce Anthropogenic Methane Emissions in the United States”, Report to Congress. EPA 430-R-93-012.
- Información obtenida de NST/ Engineers, Inc.
- Información obtenida de <http://cdm.unfccc.int/methodologies/approved>., http://www.medioambiente.gov.ar/cambio_climatico
- Información brindada por la Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sustentable.
- “Gas treatment technologies for landfill gas engines: case studies” R&D Technical Report P1-330/TR. Environment Agency, Bristol.
- “Guidance on gas treatment technologies for landfill gas engines”, SEPA (Scottish Environment Protection Agency).
- Distintas páginas de Internet relacionadas al Landfill Gas.
- Datos provistos por TECNA S.A.

Datos de los autores:

María Laura Graziadio nació el 13 de Septiembre de 1977 en Capital Federal, Buenos Aires, Argentina.

Cursó sus estudios secundarios donde se recibió de Perito Mercantil en 1995. Se encuentra cursando la última materia de la carrera Ingeniera Química en la Universidad de Buenos Aires.

En el período octubre de 2001 a marzo de 2002 realizó una pasantía en Shell Capsa en el departamento de Higiene y Seguridad Ambiental Durante los años 2002 y principios del 2003. Trabajó en IRAM - En el período marzo de 2003 hasta octubre del 2003 fue becada por el Ministerio de Trabajo Italiano realizando un curso de Formación Técnica de Gestión en Sistemas de Monitoreo de Aire. En octubre del 2003 ingresó a TECNA S.A. donde continua desempeñándose en el área de procesos.

Vanina Noemí Ferramonti nació el 18 de Octubre de 1977 en la ciudad de Alte. Brown, Prov. Buenos Aires, Argentina.

Curso sus estudios secundarios donde se recibió de Técnica Electrónica en 1996. Se graduó de Ingeniera Química en la Universidad de Buenos Aires en el año 2005.

Durante los años 1996 a 2002 es dedico a la docencia en las áreas electrónica y química. En el año 2003 ingresó a TECNA S.A. donde continua desempeñándose en el área de procesos.