



CONGRESO
Cemento & Concreto
Verde 2050



06 AL 09
MAYO 2024



Ciudad de
Guatemala

EL ROL DEL
CEMENTO &
CONCRETO
DE CARA
AL CAMBIO
CLIMÁTICO

Emisiones de metano en el sector
de los residuos y el rol del co-
procesamiento en la agenda de
reducción

Dr. Ing. Marcel Szantó N.
Académico e investigador
Pontificia Universidad Católica de
Valparaíso. Chile



TRIPLE CRISIS PLANETARIA

CAMBIO CLIMÁTICO

PÉRDIDA DE BIODIVERSIDAD

CONTAMINACIÓN



CONGRESO
Cemento & Concreto
Verde 2050





**UNA INADECUADA
GESTION DE
RESIDUOS
CONTRIBUYE A LAS
TRES CRISIS**

DEBES SABER QUE.
EN EL MUNDO...



89 millones de toneladas al año, es el desperdicio per capita de los consumidores de Europa y Norteamérica.

1.000 millones de personas pasan hambre en el mundo y podrían alimentarse con la comida que desaprovecha EEUU y Europa





1.300 millones de
toneladas de alimentos se
tiran a la basura cada año
en el mundo



CONGRESO
Cemento & Concreto
Verde 2050



1.000 MILLONES
DE PERSONAS EN EL
MUNDO SE ACUESTAN
SIN HABER COMIDO



DIMENSION DEL PROBLEMA





Mandato del **Foro Ministros de Medio Ambiente** de ALC y
Asamblea de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente

Principales capítulos:

- **Situación y tendencias**
- **Gobernanza**
- **Financiación**

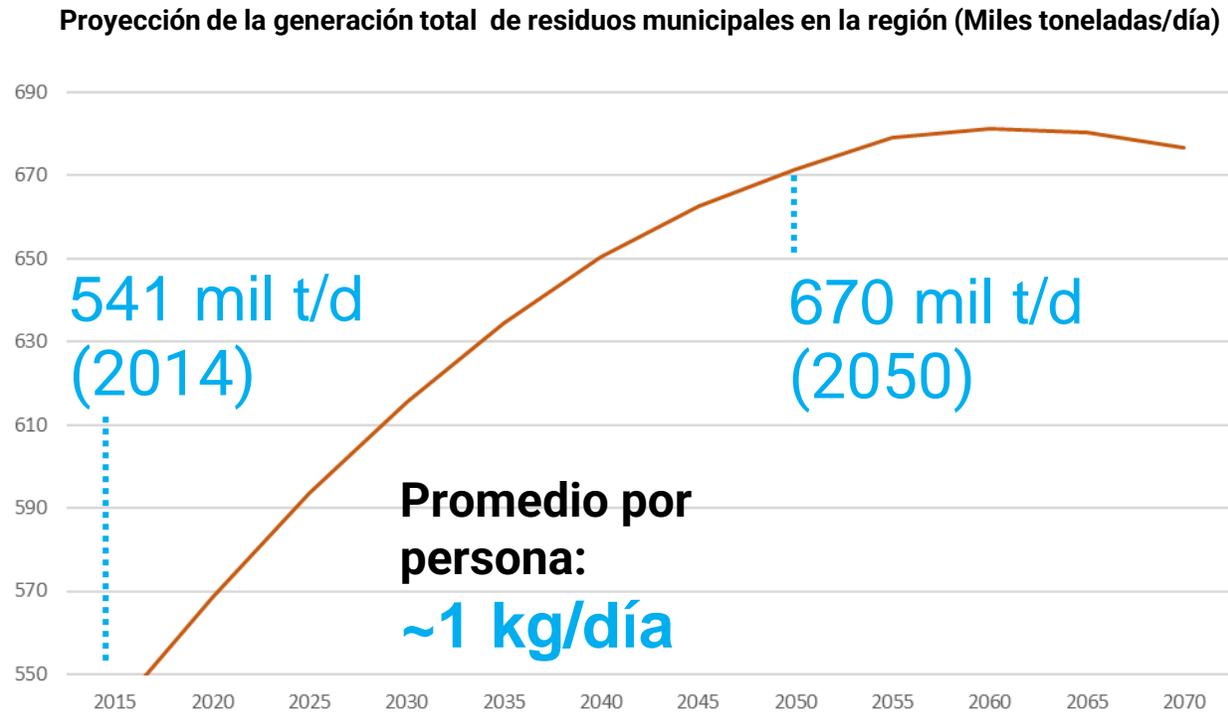
4 autores principales;

>70 revisores/colaboradores; **20** países

22 estudios de caso; **12** mensajes clave

LA GENERACIÓN DE RESIDUOS ESTÁ EN CONSTANTE AUMENTO

1



Se requiere un servicio de recolección de residuos regular y confiable para toda la región

2

- Mejora cuantitativa y cualitativa en los últimos años
- Menor o falta de cobertura en **zonas marginadas y rurales**
- **35.000 t /día** quedan sin recolectar
- Más de **40 millones de personas** (7%) carecen de cobertura básica de recolección



Los basurales a cielo abierto constituyen una práctica a erradicar

3

- **145.000 t /día** se destinan todavía a basurales o quema a cielo abierto
- Equivalente a los residuos generados por **170 millones de personas** (27%)
- Impactos sobre la **salud y el medio ambiente**



SITUACION DE LA DISPOSICIÓN FINAL EN PAISES DE AL Y C

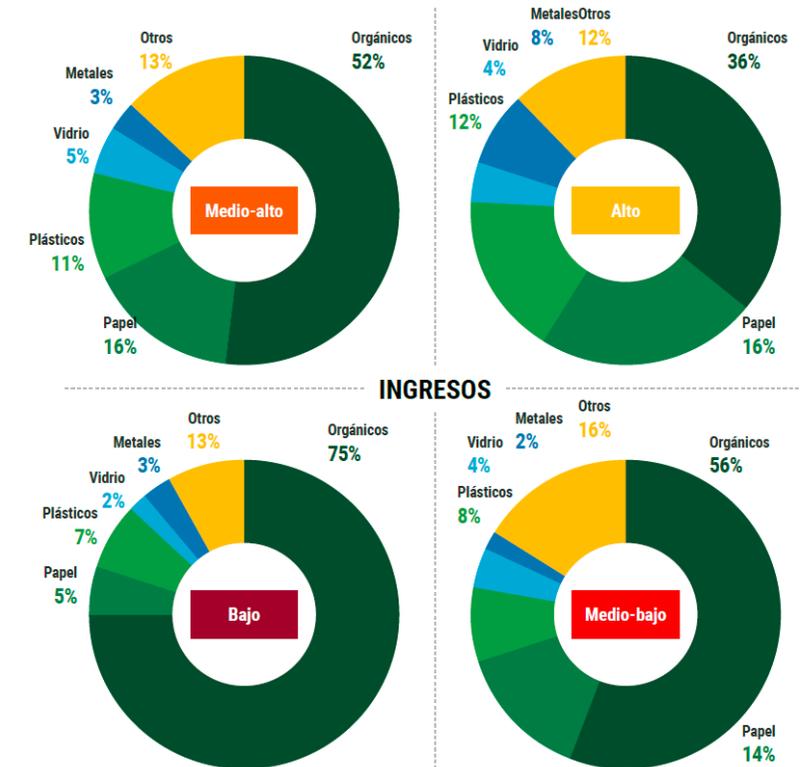
Tipología de sitio de disposición final	Número de sitios identificados	Estimación de los residuos depositados (Ton/día)	Estimación de los residuos depositados (%)
Basurales	11.460	80.357	16,7
Vertederos controlados	2.890	138.213	28,7
Rellenos sanitarios	1.993	262.944	54,6
TOTAL	16.343	481.514	100

Fuente: HOJA DE RUTA PARA EL CIERRE PROGRESIVO DE LOS BASURALES EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE-. PNUMA 2021

Los residuos orgánicos son los que más se generan y los que menos se gestionan

4

- **Materia orgánica: 50%** promedio composición residuos
- Generación **gases de efecto invernadero y lixiviados**; dificulta el reciclaje del resto de corrientes
- **Reducir residuos de alimentos**, y promover **separación en origen y recolección diferenciada**



**PERO... QUE PASA EN ESTE
CONTINENTE, CON TANTA
TECNOLOGIA DISPONIBLE ?**





El 39,2 % de los residuos se reciclaron y el 31,3 % se depositaron en vertederos en la UE en 2022.



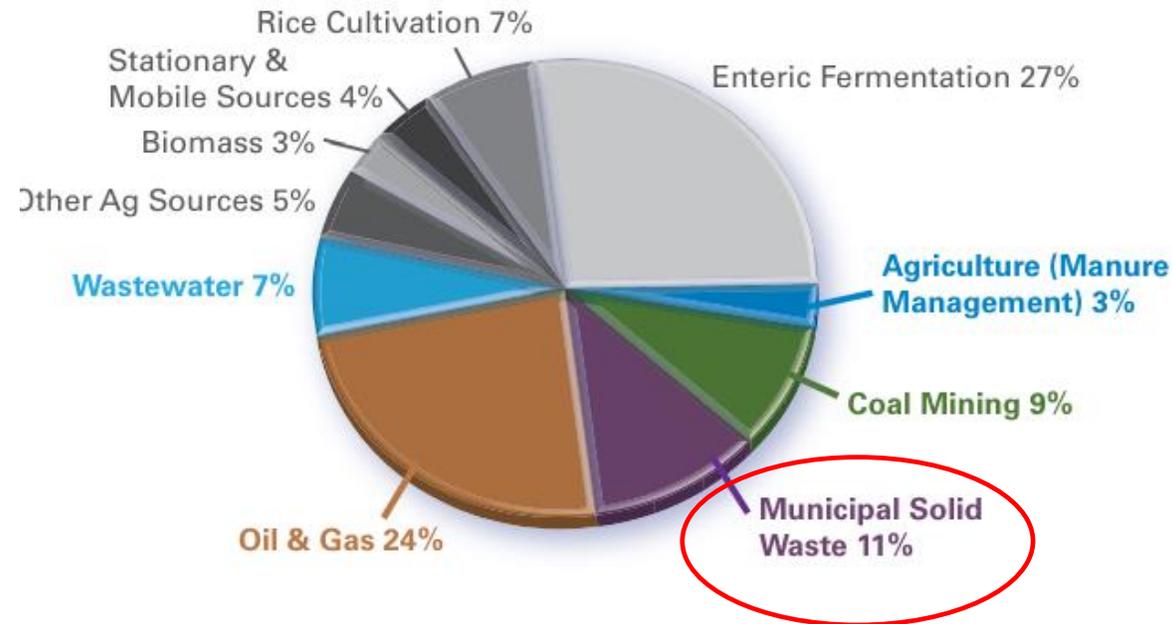


**España apenas recicló un 40% de los
residuos municipales en 2022**



EMISIONES DE GEI A NIVEL GLOBAL

La gestión de residuos contribuye directamente a la emisión de gases de efecto invernadero

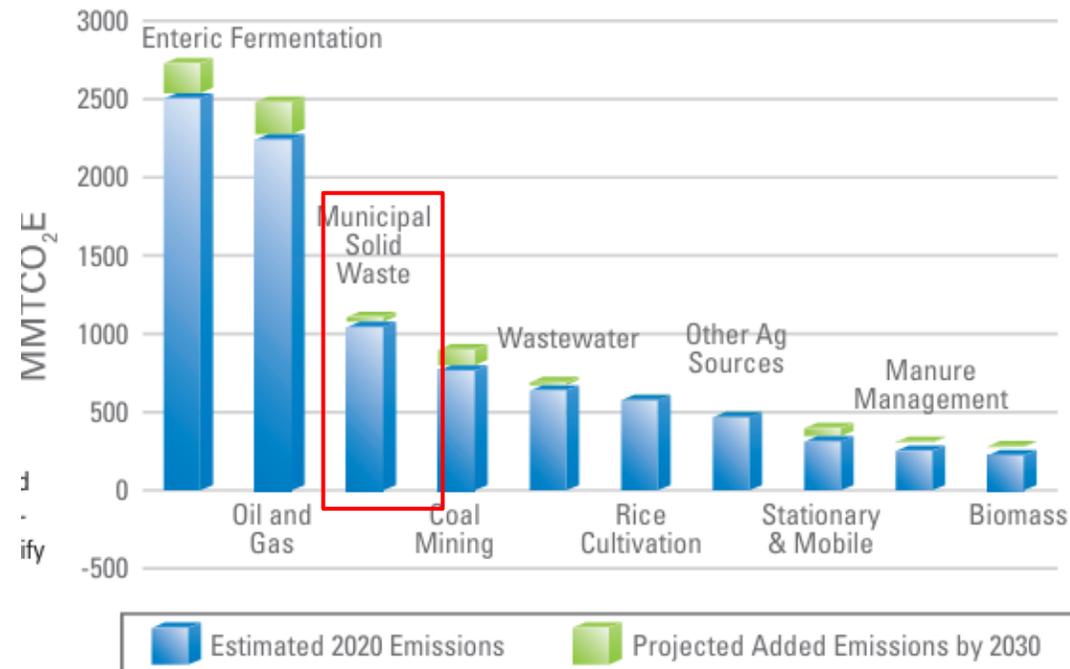


Fuente: Globalmethane.org

El manejo de residuos sólidos permite explicar la emisión del 11% del metano emitido a nivel global.

EMISIONES DE GEI A NIVEL GLOBAL

Emisiones de GEI a nivel global



Fuente: Globalmethane.org

EMISIONES DE GEI A NIVEL GLOBAL

Emisiones de metano antropogénico 1990-2030



Fuente: Globalmethane.org

GENERACION DE METANO

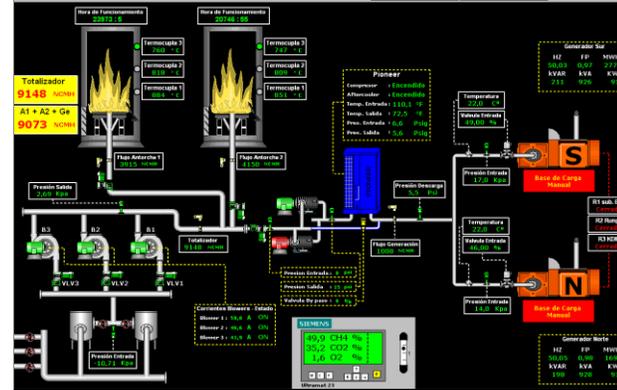
- El metano se produce por la descomposición anaeróbica de la fracción orgánica contenida en los residuos.
- Una adecuada gestión de los sitios de disposición final, puede reducir las emisiones haciendo captación activa del biogás, dándole uso o destruyéndolo.



CONTROL DEL METANO



CAPTACIÓN



MONITOREO



DESTRUCCIÓN



APROVECHAMIENTO

GENERACION DE METANO

Se puede evitar que el residuos putrescible llegue a sitios de disposición final, valorizándolo antes de sus descomposición, lo anterior ayuda también a reducir las emisiones de metano.

- La valorización de residuos puede evitar la degradación de los mismos y por consiguiente reducir las emisiones de metano.
- El coprocesamiento ha demostrado que puede reducir la cantidad de residuos que van a vertedero, pero con “ciertas condiciones”.
- Las condiciones para el coprocesamiento son: contenido bajo de humedad, ausencia de policloruro de vinilo, granulometría y disponibilidad continua del combustible.



ROL DEL CORPROCESAMIENTO



**Valorización de residuos domiciliarios
reemplazando combustibles fósiles
(Combustible alternativo solido)**

Uso del biogás o biometano en reemplazo
de combustible fósil

COMBUSTIBLE ALTERNATIVO, NUMEROS RÁPIDOS

Guatemala produce 7700 t/día de residuos sólidos

- 53% de estos residuos corresponde a materia orgánica con poder calorífico inferior (PCI), menor a 500 kcal/kg
- Fracción seca de los residuos, corresponde aproximadamente a un 13% del total de residuos. Su PCI \approx 3000 a 4000 kcal/kg
- Si consideramos solo la fracción seca, se tendrían 3500 millones de kcal/día disponibles en toda el país (15800 millones de BTU/día)
- Si no fuera suficiente, la mezcla con residuos secos del tipo industrial, ayudará a aumentar el PCI y a mejorar los “números del proyecto”



COMBUSTIBLE ALTERNATIVO

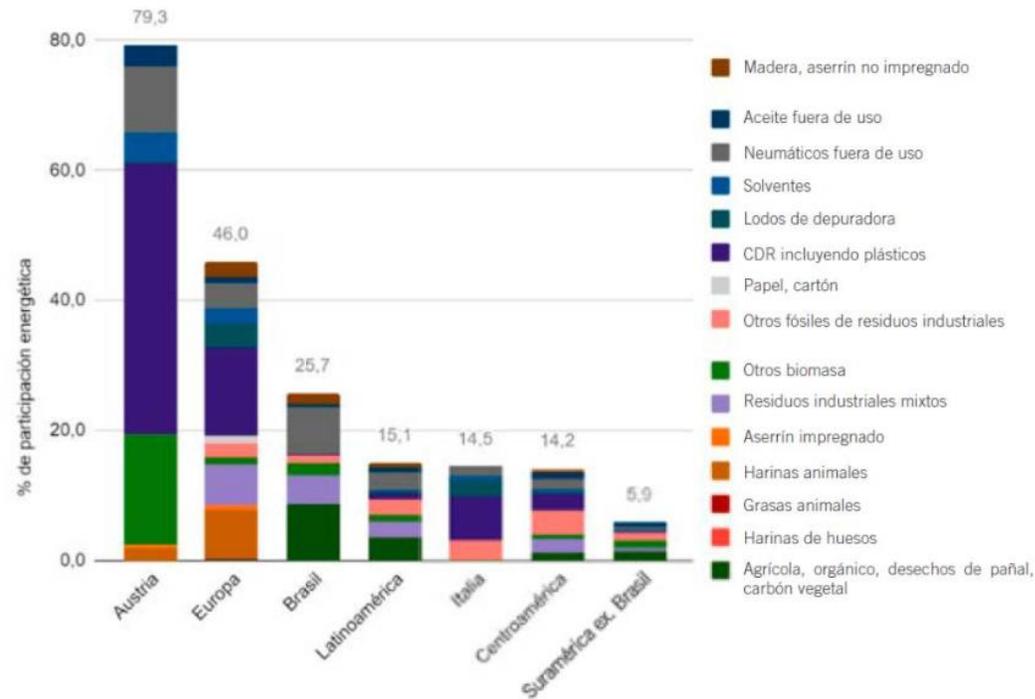


Figura 6. Composición de combustibles alternativos en el total de coprocesamiento para algunos países y regiones (GNR 2016).

¿Con que residuos se ha hecho el reemplazo?

- Aceite residual
- CDR o combustible derivado de residuos
- Biomasa y restos agrícolas
- Neumáticos fuera de uso

COMBUSTIBLE ALTERNATIVO

¿Cual es del desafío para su uso masivo del coprocesamiento?

Desafíos técnicos

- Capacidad y ubicación de las plantas cementeras
- Segregar adecuadamente los residuos con mayor poder calorífico
- Evitar presencia en el flujo valorizable del PVC
- Se debe preparar plantas de pretratamiento, sitios de almacenamientos y sistemas de alimentación en continuo del flujo de combustible alternativo al horno
- Limitaciones técnicas del horno cementero para el cambio de combustible

COMBUSTIBLE ALTERNATIVO

Desafíos económicos

- Se debe considerar las emisiones evitadas por el coprocesamiento de residuos domiciliarios **y darle valor a estas reducciones.**
- Se debe considerar las emisiones evitadas por el reemplazo del combustible fósil en hornos cementeros **y darles valor.**
- Se debe considerar que el costo de coprocesamiento será mayor al del relleno sanitario y muchísimo mayor al de una mala gestión del residuo

ROL DEL CORPROCESAMIENTO



Valorización de residuos domiciliarios
reemplazando combustibles fósiles
(Combustible alternativo solido)

**Uso del biogás o biometano en
reemplazo de combustible fósil**

USO DEL BIOGÁS O BIOMETANO EN REEMPLAZO DE COMBUSTIBLE FÓSIL

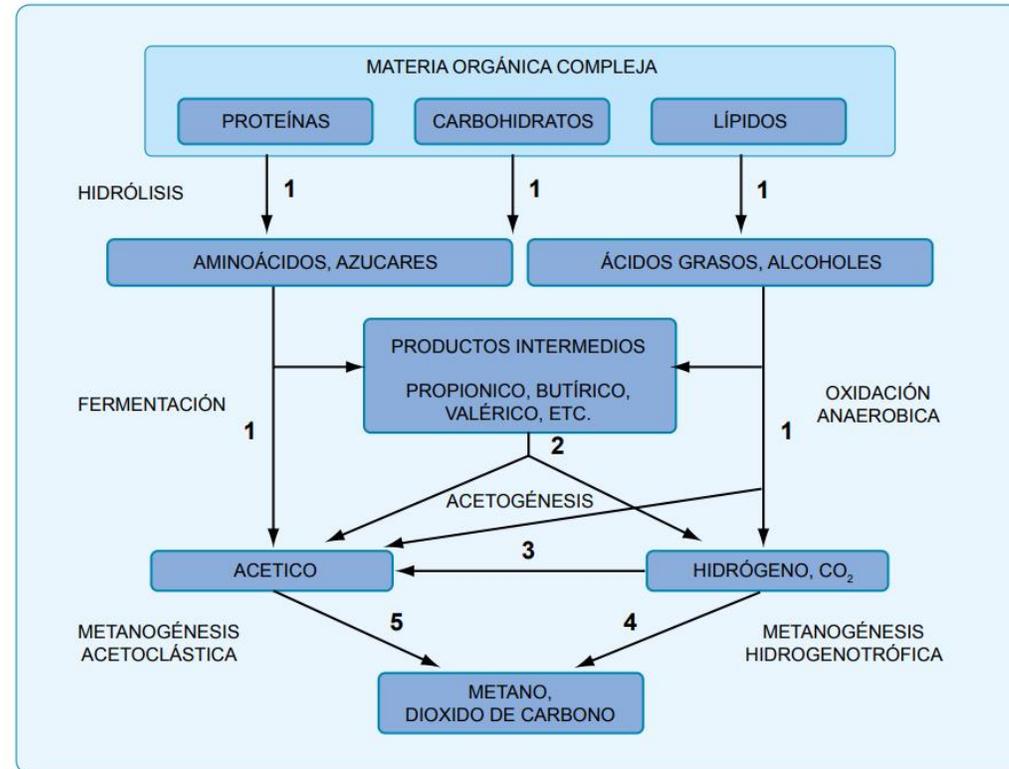
- El biogás, es una mezcla de gases provenientes de la descomposición anaeróbica de un residuo orgánico
- Principales características:

Composición	55 – 70% metano (CH ₄) 30 – 45% dióxido de carbono (CO ₂) Trazas de otros gases
Contenido energético	6.0 – 6.5 kW h m ⁻³
Equivalente de combustible	0.60 – 0.65 L petróleo/m ³ biogás
Límite de explosión	6 – 12 % de biogás en el aire
Temperatura de ignición	650 – 750°C (con el contenido de CH ₄ mencionado)
Presión crítica	74 – 88 atm
Temperatura crítica	-82.5°C
Densidad normal	1.2 kg m ⁻³
Olor	Huevo podrido (el olor del biogás desulfurado es imperceptible)
Masa molar	16.043 kg kmol ⁻¹

Fuente: Deublein y Steinhauser (2008)

BIOGÁS. PROCESO DE FORMACIÓN DEL BIOGÁS

La formula simplificada de la materia orgánica y sus descomposición es la siguiente:



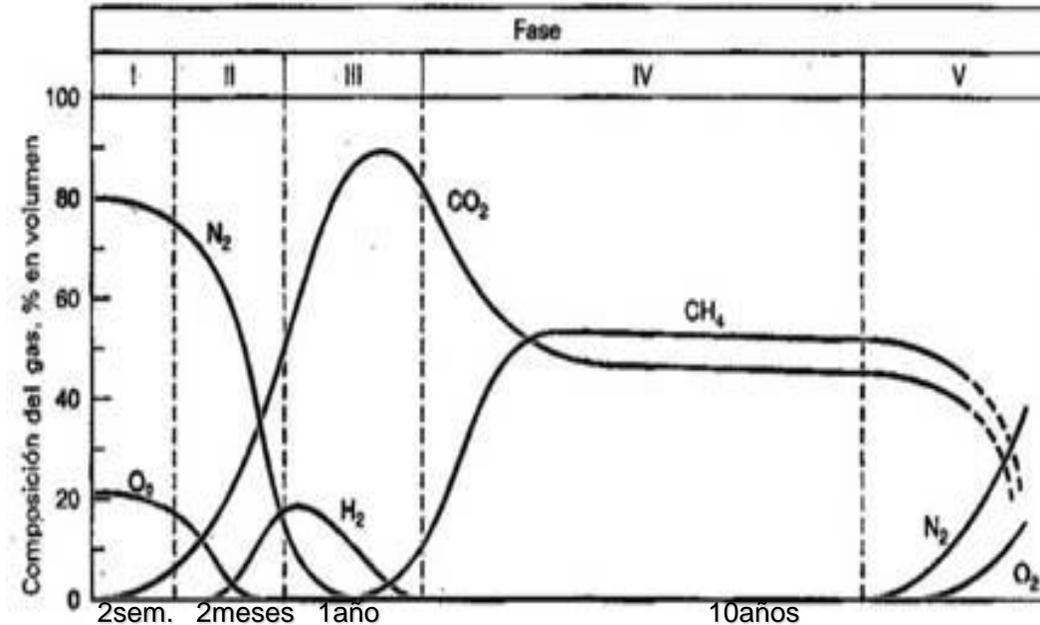
(Pavlostathis y Giraldo-Gómez, 1991).

Los números indican la población bacteriana responsable del proceso: 1: bacterias fermentativas; 2: bacterias acetogénicas que producen hidrógeno; 3: bacterias homoacetogénicas; 4: bacterias metanogénicas hidrogenotróficas; 5: bacterias metanogénicas acetoclásticas.

BIOGÁS. PROCESO DE FORMACIÓN DEL BIOGÁS

Fases de la composición del biogás durante la descomposición de los residuos:

- **Fase I:** Ajuste inicial (aerobia).
- **Fase II:** Fase de transición.
- **Fase III:** Fase ácida.
- **Fase IV:** Metanogénica estable
- **Fase V:** Fase de maduración.



Patrón típico de generación del biogás (Farquar y Rovers, 1973)

MODELOS PREDICTIVOS DE PRODUCCIÓN DE BIOGAS

- **Modelo Cinético aplicado al Relleno Pozo La Feria.**
- **Modelo de la LandGEM US EPA.**
- **Modelo De Palos Verdes.**
- **Modelo de Sheldon-Arleta.**
- **Modelo Scholl Canyon.**
- **Modelo Mexicano, Modelo centroamericano y Modelo Colombiano (adaptaciones de Modelo LandGEM)**
- **Otros**

MODELOS PREDICTIVOS DE PRODUCCIÓN DE BIOGAS. LANDGEM

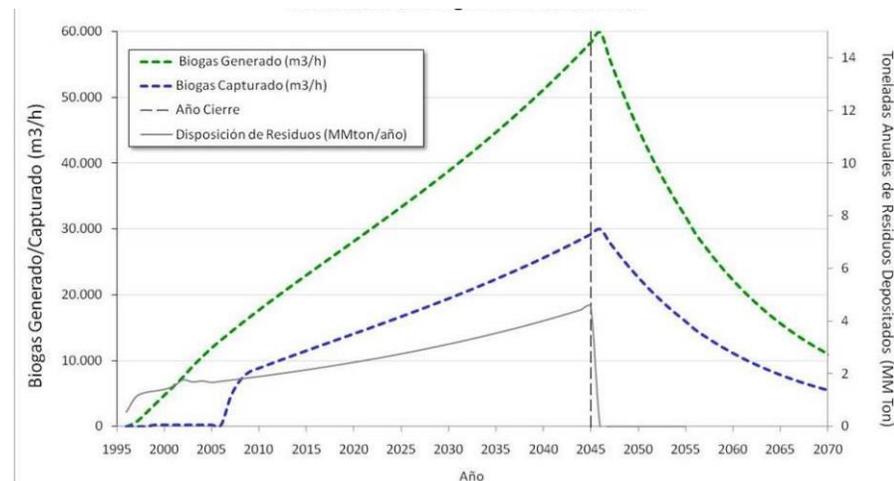
$$Q_t = k \cdot L_0 \cdot \sum_{i=1}^n M_i \cdot e^{-kt_i}$$

Modelo Cinético:

- Q_t = Tasa de producción anual (m³/año)
- k = constante de degradación
- L_0 = Potencial de generación de gas (m³/ton)
- M_i = Masa dispuesta en el año i (ton)
- t_i = edad de la sub-masa i (años)

No todo el residuo se degrada de la misma forma

Tipo Residuo	Degradabilidad	Tiempo de degradación (años)
Comida	Rápida	1
Jardín	Moderada	5
Papel, cartón, Madera, Textiles	Lenta	15
Plásticos, Cueros, Gomas, suelos org.	Ninguna	



FACTORES QUE INFLUYEN EN LA GENERACIÓN DE BIOGÁS EN UN RELLENO SANITARIO



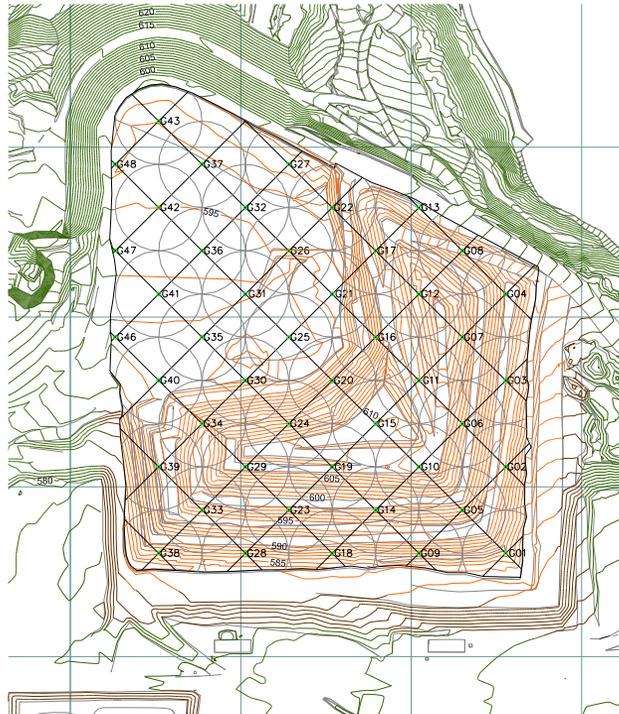
BIOGÁS. SU IMPORTANCIA

- El biogás está compuesto aproximadamente por un 50% de metano y un 40% de dióxido de carbono. Ambos gases poseen potencial de calentamiento global:

Global warming potential (GWP) values relative to CO₂

Industrial designation or common name	Chemical formula	GWP values for 100-year time horizon		
		Second Assessment Report (SAR)	Fourth Assessment Report (AR4)	Fifth Assessment Report (AR5)
Carbon dioxide	CO ₂	1	1	1
Methane	CH ₄	21	25	28
Nitrous oxide	N ₂ O	310	298	265

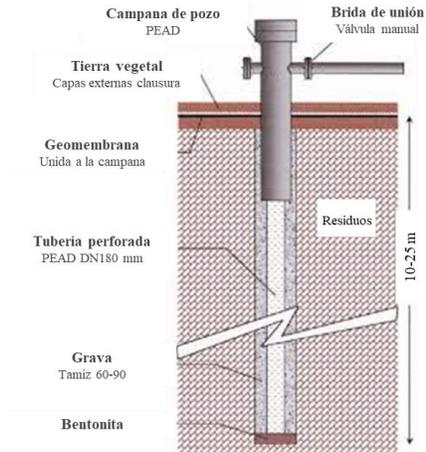
BIOGÁS. EXTRACCIÓN



Vertedero de Murcia (España), 2015



Vertedero Bandegrante (Brasil)

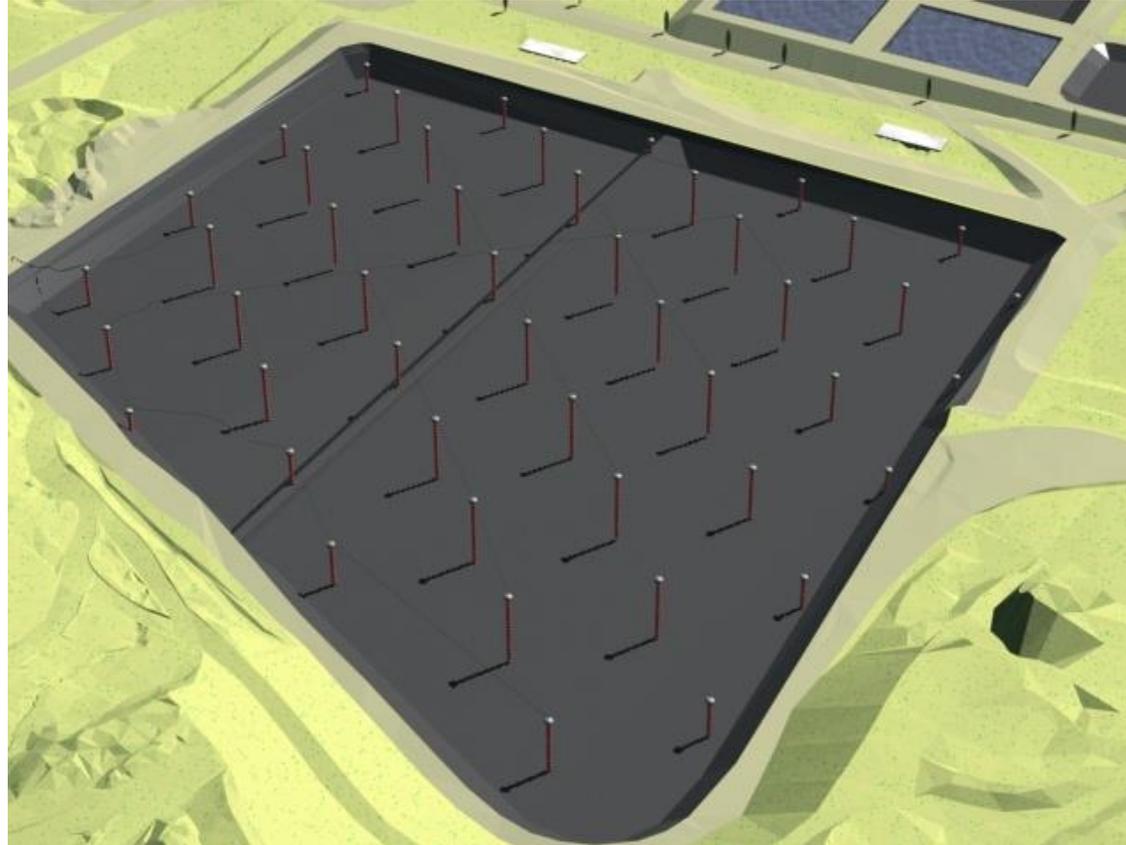


Pozo extracción y control de biogás

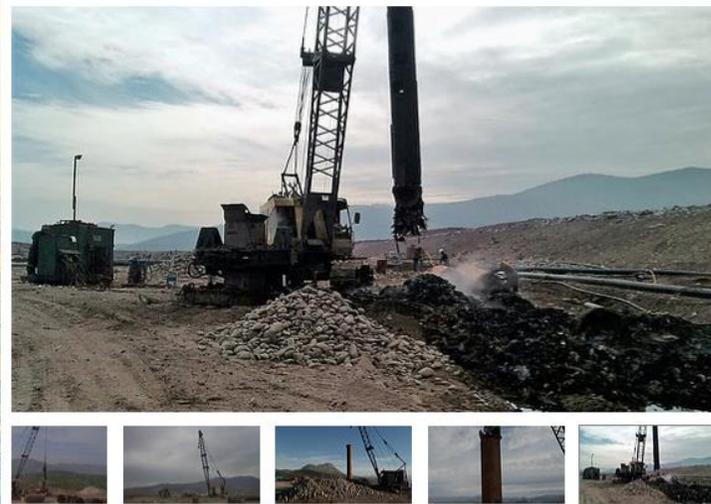


Relleno Sanitario Santa Marta, (Chile).

BIOGÁS. EXTRACCIÓN



BIOGÁS. EXTRACCIÓN



BIOGÁS. EXTRACCIÓN Y MIGRACIÓN



Lixigás



Lixigás



Migración difusa

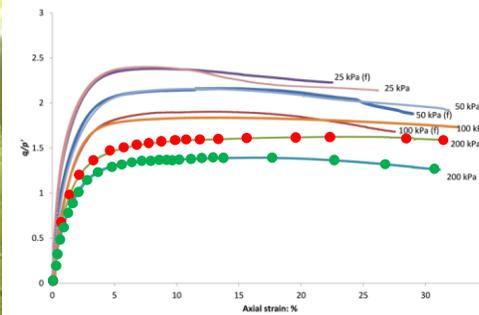
Alpacoma Bolivia



PATRONES DE DEFORMACIÓN - ANÁLISIS VISUALES



0-10 mm fraction (200 kPa)



0-2.8 mm fraction (200 kPa)

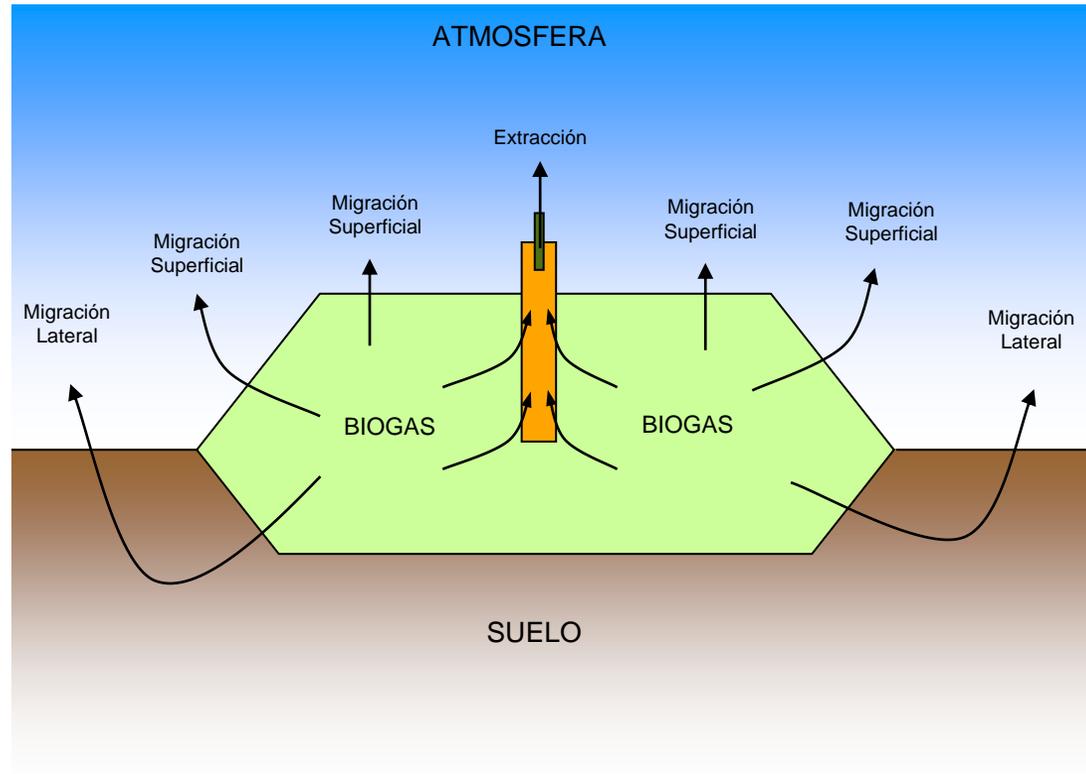


A.R. Bhandari and W. Powrie
University of Southampton, UK





BIOGÁS. EXTRACCIÓN Y MIGRACIÓN



- Solo un 50% del biogás generado potencialmente es captado y puede ser aprovechado.
- No toda la materia orgánica encuentra condiciones de humedad y temperatura para degradarse completamente.
- Una parte de la materia orgánica se degradará aeróbicamente.
- Una parte de la masa de residuos no logrará degradarse y quedará materia orgánica refractaria (que en algún momento podría activarse).
- Parte de la masa de residuos estará saturada y el biogás no se producirá.

BIOGÁS. POTENCIALES USOS

- Generación eléctrica en moto generadores
- Uso directo como combustible a baja presión.
- Distribución y uso de biogás o biometano, en reemplazo o como complemento al gas natural.
- Generación de hidrogeno (tecnología aun en proceso de validación industrial)



BIOGÁS. POTENCIALES USOS

Debemos recordar lo siguiente:

- El biogás proveniente de rellenos sanitarios habitualmente:
 - Contiene normalmente menos de 100 ppm de sulfuros.
 - Contiene siloxanos que dañan las cámaras de combustión de motores.
 - Al interior de la masa de residuos el biogás se produce saturado con vapor de agua, por lo que debe secarse antes de cualquier proceso o uso.
 - Contiene entre 5 y 15% de nitrógeno, por lo que una parte podría quedar como fracción inerte después de procesos de tratamiento.
 - Contiene hasta un 4% de oxígeno producto de fugas en la captación (infiltración de aire a la masa de residuos o fallas en la conducción al punto de aprovechamiento).

BIOGÁS. POTENCIALES USOS

- PCI biogás $\approx 4400 \text{ kcal/Nm}^3$ (la mitad del gas natural)
- 2 m^3 de biogás ≈ 1 litro de petróleo diésel $\approx 1 \text{ m}^3$ de gas natural
- $1,75 \text{ m}^3$ de biogás ≈ 1 kilo de petcoke (carbón coke)

BIOGÁS. NUMEROS RÁPIDOS

Ambiente: Guatemala comprometida con el tratamiento de desechos sólidos comunes

Gestión integral de residuos incluye generación, separación, recolección, transporte, reutilización, tratamiento y disposición final.

Guatemala

 por AGN — 12 de agosto de 2021 en GOBIERNO, Medio Ambiente

- 7700 t/día de residuos con 53% de materia orgánica, produce aproximadamente 20.000 a 24.000 m³/biogás por hora
- La captura media de biogás en un relleno activo esta cercana a un 40%
- Guatemala podría generar entre 8.000 y 9.600 m³/biogás hora
- Este biogás equivale a 4000 litros de diésel por hora o a 5100 kg de petcoke hora

BIOGÁS. POTENCIALES USOS

Generación eléctrica

- La eficiencia eléctrica de un moto generador va el 38% al 42%
- Para generar 1 MW-h se requieren 550 a 600 m³/biogás hora
- El biogás debe estar seco y tener una presión mínima de 100 mili bares
- Se deben eliminar sulfuros y especialmente siloxanos en el biogás
- Teóricamente se podrían generar hasta 16MW con el biogás que podrían producir todos los residuos de Guatemala.



Producción



Secado y
compresión



Limpieza



Generación

BIOGÁS. POTENCIALES USOS

Combustible automotriz

- El biometano tiene las mismas características que el gas natural comprimido.
- Permite el uso vehicular en vehículos adaptados para este combustible
- Sus emisiones son mínimas comparadas con el gas natural
- Flotas de autobuses en muchos países, usan biometano



BIOGÁS. POTENCIALES USOS

Combustible industrial

- El biometano tiene las mismas características que el gas natural comprimido.
- Puede ser usado en cualquier industria que utilice combustible líquido o gaseoso
- El poder calorífico es el mismo del gas natural, pero posee menos sulfuros



Hornos para
cerámicos o
ladrillos



Calderas
industriales



Hornos
cementeros

CONCLUSIONES

- El tratamiento actual de residuos en Latinoamérica y El Caribe debe considerar que el mínimo costo no es una solución sustentable. El vertedero tiene el menor costo de “tratamiento”, pero también el mayor impacto sobre las personas, el entorno y el planeta.
- En la medida que se pueda implementar más y mejores plantas de tratamiento de residuos, se debe también avanzar en la cobertura de recolección de residuos domiciliarios, 40 millones de personas en ALC no tienen este servicio.
- No existen soluciones únicas ni mágicas. Todo se logra con un trabajo mancomunado en vistas del bien común.

CONCLUSIONES

- Debemos aprovechar la tecnología probada para la gestión de nuestros residuos, por ejemplo el coprocesamiento lleva mas de 40 años funcionando en el mundo.
- Cuando pensemos en nuevos proyectos de tratamiento de residuos, **DEBEMOS** considerar la valorización de todos o una fracción de los residuos, ya sea con compostaje, digestión anaeróbica, reciclaje, coprocesamiento o valorización energética. Lo que quede a disposición final con aprovechamiento de biogás, si es posible.
- El 11% de emisiones que generan los residuos puede reducirse drásticamente, si actuamos ahora. El biogás es un GEI pero a la vez un combustible abundante y renovable.
- Los diagnósticos están elaborados hace años, es momento de invertir en ingeniería y buscar financiamiento para desarrollar los proyectos.

GUATEMALA

UN CASO EJEMPLAR A SEGUIR





CONGRESO
Cemento & Concreto
Verde 2050



06 AL 09
MAYO 2024



Ciudad de
Guatemala

EL ROL DEL
CEMENTO &
CONCRETO
DE CARA
AL CAMBIO
CLIMÁTICO

Emisiones de metano en el sector de los residuos y el rol del co-procesamiento en la agenda de reducción

Dr. Ing. Marcel Szantó N.
Académico e investigador
Pontificia Universidad Católica de
Valparaíso. Chile