

MANEJO DEL BIOGÁS EN RELLENOS SANITARIOS



MANEJO DEL BIOGÁS EN RELLENOS



Francisco J. P. de Oliveira

FRAL CONSULTORIA

- Protocolo de KYOTO
- Matriz Energética - Mundial/Brasil
 - Tarifas
- Importancia del inventario (Emisión x Eliminación - CO2)
- Biogás - Producción
 - Fases de Generación
 - Composición
- Aprovechamiento Energético de Biogás.
- Relleno Sanitario (Biogás) x Incineración.
- Discusión de los Principales Factores que afectan las Evaluaciones de Producción de Biogás.
- Exposición de la Tasa de Generación de Biogás y los Respectivos Decaimientos y su influencia en la Viabilidad Económica de los Proyectos.



¿QUÉ ES?

Es el primer instrumento jurídico internacional en el que propone una acción comercial a un problema ambiental.



HISTORICO

Firmado en 1997, entró en vigor ocho años después, en 2005.

Su principal objetivo es "reducir, al menos un 5% de las emisiones combinadas de gases del efecto invernadero de 1990."

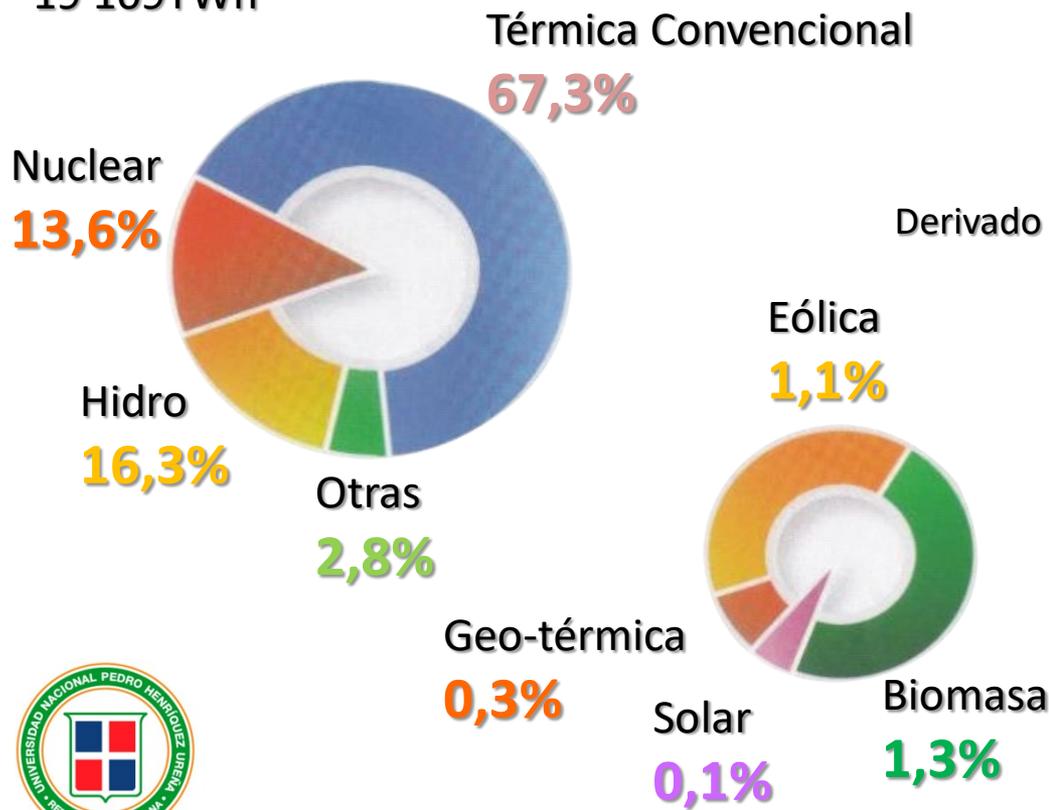
Estas reducciones deben ser alcanzados para el 2012, y se aplican a los países desarrollados incluidos en el anexo I.

Cerró en 2012, sin renovación, por que no solo no provoco la reducción mas incremento la generación de gases de efecto invernadero en países desarrollados los cuales través de Kyoto encontraran términos legales y económicos favorables de compensación de incrementar esta generación de gases.



2008

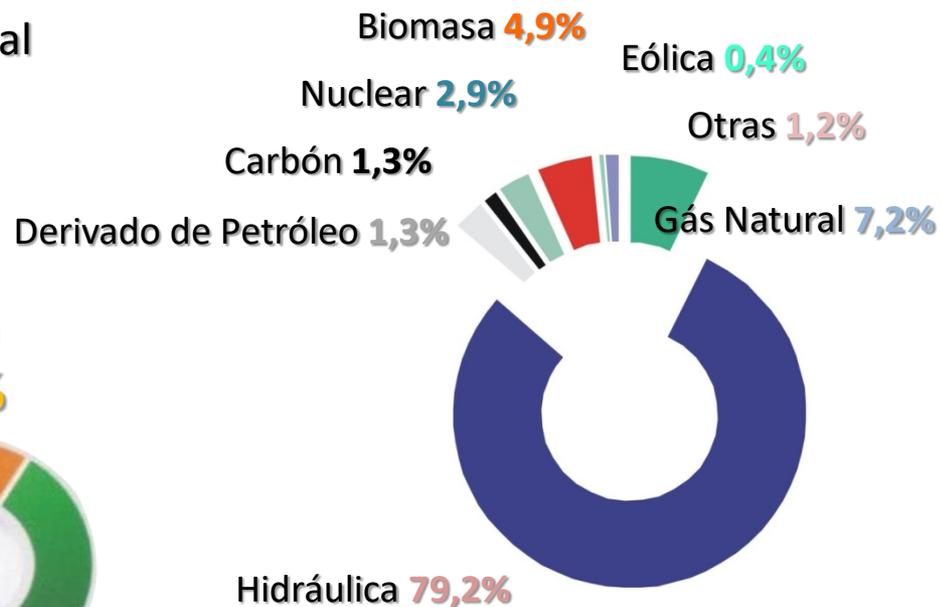
19 109TWh



Fuente: U.S. Energy Information Administration (EIA) 2011.

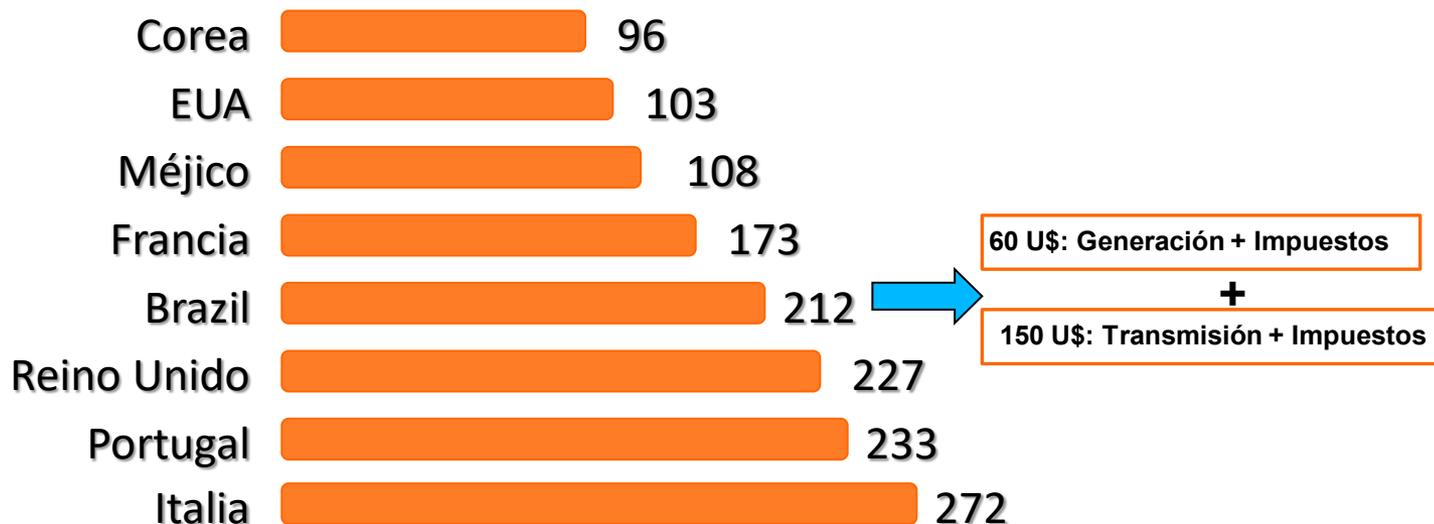
Generación de energía en Brasil (%)

531,8TWh



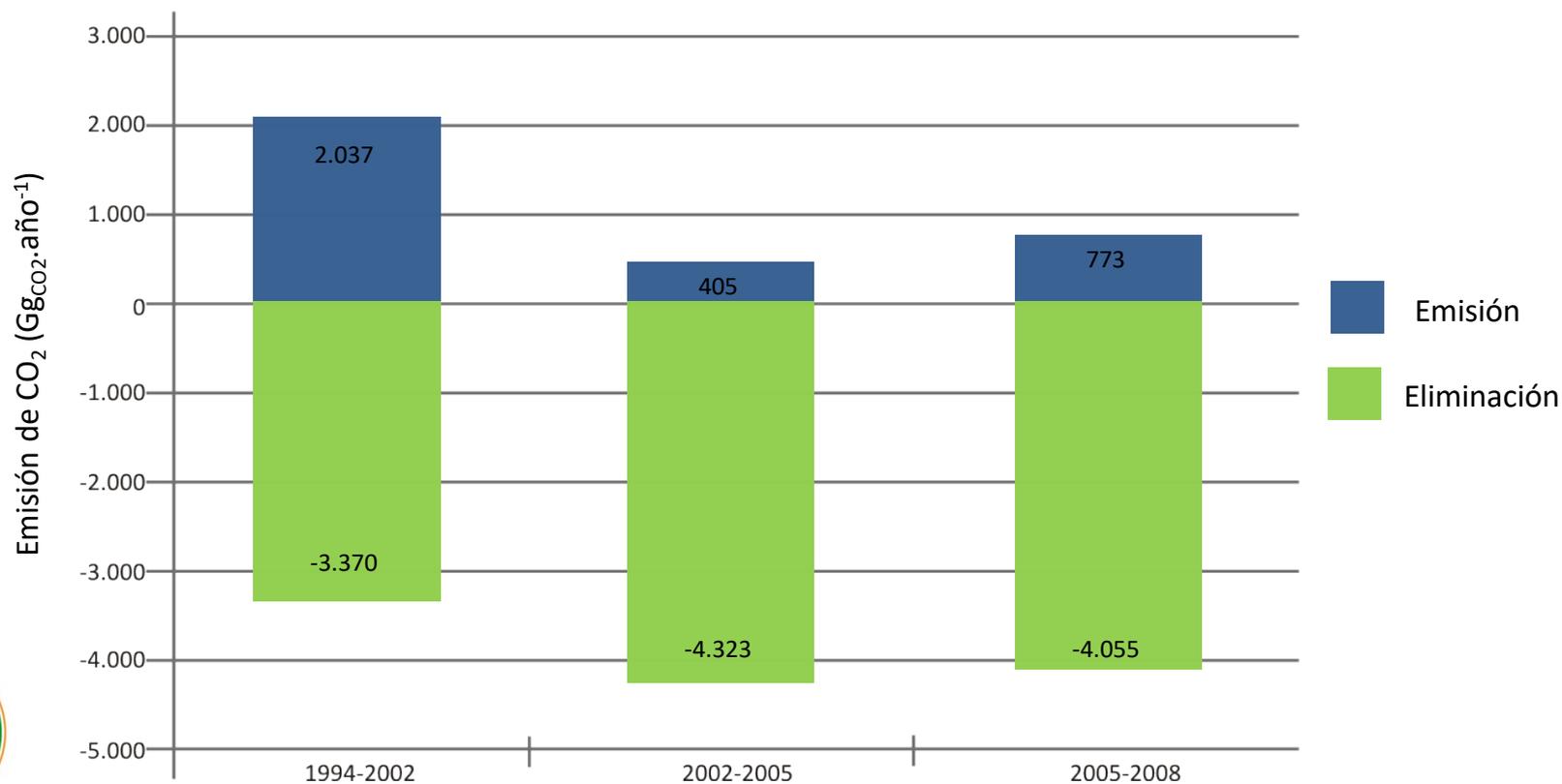
Fuente: Balanço Energético Nacional (BEM) 2011

Tarifas de energía eléctrica residencial en 2008 en el mundo (U\$/MWh)



Fuente: Novo Ambiente (2011)

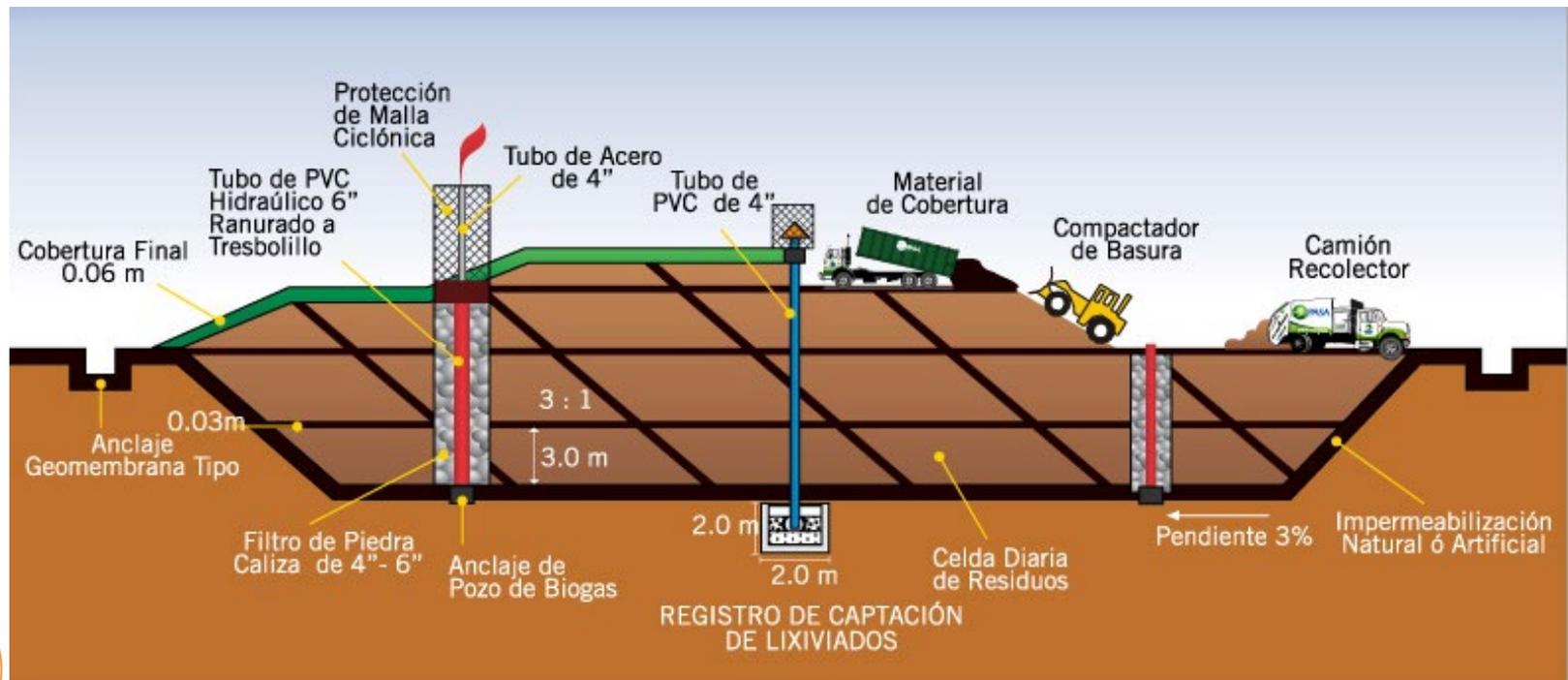
Gráfico 1. Balance Media Anual de CO₂ en los períodos de 1994 a 2002, 2002 a 2005 e 2005 a 2008 en el estado de São Paulo (Gg)



Fuente: Comunicação Estadual (2011)



Biogás, resultado de procesos físicos, químicos y microbiológicos en el interior de los residuos. A calidad depende de el sistema microbiológico que conduce el proceso de generación del gas, dada la naturaleza orgánica de la mayor parte de los residuos.



Diseño encima, detalles del funcionamiento de un Relleno Sanitario

Generación de biogás: 5 fases (QIAN *et al.* – 2002)

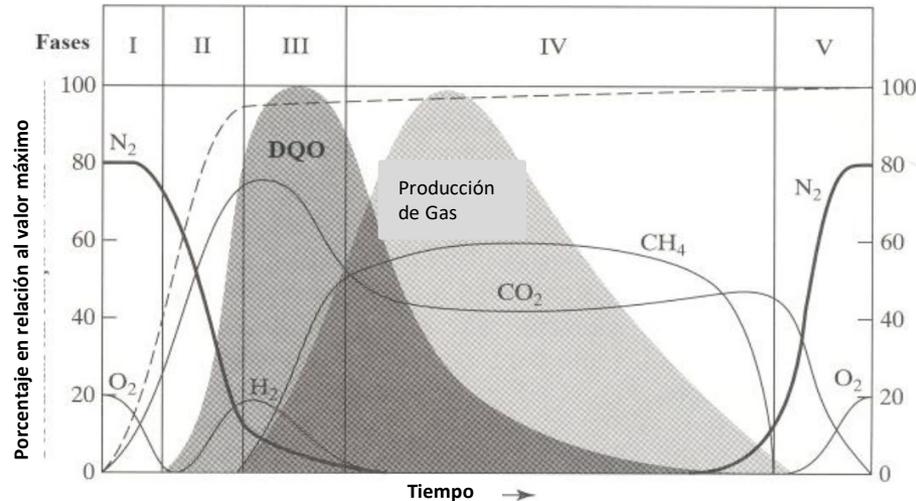


Figura 01: Generación de gases de relleno de RSU con el tiempo (Modificado de UKDOE, 1993, apud QIAN *et al.*, 2002).

Tabla 01: Resumen de las fases de generación de gas en RSU (Modificado de EMCON, 1998, apud QIAN *et al.*, 2002).

Fase	Nombre	Actividad primaria
I	Aerobia	Reducción de O ₂ no gas del aterro (varias horas a 1 semana)
II	Aerobia/Generación de Ácidos	Formación de ácidos grasos libres, estando en su máxima producción e inicio de la producción de CH ₄ (1 a 6 meses)
III	Transición para anaerobia	Las concentraciones de CH ₄ y CO ₂ se estabilizan y no tiene presencia de N ₂ en el relleno (3 años y 3 meses)
IV	Anaerobia	Las concentraciones de CH ₄ y CO ₂ comienzan a reducir y un poco N ₂ (aire) retorna a el sistema (8 a 40 años)
V	Transición para estabilización	El gas es primordialmente aire y toda la descomposición anaerobia es completada (1 a mas de 40 años)



Los gases de rellenos sanitarios están compuestos por varios tipos de gases, metano, dióxido de carbono y otros en cantidades en traza.

Tabla 02 : Composición típica de Biogás de Rellenos de RSU

COMPOSICIÓN	PORCENTAJE (BASE SECA)
METANO	45-60
DIÓXIDO DE CARBONO	40-60
NITROGENO	2-5
OXIGENO	0,1-1,0
AZUFRE, MERCAPTANOS, ETC	0-1,0
AMONÍACO	0,1-1,0
HIDROGENO	0-0,2
MONÓXIDO DE CARBONO	0-0,2
GASES EN MENOR CONCENTRACIÓN	0,01-0,6

Fuente: TCHOBANOGLIOUS ET AL (1994)



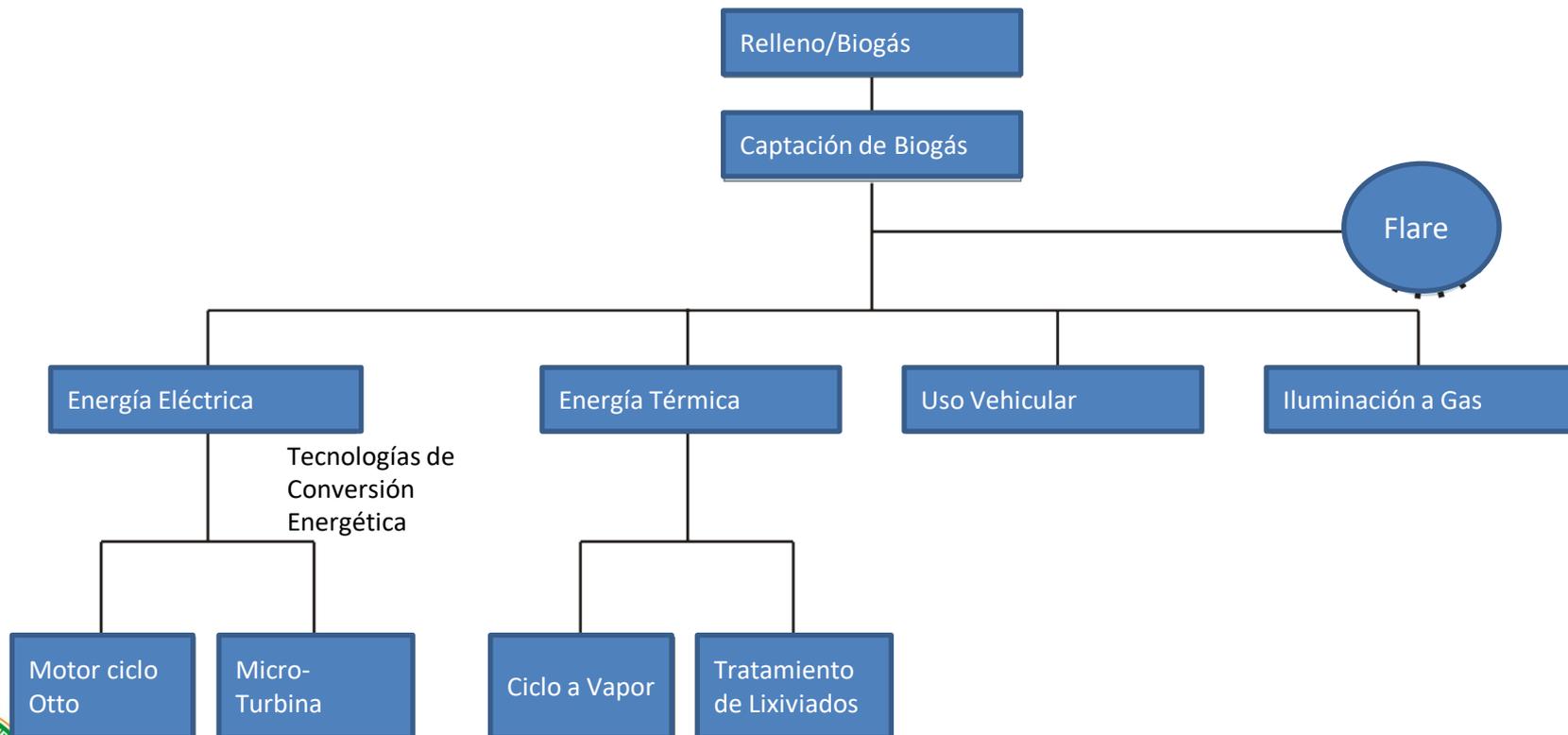


Diagrama de aprovechamiento alternativo de Biogás.
Fuente: Instituto Agir Sustentável *apud* ICLEI, 2009.



Proyectos MDL Registrados y Certificados- <http://cdm.unfccc.int>

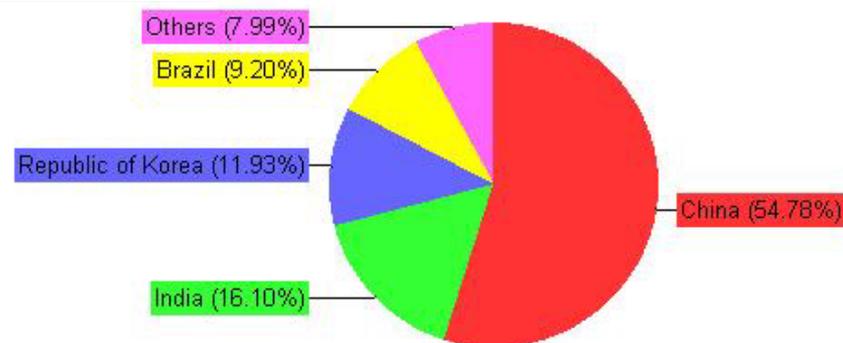
Del país anfitrión	Proyectos diseñados		Cer's Emitió	
China	1215	42,95%	300.731.372	54,78%
India	620	21,92%	88.362.165	16,10%
Republic of Korea	52	1,84%	65.482.526	11,93%
Brasil	186	6,57%	50.497.495	9,20%
México	125	4,42%	8.125.405	1,48%
Malásia	88	3,11%	743.439	0,14%
Top	2.286	80,81%	513.942.402	93,63%
Los demás países	543	19,19%	34.997.743	6,37%
Totales	2.829	100%	548.940.145	100%

Bandeirantes & São João :

- Emisión de 5.789.420 CER
- 11,5% de los CER emitidos para Brasil.



CER's Emitió



<http://cdm.unfccc.int> (c) 17.02.2011 14:59

QUEMA DE BIOGÁS + GENERACIÓN DE ENERGÍA							
Generación de Residuos (t/año)	Inversión Sistema de Quema de Gas (USD) (10 ³)	Inversión Generador de Energía (USD) (10 ³)	Capacidad Instalada (MW)	Generación de Energía (MWh/año)	Precio Energía (USD/MWh)	Ingresos de Venta de Energía (USD/año) (10 ³)	Payback (a)
100.000	1.380	1.492	0,5	4.380	120	526	10
500.000	4.258	4.604	2,5	21.900	120	2.628	7
1.000.000	6.916	7.479	4,5	39.420	120	4.730	4

INCINERACIÓN + GENERACIÓN DE ENERGÍA						RELLENOS DE CENIZAS		
Generación de Residuos (t/año)	Inversión Incinerador (USD) (10 ³)	Tasa de Conversión de Residuo para Energía (MWh/t)	Generación de Energía (MWh/año)	Precio de Energía (USD/MWh)	Ingreso de Venta de Energía (USD/año) (10 ³)	Generación de Cenizas (t/año)	Costo de Relleno (USD) (000)	Payback (a) (k)
100.000	37.923	0,3	30.000	40	1.200	15.000	854	32
				120	3.600			11
500.000	117.000	0,3	150.000	40	6.000	75.000	4.272	20
				120	18.000			7
1.000.000	190.067	0,3	300.000	40	12.000	150.000	8.544	17
				120	36.000			6

(k) TIR = 15%, Tasa. interés 5% a.a.



Rellenos Sanitarios

- Disposición de la basura de forma adecuada ambientalmente;
- Menor generación de energía;
- El tiempo de aprovechamiento del biogás depende de la vida útil del Relleno, que es en media de 25 años;
- Necesaria grandes áreas para la implantación;
- Requiere de un sistema de tratamiento de “efluentes”;
- Después de agotado el aprovechamiento del gas es necesario de mantenimiento por lo menos de 30 años;
- Bajos costos de instalación;
- Costo operacional bajo.

Planta de Incineración

- Reduce cerca de 95 - 98% de el volumen original de los RSU dependiendo de la composición;
- Genera significativa cantidad de energía;
- Necesaria a selección de residuos debido a que no puede ser colocado directamente en el incinerador;
- La planta requiere menores áreas para la instalación;
- Requiere sofisticados sistemas de filtrado especialmente en función de contaminantes tales como NOx, CO, SOx, material en partículas, dioxinas y furanos;
- Elimina emisiones de CH₄;
- Elevados costos de instalación
- Costo operacional alto;
- Muy bajo costo de transmisión;
- Viabilidad asociada:
 - Reducción en los costos de inversión y operación;
 - Instalación de Plantas próximo a grandes centros consumistas;
 - Venta de energía para grandes consumidores.



Conclusión:

Exploración energética del Biogás requiere determinados estudios de viabilidad, debido a que la longevidad del caudal está en función de las dimensiones del relleno y de los sistemas de captación sobre todo por el rápido decaimiento de producción.

Discusión sobre los Factores que Influyen en las Evaluaciones de el Parámetro Lo por la Metodología de el IPCC, frente a otras Metodologías USEPA/BM



Metodología cinética de primera orden de el IPCC (Panel Intergubernamental sobre Cambios Climáticos – 1996)

$$Q_{T,x} = k \times Rx \times L_0 \times e^{-k(T-x)} \quad (01)$$

Donde:

QT-x: CH₄ generado-año actual (m³/año); k: constante de generación de CH₄ (1/año); Rx: cantidad de residuos depositado año x (t); L₀: potencial de generación de CH₄ por tonelada de residuos (m³/t); T: año actual; x: año de depósito de los residuos

Potencial de generación de metano de los residuos (Lo):

- Varía de 125m³ de ton de CH₄/ton de residuo a 310m³ de ton de CH₄/ton de residuo.

$$Lo = FCM \times COD \times CODf \times F \times (16/12) \quad (02)$$

FCM: factor de corrección de metano; COD: carbono orgánico degradable (t de C/ t lixo); CODf: fracción de COD disociada; F: fracción en volumen de metano; (16/12): factor de conversión de carbono en metano (t de CH₄/ t de C).

Factor de Corrección para el Metano (FCM):

Tipo de Local	FCM
Adecuado	1,0
Inadecuado – profundo (> 5 m de basura)	0,8
Inadecuado – raso (< 5 m de basura)	0,4



Carbono Orgánico Degradable (COD):

$$COD = 0,4 A + 0,17 B + 0,15 C + 0,30 D \quad (03)$$

(Muestra puntual – bajo la influencia de la heterogeneidad de los residuos)

Fracción de los RSU corresponde a:

A: Papel y textiles; B: Jardines y parques y otros residuos orgánicos putrescible (excluido alimentos); C: Resto de alimentos; D: Madera e paja.

Caso no sean conocidas las fracciones de los residuos el IPCC recomienda un valor de 12%

para el COD.

Valores recomendados para o COD:

Componente	Porcentaje de COD en Masa
A. Papel, carton y tejidos	40
B. Residuos de parque y jardin	17
C. Resto de alimentos	15
D. Madera	30

Fracción de Carbono Orgánico Degradable Asimilado (CODF):

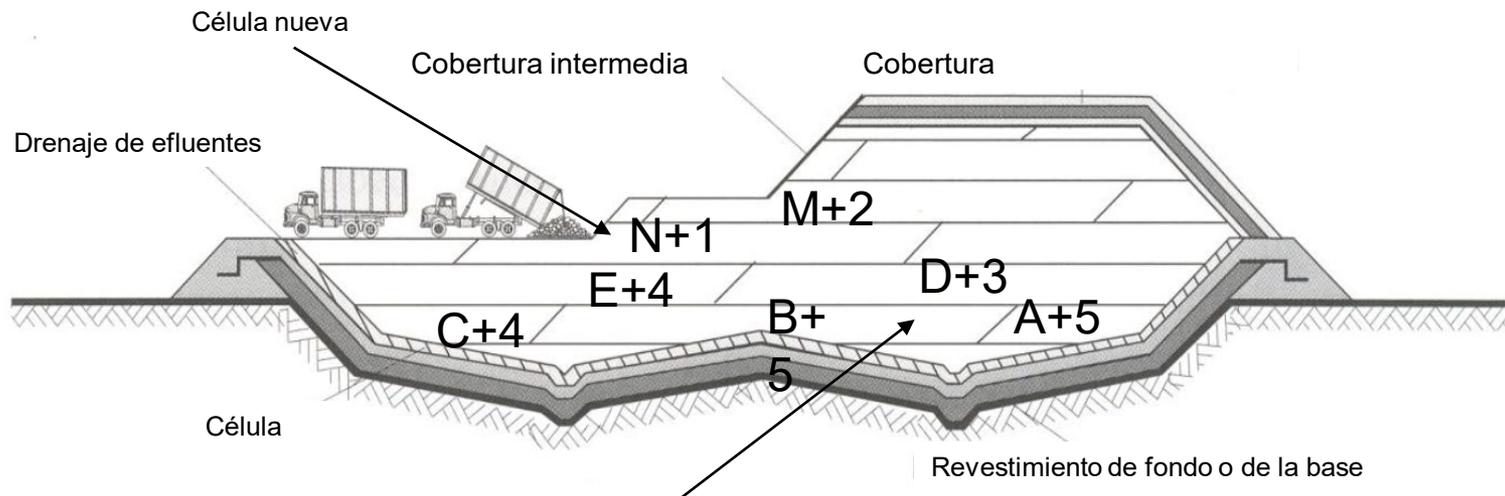
- O CODF corresponde a la fracción de carbono orgánico degradable que realmente se degrada.

- O CODF no se descompone totalmente y parte permanece en el aterro inclusive durante largos períodos de tiempo.

- En la ausencia de datos o IPCC propone un valor de **77%** para el CODF.



Según lo observado, los valores de COD varían de 13,1% a 16%, de acuerdo con los tipos e edad de los residuos aterrados además de la secuencia del aterramiento.



Célula antigua A+fase 5 = A+5
Célula antigua B+fase 5 = B+5....
Célula nueva N+fase 1 = N+1.....

Célula antigua

Configuración de la disposición de células de RSU



FAMILIA DE CUATRO MIEMBROS

1 450 kg/año

PLANTA DE TRATAMIENTO INTEGRAL

CONSUMO
ELECTRICO
FAMILIAR 15/
20%

VALORACIÓN
ENERGÉTICA
420 KWh/año

RECICLAJE
200kg/año

COMPOSTAJE
500kg/año

RELLENO
140kg/año



Edad de la basura

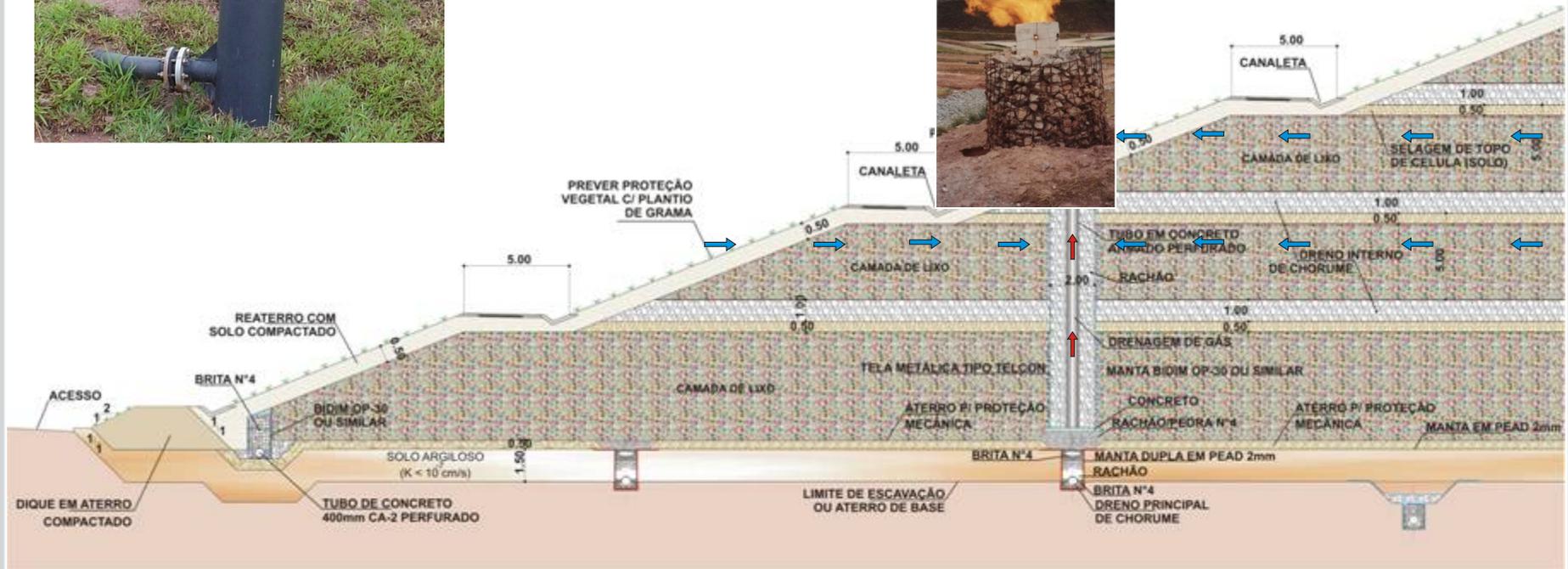
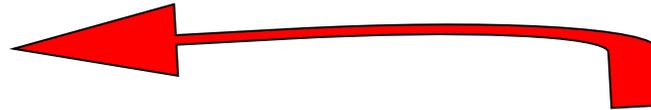
- Inicio de la generación de metano → tercera fase;
- Intensificada → cuarta fase;
- La duración de cada fase depende de las condiciones propias de cada relleno;
- Los residuos son depositados en el transcurso del tiempo, los procesos de descomposición los afectan de forma diferente, conforme la fase en que se encuentran;
- Residuos nuevos poseen mayor potencial de generación de metano en condiciones de humedad adecuada.

Operación

- La operación de un aterro de residuos es un proceso dinámico;
- Nuevas cantidades de residuos son depositadas diariamente;
- Locales con depósitos mas antiguos, pueden ser escavados para mejoramiento de los sistemas de captación o para implantación de drenajes entre capas, alterando de esta forma los procesos desarrollados en la masa de residuos.



Operación del aterro x Operación de el Sistema de gas y Generación.



Relleno Sanitario São João:

Relleno Sanitário	São João (media %)	Bandeirantes (media %)
PESO TOTAL DE LA MUESTRA	361,3	420,63
MATÉRIA ORGÁNICA	53,2	60,62
PAPEL, CARTONO Y PERIODICOS	16,4	12,32
EMBALAJE DE LARGA VIDA	1,1	1,01
EMBALAJE PET	0,4	0,60
ISOPOR	0,2	0,38
PLÁSTICO BLANDO	10,5	5,40
PLÁSTICO DURO	6,3	6,12
METALES FERROSOS	0,8	1,09
PILAS Y BATERIAS	0,2	0,01
VIDRIOS	1,1	1,70
TIERRA Y PIEDRA	2,7	3,21
MADERA	0,6	0,66
TRAPOS E TELAS	1,9	3,14
DIVERSOS	1,9	2,12
ALUMÍNIO	0,4	0,36
CAUCHO	0,0	0,00
ESPUMA	0,0	0,00
SUB-TOTAL	97,9	98,78
PERDIDAS EN EL PROCESO DE SELECCIÓN	2,1	1,22

Tipos de residuos:

A=0,18

B=0,03

C=0,53

D=0,01

COD=0,160

Cálculo de L_0 :

FMC=1

COD=0,16

CODF=0,77

F=0,4

$\gamma = 0,000717 \text{ t/m}^3$

$L_0 = 91,44 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{t RSU}$

Relleno Sanitario Bandeirantes:

Tipos de residuos:

A=0,15

B=0,03

C=0,61

D=0,01

COD=0,160

Cálculo de L_0 :

FMC=1

COD=0,16

CODF=0,77

F=0,4

$\gamma = 0,000717 \text{ t/m}^3$

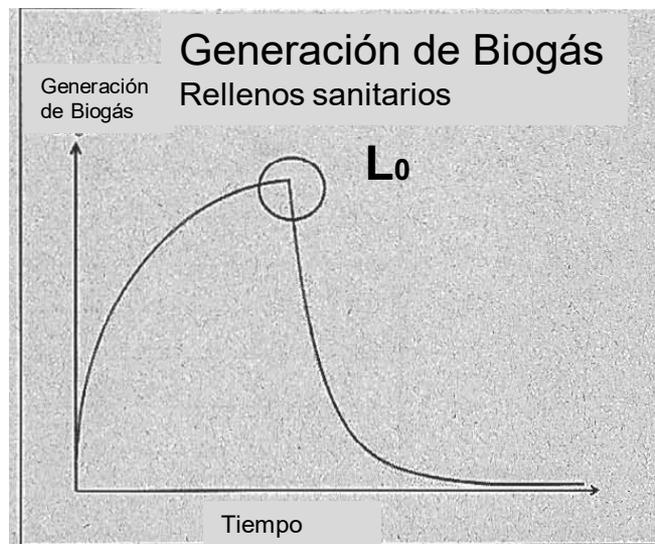
$L_0 = 91,77 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{t RSU}$



A continuación se muestra los valores de el parámetro L_0 utilizado por las Metodologías USEPA, Banco Mundial y el IPCC para el cálculo de las emisiones de metano para rellenos sanitarios.

PARÁMETRO	USEPA	BANCO MUNDIAL	IPCC
L_0 (M ³ CH ₄ /tRSD)	100	170	91,77*
		-40%	-45%

* Valor calculado



- Valores utilizados para el residuo tipo C (restos de alimentos) Tabla 9.

Tabla 9. Decrecimos del valor de el Residuo Tipo C

Residuo tipo C	COD	L ₀
0.61 (inicial)	0.160	114.71
0.56	0.153	109.75
0.51	0.146	104.38
0.46	0.138	99.01
0.41	0.131	93.64

-20%

- ✓ El valor inicial es conservado por ser considerado una célula nueva;
- ✓ Los valores bajan después de el valor inicial debido a la edad de el residuo de: ~-0.05; -0.10; -0.15 e -0.2 de modo a representar las células nuevas para las mas antiguas.

En la Figura 5 puede ser observado las diferencias de L₀.



Decrecimos del Residuo Tipo C

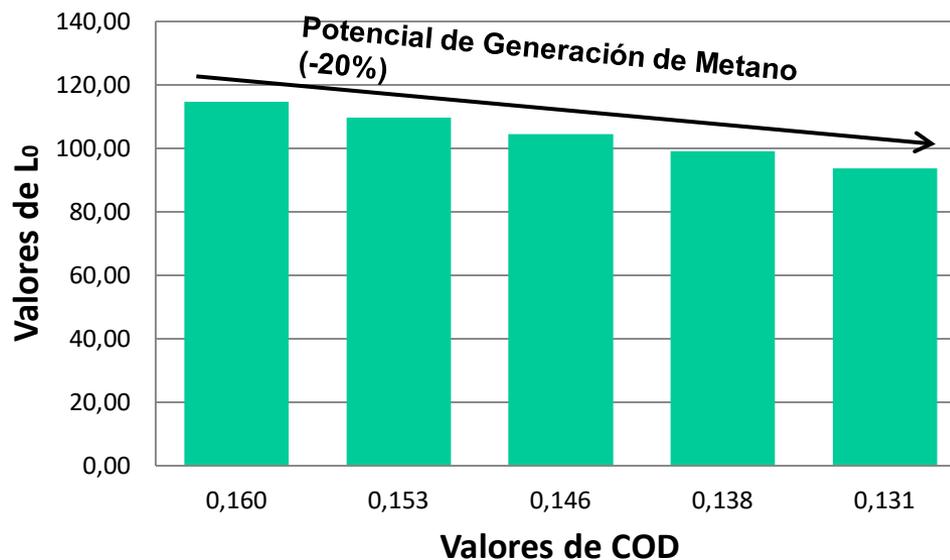


Figura 5: Variaciones de Lo



- ✓ Con la disposición de residuos en distintos tiempos y espacios próximos entre si, los residuos sufren diferentes fases de degradación,
- ✓ Lo con tendencia de variar sus valores.

Ejemplos:

A) “Análisis de Modelos de Generación de Gases en rellenos Sanitarios: Estudio de Caso” (Borba, 2006).

1. Parámetros específicos: $k = 0,1 \text{ año}^{-1}$ y $L_0 = 164 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{t}$ aplicada para todas las metodologías y;
2. Parámetros recomendados: k y L_0 sugeridos pelas mismas metodologías

Diferencia de generación de CH₄ entre las metodologías aplicadas con los parámetros recomendados de k y L_0

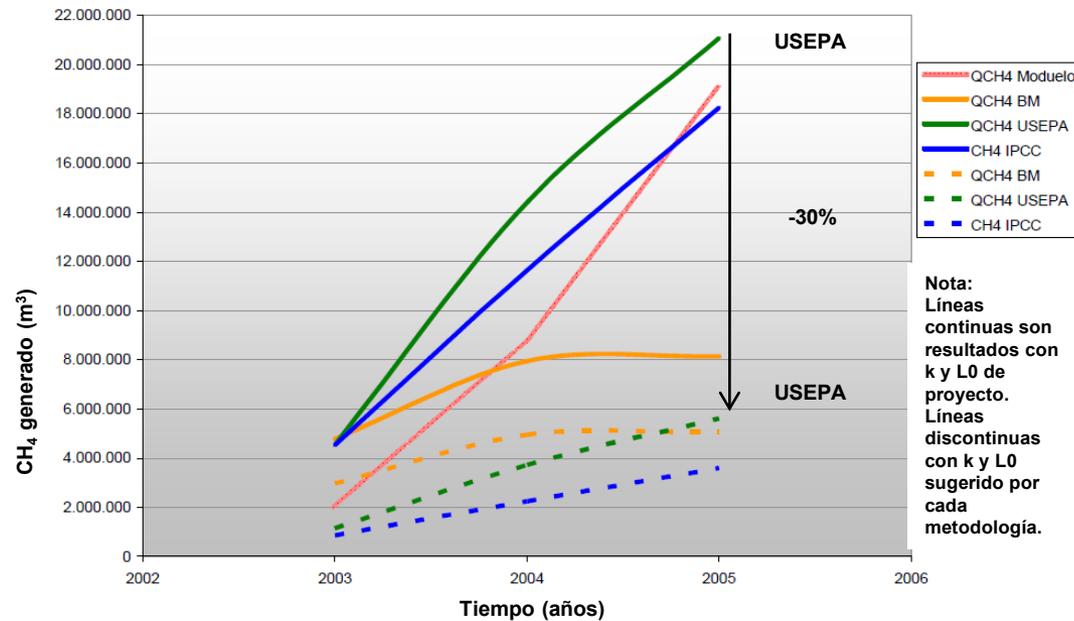


Figura 6: Generación de CH₄. Con las metodologías BM, USEPA, Moduelo y IPCC. (Borba, 2006).



B) Felipe Jucá “Evaluation of landfill gas production and emissions in a MSW Large-scale Experimental Cell in Brazil” SARDINIA, 2011.

- Célula experimental de 36.659t en Recife/PE – Brasil, Clima tropical,
- Resultado: descomposición de 4 a 5 veces mas rápido que las previsiones obtenidas por las metodologías tradicionales de primera orden de emisión de gases.

F.J. Maciel, J.F.T. Jucá / Waste Management 31 (2011) 966–977

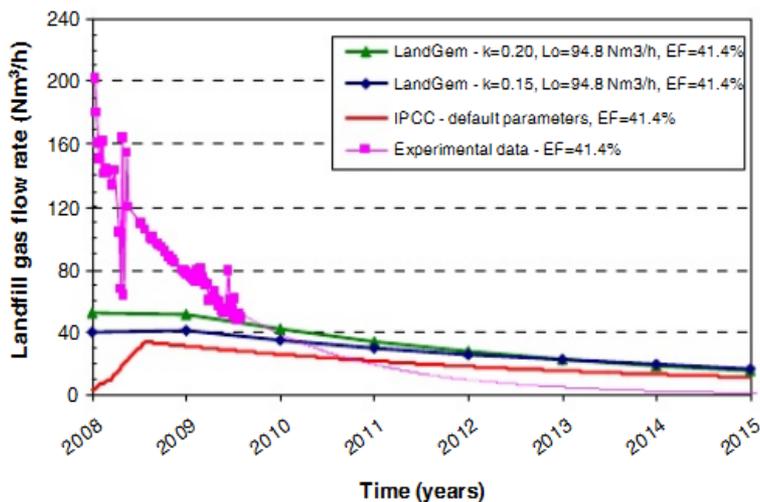


Figura 7: Tasa de generación de gas teórico y aquella medida en la Célula Experimental.

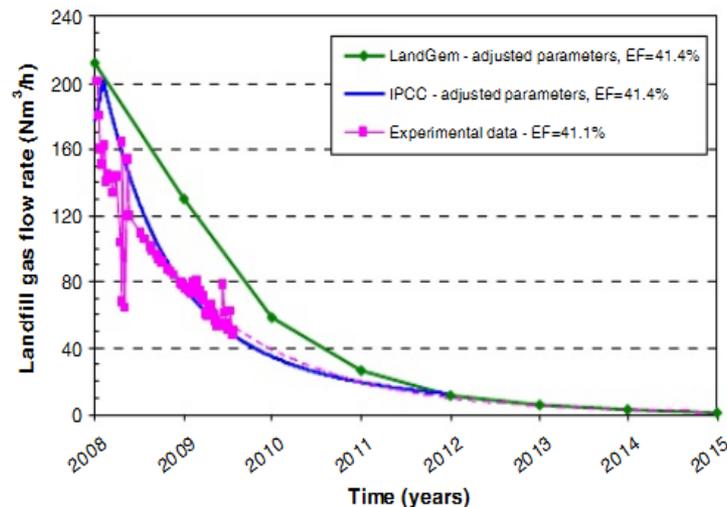


Figura 8 : Tasa de generación de gas con parámetros ajustados. (F.J. Maciel, J.F.T. Jucá, 2011)



C) “Uncertainties in Understanding and Measuring the Completion of Waste Degradation”
(SARDINIA, 2011)

- Tasas de generación de metano de 20 rellenos sanitarios
- Caída inferior a 2m³/t.a después del cierre de los aterros
- Posteriormente de 0.5 a 2 m³/t.a por varias décadas.
- Esas tasas son de orden semejante a las tasas de lisímetros utilizados por K. Knox, (2011).
- Estimaciones por métodos bioquímicos subestiman el potencial verdadero
- El método basado en carbono y fibras no fueron claras pudiendo ser significativamente superiores.

Sardinia 2011, Thirteenth International Waste Management and Landfill Symposium

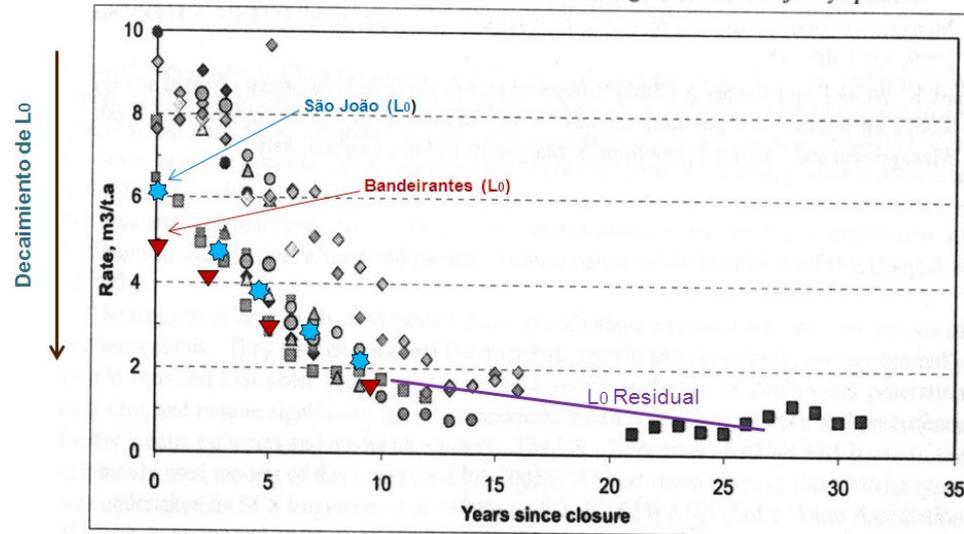
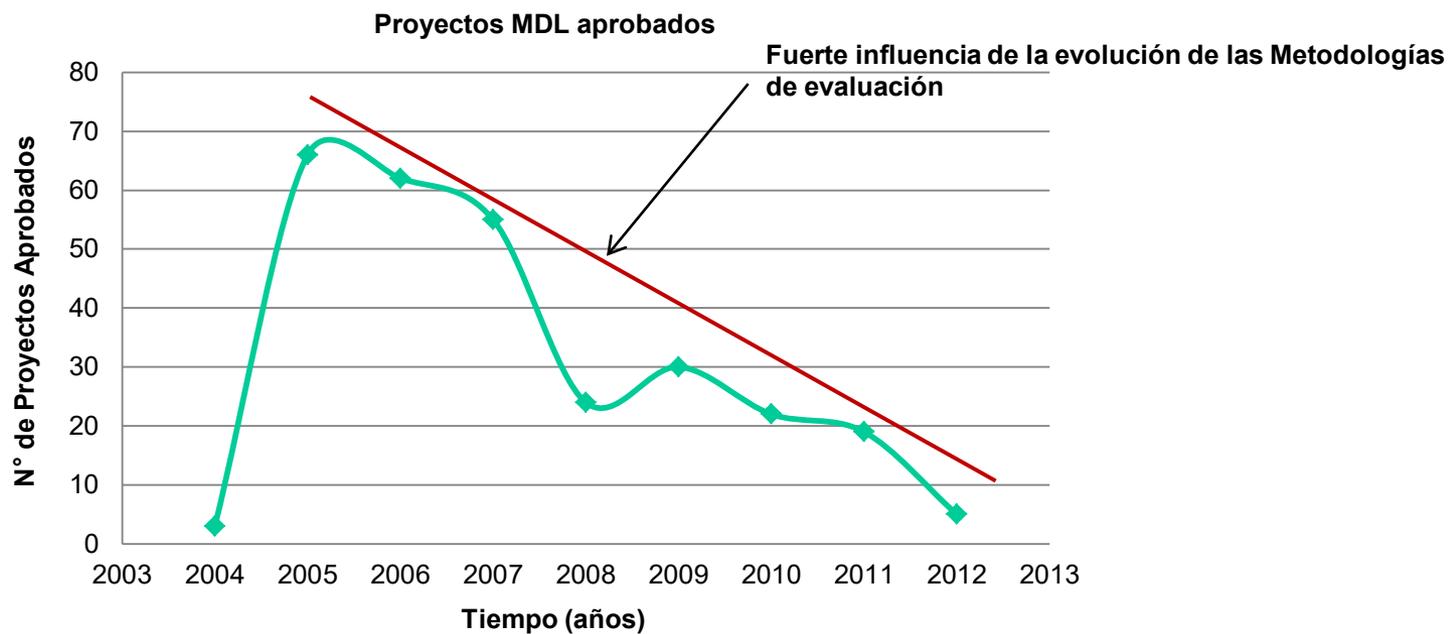


Figura 9: Estimaciones de la tasa de generación de gas de 20 Rellenos Sanitarios cerrados en Hong Kong e Inglaterra (Modificado, K. Knox, 2011).

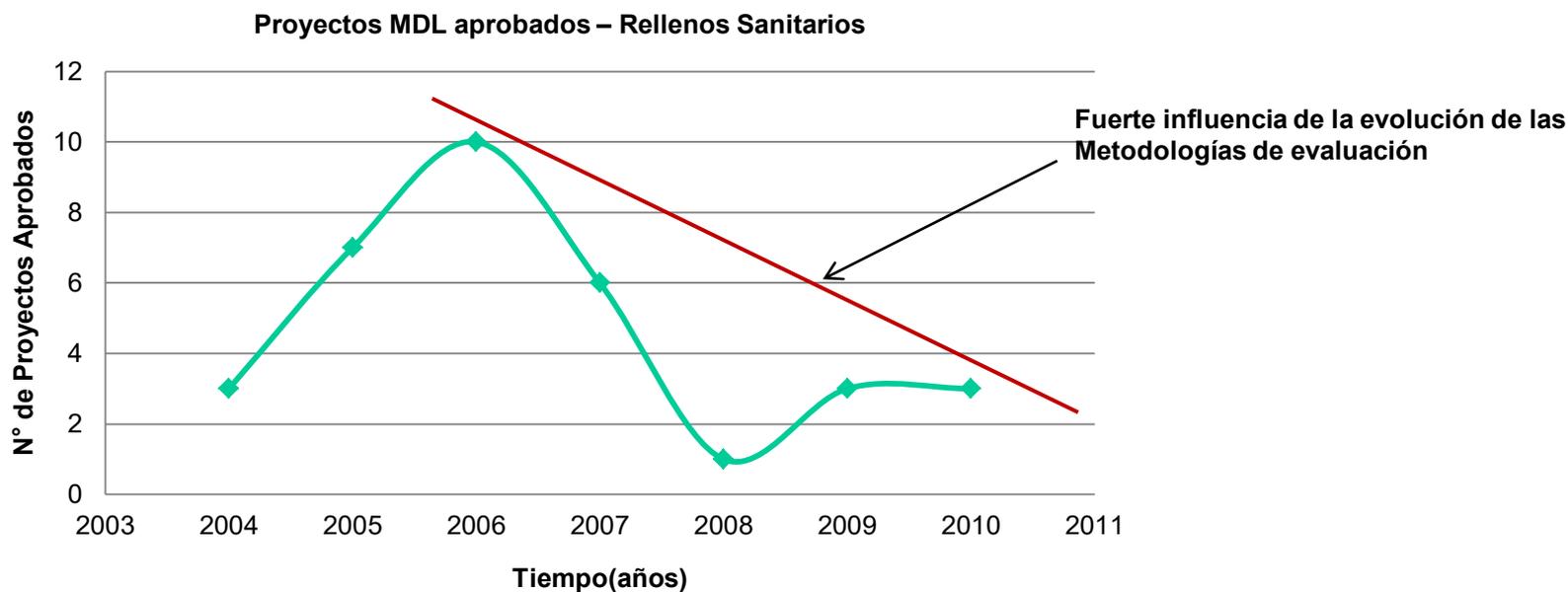


Actividades de Proyectos MDL Aprobados en los términos de la Resolución N° 1



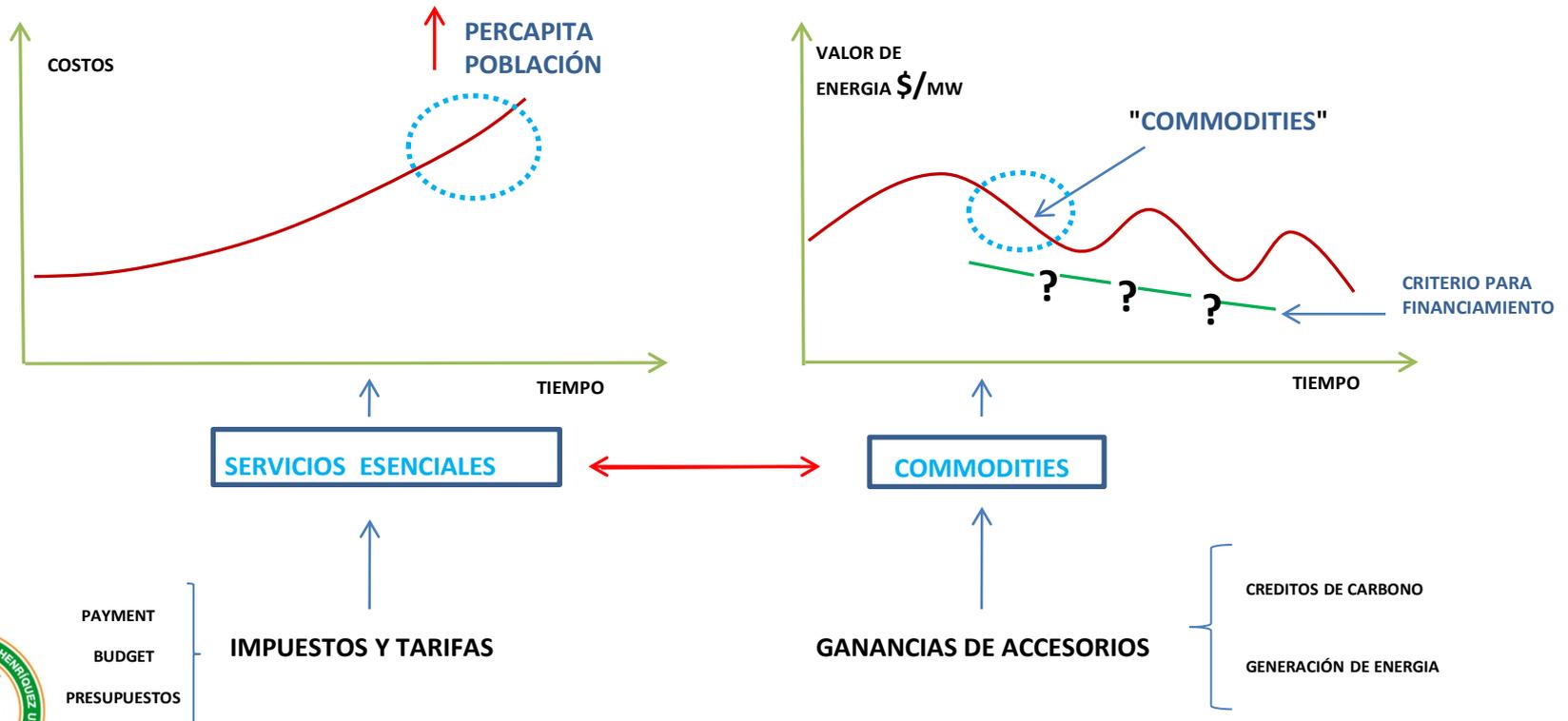
Fonte: MCTI, 2012

Actividades de Proyectos MDL Aprobados en los términos de la Resolución N° 1, Residuos – Rellenos Sanitarios

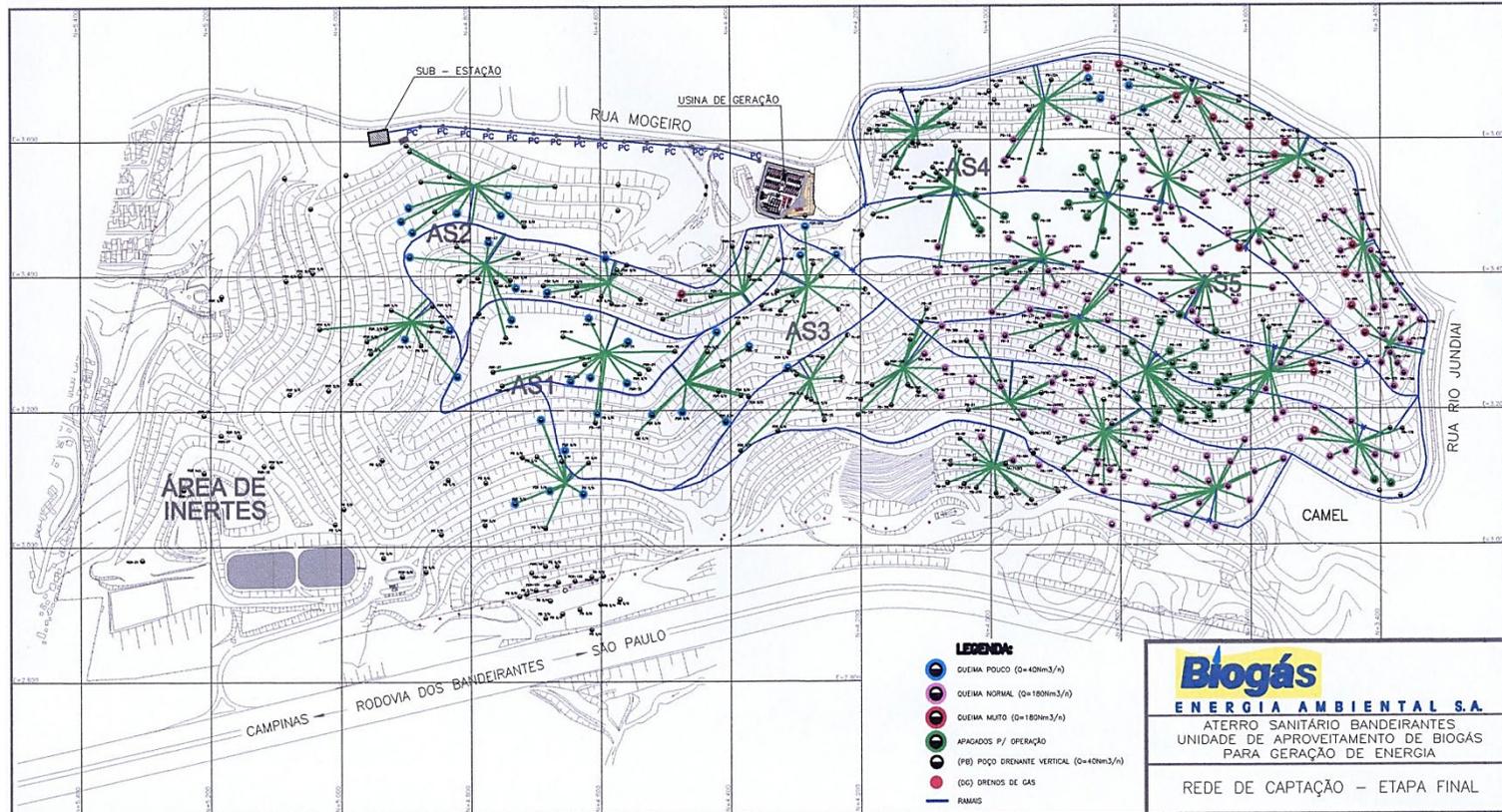


Fuente: MCTI, 2012

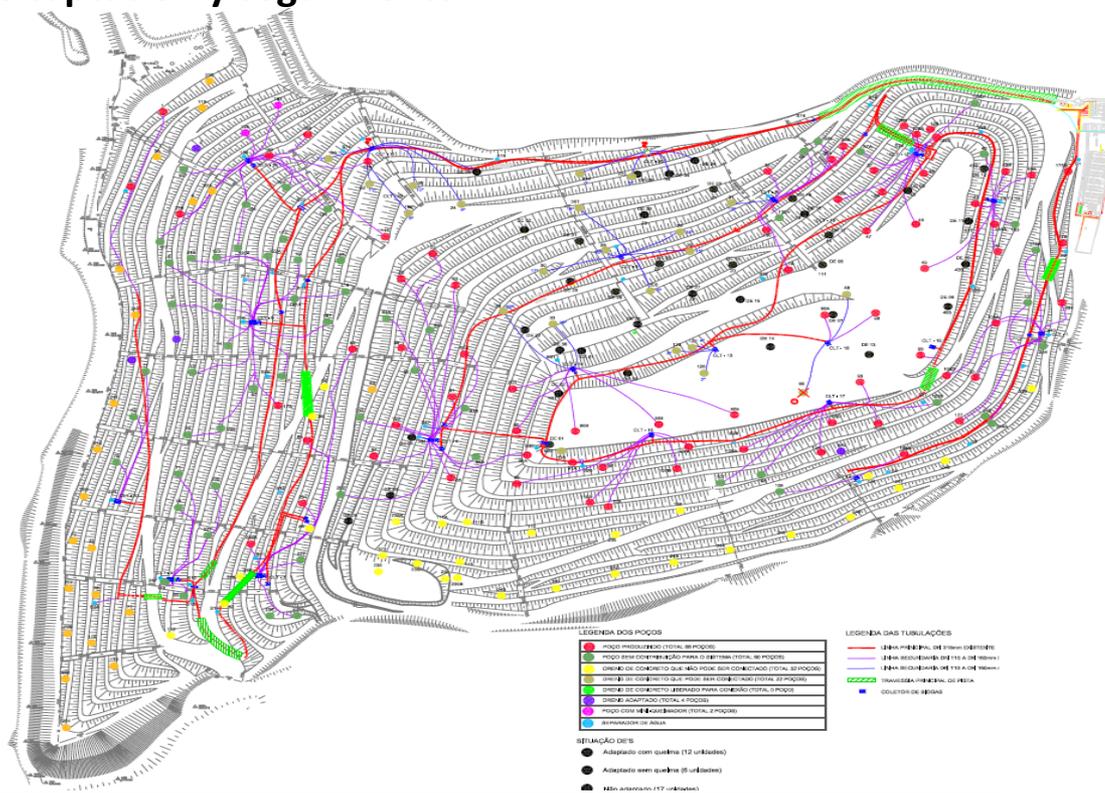
TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE RESIDUOS



- 45 Km de PEAD, 315 a 110 mm de diámetro;
- 26 recolectores de monitoreo;
- 280 pozos de captación y seguimiento.



- 40 Km de PEAD , 315 a 110 mm de diámetro;
- 22 recolectores de monitoreo;
- 240 pozos de captación y seguimiento.



Secuencia constructiva de pozos de captación



Condición original



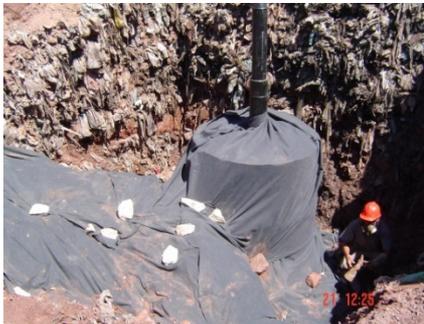
Excavación de 5 a 7 metros de profundidad



Limpeza de la base



Instalación de nueva tubería de concreto y la cabeza



Interconexión y protección de los drenajes con geotextil



Relleno con suelo compactado - sellado



Posicionamiento de la salida de la cabeza



Aspecto final



Cabezas



Recolector de gas



Línea de captación



Planta de captación

- ❑ **Ingeniería de Proyectos**
 - Van der Wiel Stort Gas BV
- ❑ **Construcción**
 - **Implementación: de septiembre a diciembre /03 - 100 días**



- ❑ Ingeniería de Proyectos
 - Van der Wiel Stort Gas BV
- ❑ Construcción
 - Implementación: de enero a Junio/2007 - 170 días





❖ **24 Construcción: Caterpillar 925 Kw cada uno**



**Generador de
480 Volts**

**Transformador de 480
para 13.800 volts**



Subestación Eco-Perus



❖ 16 de Caterpillar Construction: cada uno 1.54 Mw



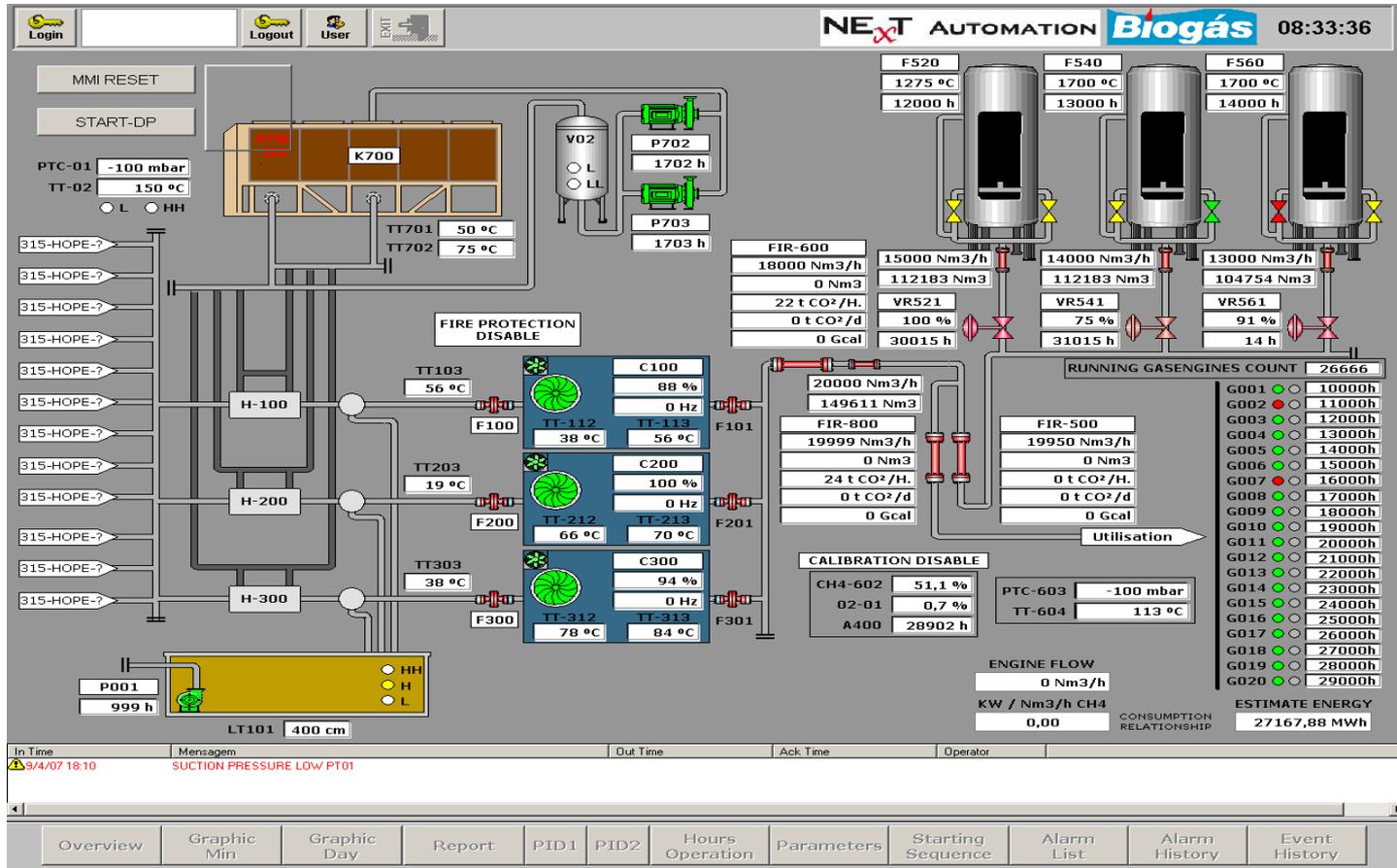
Paneles de control



Extractores



• Sistema de supervisión y control automático con interface de operación a distancia (São João)



Personal – un ingeniero y 4 alumnos de Ingeniería Ambiental

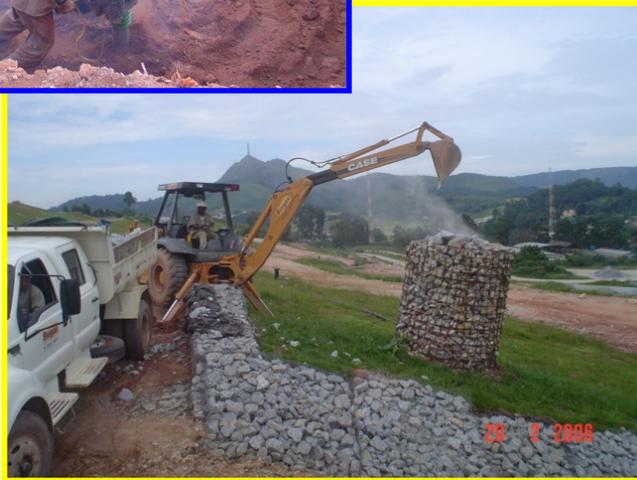
Por medio de dispositivos portatiles de campo:

- 2 Anemómetro (m/s)
- 2 Manómetro (mbar)
- 2 Gas Analyzer (% CH₄, CO₂ e O₂)

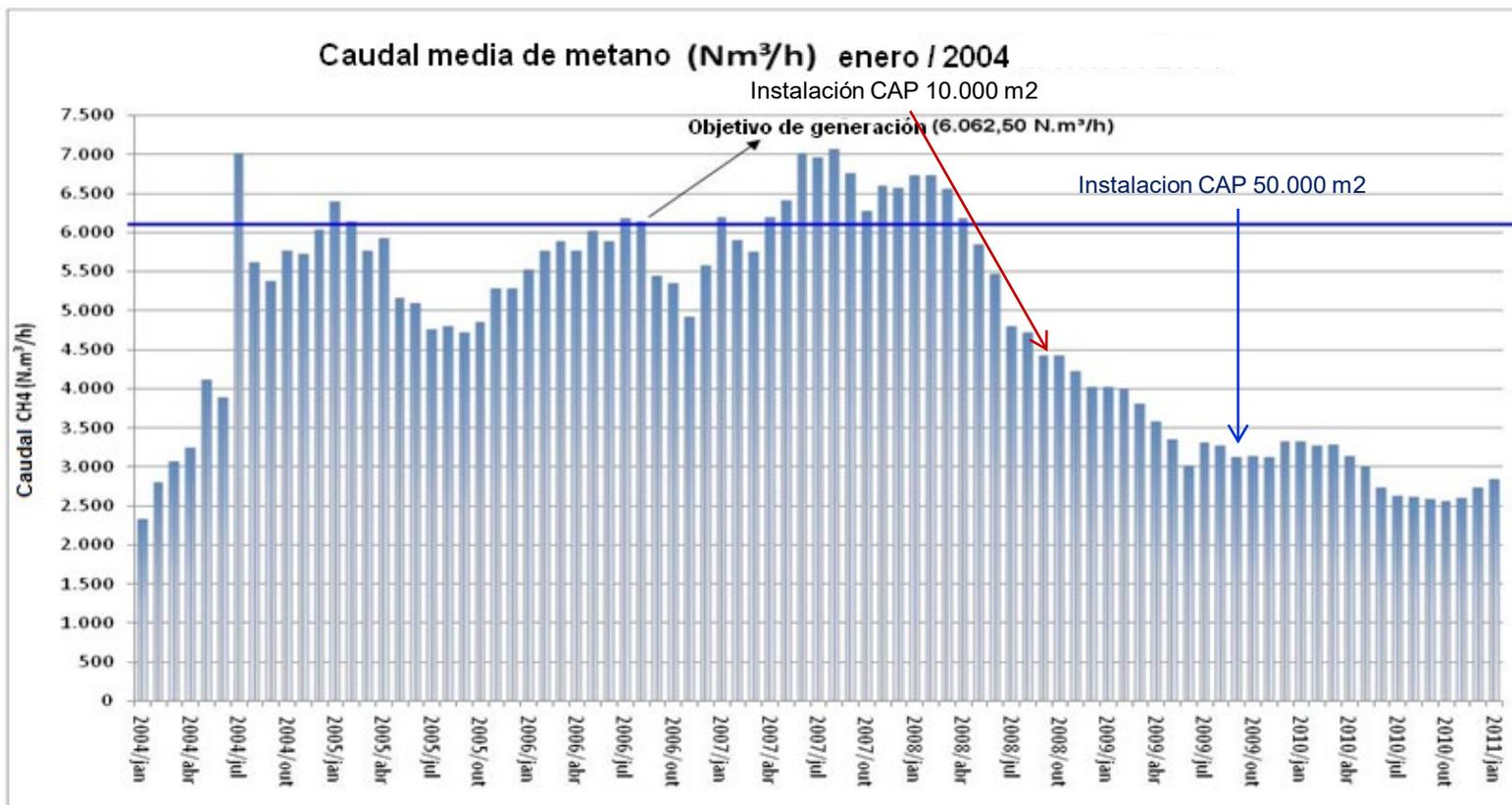


Personal – 1 técnico, 1 conductor de camión, 1 operador de una retro y 12 ayudantes.

Equipamientos:



- Operación
 - “Start-up”: enero/2004



- Problemas: emisiones de gases fugitivos:



- Instalación de lonas para medición en las 4 áreas.
- Resultados:
 - ✓ El caudal medio de CH₄ de las 4 áreas fue de **0.025 Nm³/h/m²**
 - ✓ Estimación: entre 4.700 y 11.965 Nm³ / h - 50% de CH₄.
 - ✓ *Modelo Van der Wiel* (Captura de Gas) AS-4 y AS-5: + / - 18.000 Nm³ / h. 50% de CH₄.
 - ✓ En la actualidad (Biogás S.A): 7000 Nm³ / h 50% de CH₄.
 - ✓ Diferencia = 4965 Nm³ / h 50% de CH₄.



- Evaluación de las emisiones por la cubierta
- Evaluación de las presiones internas



- Instalación de la manta 10.000 m² en la meseta del Relleno Sanitario Bandeirantes – recuperación de 1.500 Nm³ / h



- Instalación de manta de 60.000 m² en la meseta del Relleno Sanitario Bandeirantes – evitar emisiones fugitivas de biogás



- La utilización de el modelo de decaimiento de primera orden del IPCC no calibrado para estimar a generación de gases y emisión en lugares específicos puede resultar en valores irreales;
- La generación de metano en el relleno sanitario, es en lo Máximo de 65% del valor estimado;
- La calibración del modelo de evaluación puede ser realizada habiendo apenas un efectivo sistema de colecta de gas, envolviendo:
 - ✓ La selección de una zona representativa de todo el relleno, constituida por lo menos de tres camadas de baja permeabilidad, y con un eficiente sistema de colecta de gas;
 - ✓ La determinación da generación de metano en la zona de prueba, monitoreando la captación de metano y emisiones fugitivas durante un período adecuado de tiempo (> 2 años);
 - ✓ La determinación de una constante de generación de metano (K) para la basura aterrada en la zona de pruebas, para que sea después aplicada a el relleno;
- Un modelo así calibrado puede ser usado para:
 - ✓ Determinar estimativas mas reales:
 - Generación de metano;
 - Emisiones y la eficiencia de los sistemas de colecta en las diferentes regiones del relleno;
 - ✓ Pueden ser muy utiles para evaluar el desempeño de las medidas de gestión de rellenos sanitarios y el biogás, en el decorrer del tiempo.



La metodología mostrada por el IPCC permite calcular las emisiones de metano con los parámetros recomendados, conociéndose algunas características de los residuos depositados en los rellenos sanitarios.

Sin embargo, se observa cada vez mas, en los estudios en rellenos sanitarios o rellenos experimentales, que las mediciones de las emisiones de gas en situ, muestran una divergencia de valores aplicando los modelos tradicionales de primera orden entre os valores medidos.

Estos modelos deben ser utilizados con atención considerando que son aplicados para análisis económicos de proyectos, llevando en consideración principalmente las características regionales propias, como no caso de Brasil, además de las eficiencias de captación (30% y 60%) y del fuerte decaimiento (50% a cada 5 años).



- F.J. Maciel and J.F.T. Jucá, Evaluation of landfill gas production and emissions in a MSW Large-scale Experimental Cell in Brazil, SARDINIA-2011.
- K. Knox, K. Chieng and S. Hayward-Higham, Uncertainties in Understanding and Measuring the Completion of Waste Degradation, SARDINIA-2011.
- Revista Novo Ambiente Ano 02-19-Dezembro/2011.
- Silvia Mary Pereira Borba, Análise de Modelos de Geração de Gases em aterros Sanitários: Estudo de Caso, Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, 2006.
- T. Clingan and S. Bateman, Evaluating Landfill Gas Emissions at the Wollert Landfill Australia, S. Dever, SARDINIA -2011.



Gracias!

Eng. Francisco J. P. Oliveira

Contacto: (11) 5093-7709/5093-3591

franciscojpoliveira@fralconsultoria.com.br

