



Methane to Markets

***MODELO MEXICANO DE BIOGAS – VERSION 2
(2009)***

**Alex Stege
Especialista
SCS Engineers**

Guadalajara, Jalisco
26 de marzo de 2009

¿Por Que un Modelo de Biogás de México?

- Estimación de la generación y recuperación en proyectos de biogás
 - Herramienta de evaluación para el desarrollo de proyectos
 - Base para el análisis de la factibilidad de proyectos

- Otros modelos
 - Modelos para estimaciones de biogás de U.S. EPA (LandGEM)
 - Versión previa del Modelo Mexicano de Biogás (2003)
 - Modelo del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC 2006)



Biogás, Generación y Recuperación de Metano

- La generación de biogás debido a la descomposición anaeróbica de residuos esta en función de:
 - Índices de disposición de residuos
 - Composición de los residuos (% de orgánicos secos)
 - Humedad (precipitación)
 - Profundidad y compactación de residuos, cobertura, etc.

- La recuperación de biogás es determinada por la generación de biogás y la eficiencia de captura – función de:
 - Diseño del sistema de captura
 - Operación y mantenimiento del sistema de captura
 - Configuración y operación del relleno sanitario



U.S. EPA LANDGEM

- Modelo de degradación de primer orden que utiliza las siguientes variables:
 - Índices de disposición de residuos - M_i (Mg/año)
 - Generación potencial de metano – L_0 (m^3/Mg)
 - Índice de generación de metano – k (1/año)

- Limitaciones del modelo LandGEM:
 - Asume composición de residuos de Estados Unidos
 - La composición de los residuos en México es diferente – Contenido mas alto de residuos alimenticios
 - Solo provee valores de k para clima “húmedo” y “seco”
 - Índices de degradación varían continuamente con la precipitación
 - La estructura del modelo (valores únicos de L_0 y k que no cambian con el tiempo)



Modelo Mexicano de Biogás 2003

- Presentado en diciembre de 2003
 - Se publicó una hoja de cálculo y el manual del usuario en un taller
 - El manual provee instrucciones en el uso del modelo y la estimación de la eficiencia de captura

- El Modelo usa una estructura del LandGEM modificada
 - Composición de residuos de 31 ciudades
 - Datos de recuperación del proyecto de SIMEPRODESO para Monterrey (precipitación ~ 600 mm/año)
 - Variación del valor de k con la precipitación basado en la experiencia con Estados Unidos

Limitaciones del Modelo Mexicano de Biogás

- Modelo asume composición de residuos promedio para todo México
- Modelo utiliza la ecuación LandGEM con una sola k:
 - No toma en cuenta los efectos del alto contenido de residuos de comida.
 - Las tendencias del modelo con una sola k son::
 - Sobre estima generación en climas húmedos
 - Subestima generación en climas secos
- Valores de k están basados en información limitada
- Usa una versión desactualizada de LandGEM
- Modelo no incluye proyecciones de CERs
- Requiere que el usuario alimente datos detallados y evalúe la eficiencia de captura



Modelo IPCC (2006)

- Modelo de degradación de primer orden
- Usa 4 categorías de residuos
- Usa 4 categorías de climas
- El PDD para proyectos MDL requiere el uso de un modelo de múltiples fases de degradación de primer orden con las variables de IPCC
- Incluye un factor de corrección de metano (MCF)
- Incluye un calculo de oxidación



Limitaciones del Modelo IPCC

- **Modelo no está diseñado específicamente para México**
 - Usa valores de composición para todo México basado en información limitada

- **4 categorías de climas, pero solo 2 regímenes de precipitación**
 - La transición de clima Húmedo vs. seco es 1000 mm/ año
 - Muchas áreas de México están arriba o abajo de esta precipitación
 - 2 regímenes de precipitación demasiado bastos para capturar los efectos de los valores de k
 - La información de EEUU muestra variación continua de k con precipitación
 - La temperatura no tiene efectos significativos

- **La relación de los índices de degradación de comida vs. madera son muy bajos**
 - Relación es aproximadamente 3 a 1 en climas secos



Desarrollo del Nuevo Modelo Mexicano de Biogás

- **Se construyo en base a la versión 2003**
 - Datos de composición comprende 40 vs. 31 ciudades
- **Refleja condiciones locales**
 - Refleja los climas de todas las regiones de México
 - Asigna composición de residuos para cada estado.
- **Adopta una estructura que toma en cuenta las condiciones de México**
 - Usa 4 valores de k como lo hace el Modelo IPCC
 - Incluye ajustes que toman en cuenta las condiciones del sitio
- **Usa información de sitios con proyectos en operación**
 - El Modelo se puede probar comparando las proyecciones del modelo con recuperación actual.
- **Permite su funcionamiento con alimentación de información básica**
 - La disposición de residuos y la eficiencia de captura es calculada en base con la información alimentada.



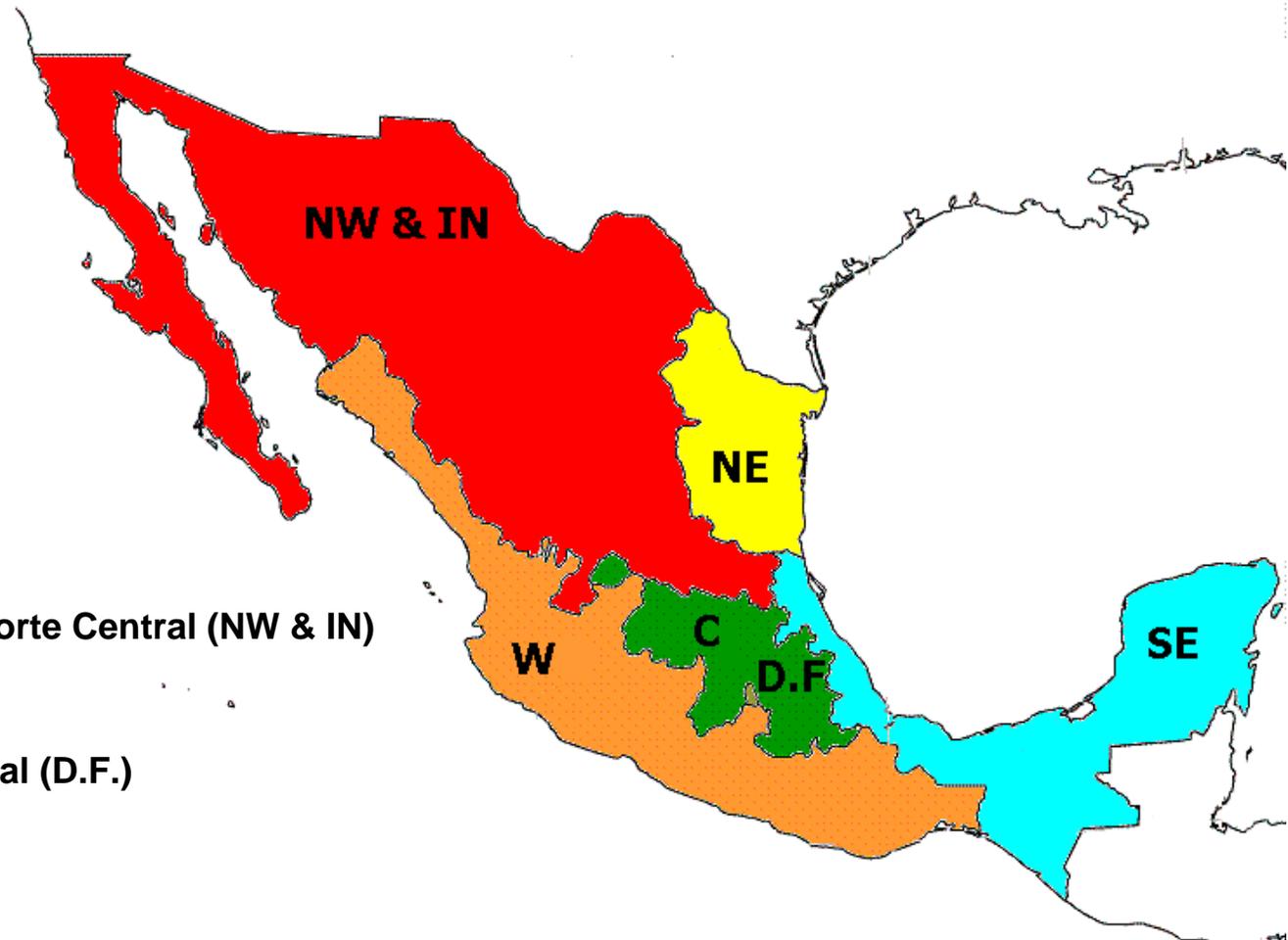
Desarrollo – Fase 1: Composición de Residuos y Datos de Clima

- Recopilación de datos de composición de residuos
 - La base de datos se expandió a 40 ciudades
 - Los datos representan 18 Estados y el Distrito Federal
 - Se calculó una composición promedio para cada estado
 - Estados sin información utilizan el promedio regional

- Divide a México en 6 regiones (5 zonas climáticas)
 - Evalúa climas en todos los estados
 - Se recolectó precipitación promedio anual de cada una de las ciudades principales de cada estado
 - Se estimaron promedios por estado ponderando el clima de cada ciudad con la población correspondiente.
 - Se agruparon estados en zonas climáticas
 - Las áreas con características fuera de la zona climática del estado se trataron independientemente o se ubicaron en la zona que mas se ajustaba al clima



Regiones Climatológicas

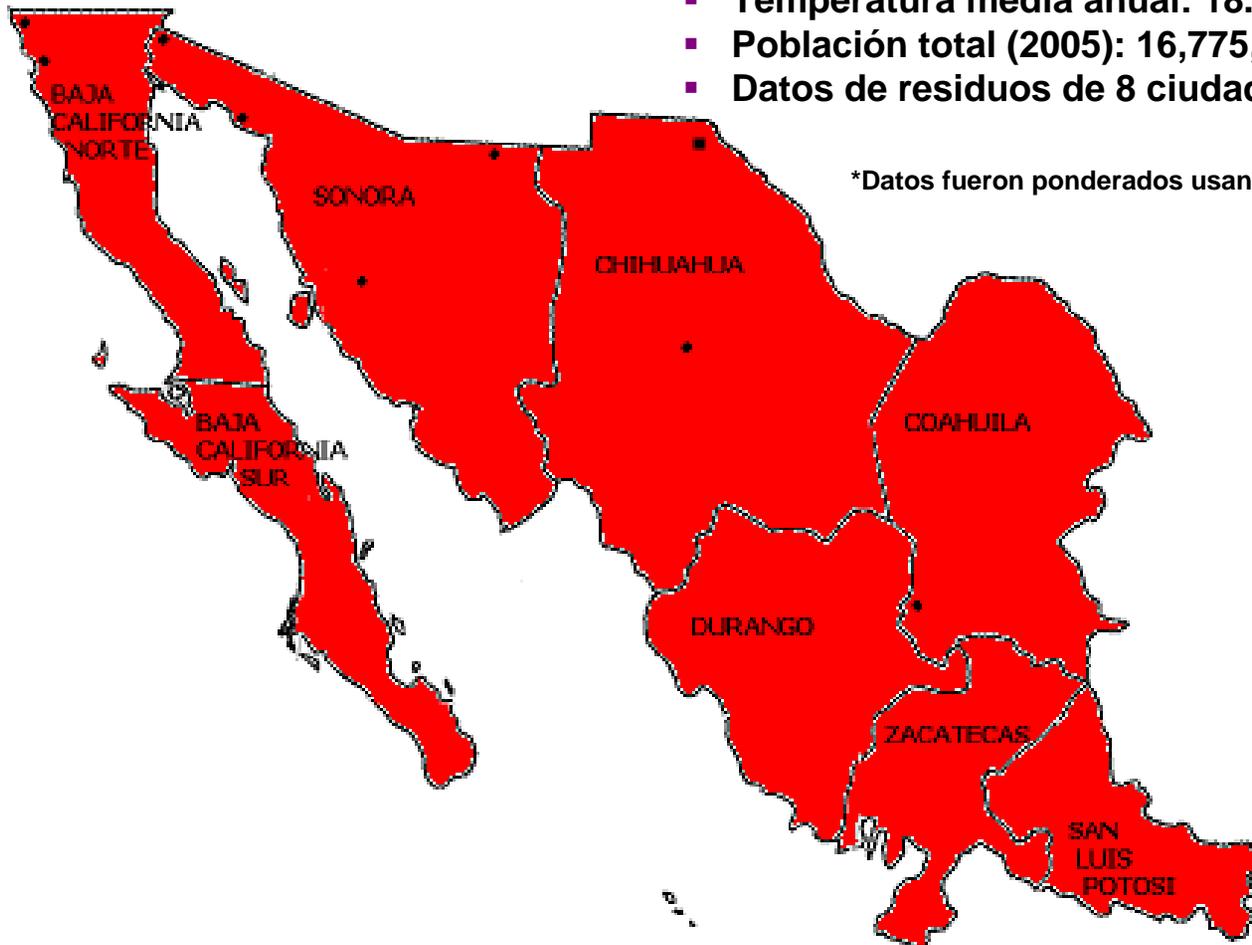


1. Noroeste & Norte Central (NW & IN)
2. Noreste (NE)
3. Centro (C)
4. Distrito Federal (D.F.)
5. Oeste (W)
6. Sureste (SE)



NOROESTE & NORTE CENTRAL: Clima Muy Seco, Moderadamente Cálido

- Precipitación anual promedio: 306 mm/año*
- Temperatura media anual: 18.6° C*
- Población total (2005): 16,775,360
- Datos de residuos de 8 ciudades



*Datos fueron ponderados usando la población



NORESTE: Clima Moderadamente Seco y Muy Cálido

- Precipitación anual promedio: 613 mm/año*
- Temperatura media anual: 22.3°C*
- Población total (2005): 6,482,890
- Datos de residuos de 8 ciudades

*Datos fueron ponderados usando la población



Nota: Área metropolitana de Tampico en el sureste de Tamaulipas se ubico en la región sureste con clima muy húmedo y cálido



CENTRO: Clima Moderadamente Seco y Templado

AGUASCALIENTES

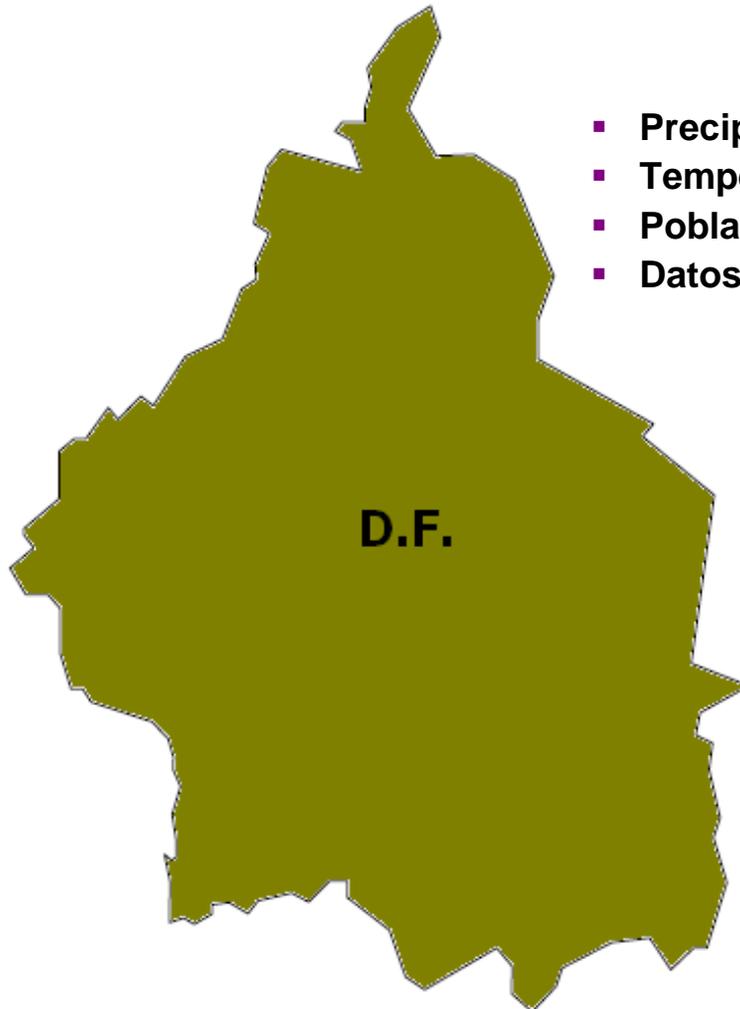


- Precipitación anual promedio: 664 mm/año*
- Temperatura media anual: 16.6°C*
- Población total (2005): 30,901,720
- Datos de residuos de 6 ciudades

*Datos fueron ponderados usando la población



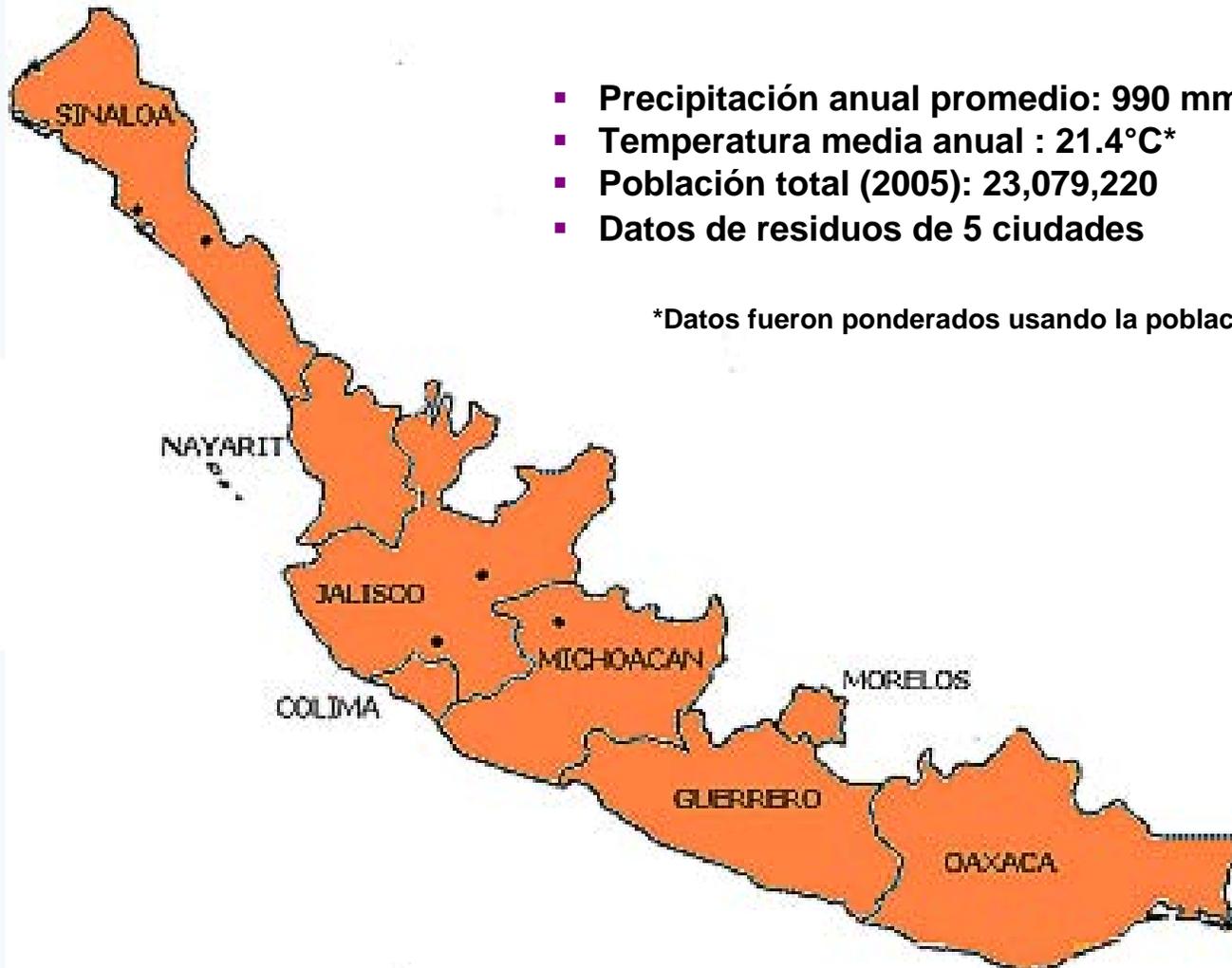
DISTRITO FEDERAL: Clima Moderadamente Seco y Templado



- Precipitación anual promedio: 635 mm/año
- Temperatura media anual: 16.6°C
- Población total (2005): 8,720,916
- Datos de residuos de 3 Rellenos Sanitarios



OESTE: Clima Moderadamente Húmedo y Cálido



- Precipitación anual promedio: 990 mm/año*
- Temperatura media anual : 21.4°C*
- Población total (2005): 23,079,220
- Datos de residuos de 5 ciudades

*Datos fueron ponderados usando la población

SURESTE: Clima Muy Humedo y Muy Cálido

- Precipitación anual promedio: 1,532 mm/año*
- Temperatura media anual : 24.1°C*
- Población total (2005): 17,843,270





Desarrollo – Fase 2 Información de Sistemas en Operación

- **Se identificaron los sitios con sistemas en operación**
 1. Relleno Sanitario de Mérida
 2. Relleno Sanitario San Nicolás en Aguascalientes
 3. Relleno Sanitario de Ciudad Juárez
 4. Relleno Sanitario de Simeprodeso en Monterrey
- **Se realizaron visitas de campo para evaluar los proyectos**
 - Se estimó la cantidad de residuos bajo las áreas donde se instaló el sistema
 - Se obtuvo información de flujo de biogás y % de metano
 - Se obtuvieron planos de construcción
- **Evaluación de la información para probar el modelo**
 - Cd. Juárez: los datos fueron adecuados para estimar la eficiencia de captura – fue adecuado para probar y ajustar el modelo
 - Otros 3 sitios: La eficiencia de captura fue menos cierta – Los datos se usaron para hacer la revisión del modelo pero no para ajustarlo



Visita al Proyecto de Mérida



Relleno Sanitario de Mérida

- Propietario: Municipio de Mérida
- Operador: SETASA
- Años de operación: Nov. 1997–2010
- Capacidad: 2,595,000 ton
- Residuos Dispuestos: 2,329,200 ton (2008)
- Proyecto de Biogás: ProActiva
- Recuperación de biogás promedio (Jul-Oct 2008):
213 nm³/hr@31% CH₄ (131 m³/hr@50% CH₄)
- Sistema instalado en Celdas 1-4
 - Celdas 1-4 ~1.04 millones Mg (1997-2003)
 - La eficiencia de captura estimada <30%

Visita al Proyecto de Aguascalientes





Relleno Sanitario San Nicolás

- Propietario y Operador: Municipio de Aguascalientes
- Años de Operación: 1999–2010
- Capacidad: 3,780,600 ton
- Residuos Dispuestos: 3,253,700 ton (2008)
- Proyecto de Biogás: EcoMethane
- Recuperación de biogás promedio (Ene-Ago): 896 nm³/hr ajustado a 50% CH₄ (basado en 5,222,572 tCO₂e – Reporte de Monitoreo)
- Sistema instalado en Celdas 1-3
 - Celdas 1-3 recibieron residuos 1999-2006
 - La eficiencia de captura estimada ~50%



Visita al Proyecto de Cd. Juárez



Relleño Sanitario de Cd. Juárez

- Propietario: Municipio de Cd. Juárez
- Operador: PASA
- Años de Operación: 1998 – 2010
- Capacidad: 5,587,600 ton
- Residuos Dispuestos: 4,666,400 ton (2008)
- Proyecto de Biogás: Biogás de Juárez, S.A. de C.V.
- Recuperación de biogás promedio (Ene-Sep):
1,117 nm³/hr@40% CH₄ (=899 m³/hr@50% CH₄)
- Sistema instalado en Celda 1
 - Celda 1 recibió ~2.25 millón Mg
 - La eficiencia de captura estimada ~65%



Visita al Relleno Sanitario de Monterrey



Relleno Sanitario de SIMEPRODESO

- Se visitó durante la reunión de M2M (Enero 2009)
- Propietario y Operador: SIMEPRODESO
- Proyecto de Biogás: Bioenergía de Nuevo León, S.A. de C.V.
- Recuperación de biogás promedio: 6,179 nm³/hr ajustado a 50% CH₄
- El Sistema esta instalado en Celdas 1 y 2
 - Celdas 1 & 2 recibieron ~13.6 millones Mg (1991--2003)
 - El sistema solo provee cobertura parcial a la celda 2
 - La eficiencia de captura es algo incierta debido a la cobertura parcial y a falta de registros de disposición en las aéreas con pozos de extracción.



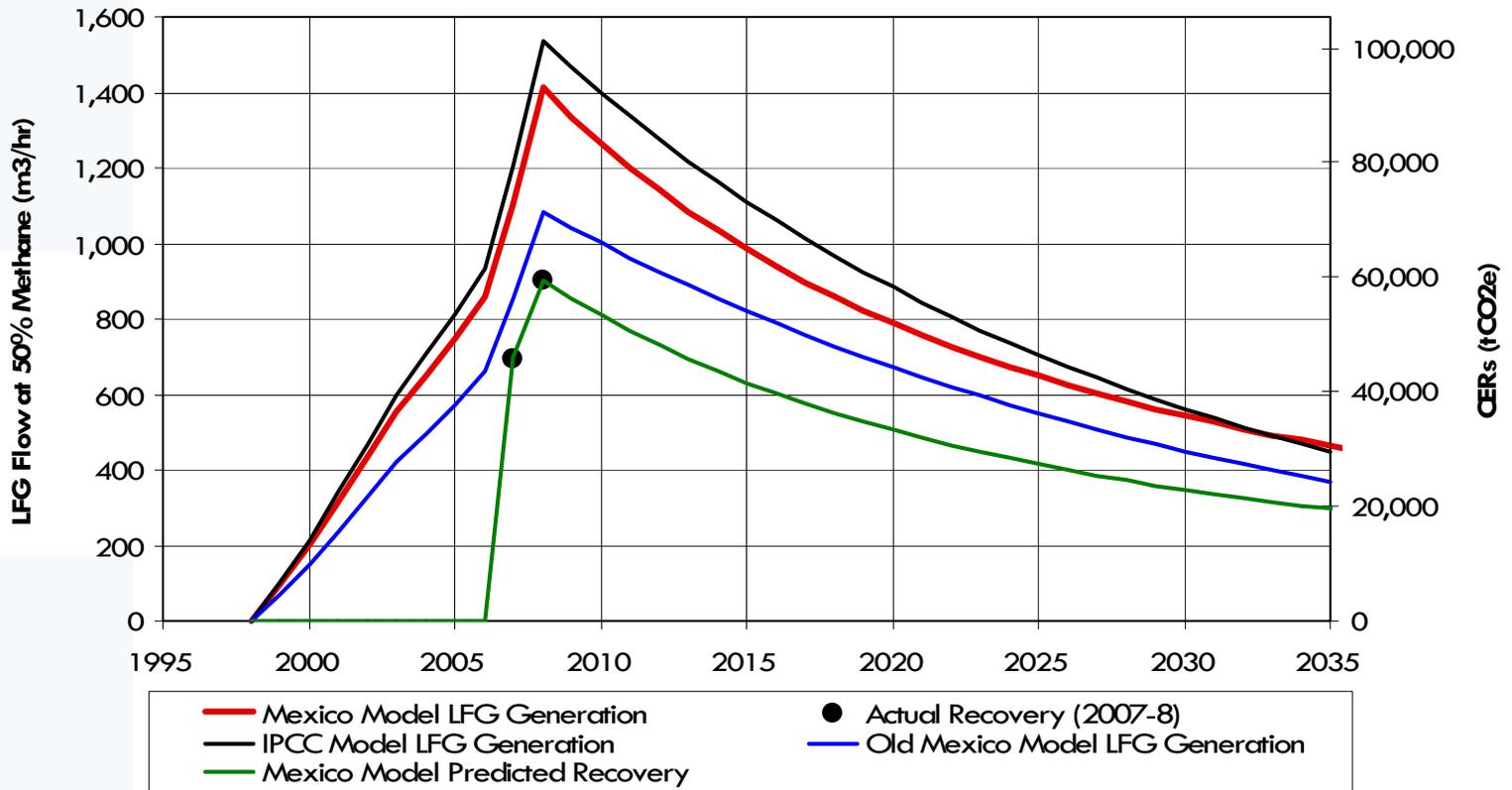
Desarrollo – Fase 3: Desarrollo y Prueba

- **Se inicio con la estructura del Modelo IPCC (4 valores de k y Lo)**
- **Se calcularon los valores de Lo para cada grupo de residuos orgánicos**
 - Lo esta en función del % orgánico (peso seco)
 - Los valores son consistentes en todas las regiones climatológicas excepto por los residuos de poda (difieren de acuerdo con el % de humedad)
- **Se estimaron los valores de k para 4 grupos de residuos y 5 regiones climáticas**
 - Se asignaron los valores de k para México, basándose en los valores de IPCC para climas húmedos tropicales con un ~25% de descuento
 - Se asignaron valores de k para otros climas basándose en la disminución en precipitación (no en base a IPCC)
- **Se corrieron los modelos para los 4 sitios con información de flujo**
 - La eficiencia de captura calculada por el modelo correspondía con la información?
- **Desarrollo de la hoja de calculo para uso público**
 - Alimentación del usuario, cálculos automáticos, tabulación y gráfica de resultados



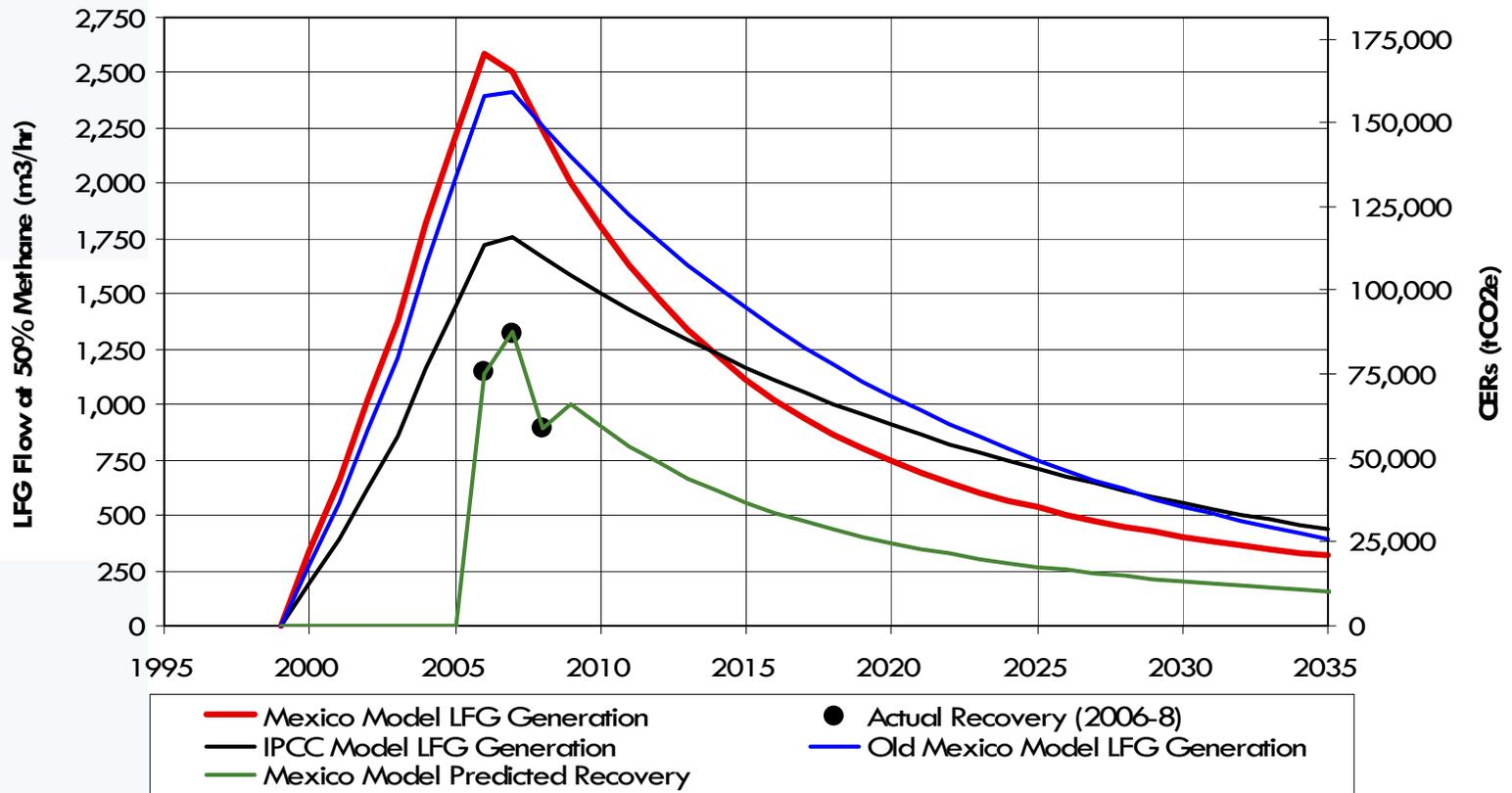
Modelo del Proyecto de Cd. Juarez

LFG Generation and Recovery Projection
Ciudad Juarez Phase 1, Ciudad Juarez, Mexico



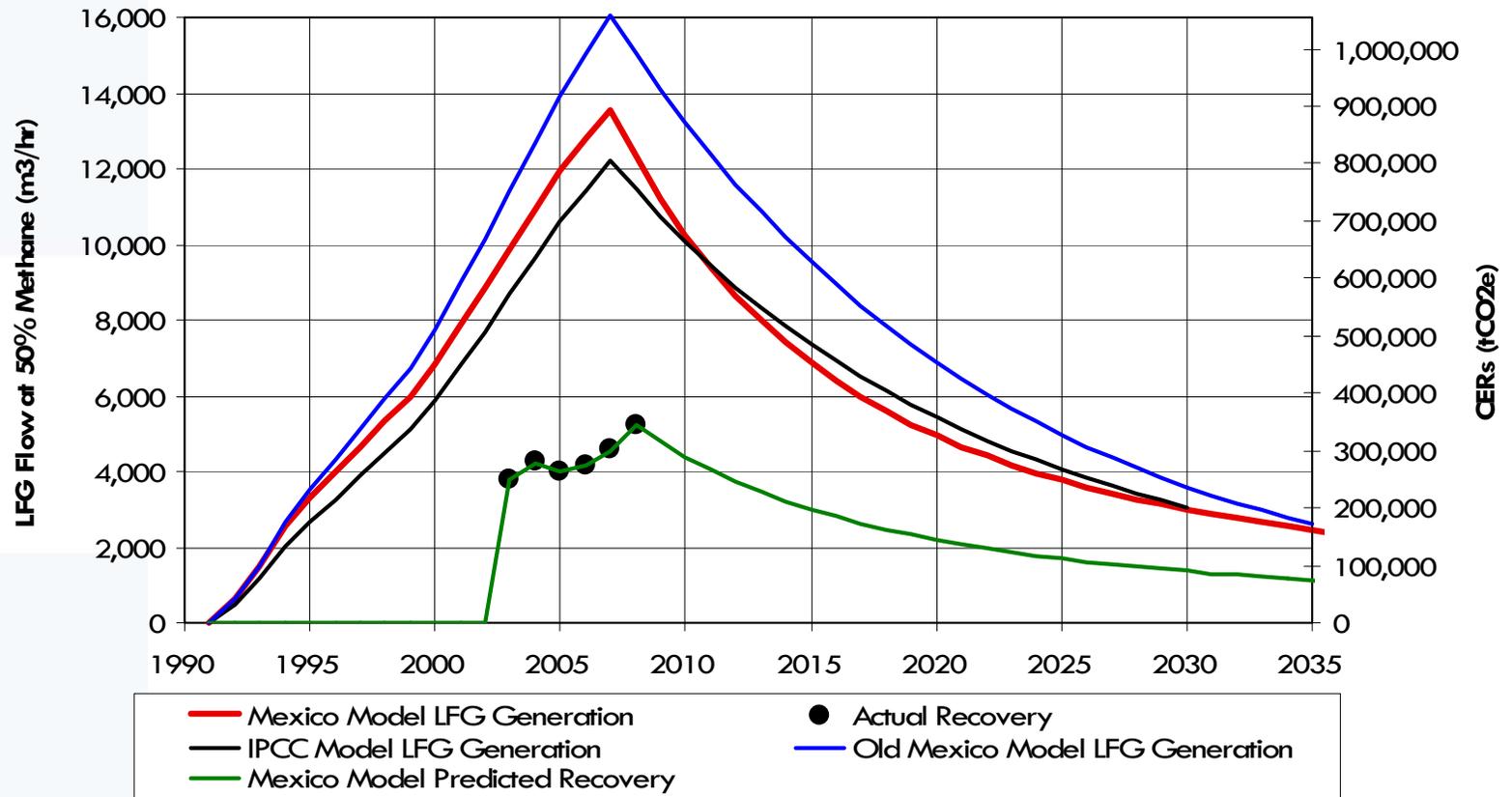
Modelo del Proyecto de Aguascalientes

LFG Generation and Recovery Projection
San Nicolas Landfill Cells 1-3, Aguascalientes, Mexico



Modelo del Proyecto de SIMEPRODESO

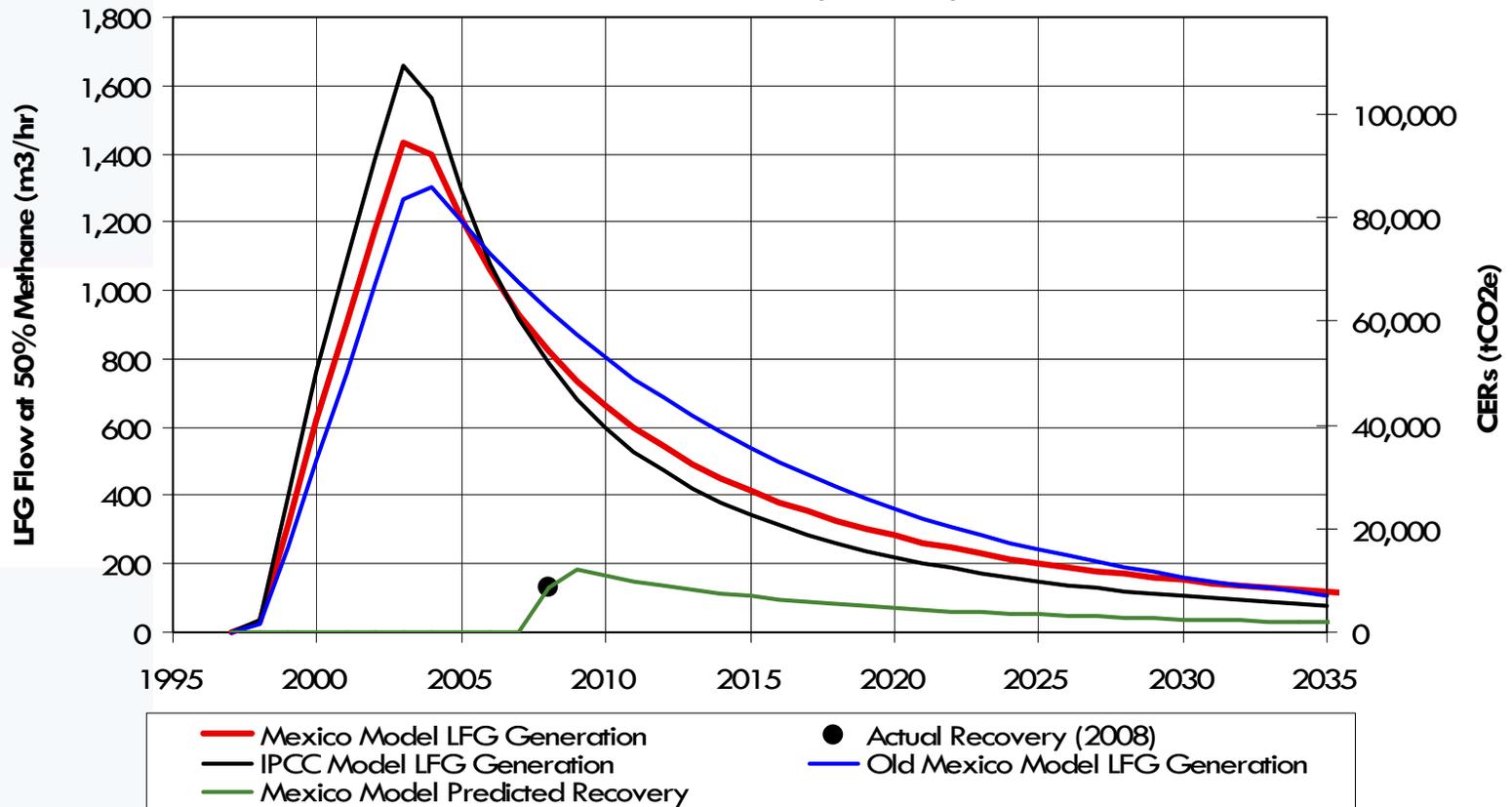
LFG Generation and Recovery Projection
Phases 1&2, Simeprodeso Landfill, Monterrey, Mexico





Relleño Sanitario de Mérida

LFG Generation and Recovery Projection
Merida Landfill Cells 1-4, Merida, Mexico



Valores de k & Lo

Categoría de Residuo	1		2		3		4		5	
	Sureste		Oeste		Centro/Interior		Noreste		Noreste & Interior Norte	
Grupo de Residuos	k	Lo	k	Lo	k	Lo	k	Lo	k	Lo
Comida y otros orgánicos	0.300	69	0.220	69	0.160	69	0.150	69	0.100	69
Poda y papel higiénico	0.130	115	0.100	126	0.075	138	0.070	138	0.050	149
Papel y textiles	0.050	214	0.040	214	0.032	214	0.030	214	0.020	214
Madera, caucho, piel, paja	0.025	202	0.020	202	0.016	202	0.015	202	0.010	202

Resumen del Modelo Mexicano de Biogás

- **Alimentación**
 - El usuario responderá a una serie de preguntas sobre el sitio en cuestión
 - El modelo calcula automáticamente los valores de índices de disposición, k, Lo, MCF, ajuste de incendio, y eficiencia de captura
- **Disposición y Recuperación de Biogás**
 - Muestra la disposición anual y los estimados de eficiencia de captura calculados por el Modelo
 - Permite que el usuario alimente información de disposición, eficiencia de captura, recuperación actual de biogás y línea base de la recuperación de biogás
- **Caracterización de Residuos**
 - Muestra los valores de caracterización de residuos para cada estado.
 - Permite que el usuario alimente información específica del sitio
- **Resultados-Tabla**
 - Muestra los resultados en forma de tabulación
- **Resultado-Gráfica**
 - Muestra los resultados en forma gráfica

Taller de Capacitación Modelo Mexicano de Biogás

- La Hoja de Cálculo contiene instrucciones detalladas
- Se proveen instrucciones en la alimentación y los resultados
 - Cálculos automáticos de índices de disposición y eficiencia de captura
 - Datos de composición de residuos automatizados
 - Se pueden usar datos específicos del sitio si estos están disponibles
- Se practicará en 3 ejemplos diferentes
- El modelo y manual del usuario estará disponible en las paginas Web de LMOP y M2M



Para más Información

- Jose Luis Davila
 - SCS Engineers (602) 840-2596
 - jdavila@scsengineers.com
- Alex Stege
 - SCS Engineers (602) 840-2596
 - astege@scsengineers.com
- Victoria Ludwig
 - Victoria.Ludwig@epamail.epa.gov
- LMOP: www.epa.gov/lmop/index.htm
- M2M: www.methanetomarkets.org