

# Aportación de gases de efecto invernadero por el manejo de residuos sólidos en México: el caso del metano

GUSTAVO SOLÓRZANO OCHOA



## INTRODUCCIÓN

El incremento en la temperatura global del planeta es un hecho que se ha registrado de manera sistemática a partir del siglo XIX. Hasta hace poco no había elementos suficientes para establecer de forma categórica que la actividad humana tenía influencia en este fenómeno, si bien existían opiniones que se pronunciaban en este sentido. Sin embargo, el Tercer Reporte de Eva-

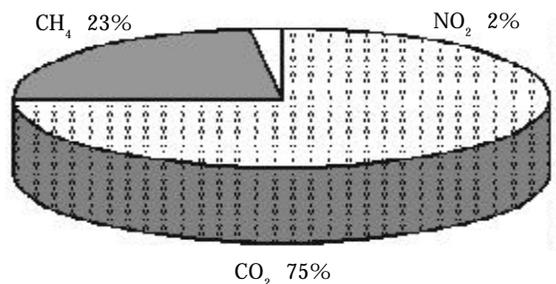
luación del IPCC (IPCC 2001) aportó parte de los elementos que hacían falta para establecer los nexos entre el calentamiento global y la actividad humana. De forma complementaria se elaboró el Protocolo de Kioto, inscrito en el Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, aprobado en Nueva York el 9 de mayo de 1992. Los países signatarios de

este Convenio, entre ellos México, tienen el compromiso de elaborar inventarios y reducir las emisiones de determinados gases de efecto invernadero (GEI), responsables del calentamiento del planeta.

Los GEI que se establecieron en el protocolo de Kioto son: dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ),<sup>1</sup> óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre ( $\text{SF}_6$ ). Aunque el principal contribuyente individual es el  $\text{CO}_2$ , se ha encontrado que el  $\text{CH}_4$  puede ser 21 veces más potente que el  $\text{CO}_2$  como “*atrapador de calor*” (Krugger 2000).

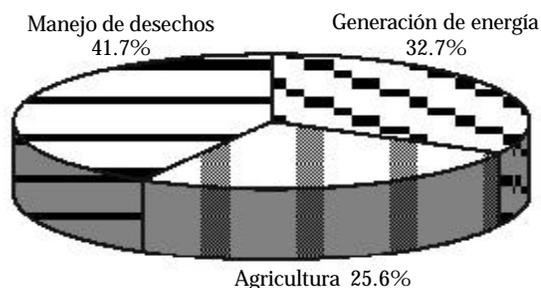
La figura 1 muestra las emisiones de GEI de acuerdo con la *Segunda Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, 2001* (SEMARNAT-INE 2001). En el caso particular del  $\text{CH}_4$  se observa que la participación del gas equivale al 23% de las emisiones de GEI en nuestro país. Uno de los sectores generadores de este gas es el referido al manejo de desechos urbanos e industriales (deposición de desechos sólidos y tratamiento de aguas residuales), que contribuyó en 1998 con 3,362.788 Gg, equivalente al 41% del total de emisiones de  $\text{CH}_4$  (figura 2). De manera individual, el manejo de residuos sólidos municipales (RSM), contribuye en México con cerca del 25% de las aportaciones de  $\text{CH}_4$ .

FIGURA 1. COMPOSICIÓN DE LAS APORTACIONES DE GEI EN MÉXICO



Fuente: SEMARNAT-INE 2001: 12.

FIGURA 2. COMPOSICIÓN DE LAS APORTACIONES DE  $\text{CH}_4$  EN MÉXICO



Fuente: La misma de la gráfica anterior.

En este trabajo se generan diversos indicadores que permiten evaluar la importancia de la aportación de  $\text{CH}_4$  en sitios de disposición final de los RSM en México y en otros países y se discuten posibles soluciones para reducir las emisiones de dicho gas.

#### ANTECEDENTES

El mencionado Tercer Reporte de Evaluación del IPCC (IPCC 2001) ha destacado una serie de hechos, ocasionados en gran parte por las actividades antropogénicas, entre los que sobresalen los siguientes:

- La temperatura promedio global de la superficie terrestre se ha incrementado desde 1861, año en que se iniciaron los registros instrumentales, en  $0.6 \pm 0.2$  °C para el siglo XX. De entonces a la fecha, a escala global se ha identificado a la década de 1990 como la más caliente y a 1998 como el año más cálido.
- Los registros de mareas muestran que el promedio global del nivel del mar se elevó entre 0.1 y 0.2 metros en el siglo XX, incrementándose en forma simultánea el contenido calórico de los océanos.
- Las cubiertas de nieve y hielo han disminuido en forma tal, que en el hemisferio norte se ha detec-

tado una disminución de 10% a 15% en la temporada primavera-verano desde la década de 1950.

En paralelo a los registros anteriores, se han efectuado mediciones de las concentraciones de los GEI, estableciéndose que se han incrementado como resultado de las actividades humanas. Así, la concentración atmosférica de CO<sub>2</sub> ha aumentado 31% desde 1750, al igual que la de CH<sub>4</sub> que registra un incremento de 1,060 ppb (151%) en este mismo periodo y continúa aumentando. Para ambos la concentración actual es la más alta registrada en los últimos 420,000 años. Asimismo, se estima que poco más del 50% de las actuales emisiones tienen origen antropogénico.

Así, la confiabilidad de los modelos para estimar la generación de GEI desarrollados por el IPCC utilizados por expertos, ha permitido establecer que «*hay nueva y más fuerte evidencia de que la mayor parte del calentamiento observado en los últimos 50 años es atribuible a actividades humanas*» (IPCC 2001). Por otra parte, todos los escenarios futuros considerados por dicha instancia prevén un incremento en la temperatura global promedio, así como en el nivel del mar. En efecto, en la proyección de la temperatura superficial promedio se calcula un aumento de 1.4 a 5.8 °C para el periodo 1990-2100. También se espera que el nivel global medio del mar se eleve en un rango de nueve a 88 centímetros durante el mismo lapso; por su parte, los glaciares y cubiertas de hielo continuarán reduciéndose en el siglo XXI.

A partir de los anteriores resultados del Tercer Reporte del IPCC, se pueden asentar las siguientes premisas:



1. El calentamiento global es un hecho documentado científicamente.
2. Este calentamiento se debe en gran parte a actividades antropogénicas, especialmente las que se han registrado durante los últimos 50 años.
3. El CH<sub>4</sub>, gas de efecto invernadero, se produce en los sitios de disposición de residuos sólidos municipales, trátase de un relleno sanitario o un vertedero a cielo abierto.

Para efectos del presente trabajo, la tercera premisa resulta de particular importancia. En función de lo anterior, se buscará establecer cuál es la importancia de la generación de CH<sub>4</sub> en México por concepto del manejo de los RSM, estableciendo para ello una comparación con las cifras disponibles de otros países.

#### **INDICADORES DE GENERACIÓN DE METANO**

La *Segunda Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, 2001* (SEMARNAT-INE, 2001: 12) señala: “*En México las emisiones de metano provenientes de los desechos domésticos e industriales fueron de 3,363 Gg, (70,619 Gg en equivalentes de CO<sub>2</sub>) durante 1998*”, de

los cuales 1,981 Gg corresponden a emisiones de CH<sub>4</sub> provenientes de los desechos sólidos en rellenos sanitarios y, en un sentido más amplio, de los sitios de disposición final de RSM. Sin embargo, en este informe no se establece si la cifra es elevada o reducida, si es un valor normal equiparable a países en condiciones económicas similares a nuestro país, es decir, no se realiza una discusión o análisis del resultado. Con objeto de generar información adicional en este rubro, en el presente trabajo se elabora un análisis comparativo del valor antes mencionado, obteniendo las cifras de generación de CH<sub>4</sub> para diferentes países tanto desarrollados como economías emergentes y se establecen los siguientes indicadores o índices para facilitar la tarea comparativa:

- Generación de CH<sub>4</sub> por RSM.
- Contribución de los RSM en el total de CH<sub>4</sub> generado por país.

- Generación de CH<sub>4</sub> por tonelada de RSM.
- Generación de CH<sub>4</sub> per cápita.

Originalmente, se había establecido un indicador adicional correspondiente a la relación entre la generación de CH<sub>4</sub> por PIB per cápita. Sin embargo, este parámetro ha variado significativamente en los últimos meses en algunos de los países seleccionados por lo que se omite en este trabajo.

La información disponible se revisó para cada país conforme al inventario nacional de gases de efecto invernadero. En el cuadro 1 se presentan los datos referentes a la generación de CH<sub>4</sub> así como los datos estadísticos de población y generación de RSM en ocho países, incluyendo México.

Utilizando los indicadores que aparecen en el cuadro 1 y combinando algunos de ellos entre sí se elaboraron las figuras 3, 4, 5 y 6, las cuales arrojan información que se analiza en este trabajo.

CUADRO 1. INDICADORES RELATIVOS A CADA PAÍS

PAÍS	POBLACIÓN (10 <sup>6</sup> HAB.)	GENERACIÓN RSM (TON/DÍA)	GENERACIÓN CH <sub>4</sub> (Gg)	FUENTES
Alemania	83.03	117,808	1,900	FCCC, 1999: 3, EPA 2001:15.
Argentina	37.03	25,000	573	Argentine Republic 1999: 1, CEPAL 2002: 2.
Brasil	169.06	125,281	677	Ministério da Ciencia e Tecnologia do Brasil s/f: 9, CEPAL 2002: 2.
Chile	15.21	16,265	74	National Environmental Commission, 1999: 9, CEPAL 2002: 2.
EE.UU.	280.00	607,397	7,820	EPA 2000: 14, 2001: 15.
Japón	126.87	136,986	387	FCCC, 2000: 4.
México	98.86	86,300	1,981	SEMARNAT-INE 2001: 12, CEPAL 2002: 2.
Uruguay	3.33	2,520	28.5	CEPAL 2002: 2, INGEI 1998: 5.

FIGURA 3. GENERACIÓN TOTAL DE CH<sub>4</sub> POR PAÍS

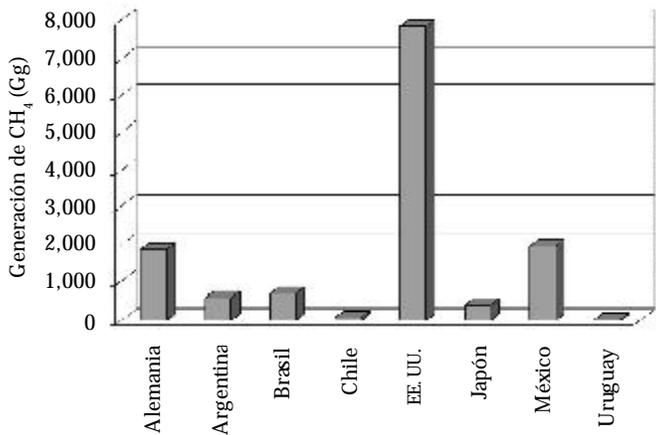


FIGURA 5. APORTACIÓN DE CH<sub>4</sub> POR TONELADA DE RSM

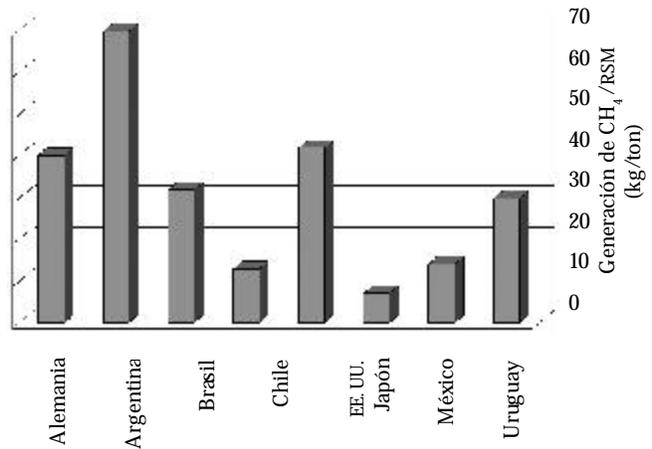


FIGURA 4. GENERACIÓN DE CH<sub>4</sub> POR EL MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES

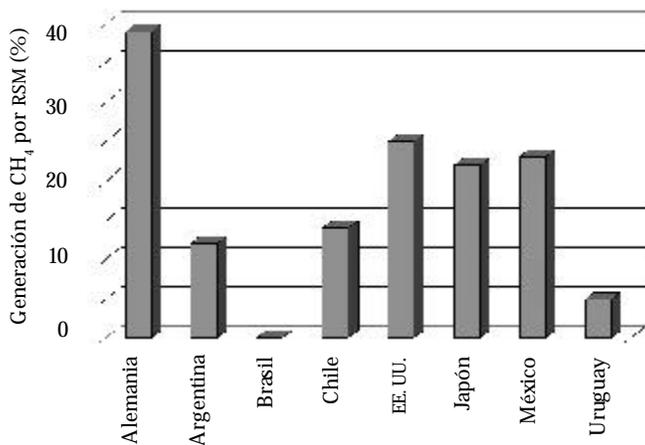
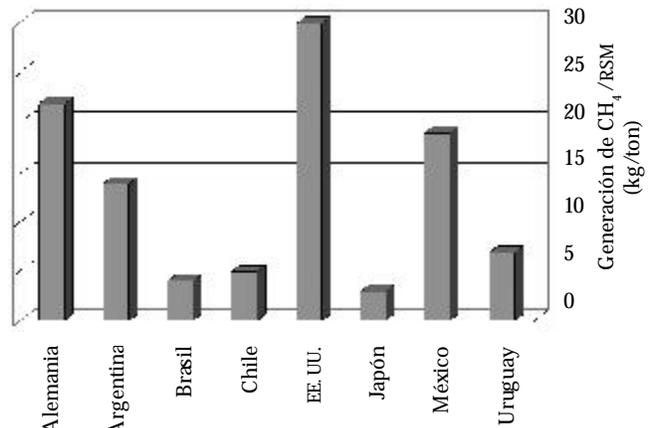


FIGURA 6. GENERACIÓN DE CH<sub>4</sub> POR HABITANTE



## DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

### GENERACIÓN DE CH<sub>4</sub> POR MANEJO DE RSM

Al igual que otros índices obtenidos en este trabajo, la mayor generación absoluta de CH<sub>4</sub> se ubica en los EE.UU.; con un valor de 7,820 Gg, y la menor en Uruguay, con cerca de 29 Gg.

Estos resultados parecen razonables considerando el tamaño de la población y la generación de RSM de ambas naciones, ya que los EE.UU.; tienen una población significativa que genera una gran cantidad de RSM y por su parte, Uruguay es el país menos poblado de los que se analizan en este trabajo. Sin embargo, los resultados para el resto de los países no se ajustan a este comportamiento de manera homogé-

nea, ya que sería de esperar que nuestro país presentara un valor menor en la generación de  $\text{CH}_4$  que Japón y Brasil, considerando el tamaño de sus poblaciones en estos tres países. Sin embargo, México genera un volumen de  $\text{CH}_4$  significativamente superior al de aquellos, casi igual al de Alemania para ubicarse en segundo lugar después de los EE.UU., situación atípica desde el punto de vista mencionado. Por su parte Brasil, teniendo una población cuatro veces superior a la de Argentina presenta emisiones apenas 18% mayores a las de este país. Se observa, pues, un patrón irregular en este parámetro sin que existan razones aparentes para ello (figura 3).

#### CONTRIBUCIÓN DE LOS RSM EN EL TOTAL DE $\text{CH}_4$ GENERADO POR PAÍS

Con excepción de Brasil, para el cual no existe información precisa disponible en las fuentes consultadas, en el resto de los países se pudo calcular la contribución de las emisiones de  $\text{CH}_4$  como consecuencia del manejo de residuos sólidos en relación con el total de emisiones del gas en cada país. El mayor valor obtenido corresponde a Alemania con 40%, seguido por los EE.UU. con 28%, Japón y México con 25%. Esta condición nos ubica más cerca de los países desarrollados que de nuestros similares como Chile y Argentina (14%), lo que sugiere que en los países desarrollados la emisión de  $\text{CH}_4$  por manejo de RSM tiene una importancia significativa en el valor total de emisiones de este gas. De acuerdo con lo anterior, en las economías emergentes esta tendencia es inversa, con excepción del caso de México (figura 4).

Por otra parte, existen características particulares de cada país que pueden influir en este punto. Por ejemplo, en los casos de Argentina y Uruguay, la actividad ganadera es de suma importancia y la fermentación entérica, característica del ganado bovino puede ocasionar que la aportación de los RSM al valor total de emisiones de  $\text{CH}_4$  no resulte significativo;

situación que se ve favorece por la baja población en esos países.

#### GENERACIÓN DE $\text{CH}_4$ POR TONELADA DE RSM

En la evaluación de este parámetro, Argentina obtuvo el valor más elevado (70 kg  $\text{CH}_4$ /ton RSM), mientras que a Japón le correspondió el valor más bajo (6.8 kg  $\text{CH}_4$ /ton RSM). El  $\text{CH}_4$  se genera durante la degradación anaerobia de la materia orgánica, por lo que puede suponerse que un alto contenido de ella en los RSM da como consecuencia una alta producción de  $\text{CH}_4$  en los sitios de disposición final, a menos que ésta sea desviada a otro tipo de tratamiento. Es común encontrar que los RSM de países con economías emergentes contienen altos valores de materia orgánica, mientras que en los de países industrializados pueden encontrarse mayores proporciones de materiales no biodegradables. En este sentido, los valores obtenidos en este ejercicio no son totalmente congruentes con los dos criterios anteriores (figura 5), especialmente los correspondientes a EE.UU. y Alemania, que resultan contradictorios bajo el criterio mencionado, al igual que los valores obtenidos para Chile y México.

#### GENERACIÓN DE $\text{CH}_4$ PER CÁPITA

El valor más alto para este índice lo obtuvieron los EE.UU. (28 kg/hab.) y el más bajo Japón (3 kg/hab.). Lo anterior indica que Japón se acerca así al grupo de países en desarrollo, distinguiéndose de EE.UU. y Alemania, países que junto con México, presentan el mayor índice de generación per cápita. El bajo valor obtenido para Japón se explica por sus reducidas emisiones totales, en conjunción con una relativamente elevada población. Por su parte, Argentina, Chile, Brasil y Uruguay presentan valores bajos, mostrando con ello un patrón homogéneo de acuerdo con sus características económicas (figura 6).

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En general, se observa que el comportamiento de los indicadores considerados para los diferentes países incluidos en este estudio no sigue en todos los casos un patrón regular, incluso en cuanto a países con características comunes. Una explicación de este comportamiento puede radicar en el hecho de que la degradación de la materia orgánica de los RSM es un proceso biológico difícil de evaluar, debido a la heterogeneidad de los residuos y a la diferencia en las condiciones de los sitios de disposición.

Por otra parte, es frecuente que en los países emergentes se carezca de información actualizada y confiable, ya que una porción importante de los RSM se dispone en tiraderos a cielo abierto. En consecuencia, es probable que en lugar de valores locales se hayan utilizado los valores por “*default*” incluidos en la metodología propuesta por el IPCC (IPCC 1996), pero que en la realidad varían de una nación a otra.

Si bien en todos los países se genera un volumen determinado de  $\text{CH}_4$  por manejo de residuos, en algunos se utilizan opciones para abatir al menos una fracción de las emisiones a la atmósfera, de manera que la otra porción se aprovecha de diferentes maneras. Desafortunadamente no en todos los casos se cuenta con la información necesaria para evaluar esta condición.

En México, resulta evidente que el volumen total de  $\text{CH}_4$  generado es sumamente elevado, aún cuando se compara con países de características diferentes, es decir, presenta un comportamiento atípico, sin que por el momento exista una explicación particular. Este comportamiento ocasiona que algunos de los índices



presentados en este artículo resulten también elevados para el caso de México. De manera adicional, conviene mencionar que el valor de generación de  $\text{CH}_4$  por manejo de aguas residuales en México (50% del total generado por desechos), es significativamente superior a los valores reportados en los inventarios de países como Argentina, EE.UU. y Uruguay, entre otros, en los cuales la producción del gas por manejo de aguas residuales es menor al 10% del total generado por desechos.

Con el propósito de obtener información adicional sobre el tema, puede recomendarse tomar como base los resultados aquí obtenidos y continuar con el análisis descrito. En este contexto, se recomienda realizar las siguientes actividades concretas:

- Obtener índices de correlación para datos particulares.
- Obtener volúmenes de generación de  $\text{CH}_4$  como carbono equivalente.
- Considerar el volumen de  $\text{CO}_2$  generado en la degradación anaerobia de los RSM y obtener este parámetro adicional.

Paradójicamente, la transición de un tiradero a cielo abierto a un relleno sanitario estricto, implica una mayor generación de  $\text{CH}_4$ . Esto se debe a que el relleno sanitario favorece las condiciones para la generación de este gas, además de que no permite la quema de basura por parte de los pepenadores. Evidentemente esta condición no debe interpretarse como una actitud favorable hacia los tiraderos; por el contrario, es aconsejable continuar con la creación de rellenos sanitarios como un elemento más del manejo integral de los RSM e incluirse opciones como el reciclaje, el composteo y en ciertos casos la incineración, entre otras.

Varios países industrializados contemplan en sus programas la incineración, como una alternativa formal para evitar la generación de  $\text{CH}_4$  como resultado del manejo de los RSM y de esta manera pretenden avanzar en el cumplimiento de sus compromisos en materia de cambio climático (Suecia 2001). En forma paralela, buscan evitar la disposición final de materiales orgánicos o combustibles en rellenos sanitarios, aceptando solamente la de materiales inertes. En este sentido, es recomendable que en los rellenos sanitarios se favorezca la captación de biogás y se aproveche de acuerdo con las diferentes opciones existentes. No es posible hacer una recomendación para alguna opción en particular, ya que la mejor dependerá de las condiciones particulares y la ubicación del relleno sanitario, la existencia de un consumidor final del producto generado y de la situación socioeconómica de cada país. Entre las posibilidades para el aprovechamiento del biogás, se encuentran las siguientes (Pérez Rosas *et al.* 1997):

- Generación de vapor.
- Generación de energía mecánica.
- Turbinas de gas.
- Generación de electricidad, mediante alguna de las anteriores opciones.

En última instancia, si no existen condiciones para aprovechar el biogás en ninguna de estas formas, debe considerarse la opción de captarlo y quemarlo en una instalación adecuada, considerando que el  $\text{CO}_2$  generado en la combustión es menos agresivo que el  $\text{CH}_4$ , en el contexto de los GEI. El composteo es otra opción que implica el aprovechamiento de la fracción orgánica de los RSM, proceso que bajo condiciones eficientes de operación produce  $\text{CO}_2$ , evitando la generación de  $\text{CH}_4$ .

En cualquier caso, es recomendable realizar evaluaciones permanentes y periódicas de la generación de  $\text{CH}_4$  con la finalidad de analizar el comportamiento del fenómeno a lo largo del tiempo, tal como se ha hecho en otros países cuentan con curvas anuales del comportamiento de las emisiones de este gas.

#### **NOTA**

**1** El  $\text{CH}_4$  se genera principalmente por actividades industriales (petroquímica, metalúrgica, minera); por la combustión de materiales (transporte, industria eléctrica); por emisiones fugitivas (extracción de petróleo y gas natural); por prácticas agrícolas (cultivo de arroz, manejo de estiércol) y ganaderas (fermentación entérica en animales domésticos y rumiantes) así como por la biodegradación anaerobia de la materia orgánica presente en los residuos municipales (líquidos y sólidos). La generación de  $\text{CH}_4$ , así como la de otros GEI depende en cada país, de diferentes factores relacionados con el desarrollo de los sectores productivos, de servicios, el índice demográfico, entre otros.

#### **BIBLIOGRAFÍA**

República Argentina. Secretaría de Recursos Naturales y Desarrollo Sustentable 1999. *Inventario de Gases de Efecto Invernadero y Estudios de Vulnerabilidad y Mitigación Frente al Cambio Climático en la Argentina*. Buenos Aires, Argentina.

- CEPAL 2002. *Anuario Estadístico de América Latina y el Caribe 2000-2001*. CEPAL, Chile.
- EPA 2001. Appendix B: *Summarizes methane emissions for developed countries from 1990 through 2010 in the following exhibits*. Washington DC.
- 2000. *Emissions of Greenhouse Gases in the United States*. Washington DC.
- Framework Convention on Climate Change (FCCC) 2000. *Report on the in-depth review of the second national communication of Japan*. FCCC/IDR.2/JPN.
- 1999. *Report on the in-depth review of the second national communication of Germany*. FCCC/IDR.2/DEU.
- INGEI 1998. *Inventario nacional de Uruguay de emisiones netas de gases de efecto invernadero*. INGEI, Uruguay.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 2001. *Third Assessment Report of Working Group I of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary for Policymakers*.
- 1996. *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*.
- Kruger, D. 2000. *The Prominent Role of Methane in Addressing Global Climate Change*. USEPA Methane y Sequestration Branch. Washington D.C.
- Ministério da Ciencia e Tecnologia do Brasil s/f. *Emissões de Metano pela Disposição e Tratamento de Resíduos Sólidos no Brasil*. [http://www.mct.gov.br/clima/comunic\\_old/resid7\\_1.htm](http://www.mct.gov.br/clima/comunic_old/resid7_1.htm).
- National Environmental Commission 1999. *Chile's First National Communication to the Conference of the Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change (FCCC)*.
- Pérez Rosas, J. Chávez Reyes, P. y Cebada Alva, B. 1997. *Evaluación técnico-económica de dos alternativas de aprovechamiento de biogás en un relleno sanitario*. Dirección Técnica de Desechos Sólidos, Departamento del Distrito Federal, México.
- SEMARNAT-INE 2001. *Segunda Comunicación Nacional de México ante la Convención de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. SEMARNAT, México.
- Suecia 2001. *Second National Communication on Climate change under the United Nations Framework Convention on Climate Change*. 30.11.01.




---

**Gustavo Solórzano Ochoa** es Director de Investigación en Residuos y Proyectos Regionales en el Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental (CENICA) del Instituto Nacional de Ecología (INE- SEMARNAT). Correo-e: [gsolorzano@ine.gob.mx](mailto:gsolorzano@ine.gob.mx).

**Fotografías:** Manuel Álvarez Bravo. *Dondestá (sic) la estrella*, 1952 (página 7). *Las calabazas*, principios de la década de 1930 (página 9). *La de las Bellas Artes*, 1933 (página 13) y *Magüey en lo alto*, década de 1940 (página 15).