

Emisiones de metano derivadas de los desechos sólidos municipales en Cuba

Carlos López Cabrera

Consultor emisiones de Gases de Invernadero, La Habana, Cuba
cmlopezca@yahoo.com

recibido: 16 de Marzo de 2011

enviado a evaluar: 17 de Marzo de 2011

aceptado: 5 de Octubre de 2011

RESUMEN

En este artículo se determinan las emisiones de metano derivadas de la gestión de los Desechos Sólidos Municipales (DSM) en Cuba en el período 1990-2010. Para ese objetivo se utilizaron métodos proporcionados en las “Directrices del IpCC de 2006 para los Inventarios Nacionales de Gases de efecto Invernadero (GeI), especialmente el Modelo de Desechos del IpCC, y también elementos del “e estándar Corporativo de Contabilidad y reporte del protocolo de GeI” (Wr I-Wb CSD, 2004). De acuerdo con los resultados obtenidos, las emisiones netas de metano derivadas de la disposición final de DSM, tuvieron una tendencia general al aumento, con un período de disminución entre 1992 y 1996 (años más críticos de la crisis económica que sufrió el país en los años noventa). Las emisiones de metano generadas en la preparación de compost utilizando DSM, y de la destrucción del metano en antorchas resultaron, respectivamente, bajas y no significativas.

Palabras clave: gases de invernadero, metano, desechos sólidos municipales

Methane emissions from municipal solid waste in Cuba

ABSTRACT

In this paper are determined the methane emissions derived from Municipal Solid Waste (MSW) management in Cuba in the period 1990-2010. For this objective, were used methods provided in “2006 IpCC Guidelines for National Greenhouse Gas (GHG) Inventories”, especially the IpCC Waste Model, and also elements from the “GHG protocol Corporate Standard” (Wr I-Wb CSD, 2004). According to the results obtained, the net methane emissions from final MSW disposition had a general trend to the increase, with a period of decrease between 1992 and 1996 (more critical years of the economic crisis that suffered the Country in the nineties). Methane emissions generated from compost preparation using MSW, and from methane destruction in flares resulted, respectively, low and not significant.

Keywords: greenhouse gases, methane, municipal solid waste

emissions de methane derivees des dechets solides municipaux a Cuba

RESUMÉ

Dans cet article sont déterminées les émissions de méthane dérivées de la gestion des Déchets Solides Municipaux (DSM) à Cuba, dans la période 1990-2010. On a utilisé les méthodes des « Directrices du GIEC de 2006 pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre (GeS) », particulièrement le Modèle de Déchets de l'IpCC, ainsi que des éléments du « Standard Corporatif de Comptabilité et rapport du protocole de GeS » (WRI-WbCSD, 2004). Selon les résultats obtenus, les émissions nettes de méthane dérivées de la disposition finale de DSM ont été une tendance générale ascendante, ayant eu une période de diminution entre 1992 et 1996 (les années les plus critiques de la crise économique des années 90 à Cuba). Les émissions de méthane provoquées par la préparation de compost utilisant DSM et par la destruction du méthane brûlé à la torche ont été faibles et non significatives, respectivement.

Mots clé: gaz à effet de serre, méthane, déchets solides municipaux

1. INTRODUCCIÓN

Los objetivos principales de este artículo son estimar y evaluar las emisiones de metano (CH₄) derivadas de la gestión de los Desechos Sólidos Municipales (DSM)¹ en Cuba en el período 1990 – 2010². Los Sitios de Disposición de Desechos Sólidos (SDDS) son fuentes reconocidas de CH₄ mediante la emisión de gas de vertedero a la atmósfera y se estima que alrededor del 10 por ciento de las emisiones antrópicas globales de CH₄ se derivan de esta categoría de fuente. en Cuba, las emisiones de los SDDS aportan alrededor del 14 por ciento de las emisiones nacionales de este importante gas de efecto invernadero (GeI) (López *et al.*, 2009).

1.1 Estimación y reporte de Emisiones de GeI de las Actividades de Gestión de Desechos Sólidos

La estimación y reporte de emisiones de GeI ha tenido, hasta el momento, su expresión fundamental en la preparación de los inventarios nacionales de GeI que deben compilar y reportar, con una frecuencia especificada, las partes de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC). para este objetivo se utilizan, fundamentalmente, las metodologías aprobadas por la Conferencia de las partes (COP) de esta Convención y que han sido preparadas por el panel Intergubernamental de Cambio Climático (IpCC).

¹ Se utiliza el término “desechos” en lugar del término “residuos” para mantener la denominación y definiciones utilizadas, en idioma español, en IpCC, 2006.

² Este artículo es una versión resumida de la primera parte del estudio: ‘López, C. (2011). e escenarios Combinados de Gestión Ambiental – Mitigación para la proyección de las emisiones de Metano Derivadas de los Desechos Sólidos Municipales en Cuba. La Habana, Junio de 2011, 142 pp’. [Inédito].

posteriormente, y en buena medida para satisfacer los requerimientos de los programas voluntarios o los compromisos cuantificados de reducción de GeI, el comercio de emisiones, los registros etc., la cuantificación y reporte de emisiones de estos gases se extendió a los niveles corporativo³ y de proyecto, y más recientemente al nivel de producto. Los estándares y protocolos para cuantificar y reportar las emisiones y reducciones de GeI para estos niveles, han sido elaboradas, fundamentalmente, en el marco del “protocolo de GeI”⁴.

1.2 DeSeCHOS SÓLIDOS

Los desechos sólidos se generan en hogares, oficinas, tiendas, mercados, restaurantes, instituciones públicas, plantas de tratamiento de aguas y alcantarillado, obras en construcción y demolición, actividades industriales y actividades agrícolas⁵. este artículo está centrado en los desechos sólidos municipales (DSM) que en IpCC (2006), se definen como “los desechos sólidos recolectados por municipalidades u otras autoridades locales correspondientes a: a) Desechos domésticos; b) Desechos de jardines y parques; y D) Desechos comerciales/institucionales”. esta definición⁶, utilizada en el estudio, no incluye a los desechos industriales dispuestos en los SDDS, y otros desechos como los hospitalarios que, por sus características, requieren de una gestión especial.

1.3 eMISIONeS De Ga Se S De INver Na Der O eN eL SubSeCt Or DeSeCHOS SÓLIDOS

para los inventarios nacionales de GeI, en IpCC (2006) se proporcionan orientaciones metodológicas para estimar emisiones procedentes de las categorías de fuentes relacionadas con los desechos sólidos que se precisan en la t abla 1.

en los inventarios de GeI a nivel corporativo, siguiendo el estándar Corporativo de Contabilidad y r eporte (eCCr) (Wr I – Wb CDS, 2004) del protocolo de Ge I, las categorías de fuentes que deben considerarse para la cuantificación de emisiones derivadas de los desechos sólidos difiere, en parte, de las incluidas en la t abla 1. para este tipo de inventarios se requiere, inicialmente, determinar el “límite o frontera organizacional” para los propósitos de contabili-

³ “Corporativo” en el contexto de este estudio se refiere a los diferentes tipos de organizaciones tanto del sector privado como público.

⁴ <http://www.ghgprotocol.org>

⁵ en los inventarios nacionales de GeI, las emisiones derivadas del manejo del estiércol y de la quema in situ de residuos agrícolas se estiman y reportan en el Sector a gricultura, Silvicultura y Otros Usos de la t ierra (a FOLU) y no en el Sector Desechos.

⁶ esta definición puede variar de país a país e incluir otros desechos como los lodos de alcantarilla y los desechos de construcción y demolición (estos últimos en algunos países de incluyen como parte de los desechos industriales)

dad y reporte de emisiones y a partir de este conformar el “límite operacional” a partir de los siguientes tres “alcances” para propósitos de contabilidad y reporte definidos en el eCCr (Wr I – Wb CSD, 2004):

- alcance 1: emisiones Directas de GeI. Ocurren en las fuentes que pertenecen o están controladas por la organización;
- alcance 2: emisiones Indirectas de GeI asociadas a la electricidad. Incluye las emisiones de GeI derivadas de la generación de la electricidad adquirida y consumida por la organización;
- alcance 3: Otras emisiones Indirectas de GeI. esta es una categoría opcional de reporte que permite incluir el resto de las emisiones indirectas que son consecuencia de las actividades de la organización, pero ocurren en fuentes que no pertenecen, ni están controladas, por esta.

Tabla 1. Categorías de fuentes y emisiones de GeI relacionadas con los desechos sólidos incluidas en las Guías del IpCC de 2006 (IpCC, 2006).

	GEI	Inclusión en el Reporte de Emisiones	Comentarios
1) Disposición final de desechos sólidos en Sitios de Disposición de Desechos Sólidos (SDDS)	CO ₂	No	emisiones biogénicas
	CH ₄	Sí	emisiones fugitivas derivadas de la descomposición anaeróbica de los desechos
	N ₂ O	No	Se presumen insignificantes
2) Tratamiento biológico de los desechos sólidos	CH ₄	Sí	Incluye emisiones de CH ₄ y N ₂ O procedentes de la preparación de compost y las emisiones de CH ₄ de la digestión anaeróbica en instalaciones de biogás
	N ₂ O	Sí/No	
3) Incineración y quemaduras abiertas de desechos sólidos	CO ₂	Sí	Incluye las emisiones de CO ₂ , CH ₄ y N ₂ O de los incineradores, y de las quemaduras intencionales o espontáneas de desechos en los SDDS
	CH ₄	Sí	
	N ₂ O	Sí	

a estas emisiones de CO₂ no están incluidas en los totales de este sector porque el carbono es de origen biogénico y la emisión neta se contabiliza en el Sector agricultura, Silvicultura y Uso de la tierra (aFOLU) (IpCC, 2006).

b Cuando el biogás generado se utiliza para producir energía, las emisiones resultantes se reportan en el Sector energía. Las emisiones de N₂O se presumen insignificantes.

c Las emisiones procedentes de la incineración sin recuperación de energía se reportan en el Sector Desechos, mientras que las emisiones debido a la incineración con recuperación de energía se reportan en el Sector energía, ambas con la distinción entre emisiones de CO₂ de origen fósil y biogénico. en los totales del inventario se incluyen solamente las emisiones de CO₂ de origen fósil

en este artículo por “organización” se asume al “sistema nacional de manejo de desechos sólidos en Cuba” cuyas características fundamentales se describen en OpS (2002) y que fueron tomadas en cuenta para establecer los límites del inventario de esta organización referidos a las emisiones de CH₄. De acuerdo con los objetivos del estudio, la disponibilidad de datos, y para tener una mayor concordancia con las cate-

gorías consideradas en los inventarios nacionales de GeI, del límite operacional se seleccionaron y evaluaron categorías de fuentes del alcance 1 que tienen, en las condiciones y circunstancias de Cuba, importancia para las emisiones de CH4 derivadas de la gestión de los desechos sólidos (tabla 2).

Tabla 2. Límite operacional de la organización y categorías de fuente de Metano evaluadas en este estudio (identificadas en I, II y III)

ALCANCE 1	ALCANCE 2	ALCANCE 3
Categoría de Fuente	Categoría de Fuente	Categoría de Fuente
I) Liberación fugitiva de gas de vertedero en los SDDS	v) e misiones derivadas de la electricidad adquirida y consumida por la organización en sus diferentes instalaciones administrativas y técnicas	v I) e misiones derivadas de la quema de combustibles fósiles en fuentes móviles utilizadas para la gestión de los desechos sólidos pero que no pertenecen o son controladas por la organización
II) emisiones por la quema de gas de vertedero en antorchas, o su uso en motores, turbinas etc., para la generación de electricidad		v II) e misiones derivadas de la construcción, remodelación de SDDS, instalaciones para la recuperación y uso del biogás etc.
III) emisiones derivadas de la producción de compost y digestión anaeróbica		
IV) emisiones derivadas de la quema de combustibles fósiles en fuentes móviles que pertenecen o son controladas por la organización y son utilizadas en la gestión de los desechos sólidos o la administración del sistema		

1.4 SIt IOS De DISpOSICIó N De DeSeCHOS Só LIDOS eN CUBa . evOLUCIó N eN eL períODO 1950 - 2010

De acuerdo con la denominación utilizada en Cuba, en los vertederos gestionados o controlados se incluyen los “vertederos Convencionales” (incluyen medios mecanizados) y los “rellenos Sanitarios Manuales” (rSM), mientras que en los no gestionados o controlados se incluyen los “vertederos a Cielo abierto”. entre 1950 y 1967, la disposición final de los desechos sólidos en el país se realizó en vertederos a cielo abierto en los que ocurrían quemas parciales de los desechos. en 1968 se inició la construcción, y operación, de los primeros vertederos gestionados o controlados y en 1987 ya se encontraban operando treinta de este tipo de vertederos, mientras que el resto de la disposición final se realizaba en vertederos no gestionados poco profundos a cielo abierto. a partir de 1988 se inicia una baja considerable en la cobertura de los servicios de recogida y disposición de los desechos sólidos, que se agudiza con la crisis económica que experimentó Cuba en la década de los años noventa, período en que la disposición se realizó, casi totalmente, en vertederos no gestionados poco profundos a cielo abierto.

para enfrentar la situación descrita anteriormente, a partir del año 1999 se preparó, e instrumentó, un plan para el establecimiento de rSM en los asentamientos

poblacionales cubanos de hasta veinte mil habitantes, tipo de SDDS que gradualmente fue extendiendo su cobertura por todo el país (Delgado *et al.*, 2000). También comenzó la eliminación o sustitución de los vertederos a cielo abierto y se incrementó el número de vertederos convencionales. Desde el año 2004, se acometió un plan para mejorar y modernizar el equipamiento y medios utilizados en la gestión de los desechos sólidos, especialmente en los vertederos convencionales y en el año 2008 comenzó el desarrollo de proyectos para la captura y destrucción del gas de vertedero en dos SDDS.

2. MÉTODOS Y DATOS UTILIZADOS

2.1 MODELO, DATOS DE ACTIVIDAD Y PARÁMETROS DE EMISIÓN UTILIZADOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS EMISIONES DE METANO DERIVADAS DE LOS SDDS

el modelo de descomposición de primer orden (DpO) en su nivel 2 en la opción multifase, presentado en IpCC, 2006, y su software (Modelo de Desechos del IpCC 2006) son los utilizados en este estudio para la determinación de las emisiones de CH₄ derivadas de los SDDS en el período 1990 – 2010. en la aplicación de este modelo se realizaron cambios en los valores de algunos de los parámetros de emisión en comparación con los proporcionados por defecto y los utilizados, hasta el momento, en la preparación de los inventarios nacionales de GeI en Cuba. La mayor parte de los cambios realizados se relacionan con la utilización de los resultados obtenidos por López y Fernández (2010) referentes a los parámetros de emisión de los rellenos sanitarios manuales, tipo de SDDS de amplio uso actualmente en Cuba y otros países en desarrollo pero no considerado, específicamente, en las Guías del IpCC para la preparación de los inventarios nacionales de GeI. en el modelo utilizado, las emisiones de CH₄ procedentes de la disposición de desechos sólidos en los SDDS, para un año específico, se estiman mediante la siguiente ecuación:

$$Emisiones\ de\ CH_4 = \left[\sum_x CH_4\ generado_{x,t} - R_t \right] \bullet (1 - OX_t) \tag{1}$$

Donde:

emisiones de CH ₄	CH ₄ emitido durante el año t , (Gg);
t	año que se evalúa;
x	Categoría o tipo de desecho y/o material;
CH ₄ generad _{ox,t}	CH ₄ generado durante el año t de acuerdo con la categoría o tipo de desecho x, (Gg);
r t	CH ₄ recuperado durante el año t , (Gg);
OXt	Factor de oxidación durante el año t , (fracción)

el CH₄ potencial que se genera a través de los años se calcula sobre la base de las cantidades y la composición de los DSM dispuestos en los SDDS y de las prác-

ticas de gestión de los desechos que se realizan en estos. La base para el cálculo es la cantidad de carbono orgánico degradable disuelto (DDOC_m) (ecuación 2)⁷ que es la parte del carbono orgánico que se degrada en condiciones anaeróbicas en los SDDS (el índice m se refiere a la masa).

$$DDOC_m = W \cdot DOC \cdot DOC_f \cdot MCF \tag{2}$$

Donde:

DDOC _m	Masa del DDOC depositado, (Gg);
W	Masa de los desechos depositados, (Gg);
DOC	Carbono orgánico degradable durante el año de disposición, fracción, (Gg de C/Gg de desechos);
DOC _f	Fracción del DDOC _m que puede descomponerse;
MC _f	Factor de corrección de CH ₄ para la descomposición aeróbica durante el año de disposición (fracción)

en una reacción de primer orden, la cantidad de producto es siempre proporcional a la cantidad de material reactivo. esto significa que el año en el cual el material de desecho fue depositado en los SDDS, no es pertinente para determinar la cantidad de CH₄ generado cada año. Lo que cuenta, es la masa total de material en descomposición que existe actualmente en cada sitio. Los cálculos básicos de primer orden se realizan mediante las ecuaciones 3 y 4.

$$DDOCma_t = DDOCmd_t + (DDOCma_{t-1} \cdot e^{-k}) \tag{3}$$

$$DDOCm_{descomp_t} = DDOCma_{t-1} \cdot (1 - e^{-k}) \tag{4}$$

Donde:

t	año que se evalúa;
DDOCma _t	DDOCm acumulado en los SDDS al final del año t, (Gg);
DDOCma _{t-1}	DDOCm acumulado en los SDDS al final del año t-1, (Gg);
DDOCmd _t	DDOCm depositado en los SDDS durante el año t, (Gg);
DDOCm _{descomp_t}	DDOCm descompuesto en los SDDS durante el año t, (Gg);
k	Constante de la reacción o constante de generación de CH ₄ , k = ln(2)/t _{1/2} (años ⁻¹);
t _{1/2}	vida media (años)

⁷ en esta ecuación y algunas otras que siguen se mantiene, para los parámetros que se utilizan, la denominación en idioma inglés de la fuente original

para estimar la cantidad de CH_4 que se forma a partir del material que puede descomponerse, se multiplica la fracción de CH_4 contenida en el gas de vertedero generado por el cociente de pesos moleculares CH_4/C .

$$CH_4 \text{ generado}_t = DDOCm \text{ descomp}_t \cdot F \cdot 16/12 \quad (5)$$

Donde:

$CH_4 \text{ generado}_t$	Cantidad de CH_4 generado a partir del material en descomposición (Gg);
$DDOCm \text{ descomp}_t$	DDOCm descompuesto en los SDDS durante el año t, (Gg);
F	Fracción volumétrica de CH_4 en el gas de vertedero generado;
16/12	Cociente de pesos moleculares CH_4/C

para la aplicación del modelo DpO se requieren datos históricos sobre la disposición de desechos sólidos (cantidad y composición) en aproximadamente 40 - 50 años previos al año del inventario para el que se realizan los cálculos. para este objetivo, en el estudio se procedió a estimar el total de DSM generados y dispuestos en los SDDS a nivel general en Cuba en cada año del período 1950-2010. La elección de este período se deriva de la selección del valor de la constante de la reacción (k) en el modelo y que el primer año para el que se realiza la estimación de emisiones es 1990 (el primer año base para los inventarios nacionales de Ge I a ser reportados a la CMNUCC).

Con el objetivo de calcular los DSM generados se realizó primero una reconstrucción de la serie de generación promedio per cápita de desechos (kg/hab/día) a nivel general en Cuba para el período 1950 - 2010. Se partió de los datos de este parámetro para diferentes períodos y años que aparecen reportados en OpS/OMS (1997) y OpS (2002), así como otros datos que fueron suministrados por la Subdirección de planificación y Servicios Comunales (SpSC) del Ministerio de economía y planificación (Me p), criterios de expertos del sector, e informaciones extraídas de artículos científicos o reportes de investigación sobre este tema en Cuba (t abla 3).

t abla 3. Datos de generación promedio per cápita (kg/hab/día) de desechos sólidos a nivel general en Cuba reportados en diferentes fuentes.

Generación promedio per cápita de desechos sólidos						
Año	1960 ¹	1970 ¹	1974 ²	1980 ¹	1990 ¹	1993-1994 ³
Generación per cápita	0,382	0,372	0,4	0,53	0,686	0,35 -0,4
Año	1996 ⁴	2000 ⁵	2002 ⁶	2002-2003 ⁷	2004 ⁸	
Generación per cápita	0,489	0,57	0,536	0,4-0,69	0,52	

Fuentes: 1) OpS-OMS, 1997; 2) MINSap - Cuba; 3) Criterios de expertos del sector; 4) encuesta Nacional de residuos Sólidos. valor obtenido a partir de los promedios de la generación urbana reportados para cada provincia, ponderado por la población urbana de cada provincia; 5) reportado para Cuba en IpCC (2006) y utilizado en la preparación del inventario nacional de emisiones de GeI. 6) Utilizado en Nipon (2004); 7) OpS (2002). rango de valores obtenido en estudios que se realizaron en todas las provincias de Cuba en el año 2002 y que se repitieron en el año 2003; 8) Nipon (2004), Freenet (2005). Incluido en aguilera - Corrales et al. (2005).

De acuerdo con la información captada, la generación per cápita se incrementó, paulatinamente, hasta finales de los años ochenta, con una disminución aguda en los primeros años de la década de los noventa. a partir de juicios de expertos del sector, se estima que en los años más críticos del “período especial” (1993-1994) este per cápita promedio pudo reducirse a valores del orden de los 0,4 kg/hab/día y quizás menos. a partir de 1995 se verificó una ligera tendencia al incremento en la generación con ligeras fluctuaciones en esta.

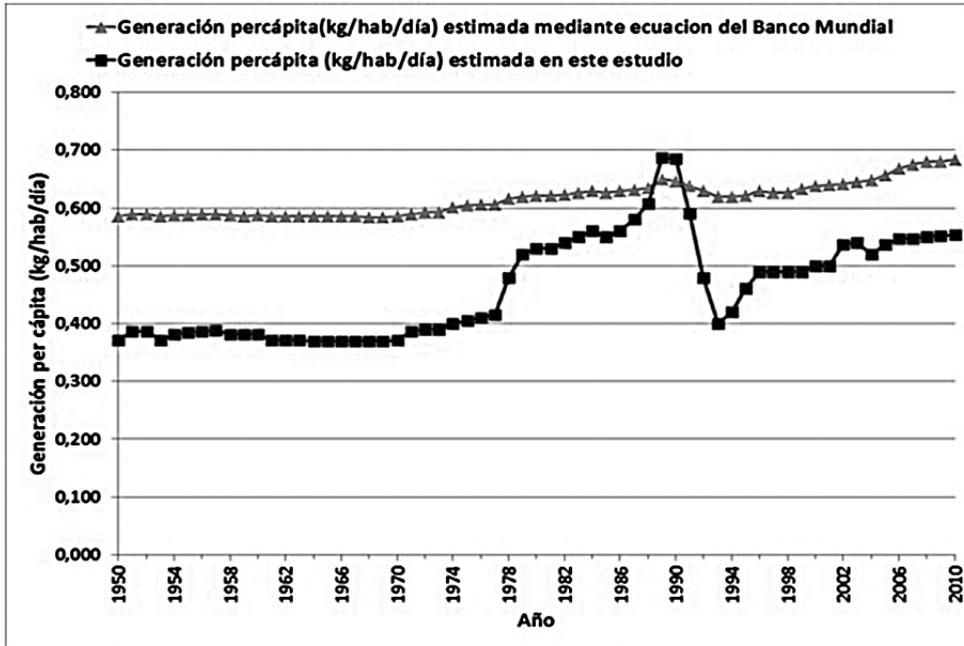
a demás de los valores incluidos en la t abla 3, y que son representativos de los promedios a nivel general en Cuba, se han reportado otros valores de generación per cápita en diversos estudios realizados para localidades específicas del país, mayormente para la ciudad de La Habana y sus municipios. por ejemplo, palacios et al., (2003), reportaron un valor de alrededor de 0,5 kg/hab/día para municipios contiguos a la bahía de La Habana en los años 2001 – 2002. e n otros reportes, se ha reflejado el incremento observado en la generación per cápita, en los últimos años, en La Habana hasta alcanzar valores alrededor de los 0,7 kg/hab/día (DpSC-CH, 2000, López, M. *et al.*, 2004, JICa -CIIt Ma CH- DpSC, 2006; Joa y Falcón, 2008; Goicochea y Fabregat, 2011; a costa *et al.*, 2011). e stos reportes señalan también la ocurrencia de modificaciones en la cantidad y tipo de desechos generados debido a cambios de hábitos de vida, patrones de consumo y en los materiales de embalaje.

en este estudio, se adiciona a los factores señalados anteriormente el efecto del turismo internacional que en algunas zonas de Cuba, incluyendo algunos municipios de la Ciudad de La Habana, va teniendo ya un determinado peso en la generación de DSM. este tema de los aportes del turismo internacional en la generación de desechos, requiere ser tratado con cuidado cuando se aborda la cuantificación de las emisiones de GeI correspondientes al país. Igualmente debe procederse con cautela en la utilización de valores de generación per cápita obtenidos en municipios con elevada población flotante debido a la concentración, en estos, de una significativa actividad comercial y de servicios.

para la reconstrucción de la serie de la generación per cápita promedio a nivel general del país, incluyendo el relleno de los años faltantes, se partió de los datos de la t abla 3 y se aplicaron las técnicas de extrapolación e interpolación utilizando drivers recomendadas para este objetivo en IpCC (2000, 2006). Como drivers se utilizaron los valores anuales del producto Interno bruto (pIb), complementados con informaciones acerca de la fracción del pIb utilizada en los servicios comunales para los años en que estos últimos datos estuvieron disponibles. a dicionalmente, y como apoyo en la reconstrucción de esta serie de datos, se realizó la estimación de la tasa de generación per cápita de DSM utilizando la ecuación obtenida (Froiland-Jensen y pipatti, 2002) a partir de la comparación realizada de la generación promedio de DSM y el promedio per cápita del pIb en 133 países (World bank, 1995, 1996). e n este estudio (Fig. 1) se apreció que esa ecuación tiende, para las condiciones de Cuba, a sobrestimar la generación per cápita promedio teniendo mejor coincidencia con los valores reportados en la t abla 3 solamente cuando ocurre una relativa alta generación

percápita (mayor que 0,55 kg/hab/día) en este caso el período 1983-1991 que incluye el valor más alto de la serie (0,686 kg/hab/día) reportado para 1990 en OpS-OMS (1997).

Figura 1. Generación percápita promedio de DSM a nivel general en Cuba. Comparación de la serie reconstruida obtenida para este estudio, y la estimación basada en ecuación del Banco Mundial, período 1950-2010.



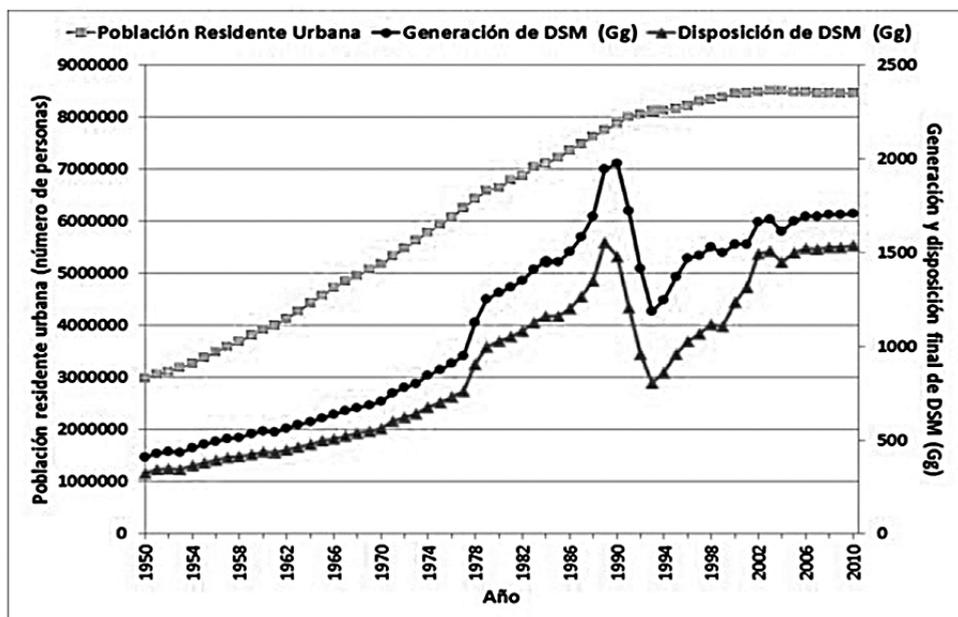
Después de reconstruida la serie de generación percápita de DSM, se procedió al cálculo de la generación y disposición anual de DSM a nivel general en Cuba para cada año del período 1950 – 2010 (Fig. 2). para esto, se utilizaron los datos anuales, actualizados, de la serie oficial de población urbana⁸ residente obtenidos de la Oficina Nacional de estadísticas (ONE) de Cuba⁹. en la estimación de la fracción de los DSM generados que fue dispuesta en SDDS, se tomó en cuenta que la suma de las fracciones correspondientes a disposición final, incineración, preparación de abono orgánico y reciclaje debe totalizar el 100 por ciento. para la estimación y reconstrucción de la serie de disposición de DSM en SDDS para el período 1950 – 2010, se utilizaron los

⁸ para la obtención de los estimados de generación y disposición de DSM, así como para los estimados de emisión de CH₄ en este estudio se utiliza la población urbana residente, debido a que en el país solamente recibe servicios de recolección de desechos la población urbana, con una cobertura del cien por ciento.

⁹ ONE. Series estadísticas. Sitio Web ONE. <http://www.one.cu/>

datos reportados en el país para las fracciones mencionadas anteriormente (ONE, 2010a, 2011) complementadas por informaciones de la DpSC del Me p y criterios de expertos del sector.

Figura 2. evolución de la población urbana residente, y estimaciones de la generación y disposición final de DSM a nivel general en Cuba obtenidas en este estudio. período 1950-2010



el carbono orgánico degradable (DOC) es el carbono orgánico que puede ser objeto de descomposición bioquímica. Su determinación se basa en la composición de los desechos y se calculó sobre la base del promedio ponderado del contenido de carbono de los distintos componentes de los desperdicios. para la estimación del DOC se utilizó la siguiente ecuación y valores por defecto del contenido de carbono de las diferentes fracciones de los desechos proporcionados en IpCC (2006).

$$DOC = \sum (DOC_i \cdot W_i) \tag{6}$$

Donde:

DOC	Carbono orgánico degradable en los desechos brutos, Gg de C/Gg de desechos;
DOC _i	Fracción de carbono orgánico degradable en los desechos de tipo i;
W _i	Fracción de tipo de desecho i en los desechos sólidos dispuestos

en la opción multifase del modelo, utilizada en este estudio, se consideraron valores separados para el DOC y $t_{1/2}$ para cada tipo de desecho, por lo que se asume que la descomposición de los diferentes tipos de material es independiente una de otra. para el cálculo del DOC se utilizaron, y extendieron, los resultados obtenidos por López *et al.*, 2005 en la reconstrucción de la serie de este parámetro de emisión a partir de la limitada información disponible sobre la composición física de los DSM a nivel general en el país (tabla 4). además, y solamente como valores indicativos, se utilizaron también algunos otros valores de la composición física de los DSM para localidades específicas del país que aparecen reportados en DpSC CH (1990), DpSC-SS (2001), Oficina Nacional de Normalización (2002), acosta *et al.* (2011), Nipon (2004) y López y Fernández (2010).

tabla 4. Composición física de los desechos sólidos municipales (% en peso) a nivel general en Cuba, reportada en diferentes fuentes

Componente	Año						
	1960 ¹	1969-1973 ²	1975-1979 ²	1980-1983 ²	1989 ²	2000 ³	2002 ⁴
Materia orgánica	30	50,7	47,2	37,3	48,8	60	61,56
papel y cartón	17	24,2	19,0	27,3	18,7	19,7	17,2
plásticos	0,9	0,7	1,9	4,2	4,3	1,9	4,3
Metales	5,01	7,0	6,7	6,0	3,8	6,0	5,3
vidrio	3,5	1,9	5,6	3,7	5,1	4,1	3,09
textiles	0,6	4,7	3,4	6,9	4,9	4,91	3,94
Maderas		3,6	3,7	2,4	1,8	1,15	1,0
Otros materiales inorgánicos		7,2	12,5	12,2	12,6	2,24	3,61
Otros	29,5						
Totales	100	100	100	100	100	100	100

Fuentes: 1) MINSap- Cuba; 2) OpS-OMS (1997); 3) SpSC del Mep (estimados realizados por la Unión de Materias primas); 4) ONe – aMa (2003)

La reconstrucción de la serie de datos de DOC para cada uno de los períodos en que aparecen vacíos importantes de información sobre la composición de los DSM, se basó en la aplicación de las técnicas de reconstrucción de series, recomendadas en IpCC (2000) y la utilización de valores regionales por defecto proporcionados en IpCC (2006) para la composición física de los desechos municipales en la región Caribe. Los valores utilizados para el resto de los parámetros de emisión requeridos en el modelo utilizado, aparecen resumidos en la tabla 5.

Tabla 5. valores de los parámetros de emisión utilizados en la estimación de las emisiones de metano (CH₄) con el Modelo de Desechos del IpCC 2006

Parámetro de Emisión	Condición		Valor
DOCf (Carbono orgánico degradable que se descompone)	Todos los SDDS (excepto rSM ¹)		0,5
	rSM ¹		0,4
k (Constante de la reacción - tasa de generación de CH ₄)	papel y textiles	zona Climática tS	0,04
		zona Climática tH	0,07 (0,06) ¹
	Madera/paja	zona Climática tS	0,025
		zona Climática tH	0,035 (0,03) ¹
	putrescibles orgánicos (no alimentos) y desechos de parques y jardines	zona Climática tS	-Desechos de podas 0,08-Caucho y piel 0,015
		zona Climática tH	-Desechos de podas (0,13) ³ -Caucho y piel 0,02
	Desechos de alimentos y lodos de alcantarilla	zona Climática tS	0,1
		zona Climática tH	0,4 (0,3) ¹
MCF (Factor de Corrección de Metano)	SDDS gestionados anaeróbicos	vertedero convencional y relleno sanitario	1,0
		rSM ¹	0,6
	SDDS no gestionados	profundos	0,8
		poco profundos	0,4
F (Fracción de CH ₄ en el gas de vertedero generado)			0,5
Oxt (Factor de oxidación de CH ₄)	SDDS gestionados (sin cubierta de material aireado); SDDS no gestionados		0
	SDDS gestionados (con cubierta de material oxidante del CH ₄)		0,1
	rSM ¹		0,2
	Otros rSM		0,1

1) rellenos sanitarios manuales en las condiciones tropicales húmedas de Cuba y que no poseen pozos de evacuación de gases funcionando (López y Fernández, 2010). 2) tS – tropical Seco (tMa > 20° C y pMa < 1000 mm); tH – tropical Húmedo (tMa > 20° C y pMa ≥ 1000 mm). 3) Stege (2009). tMa (temperatura media anual); pMa (precipitación media anual)

2.2 MODELO, DATOS DE ACTIVIDAD Y PARÁMETROS DE EMISIÓN UTILIZADOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS EMISIONES DE METANO DERIVADAS DE LA PREPARACIÓN DE COMPOST

Las emisiones de CH₄, derivadas de la preparación de compost son típicamente bajas, debido a que una parte importante del DOC de los materiales del desecho se convierte en CO₂. por otra parte, la preparación de compost también afecta la cantidad y composición de los desechos que se depositan en los SDDS y es una práctica de manejo que contribuye a la reducción de las emisiones de CH₄ derivadas de la gestión de los desechos sólidos. en este estudio, se utilizó el método sim-

ple de Nivel 1 incluido en IpCC (2006) en el que las emisiones de CH₄ se estiman mediante la ecuación 7:

$$\text{Emisiones de CH}_4 = \sum [(M_i \cdot FE_i) \cdot 10^{-3}] - R \quad (7)$$

Donde:

emisiones de CH ₄	total de emisiones de CH ₄ durante el año evaluado (Gg);
M _i	Masa de desechos sólidos utilizados en la preparación de compost (Gg);
FE _i	Factor de emisión del proceso de preparación de compost (g de CH ₄ /kg de desecho sólido tratado);
I	preparación de compost;
r	Cantidad total de CH ₄ recuperado en el año evaluado (Gg)

Los factores de emisión por defecto recomendados en IpCC (2006) corresponden a 10 g de CH₄/kg de desecho sólido tratado sobre la base de peso seco y 4 g de CH₄/kg de desecho sólido tratado sobre la base de peso húmedo. en el cálculo se utilizó el valor promedio de esos dos factores, para representar, aproximadamente, la forma en que se utilizan los desechos sólidos tratados a nivel general en el país. Los datos de actividad utilizados en la estimación de estas emisiones fueron suministrados por la DpSC del Mep u obtenidos de ONE (2010a, 2010b, 2011). No se dispuso de información, o datos, sobre la ocurrencia de la preparación de compost utilizando DSM antes del año 2000.

2.3 aNÁLISIS De INCer tIDUMbreS y SeNSIbILIDaD

en la determinación y análisis de incertidumbres de los parámetros de emisión que se utilizan en el Modelo de Desechos del IpCC (IpCC, 2006), se siguieron los procedimientos utilizados en López y Fernández (2010) especialmente los aspectos relacionados con el análisis de sensibilidad de este modelo. el análisis de sensibilidad acometido se realizó sobre el rango de valores plausibles de parámetros claves del modelo, con el objetivo de evaluar las respuestas que se producen en las salidas de este como consecuencia de cambios en los parámetros claves de entrada, y también para determinar los factores que más contribuyen a la variabilidad de las salidas. para seleccionar los valores de los parámetros a utilizar en ese análisis, se utilizó el procedimiento usual de seleccionar los niveles máximo y mínimo del rango (pannel, 1997), de modo que la probabilidad de que un valor real quede fuera del rango determinado en el estudio para los parámetros y variables, es del cinco por ciento.

en el análisis el efecto de una variable o parámetro simple sobre el estimado de emisión obtenido con el modelo, se evaluó variando su valor mientras se mantuvieron constantes los valores del resto de las variables y parámetros. Con relación a la selección de entradas de interés para la evaluación del modelo, estas se diseñaron con el objetivo de comparar tres casos de prueba (bajo; base; alto) para los parámetros seleccionados. el “Caso bajo”, se refiere a las corridas del modelo con los

valores inferiores del rango determinado para esos parámetros. el “Caso a lto” corresponde a las corridas del modelo con los valores superiores del rango determinado para esos parámetros. el “Caso base” se refiere a las corridas del modelo utilizando los valores centrales o puntuales, determinados o asumidos, para cada parámetro o variable. en el análisis se dio prioridad al criterio planteado en IpCC (2006) donde se plantea que “la mejor vía para evaluar el error debido al Modelo de Desechos de IpCC, 2006 es realizando un análisis de sensibilidad de este variando los valores de k dentro de los rangos de error asumidos”. este criterio, fue complementado adicionando también al análisis otros dos parámetros de emisión (DOCf y F), además de los datos de actividad (Da).

tomando en cuenta que cada parámetro y variable que interviene en el modelo se expresa en diferentes unidades no comparables, para evaluar y comparar los efectos de sus cambios sobre las salidas del modelo, se utilizaron índices de sensibilidad especialmente la “elasticidad” que proporciona una medida del cambio porcentual en una variable dependiente (en esta caso la emisión de CH₄) dividido por el cambio porcentual en una variable o parámetro independiente ($e = \% \Delta y / \% \Delta X$) (panel, 1997). La comparación de “elasticidades” de las emisiones con relación a los diferentes parámetros evaluados proporciona una buena indicación acerca de los parámetros para los que las emisiones son más sensibles. Otro de los índices de sensibilidad utilizados, fue el índice simple propuesto por Hofman y Gardner (1983) [$SI = (D_{\max} - D_{\min}) / D_{\max}$], donde D_{max} es el resultado de la salida del modelo cuando el parámetro en cuestión es establecido a su valor máximo y D_{min} es el resultado de la salida del modelo para el valor mínimo del parámetro.

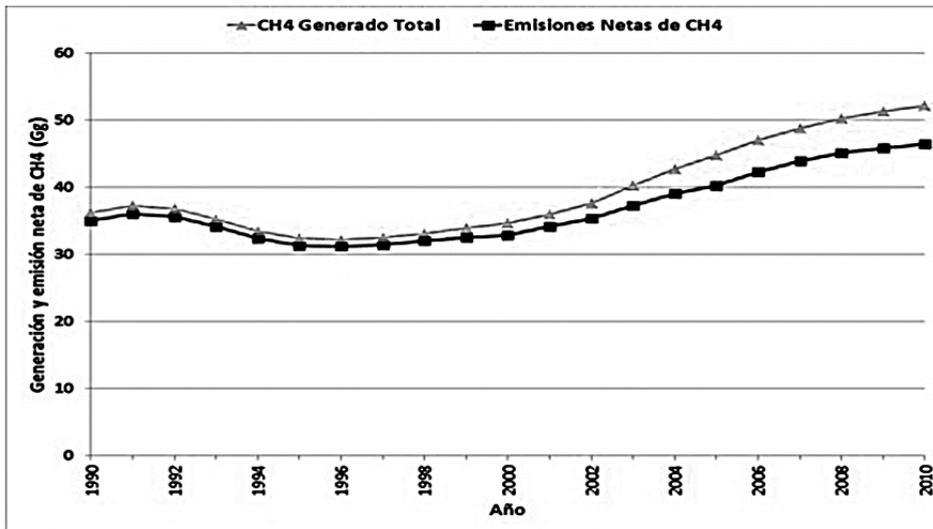
por otra parte, las incertidumbres de las emisiones de CH₄ derivadas de la preparación de compost fueron estimadas aplicando el método de propagación del error del primer orden (método de Nivel 1) en la forma en que aparece descrito en IpCC (2000) y en la herramienta para la determinación de incertidumbres incluida en los protocolos de GeI (WRI-WbCDS, 2008).

3. RESULTADOS

3.1 eMISIONeS De Met aNO DerIv aDaS De LOS DeSeCHOS SÓLIDOS MUNICIpaLeS

La Fig. 3 muestra la comparación entre la generación total estimada de CH₄ derivada de la disposición de DSM en SDDS y la emisión neta estimada de este GeI, desde esta categoría de fuente, en el período 1990 - 2010. Las mayores diferencias que se observan en las emisiones en comparación con la generación, a partir del año 2002, se consideran una consecuencia de varios factores, fundamentalmente el uso extendido de los rellenos sanitarios manuales, el incremento reportado para el reciclado/abonado y el comienzo de la captura/destrucción de CH₄ en un SDDS en los años finales de ese período.

Figura 3. Comparación entre la generación total estimada de CH₄ derivada de la disposición de DSM en SDDS y la emisión neta estimada de este gas desde esta categoría de fuente en el período 1990 – 2010.



a partir de las estimaciones realizadas por tipos de desechos, se concluyó también que el aporte fundamental a la generación de CH₄ en los SDDS del país, proviene de los restos de alimentos y los desechos de papel y cartón dispuestos en estos, con aportes menores a las emisiones derivadas de los desechos de podas (jardines y parques), madera y textiles.

La estimación de las emisiones de CH₄ derivadas de la quema de gas de vertedero en antorchas se basó en la destrucción de este Gel en las antorchas instaladas, desde finales del 2008, en el vertedero de Calle 100 y autopista en La Habana (UNFCCC – CDM, 2009), que fue el sistema de captura y destrucción de gas de vertedero incluido en el período 1990 – 2010. Las emisiones de CH₄ estimadas, desde esa fuente, para los años 2009 y 2010 resultaron no significativas (t abla 6). por otra parte, las emisiones estimadas de CH₄ derivadas de la preparación de compost a partir de DSM en Cuba, resultaron relativamente bajas al compararlas con las derivadas de la disposición de DSM en SDDS (t abla 6).

Tabla 6. emisiones de CH₄ (Gg) derivadas de la gestión de los desechos sólidos municipales a nivel general en Cuba. período 1990 – 2010

Año	Categoría de Fuente			Total
	Disposición final de DSM en SDDS	Quema de gas de vertedero en antorchas	Preparación de compost ¹	
1990	35,1	NO		35,1
1991	36,1	NO		36,1
1992	35,7	NO		35,7
1993	34,2	NO		34,2
1994	32,4	NO		32,4
1995	31,4	NO		31,4
1996	31,2	NO		31,2
1997	31,5	NO		31,5
1998	32,1	NO		32,1
1999	32,6	NO		32,6
2000	32,9	NO	0,2	33,1
2001	34,3	NO	0,5	34,8
2002	35,4	NO	1,0	36,4
2003	37,4	NO	2,3	39,7
2004	39,1	NO	2,5	41,6
2005	40,3	NO	2,5	42,8
2006	42,4	NO	2,6	45,0
2007	44,0	NO	2,7	46,7
2008	45,2	NS	3,0	48,2
2009	45,9	NS	1,8	47,7
2010	46,5	NS	1,6	48,1

1) No se dispuso de información o datos acerca de la preparación, o no, de compost a partir de los DSM en el período 1990 – 1999. NO - No ocurren. NS - No significativas

3.2 reSUL t aDOS ObteNIDOS eN LOS aNÁLISIS De INCer tIDUMBRES y SeNSIBILIDaD

Como se precisó en el epígrafe 2, el método utilizado para la determinación de las incertidumbres de las emisiones de CH₄ derivadas de la preparación de compost fue el de Nivel 1 descrito en IpCC (2000). Este método posibilita calcular un indicador cuantitativo de la incertidumbre de las emisiones totales estimadas utilizando métodos aritméticos clásicos para la combinación de incertidumbres, asumiendo distribuciones Gaussianas típicas, variables independientes, e incertidumbres menores que el 60 por ciento. Para realizar este cálculo, se partió de una estimación de la incertidumbre de los datos de actividad y parámetros de emisión utilizados en la determinación de la emisión de CH₄ realizada para esta categoría de fuente. La incertidumbre del factor de emisión utilizado fue estimada utilizando los rangos para los factores de emisión por defecto proporcionados en IpCC (2006) para esta categoría de fuente:

- 10 (0,08 – 20) g CH₄/kg desechos tratados en base a peso seco;
- 4 (0,03 – 8) g CH₄/kg desechos tratados en base a peso húmedo.

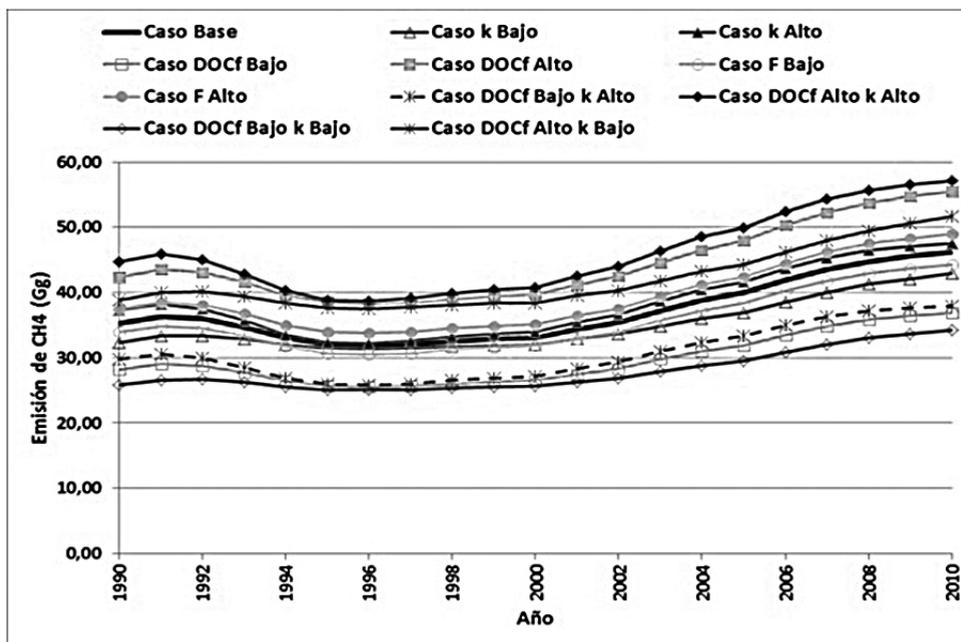
Siguiendo lo indicado en la fuente citada, la incertidumbre del dato de actividad referente a la fracción de los desechos utilizados para la preparación de compost, fue estimada de la misma forma que la referente a la fracción de DSM dispuestos en SDDS. así, se partió de los valores por defecto de incertidumbres para los datos de actividad en esta subcategoría de fuente incluidos en IpCC (2006), los que fueron ajustados dentro del intervalo propuesto tomando en cuenta las características de los datos utilizados y su fuente de procedencia. Se utilizó para estos datos una incertidumbre de $\pm 20\%$.

La incertidumbre obtenida para los estimados de emisiones de CH_4 , derivadas de la preparación de compost es de $\pm 36,1\%$, valor que se clasifica como de calidad media a baja (incertidumbre media a alta) en el esquema para la clasificación de incertidumbres utilizado en López *et al.* (2009). este valor obtenido, es típico para las incertidumbres en las emisiones de CH_4 derivadas del sector Desechos.

La evaluación del error debido al modelo utilizado en la estimación de las emisiones de CH_4 derivadas de la disposición final de DSM en SDDS, fue abordada siguiendo el procedimiento descrito en López y Fernández (2010), mediante un análisis de sensibilidad del mismo, variando los valores de los parámetros de emisión seleccionados (especialmente k), y combinaciones de estos, dentro de los intervalos de error supuesto. La aplicación del índice de sensibilidad (IS) y la elasticidad (e) a los resultados obtenidos con el modelo, permitió concluir que, aunque el modelo es sensible a los cuatro parámetros y datos de actividad analizados, resultó mucho más sensible al parámetro DOC_f y a los datos de actividad (Da), los que presentaron valores relativamente altos tanto del índice de sensibilidad (IS) como de la elasticidad (e) y también dan origen a diferencias porcentuales en la emisiones con relación al caso base $\geq 20\%$, criterios ambos utilizados en López y Fernández (2010) para la selección de los parámetros más sensibles. a partir de esos resultados, en la continuación del análisis de sensibilidad se evaluaron los siguientes casos con variaciones combinadas de los parámetros DOC_f y Da mientras se mantuvieron el resto de los parámetros con los valores correspondientes al caso "base": a) DOC_f a lto, Da a lto; b) DOC_f b ajo, Da a lto; c) DOC_f a lto, Da b ajo; d) DOC_f b ajo, Da b ajo. La Fig. 4 muestra los resultados obtenidos en las modelaciones realizadas para el análisis de sensibilidad del modelo. Como se observa, las curvas que representan las emisiones están limitadas por los casos DOC_f b ajo, Da b ajo y DOC_f a lto, Da a lto, con una diferencia con las emisiones del caso base en el año 2010 de -52% y $35,3\%$ respectivamente.

a partir de los resultados obtenidos en el análisis de sensibilidad, se determinó el rango de incertidumbre, y el límite de confianza del 95%, de las emisiones de CH_4 derivadas de los SDDS a nivel general en Cuba en el año 2010. en este análisis se partió de los casos que producen los valores extremos de emisiones y se siguieron los criterios de pulles (2003) asumiendo una distribución lognormal para las emisiones.

Figura 4. resultados de análisis de sensibilidad del Modelo de Desechos del IpCC 2006 a nivel general en Cuba para cambios individuales y combinados de los parámetros de emisión seleccionados y los datos de actividad



Considerando la asimetría y el origen logaritmo de la distribución lognormal, la emisión de CH₄ estimada para el año 2010, resultó [46,47 (-40,5%, +68%) Gg] o [46,47 (27,64 – 78,07) Gg]. Los valores de incertidumbre obtenidos pueden clasificarse entre medios y altos para el intervalo inferior y como altos a muy altos para el intervalo superior a partir del esquema para la clasificación de incertidumbre utilizado en López *et al.* (2009). No obstante, están en el rango de los reportados para este tipo de modelos en la bibliografía especializada sobre el tema, y están en correspondencia con los criterios expresados en IpCC (2000) que indican que “estas incertidumbres pueden alcanzar hasta un factor de dos, aún cuando los datos nacionales estén correctamente caracterizados”.

4. CONCLUSIONES

1) Las emisiones netas de CH₄, derivadas de la disposición de DSM en SDDS en Cuba, verificaron una tendencia general al crecimiento entre los años 1990 y 2010, con un período de disminución entre 1992 y 1996. en el año 2010, se estimó una emisión de 46,47 Gg CH₄ (32,5% mayor que en el año base 1990 y 41,2% mayor que en el año base 2000).

2) el comportamiento observado en esas emisiones de CH₄, en el período 1990 - 2010, es una consecuencia tanto del crecimiento de la población urbana en Cuba en

ese período, como de los cambios ocurridos en la generación per cápita de desechos entre estos, la importante disminución observada en la generación en los años más críticos de la crisis económica experimentada por el país en la década de los noventa.

3) Las mayores diferencias que se observan en esas emisiones de CH₄ a partir del año 2002, en comparación con la generación de este Ge I, se consideran una consecuencia de varios factores, fundamentalmente la extensión de uso de los rellenos sanitarios manuales, el incremento reportado para el reciclado/abonado y el comienzo de la captura/destrucción de CH₄ en un SDDS en los años finales del período analizado.

4) el aporte fundamental a la generación de CH₄ en los SDDS del país, proviene de los restos de alimentos y los desechos de papel y cartón dispuestos en estos, con aportes menores de los desechos de podas (jardines y parques), madera y textiles.

5) Las emisiones estimadas de CH₄ derivadas de la preparación de compost, utilizando DSM en Cuba, resultaron bajas. La incertidumbre obtenida para estos estimados resultó ±36,1%, valor que se clasifica como de incertidumbre media a alta.

6) para la emisión de CH₄ derivada de la disposición de DSM en SDDS en el año 2010, se estimó una incertidumbre de -40,5%, +68%, valores que puede clasificarse entre medios y altos para el intervalo inferior y como altos a muy altos para el intervalo superior. La incertidumbre estimada está en el rango de la reportada para este tipo de modelos en la bibliografía especializada sobre el tema, y está en correspondencia con los criterios expresados en IpCC (2000) que indican que esta puede alcanzar hasta un factor de 2, aún cuando los datos nacionales estén correctamente caracterizados.

5. BIBLIOGRAFÍA

- a COSt a , U., Sa Nt a Na , J. L., y De LGa DO, S. (2011). 'Gestión de los residuos Sólidos Urbanos en el Centro Histórico de La Habana', en: Memorias. v III Convención Internacional sobre Medio ambiente y Desarrollo. palacio de Convenciones de la Habana, Cuba, 4-8 de Julio de 2011. ISb N: 978-959-300-018-5.
- De LGa DO, J. a., O. Díaz, S. arzUaGa, y D. MOraLeS (2000). 'relleno Sanitario Manual. Solución a la Disposición Final de residuos Sólidos en poblaciones Hasta 20 Mil Habitantes. experiencia Cubana', en: XXv II Congresso Interamericano dem engenharia Sanitária e ambiental. abeS.http://www.cepis.ops-oms.org/curso_rsm/e/fulltext/iii-135.pdf
- DpSC – CH (1990). 'Comportamiento de los residuos sólidos urbanos en la Ciudad de La Habana'. Informe. Dirección provincial de Servicios Comunales. Ciudad de La Habana. Cuba., 32 pp.
- DpSC-CH (2000). 'Caracterización física de los residuos sólidos urbanos'. Informe. Dirección provincial de Servicios Comunales. Ciudad de La Habana. Cuba.
- DpSC-SS (2001). 'Caracterización física de los residuos sólidos urbanos'. Informe. Dirección provincial de Servicios Comunales. Sancti Spiritus, Cuba.
- FrOILaND JeNSEn, J. y r. pIpaatl (2002). 'CH₄ emissions from Solid WasteDisposal', en: background papers. IpCC expert Meeting on Good practiceGuidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. IpCC-IGeS, Hayama, Japan.

- GOICOHEA, O. y M. FABREGA T (2011). 'análisis del Ciclo de vida en el Desarrollo de alternativas para el Manejo Integral de los residuos Sólidos Urbanos. estudio de Caso. La Habana', en: Memorias. v III Convención Internacional sobre Medio ambiente y Desarrollo. palacio de Convenciones de la Habana, Cuba, 4-8 de Julio de 2011. ISBN: 978-959-300-018-5.
- HOFFMAN, F. O. y R. H. GARDNER (1983). 'evaluation of uncertainties in environmental radiological assessment models', en: J. E. Till and H. R. Meyer (eds.), radiological assessments: a textbook on environmental dose assessment. US Nuclear regulatory Commission, Washington D.C., report no. NUREG/Cr-3332, pp. 11.1-11.55.
- IpCC (2000). 'Good practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories'. IpCC National Greenhouse Gas Inventories programme. IGES, Japan.
- IpCC (2006). '2006 IpCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. volumes I, II, III, IV, v'. IpCC – NGGIP, Japan.
- JICA-CITMA CH-DPSC (2006). 'estudio de Desarrollo del plan Maestro para el Manejo Integral de los residuos Sólidos Urbanos en Ciudad de La Habana', Informe de progreso No.1. La Habana. Cuba. 2006.
- JOA, J., y A. FALCÓN (2008). 'estudio de la situación de la recogida de materias primas en el polo turístico de Ciudad de la Habana'. empresa de Ingeniería y Servicios de Desmantelamiento. MINBAS. La Habana.
- LÓPEZ, M., M. DEL C. ESPINOSA, R. ESCOBEDO y J. DELGADO (2004). 'Gestión integral de los residuos urbanos sólidos y líquidos en Cuba'. tecnol. Ciencia ed.(IMIQ). vol. 19, No. 1, 2004, 5-13.
- LÓPEZ, C., y P. V. FERNÁNDEZ (2010). 'parámetros de emisión de Metano para los rellenos Sanitarios Manuales'. resultado de Investigación. Instituto de Meteorología. Centro de Química y Contaminación atmosférica. equipo técnico Inventario de Gases de Invernadero, Ciudad de La Habana, Octubre de 2010, 165 pp.
- LÓPEZ, C., S. F. PIRE, J. M. AMENÉROS, J. A. DELGADO, y M. RAMÍREZ (2005) emisiones de Metano a Nivel General en Cuba provenientes de la Disposición en la tierra de Desechos Sólidos', en: Memorias del "tercer Congreso de Meteorología, Ciudad de La Habana, 5-9 Diciembre 2005".
- LÓPEZ, C., P. V. FERNÁNDEZ, R. W. MANZO, A. VALDÉS, A. LEÓN, A. V. GUEVARA, C. GONZÁLEZ, M. E. GARCÍA, G. LEGAÑO, T. M. GONZÁLEZ, J. DAVALOS, R. BLART, I. LÓPEZ, D. PÉREZ, H. RICARDO, S. F. PIRE, J. M. AMENÉROS, A. MERCADERE, y A. ALVAREZ (2009). 'emisiones y remociones de Gases de Invernadero en Cuba'. reporte actualizado para el período 1990 – 2002, CITMA/AMA/Instituto de Meteorología. La Habana, 338 pp.
- NIPON (2004). 'estudio de plan maestro sobre manejo integral de los residuos Sólidos Urbanos (rSUSU) en la Ciudad de La Habana, Cuba'. Informe de avance (1), vol. 1 julio 2004. Nipon Koei Co., Ltd. pacific Consultants International. vol. 1:1.3-22 – 1.3-24. vol2: 6-11.

- OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN (NC) (2002). 'residuos Sólidos Urbanos. almacenamiento, recolección y transporte. requisitos Higiénico-Sanitarios y ambientales'. Norma Cubana 132:2002, edición Marzo 2002, Ciudad de La Habana, Cuba, 13 pp.
- ONE (2010a). 'anuario estadístico de Cuba. año 2009'. Oficina Nacional de estadísticas, La Habana, Cuba. edición 2010
- ONE (2010b). 'panorama ambiental. Cuba 2009'. Oficina Nacional de estadísticas, Dirección de Industrias. edición Junio 2010, 53 pp.
- ONE (2011). 'anuario estadístico de Cuba. año 2010'. Oficina Nacional de estadísticas, La Habana, Cuba. edición 2010.
- OPS – OMS (1997). 'análisis Sectorial de residuos Sólidos en Cuba'. Serie análisis Sectoriales No. 13, Octubre 1997, Washington D. C., 206 pp.
- OPS (2002). 'evaluación regional de los Servicios de Manejo de residuos Sólidos Municipales. Informe analítico de Cuba'. evaluación 2002. Organización panamericana de la Salud, 18 pp.
- PALEZOS, F., GARCÍA, E., O. GARCÍA, V. FRAQUELA, A. RUIZ, C. SARDUY, y F. POTTILLÉ (2003?). 'Manejo de residuos Sólidos Urbanos en la zona Litoral de la bahía de La Habana'. Cimab, XIX Forum de Ciencia y técnica del MITRANS, La Habana, 7 pp.
- PANELL, D.J. (1997). 'Sensitivity analysis of Normative economic Models. theoretical framework and practical strategies', en: *Agricultural economics* 16: 139-152.
- PULLES, T. (2003). 'Note on Conservativeness'. *TNO environment, energy and process Innovation. the Netherlands*, 8pp.
- STEGE, G. A. (2009). 'Methane to Markets. Modelo Mexicano de biogás – versión 2'. SCS engineers, Guadalajara, Jalisco, 26 de marzo de 2009, 35 pp.
- UNFCCC – CDM (2009). 'project 2260: Methane capture and destruction on Calle 100 landfill in Havana and Gascon landfill in Santiago de Cuba'. bundle CDM project. <http://cdm.unfccc.int/projects/DbSGS-UKL224255186.93>
- WORLD BANK (1995). 'the economics of MSW'. *the World bank research Observer*, vol. 2, 1995. World bank (1996). 'World Development report 1996'.
- WRI - WBCSD (2004). 'the Greenhouse Gas protocol. a Corporate accounting and reporting Standard'. revised edition. World resources Institute and World business Council for Sustainable Development, March 2004, USA, 116 pp. <http://www.ghgprotocol.org>.
- WRI - WBCSD (2008). 'GHG protocol Uncertainty tool'. World resources Institute and business Council for Sustainable Development. <http://www.ghgprotocol.org>.