

Algoritmos de cálculo de las emisiones de metano y óxido nítrico de la gestión de los purines en explotaciones porcinas bajo condiciones españolas

Verónica Moset Hernández^{1,2,*}, María Cambra López², Salvador Calvet², Ángeles Cristóbal³, Ana Rodríguez⁴, Antonio G. Torres²

¹Centro de Tecnología Animal - IVIA. Polígono de la Esperanza, 100. 12400 - Segorbe. Castellón.

²Instituto de Ciencia y Tecnología Animal - UPV. Camino de Vera, s/n. 46022 - Valencia.

³Ministerio Medio Ambiente. Área Calidad del Aire. Plaza San Juan de la Cruz, s/n. 28071 - Madrid.

⁴Ministerio Medio Ambiente. Área de Residuos. Plaza San Juan de la Cruz, s/n. 28071 - Madrid.

* Autor de contacto: vmoset@ivia.es

Resumen

La ganadería porcina representa una fuente importante de las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera, mayoritariamente debida a la gestión de las deyecciones ganaderas. Durante el almacenamiento de las deyecciones sólidas (estiércol) o líquidas (purín) éstos se descomponen en sustancias más simples gracias a las bacterias presentes en las heces, liberando estos gases. Las condiciones de almacenamiento y el manejo del mismo son determinantes. La estimación de las emisiones de estos gases es obligatoria y debe realizarse en los Inventarios Nacionales de Emisiones a la Atmósfera. Para ello, el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) proporciona una serie de ecuaciones para el cálculo de las emisiones de estos gases que dependen principalmente, en el caso del metano (CH_4), de los sólidos volátiles excretados, mientras que en el óxido nítrico (N_2O), del nitrógeno excretado. En ambos casos, estas ecuaciones están referidas a unos sistemas de gestión determinados. La aplicación de estas ecuaciones a las características de la gestión de los purines de la ganadería porcina española no es posible del todo ya que no se contemplan las condiciones secuencial y concatenada de éstos. El objetivo de este trabajo es presentar unos algoritmos alternativos a los propuestos en la metodología IPCC, para la estimación de las emisiones de CH_4 y N_2O derivadas de la gestión del purín, adaptados a los sistemas de gestión y a las peculiaridades y condiciones de la ganadería porcina española.

Palabras clave

Emisiones; Gestión de purín; IPCC; Metano; Óxido nítrico.

INTRODUCCIÓN

El metano (CH_4) y el óxido nítrico (N_2O) contribuyen de forma muy significativa al efecto invernadero, así como el N_2O a la reducción del ozono estratosférico (Seinfeld y Pandis, 1998). En los últimos 200 años, la concentración atmosférica del CH_4 y del N_2O se ha visto incrementada en un 151 y un 17% respectivamente (IPCC, 2001). La ganadería es responsable de una cierta proporción de las emisiones totales de gases de efecto invernadero a la atmósfera debido a la fermentación entérica y a la gestión de las deyecciones ganaderas. En particular, la gestión de las deyecciones ganaderas contribuye al 23% de CH_4 y al 28% de N_2O de las emisiones totales de estos gases en España (UNFCCC, 2007).

Estos gases se producen y liberan durante todas las etapas de gestión de las deyecciones ganaderas, principalmente en los alojamientos y en el almacenamiento, y sus emisiones dependen de factores relacionados con las condiciones de almacenamiento y el manejo del mismo. Durante el almacenamiento de las deyecciones ganaderas sólidas (estiércol) y líquidas (purín), se producen reacciones de descomposición de la materia orgánica, así como procesos de nitrificación y desnitrificación de los compuestos nitrogenados por acción de los microorganismos presentes en las deyecciones, cuando las condiciones ambientales son favorables. Estas reacciones dan lugar a la formación de diferentes productos, entre ellos, la emisión de sustancias gaseosas, principalmente de CH_4 , N_2O y amoníaco (NH_3). La magnitud y naturaleza de la emisión de estos gases depende

fundamentalmente de la composición de las deyecciones ganaderas, de sus características fisicoquímicas, de su contenido en agua y su consistencia, del sistema de gestión de las deyecciones que se realice, así como de las condiciones meteorológicas, principalmente la temperatura y la tasa de aireación (Hellebrand y Kalk, 2001; Park *et al.*, 2006). La presencia o no de oxígeno es fundamental para la producción de estos gases de efecto invernadero, y depende principalmente del tipo de gestión y/o almacenamiento a que se encuentren sometidas las deyecciones. Así, las emisiones de N_2O son mucho mayores en sistemas de almacenamiento de deyecciones sólidas en forma de estiércol seco y bajo condiciones de aireación, sin embargo las mayores producciones de CH_4 se producen bajo condiciones de anaerobiosis y con purines líquidos o semilíquidos (Monteny *et al.*, 2001).

En el marco del Protocolo de Kioto (1997), los países firmantes se comprometen a reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero. Además, para combatir el calentamiento global, estas emisiones deben ser cuantificadas y evaluadas. En este sentido, la estimación de las emisiones de CH_4 y N_2O es obligatoria y debe realizarse en los Inventarios Nacionales de Emisiones a la Atmósfera. Sin embargo, su estimación resulta especialmente difícil en el caso de la ganadería española. El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (*Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC*) proporciona una serie de ecuaciones sencillas para el cálculo de las emisiones de estos gases para todos los países miembros, basadas en el número de animales y en unos “factores de emisión” (emisión por animal y año), estimados a partir de los sistemas de gestión de los estiércoles y purines.

Actualmente en España, las emisiones de CH_4 y N_2O procedentes de la gestión de los estiércoles y purines se calculan mediante la metodología del IPCC, aplicando el método más detallado y complejo (Tier 2). En determinadas situaciones se aplica directamente la metodología IPCC porque los sistemas de gestión de los estiércoles y purines están clarísimamente diferenciados en el tiempo y se trata de sistemas excluyentes. Sin embargo, se presentan otros casos, en los que lo habitual es que no sean excluyentes. Es el caso por ejemplo de los sistemas de producción de porcino intensivos en España, donde el sistema predominante es claramente un proceso concatenado, consistente en un almacenamiento bajo fosa (de menor o mayor duración según el tipo de animal) seguido de sistemas de almacenamiento líquidos (Figura 1). En consecuencia, la aplicación de las ecuaciones anteriores, en estas situaciones, resulta complicada.

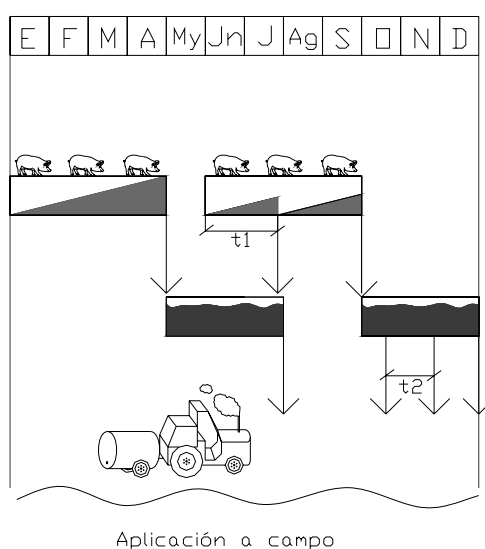


Figura 1. Sistema secuencial de gestión de purines en porcino a lo largo de un año, con los distintos tiempos de permanencia por etapa (t_1 y t_2).

El objetivo de este trabajo es presentar unos algoritmos alternativos, derivados de los propuestos en la metodología IPCC Tier 2, para la estimación de las emisiones de CH₄ y N₂O de la gestión de los estiércoles y purines, adaptados a los sistemas de gestión del purín y a las peculiaridades y condiciones de la ganadería porcina española.

MATERIALES Y MÉTODOS

Modelo IPCC

Según la metodología del IPCC (IPCC, 2006), las emisiones de CH₄ para una determinada categoría de animales (T) se calculan mediante la suma de los productos del número de animales (N) por un factor de emisión ($EF_{(T)}$). Atendiendo a este modelo, los principales factores que afectan a las emisiones de CH₄ son la cantidad de purín producida y la proporción de éste que se descompone de forma anaeróbica, lo que depende a su vez de cómo se gestionen las deyecciones ganaderas. En este sentido, la excreción de sólidos volátiles (VS) y el sistema de gestión de los purines (S) son los más influyentes. También la temperatura es determinante, y el potencial de producción de CH₄ del purín va a depender de la región climática en la que se encuentre. Es decir:

$$Emisión\ CH_4(kg/año) = \sum_{(T)} N_{(T)} \times \underbrace{\left[(VS_{(T)} \times 365) \times [B_{0i} \times 0,67 \times \sum_{S,k} \frac{MCF_{S,k}}{100} \times MS_{(T,S,k)}] \right]}_{EF_{(T)}} \quad [1]$$

Donde:

$N_{(T)}$ = número de animales de la categoría T ; VS_T = producción diaria de sólidos volátiles para la clase de animales T [kg VS/día]; 365 = días del año [días/año]; $B_{0(T)}$ = potencial de producción de metano de los sólidos volátiles excretados [m³ CH₄/kg VS]; $0,67$ = densidad del metano [kg/m³]; MCF_{Sk} = porcentaje B_{0i} que se emite, en función de S y de k ; S = sistema de gestión de los purines; k = zona climática; MS_{TSk} = proporción de animales de la población y que utilizan el sistema j en la zona climática k .

Por otro lado, las emisiones directas de N₂O para una determinada categoría de animales (T) se calculan en función del nitrógeno excretado (Nex), del sistema de gestión del purín (S), del factor de emisión (EF) y del número de animales (N). Los principales factores que afectan a las emisiones de N₂O son el contenido de nitrógeno y de carbono del purín, la duración del almacenamiento y del sistema de gestión. Estas emisiones se calculan independientemente de la temperatura mediante la expresión:

$$Emisión\ N_2O(kg/año) = \left[\sum_S \left[\sum_T (N_{(T)} \times Nex_{(T)} \times MS_{(T,S)}) \right] \right] \times EF_{(S)} \times \frac{44}{28} \quad [2]$$

Donde:

$N_{(T)}$ = número de animales de la categoría T ; $Nex_{(T)}$ = nitrógeno excretado anual por cabeza de animal de la categoría T [kg N/animal/año]; $MS_{(T,S)}$ = proporción del nitrógeno total excretado anualmente por los animales de la categoría T que es gestionado mediante el sistema de gestión de estiércoles S ; $EF_{(S)}$ = factor de emisión directo de N₂O del sistema de gestión S [kg N-N₂O/kg N]; $44/28$ = conversión de emisiones de N-N₂O a emisiones de N₂O.

Componentes clave para las estimaciones

En base a las ecuaciones que se plantean en la metodología del IPCC, son necesarios una serie de inputs o datos de actividad. Entre ellos, el primero es la caracterización del ganado y el número de animales de cada categoría (N). Estos datos se recogen del Anuario de Estadística Agroalimentaria que publica anualmente el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Para el resto de datos necesarios, en ausencia de fuentes a nivel nacional, el IPCC proporciona unos valores por defecto que pueden utilizarse (por ejemplo para los sólidos volátiles, el nitrógeno excretado o los factores

de emisión). No obstante, el IPCC anima a la utilización de datos y factores propios, específicos del país, cuando existan, para obtener unas emisiones más precisas y fiables. Hasta el momento, no se dispone de datos españoles sobre la mayoría de los datos de actividad necesarios para el cálculo, y estos se estiman a partir de los valores por defecto que propone el IPCC.

A parte, para ajustarse más fielmente a la realidad de la gestión de los purines, es preciso definir la variación de algunas de las variables de actividad con el tiempo. Los purines se descomponen y experimentan cambios físicos, químicos y microbiológicos al atravesar distintas etapas, en función del tiempo (Martinez *et al.*, 2003), tal y como se ilustra en la Figura 1. Las características y volumen de los purines variarán considerablemente con el tiempo de permanencia en cada etapa de gestión, en función del propio sistema de gestión en sí mismo, de la temperatura, precipitación y de las posibles variaciones estacionales. Si estos factores no se tienen en cuenta, se puede sobreestimar las emisiones (Husted, 1994), ya que la metodología del IPCC no explicita si incluye la influencia dinámica de un ciclo completo de las deyecciones. De esto se extrae que los factores de emisión que proporciona el IPCC no contemplan las posibles diferencias que pudieran existir en los ciclos de almacenamiento y/o gestión de los purines entre países. Es por ello, que se considera una estimación más bien estática que sólo representa una tasa general de emisión a lo largo de un año y no contempla la dinámica asociada a los periodos de almacenamiento en los que se producen cambios de temperatura, y cambios en variables tan influyentes en las emisiones como los sólidos volátiles para el CH₄ o el nitrógeno excretado para el N₂O, y en consecuencia, de las tasas de emisión.

En este sentido, es necesario definir para cada sistema de producción, en primer lugar la distribución de los sistemas de gestión y el tiempo medio de cada etapa, así como la proporción de animales que utilizan un determinado sistema de gestión (*MS*). Es decir, el tiempo de permanencia del purín en las naves debajo de las fosas, en balsas exteriores, la posible adición de otros sustratos, etc.; y la proporción del purín total que se encuentra en cada etapa. En segundo lugar, es preciso determinar la evolución con el tiempo de los factores que intervienen en el cálculo. Así, la evolución de los sólidos volátiles (*VS*), del potencial de producción de CH₄ (*B₀*), y su adaptación a las zonas climáticas españolas (*MCF*) son imprescindibles para realizar la estimación. En el caso del N₂O, es necesario conocer el contenido en nitrógeno del purín recién excretado (*N_{ex}*), y su evolución, así como las pérdidas que se puedan producir en el transcurso del tiempo, según cómo se gestione.

Otros modelos (aproximación bibliográfica)

Algunos autores han tratado de abordar este tema mediante distintas aproximaciones para evaluar los parámetros más influyentes en el cálculo de las emisiones de estos gases y realizar estimaciones más precisas. En este sentido, se ha intentado determinar la evolución de los sólidos volátiles de los purines, la capacidad de producción de CH₄ por masa de *VS*, y por seguimientos del flujo de nitrógeno, en condiciones de sistemas de gestión diferentes, así como en el curso del tiempo y en función de la temperatura (Mangino *et al.*, 2001; Petersen *et al.*, 2004; Sommer *et al.*, 2004).

La dependencia de las emisiones de CH₄ con la temperatura se encuentra reflejada en la metodología IPCC dentro del factor de conversión de CH₄ (*MCF*). Sin embargo, esta relación puede expresarse de una manera más clara. Husted (1994) proporciona datos de *VS* para purines almacenados y determinó *B₀* para purines en función de la temperatura, identificando una buena relación entre la temperatura ambiente y la del purín. Park *et al.* (2006) corroboraron esta relación, igual que Sommer *et al.* (2000), correlacionando la temperatura del purín con las emisiones de CH₄ para purines líquidos, identificando además una relación positiva entre las dos. Sin embargo, Safley y Westerman (1990), no encontraron relación con la temperatura para *B₀* en uno de los casos estudiados, debido probablemente a la influencia de otros factores. Otros autores han intentado relacionar la producción de CH₄ en base a los sólidos volátiles degradables en otras formas, como

grasa, proteína e hidratos de carbono, así como con distintas formas del nitrógeno (Sommer *et al.*, 2002). En este sentido, se han identificado relaciones exponenciales de la tasa de emisión de metano con la temperatura (Haeussermann *et al.*, 2006; Sommer *et al.*, 2000), expresadas en la ecuación de Van't Hoff-Arrhenius, habitualmente utilizada para expresar la dependencia de procesos biológicos con la temperatura, modificada por Sommer *et al.* (2002 y 2004):

$$\text{Tasa de emisión (g CH}_4\text{ / kg VS h)} = VS_D \times b_1 \times \exp\left[\ln A - E \times \left(\frac{1}{RT}\right)\right] + VS_{ND} \times b_2 \times \exp\left[\ln A - E \times \left(\frac{1}{RT}\right)\right] \quad [3]$$

Donde:

VS_D = concentración de sólidos volátiles degradables [g/ kg purín]; VS_{ND} = concentración de sólidos volátiles no degradables [g/ kg purín]; b_1, b_2 = factores de corrección para las proporciones de VS degradables y no degradables [adimensionales]; A = parámetro de Arrhenius; E = energía de activación; R = constante de los gases; T = temperatura [K].

Para el N_2O , la influencia de la temperatura en purines es menos clara. La información disponible es contradictoria y dada la complejidad de los procesos, todavía se desconoce las condiciones de los procesos implicados en su producción (Monteny *et al.*, 2001). Algunos autores no han encontrado relación entre estos dos parámetros (Sommer *et al.*, 2000) mientras que en otros estudios se ha visto una dependencia de la emisión de N_2O con las condiciones climáticas (Skiba *et al.*, 2006) y que los procesos de nitrificación y desnitrificación se aceleran a medida que aumenta la temperatura ambiente (Petersen *et al.*, 1998; Kebreab *et al.*, 2006).

No obstante, la mayoría de estos estudios se basan en ensayos a escala de laboratorio realizados sobre la fermentación de purines, o en datos de digestores anaerobios. Jungbluth *et al.* (2001) señala la falta de información de emisiones de gases de efecto invernadero de alojamientos y almacenes de deyecciones basadas en mediciones durante periodos de tiempo lo suficientemente prolongados. La heterogeneidad de los sustratos utilizados en los ensayos, así como la imposibilidad de relacionarlo con purines de distintas edades, procedencias y procesos de evolución, no permiten la utilización de estos datos.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Con esta información, se proponen los siguientes algoritmos de cálculo para calcular las emisiones de CH_4 y N_2O en condiciones españolas. Para el CH_4 :

$$\text{Emisión CH}_4\text{ (kg / año)} = [(EF_{(T)/S1} \times t_{S1}) + (EF_{(T)/S2} \times t_{S2}) + \dots + (EF_{(T)/Sn} \times t_{Sn})] \times N_{(T)} \quad [4]$$

Donde:

$EF_{T/Si \ i=1 \rightarrow n}$ = factor de emisión diario de la población de animales y del sistema de gestión S [kg CH_4 /día] para la zona climática k ; $t_{Si \ i=1 \rightarrow n}$ = tiempo que sigue el sistema S [días/año] en la zona climática k ; $N_{(T)}$ = población emisora (número de animales de la categoría T).

A su vez, el $EF_{(T)/Sn}$ se calcularía de la siguiente manera:

$$EF_{i/Sn} \text{ (kg cabeza / día)} = VS_i \times [B_{O_i} \times 0,67 \times \sum_{S,k} \frac{MCF_{S,k}}{100} \times 1] \quad [5]$$

Donde:

VS = producción diaria de sólidos volátiles de la materia seca orgánica que emite el metano [kg VS/día]; es decir, lo que corresponde a la cantidad de sólidos volátiles que entran en cada fase, que sería igual al de sólidos volátiles excretados menos los que van emitiendo durante las fases en cuestión; B_{O_i} = potencial de producción de metano de los sólidos volátiles [$m^3 CH_4$ /kg SV]; $0,67$ =

densidad del metano [kg/m^3]; $MCF_{S,k}$ = proporción de B_{O_i} que se emite, en función de S y de k ; I = como toda la población y utiliza el sistema S , la proporción $MS_{S,k}$ es la unidad.

En el caso del N_2O , el procedimiento es similar; la propuesta es:

$$\text{Emisión } \text{N}_2\text{O} \text{ (kg/año)} = [(N_{exci} \times 1 \times EF_{(T)/S1} \times t_{S1}) + (N_{inpi} \times 1 \times EF_{(T)/S2} \times t_{S2}) + \dots + (N_{inpn} \times 1 \times EF_{(T)/Sn} \times t_{Sn})] \times N_{(T)} \times \frac{44}{28} \quad [6]$$

Donde:

N_{exci} = nitrógeno excretado por la categoría animal T [$\text{kg N}/\text{día}$] que correspondiente a aquel que entra en cada fase; N_{inpin} = nitrógeno que entra en la correspondiente fase (excedente de la fase anterior); I = como toda la población y utiliza el sistema SI , la proporción $MS_{S,k}$ es la unidad; $EF_{i/Si}$ $i=1 \rightarrow n$ = factor de emisión anual de la población de animales y del sistema de gestión S [$\text{kg N}_2\text{O}/\text{Kg N}$]; t_{Si} $i=1 \rightarrow n$ = tiempo que sigue el sistema S [días/año]; $N_{(T)}$ = población emisora (número de animales de la categoría T); $44/28$ = conversión de emisiones de $\text{N-N}_2\text{O}$ a emisiones de N_2O .

Los algoritmos que proporciona el IPCC representan una aproximación global o integrada de la realidad de las emisiones de los purines en España. No obstante, la naturaleza estática de esta estimación se aleja de las emisiones de CH_4 y N_2O procedentes de la producción porcina intensiva española. Para corregir estas carencias, es importante incluir el factor temporal del ciclo de gestión de los purines, integrando las variaciones en los parámetros más relevantes dentro de las estimaciones, sobretodo en función de la temperatura. Además, la falta de datos es evidente y resulta necesario obtenerlos bajo condiciones españolas. El conocimiento exhaustivo de la composición de los purines en cuanto a los parámetros más influyentes como VS , su relación con B_0 y el contenido en nitrógeno, es fundamental.

Para mejorar la exactitud y fiabilidad de la estimación de las emisiones de estos gases procedentes de la gestión de los purines, es necesario utilizar algoritmos como los que se presentan, que reflejen con un mayor grado de representatividad, las variaciones a lo largo de los ciclos de producción de los purines en condiciones españolas.

REFERENCIAS

- Haeussermann, A., Hartung, E., Gallmann, E., Jungbluth, T. (2006). Influence of season, ventilation strategy, and slurry removal on methane emissions from pig houses. *Agriculture Ecosystems & Environment*, **112**(2-3), 115-121.
- Hellebrand, H.J., Kalk, W.T. (2001). Emission of methane, nitrous oxide and ammonia from dung windrows. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, **60**(1-3), 83-87.
- Husted, S. (1994). Seasonal-variation in methane emission from stored slurry and solid manures. *Journal of Environmental Quality*, **23**(3), 585-592.
- IPCC (2001). Climate change 2001: the scientific basis. **In:** Houghton, J.T., Ding, Y., Griggs, D.J., Noguer, M., van der Linden, P.J., Xiaousu, D. (eds.). *Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. Ginebra, Suiza. pp. 944.
- IPCC (2006). Emissions from livestock and manure management. **In:** *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Vol.4, Agriculture, Forestry and Land Use. Kanagawa, Japón.
- Jungbluth, T., Hartung, E., Brose, G. (2001). Greenhouse gas emissions from animal houses and manure stores. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, **60**(1-3), 133-145.
- Kebreab, E., Clark, K., Wagner, R.C., France, J. (2006). Methane and nitrous oxide emissions from Canadian animal agriculture: A review. *Canadian Journal of Animal Science*, **86**(2), 135-158.
- Mangino, J., Bartram, D., Brazy, A. (2001). Development of a methane conversion factor to estimate emissions from animal waste lagoons. *USEPA*, 1-14.
- Martinez, J., Guiziou, F., Peu, P., Gueutier, V. (2003). Influence of treatment techniques for pig slurry on methane emissions during subsequent storage. *Biosystems Engineering*, **85**(3), 347-354.

- Monteny, G.J., Groenestein, C.M., Hilhorst, M.A. (2001). Interactions and coupling between emissions of methane and nitrous oxide from animal husbandry. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, **60**(1-3), 123-132.
- Park, K.H., Thompson, A.G., Marinier, M., Clark, K., Wagner-Riddle, C. (2006). Greenhouse gas emissions from stored liquid swine manure in a cold climate. *Atmospheric environment*, **40**(4), 618-627.
- Petersen, S.O., Lind, A.M., Sommer, S.G. (1998). Nitrogen and organic matter losses during storage of cattle and pig manure. *Journal of Agricultural Science*, **130**(1), 69-79.
- Safley, L.M., Westerman, P.W. (1990). Psychrophilic anaerobic-digestion of animal manure - proposed design methodology. *Biological Wastes*, **34**(2), 133-148.
- Seinfeld, J.H., Pandis, S.N. (1998). *Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollution*. John Wiley & Sons, pp. 1326.
- Skiba, U., DiMarco, C., Hargreaves, K., Sneath, R., McCartney, L. (2006). Nitrous oxide emissions from a dung heap measured by chambers and plume methods. *Agriculture Ecosystems & Environment*, **112**(2-3), 135-139.
- Sommer, S.G., Moller, H.B., Petersen, S.O. (2002). Reduction in methane and nitrous oxide emission from animal slurry through anaerobic digestion. *Proceedings of the Third International Symposium. Non-CO₂-Greenhouse-Gases: Scientific Understanding, Control Options and Policy Aspects*. Maastricht, The Netherlands.
- Sommer, S.G., Petersen, S.O., Moller, H.B. (2004). Algorithms for calculating methane and nitrous oxide emissions from manure management. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, **69**(2), 143-154.
- Sommer, S.G., Petersen, S.O., Sogaard, H.T. (2000). Greenhouse gas emission from stored livestock slurry. *Journal of Environmental Quality*, **29**(3), 744-751.
- UNFCCC (2007). *Inventario Nacional de Emisiones a la Atmósfera en base al Manual de Referencia IPCC y UNFCCC*. Submission 2007. Spain. CRF. Inventory 2005. Internet: http://unfccc.int/national_reports/annex_i_ghg_inventories/national_inventories_submissions/items/3929.php. (acceso 17-octubre-07).