



XIX CONGRESO CIENTÍFICO INTERNACIONAL DEL INSTITUTO NACIONAL DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

PANORAMA DE LAS EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO PROCEDENTES DE LAS PRÁCTICAS AGRÍCOLAS EN CUBA

Autor (es): Lic. Ernesto R. Carrillo Vitale, MSc. Ricardo W. Manso Jiménez, Lic. Dagne Boudet Rouco

Instituto de Meteorología, Cuba

La divulgación del estudio de las emisiones de Gases de Efecto de Invernadero (GEI) procedentes de las prácticas agrícolas tiene gran importancia para la sociedad actual, ya que se ha venido incrementando la percepción de que este sector es uno de los principales contribuyentes a las emisiones globales de estos gases, siendo el segundo sector en importancia para Cuba. El presente trabajo pretende evidenciar la contribución a las emisiones de metano y óxido nitroso a la atmósfera, procedentes en su mayoría de las prácticas agrícolas en Cuba. Estos dos gases tienen su origen natural, pero se han visto incrementados por la actividad del hombre en los últimos años. En el estudio se manifiesta la disminución de las emisiones a la atmósfera de ambos gases, aunque las emisiones de metano tienden a oscilar, siendo su principal emisor la ganadería vacuna mediante el proceso de la fermentación entérica. La metodología utilizada son las presentadas en las Guías del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC), para la estimación de las emisiones de gases de efecto invernadero. Además se incorporan algunas medidas de mitigación y adaptación al cambio climático.

Palabras claves: gases de efecto invernadero, agricultura, mitigación

Introducción

A nivel mundial, la agricultura representa el 14 por ciento de las emisiones totales de gases de efecto invernadero (GEI) y cerca del 60 por ciento de las emisiones distintas del dióxido de carbono (CO_2): 50 por ciento de las emisiones globales de metano (CH_4) y 60-80 por ciento de las emisiones de óxido nitroso (N_2O).

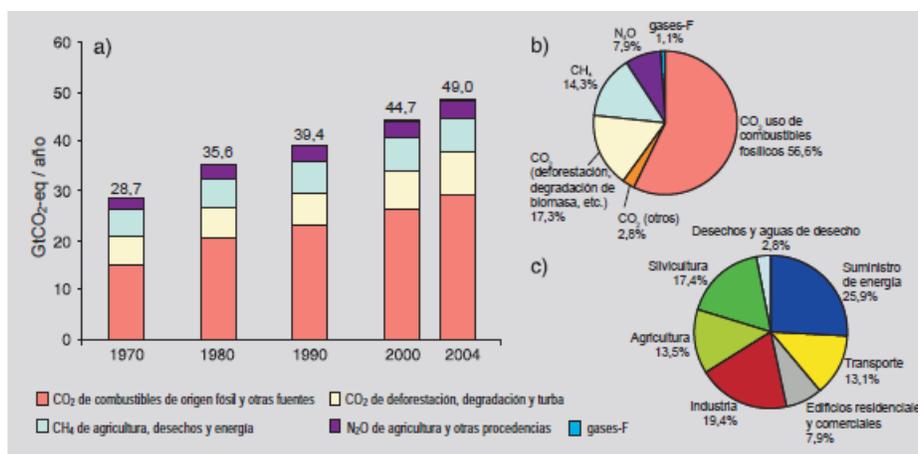


Figura 1. Emisiones mundiales de gases de efecto invernadero antropógenos. (IPCC, 2007)¹

¹ Fuente: IPCC (2007): Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.

En Cuba, las emisiones de los gases de invernadero que se consideran para el sector de la agricultura son el metano y el óxido nítrico. Y, al igual que a nivel mundial, nuestras emisiones para este sector también representan el 14 por ciento del total de emisiones brutas nacionales para el año 2008. (Figura 2)

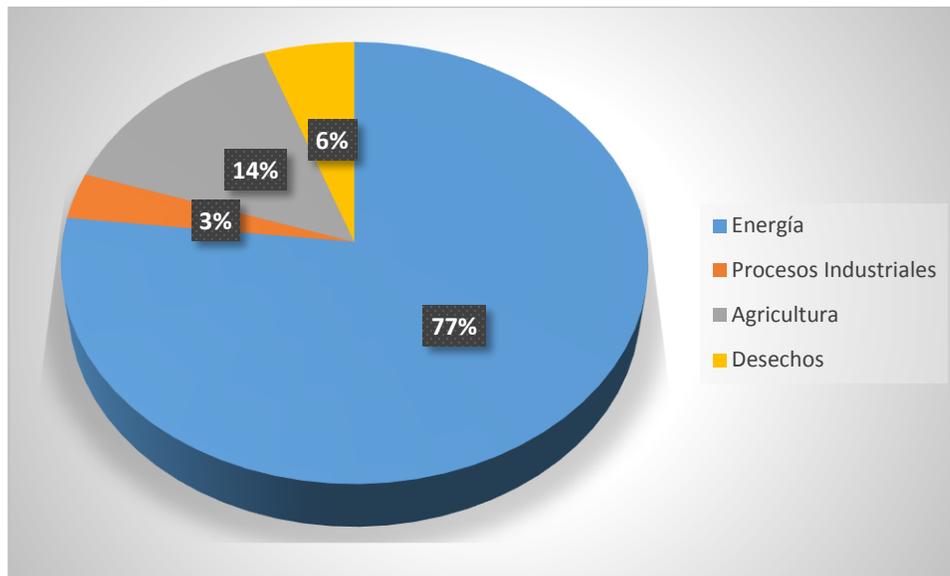


Figura 2. Emisiones brutas nacionales de gases de efecto invernadero por sectores. Año 2008.

En los Inventarios se estiman las emisiones por las principales actividades que se realizan en la agricultura. Estas son:

- Ganado doméstico,
- Cultivo del arroz,
- Quema prescritas de sabanas,
- Quema de residuos agrícolas, y,
- Suelos agrícolas.

Para este trabajo solo se estiman las emisiones de gases de invernadero en cuatro de dichas categorías, ya que las quemas prescritas de sabanas están prohibidas en el país, mientras que la quema de residuos agrícolas no se contabilizó en los Inventarios Nacionales de Emisiones y Remociones de Gases de Efecto Invernadero por no poseer el dato de actividad directo suministrado por el Grupo Empresarial AZCUBA.

Dentro de las emisiones en el sector agropecuario las de mayor peso son las de metano, con un poco más del 60 por ciento, debido en lo fundamental a la fermentación entérica del ganado; mientras que el resto corresponde a las emisiones de óxido nítrico.

Durante el período que se analiza, se produjeron variaciones en la actividad agropecuaria en el país que incidieron en el monto de las emisiones debido a: (i) dificultades económicas y financieras, (ii) fluctuaciones en el precio de los insumos en el mercado internacional, (iii) limitación de compras en algunos de estos mercados, (iv) condiciones climáticas, (v) así como el manejo de la propia actividad agropecuaria. Estas condiciones incidieron sobre varios procesos que influyeron en las características de las emisiones del sector.

Entre los procesos más importantes por su influencia en las emisiones están los siguientes:

- Reducción de la masa ganadera vacuna y la influencia de este proceso en la disminución de las emisiones procedentes del ganado doméstico.
- Disminución en el total del área sembrada sobre todo en lo referente a la industria cañera, pero observándose un aumento del área sembrada de otros productos.
- Disminución en el uso de los fertilizantes nitrogenados lo que provocó el decrecimiento de las emisiones de óxido nítrico (N_2O), óxido nítrico (NO) y óxidos de nitrógeno en general (NO_x).

En este último proceso, debe destacarse, que el mayor uso de fertilizantes orgánicos también contribuyó a la disminución observada en las emisiones de esos gases.

Materiales y métodos

Las emisiones de CH₄ procedente de la fermentación entérica es un proceso que tiene su origen en la formación de este gas en el sistema digestivo de los animales domésticos (fundamentalmente en el rumen de las vacas y ovejas). Este gas de efecto invernadero (GEI) se produce mediante la acción de bacterias y protozoos contenidos en el sistema digestivo de estos animales que al intervenir en el proceso de la digestión, en especial de los herbívoros, favorecen la ruptura de los carbohidratos en moléculas simples con la consiguiente formación de CO₂, CH₄, N₂, y adicionalmente pueden encontrarse trazas de O₂, H₂, H₂S, y CO. La cantidad de CH₄ que es liberada depende del tipo, edad y peso de los animales, así como de la cantidad y calidad del alimento consumido.

En el caso de los animales domésticos corresponde a los herbívoros y en especial al ganado vacuno y ovino, las mayores emisiones. Estos animales que son rumiantes, poseen un sistema digestivo pluricavitativo a diferencia del resto del ganado, estando formado dicho sistema por cuatro cavidades o pre-estómagos, ellas son: Rumen, donde se forma fundamentalmente el CH₄, la Redecilla, el Omaso y el Abomaso, cavidades estas conocidas comúnmente como Panza, Bonete, Libro y Cuajar. Este gas, formado en el rumen fundamentalmente, se emite a la atmósfera a través del eructo durante la rumia (las mayores emisiones) y mediante los flatos a través del ano.

Para esta actividad se hace uso de los métodos correspondientes al nivel 2, el cual es un método complejo que necesita, para su aplicación: datos detallados y específicos del país acerca de los requerimientos de nutrientes, la ingestión de alimentos y tasas de conversión de CH₄ para tipos de alimentos específicos. Esos datos son utilizados para desarrollar los factores de emisión (FE) para las diferentes categorías de ganado definidas en el país.

Para este artículo se toman en consideración todas las especies y subcategorías de ganado doméstico, por tanto se incluyen en este caso tanto los animales herbívoros como los no herbívoros, (cerdos, caballos, etc., no se incluyen las aves de corral por no constituir una categoría clave para la fermentación entérica. Para el cálculo de las emisiones de CH₄, derivadas de la fermentación entérica, se utilizan las ecuaciones de cálculo (ecuaciones 4.1 y 4.2 IPCC, 2003), utilizándose factores de emisión calculados y no por defecto.

$$Emisiones\ de\ CH_4 = FE_{(T)} \cdot \left(\frac{N_{(T)}}{10^6} \right) \quad (4.1)$$

$$Total\ CH_{4\ Entérica} = \sum_i E_i \quad (4.2)$$

Donde:

Emisiones de CH₄ CH₄ emitido por fermentación entérica, Gg CH₄/año

FE_(T) factor de emisión para la población de ganado definida, kg CH₄ cabeza⁻¹ año⁻¹

N_(T) la cantidad de cabezas de ganado de la especie/categoría T del país

T especie/categoría de ganado

Total CH₄ Entérica emisiones totales de metano por fermentación entérica, Gg CH₄ año⁻¹

E_i emisiones de las ith categorías y subcategorías de ganado

Para los cálculos de las emisiones se hizo uso de los datos de actividad suministrados por la Oficina Nacional de Estadísticas e Información de Cuba, (ONEI)² y los captados desde fuentes en el sector agropecuario del país especialmente el Centro Nacional de Control Pecuario (CENCOP). Entre

² Se utilizan para la población de ganado los datos de los Anuarios Estadísticos anuales del Sector Agropecuario (ONEI).

estos datos se encuentran los referentes a la población de animales para las diferentes categorías de ganado doméstico analizadas.

El estiércol del ganado doméstico es otra fuente de emisiones de GEI, debido a que el mismo está compuesto principalmente de material orgánico. El mismo se descompone en un medio anaeróbico, produciendo las bacterias metanogénicas metano (CH₄). Esas condiciones ocurren a menudo cuando un gran número de animales son manejados en un área confinada, o cuando las excretas son manejadas en forma líquida; por otra parte, cuando las excretas se descomponen en un medio aeróbico, predominan las emisiones de óxido nitroso (N₂O).

Para este artículo se utilizan de forma combinada los métodos 1 y 2 para la estimación de las emisiones, estando de acuerdo con cada categoría de animal que trate.

Las emisiones de CH₄ derivadas del manejo del estiércol fueron calculadas mediante las ecuaciones 4.3 y 4.4.

$$CH_{4\text{ Estiércol}} = \sum_{(T)} \frac{(FE_{(T)} \cdot N_{(T)})}{10^6} \quad (4.3)$$

CH ₄ Estiércol	Emisiones de CH ₄ por el manejo del estiércol, para una población de ganado definida , Gg CH ₄ /año
FE _(T)	factor de emisión para la población de ganado definida, kg CH ₄ cabeza ⁻¹ año ⁻¹
N _(T)	la cantidad de cabezas de ganado de la especie/categoría T del país
T	especie/categoría de ganado

$$N_2O_{D(mm)} = \left[\sum_S \left[\sum_T (N_{(T)} \cdot Nex_{(T)} \cdot MS_{(T,S)}) \right] \cdot FE_{3(S)} \right] \cdot \frac{44}{28} \quad (4.4)$$

Donde:

N ₂ O _{D(mm)}	emisiones directas de N ₂ O de la gestión del estiércol del país, kg N ₂ O año ⁻¹
N _(T)	cantidad de cabezas de ganado de la especie/categoría T del país
Nex _(T)	promedio anual de excreción de N por cabeza de la especie/categoría T en el país, kg N animal ⁻¹
MS _(T,S)	fracción de la excreción total anual de nitrógeno de cada especie/categoría de ganado T que se gestiona en el sistema de manejo del estiércol S en el país, sin dimensión
FE ₃	factor de emisión para emisiones directas de N ₂ O del sistema de gestión del estiércol S en el país, kg N ₂ O-N/kg N en el sistema de gestión del estiércol S
S	Sistema de gestión del estiércol
T	especie/categoría de ganado
44/28	Conversión de emisiones de (N ₂ O-N) _{mm} a emisiones de N ₂ O _(mm)

Al descomponerse la materia orgánica que se encuentra en los arrozales inundados se produce (CH₄), el cual libera a la atmósfera fundamentalmente mediante el transporte a través de las plantas

del arroz. La cantidad anual de CH₄ emitido desde una superficie dada de arroz estará en función de la cantidad y la duración de los cultivos de que se trate, de los regímenes hídricos previos al período de cultivo, y en el transcurso de éste, de los abonos orgánicos e inorgánicos del suelo. El tipo de suelo, la temperatura y el cultivar del arroz también afectan las emisiones de CH₄. (IPCC V4 05 Ch5 2006).

La Ecuación 5.1 (IPCC 2006), es utilizada para realizar el cálculo básico de las emisiones de Metano, estimando estas al multiplicar los factores de emisión diaria por período de cultivo³ de arroz y por superficies de cosecha anual.⁴

ECUACIÓN 5.1 EMISIONES DE CH₄ PRODUCIDAS POR EL CULTIVO DEL ARROZ

$$CH_4 \text{ Rice} = \sum_{i,j,k} (EF_{i,j,k} \cdot t_{i,j,k} \cdot A_{i,j,k} \cdot 10^{-6})$$

Donde:

CH₄ Rice = emisiones anuales de metano producidas por el cultivo del arroz, Gg CH₄ año⁻¹

EF_{ijk} = un factor de emisión diario para las condiciones i, j, y k, kg CH₄ ha⁻¹ día⁻¹

T_{ijk} = período de cultivo del arroz para las condiciones i, j, y k, días

A_{ijk} = superficie de cosecha anual de arroz para las condiciones i, j, y k, ha año⁻¹

i, j, y k = representan los diferentes ecosistemas, regímenes hídricos, tipo y cantidad de abonos orgánicos y otras condiciones bajo las cuales pueden variar las emisiones de CH₄ producidas por el arroz.

Las emisiones de N₂O producidas por agregados antrópicos de N o por mineralización del N se producen tanto:

- Por vía directa (directamente de los suelos a los que se agrega o se libera el N) y,
- A través de dos vías indirectas:
 - a) A partir de la volatilización de NH₃ y NO_x de suelos gestionados y de la combustión de combustible fósil (no tratado aquí) y quema de biomasa, así como la subsiguiente redeposición de estos gases y sus productos NH₄⁺ y NO₃⁻ en suelos y aguas; y
 - b) A partir de la lixiviación y el escurrimiento del N, principalmente como NO₃⁻, de suelos gestionados.

Para este trabajo se hizo uso del método de Nivel 1, el cual establece la multiplicación del factor de emisión por defecto con el uso de fertilizantes sintéticos.

Resultados y discusión

En cuanto a las emisiones dentro del sector agricultura, aproximadamente el 60 por ciento es proveniente de la fermentación entérica, siguiéndole en importancia las emisiones del pastoreo, y emisiones directas de la fertilización, quedando para el resto de las subcategorías, apenas menos del 11 por ciento de las emisiones. Demostrándose que la actividad pecuaria es de suma importancia a la hora de la proposición de medidas de mitigación en el sector agrícola, y confirmándose como una categoría clave del Inventario Nacional de Emisiones y Remociones de Gases de Efecto Invernadero en Cuba. (Figura 3)

³ En caso de cultivos bianuales, el «período de cultivo» deben ampliarse según) la cantidad respectiva de días. (IPCC 2006).

⁴ En caso de múltiples cultivos durante el mismo año, la «superficie de cosecha» será igual a la suma de las superficies utilizadas para cada cultivo. (IPCC 2006).

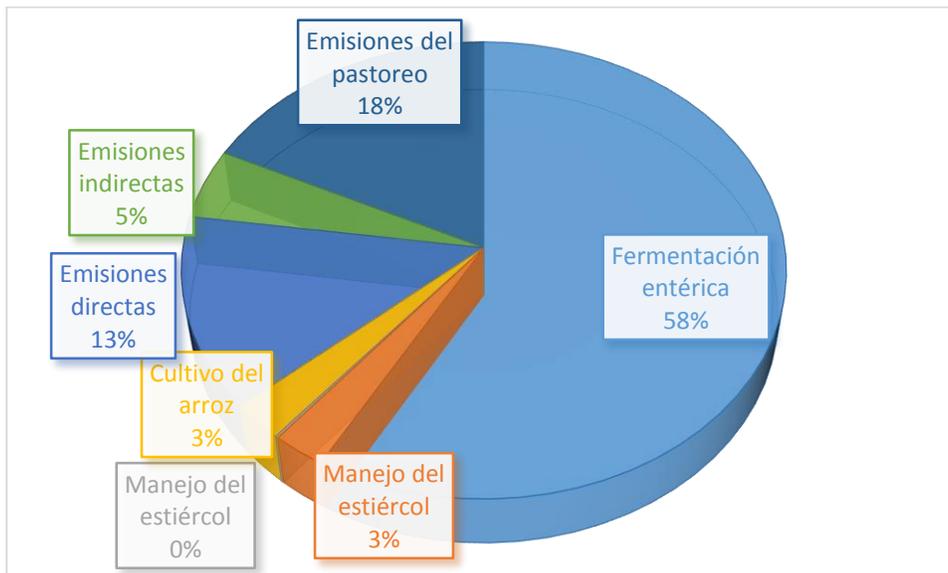


Figura 3. Emisiones por subcategorías de la agricultura en dióxido de carbono equivalente. Año 2008.

En cuanto al total de emisiones del sector agrícola, el 63 por ciento pertenece al metano, mientras que el resto pertenece al óxido nítrico. Mientras, que de las emisiones de metano se puede observar (Figura 4), la importancia que tiene la fermentación entérica nuevamente, por ser esta subcategoría la de mayor aporte de metano, con más del 90 por ciento. Y en cuanto a las emisiones de óxido nítrico, sobresalen las emisiones por pastoreo y las emisiones directas de la fertilización sintética, sumando las dos un poco más del 85 por ciento del total de emisiones de óxido nítrico dentro de la agricultura.

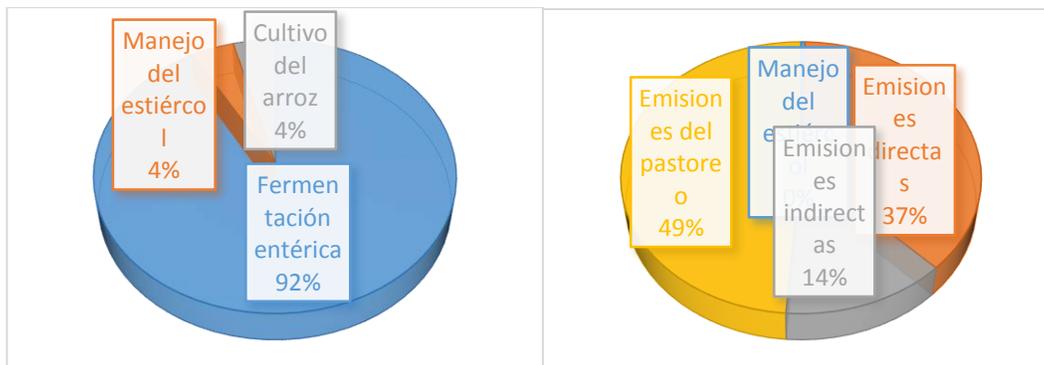


Figura 4. Izquierda, emisiones de metano por subcategorías. Derecha, emisiones de óxido nítrico por subcategorías. Año 2008.

En la siguiente figura se puede observar el comportamiento de las emisiones de óxido nítrico y metano en el período 1990-2012, resaltando la disminución brusca que tuvo las emisiones de óxido nítrico a partir del año 1991. Aunque, se aprecia una disminución en los dos gases en el transcurso del período, fue más brusca esta caída en el óxido nítrico debido a la disminución del uso de fertilizantes sintéticos en la agricultura cubana, provocado por el agudizamiento del bloqueo norteamericano a Cuba. Y aunque, no se afectó en igual medida que la obtención de fertilizantes, en la ganadería también se sintió el agravamiento de la crisis en cuanto la obtención de piensos, notándose en una disminución gradual de la cantidad de cabezas vacunas. Pero, esta cuestión se vio apaleada con una política de proliferación de ganado menor en todo el país, triplicándose la cantidad de cabezas de ganado menor para el período.

Otro tema que influyó en la disminución de cantidad de cabezas de ganado vacuno, fueron las sequías que azotaron al oriente de nuestro país en los comienzos de siglo. Y toda esta situación con el ganado se vio reflejada en las emisiones de metano para el período de estudio, pudiendo verse más destacadamente en la figura 6.

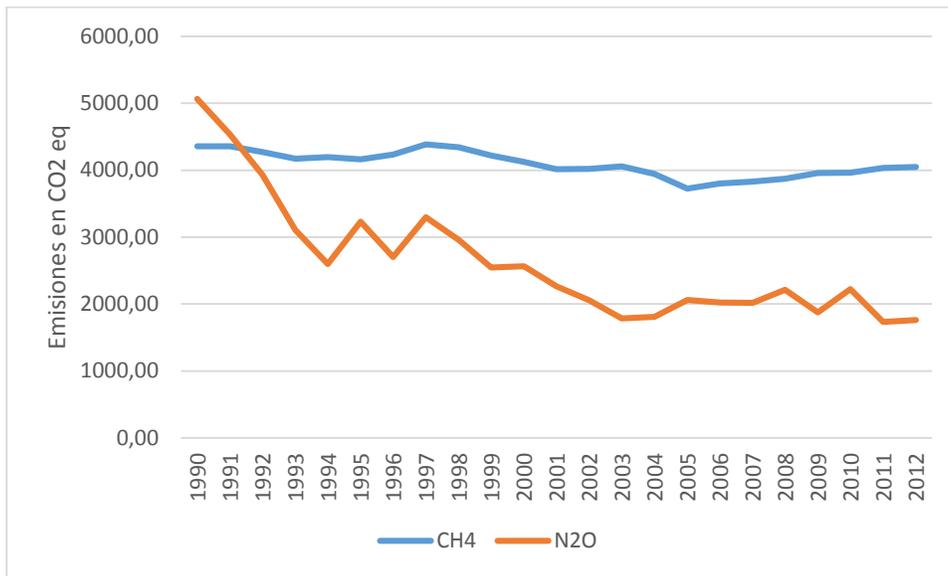


Figura 5. Emisiones de la agricultura en CO₂ eq. Período 1990-2012.

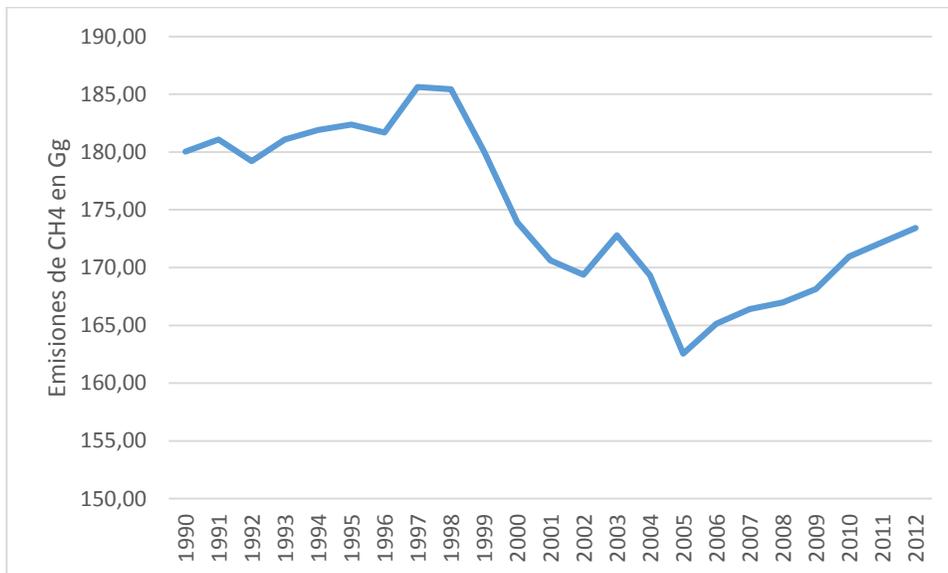


Figura 6. Emisiones de metano por fermentación entérica . Período 1990-2012.

Al analizar la Figura 7, podemos observar que las emisiones de metano procedentes del cultivo del arroz son directamente proporcionales a la superficie cultivada, y aunque han existido variaciones de la superficie cultivada en el período de estudio, en los últimos años se caracteriza por un aumento de la misma, con su respectivo aumento de las emisiones para dicho período. Este aumento de área cultivada es la respuesta al interés estatal de aumentar la superficie cosechada de granos en el país, para lograr el autoconsumo nacional y disminuir las importaciones.

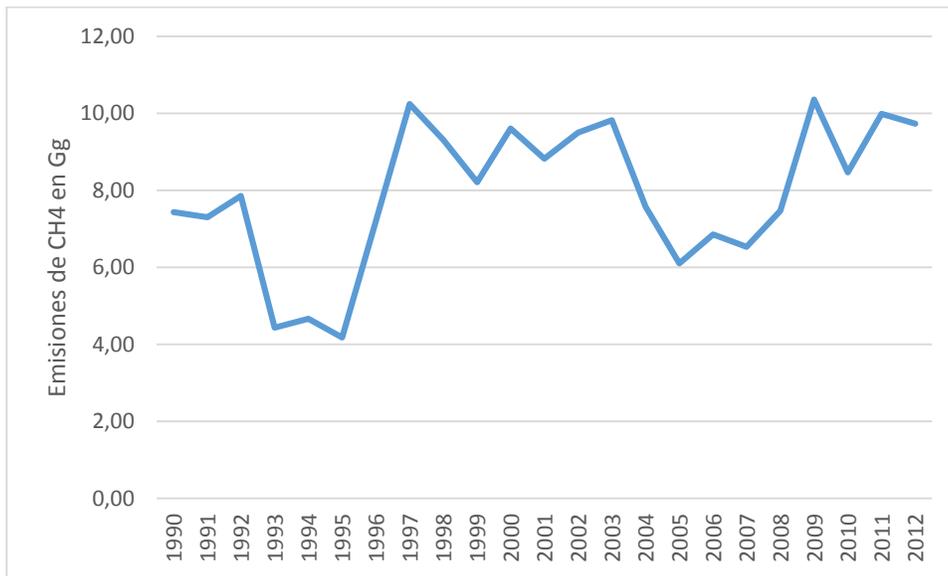


Figura 7. Emisiones de metano por cultivo del arroz. Período 1990-2012.

Las emisiones totales de N_2O desde los suelos agrícolas disminuyeron drásticamente a partir del año base 1990 hasta valores menores en la actualidad, debido a lo explicado anteriormente del menor uso de fertilizantes sintéticos.

Según puede apreciarse de la figura anterior, disminuyen estas emisiones con relación al año base 1990, siendo importante destacar el peso que vienen adquiriendo las emisiones derivadas del estiércol animal depositado en praderas y pastizales en contraste a la disminución del aporte de los fertilizantes sintéticos del nitrógeno (emisiones directas) como consecuencia de la reducción experimentada en su consumo para el período de estudio. (Figura 8)

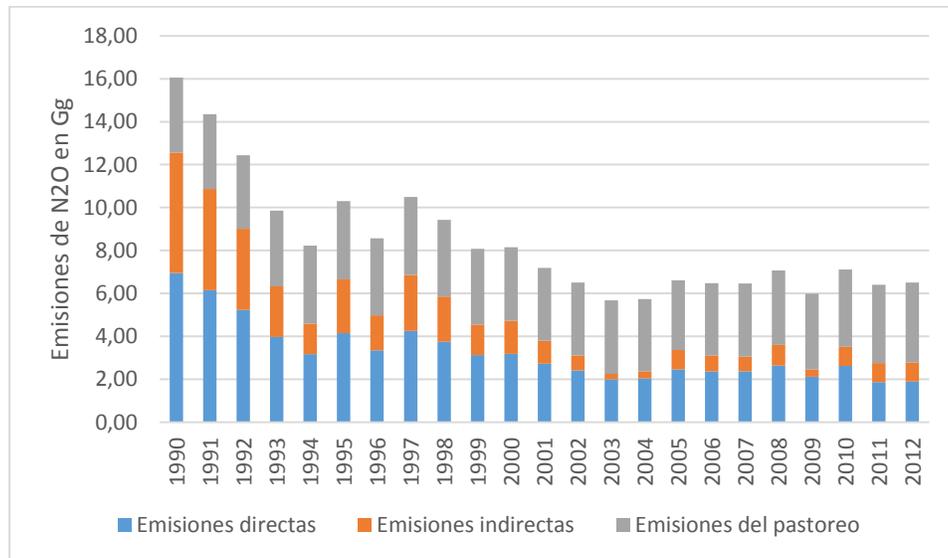


Figura 8. Emisiones de óxido nítrico por fertilización. Período 1990-2012.

En relación al crecimiento y crecimiento de las emisiones, en su totalidad se decreció en aproximadamente el 40 por ciento en el total de emisiones en el sector agrícola en Cuba, pero en cuanto a los subsectores existen bastantes diferencias. Las subcategorías de manejo de estiércol, cultivo de arroz y emisiones por pastoreo, aumentaron sus emisiones con respecto al año 1990, no siendo así en el resto de las subcategorías, resaltando las emisiones indirectas y directas, las cuales al estar vinculadas directamente con la fertilización sintética son la que más han decrecido en cuanto a sus emisiones de gases de efecto invernadero.



Figura 9. Diferencias de las emisiones de gases de efecto invernadero, por subcategoría entre 2012 y 1990.

Referencias

- Fernández P. (2000): Emisiones de Gases de Efecto Invernadero Procedentes de las Prácticas Agrícolas. Tesis presentada en opción al Título de Master en Impacto Ambiental. La Habana, Cuba. Inédita.
- Fernández, P. V. (2007). Determinación de factores de emisión de metano aplicados a la Fermentación Entérica y el Manejo del Estiércol del ganado vacuno. Informe Científico Técnico, Instituto de Meteorología. La Habana, Cuba.
- Guevara, A. V. (1997): Caracterización General del Comportamiento del Clima en Cuba durante el Año Base del Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (1990). Centro Nacional del Clima. Instituto de Meteorología. La Habana, Cuba.
- <http://caleglobaltierra.wikidot.com/gases-del-efecto-invernadero>. Consultada el 31 de diciembre de 2012.
- López, C., P. V. Fernández, R. W. Manso, A. Wallo, Antonio V. Guevara, M. E. García D. Puente, D. Ramos, Ana M. García, B. R. Díaz, J. J. Alea, D. Pérez, I. López, A. Jam, A. Maestrey, J. Pena, M. O. Martínez. (1999). República de Cuba. Inventario Nacional de Emisiones y Absorciones de Gases de Invernadero. Año 1990. CITMA/AMA/Instituto de Meteorología, - CC-TRAIN. La Habana, Cuba. ISBN: 959-02-03-15-9.
- López, C., P. V. Fernández, R. W. Manso, A. Wallo, A. V. Guevara, A. León, M. E. García, L. López, E. Martínez, R. Batules, J. J. Alea, K. Socarrás, D. Pérez, I. López (2000). República de Cuba. Inventario Nacional de Emisiones y Absorciones de Gases de Invernadero. Año 1994. CITMA/AMA/Instituto de Meteorología- GEF-UNDP. La Habana, Cuba. ISBN: 959-02-0352-3.
- López, C., P. V. Fernández, R. W. Manso A. Wallo, A. V. Guevara, A. León, M. E. García, E. Martínez, G. Legañoa, J. J. Alea, Lic. Ileana López, D. Pérez, J. M. Ameneiros, S. F. Pire. (2002). República de Cuba. Inventario Nacional de Emisiones y Absorciones de Gases de Invernadero. Reporte para el Año 1996 y Actualización para los Años 1990 y 1994. CD-ROM Vol. 01. CITMA/AMA/Instituto de Meteorología. La Habana, Cuba. ISBN: 959-02-0352-3.
- López, C., P. V. Fernández, R. W. Manso, A. Wallo, A. V. Guevara, A. León, E. Martínez, L. López, N. Rodríguez, M. Skeen, J. Dávalos, M. E. García, J. J. Alea, I. López, D. Pérez, S. F. Pire, J. M. Ameneiros, A. Mercadet y A. Alvarez (2003). República de Cuba. Inventario Nacional de Emisiones y Absorciones de Gases de Invernadero. Reporte para el Año 1998 y Actualización de Emisiones para los Años 1990, 1994 y 1996. CITMA/AMA/Instituto de Meteorología. La Habana, Cuba. Inédito.
- López, C., P. V. Fernández, R. W. Manso, A. Wallo, A. León, A. V. Guevara, C. González, S. Mesa, E. Martínez, N. Rodríguez, J. Dávalos, M. E. García, J. J. Alea, R. Biart, I. López, D. Pérez, H. Ricardo, S. F. Pire, A. Mercadet, A. Álvarez (2004). República de Cuba. Inventario Nacional de Emisiones y Absorciones de Gases de Efecto Invernadero. Reporte

- para el Año 2000 y Actualización para los Años 1990, 1994, 1996 y 1998. CITMA/AMA/Instituto de Meteorología. La Habana, Cuba. Inédito.
- López, C., P. V. Fernández, R. W. Manso, A. León, A. V. Guevara, C. González, S. Mesa, E. Martínez, N. Rodríguez, J. Dávalos, M. E. García, R. Biart, I. López, D. Pérez, H. Ricardo, S. F. Pire, J. M. Ameneiros, A. Mercadet, A. Álvarez (2005). Repùblica de Cuba. Inventario Nacional de Emisiones y Absorciones de Gases de Invernadero. Reporte para el Año 2002 y Actualización para los Años 1990, 1994, 1996, 1998 y 2000. CITMA/AMA/Instituto de Meteorología. La Habana, Cuba. Inédito.
 - López, C., P. V. Fernández, R. W. Manso, A. Valdés, A. León, A. V. Guevara, C. González, M. E. García, G. Legañoa, T. M. González, J. Dávalos, R. Biart, I. López, D. Pérez, H. Ricardo, S. F. Pire, J. M. Ameneiros, A. Mercadet, A. Álvarez (2009). Emisiones y Remociones de Gases de Invernadero en Cuba. Reporte Actualizado para el Período 1990 – 2002, CITMA/AMA/Instituto de Meteorología. La Habana, Cuba. Inédito.
 - López, C., P. V. Fernández, R. W. Manso, A. Valdés, A. León, A. V. Guevara, C. González, M. E. García, G. Legañoa, T. M. González, J. Dávalos, I. López, D. Pérez, H. Ricardo, S. F. Pire, J. M. Ameneiros, A. Mercadet, A. Álvarez (2009). Emisiones y Remociones de Gases de Invernadero en Cuba. Reporte Preliminar para el Año 2004 y Actualización para el Período 1990 – 2002, CITMA/AMA/Instituto de Meteorología. La Habana, Cuba. Inédito.
 - Ríos, H., Vargas, D., Funes-Monzote, F. (2011): Innovación agroecológica, adaptación y mitigación del cambio climático. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA). ISBN 978-959-7023-53-1.
 - Solomon, S., D. Qin, M. Manning, R.B. Alley, T. Berntsen, N.L. Bindoff, Z. Chen, A. Chidthaisong, J.M. Gregory, G.C. Hegerl, M. Heimann, B. Hewitson, B.J. Hoskins, F. Joos, J. Jouzel, V. Kattsov, U. Lohmann, T. Matsuno, M. Molina, N. Nicholls, J. Overpeck, G. Raga, V. Ramaswamy, J. Ren, M. Rusticucci, R. Somerville, T.F. Stocker, P. Whetton, R.A. Wood and D. Wratt, 2007: Resumen Técnico. En: Cambios Climáticos 2007: Base Física de la Ciencia. Aportes del Grupo de Trabajo I al Cuarto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambios Climáticos. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos.
 - Valdés A., R. Manso, R. Manrique, E. Carrillo, C. Sosa, A. León, A. V. Guevara, C. González, M. Amáralas, R. Biart I. López, D. Pérez, S. F. Pire, L. Cuesta, A. Mercadet, A. Álvarez (2012). Emisiones y Remociones de Gases de Invernadero en Cuba. Reporte Actualizado para el Período 1990 – 2006, CITMA/AMA/Instituto de Meteorología. La Habana, Cuba. Inédito.
 - Valdés A., R. Manso, R. Manrique, E. Carrillo, C. Sosa, A. León, A. V. Guevara, C. González, M. Amáralas, R. Biart I. López, D. Pérez, S. F. Pire, L. Cuesta, A. Mercadet, A. Álvarez (2013). Emisiones y Remociones de Gases de Invernadero en Cuba. Reporte Actualizado para el Período 1990 – 2008, CITMA/AMA/Instituto de Meteorología. La Habana, Cuba. Inédito.