






Gases de efecto invernadero procedentes del sector ganadero en Cuba para el periodo 1990-2020



<https://cu-id.com/2377/v30n3e07>

Greenhouse gas from the livestock sector in Cuba for the period 1990-2020

Dayanne Vega Almeida^{1*},  Rosemary López Lee²,
 Javier Bolufé Torres²,  Ignaivis de la Caridad Castillo Lemus²,
 Arnaldo Evaristo Collazo Aranda²,  Rachel Martínez Rodríguez²

¹Instituto de Aeronáutica Civil, La Habana, Cuba.

²Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba.

RESUMEN: El objetivo de la presente investigación fue estimar las emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de la ganadería de Cuba en el período 1990-2020. La metodología utilizada fue las Directrices del IPCC 2006. Se estimaron las emisiones de CH₄ por la subcategoría Fermentación entérica y las emisiones de CH₄ y N₂O por la subcategoría Gestión del estiércol. Los datos de actividad fueron obtenidos de los Anuarios Estadísticos de la Oficina Nacional de Estadísticas e Información. Se dispuso de datos paramétricos característicos de la ganadería vacuna en el país, proporcionados por el Ministerio de la Agricultura. Estos datos permitieron calcular, para cada tipo de ganado vacuno, factores de emisión propios de país y el promedio anual de excreción de nitrógeno, para estimar las emisiones de CH₄ por Fermentación entérica y Gestión del estiércol, y las de N₂O por Gestión del estiércol, respectivamente. Para las restantes especies se usaron factores de emisión por defecto de las Directrices del IPCC 2006. Las emisiones de ambas subcategorías en el año 2020 disminuyeron con respecto al año base 1990, como consecuencia de la reducción de las poblaciones de ganado. La Fermentación entérica fue la subcategoría de mayor relevancia con un 81.2 % de emisiones de gases de efecto invernadero de la categoría Ganadería. El ganado vacuno constituyó la única subcategoría significativa de emisiones por Fermentación entérica y Gestión del estiércol.

Palabras clave: emisiones, fermentación entérica, ganadería, gases de efecto invernadero, gestión del estiércol.

ABSTRACT: The objective of this research was to estimate greenhouse gas emissions from livestock in Cuba in the period 1990-2020. The methodology used is based on the 2006 IPCC Guidelines. CH₄ emissions were estimated for the Enteric Fermentation subcategory, and CH₄ and N₂O emissions for the Manure Management subcategory. The activity data were obtained from the Annual Statistical Yearbooks published by the National Office of Statistics and Information. Characteristic parametric data of bovine livestock in the country were available, provided by the Ministry of Agriculture. These data made possible to calculate, for each type of cattle, country-specific emission factors and the annual average nitrogen excretion, to estimate CH₄ emissions from Enteric Fermentation and Manure Management, and N₂O emissions from Manure Management, respectively. Default emission factors from the 2006 IPCC Guidelines were used for the remaining species. Emissions for both subcategories in 2020 decreased with respect to the 1990 base year, as a consequence of reduced livestock populations. Enteric fermentation was the most relevant subcategory with 81.2% of greenhouse gas emissions from the Livestock category. Cattle constituted the only significant subcategory of emissions from Enteric Fermentation and Manure Management.

Key words: emissions, enteric fermentation, livestock, greenhouse gas emissions, manure management.

*Autor para Correspondencia: Ignaivis de la Caridad Castillo Lemus. E-mail: ignaivis@gmail.com

Recibido: 08/03/2024

Aceptado: 02/04/2024

Conflicto de intereses: Los autores declaran que no existen conflictos de intereses en la realización del estudio.

Contribución de los autores: Lic. Dayanne Vega Almeida, Dra. Rosemary López Lee, MsC. Javier Bolufé Torres, Lic. Ignaivis de la Caridad Castillo Lemus, MSc. Arnaldo Evaristo Collazo Aranda, Lic. Rachel Martínez Rodríguez: **tuvieron a su cargo el proceso y elaboración de las salidas cartográficas de la investigación y autores.** Lic. Dayanne Vega Almeida, Dra. Rosemary López Lee, MsC. Javier Bolufé Torres, Lic. Ignaivis de la Caridad Castillo Lemus, MSc. Arnaldo Evaristo Collazo Aranda, Lic. Rachel Martínez Rodríguez: **diseño y selección de datos, su manejo y operación**

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

INTRODUCCIÓN

América Latina y el Caribe ocupa el segundo lugar en el mundo en emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) procedentes de la ganadería según datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2014). Brasil, México, Argentina y Colombia contribuyen con los volúmenes más grandes en la región. Además, Brasil y México ocupan el quinto y el octavo lugar, respectivamente, de los países más productores de metano (CH_4) en el mundo (Benaouda *et al.*, 2017). En consecuencia, muchos autores dirigen sus investigaciones a estimar las emisiones de GEI por la ganadería en algunos países del área (Zúñiga, 2016; Cisneros, 2018; Hernández, 2020).

En Cuba, la ganadería constituye un importante recurso económico que contribuye a la nutrición de la población. En 2016, las emisiones de CH_4 y óxido nitroso (N_2O) por fermentación entérica y gestión del estiércol representaron el 9.6% de las emisiones brutas del país. En ese año, la Fermentación entérica y Gestión del estiércol del ganado vacuno constituyeron categorías claves en la compilación del Inventario Nacional de GEI (INGEI). Esto significa que su estimación influye significativamente sobre el inventario total de gases en cuanto al nivel absoluto, la tendencia o la incertidumbre de las emisiones (República de Cuba, 2020).

En el Primer Informe Bienal de Actualización presentado por la República de Cuba a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) en 2020, se identificó como uno de los principales vacíos y barreras en la estimación de las emisiones procedentes de la ganadería: “*criterio de expertos no documentados o referenciados respecto a las características anuales de la Ganadería en Cuba*”. Con el objetivo de superar esta dificultad se propuso como plan de mejora: “*certificar con las instituciones del sector Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU) los criterios de expertos utilizados en parámetros para la obtención de factores de emisión propios de país y refinamiento de los datos de actividad*” (República de Cuba, 2020).

La presente investigación contribuye a dicho plan de mejora, ya que se propuso lograr estimaciones más exactas y con un menor grado de incertidumbre. Por lo tanto, el objetivo general fue estimar las emisiones de GEI procedentes de la ganadería de Cuba en el período 1990-2020.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para estimar las emisiones de GEI procedentes de la ganadería se utilizaron las Directrices metodológicas para la elaboración de Inventarios Nacionales de GEI del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el

Cambio Climático (IPCC), versión 2006. Tomando en consideración la disponibilidad de datos de actividad, la información sobre los factores de emisión y los parámetros necesarios para las estimaciones, se aplicaron métodos de nivel 1 y nivel 2.

Tras estimar las emisiones, se reportaron los valores de GEI en forma agregada, expresadas en kilotoneladas (kt) de dióxido de carbono equivalente (CO_2 eq). Para ello se multiplican las emisiones (en unidades de masa) de cada GEI por su respectivo potencial de calentamiento global (PCG). En Cuba se utilizan, por convenio, los PCG incluidos en el Segundo Informe de Evaluación del IPCC de 1995, para un horizonte temporal de cien años ($\text{PCG}_{\text{CH}_4}=21$ y $\text{PCG}_{\text{N}_2\text{O}}=310$).

Las especies animales fueron agrupadas en los siguientes componentes:

- Ganado vacuno (incluye vacas lecheras de baja producción y otros vacunos, este último desagregado para las emisiones de CH_4 en: vacas para producir carne, toros empleados para fines reproductivos, terneros pre-destetos, terneras de reemplazo y ganado de engorde)
- Búfalos
- Ovinos (ovejas)
- Caprinos (cabras)
- Equinos (caballos)
- Mulas y asnos
- Porcinos (cerdos desagregados por edad: < 6 meses y > 6 meses)
- Aves de corral (incluye como población única a gallinas ponedoras y de carne de empresas avícolas estatales)

Por juicio de expertos, para establecer analogía entre la clasificación del ganado vacuno según las Directrices del IPCC (2006) con la empleada por la ONEI, se asumió que:

- Vacas de baja producción lechera = Vacas en ordeño
- Vacas para producir carne = Vacas
- Toros empleados para fines reproductivos = Sementales
- Terneros pre-destetos = Terneras y terneros
- Terneras de reemplazo = Añojas y novillas
- Ganado de engorde = Añojos, toretes, toros de ceba y bueyes

Emisiones de CH_4 por la subcategoría Fermentación entérica

Las aves de corral no se incluyeron para la fermentación entérica ya que no contribuye a las emisiones de la subcategoría. Pero si se trataron en la gestión del estiércol, puesto que representan una

población considerable cuyas excretas, al igual que la de los herbívoros, se manejan con distintos objetivos (producción de abonos, obtención de energía, etc.).

El ganado vacuno constituyó una subcategoría significativa en el inventario 1990-2016, por lo cual se le aplicó un método de nivel 2 (República de Cuba, 2020). En la presente investigación se realizó un refinamiento de los factores de emisión específicos de país empleados en esta subcategoría, lo que es un aporte nacional a la metodología de cálculo.

Para calcular un factor de emisión para cada tipo de ganado vacuno se dispuso de datos paramétricos del país, proporcionados por el Ministerio de Agricultura (MINAG). En las restantes especies, que no constituyen subcategorías significativas se aplicó un método de nivel 1. En ambos métodos se utilizaron las mismas ecuaciones de cálculo:

$$Emisiones\ de\ CH_4 = FE_{(T)} \cdot \left(\frac{N_{(T)}}{10^6} \right) \quad (1)$$

Fuente: Ecuación 10.19; Capítulo 10; Volumen 4; Directrices del IPCC de 2006

Donde:

Emisiones de CH₄: metano emitido por fermentación entérica (Gg CH₄ año⁻¹)

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 T del país

T: especie de ganado

$$Total\ CH_4\ Entérico = \sum_i E_i \quad (2)$$

Fuente: Ecuación 10.20; Capítulo 10; Volumen 4; Directrices del IPCC de 2006

Donde:

Total CH₄ Entérico: emisiones totales de metano por fermentación entérica (Gg CH₄ año⁻¹)

E_i: emisiones de las ith especies de ganado

Los factores de emisión para cada categoría de ganado vacuno se estimaron sobre la base de la ingesta de energía bruta (GE) y el factor de conversión de metano (Ym) correspondientes a la categoría, a partir de la ecuación:

$$FE = \left[\frac{GE \cdot \left(\frac{Ym}{100} \right) \cdot 365}{55.65} \right] \quad (3)$$

Fuente: Ecuación 10.21; Capítulo 10; Volumen 4; Directrices del IPCC de 2006

Donde:

FE: factor de emisión (kg CH₄ cabeza⁻¹ año⁻¹)

GE: ingesta de energía bruta (MJ cabeza⁻¹ día⁻¹)

Ym: factor de conversión en metano, porcentaje de la energía bruta del alimento convertida en metano

La constante 55.65 (MJ/kg CH₄) es el contenido de energía del metano

Se dispuso de datos paramétricos específicos del país, proporcionados por el MINAG, para el cálculo de la ingesta de energía bruta. Los factores de emisión de las restantes especies fueron los proporcionados por defecto de las Directrices del IPCC de 2006.

Emisiones de CH₄ por la subcategoría Gestión del estiércol

Se incluyeron tanto los animales herbívoros como los no herbívoros, cuyas excretas se manejan con distintos objetivos: producción de abonos, obtención de energía, alimento animal, etc.

Las emisiones de se estimaron mediante la ecuación:

$$CH_4\ Estiércol = \sum_{(T)} \frac{FE_{(T)} \cdot N_{(T)}}{10^6} \quad (4)$$

Fuente: Ecuación 10.22; Capítulo 10; Volumen 4; Directrices del IPCC de 2006

Donde:

CH₄ Estiércol: emisiones de metano por el manejo del estiércol, para una población de ganado definida (Gg CH₄ año⁻¹)

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

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

T: especie de ganado

Para cada tipo de ganado vacuno se calcularon factores de emisión propios de país:

$$EF_{(T)} = \left(VS_{(T)} \cdot 365 \right) \left[B_{o(T)} \cdot 0.67 \cdot \sum_{S, k} \frac{MCF_{S, k}}{100} \cdot MS_{(T, S, k)} \right] \quad (5)$$

Fuente: Ecuación 10.23; Capítulo 10; Volumen 4; Directrices del IPCC de 2006

Donde:

EF_(T): factor de emisión anual de CH₄ para la población de ganado categoría T (kg CH₄ animal⁻¹ año⁻¹)

VS_(T): sólidos volátiles excretados por día en la categoría de ganado T (kg materia seca animal⁻¹ día⁻¹)

365: base para calcular la producción anual de VS (días año⁻¹)

B_{o(T)}: capacidad máxima de producción de metano del estiércol producido por el ganado de la categoría T (m³ CH₄ kg⁻¹ de VS excretados)

0,67: factor de conversión de m³ CH₄ a kilos de CH₄

MCF_(S,k): factores de conversión de metano para cada sistema de gestión del estiércol S por región climática k (%)

$MS_{(T,S,k)}$: fracción del estiércol del ganado de la categoría T manejado usando el sistema de gestión de desechos S en la región climática k, sin dimensión

Los valores de $B_{o(T)}$, $MCF_{(S,k)}$ y $MS_{(T,S,k)}$ fueron tomados por defecto de las [Directrices del IPCC 2006](#). Para las restantes especies animales se usaron factores de emisión por defecto de las [Directrices del IPCC 2006](#).

Emisiones directas de N_2O por la subcategoría Gestión del estiércol

Se tuvieron en cuenta todas las especies animales, excepto las aves de corral que no contribuyen a las emisiones. Las emisiones se calcularon mediante la ecuación:

$$N_2O_{D(mm)} = \left[\sum_S \left[\sum_T (N_{(T)} \cdot Nex_{(T)} \cdot MS_{(T,S)}) \right] \cdot FE_{3(S)} \right] \cdot \frac{44}{28} \quad (6)$$

Fuente: Ecuación 10.25; Capítulo 10; Volumen 4; [Directrices del IPCC de 2006](#)

Donde:

$N_2O_{D(mm)}$: emisiones directas de óxido nitroso de la gestión del estiércol del país ($kg N_2O \text{ año}^{-1}$)

$N_{(T)}$: cantidad de cabezas de ganado de la especie T del país

$Nex_{(T)}$: promedio anual de excreción de N por cabeza de la especie T en el país ($kg N \text{ animal}^{-1}$)

$MS_{(T,S)}$: fracción de la excreción total anual de nitrógeno de cada especie 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 óxido nitroso del sistema de gestión del estiércol S en el país, $kg N_2O-N (kg N)^{-1}$ en el sistema de gestión del estiércol S

S: sistema de gestión del estiércol

T: especie de ganado

44/28: conversión de emisiones de $(N_2O-N)_{(mm)}$ a emisiones de $N_2O_{(mm)}$

Cada tipo de ganado fue asignado a diferentes sistemas de gestión del estiércol según las características de los sistemas productivos del país. Esta asignación se hizo por juicio de experto, ya que el país no cuenta con datos estadísticos. Para todas las especies animales, los factores de emisión y la fracción de la excreción total anual de nitrógeno de cada especie de ganado ($MS_{(T,S)}$) fueron tomados por defecto de las [Directrices del IPCC \(2006\)](#).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Emisiones de CH_4 por Fermentación entérica del ganado vacuno

En la [tabla 1](#) se muestran los factores de emisión calculados para cada tipo de ganado vacuno para

la subcategoría Fermentación entérica, los empleados en el INGEI 1990-2016 y los que proporciona por defecto el IPCC.

Las diferencias existentes entre los factores de emisión obtenidos en la presente investigación y los factores por defecto de las [Directrices del IPCC 2006](#) se debieron a que los últimos fueron obtenidos de estudios hechos en países de Latinoamérica, que pueden no reflejar la realidad de Cuba. Igualmente, los valores calculados aquí son superiores a los que se utilizaron en el INGEI de la serie 1990-2016, que se presentó a la CMNUCC en 2020.

Esa desigualdad se asoció en mayor grado a los valores de digestibilidad del alimento y peso de los animales utilizados en los cálculos. En la investigación, se utilizaron valores de digestibilidad del alimento (50 % para pastos y 65 % para pastos + pienso) menores que los usados para la serie 1990-2016 (75 %, 78 % y 82 %), los cuales no estaban acordes con la alimentación que recibe el ganado en el país. Además, en esta investigación se tuvieron en cuenta un mayor número de parámetros respecto a la ganadería en el país.

La digestibilidad del alimento es el parámetro que más peso tiene en el cálculo del factor de emisión ya que, mientras menos digestible sea el alimento, mayores son las emisiones de CH_4 entérico. Estos resultados coinciden con los de [Nieto et al. \(2014\)](#) en San Luis, Argentina, donde los vacunos que consumían alimentos de menor digestibilidad, principalmente las vacas lecheras, fueron los que más CH_4 entérico emitieron.

El otro parámetro determinante en el cálculo del factor de emisión es el peso del animal, puesto que cuanto mayor sea su peso, mayor será su factor de emisión. En esta investigación se contó, con una mayor desagregación del ganado vacuno, en relación a la empleada en el INGEI 1990-2016, por lo que también existió diferencia en el peso de los animales.

Un mayor consumo de alimento conduce también a mayores emisiones de CH_4 . Este factor tiene correlación positiva con el tamaño del animal, la tasa de crecimiento, el nivel de actividad y producción. Un animal de menor categoría consume menor cantidad de alimento y el volumen de producción de CH_4 a nivel ruminal decrece con respecto a categorías superiores. Iguales resultados fueron obtenidos por [Gacia \(2011\)](#) en la provincia de Villa Clara, y por [Cisneros \(2018\)](#) en Honduras.

En la [figura 1](#) se muestran las emisiones por Fermentación entérica del ganado vacuno estimadas en la presente investigación y las del INGEI 1990-2016. Los resultados obtenidos fueron, como promedio, un 113.8 % superiores a los de 2016. Esto se debe a lo explicado anteriormente con respecto a los factores de emisión. Al aplicar la prueba U de Mann - Whitney, se encontraron diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) entre ambos resultados.

Tabla 1. Factores de emisión (kg CH₄ cabeza⁻¹ año⁻¹) por tipo de ganado vacuno para la subcategoría Fermentación entérica

| Tipo de ganado vacuno | FE (2022) | FE (2016) | IPCC (2006) |
|--|-----------|-----------|-------------|
| Vacas lecheras de baja producción | | | |
| 70% | 101.77 | 57.92 | 72 |
| 30% | 78.29 | | |
| Vacas para producir carne | | | |
| Terneros pre-destetos | | | |
| | 35.47 | 12.88 | 56 |
| Terneras de reemplazo | | | |
| Añojas | 38.54 | 25.05 | 56 |
| Novillas | 59.94 | | |
| Ganado de engorde | | | |
| Añojos | 59.62 | 38.32 | 56 |
| Torettes | 81.03 | | |
| Toros de ceba | 93.13 | | |
| Bueyes | 99.79 | | |
| Toros empleados con fines reproductivos | | | |
| | 82.23 | 48.63 | 56 |

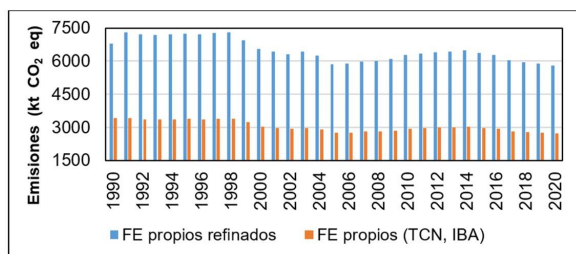


Figura 1. Emisiones de CH₄ (kt CO₂ eq) por la subcategoría Fermentación entérica del ganado vacuno, empleando factores de emisión propios de país (TCN, IBA) y refinados. Serie 1990 - 2020.

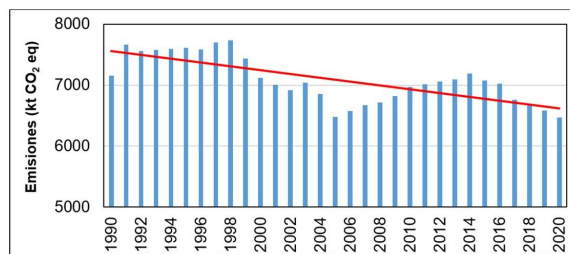


Figura 2. Emisiones de CH₄ (kt CO₂ eq) procedentes de la subcategoría Fermentación entérica. Serie 1990 - 2020.

Las emisiones de CH₄ por Fermentación entérica se mantuvieron relativamente estables en el tiempo, con tendencia a la disminución (figura 2). Pese a la reducción, de manera general, de la población de ganado vacuno a partir de 1990, las emisiones aumentaron entre 1991 y 1998, alcanzando el máximo valor ese último año con 7 870.5 kt CO₂ eq. Lo anterior se debió a que, aunque las vacas lecheras y de carne, los terneros pre-destetos y las novillas disminuyeran sus poblaciones, los restantes tipos de ganado vacuno aumentaron durante esos años, y como presentan altos factores de emisión, influyeron en el aumento de las emisiones.

A partir de 1999 las emisiones disminuyeron debido a descensos en la población de ganado vacuno. Pero esta cuestión se contrarrestó con una política de proliferación de ganado menor en todo el país, triplicándose la cantidad de cabezas de ganado menor para el período (Valdés *et al.*, 2014). A pesar de ello, como la contribución de los pequeños rumiantes a las emisiones de CH₄ entérico es pequeña, que aumentara significativamente la población no determinó un aumento de las emisiones totales de la subcategoría.

En el año 2006 y hasta 2014, las cifras de las emisiones volvieron a aumentar en correspondencia con la recuperación de las poblaciones de

ganado vacuno. En contraste, en el período 2015-2020 disminuyeron nuevamente las emisiones, alcanzando en 2020 el valor mínimo, con 6 543.5 kt CO₂ eq. La cifra anterior representó una reducción de un 9.6 % respecto al año base 1990, en correspondencia con una disminución del 21.7 % de la población de ganado vacuno.

La causa principal de la tendencia de las emisiones fueron los cambios experimentados por la población animal, principalmente del ganado vacuno, que es el que más contribuye a las emisiones por las características de su sistema digestivo.

Al analizar las emisiones por componente animal (Figura 3), se verificó que el ganado vacuno fue el que más aportó a las emisiones, con más del 90 % a lo largo de la serie temporal. Para el caso del ganado ovino, aunque emite poco CH₄, sus emisiones se incrementaron en un 68.9 % desde 1990, lo que respondió al incremento significativo de la población en este período.

El ganado vacuno se considera subcategoría significativa ya que acumuló más del 25% de las emisiones que se emitieron por la subcategoría Fermentación entérica. Es por ello que fue necesario emplear un método de nivel 2 para la estimación de las emisiones, y para las restantes especies un nivel 1.

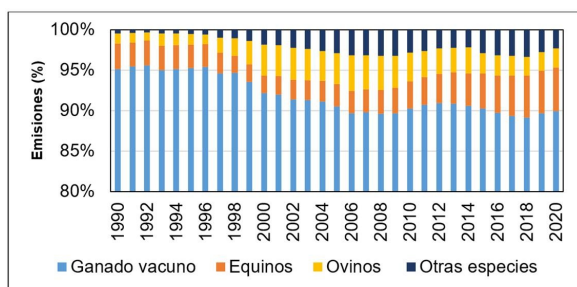


Figura 3. Emisiones de CH₄ (kt CO₂ eq) por componente animal de la subcategoría Fermentación entérica. Serie 1990 - 2020.

Al comparar los años 1990 y 2020, se encontró que la contribución del ganado vacuno a las emisiones disminuyó en un 5.1 % en el último año con respecto al primero, y la de las demás especies se incrementaron hasta el 10.1 %. El resultado se corresponde con la reducción de la masa ganadera vacuna y el aumento de las poblaciones de otros tipos de ganado en el país.

Emisiones de CH₄ por Gestión del estiércol del ganado vacuno

La [tabla 2](#) contiene los factores de emisión de la subcategoría Gestión del estiércol calculados para el ganado vacuno y los proporcionados por las Directrices del IPCC. Los factores de emisión refinados son inferiores a los que sugiere el IPCC. El comportamiento de los valores de los factores de emisión por categoría es similar al de la fermentación entérica, ya que el cálculo se realiza con base a la ingesta diaria de materia seca y la tasa de excreción. Estas variables tienen una correlación directa con el factor de emisión. De esta manera los valores son altos en las categorías de ganado adultas.

La prueba estadística U de Mann - Whitney arrojó la existencia de diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) en las emisiones calculadas con factores

de emisión propios de país y los por defecto de las [Directrices del IPCC 2006](#). Esto es consecuencia de las diferencias en los factores de emisión. Un menor factor de emisión deriva en menores emisiones de CH₄. Por tanto, las emisiones obtenidas en esta investigación resultaron la mitad de las que se obtuvieron al usar factores de emisión por defecto ([Figura 4](#)).

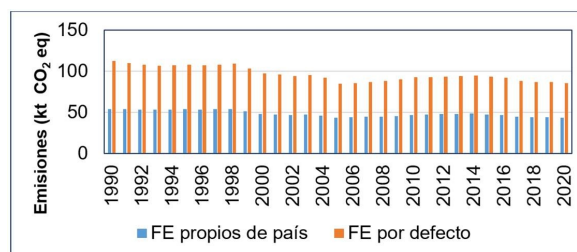


Figura 4. Emisiones de CH₄ (kt CO₂ eq) por la subcategoría Gestión del estiércol del ganado vacuno usando factores de emisión propios de país y por defecto. Serie 1990 - 2020.

Las emisiones de CH₄ por Gestión del estiércol mantuvieron una tendencia al aumento entre los años 1990 - 2019 ([Figura 5](#)). Lo anterior se debió al crecimiento del ganado no vacuno en ese período, principalmente el porcino, además del incremento de la población de ganado vacuno después de 2005 ([Valdés et al., 2014](#)).

La cifra mínima (110.8 kt CO₂ eq) que se alcanzó en 1992 fue efecto de la reducción de las cabezas de ganado porcino en un 57.3 % tomando como referencia el año 1990. En 2019 se registró el máximo valor de emisiones con 176.6 kt CO₂ eq. Esa cifra significó un aumento de un 25.1 % en relación al año 1990. Lo anterior se correspondió con el aumento del 73.8 % de la población de ganado porcino en el país con respecto a 1990. En 2020 aparece una apreciable reducción de las emisiones de un 24 % con respecto a 2019, como consecuencia también de la brusca disminución de un 58.1 % en la población porcina.

Tabla 2. Factores de emisión (kg CH₄ cabeza⁻¹ año⁻¹) por tipo de ganado vacuno para las emisiones de CH₄ por la subcategoría Gestión del estiércol

| Tipo de ganado vacuno | FE refinado | FE por defecto |
|--|-------------|----------------|
| Vacas lecheras de baja producción | | |
| 70% | 1.02 | 2 |
| 30% | 0.48 | |
| Vacas para producir carne | | |
| Terneros pre-destetos | 0.74 | 1 |
| Terneras de reemplazo | 0.27 | 1 |
| Añojas | 0.30 | 1 |
| Novillas | 0.46 | |
| Ganado de engorde | | |
| Añojos | 0.46 | 1 |
| Toretas | 0.63 | |
| Toros de ceba | 0.72 | |
| Bueyes | 0.77 | |
| Toros empleados con fines reproductivos | 0.64 | 1 |

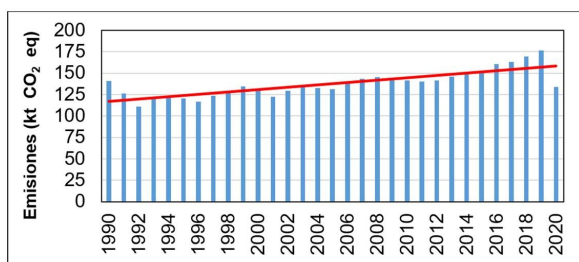


Figura 5. Emisiones de CH₄ (kt CO₂ eq) procedentes de la subcategoría Gestión del estiércol. Serie 1990 - 2020.

Los sistemas de gestión de estiércol empleados en la cría de estos animales son más proclives a la producción de CH₄.

Respecto a las emisiones por componente animal, estuvieron equilibradas entre los ganados vacuno (35.8 %) y porcino (30 %). Le siguieron los equinos con un 20.4 %. Los ovinos acumulan el 5.6 % y las restantes especies el 8.1 %. Las emisiones de los ganados vacuno y porcino disminuyeron en 2020 con respecto a 1990 por los descensos en sus poblaciones. Por el contrario, los equinos y ovinos aumentaron en 2020 sus poblaciones, con respecto a 1990, en 53.5 % y 68.9 %, respectivamente, lo cual va asociado al aumento de sus emisiones (Figura 6).

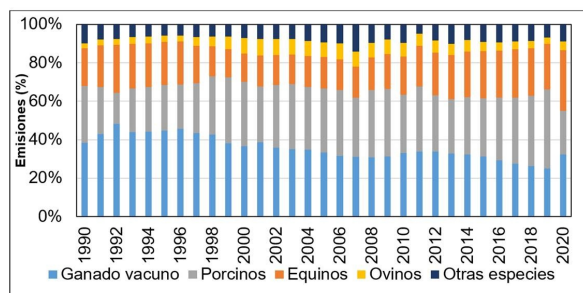


Figura 6. Emisiones de CH₄ (kt CO₂ eq) por componente animal procedentes de la subcategoría Gestión del estiércol. Serie 1990 - 2020.

Emisiones directas de N₂O por Gestión del estiércol del ganado vacuno

La tabla 3 muestra el promedio anual de excreción de nitrógeno para cada tipo de ganado vacuno. Esta variable depende de la ingesta de energía bruta y del porcentaje de proteína cruda de la dieta del animal. La ingesta de energía bruta es el mismo valor que se obtiene para la fermentación entérica y que depende principalmente de la digestibilidad del alimento y el peso de los animales, y está positivamente correlacionada con el promedio anual de excreción (Nex).

Los valores fueron altos para las categorías superiores de ganado ya que consumen más alimento. El más pequeño fue el de los terneros ya que su dieta se basa en leche materna y poca cantidad de pasto. Al introducir la ingesta de energía bruta y el porcentaje de proteína cruda de la dieta del animal, los valores obtenidos difieren de los empleados en el INGEI 1990-2016 (calculados con un nivel 1).

La figura 7 muestra las emisiones de N₂O correspondientes el ganado vacuno, obtenidas en esta investigación y las resultantes en el INGEI 1990-2016. Las emisiones que se alcanzaron aquí fueron, como promedio, un 145.9 % superiores. Esto se debe a lo explicado anteriormente con respecto a los valores del promedio anual de excreción de nitrógeno. La prueba U de Mann - Whitney determinó que existían diferencias estadísticas significativas (p < 0.05) entre ambos resultados.

El N₂O es el GEI que más se emite por la subcategoría Gestión del estiércol con el 91.6 % de las emisiones, por el ganado vacuno principalmente. Las emisiones de este gas procedentes de la Gestión del estiércol se mantuvieron relativamente estables durante toda la serie temporal (Figura 8).

Tabla 3. Promedio anual de excreción de nitrógeno para cada tipo de ganado vacuno

| Tipo de ganado vacuno | Nex (2022) | Nex (2016) |
|--|------------|------------|
| Vacas lecheras de baja producción | | |
| 70% | 120.90 | 70.08 |
| 30% | 79.37 | |
| Vacas para producir carne | | |
| Terneros pre-destetos | 132.74 | 42.71 |
| Terneras de reemplazo | 48.98 | 42.71 |
| Añojas | 53.22 | 42.71 |
| Novillas | 82.78 | |
| Ganado de engorde | | |
| Añojos | 82.34 | 42.71 |
| Toretos | 111.90 | |
| Toros de ceba | 128.60 | |
| Bueyes | 137.81 | |
| Toros empleados con fines reproductivos | 113.56 | 42.71 |

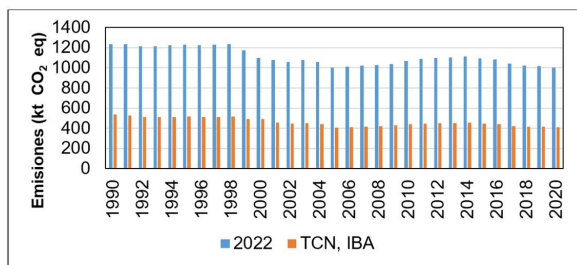


Figura 7. Emisiones de N₂O (kt CO₂ eq) por la subcategoría Gestión del estiércol del ganado vacuno. Serie 1990 - 2020.

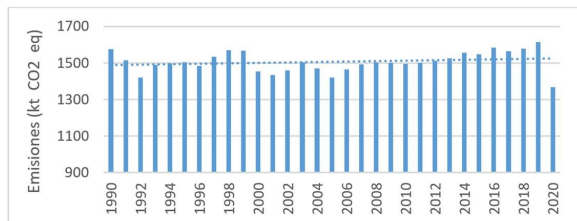


Figura 8. Emisiones de N₂O (kt CO₂ eq) procedentes de la subcategoría Gestión del estiércol. Serie 1990 - 2020.

El máximo de emisiones se tuvo en 2019 con 1 615.4 kt CO₂ eq. Aunque dicha cifra significó un incremento de solo un 2.6 % en relación a 1990. Al igual que las emisiones de CH₄, en 2020, disminuyeron las emisiones de N₂O en un 15.8 % con respecto al año anterior, en correspondencia con el descenso de gran población de ganado porcino.

Como se observa en la figura 9, el ganado vacuno mantuvo su relevancia en el total de la categoría, 73.8 % como promedio a lo largo de la serie temporal. Lo anterior se debe al número de cabezas de ganado, que es mayor que el de las demás especies, y a que el estiércol de estos animales produce grandes cantidades de N₂O.

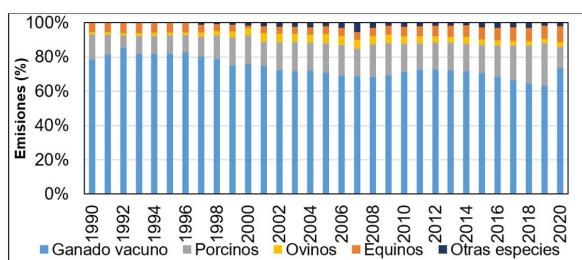


Figura 9. Emisiones de N₂O (kt CO₂ eq) por componente animal de la subcategoría Gestión del estiércol. Serie 1990 - 2020.

Le sigue el ganado porcino, cuyas emisiones representaron un promedio de 15.4 %, debido a que los sistemas de gestión de estiércol empleados en la cría de estos animales son más proclives a la producción de CH₄. Los equinos acumulan el 6.4 %, los ovinos el 3.6 % y el 2.1 % restante lo aportan las demás especies.

Al comparar el año 2020 con el año base 1990, se tuvo que la contribución a las emisiones por los ganados vacuno y porcino se redujo en un 4.9 % y un 2.3 %, respectivamente. Al contrario, el aporte del ganado equino a las emisiones se incrementó en un 3.9 %, la del ovino en un 1,5 % y la de las restantes especies en un 1.8 %. Esto se debió al crecimiento, en 2020, de las poblaciones de ganados equino, ovino, bufalino, mular y asnal, en un 107.1 % con respecto a 1990.

Tendencia de las emisiones de CH₄ y N₂O por la categoría Ganadería

En su totalidad, las emisiones de GEI procedentes de la ganadería en Cuba (figura 10) mantienen un comportamiento similar a lo largo de la serie analizada, aunque la tendencia es a la disminución. Las fluctuaciones son consecuencia de diversos factores: situación económica del país, condiciones climáticas, así como el manejo de la propia actividad agropecuaria (Valdés *et al.*, 2014). Estos factores influyen en el número de cabezas de ganado y su rendimiento productivo, y en consecuencia en el monto de las emisiones.

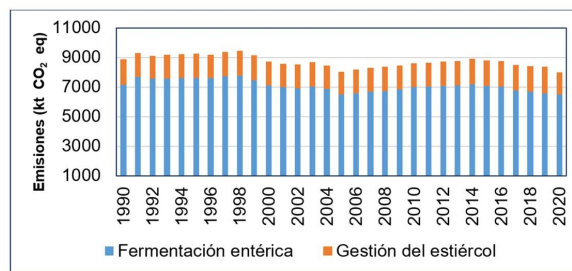


Figura 10. Emisiones de CH₄ y N₂O procedentes de la ganadería en Cuba.

Las mayores emisiones ocurrieron en el año 1998 con 9 468.8 kt CO₂ eq, a partir de entonces disminuyeron, alcanzando en 2005 un 14.9 % menos que en 1998. En los años comprendidos entre 2006 y 2014, las emisiones volvieron a crecer en consonancia con la recuperación de las poblaciones de ganado.

Pero entre 2015 y 2020 se mantuvo la tendencia decreciente, contabilizando en 2020 unas 8 001.8 kt CO₂ eq. Esta cifra representó una disminución de un 10.2 % con respecto a 1990. El 2020 fue un año en el que las cabezas de ganados vacuno, porcino, ovino, caprino y bufalino decrecieron en relación a los años anteriores, es por ello que se registraron menores emisiones.

La fermentación entérica fue la subcategoría de mayor relevancia, con el 81.2 % de las emisiones en todo el período de estudio. La gestión del estiércol aportó el 18.8 % restante de la categoría.

CONCLUSIONES

1. Por primera vez, en Cuba se utilizó la metodología de nivel 2 en la subcategoría Gestión del estiércol para ganado vacuno, y se refinaron los factores de emisión en la subcategoría Fermentación entérica del ganado vacuno. Lo anterior determinó un incremento significativo de las emisiones de CH₄ por Fermentación entérica y N₂O por Gestión del estiércol, y una significativa disminución de las emisiones de CH₄ por Gestión del estiércol para el período 1990-2020.
2. En el período 1990-2020 las emisiones de CH₄ por Fermentación entérica mantuvieron una tendencia a la disminución como consecuencia de la disminución de la población de ganado vacuno.
3. Las emisiones de N₂O por Gestión del estiércol en el período 1990-2020 se mantuvieron relativamente estables, aunque en 2020 tuvo lugar una apreciable disminución, resultado de la reducción de la población de ganados vacuno y porcino.
4. Las emisiones de CH₄ por Gestión del estiércol mostraron una tendencia al aumento, aunque en 2020 disminuyeron en correspondencia con el descenso en el número de cabezas de ganados vacuno y porcino.
5. El ganado vacuno constituyó la única subcategoría significativa para la Fermentación entérica y Gestión del estiércol, por lo que habrá que continuar dedicándole los mayores esfuerzos y recursos.

REFERENCIAS

- Benaouda, M; González, M; Molina, L.T. y Castelán, O. A. (2017). Estado de la investigación sobre emisiones de metano entérico y estrategias de mitigación en América Latina. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 8(4) 965-974.
- Cisneros, L.M. (2018). Inventario de gases de efecto invernadero en la producción de ganado de carne en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Tesis para optar al título de Ingeniera en Ambiente y Desarrollo en el Grado Académico de Licenciatura. Zamorano, Honduras.
- Du Toit, C. J. L., Meissner, H. H., & Van Niekerk, W. A. (2013). Direct methane and nitrous oxide emissions of South African dairy and beef cattle. *South African Journal of Animal Science*, 43(3), 320-339.
- FAO (2014). *Agricultura, Silvicultura y otros Usos de la Tierra. Emisiones por fuentes y absorciones por sumideros*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Roma.
- Hernández, O. A. (2020). Emisión de gases de efecto invernadero en unidades de producción bovina en Chiapas, México. Tesis de Maestría en Ciencias en Producción Agropecuaria Tropical. Universidad Autónoma de Chiapas. Facultad de Ciencias Agronómicas. Chiapas, México.
- IPCC (2006). *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. y Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan.
- Moreno, H. W; Torres, C. F; Gómez, E. L; Manrique, D. L; Sánchez, L. A. (2021). Cálculo de factores de emisión de metano (CH₄) entérico y de gestión de estiércol para ganado bovino en Colombia por metodología TIER 2. *Boletín técnico: N° 1 - enero 2021*. Grupo de Cambio Global - Subdirección de estudios Ambientales (SEA) – IDEAM. Bogotá, Colombia.
- Nieto, M.I.; Guzmán, M.L.; Steinaker, D. (2014). Emisiones de gases de efecto invernadero: simulación de un sistema ganadero de carne típico de la región central Argentina. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, vol. 40, núm. 1, pp. 92-101. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Buenos Aires, Argentina.
- República de Cuba (2020). Tercera Comunicación Nacional a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. La Habana, República de Cuba.
- Valdés A., R. Manso, R. Manrique, E. Carrillo, C. Sosa, A. León, A. V. Guevara, C. González, D. Boudet, M. Amáralas, R. Biart, I. López, D. Pérez, S. F. Pire, L. Cuesta, A. Mercadet, A. Álvarez (2014). Emisiones y Remociones de Gases de Invernadero en Cuba. Reporte Actualizado para el Período 1990 – 2008, CITMA/AMA/Instituto de Meteorología. La Habana.
- Wayne, D. (1991). Estadísticas no paramétricas y de libre distribución. En: *Bioestadística. Base para el análisis de las ciencias de la salud*. (pp.503 – 557). México, D.F.: Ed. Simusa.
- Zuñiga, N. (2016). Estimación de las emisiones en bovinos en los sistemas de producción lechera en pequeña escala a través del factor de conversión de metano. Tesis para optar al Grado de Doctor en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales. Universidad Autónoma del Estado de México. México.
- Lic. Dayanne Vega Almeida. Instituto de Aeronáutica Civil, La Habana, Cuba. E-mail: dayannevega2508@gmail.com
Dra. Rosemary López Lee Rosemary. Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba. E-mail: lopez@insmet.cu
MSc. Javier Bolufé Torres. Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba. E-mail: javierbolufejxl16@mail.com
Lic. Ignavis de la Caridad Castillo Lemus. Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba. E-mail: ignavis@gmail.com
MSc. Arnaldo Evaristo Collazo Aranda. Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba. E-mail: acollazo40@gmail.com
Lic. Rachel Martínez Rodríguez. Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba. E-mail: victoria20plus@gmail.com