

Estimación de las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes del ganado en México, 1990-2018

*Estimated Greenhouse Gas Emissions from Livestock
in Mexico, 1990-2018*

Adolfo Galicia Naranjo,* José Antonio Benjamín Ordóñez Díaz, Anabell Munguía Bárcenas,*** Nuria Julieta Venegas Mancera,**** Luis Enrique Ortega Treviño***** y María de Jesús Ordóñez Díaz*******

* Servicios Ambientales y Cambio Climático (SAAC), A. C., aadolfo_@hotmail.com

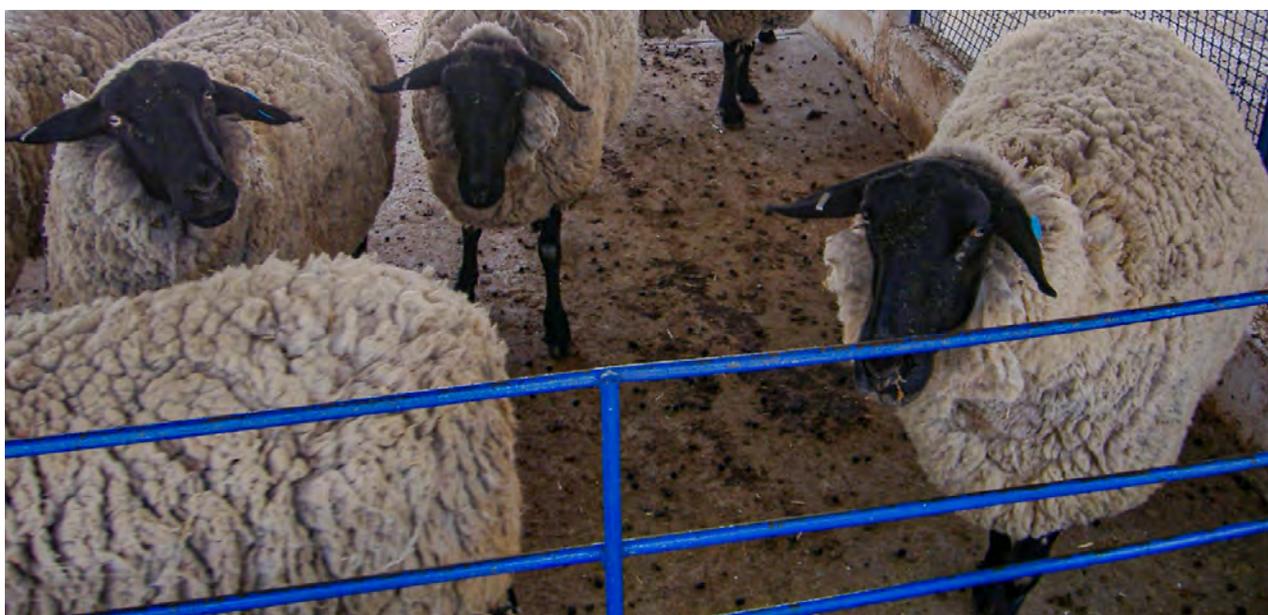
** Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y SAAC, A. C., jabordonez@ciencias.unam.mx

*** SAAC, A. C., llebana25904_0125@hotmail.com

**** Escuela Montessori de la Ciudad de México, nuria_julieta@hotmail.com

***** SACC, A. C., leot_lito@ciencias.unam.mx

***** Centro Regional de Investigación Multidisciplinaria, UNAM, mariapapiit@gmail.com



Ganado ovino estabulado/Benjamín Ordóñez

En este trabajo se aporta una visión crítica al ejercicio de la elaboración del inventario de emisiones de gases de efecto invernadero del subsector ganadero en México. Se estiman las provenientes de la fermentación entérica y el manejo de estiércol para el periodo comprendido entre 1990 y el 2018. El promedio de estas emisiones fue de 55 058.9 Gg de CO₂e al año⁻¹, registrándose un incremento de 7 % en el periodo. En el 2018, el ganado bovino cárnico contribuyó con 79 % de ellas y los bovinos de leche con 13 %; el metano representó 90.4 por ciento. El considerar distintos potenciales de calentamiento global para la conversión a CO₂e es una práctica necesaria para tener un panorama completo de los efectos radiativos de cada gas a corto y largo plazos, lo cual puede ser de gran utilidad para proponer medidas efectivas para la reducción, mitigación y adaptación ante el cambio climático en el subsector.

Palabras clave: ganadería; emisiones; mitigación.

Recibido: 17 de julio de 2020.
Aceptado: 19 de abril de 2021.

Introducción

Los inventarios de gases de efecto invernadero (GEI) nos permiten conocer la magnitud de las emisiones contaminantes que son generadas por las actividades humanas. Su elaboración está dentro de los compromisos establecidos en el *Protocolo de Kioto* y el *Acuerdo de París* sobre el cambio climático. La finalidad de estos inventarios es fungir como un instrumento de gestión ambiental para la toma de decisiones en materia de cambio climático (SEMARNAT, 2018).

De acuerdo con la *Sexta comunicación nacional ante el cambio climático* de México (1990-2015), se estima que el país generó 699 564.3 Gg¹ de CO₂e (CO₂e equivalente) en el 2015. En el sector *Agricultura, forestería y otros usos del suelo* (AFOLU, por sus siglas en inglés) se contabilizan las emisiones provenientes de las actividades ganaderas, las cuales

1 Gigagramos.

This paper provides a critical view of the greenhouse gas emissions inventory of the livestock subsector in Mexico. Emissions from enteric fermentation and manure management are estimated for the period between 1990 and 2018. The average of these emissions was 55 058.9 Gg CO₂e per year⁻¹, registering an increase of 7 % over the period. In 2018, beef cattle contributed 79 % of them and dairy cattle 13 % —methane accounted for 90.4 percent. Considering different global warming potentials for conversion to CO₂e is a necessary practice in order to have a complete picture of the radiative effects of each gas in the short and long term, which can be very useful to propose effective measures for the reduction, mitigation and adaptation to climate change in the subsector.

Key words: livestock sector; greenhouse gas emissions; mitigation.

se ubicaron como la tercera fuente de emisiones con un aporte de 70 567.6 Gg de CO₂e (la fermentación entérica aportó 53 442.7 Gg, mientras que el manejo de estiércol generó 17 124.8. En primer lugar, se encontró el sector del transporte con 171 mil Gg y en segundo, el de industrias de la energía con 165 mil Gg (SEMARNAT, 2012 y 2013; INECC, 2018).

A nivel mundial, se reconoce a las actividades ganaderas como una de las principales fuentes de emisiones de GEI (Dangal *et al.*, 2016), pues sus cadenas de producción emitieron un total de 8.1 Gt² de CO₂e en el 2010 (FAO, 2017). Aunado a lo anterior, el impacto de la ganadería también se observa en el porcentaje de las tierras que son dedicadas a la producción de alimentos para el ganado; de acuerdo con la FAO (2019), 80 % de los pastizales y suelos de cultivo se emplean para este propósito.

2 Gigatoneladas.

Los sistemas de producción animal (en específico aquellos que utilizan rumiantes) pueden representar fuentes significativas de emisiones de GEI (IPCC, 2006; Ordoñez *et al.*, 2013; SEMARNAT, 2018). Su proceso digestivo tiene la capacidad de aprovechar y convertir el material fibroso con altos contenidos de carbohidratos estructurales (celulosa y hemicelulosa) en alimentos de alta calidad nutritiva, como carne y leche (Sejian y Naqvi, 2013). Los carbohidratos son degradados a hexosas y pentosas por microorganismos presentes en el rumen, produciendo metano (CH₄) (Carmona, Bolívar y Giraldo, 2005; Veerasamy y Naqvi, 2012). Por otro lado, la descomposición anaeróbica de la materia orgánica presente en las excretas del ganado genera CH₄ y óxidos de nitrógeno (NO_x). La volatilización del amoníaco (NH₃) y NO_x de los sistemas de manejo de estiércol y de los suelos conduce a importantes emisiones indirectas de GEI (IPCC, 2006).

El objetivo de este trabajo es aportar una visión crítica al ejercicio de la elaboración del inventario de emisiones de GEI para el subsector ganadero mediante la estimación de las emisiones de GEI en México para el periodo 1990-2018, la descripción puntual de la contribución de los distintos GEI por hatos ganaderos y la comparación de las emisiones de GEI mediante la conversión a CO₂e con distintos horizontes de tiempo.

Materiales y métodos

Para estimar las emisiones de GEI provenientes del ganado, se utilizaron las guías metodológicas para la elaboración de inventarios de GEI del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) versión 2006. Como dato de actividad, se empleó el número de cabezas de ganado reportadas en la base de datos del Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON, 2019). Los hatos ganaderos considerados en este trabajo son: bovinos cárnico y de leche, así como ganados porcino, caprino y ovino. Se emplearon los factores de emisión (FE) sugeridos por defecto por el IPCC para el nivel Tier 1 (IPCC, 2013).

Como primer paso, se realizó el cálculo del CH₄ proveniente de la fermentación entérica (ecuación 1) y del manejo de estiércol (2). Los factores de emisión $EFf_{(T)}$ y $EFe_{(T)}$ son específicos para cada tipo de ganado y se expresan en $kg \cdot CH_4 \cdot cabezas^{-1} \cdot año^{-1}$. El resultado se expresa en $Gg CH_4 \cdot año^{-1}$:

$$CH_{4 \text{ Entérica}} = \sum_i \frac{(EFf_{(T)} \cdot N_{(T)})}{10^6} \quad (1)$$

$$CH_{4 \text{ Estiércol}} = \sum_i \frac{(EFe_{(T)} \cdot N_{(T)})}{10^6} \quad (2)$$

donde:

$EFf_{(T)}$ = FE de CH₄ por fermentación entérica.

$EFe_{(T)}$ = FE de CH₄ para el manejo de estiércol.

$N_{(T)}$ = número de cabezas de la especie.

T = especie o categoría de ganado.

Como segundo paso, se calcularon las emisiones de óxido nítrico (N₂O) provenientes del manejo de estiércol (ecuación 3). El resultado se expresa en $Gg N_2O \cdot año^{-1}$:

$$N_2O_{\text{Estiércol}} = \left[\sum_{(S)} \left[\sum_{(T)} (N_{(T)} \cdot Nex_{(T,S)}) \right] \cdot EF_{3(S)} \right] \cdot \frac{44}{28} \quad (3)$$

donde:

S = sistema de gestión de estiércol.

T = especie/categoría de ganado.

$Nex_{(T)}$ = promedio anual de excreción de nitrógeno por cabeza de la especie/categoría T en el país, en $kg N \cdot cabezas^{-1} \cdot año^{-1}$.

$MS_{(T,S)}$ = fracción de la excreción total anual de nitrógeno de cada especie/categoría de ganado T en el país, sin dimensión.

$EF_{3(S)}$ = factor de emisión para emisiones directas de N₂O del sistema de gestión de estiércol S en el país, en $kg N_2O \cdot N/kg N$ del sistema de gestión de estiércol S .

Potencial de calentamiento global

Gas	Persistencia en años	Potencia de calentamiento global		Reporte de referencia
		20 años	100 años	
Dióxido de carbono (CO ₂)	NA	1	1	IPCC 2013 -AR5
	NA	1	1	IPCC 1996 -SAR
Metano (CH ₄)	12.4	84	28	IPCC 2013 -AR5
	12	56	21	IPCC 1996 -SAR
Óxido nitroso (N ₂ O)	121	264	265	IPCC 2013 -AR5
	120	280	310	IPCC 1996 -SAR

Fuente: elaborado a partir de los datos contenidos en: <https://ghginstitute.org/2010/06/28/what-is-a-global-warming-potential/>

NA = no aplica.

AR5 = *Assessment Report 5*.

SAR = *Second Assessment Report*.

Como tercer paso, se realizó la conversión del CH₄ y del N₂O a su equivalente en CO₂, empleando los potenciales de calentamiento global³ (GWP, por sus siglas en inglés) para escenarios de 20 y 100 años (ver cuadro). La conversión es empleada para estandarizar el efecto de los distintos GEI bajo la métrica del dióxido de carbono.

Por último, el análisis de incertidumbre para la estimación de las emisiones de GEI en el periodo 1990-2018 (incertidumbre en la tendencia) se realizó mediante el método *Tier 1*, versión 2006, propuesto por el IPPC (para más detalles referirse al *Manual para elaboración de inventarios de GEI*).

3 "... índice basado en las propiedades radiativas de los gases de efecto invernadero, que mide el forzamiento radiativo obtenido de los impulsos de emisión en la atmósfera actual, de una unidad de masa de cierto gas de efecto invernadero, integrado a lo largo de un plazo de tiempo dado, en comparación con el causado por el dióxido de carbono..." (IPCC, 2013: 198).

Resultados

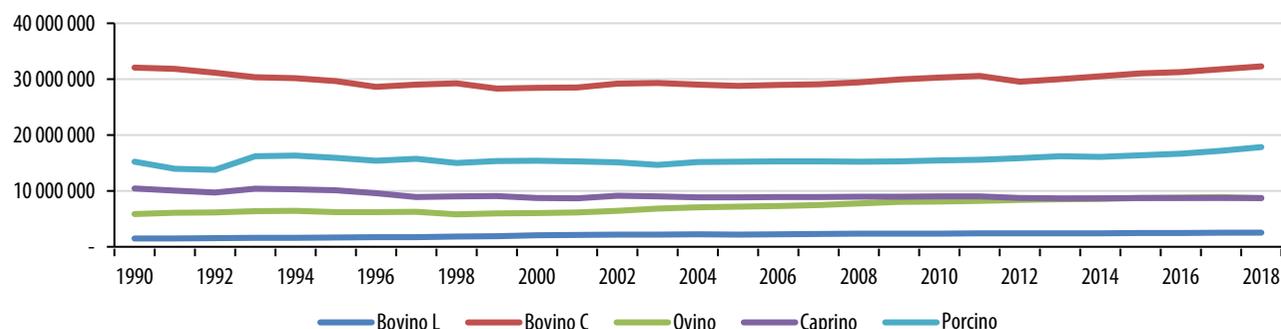
Población ganadera, 1990-2018

La importancia de conocer la distribución y la abundancia de los distintos hatos ganaderos radica en que ciertas especies aportan mayor cantidad de GEI, así como por la relación que existe entre la tasa de emisiones y las condiciones climáticas. En el periodo estudiado, el número total de la población ganadera presentó un incremento relativamente bajo (ver gráfica 1). En 1990, el número de cabezas de ganado correspondió a 65 029 124 individuos, en comparación con el 2018 cuando fue de 70 092 595; es decir, hubo un aumento de 7.8 % en un lapso de 28 años.

De manera puntual, la población de bovinos de leche tuvo un incremento correspondiente a 70 %

Gráfica 1

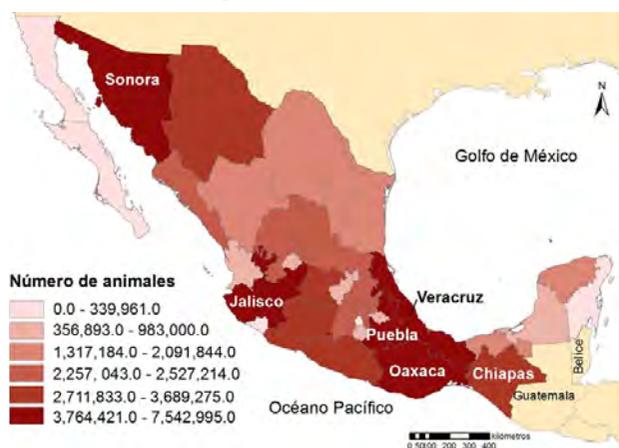
Población ganadera en México, 1990-2018



en ese periodo; por otro lado, el ganado caprino disminuyó 16.2 % (ver gráfica 1). En conjunto, los hatos de vacunos cárnicos y de leche eran los de mayor importancia en el país (34.8 millones de cabezas de ganado en el 2018). La distribución por estado de la población pecuaria se muestra en el mapa: Veracruz de Ignacio de la Llave, Jalisco y Sonora concentraron el mayor número.

Mapa

Población pecuaria en México, 2018



Estimaciones de GEI procedentes del subsector ganadería (1990-2018)

Las emisiones procedentes de la fermentación entérica y el manejo de estiércol en México fueron, en promedio, 55 058.9 Gg de CO₂e al año. En la gráfica

2 se muestra el valor correspondiente a la suma de los gases CH₄ y N₂O provenientes de estas acciones en unidades de CO₂e (GWP₁₀₀).

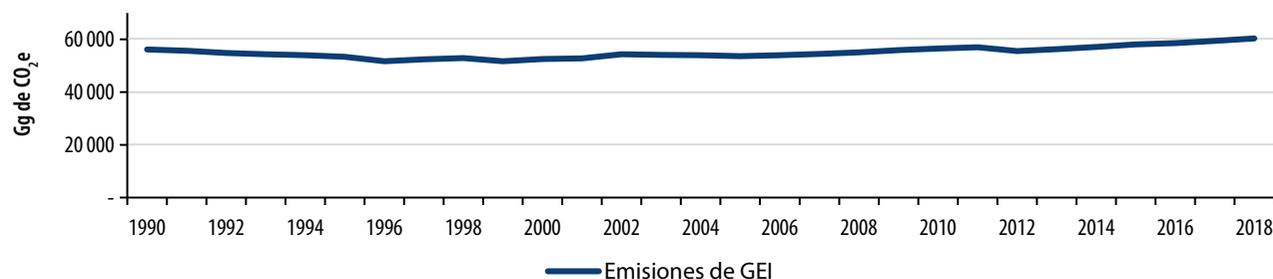
De 1990 al 2018, las emisiones presentaron un incremento de 7.4 %; el menor volumen sucedió en 1996 con 51 692.5 Gg de CO₂e, contrastando con el 2018, que fue el año en el que más se emitieron con 60 335.9 Gg de CO₂e (ver gráfica 2). La incertidumbre general de la tendencia para el cálculo de las emisiones de GEI en el periodo 1990-2018 es de ± 33.79 por ciento.

Emisiones de GEI en Gg de CO₂e (GWP100) en el 2018

En la gráfica 2 podemos observar la magnitud de las emisiones para el periodo en estudio; sin embargo, resulta necesario desagregar los resultados para poder identificar la contribución diferencial del CH₄ y N₂O, así como su relación con los hatos ganaderos. Para ello, se empleó el 2018 cuando, como ya se mencionó, se emitieron 60 335.9 Gg de CO₂e, de los cuales 90.4 % correspondió a CH₄ y 9.6 %, al N₂O (ver gráfica 3). Con 34 820 271 individuos, los bovinos cárnicos y de leche son los hatos ganaderos que más emiten GEI, principalmente CH₄. Si bien la población de ganado porcino no es muy numerosa (con 17.8 millones son el tercer hato en importancia numérica en el país), la proporción de emisiones de N₂O es alta. De manera contraria, el ovino no aporta una cantidad considerable de este gas.

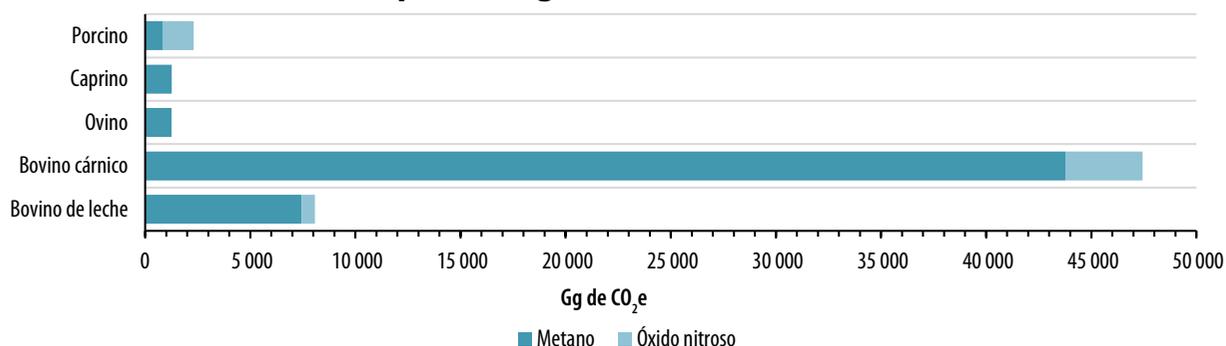
Gráfica 2

Emisiones de metano y óxido nítrico generadas por la fermentación entérica y el manejo de estiércol en Gg CO₂e (GWP₁₀₀)



Gráfica 3

Aporte de metano y óxido nítrico en Gg de CO₂e (GWP₁₀₀) por hato ganadero en el 2018



Comparación de las estimaciones de GEI bajo la conversión a Gg de CO₂ con distintos horizontes de tiempo (GWP₂₀ y GWP₁₀₀)

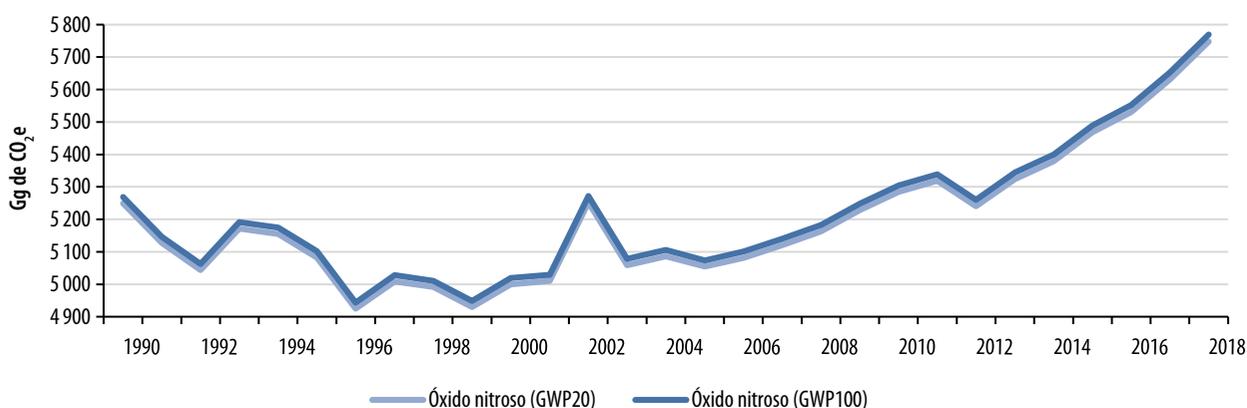
La diferencia anual entre las estimaciones de N₂O es, en promedio, 19.3 Gg de CO₂e (ver gráfica 4). En este caso, debido a las propiedades intrínsecas de N₂O, podemos apreciar que el uso de distintos GWP no es un factor que modifique la respuesta en ambos escenarios. De manera contraria, para el gas CH₄, la diferencia observada como resultado de la conversión a CO₂e a 20 y 100 años es amplia. El potencial de calentamiento del CH₄ y la conversión con un GWP₂₀ es, en promedio, 100 255.8 Gg de CO₂e, mayor que la calculada con un GWP a 100 años (ver gráfica 5).

Discusión

Los inventarios nacionales de emisiones cuantifican los GEI generados por las actividades humanas. En diversos trabajos, se ha reportado la importancia que tienen las provenientes de la ganadería. Al igual que en México, donde los bovinos aportan una gran proporción de CH₄ (ver gráfica 3), el ganado en otros países de América Latina se ubica dentro de las principales fuentes de GEI, por ejemplo: 71 % de las emisiones de CH₄ reportadas por Brasil en el 2004 provienen de la fermentación entérica (MCTI, 2004); las emisiones derivadas de los hatos en Chile en 2016 fueron de 42 830 Gg de CO₂e, donde los bovinos contribuyeron con 85.9 % (MMA, 2018); en Colombia, el ganado generó 13 %

Gráfica 4

Comparación de las emisiones de óxido nítrico provenientes del manejo de estiércol bajo distintos potenciales de calentamiento global



(22 798.5 Gg de CO₂e) de las emisiones totales en el 2012 (IDEAM *et al.*, 2015); en Perú, para el 2014, el ganado contribuyó con 9 387 Gg de CO₂e, es decir, 6 % de las emisiones del país (MINAM, 2019).

Dada la relevancia de las actividades ganaderas en distintos países de Latinoamérica y al incremento estimado en las emisiones de GEI para el 2018 en México (60 335.9 Gg de CO₂e), como se observa en la gráfica 2, resulta importante la implementación de medidas de mitigación y adaptación en este sector ante el cambio climático para cumplir con las metas planteadas en los acuerdos internacionales en materia de reducción de emisiones. Por un lado, tener estimaciones más precisas requiere una mejora en la calidad de los datos de actividad del país, así como de la inversión en el desarrollo de FE acordes con la diversidad de condiciones presentes en México y, por ende, usar lo menos posible FE por defecto.

A la fecha, numerosos trabajos indican las limitaciones de emplear la métrica del CO₂e bajo un horizonte de 100 años (GWP₁₀₀). Lo anterior, debido a las diferencias físicas de cada gas, como la eficiencia radiativa y su persistencia en la atmósfera, además de las características intrínsecas y la modelación específica para cada uno (IPCC, 2013; Levasseur *et al.*, 2016; Allen *et al.*, 2016; Lynch, 2019).

De manera simplificada, las emisiones de los gases no-CO₂ son multiplicadas por valores que describen el incremento de CO₂ que podría resultar en

un impacto climático equivalente (Lynch, 2019). No obstante, el peso asignado a las emisiones de gases no-CO₂ puede diferir significativamente dependiendo de la métrica empleada. Por lo tanto, confiar en una sola medición puede ocultar diferencias importantes en el impacto climático de los diferentes GEI (Lynch, 2019); por ejemplo, en los forzadores de vida corta, como el CH₄, se puede observar que el escenario comúnmente utilizado (GWP₁₀₀) enmascara los graves efectos del metano a corto plazo (ver gráfica 5).

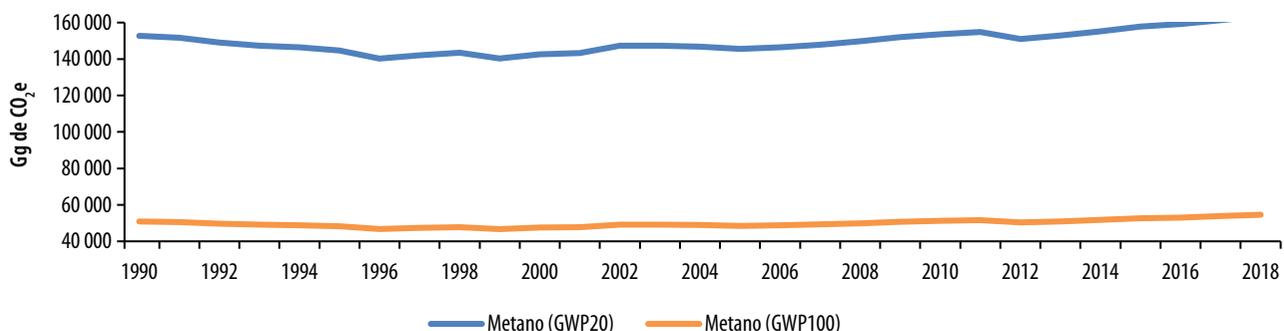
La diferencia entre la métrica del GWP₂₀ y la del GWP₁₀₀ es, en promedio, 100 255.8 Gg de CO₂e (ver gráfica 5). Allen *et al.* (2018) indican que emplear GWP convencionales para convertir los contaminantes de vida corta a CO₂e subrepresenta su impacto en la temperatura global, lo cual no sucede para gases con una persistencia promedio en la atmósfera alta, como es el caso del N₂O (ver gráfica 4). En este sentido, se ha propuesto que una métrica complementaria podría ser mediante el potencial de cambio en la temperatura global (GTP, por sus siglas en inglés) (Allen *et al.*, 2018), así como la inclusión de la estimación GWP bajo distintos horizontes de tiempo (Allen *et al.*, 2016; Levasseur *et al.*, 2016).

Factores de emisión y datos de actividad

El IPCC permite tres niveles de precisión para realizar las estimaciones de GEI; el *Tier 1* es el método

Gráfica 5

Comparación de las emisiones de metano proveniente del manejo de estiércol y la fermentación entérica bajo distintos potenciales de calentamiento global



más sencillo y que requiere de datos básicos, pero que asocia altas incertidumbres. En este trabajo, la incertidumbre de la tendencia en las estimaciones es de $\pm 33.79\%$; poder reducirla requiere de datos de actividad más detallados y completos. A diferencia de otros sectores, al tratarse de poblaciones ganaderas, los aspectos demográficos adquieren relevancia para realizar la estimación de GEI. Datos como la especie, la edad, el sexo y el peso, así como la calidad, la cantidad de alimento y su digestibilidad, resultan particularmente importantes para realizar el cálculo de la producción de CH_4 (Hristov *et al.*, 2013; Sejian y Nakvi, 2013; Rotz *et al.*, 2018). La base de datos del SIACON, si bien es de utilidad, presenta ciertas limitaciones para realizar un inventario de GEI más preciso. Por mencionar una, tan solo en bovinos se requerirían datos de las distintas categorías de edad: novillo, ternera, toro, etcétera. Asimismo, esta base de datos no reporta las especies exóticas (búfalos, camellos y llamas, entre otras), además de que no se incluye el registro de caballos, mulas y asnos.

Guzmán y Sager (2013) señalan, para un estudio de caso, que entre los niveles *Tier 1* y *Tier 2* puede presentarse una diferencia de 7.8% en el volumen de emisiones de CH_4 , calculadas para la fermentación entérica en bovinos. En nuestro trabajo, para utilizar el nivel *Tier 2* del IPCC se requeriría el uso de datos como las necesidades energéticas del animal, el tipo de alimentos ingeridos y la tasa de conversión de CH_4 para el alimento (IPCC, 2006). Si bien recabar dicha información puede ser una tarea compleja, y más tratándose de una base de datos nacional, al contar tan solo con el valor del peso del animal (kg) se podría obtener una mejor estimación de las emisiones de GEI. Por ejemplo, Smith *et al.* (2015) modificaron la ecuación *Tier 1* del IPCC; al integrar el peso de los animales mostraron un mejor ajuste que el proporcionado por un nivel *Tier 2*, es decir, la incertidumbre de las estimaciones se redujo, algo deseable para esta clase de inventarios, cuya incertidumbre asociada tiende a ser alta. Un método preciso para registrar las emisiones de CH_4 de la fermentación entérica son las cámaras de respiración (Hammond *et al.*, 2014). Sin embargo, es relativamente costoso y

presenta ciertas dificultades para poder adecuarlo a las prácticas ganaderas rurales del país.

Por otro lado, para el manejo de estiércol, se ha reportado que factores climáticos como la variación estacional de la temperatura del suelo ($^{\circ}\text{C}$) y la precipitación (mm) intervienen en el proceso para la generación de emisiones de N_2O , derivadas de la descomposición de las excretas y la orina del ganado bovino cárnico y de leche (Lou *et al.*, 2019). En este sentido, en la manipulación de heces se han documentado diferencias considerables en los FE provenientes de estudios de caso para un mismo tipo de manejo y disposición de los excrementos (Rotz, 2018). Las emisiones de CH_4 de los desechos animales son afectadas por su tipo y cantidad, las características del sistema de manejo de estiércol y las condiciones climáticas en las cuales se descomponen (González, 1994).

En el ámbito nacional, debido a la limitación de FE (ya sea para el cálculo de fermentación entérica, o bien, para el manejo de estiércol) es común el uso del nivel *Tier 1* para la elaboración de los inventarios de GEI. Tal es el caso de algunos de los estados con el mayor número de cabezas de ganado, como Oaxaca, Chiapas, Sinaloa y Sonora, como se puede observar en el mapa (Chacón *et al.*, 2010; Noriega *et al.*, 2011; Covantes y Flores, 2012; De Jong *et al.*, 2015). El uso de factores de emisión por defecto, si bien es correcto, no es la mejor práctica debido a la alta incertidumbre asociada. En el contexto de la variedad y la variabilidad de condiciones ambientales presentes en México, resulta necesaria la investigación puntual para: 1) ampliar el catálogo de la información de la población pecuaria del país y 2) el desarrollo de FE acordes con las condiciones climáticas de las distintas regiones. Posiblemente sea una tarea más probable de conseguir por las entidades federativas que, a su vez, también elaboran inventarios estatales de emisiones de GEI, lo cual, sin duda, ayudará a mejorar la toma de decisiones para la mitigación y adaptación ante el cambio climático mediante mejores estimaciones de GEI.

Conclusiones

Contrario a lo esperado, las emisiones de GEI provenientes del ganado se han incrementado poco en un periodo de 28 años. No obstante, representan la tercera fuente en el país. Resulta indispensable atender las limitaciones en materia de inventarios de GEI como una medida para contar con mejores estimaciones y fortalecer la toma de decisiones en el sector.

Al identificar los hatos ganaderos que más contribuyen con emisiones de GEI, se podrían enfocar recursos para: 1) recabar la información necesaria para poder mejorar las estimaciones, 2) destinar recursos para el desarrollo de factores de emisión acordes con la variedad y variabilidad de condiciones presentes en el país para los hatos que más los generan y 3) desarrollar medidas de mitigación y adaptación al cambio climático enfocadas a las fuentes principales de emisiones de GEI en el sector.

La conversión comúnmente empleada mediante el cambio a CO₂e para un escenario de 100 años puede tener repercusiones en la toma de decisiones en materia de mitigación y adaptación del cambio climático, pues se enmascaran los graves efectos a corto plazo de forzadores de vida corta, como el metano, principal gas generado en el subsector ganadero.

Fuentes

- Allen, M., J. Fuglestedt, K. Shine, A. Reisinger, R. Pierrehumbert and P. Foster. "New use of global warming potentials to compare cumulative and short-lived climate pollutants", en: *Nature Climate Change*. United Kingdom, 2016, pp. 773-777.
- Allen, M., K. Shine, J. Fuglestedt, R. Millar, M. Cain, D. Frame and A. Marcey. "A solution to the misrepresentations of CO₂-equivalent emissions of short-lived climate pollutants under ambitious mitigation", en: *Climate and Atmospheric Science*. United Kingdom, 2018, pp. 16.
- Bell, M., R. Eckard and J. Pryce. "Breeding dairy cows to reduce greenhouse gas emissions", en: *Livestock Production*. Croatia, InTech, 2012, pp. 47-52.

- Bonilla, J. y C. Lemus. "Emisión de metano entérico por rumiantes y su contribución al calentamiento global y al cambio climático", en: *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. México, 2012, pp. 215-246.
- Carmona, J., D. Bolívar y L. Giraldo. "El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo", en: *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. Colombia, 2005, pp. 49-63.
- Chacón, D., M. Giner, M. Vázquez, J. Maldonado, S. Roe y R. Anderson. "Emisiones de gases de efecto invernadero en Sonora y sus proyecciones de casos de referencia 1990-2020", en: *Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza*. Ciudad Juárez, Chihuahua, México, 2010, pp. 7-17.
- Covantes, C. y M. Flores. *Inventario de gases de efecto invernadero del estado de Sinaloa, México*. Sinaloa, México, 2012, pp. 60-87 (DE) consultado el 1 de agosto de 2019 en https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/40602/2012_sin_inventario_gei.pdf
- Dangal, S., H. Tian, B. Zhang, S. Pan, C. Lu and J. Yang. "Methane emissions from global livestock sector during 1890-2014: Magnitude, trends and spatiotemporal patterns", en: *Global Change Biology*. 2017, pp. 4147-4161.
- De Jong, B., V. Maldonado, F. Rojas, M. Olguín, V. Cruz, M. Castillo, G. Jiménez, E. Mirinidou, A. Flores y S. Ochoa. *Inventario estatal de emisiones de gases de efecto invernadero de Chiapas, México*. México, 2015, pp. 57-59 (DE) consultado el 1 de agosto de 2019 en https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/41966/chia_inventario.pdf
- Eggleston, H. S., L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara and K. Tanabe. *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use*. Japan, IGES, 2006.
- FAO. *Global Livestock Environmental Assessment Model (GLEAM)*. Rome, 2017 (DE) consultado el 19 de agosto de 2019 en <http://www.fao.org/gleam/results/es/#c330595>
- _____. *Ganadería sostenible y cambio climático en América Latina*. Rome, 2019 (DE) consultado el 19 de agosto de 2019 en <http://www.fao.org/americas/prioridades/ganaderia-sostenible/es/>
- González, E. *Inventario de emisiones de metano por actividades pecuarias. El caso de los desechos del ganado bovino y su relación con los climas actuales y futuros en México*. México, Universidad Nacional Autónoma de México, 1994, pp. 75.
- Guzmán, M. and R. Sager. "Inventario de metano entérico de los sistemas de producción de carne para San Luis en el año 2009", en: *Revista de Investigaciones Agropecuarias*. 2013, pp. 88-94.
- Hristov, J., J. Oh, J. Firkins, J. Dijkstra, E. Kebreab, G. Waghorn, H. Makkar, A. Adesogan, W. Yang, C. Lee, P. Gerber, B. Henderson and J. Tricarico. "Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: I. A review of enteric methane mitigation options", en: *Journal of Animal Science*. 2013, pp. 5045-5069.

- IDEAM. *Primer informe bienal de actualización de Colombia ante Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Colombia, Instituto de Hidrología, Metodología y Estudios Ambientales, 2015.
- INECC. *Inventario nacional de emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero 1990-2015*. México, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2018.
- IPCC. *Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. The IPCC Plenary accepted this report at its 16th session held in Montreal from 1996*.
- Levasseur, A., O. Cvallet, J. Fuglestedt, T. Gasser, D. Johansson, S. Jørgensen, M. Raugei, A. Reisinger, G. Schivley, A. Strømman, K. Tanaka and F. Cherubini. *Enhancing life cycle assessment from climate science: Review of recent findings and recommendations for application to LCA. Ecological Indicators*. 2016. pp. 163-174.
- Lou, J., S. Saggart, T. Weerden and C. Klein. "Quantification of nitrous oxide emission and emission factors beef and dairy cattle excreta deposited on grazed pastoral hill lands", en: *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2019, pp.103-113.
- Lynch, J. "Availability of disaggregated greenhouse gas emissions from beef cattle production: A systematic review", en: *Environmental Impact Assessment Review*. 2019.
- MMA. *Informe del Inventario nacional de gases de efecto invernadero de Chile. Serie 1990-2013*. Chile, Ministerio del Medio Ambiente, 2017.
- MCTI. *Comunicación inicial de Brasil a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Brasil, Ministerio de Ciencia y Tecnología, 2014, pp. 131-140.
- Myhre, G., D. Shindell, F.-M. Bréon, W. Collins, J. Fuglestedt, J. Huang, D. Koch, J. F. Lamarque, D. Lee, B. Mendoza, T. Nakajima, A. Robock, G. Stephens, T. Takemura and H. Zhang. "Anthropogenic and Natural Radiative Forcing", en: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. United Kingdom and New York, NY, USA, 2013.
- Noriega, D., L. Becerra, S. Montero, A. Morán, A. Cruzado, Z. Tzompa y L. Riva. *Inventario de emisiones de contaminantes criterio y gases de efecto invernadero de Oaxaca, México*. México, Centro Mario Molina para Estudios Estratégicos sobre Energía y Medio Ambiente, A. C., 2011 (DE) consultado el 19 de agosto de 2019 en <https://www.oaxaca.gob.mx/semaedeso/wp-content/uploads/sites/59/2016/02/Inventario-de-Emissiones-Oaxaca.-CMM.-Ago-22-2011.pdf>
- Ordóñez, J., T. Hernández, A. Galicia, F. Jiménez, M. Ordóñez, J. Torres, J. León, A. Rico, M. Hernández, F. González y J. Alejandro. "Agricultura", en: *Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2010*. Ciudad de México, México, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2013, pp. 105-122.
- Rendón, J., J. Pinos and E. A. Kebreab. "Animal nutrition strategies to reduce greenhouse gas emissions in dairy cattle", en: *Acta Universitaria*. 2018, pp. 34-41.
- Rotz, A. "Symposium review: Modeling greenhouse gas emissions from dairy farms", en: *Journal of Dairy Science*. 2018, pp. 6675-6690.
- Sejian, V. and S. Naqvi. "Livestock and Climate Change: Mitigation Strategies to Reduce Methane Production", en: *Greenhouse Gases: Capturing, Utilization and Reduction*. 2013.
- SEMARNAT. *México. Quinta comunicación nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. México, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2012, pp. 215-218.
- _____. *Inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero 1990-2010*. México, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2013, pp. 105-122.
- _____. *México. Inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero y compuestos de efecto invernadero 1990- 2015*. México, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2018, pp. 129-146.
- Servicio de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON). *Software*. 2019 (DE) consultado el 2 de octubre de 2019 en <https://www.gob.mx/siap/documentos/siacon-ng-161430>
- Smith, F., K. Lyons, P. Wagner and S. Elliott. "The importance of considering animal body mass in IPCC greenhouse inventories and the underappreciated role of wild herbivores", en: *Global Change Biology*. 2015, pp. 3830-3888.
- Stocker, T. F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex y P. M. Midgley (eds.). "Glosario", en: *Cambio Climático 2013. Bases físicas. Contribución del grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. IPCC, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de América, 2013.