

# Ganado, Metano y Clima

D. Alexander<sup>1</sup>, J. D. Ferguson<sup>2</sup>, A. Glatzle<sup>3</sup>, W. Happer<sup>4</sup>  
y W. A. van Wijngaarden<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Methane Science Accord, Clevedon, Nueva Zelanda.

<sup>2</sup>Facultad de Medicina Veterinaria de la Universidad de Pensilvania, EE. UU.

<sup>3</sup>Asociación Rural del Paraguay, Asunción.

<sup>4</sup>Departamento de Física, Universidad de Princeton, EE. UU.

<sup>5</sup>Departamento de Física y Astronomía, Universidad de York, Canadá.

27 de enero de 2026

arXiv:2601.18522v1 [physics.ao-ph] 26 de enero de 2026

## Resumen

Las emisiones de metano procedentes del ganado tienen un efecto inapreciable sobre la temperatura de la Tierra. Por ejemplo, si cuando se escribió este artículo en el año 2025 se hubieran sacrificado los aproximadamente 1600 millones de bovinos que hay en la Tierra, el descenso de temperatura producido como consecuencia de la reducción de la concentración atmosférica de metano habría sido de tan solo  $\Delta T = -0,04$  °C. Sacrificar a los 1300 millones de ovejas habría provocado una reducción de temperatura de  $\Delta T = -0,004$  °C. El compromiso de Nueva Zelanda de reducir las emisiones de metano procedentes de su ganado entre un 14 % y un 24 % con respecto a las de 2017 supondría un descenso de temperatura que oscilaría entre  $\Delta T = -0,000005$  °C y  $-0,000008$  °C, una variación demasiado pequeña para que pueda ser medida. Estos valores son las máximas reducciones de la temperatura que pueden obtenerse cuando las referidas emisiones de metano procedentes del ganado doméstico no son substituidas por otras fuentes (rumiantes salvajes y termitas) durante el inevitable proceso de asilvestrado y re-naturalización de los pastizales y praderas previamente gestionados.

# 1 Introducción

El ganado rumiante, como el vacuno, el ovino y el caprino, emite metano para obtener la máxima energía nutricional del forraje. La fermentación anaeróbica por parte de los microorganismos del rumen convierte los carbohidratos estructurales, como la celulosa y la hemicelulosa, en moléculas orgánicas nutricionales, sobre todo, ácidos acético, propiónico y butírico o *ácidos grasos volátiles* (AGV). Los propios microorganismos proporcionan proteínas y otros nutrientes cuando se digieren en las partes posteriores del tracto digestivo.

Un subproducto inevitable de la fermentación ruminal es el gas metano, CH<sub>4</sub> [1]. El crecimiento de las arqueas metanogénicas es promovido por los incrementos de energía libre de Gibbs que se liberan cuando se forman las moléculas de metano. Una de las reacciones metanogénicas importantes [1] es



En condiciones fisiológicas normales del rumen cada molécula de CH<sub>4</sub> liberada en reacciones como la descrita en (1) puede generar una o dos moléculas portadoras de energía de adenosin trifosfato (ATP).

El metano origina un *forzamiento radiativo* por molécula que multiplica aproximadamente por 30 el generado por cada molécula de dióxido de carbono [2]. Sin embargo, las variaciones de la temperatura global que provocan las emisiones de metano procedentes de los rumiantes son demasiado pequeñas para que puedan ser medidas. En esta breve nota se revisan las bases cuantitativas de estas afirmaciones. Se prestará especial atención a las emisiones de metano del ganado vacuno y ovino de Nueva Zelanda.

## 2 Propiedades atmosféricas

La presión media en la superficie de la atmósfera terrestre, que es ligeramente inferior a la presión media a nivel del mar debido a las superficies terrestres de mayor altitud, es [3]

$$p_0 = g \frac{dM}{dA} = 0.985 \times 10^5 \text{ N m}^{-2}, \quad (2)$$

Se supone que la aceleración de la gravedad es independiente de la altitud y de valor:

$$g = 9.81 \text{ m s}^{-2}. \quad (3)$$

Sustituyendo (3) en (2), se obtiene que la masa atmosférica por unidad de superficie es:

$$\frac{dM}{dA} = 1.004 \times 10^4 \text{ kg m}^{-2}. \quad (4)$$

La mayor parte de la densidad de masa superficial (4) se debe al nitrógeno, oxígeno y argón, pero incluye también una pequeña y variable contribución de vapor de agua, dióxido de carbono, metano y otros gases traza. Se puede aproximar la masa media de una molécula de atmósfera basándose en [4] como:

$$\bar{m} = 4.809 \times 10^{-26} \text{ kg} \quad \text{o} \quad \bar{M} = N_A \bar{m} = 28.96 \text{ g mol}^{-1}. \quad (5)$$

Donde el número de moléculas por mol viene dado por el número de Avogadro  $N_A$  :

$$N_A = 6.022 \times 10^{23}. \quad (6)$$

Por lo tanto, la densidad numérica media de las moléculas de aire sobre la superficie de la Tierra es

$$\hat{N} = \frac{1}{\bar{m}} \frac{dM}{dA} = 2.088 \times 10^{29} \text{ m}^{-2}. \quad (7)$$

El radio medio de la Tierra es [5]

$$r = 6.371 \times 10^6 \text{ m}. \quad (8)$$

En consecuencia, el número total de moléculas en la atmósfera terrestre es

$$N = 4\pi r^2 \hat{N} = 1.065 \times 10^{44}. \quad (9)$$

### 3 Emisiones de metano del ganado vacuno

El nombre científico de las especies de ganado doméstico vacuno más abundantes es *Bos taurus* o *Bos indicus*. Se utilizará el símbolo  $B$  para designar el número de cabezas de ganado vacuno que hay en la Tierra. Según la referencia [6], en el año 2023 el número total era

$$B(2023) = 1.576 \times 10^9, \quad (10)$$

lo que supone un incremento respecto de las que había en el año 1961 ya que

$$B(1961) = 0.942 \times 10^9, \quad (11)$$

El incremento en función del tiempo ha sido casi lineal, por lo que se aproximará el número total de cabezas de ganado mediante la función (12), siendo  $t$  el tiempo en años:

$$B(t) = a_B + b_B t, \quad (12)$$

De las ecuaciones (10) y (11) se deduce que el valor de los coeficientes  $a_B$  y  $b_B$  de (12) es:

$$a_B = -1.911 \times 10^{10} \quad \text{y} \quad b_B = 1.023 \times 10^7 \text{ año}^{-1}. \quad (13)$$

Substituyendo en (12) los valores de  $a_B$  y  $b_B$  de (13), se estima que el número de cabezas de ganado vacuno en el año 2025 es

$$B(2025) = 1.6 \times 10^9, \quad (14)$$

Lo que supone 1 vaca por cada 5 personas de los 8 200 millones que habitan la Tierra [7].

Las emisiones de metano por vaca dependen de muchos factores: la ingestión de alimento, la composición del alimento, el peso y la edad de la vaca, si la vaca se cría para carne o leche, etc. Se asumirá que cada vaca es una fuente de emisión con una tasa de emisión de [8]

$$S_B = 70 \text{ kg año}^{-1}. \quad (15)$$

En unidades de moléculas por unidad de tiempo, (15) sería:

$$\begin{aligned} s_B &= \frac{S_B}{m_{\text{CH}_4}} \\ &= 2.628 \times 10^{27} \text{ año}^{-1}. \end{aligned} \quad (16)$$

El valor numérico de la segunda línea de (16) se obtiene a partir de la masa promedio de una molécula de metano,  $\text{CH}_4$

$$m_{\text{CH}_4} = 2.664 \times 10^{-26} \text{ kg} \quad \text{o} \quad M_{\text{CH}_4} = N_A m_{\text{CH}_4} = 16.04 \text{ g mol}^{-1}. \quad (17)$$

Según la referencia [9]:

El tiempo medio en el que una molécula permanece en la atmósfera se estima en unos 9,6 años. Sin embargo, el tiempo medio durante el que la atmósfera se verá afectada por la emisión de esa molécula antes de alcanzar el equilibrio—lo que se conoce como la «vida media de perturbación»—es, aproximadamente, de doce años. ¶

Por lo tanto, se asumirá que la vida media de una molécula de metano en la atmósfera terrestre es de 9.6 años.

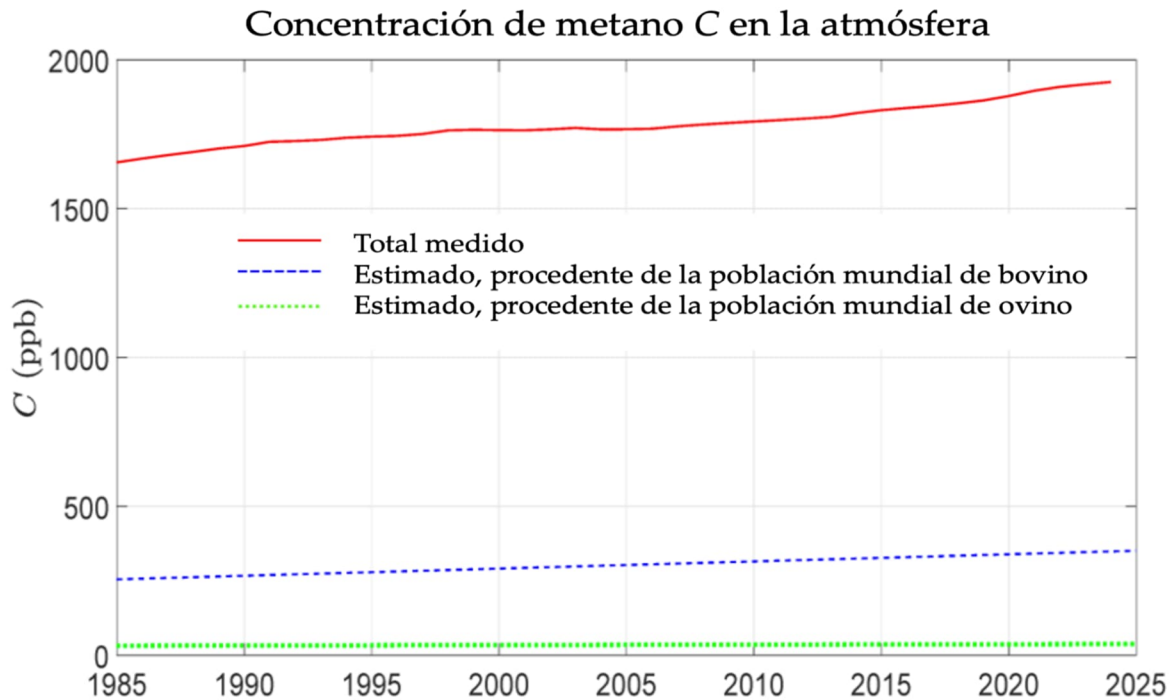


Figura 1: Comparación de la concentración total de metano  $C$  medida en la atmósfera [9] con la fracción calculada (21) procedente del ganado vacuno y (31) procedente del ganado ovino, para los años 1985 al 2025.

$$\tau = 9.6 \text{ año.} \quad (18)$$

El principal mecanismo de destrucción de las moléculas de metano  $\text{CH}_4$  es la oxidación por radicales hidroxilo,  $\text{OH}$ , que produce dióxido de carbono,  $\text{CO}_2$ , y vapor de agua,  $\text{H}_2\text{O}$  [9].

El número de moléculas de metano  $N_B$  en la atmósfera terrestre debido a las emisiones del ganado variará a una velocidad de

$$\frac{dN_B}{dt} = s_B B - \frac{1}{\tau} N_B. \quad (19)$$

La solución de la ecuación diferencial simple (19) es:

$$\begin{aligned} N_B(t) &= s_B \int_{-\infty}^t dt' B(t') e^{-(t-t')/\tau} \\ &= s_B \int_{-\infty}^t dt' [a_B + b_B t - b_B(t-t')] e^{-(t-t')/\tau} \\ &= s_B [(a_B + b_B t)\tau - b_B \tau^2] \\ &= s_B \tau B(t - \tau). \end{aligned} \quad (20)$$

La primera línea de (20) aporta el número de moléculas de metano en la atmósfera en el momento  $t$  debido al número de cabezas de ganado  $B(t')$  en todo el tiempo pasado  $t'$ . En las líneas siguientes de (20) se ha supuesto que  $B(t')$  depende linealmente del tiempo de emisión  $t'$  (12). La línea azul discontinua de la figura 1 muestra la concentración atmosférica estimada de metano debida al ganado bovino en función del tiempo,

$$\begin{aligned} C_B &= \frac{N_B}{N} \\ &= \frac{s_B \tau B(t - \tau)}{N}. \end{aligned} \quad (21)$$

Para evaluar (21) con el fin de dibujar la figura 1, se ha utilizado el valor de  $s_B$  de (16), el valor de  $\tau$  de (18), el valor de  $N$  de (9) y la función  $B = B(t)$  de (12). En la figura 1 se muestra también la concentración total de metano medida en función del tiempo [9]. Para los valores estimados de la emisión de metano del ganado  $B$  de (12) y la emisión anual de metano por animal (15), la concentración atmosférica de metano debida al ganado en el año  $t = 2025$  es

$$C_B(2025) = 357 \text{ ppb}, \quad (22)$$

aproximadamente el 17 % del inventario atmosférico.

Diferenciando (21) y utilizando (12), se encuentra que la concentración de metano (21) debida al ganado varía con el tiempo a una velocidad de

$$\begin{aligned} \frac{dC_B}{dt} &= \left( \frac{s_B \tau}{N} \right) \frac{dB(t - \tau)}{dt} \\ &= \frac{\tau s_B b_B}{N} \\ &= 2.42 \text{ ppb año}^{-1}. \end{aligned} \quad (23)$$

El número de la última línea de (23) proviene de la evaluación de la línea anterior con (9), (13), (16) y (18). La velocidad relativa a la que se incrementa, obtenida de (22) y (23), es inferior al 1% anual

$$\left(\frac{1}{C_B}\right) \frac{dC_B}{dt} = 0.68 \% \text{ año}^{-1}. \quad (24)$$

## 4 Emisiones de metano de las ovejas

Después del ganado vacuno, las ovejas son el segundo animal rumiante más importante. Se utilizará el símbolo  $O$ , del nombre científico de la oveja, *Ovis aries*, para designar el número de ovejas en la Tierra. Según la referencia [10], el número total de ovejas en el año 2025 era de aproximadamente 1300 millones,

$$O(2025) = 1.3 \times 10^9, \quad (25)$$

lo que supone un incremento con respecto a los aproximadamente mil millones del año 1961

$$O(1961) = 1.0 \times 10^9. \quad (26)$$

Las fluctuaciones anuales de la población mundial de ovejas,  $O(t)$ , han sido mayores que las del ganado vacuno [6]. Sin embargo, una aproximación lineal que aporta las poblaciones de ovejas (25) y (26), y que es suficiente para este propósito, es

$$O(t) = a_O + b_O t, \quad (27)$$

donde

$$a_O = -8.19 \times 10^9 \quad \text{y} \quad b_O = 4.69 \times 10^6 \text{ año}^{-1}. \quad (28)$$

Se tomará una tasa de emisión representativa por oveja de  $22.2 \text{ g día}^{-1}$  [11] o aproximadamente

$$\overline{S_O} = 8.1 \text{ kg año}^{-1}. \quad (29)$$

En unidades de moléculas por unidad de tiempo, (29) se convierte en

$$\begin{aligned} s_O &= \frac{\overline{S_O}}{m_{\text{CH}_4}} \\ &= 3.06 \times 10^{26} \text{ año}^{-1}, \end{aligned} \quad (30)$$

donde la masa  $m_{\text{CH}_4}$  de una molécula de metano viene dada por (17). La línea verde punteada de la figura 1 muestra la concentración atmosférica estimada de metano debida a las ovejas,

$$\begin{aligned} C_O &= \frac{N_O}{N} \\ &= \frac{s_O \tau O(t - \tau)}{N}. \end{aligned} \quad (31)$$

Para calcular (31) con el fin de dibujar la figura 1, se ha utilizado el valor de  $s_O$  de (30), el valor de  $\tau$  de (18), el valor de  $N$  de (9) y la función  $O = O(t)$  de (27). Para el número que se ha

estimado de ovejas  $O$  de (27) y la emisión anual de metano por animal (29), la concentración atmosférica de metano debida a las ovejas en el año  $t = 2025$  es

$$C_O(2025) = 38 \text{ ppb}, \quad (32)$$

aproximadamente el 2 % del inventario atmosférico.

Diferenciando (31) y utilizando (12), se encuentra que la concentración de metano (21) debida a las ovejas varía a una velocidad

$$\begin{aligned} \frac{dC_O}{dt} &= \left( \frac{s_O \tau}{N} \right) \frac{dO(t - \tau)}{dt} \\ &= \frac{\tau s_O b_O}{N} \\ &= 0.13 \text{ ppb año}^{-1}. \end{aligned} \quad (33)$$

El número de la última línea de (33) proviene de la evaluación de la línea anterior con (9), (18), (28) y (30). La velocidad relativa a la que se incrementa, a partir de (32) y (33), es incluso menor que la velocidad (24) para el ganado vacuno,

$$\left( \frac{1}{C_O} \right) \frac{dC_O}{dt} = 0.34 \% \text{ año}^{-1}. \quad (34)$$

## 5 Forzamiento radiativo y calentamiento

Según la ecuación (36) de la referencia [12], una pequeña variación  $\Delta C$  de la concentración atmosférica de metano provocará la correspondiente variación del forzamiento radiativo  $\Delta F$  en la parte superior de la atmósfera,

$$\Delta F = P \hat{N} \Delta C. \quad (35)$$

En (35), la densidad de columna  $\hat{N}$  de las moléculas atmosféricas se obtuvo mediante (7). Según la tabla 3 de la referencia [12], en la atmósfera actual la potencia de forzamiento  $P$  por cada molécula de  $\text{CH}_4$  añadida es

$$P = 2.8 \times 10^{-24} \text{ W}. \quad (36)$$

Según la ecuación (42) de la referencia [12], el incremento de forzamiento,  $\Delta F$ , de (35) daría lugar a un incremento de temperatura,  $\Delta T$ , dado por

$$\Delta T = \Delta F \left( \frac{\partial Z}{\partial T} \right)^{-1}. \quad (37)$$

Se denominará *capacidad de enfriamiento* de la Tierra al factor  $\partial Z / \partial T$  de (37). Es el pequeño incremento,  $\partial Z$ , del flujo hacia el espacio producido por un pequeño incremento,  $\partial T$ , de la temperatura media de la superficie. Como se puede ver en (37), para un incremento de forzamiento dado,  $\Delta F$ , el incremento de temperatura  $\Delta T$  necesario para mantener el flujo de enfriamiento de la radiación térmica infrarroja al espacio igual al flujo de calentamiento solar es inversamente

proporcional a la capacidad de enfriamiento. Se utilizará el valor numérico de la capacidad de enfriamiento dado por la ecuación (43) de la referencia [12].

$$\left(\frac{\partial Z}{\partial T}\right) = 5.6 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}. \quad (38)$$

Dado que como se muestra en la figura 1 el ganado aporta una contribución mensurable al inventario de metano atmosférico, cabría preguntarse qué enfriamiento se produciría si se sacrificara todo el ganado y su contribución al inventario de metano atmosférico se redujera a cero. Según (35), la eliminación de todo este metano daría lugar a un forzamiento radiativo de

$$\begin{aligned} \Delta F_B &= -P\hat{N}C_B(2025) \\ &= -0.209 \text{ W m}^{-2}. \end{aligned} \quad (39)$$

Para obtener el número de la segunda línea a partir de la primera, se ha utilizado el valor de  $P$  de (36), el valor de  $\hat{N}$  de (7) y el valor de  $C_B(2025)$  de (22). De acuerdo con (37), el forzamiento (39) debido a la eliminación de todo el ganado de la Tierra causaría un descenso de la temperatura de

$$\begin{aligned} \Delta T_B &= \Delta F_B \left(\frac{\partial Z}{\partial T}\right)^{-1} \\ &= -0.0373 \text{ C} \approx -0.04 \text{ C}. \end{aligned} \quad (40)$$

Para completar el descenso de temperatura (40) se requerirían varios múltiplos del tiempo de residencia atmosférico,  $\tau = 9.6$  años, de acuerdo con (18).

La concentración atmosférica de metano debido a las ovejas en el año 2025 se ha obtenido de (32). Según (35), eliminar todo este metano daría lugar a un forzamiento radiativo de

$$\begin{aligned} \Delta F_O &= -P\hat{N}C_O(2025) \\ &= -0.022 \text{ W m}^{-2}. \end{aligned} \quad (41)$$

Según (37), el forzamiento (41) debido a la eliminación de todas las ovejas de la Tierra provocaría un descenso de temperatura de

$$\begin{aligned} \Delta T_O &= \Delta F_O \left(\frac{\partial Z}{\partial T}\right)^{-1} \\ &= -0.0039 \text{ C} \approx -0.004 \text{ C}. \end{aligned} \quad (42)$$

## 6 El compromiso de Nueva Zelanda

Nueva Zelanda se ha comprometido [13] a reducir para el año 2050 las emisiones de metano de su ganado entre un 14 % y un 24 % respecto de las registradas en 2017. A partir de la referencia [14] se ha estimado que el número de cabezas de ganado vacuno en Nueva Zelanda en 2017 era de

$$B_{nz}(2017) = 10.1 \times 10^6. \quad (43)$$

El número de ovejas de Nueva Zelanda en el año 2017 era [14]

$$O_{nz}(2017) = 27.5 \times 10^6. \quad (44)$$

Por lo tanto, las emisiones totales de metano de Nueva Zelanda procedentes del ganado bovino y ovino en el año 2017 se aproximaron mucho a

$$\begin{aligned} M_{nz}(2017) &= [S_B B_{nz}(2017) + S_O O_{nz}(2017)] \times 1 \text{ y} \\ &= 9.30 \times 10^8 \text{ kg} \end{aligned} \quad (45)$$

Para obtener el valor numérico de la segunda línea, se ha utilizado (43) y (44) con los valores numéricos de las emisiones anuales por vaca y oveja,  $S_B$  y  $S_O$ , de (15) y (29). La reducción de estas emisiones entre un 14 % y un 24% daría lugar a una reducción de la concentración de metano de

$$\begin{aligned} \Delta C_{nz} &= -[14 \text{ to } 24] \times 10^{-2} \frac{M_{nz}(2017)}{m_{CH_4} N} \\ &= -[4.59 \text{ a } 7.87] \times 10^{-11}. \end{aligned} \quad (46)$$

Aquí, la masa por molécula de metano  $m_{CH_4}$  se ha obtenido mediante (17) y el número total de moléculas de atmósfera  $N$  se ha obtenido mediante (9). El forzamiento radiativo correspondiente (35) es

$$\begin{aligned} \Delta F_{nz} &= P \hat{N} \Delta C_{nz} \\ &= -[2.68 \text{ to } 4.60] \times 10^{-5} \text{ W m}^{-2}, \end{aligned} \quad (47)$$

donde se han utilizado (7) y (36) para obtener los números de la segunda línea. El incremento de temperatura que se ha evitado se deduce de (37) y es

$$\begin{aligned} \Delta T_{nz} &= \left( \frac{\partial T}{\partial Z} \right) \Delta F_{nz} \\ &= -[4.79 \text{ a } 8.21] \times 10^{-6} \text{ C}, \end{aligned} \quad (48)$$

inferior a una cienmilésima de grado Celsius y demasiado pequeño para que pueda ser medido.

## 7 Resumen

Las variaciones de la temperatura de la Tierra causadas por las emisiones de metano del ganado rumiante son insignificantes. Según (40), sacrificar a los 1600 millones de bovinos que hay en la Tierra provocaría un cambio de temperatura de aproximadamente  $\Delta T_B = -0.04$  °C, siempre que esta fuente de metano no fuera substituida por otras fuentes (como los ruminantes salvajes y las termitas) durante el proceso de re-naturalización de los pastizales y praderas gestionados, que cubren alrededor de una cuarta parte de la superficie terrestre. En ese caso, no habría prácticamente reducción de la temperatura. Según (42), sacrificar a los 1300 millones de ovejas que hay en la Tierra provocaría un descenso de temperatura de aproximadamente  $\Delta T_O = -0.004$  °C. Según (44), alcanzar el objetivo de Nueva Zelanda de reducir las emisiones del ganado vacuno y ovino entre un 14 % y un 24 % con respecto a las de 2017 modificaría la temperatura mundial en aproximadamente  $\Delta T_{nz} = -0.000005$  °C o  $-0.000008$  °C, unas cifras demasiado pequeñas para

que puedan ser medidas. Las políticas para reducir las emisiones de metano procedentes de los rumiantes son «all pain no gain»: mucho sacrificio para nada. Ninguna persona racional invertiría un solo dólar para conseguir reducciones de temperatura tan insignificantes. Pero algunas políticas climáticas lo exigen.

El forzamiento radiativo (36) del metano que se ha utilizado para hacer estas estimaciones es ligeramente superior a los mejores valores del IPCC, lo que puede comprobarse en la tabla 3 de la referencia [2]. Como se discute en la referencia [12], la mejor estimación de la capacidad de enfriamiento  $\partial Z/\partial T = 5.6 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$  de (38) es, aproximadamente, tres veces superior a la utilizada habitualmente por el IPCC,  $\partial Z/\partial T = 1.8 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ , dada por la ecuación (48) de la referencia [12], y que corresponde a una fuerte retroalimentación positiva. Pero incluso si se utilizara aquí la menor capacidad de enfriamiento del IPCC en (38), el calentamiento que se evitaría por una reducción de las emisiones de metano del ganado de Nueva Zelanda comprendida entre el 14 % y el 24 % sería tan solo de  $\Delta T = -0.000015 \text{ }^\circ\text{C}$  o  $-0.000025 \text{ }^\circ\text{C}$ , lo que continúa siendo demasiado pequeño para ser relevante e, incluso, medible. Es dudoso que existan fuertes retroalimentaciones positivas, ya que se violaría el principio de Le Chatelier [15], según el cual la mayoría de las retroalimentaciones en los sistemas naturales son negativas.

**Agradecimientos:** a Blanca Parga Landa, de la Universidad Politécnica de Madrid, por la traducción del artículo al español.

## Referencias

- [1] G. Gottschalk and R. K. Thauer, *The Na<sup>+</sup>-translocating methyltransferase complex from methanogenic archaea*, *Biochemica et Biophysica Acta*, **1505**, 28-36 (2001). [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0005272800002747?ref=pdf\\_download&fr=RR-9&rr=9af854069a58ea22](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0005272800002747?ref=pdf_download&fr=RR-9&rr=9af854069a58ea22).
- [2] W. A. van Wijngaarden and W. Happer, *Dependence of Earth's Thermal Radiation on Five Most Abundant Greenhouse Gases*, *Atmos. & Oceanic Phys.* arXiv: 2006.03098 (2020).
- [3] Mean atmospheric surface pressure, [https://en.wikipedia.org/wiki/Atmospheric\\_pressure](https://en.wikipedia.org/wiki/Atmospheric_pressure).
- [4] Atmosphere of Earth, [https://en.wikipedia.org/wiki/Atmosphere\\_of\\_Earth](https://en.wikipedia.org/wiki/Atmosphere_of_Earth).
- [5] Earth, <https://en.wikipedia.org/wiki/Earth>.
- [6] Number of Cattle, <https://ourworldindata.org/grapher/cattle-livestock-count-heads?tab=table>.
- [7] World Population, <https://worldpopulationreview.com/>.
- [8] Cows and Climate Change <https://www.ucdavis.edu/food/news/making-cattle-more-sustainable>.

- [9] Atmospheric Methane, [https://en.wikipedia.org/wiki/Atmospheric\\_methane#:~:text=Atmospheric%20methane%20is%20the%20methane,the%20most%20potent%20greenhouse%20gases](https://en.wikipedia.org/wiki/Atmospheric_methane#:~:text=Atmospheric%20methane%20is%20the%20methane,the%20most%20potent%20greenhouse%20gases).
- [10] Sheep Populations Since 1961, <https://pulse.auctionsplus.com.au/aplus-news/insights/global-flock-versus-export-flock>.
- [11] A. Pelchen and K. J. Peters *Methane emissions from sheep*, *Small Ruminant Research*, **26**, 137 (1998), <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S092144889700031X?via%3Dihub#preview-section-abstract:~:text=A%20total%20of,on%20methane%20emissions>.
- [12] C. A. de Lange, J. D. Ferguson, W. Happer and W. A. van Wijngaarden, “Nitrous Oxide and Climate”, *Atmospheric and Oceanic Physics* arXiv: 2211.15780 (2022).
- [13] Government resets 2050 biogenic methane targets, <https://environment.govt.nz/news/govt-resets-2050-biogenic-methane-target/>.
- [14] Stats, NZ, *Agricultural production statistics: June 2017 (final)* <https://www.stats.govt.nz/information-releases/agricultural-production-statistics-june->.
- [15] Le Chatelier’s principle, [https://en.wikipedia.org/wiki/Le\\_Chatelier%27s\\_principle](https://en.wikipedia.org/wiki/Le_Chatelier%27s_principle).