

Actividad ganadera: evaluación de las emisiones y estrategias de mitigación*

Livestock activity: evaluation of emissions and mitigation strategies

Arturo Romero Salvador

Académico de Número de la Sección de Ciencias Experimentales de la Real Academia de Doctores de España
aromeros@ucm.es

RESUMEN

La actividad ganadera tiene repercusión en el medioambiente, ya sea por la utilización de recursos, el proceso de producción o la gestión de sus residuos. Los modelos de contabilidad ambiental son imprescindibles para mejorar la comprensión de las causas de emisión de gases de efecto invernadero por la ganadería a lo largo de la cadena de suministro. Utilizando estos modelos se puede determinar con mayor fiabilidad la contribución del sector a las emisiones globales de GEI, los kilogramos de dióxido de carbono equivalente emitidos para obtener un kilogramo de proteína, la variabilidad entre países y productores, las principales fuentes de emisión de GEI de la actividad ganadera, etc.

PALABRAS CLAVE: gases efecto invernadero, ganadería, emisiones, modelos, mitigación.

ABSTRACT

Livestock activity has an environment impact, either by through the use of resources, the production process or by the management of its waste. Environmental accounting models are essential to improve understanding of the causes of greenhouse gas (GHC) emissions in the livestock sector across the supply chain. Using these models, it is possible to determine with greater reliability the contribution of this sector to global GHG emissions, the kilograms of carbon dioxide equivalents emitted to obtain a kilogram of protein, the variability between countries and producers, the main sources of GHG emissions of livestock activity, etc.

KEYWORDS: greenhouse gases, livestock, emissions, models, mitigation,

* Conferencia pronunciada en la sesión de fecha 18-11-2020 dentro de la actividad académica de la Real Academia de Doctores de España. <https://www.radoctores.es/pagina.php?item=944>

1.- INTRODUCCIÓN

Con el aumento de temperatura en el planeta, el crecimiento del nivel del mar, el deshielo de los casquetes polares y los glaciares, los cambios en los patrones del clima y las alteraciones en las corrientes oceánicas, el cambio climático constituye el más serio desafío para la humanidad. Este cambio que está causado por el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), amenaza a los medios de vida de las personas y aumenta la inseguridad alimentaria del futuro en el mundo (FAO, 2008). El óxido de dinitrógeno (N_2O), el metano (CH_4) y el dióxido de carbono (CO_2) son los tres gases de efecto invernadero, procedentes de la actividad humana, más abundantes en la atmósfera. Los niveles de N_2O , CH_4 y CO_2 han aumentado desde 1750 debido a las actividades humanas, y han alcanzado 324 ppb, 1803 ppb y 391 ppm, respectivamente, en 2011, superando sus niveles preindustriales en 20, 150 y 40 %, respectivamente (IPCC, 2014).

Se definió el Índice GWP (acrónimo del inglés Global-warming potential) para disponer de una medida relativa del calor que puede ser atrapado por un determinado gas de efecto invernadero, en comparación con un gas de referencia, por lo general dióxido de carbono. El Potencial de Calentamiento Global (GWP) mide el forzamiento radiativo de un pulso de emisión de una unidad de masa de un gas de efecto invernadero, relativo al CO_2 , en la atmósfera actual, integrado sobre un horizonte temporal. Representa el efecto combinado del tiempo que dicho gas está en la atmósfera y su efectividad en absorber la radiación infrarroja. El potencial de calentamiento GWP puede ser calculado para periodos de 20, 100 o 500 años, siendo 100 años el valor más frecuente. Por ejemplo, el dióxido de carbono tiene un valor GWP de 1, el GWP para 100 años del metano es 25 y para N_2O es 298. En otras palabras, la emisión de 1 millón de toneladas de óxido de dinitrógeno equivale a emitir 298 millones de toneladas de CO_2 -eq (equivalente).

Los objetivos marcados en los acuerdos internacionales obligan a los responsables de las principales fuentes de emisión de gases de efecto invernadero a poner en marcha estrategias que reduzcan su impacto ambiental. En Europa, los sectores más intensivos en el uso de energía están sujetos al comercio de emisiones y deben reducirlas en 2020 un 21% de las realizadas en 2005. El resto de los sectores, conocidos como sectores difusos, entre los que se encuentra la agricultura y ganadería, debe reducirlas un 10%.

Cerca de la cuarta parte de las emisiones de los tres principales GEI, CO_2 , CH_4 y N_2O , son emitidos por la agricultura/ganadería, la silvicultura y otros cambios en el uso de la tierra (IPCC, 2014). Esta contribución es superior a la realizada por el sector transporte.

2.- EMISIONES DE GEI PROCEDENTES DE LA GANADERÍA

Por la magnitud de su impacto, la ganadería es uno de los tres sectores con repercusiones más graves en los principales problemas medioambientales en las diferentes esferas-atmósfera y clima, contaminación del agua, degradación del suelo, biodiversidad- a todos los niveles, desde el ámbito local hasta el global.

El sector ganadero es responsable del 18 % de las emisiones de gases de efecto invernadero, expresado como CO₂-equi, que pueden desglosarse en función del gas emitido, del producto obtenido y de las etapas de la cadena de suministro.

La ganadería contribuye con un 65% de las emisiones antropogénicas de N₂O, con un 37% a las de metano y con el 9% a las de CO₂. La mayor parte del dióxido de carbono procede de los cambios de uso de la tierra causados por la deforestación para disponer de pastizales y zonas destinadas a la producción de forrajes. El proceso de fermentación que tiene lugar en la digestión entérica de los rumiantes es el principal responsable de la emisión de metano y la gestión del estiércol es la fuente de la liberación de óxido de dinitrógeno. Además, la ganadería es responsable del 64% de las emisiones antropogénicas de amoníaco que causa la lluvia ácida y la acidificación de los ecosistemas (FAO, 2009).

Las distintas especies animales que se utilizan para la producción de alimentos emiten diferentes cantidades de GEI. Se estima que la producción de carne y leche de vacuno es responsable del 41% y del 29% respectivamente de las emisiones totales del sector ganadero mientras que la carne de cerdo contribuye con el 9% y la carne y huevos de aves de corral con el 8% de las emisiones.

La contribución de las principales etapas de la cadena de suministro a la emisión de GEI permite conocer la repercusión esperable de acciones de mitigación en cada una de ellas y su repercusión en el conjunto. Así, la producción y elaboración de piensos, incluyendo la expansión de pastizales y cultivos forrajeros a expensas de los bosques, contribuye con el 45%, la fermentación entérica de los rumiantes con el 39% y la gestión del estiércol el 10%, el resto corresponde a la elaboración y distribución de los productos pecuarios

3.- REDUCCIÓN DE EMISIONES EN LOS SECTORES DIFUSOS

En la Unión Europea se fijó como objetivo reducir las emisiones de gases de efecto invernadero un 20% en 2020 con respecto a las realizadas en 1990. El esfuerzo que debe realizar se reparte en dos bloques. En el primero se incluyen los sectores más intensivos en el uso de energía (generación, refino, siderurgia, cemento, papel, vidrio, etc.). A estos

sectores, que disponen del comercio europeo de derechos de emisión como un instrumento adicional, les corresponde una reducción del 21%, tomando como referencia 2005. Las emisiones restantes tienen como objetivo de reducción el 10% de las realizadas en 2005. En este segundo grupo, emisiones difusas, se incluyen los siguientes sectores: residencial, transporte, agrícola y ganadero, gases fluorados e instalaciones industriales no sujetas al comercio de derechos de emisión.

Cada estado miembro tiene asignados anualmente unos derechos de emisión durante el periodo 2013-2020. Una parte de estos derechos corresponden a los sectores intensivos en energía y la otra a los sectores difusos. Además, los estados deben elaborar bienalmente las proyecciones anuales, suponiendo que no se pone ninguna medida adicional a las existentes (adoptadas y aplicadas), de emisión de gases de efecto invernadero. En la tabla 1 se recogen los valores correspondientes a asignaciones anuales, proyecciones y diferencia entre ambos valores para los sectores difusos en España.

TABLA 1. Asignaciones anuales de emisiones de los sectores difusos para España, evolución de las emisiones GEI con medidas adoptadas y aplicadas y senda de cumplimiento.

AÑO	AEAs kt CO ₂ -eq	Proyecciones kt CO ₂ -eq	Diferencia kt CO ₂ -eq
2013	220.903	216.445	-4.458
2014	219.144	217.096	-2.048
2015	217.384	218.428	1.043
2016	215.625	219.911	4.286
2017	213.866	221.859	7.993
2018	212.107	224.086	11.979
2019	210.347	226.195	15.948
2020	208.588	228.455	19.867

Podemos apreciar en la tabla 1 que los valores de la diferencia son negativos en los dos primeros años del periodo de cumplimiento. Al ser las emisiones esperadas menores que las emisiones asignadas existe un superávit. Sin embargo, a partir del año 2015 se produce un cambio de signo. Las emisiones esperadas son mayores que las emisiones asignadas por lo que existe un déficit que va aumentando cada uno de los años del periodo de cumplimiento. La brecha en todo este periodo (2013-2020)- suma algebraica de los valores de la columna de las diferencias- es de 54.610 kt CO₂-eq.

En el sector difuso se incluyen seis sub-sectores. Las emisiones asignadas y las proyecciones del sector corresponden a la suma de cada uno de ellos (residencial, transporte, agricultura (ganadería), residuos, gases fluorados y sector industrial no sujeto al comercio de derechos de emisiones). En la figura 1 se muestra la evolución de la proyección de cada uno de los sub-sectores.

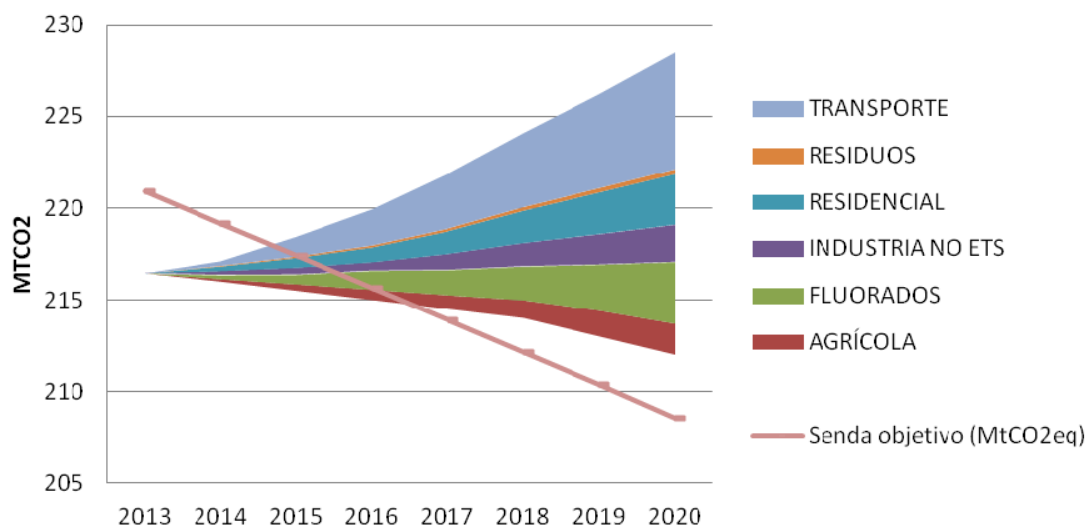


FIGURA 1. Contribución de cada uno de los sub-sectores difusos a las proyecciones anuales de emisiones y asignaciones anuales para este sector (MAGRAMA, 2014).

Las cantidades emitidas en 2013 por cada uno de los sub-sectores son las siguientes (expresadas en kt CO₂-eq): Transporte: 79. Agrícola (Ganadería): 50. Residencial (Comercial e Institucional): 29. Residuos: 14. Gases fluorados: 13. Industrial no ETS: 23. El agrícola, que incluye la ganadería, es el segundo sub-sector, detrás del transporte, que emite mayores cantidades de gases de efecto invernadero. Cada uno de los sub-sectores realiza la estimación de sus emisiones para los años del periodo de compromiso de reducción 2013-2020. Los valores de la tabla 1 corresponden a la suma de estas proyecciones de los sub-sectores. En el caso del sub-sector agrícola la proyección de sus emisiones es la siguiente: 2013: 50,3; 2014: 50,2; 2015: 50, 2; 2016: 50,1; 2017: 50; 2018: 49,9; 2019; 49,8 y 2020: 49,8., prácticamente constante, ligero descenso, a lo largo del periodo.

España debe adoptar medidas adicionales para reducir las emisiones del sector difuso y cumplir sus compromisos de mitigación del cambio climático.

El conocimiento detallado de las fuentes, magnitud y rutas de las emisiones es imprescindible para cuantificar los efectos ambientales de la actividad ganadera y utilizarlo cuando se toman decisiones destinadas a la producción sostenible de alimentos. Analizando las distintas tecnologías de reducción de emisiones se pueden seleccionar las que tengan una capacidad de mitigación razonable y valorar su eficiencia en función del coste, posibilidades de aplicación, reducción de GEI, etc.

4.- MODELOS DE CONTABILIDAD AMBIENTAL

El Modelo de contabilidad ambiental de la ganadería mundial (GLEAM) se elaboró por la FAO para contribuir a la mejor comprensión de las emisiones de gases de efecto invernadero causadas por la producción ganadera a lo largo de la cadena de suministro, identificar esferas de intervención y establecer un orden de prioridad entre ellas con el fin de reducir las emisiones del sector (FAO, 2013). Otra utilidad de este modelo es valorar la eficiencia de las prácticas de mitigación para que puedan adoptarse en diferentes sistemas de producción, si se cumplen las necesarias condiciones económicas e institucionales.

En el GLEAM se representa las principales actividades de las cadenas de suministro ganadero con la finalidad de examinar las implicaciones ambientales de las prácticas empleadas en la obtención de los productos básicos, los sistemas de explotación agrícola y los métodos que utilizan las distintas regiones. El modelo se basa en cinco módulos que configuran la cadena de suministro ganadero: el módulo del hato, el módulo de los piensos, el módulo del estiércol, el módulo del sistema y el módulo de las asignaciones (FAO, 2013).

El módulo del hato se determina calculando el número de animales de una determinada especie y tipo de explotación que hay en la cuadrícula seleccionada del SIG (Sistema de Información Geográfica) (Chang, 2007). Posteriormente se incorporan los animales a su correspondiente sistema de explotación, se determina la estructura del hato (número de animales en cada cohorte y ritmo con el que los animales se mueven en las diferentes cohortes) y las características del animal medio en cada cohorte (peso, índice de crecimiento, etc.). La información obtenida con el módulo hato se utiliza para aportar datos al módulo estiércol y al módulo sistema.

El módulo estiércol calcula la cantidad de estiércol generada por el hato, su composición y la incorporación de nitrógeno a la tierra. En el módulo piensos se calculan los parámetros clave de los piensos que alimentan al hato, esto es, la composición, el contenido nutricional, emisiones por kilogramo de ración forrajera y emisiones por cambio de uso de la tierra referidas a kg de pienso.

La información de los tres módulos anteriores- estructura del hato, estiércol, piensos- se utiliza para conocer los datos que debe aportar el módulo sistema: necesidades energéticas, ingestión de pienso, producción anual del hato (carne, leche, huevos) en la cuadrícula de SIG, emisiones (N₂O, CH₄) derivadas de la gestión del estiércol, metano de la fermentación entérica y del proceso de obtención de piensos. Para conocer las emisiones totales de la granja es preciso añadir a las emisiones del módulo sistema, las correspondientes al consumo de energía directa (necesidades energéticas para el funcionamiento de la granja) e indirecto (construcción de edificios y fabricación de equipos).

Finalmente se determina el módulo de asignaciones sumando, a las emisiones totales de la granja, las producidas por actividades necesarias para su comercialización, coproductos utilizados y servicios demandados, pero posteriores a las distintas operaciones realizadas en la granja. Con este módulo se calculan las emisiones de la granja, de las granjas de la cuadrícula, de cada uno de los elementos emisores de la granja, las intensidades de emisión por producto, por kg de proteína, etc.

En la actualidad el modelo GLEAM dispone de una gran cantidad de datos cuantitativos sobre emisiones del hato y flujos de recursos por lo que puede utilizarse para conocer las fuentes de emisión de gases de efecto invernadero, las emisiones de las distintas especies animales o de los distintos productos de la granja. También permite evaluar la eficacia de las prácticas de mitigación empleadas o construir modelos bioeconómicos con los que respaldar actuaciones.

4.1. Fuentes de emisión de GEI

El grueso de las emisiones de gases de efecto invernadero, metano, óxido de dinitrógeno y dióxido de carbono, proceden de cuatro procesos: fermentación entérica, manejo del estiércol, producción de piensos y consumo de energía.

Los rumiantes (vacuno, búfalos, ovinos y caprinos) producen CH₄ en su proceso digestivo. En el rumen (estómago) de los rumiantes se produce la fermentación microbiana mediante la cual se descomponen los hidratos de carbono en moléculas simples que los animales pueden digerir. La alimentación con elevado contenido de fibra es más difícil de digerir y genera mayores cantidades de metano por unidad de energía ingerida. Otros animales no rumiantes como los cerdos también producen metano, pero en cantidades muy inferiores.

El estiércol contiene materia orgánica y compuestos nitrogenados que pueden producir, durante el almacenamiento y tratamiento, gases de efecto invernadero. El metano se produce por descomposición anaeróbica de la materia orgánica, principalmente durante el manejo del estiércol en fase líquida en lagunas o en tanques de almacenamiento. Los compuestos nitrogenados se transforman en compuestos amoniacales que se liberan a la atmósfera como amoníaco, donde se puede oxidar a dióxido de nitrógeno.

En la producción, elaboración y transporte de piensos se producen emisiones de CO₂ y de N₂O. Las emisiones de dióxido de carbono, consecuencia de la expansión de cultivos forrajeros y pastizales, proceden de la oxidación de los productos carbonados del suelo y de los restos vegetales. También deben contabilizarse las procedentes de la utilización de combustibles necesarios para la fabricación de fertilizantes y para el transporte de piensos. El óxido de dinitrógeno emitido procede de los fertilizantes (orgánicos e inorgánicos) utilizados en la producción de piensos y del manejo y aplicación del estiércol en las tierras

de cultivo (procesos de nitrificación y desnitrificación). Como las emisiones de N₂O dependen de la composición del estiércol, de la temperatura y de la humedad en la zona de aplicación, su cuantificación es compleja y sujeta a grandes errores.

Las emisiones de CO₂ están causadas por el consumo de energía de origen fósil en las distintas etapas de la cadena de suministro ganadero. Una parte de la energía se consume en la producción de fertilizantes y en las operaciones mecanizadas de cultivo, preparación y transporte de los piensos. Otra parte corresponde al consumo directo por las actividades que se realizan en el interior de la granja y a la empleada en la construcción de los edificios y de la maquinaria. La tercera contribución a la emisión de CO₂ se debe a la energía necesaria para la elaboración y transporte de los productos procedentes de la granja.

4.2. Emisiones de GEI por especies y productos de la ganadería

El ganado vacuno es el principal generador de emisiones del sector con unas 4,6 gigatoneladas de CO₂-eq, que representan el 65% de las emisiones que proceden de las actividades pecuarias. Del ganado vacuno de carne se aprovecha su carne y productos no comestibles y del ganado vacuno de leche tanto la carne y como la leche, además de productos no comestibles. La generación de gases de efecto invernadero es similar en ambos casos, independientemente del objetivo de la explotación.

Pequeños rumiantes, cerdos, búfalos y aves de corral generan emisiones inferiores a las del ganado vacuno, 2,3 Gtm-CO₂-eq, lo que supone el 31% de las correspondientes al sector (las emisiones de cada uno de los cuatro grupos de animales varían entre el 7 y el 10%).

El orden de emisiones de los distintos productos de la granja es la siguiente. La carne de vacuno contribuye con 2,9 gigatoneladas de CO₂-eq o el 41% de las emisiones totales del sector (7 Gtm). La leche de vaca contribuye con 1,4 gigatoneladas de CO₂-eq o el 20%. La carne de cerdo contribuye con 0,7 Gtm de CO₂-eq que supone el 9% de las emisiones, la leche y carne de búfalo 8%; la carne de pollo y los huevos 8%, y la leche y carne de pequeños rumiantes 6%. El resto de las emisiones se deben a otras especies de aves de corral y productos no comestibles.

Cuando las emisiones se expresan por unidad de proteínas producidas, la carne de vacuno es el producto con mayor intensidad de emisiones (volumen de GEI emitidos por unidad de producto generado), con un promedio de más de 300 kg de CO₂-eq por kg de proteína; seguida por la carne y leche de los pequeños rumiantes, con promedios de 165 kg y 112 kg de CO₂-eq por kg de proteína respectivamente. La leche de vaca, los productos de pollo y de cerdo tienen una intensidad media total de emisiones menor, unos 100 kg de CO₂-eq por kg de proteína comestible.

5.- TECNOLOGÍAS PARA REDUCIR LA EMISIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

Existen técnicas, conocidas como Mejores Técnicas Disponibles (MTD), cuyo objetivo principal es reducir el impacto del conjunto de la explotación sobre el medio ambiente y la salud de las personas. Para seleccionar las Mejores Técnicas Disponibles se analiza un conjunto de técnicas potencialmente adecuadas para esta finalidad con criterios de eficacia en la protección del medio ambiente, viabilidad económica y posibilidad de aplicación práctica en diferentes instalaciones. Estas técnicas deben contar con el reconocimiento científico internacional, ser las más eficaces para alcanzar el nivel de protección que se pretende lograr con su implantación y ser viables desde el punto de vista técnico y económico. En principio, pueden aplicarse en todas las explotaciones ganaderas y la intensidad de su aplicación depende del grado de cumplimiento de objetivos y compromisos fijados para la reducción de GEI en el sector ganadero (MAPAMA, 2017a).

Se puede alcanzar un objetivo de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en la instalación actuando en alguna de las etapas del proceso productivo. Sin embargo, es preciso tener en cuenta que las técnicas empleadas para reducir emisiones en una etapa afectan a la emisión de otras etapas. Por tanto, la eficacia de una técnica aplicada en una determinada etapa no debe medirse por sus efectos en ella, sino que es necesario conocer la eficacia global considerando la instalación como un sistema (Emmerling, C. 2020).

Gran parte de las medidas destinadas a reducir el impacto ambiental del sector ganadero tienen como principal finalidad disminuir las emisiones asociadas a la producción de estiércol. Este objetivo se puede lograr actuando desde los primeros pasos de la cadena de producción animal.

La alimentación de los animales, elemento clave para la productividad, afecta a los procesos biológicos que tienen lugar en el aparato digestivo (fermentación entérica) y a la composición del estiércol. Por estas razones, la alimentación afecta a las emisiones tanto en la fase de permanencia en las instalaciones como en el almacenamiento del estiércol o en su aplicación al campo.

Con una correcta gestión de la alimentación y de la formulación de los piensos, las MTDs pretenden disminuir la cantidad de nitrógeno y de fósforo en el estiércol, las emisiones de amoníaco, los gases de efecto invernadero por unidad de producción, y el metano entérico. Además, con esta medida se incrementa la productividad debido al mejor aprovechamiento de nutrientes y disminuye el coste de producción y el coste de la gestión de estiércol.

Los animales necesitan ingerir proteínas para realizar las funciones de crecimiento, reproducción y síntesis de productos (leche, huevos). La proteína ingerida sufre un proceso

metabólico en el organismo mediante el que una fracción pasa a formar parte de sus tejidos y resto es eliminado por las heces. En el proceso metabólico, la proteína no incorporada sufre una serie de transformaciones hasta el producto final, urea, que se elimina en la orina. Las moléculas que contienen el nitrógeno eliminado en las heces y orina forman parte de un residuo que es preciso eliminar. En las heces está presente una enzima denominada ureasa que transforma la urea en nitrógeno amoniacal, estableciéndose un equilibrio entre el ion amonio y el amoniaco libre que se va transfiriendo a la atmósfera y desplazando el equilibrio.

Puede conocerse el destino del nitrógeno contenido en el alimento mediante un balance de nitrógeno en términos de entrada, retención y salida. Por ejemplo, en el caso de un cerdo de cebo se obtienen los siguientes resultados (MAPAMA, 2017b). Considerando que ingiere 100 kg de nitrógeno, 36 quedan retenidos en sus tejidos, 46 expulsados con la orina y 18 con las heces. Los 64 kg de purín, suma de orina y heces, se distribuyen en 22 emitidos a la atmósfera como amoniaco y 42 en estiércol que puede aplicarse al campo.

Para reducir el nitrógeno total excretado y las emisiones de amoniaco, satisfaciendo al mismo tiempo las necesidades nutricionales de los animales, las MTDs se basan en la reducción del contenido de proteína, alimentación multifase, adición controlada de aminoácidos esenciales en una dieta baja en proteínas brutas y usos de aditivos autorizados que reduzcan el nitrógeno total excretado. La eficacia de estas acciones varía con el tipo de ganado, aviar, ovino o bobino y puede afectar negativamente a las emisiones de metano (Dijkstra, J. 2011). El descenso de la secreción de fósforo se logra mediante aditivos autorizados (fitasas) y con la adición de fosfatos inorgánicos altamente digestibles a la alimentación para sustituir a las fuentes convencionales de fósforo. Sin embargo, estas medidas, que tienen un gran efecto sobre el riesgo de eutrofización, sólo afectan a la emisión de GEI por el aumento de productividad que implica el cambio de alimentación.

El estiércol puede considerarse un subproducto de la actividad ganadera por su contenido en nutrientes vegetales- materia orgánica, nitrógeno, fosforo y potasio- pero puede ser una importante fuente de emisión de gases de efectos invernadero durante el almacenamiento, la gestión y la aplicación al terreno (Cai, Y. 2017).

La cantidad de metano generada por el estiércol depende de la formación de condiciones anaerobias, de la temperatura y de la edad del material. Para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (metano) procedentes del estiércol en forma líquida (purines) se pueden utilizar diversas técnicas con las que se logra diferente eficacia: reducir la relación superficie/volumen del depósito, reducir la velocidad del viento en la superficie y la agitación (disminuir la fracción de carga en el depósito), cubrir el depósito con cubiertas rígidas, flexibles o flotantes. Cuando la cobertura del depósito es total y se realiza la

digestión anaerobia, la reducción de emisiones depende de la captación del biogás y de su combustión o almacenamiento.

La mayor parte del óxido nitroso (N_2O) en la producción ganadera es consecuencia de la transformación del nitrógeno mediante dos procesos principales, nitrificación y desnitrificación. La nitrificación, transformación de los compuestos nitrogenados en nitrato, se produce en condiciones aerobias y la desnitrificación, transformación de nitrato en nitrógeno, en anaerobias. Cuando esta última transformación no es completa, condiciones parcialmente anaerobias, se forman óxidos de nitrógeno, NO y N_2O .

En el almacenamiento de estiércoles en forma líquida se puede reducir las emisiones de metano y de N_2O utilizando técnicas de costra natural. El estiércol sólido almacenado no tiene efecto sobre la emisión de GEI, excepto cuando se procesa para facilitar su conservación o su aplicación al campo. Algunas técnicas que se utilizan para esta finalidad son: secado, compostaje del estiércol y en el caso de purines, separación mecánica, digestión anaerobia para aprovechar el biogás, digestión aerobia, nitrificación/desnitrificación.

La deposición de purines y de estiércol al terreno es la última etapa del proceso y permite aportar nutrientes y materia orgánica pero también puede ser una fuente de contaminación. Para reducir las emisiones y mantener los beneficios de las técnicas de reducción y control de emisiones es necesario una correcta aplicación agronómica.

La mayor parte del metano que se produce en los rumiantes se debe a la actividad rumial, como consecuencia de la fermentación de los alimentos. La cantidad de metano depende del tipo de aparato digestivo (rumiantes o monogástricos), volumen de ingesta, composición de la dieta, tamaño del animal, tasa de crecimiento y el tipo de producción, además de la microbiota específica del aparato digestivo. Se puede actuar sobre estas variables (Pryce, J. 2020), pero es muy difícil aplicar medidas eficientes de mitigación de metano.

El uso eficiente de la energía repercute directamente en la huella de carbono del proceso, lo que se traduce en una bajada de las emisiones de CO_2 asociadas a la actividad. Puede utilizarse la energía de manera eficiente mediante una gran variedad de técnicas como: sistemas de calefacción/refrigeración y ventilación de alta eficacia, optimización de los sistemas de ventilación y de calefacción/refrigeración y su gestión, aislamiento de los muros, suelos, techos del alojamiento, sistemas de alumbrado de bajo consumo, intercambiadores de calor, bombas de calor, aplicación de sistemas ventilación natural, etc. La aplicabilidad de estas técnicas depende de los sistemas de alojamiento, del espacio disponible, del tipo de explotación ganadera, de las condiciones climáticas o del coste asumible.

6.- CONCLUSIONES

Los altos niveles de emisión del sector agrícola ofrecen una buena oportunidad a la actividad ganadera para aplicar diferentes tecnologías ambientales con las que contribuir a mitigar el cambio climático. Se pueden reducir las emisiones de CO₂ disminuyendo la deforestación y la degradación de los pastizales, reponiendo pérdidas de carbono en el suelo, mediante la restauración de zonas de pastos desertificadas, o aplicando prácticas de labranza de conservación. Las emisiones de metano se pueden reducir con dietas que disminuyan la fermentación entérica, mejorando la gestión del estiércol y utilizando el biogás como fuente de energía. Las emisiones de óxido de dinitrógeno se reducen mejorando las dietas y el manejo del estiércol.

7.- BIBLIOGRAFÍA

- Cai, Y., Chang, S.X., and Cheng, Y. (2017). Greenhouse gas emissions from excreta patches of grazing animals and their mitigation strategies. *Earth-Science Reviews*, **171**, 44-57
- Chang, K. (2007). *Introduction to Geographic Information System*, 4th Edition. McGraw Hill.
- Dijkstra, J. Oenema, O. and Bannink, A. (2011). Dietary strategies to reducing N excretion from cattle: implications for methane emissions. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, **3**, 414-422
- Emmerling, C., Krein, and A. Junk, J. (2020). Meta-analysis of strategies to reduce NH₃ emissions from slurries in European agriculture and consequences for greenhouse gas emissions. *Agronomy*, **10**, 1633-1647
- FAO. Food and Agriculture Organizer, (2008). *Climate Change and Food Security, A Framework Document*. Rome
- FAO. *Iniciativa para la Ganadería, Medioambiente y Desarrollo*, (2009). *La larga sombra del ganado. Problemas ambientales y opciones*. Roma
- FAO. (2013). *Enfrentando el cambio climático a través de la ganadería. Una evaluación global de las emisiones y oportunidades de mitigación*. Roma
- IPCC. (2014). In: Pachauri, R.K., and Meyer, L.A. (Eds.), *Climate Change 2014, Synthesis Report*, pp.151 (Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, Switzerland).
- MAGRAMA (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente). (2014). *Hoja de ruta de los sectores difusos a 2020*. <https://www.mapama.gob.es/>

- MAPAMA (Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente). (2017a). Guía de las mejoras técnicas disponibles para reducir el impacto ambiental de la ganadería. centropublicaciones@mapama.es
- MAPAMA (Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente). (2017b). Bases zootécnicas para el cálculo del balance alimentario del nitrógeno y del fósforo en ganado porcino blanco. centropublicaciones@mapama.es
- Pryce, J. and Haile-Mariam, M. (2020) Genomic selection for reducing environmental impact and adapting to climate change. *J. Dairy Sci.*, **103**, 5366-5375