



Los alojamientos y la infraestructura, como clave para la reducción de emisiones y la sostenibilidad

Introducción

Dentro de las estrategias encaminadas a la reducción de emisiones de GEI, las relacionadas con la gestión de los alojamientos y la infraestructura en la propia granja son competencia directa de la propiedad de la instalación, lo que reduce la dependencia de agentes externos en la toma de decisiones.

Estas estrategias permiten una reducción de emisiones entre media y moderada dependiendo de la situación inicial de la granja. Dentro de este grupo de medidas, ordenadas de menor a mayor potencial para alcanzar los objetivos de descarbonización se pueden identificar tres bloques:

- A Medidas relacionadas con la eficiencia energética.
- B Medidas relacionadas con la mejora de los alojamientos.
- C Medidas relacionadas con la gestión de las deyecciones en la propia granja.

Estrategias relacionadas con la eficiencia energética

En la producción ganadera, la energía total consumida puede dividirse entre energía directa e

indirecta. La primera es la energía directamente empleada en los procesos productivos, mientras que la segunda hace referencia a la energía necesaria para fabricar las instalaciones y demás insumos de la granja. Estos requerimientos de energía se nutren con diferentes fuentes, ya sea térmica o eléctrica, cada una con sus correspondientes emisiones asociadas de CO₂ equivalente.

En granjas de vacuno lechero se ha descrito que los principales consumos se asocian al control ambiental (cuando existen sistemas de refrigera-



Fernando Estellés¹ y Salvador Calvet²

¹ Dr. Ing. Agrónomo. Instituto de Ciencia y Tecnología Animal de la Universitat Politècnica de València.

² Dr. Ing. Agrónomo. Instituto de Ciencia y Tecnología Animal de la Universitat Politècnica de València. Coordinador de la Red REMEDIA.

Artículo publicado en el informe “Estrategia de descarbonización del vacuno de leche en España” editado por **DANONE**. Noviembre 2023.

ción), de gestión del estiércol (a través de los sistemas de recogida y transporte de las deyecciones), de la alimentación (durante la preparación y reparto de las raciones), del ordeño y la refrigeración de la leche. En su conjunto, se estima que en la producción vacuna lechera el consumo energético en granja supone un porcentaje pequeño, cercano al 2 % de la emisión total de GEI asociada a la cadena de suministro (Constantino *et al.*, 2023). Como en cualquier proceso, el primer paso para reducir la huella asociada al uso de la energía pasa por la optimización de procesos para evitar consumos que no redunden en la mejora productiva o del bienestar de los animales. Con los sistemas optimizados, el uso de energías renovables se establece como una alternativa para mitigar el impacto de este consumo energético.

La implementación de sistemas de obtención de energía térmica o eléctrica tiene un potencial muy relevante para la reducción del impacto asociado a los procesos. La instalación de sistemas fotovoltaicos o el uso de biomasa o biogás para la generación de energía térmica son opciones viables actualmente desde el punto de vista técnico. En cualquier caso, debe considerarse también el impacto que pueden tener estas medidas en el balance económico de la granja (tanto positivo como negativo, dependiendo de los casos) considerando el reducido margen de mejora que tiene este proceso sobre la huella de carbono total del proceso.

Estrategias relacionadas con la mejora de los alojamientos

En explotaciones que no tienen acceso a tierras de pastoreo, las instalaciones de los animales adquieren un mayor protagonismo para optimizar el bienestar de los animales y su salud. En este sentido, las instalaciones deben permitir que los animales dispongan del espacio suficiente para el descanso, así como el acceso al alimento y bebida.

En zonas cálidas es imprescindible proveer a los animales de suficiente superficie sombreada para aliviar las consecuencias del estrés térmico. Además, la incidencia del sol sobre las camas o deyecciones también presenta un efecto directo sobre las

La energía térmica o eléctrica son relevantes para la reducción del impacto asociado a los procesos

emisiones de gases de las mismas y la pérdida de nutrientes. La presencia de sistemas de refrigeración evaporativa (e.g. duchas en zona de espera al ordeño) permiten reducir también los efectos del estrés por calor, optimizando la producción de los animales. El uso de ventiladores

en los corrales también facilita la eliminación de calor por parte de los animales, aliviando el estrés térmico. Estos sistemas pueden ayudar también al secado del lecho en el caso de utilizar sistemas de alojamiento con cama, lo que tiene un efecto beneficioso sobre las emisiones de GEI y de amoníaco.

Estrategias relacionadas con la gestión de deyecciones

Es importante diferenciar entre las tres fases de la gestión de deyecciones que se producen en el seno de la granja en función de la localización del mismo: 1) alojamiento, 2) almacenamiento y 3) tratamiento.

1. Gestión de deyecciones en los alojamientos

La primera fase de la gestión de deyecciones tiene que ver con la recogida de las mismas tras su excreta por parte de los animales. Encontraremos aquí sistemas de recogida de deyecciones con o sin cama que generarán estiércoles sólidos o líquidos respectivamente.

En general, en términos de emisiones de GEI, los sistemas de alojamiento sin cama, que implican la generación de estiércoles líquidos, pueden llevar a una mayor tasa de emisión de GEI en el propio alojamiento y en la gestión posterior de las deyecciones. Aunque como se verá posteriormente, también pueden tomarse medidas para la reducción de estas emisiones, entre ellas, la retirada frecuente de las deyecciones del alojamiento, reduciéndose así el tiempo de contacto de los purines con el ambiente y mitigando, por tanto sus emisiones.

En el caso de utilizar sistemas de alojamiento con cama, podemos encontrar dos escenarios. Si se utilizan sistemas de cama caliente, debe mantenerse la cama lo más seca posible, controlando la adición de paja en función de las necesidades y aumentando, en la medida de lo posible, la frecuencia de retirada de la cama. Si se utiliza un sistema de aireación de la cama (volteo, cama fría, etc.), se mejoran determinados parámetros sanitarios de los animales (por ej. mastitis o cojeras), pero se incrementan de forma sensible las emisiones de N_2O . En este caso, es recomendable que el proceso derive en una cama con la menor humedad posible, lo que implica intensificar el volteo de la cama en función de las condiciones ambientales. De igual modo que en el caso de disponer de purines, el almacenamiento durante largos periodos de tiempo de la cama profunda ocasiona mayores emisiones de N_2O , CH_4 y NH_3 . Retirar frecuentemente la cama, al menos una vez al mes, evitaría esos gases en la instalación ganadera. Es especialmente recomendado evitar el almacenamiento de estiércol durante los meses más cálidos.

2. Almacenamiento de las deyecciones

En el caso de gestionar estiércoles líquidos, las balsas de purines son fuentes relevantes de CH_4 . Cubrir estas balsas evita la emisión descontrolada de este gas. Esta técnica funciona mejor cuando la cubierta es completamente impermeable y se equipa la balsa con un sistema de recuperación del gas o con una llama piloto que queme la mezcla de



gases producida para evitar la rotura de la cubierta. Si la cubierta no es impermeable (por ej. la formación de costras naturales o la adición de cubiertas orgánicas como paja), el efecto es más incierto. Las fosas de purín pueden presentar una costra de grosor variable en su superficie y la presencia de dicha costra se ha relacionado con la reducción de las emisiones de NH_3 y olores desagradables. La costra evita el contacto del purín con la atmósfera, disminuyendo la circulación de aire sobre la superficie emisora. La forma y el grosor de costra más efectivos siguen siendo desconocidos, así como los factores que promuevan o aceleren su formación. No obstante, se considera que factores como (i) el uso de material de las camas (serrín, paja, etc), (ii) la nutrición, (iii) el tipo de llenado de la fosa (superior o inferior), (iv) la frecuencia de llenado de la fosa, o (v) las condiciones climáticas, afectan en su formación. Las emisiones de CH_4 pueden verse también reducidas por la creación de zonas aeróbicas en los primeros cm de la superficie, donde el CH_4 se convierte en CO_2 por la acción de las bacterias metanotróficas. Por el contrario, puede contribuir a aumentar las emisiones de N_2O (0,005 kg $\text{N-N}_2\text{O}$ kg N purín) debido a la creación de estas zonas aeróbicas y anaeróbicas, las cuales dan lugar a los procesos de nitrificación y desnitrificación.

Por otro lado, al reducirse la pérdida de nutrientes en el purín, su capacidad como fertilizante se incrementa, pudiendo reducir así el uso de fertilizantes sintéticos. Por otro lado, al aumentar el contenido en nitrógeno del purín, las emisiones de N_2O durante la aplicación al campo pueden ser mayores si no se toman medidas. Asimismo, con esta medida se reducen otros efectos adversos como las emisiones de NH_3 y los olores.

En el caso de almacenar estiércoles sólidos, las actuaciones sobre los mismos presentan un efecto más limitado en las emisiones. No obstante, es recomendable, por la posible contaminación del entorno, su conservación sobre una superficie de hormigón, o de un suelo compacto e impermeable en su defecto. En ambos casos, es conveniente recoger los drenajes mediante una canaleta, para su almacenamiento en un depósito específico. Es conveniente cubrir el estercolero con una cubierta, con independencia de la recomendación de cubrir el propio estiércol con paja o con un plástico flexible para evitar el contacto directo con el aire. Al reducir el contacto directo entre el estiércol y el aire, se mitiga la emisión de gases y la consecuente pérdida de nutrientes. Proteger los estercoleros con una cubierta, para impedir la acción directa del sol, introducirlos dentro de un cobertizo o cubrir la superficie del estiércol reducen también las emisiones al reducirse su temperatura.

3. Tratamientos de las deyecciones

En este apartado se recogen diversos tratamientos disponibles para la valorización de deyecciones que reducen, o permiten la reducción posterior de las emisiones de GEI.

En explotaciones con sistemas de recogida de purines líquidos, se puede instalar un sistema que permita separar la fracción sólida de los mismos, permitiendo hacer una gestión diferenciada de las dos fracciones. Esta técnica incluye un variado abanico de tecnología que permite separar en mayor medida los componentes sólidos del purín (heces y restos de cama) de la fase líquida (agua y elementos disueltos). Esa separación es más o menos eficiente según la tecnología utilizada (a tecnología más costosa, mejor separación). Para

ser efectivo debe realizarse cuanto antes, idealmente sobre purín recién excretado o almacenado poco tiempo. Este tratamiento no afecta por sí mismo a las emisiones, pero puede facilitar el tratamiento de las fases separadas para reducir la emisión de gases en su conjunto. La fase sólida puede someterse a un proceso de compostaje en la que el mayor riesgo a considerar es la posible emisión de N_2O . Por su parte, la reducción del contenido en materia orgánica de la fase líquida reduce las emisiones de CH_4 debidas a la fermentación anaerobia en las balsas o lagunas. Dada la amplia tipología de separadores existentes, los resultados dependen del separador utilizado.



El compostaje es un tratamiento aeróbico que se aplica sobre los montones de estiércol, y cuyo producto final es un abono orgánico estabilizado denominado compost. También es posible compostar las fracciones sólidas derivadas de la separación sólido-líquido de los purines. Los principales beneficios del compostaje para las explotaciones ganaderas son (i) la disminución del volumen de material orgánico a gestionar (almacenamiento y aplicación), (ii) la obtención de un producto con unas características físico-químicas homogéneas, (iii) una mayor concentración de nutrientes, (iv) la disminución eficaz de los patógenos, y (v) la reducción de los problemas derivados del olor.

Respecto a un almacenamiento de sólidos estándar, este sistema reduce a la mitad las emisiones de CH_4 (que son una fuente menor de emisiones en granjas de estas características). Las emisiones de N_2O no se ven afectadas significativamente respecto al mismo sistema de referencia.

Siendo el producto final (compost) un abono estabilizado en términos de N (elevada concentración de N orgánico de liberación lenta), las emisiones de N_2O tras la aplicación del compost en campo se reducen de manera significativa, pudiendo compensar las emisiones acumuladas durante el proceso de compostaje (Pardo *et al.*, 2015)

En cualquier caso, debe considerarse también que el compostaje se relaciona principalmente con

el aumento de las emisiones de NH_3 debido a la mineralización del N orgánico durante el propio proceso. Las emisiones de NH_3 pueden suponer hasta un 45 % del contenido inicial del N en el estiércol. También se han descrito emisiones de N_2O debido a los procesos de nitrificación y desnitrificación, pero su magnitud durante el compostaje es significativamente inferior al observado en las emisiones de NH_3 .

Las emisiones nitrogenadas pueden reducirse de manera significativa (i) cubriendo el montón para limitar la transferencia interna de aire, (ii) evitando un excesivo número de volteos, (iii) controlando el sistema de aireación, (iv) aplicando estruc-



turantes que mejoren la relación C/N o (iv) mediante la compactación del montón de estiércol.

De igual modo que se señalaba anteriormente, al ser el compost un abono estabilizado en términos de N (elevada concentración de N orgánico de liberación lenta), las emisiones de NH_3 se reducen de manera muy significativa.

La digestión anaerobia es un sistema de tratamiento que potencia la producción de metano procedente del estiércol, en condiciones controladas, con el objetivo de aprovecharlo para la obtención de energía mediante su combustión, habitualmente en un motor de cogeneración (produciendo energía térmica y eléctrica). Es habitual requerir la co-digestión con otros sustratos, idealmente de disponibilidad local, que complementan el potencial de los purines para generar biogás. Este tratamiento reduce las emisiones de metano del estiércol líquido al producirse estas en condiciones controladas. Adicionalmente, supone una fuente de energía renovable y limpia, pues a diferencia de los combustibles fósiles, el CO_2 producido es de origen biogénico.

Es importante someter el purín al proceso de digestión anaerobia lo antes posible para evitar emisiones de CH_4 no controladas. Potencialmente puede reducir en gran medida la emisión de me-

tano procedente del purín. En cambio, no tiene sentido su aplicación a estiércol sólido con el objetivo de reducir las emisiones de metano dada la falta de humedad del mismo que no permite el desarrollo del proceso.

En cualquier caso, hay que considerar que el proceso de digestión anaerobia no reduce la carga de nitrógeno del estiércol, y no necesariamente reduce las emisiones de amoníaco (Kupper *et al.*, 2020). Además, requiere un esfuerzo de gestión adicional con mano de obra cualificada, tanto del propio proceso de digestión como de la gestión de los sustratos utilizados y los efluentes o digestatos.

Finalmente, es posible utilizar aditivos que inhiben la emisión de GEI por parte de las deyecciones, fundamentalmente en el caso del N_2O .

Existen dos tipos de aditivos inhibidores:

- Inhibidores de la nitrificación: que inhiben la oxidación de NH_4^+ a NO_3^- . Los animales que reciben estos inhibidores con el alimento lo excretan sin alterar la orina, por lo que pueden ejercer su función sobre las excretas.
- Inhibidores de la ureasa: impiden el paso de urea a amonio, por lo que presentan gran potencial para reducir las pérdidas de NH_3 por volatilización. Estos inhibidores se han aplicado tanto al suelo como al estiércol almacenado.

El uso de inhibidores de la nitrificación reduce las emisiones de N_2O asociadas a la orina en más de un 60 % y puede aumentar la producción de pastos cuando se utilizan con animales en pastoreo. Los inhibidores de la ureasa reducen la volatilización de NH_3 , ya que éste no llega a formarse y, por tanto, también las de N_2O , al ser el NH_3 un precursor de éste. Estos inhibidores de la nitrificación reducen de forma directa la emisión de NH_3 , pero pueden aumentar el amonio disponible en el suelo, por lo que provocaría un aumento de las volatilizaciones de este gas a largo plazo.

Conclusiones

La gestión adecuada de los desechos en las granjas representa una valiosa oportunidad para avanzar en la descarbonización del sector del ganado lechero. En el caso de camas, calientes o frías, es recomendable mantenerlas lo más secas posible mediante la adición de paja seca o volteos. Tanto para el estiércol como para los purines, se aconseja retirarlos con frecuencia, al menos una vez al mes. Las fosas y balsas de purín deben estar cubiertas, preferiblemente con materiales impermeables y con la costra.

Existen diferentes tratamientos para las deyecciones, como la acidificación de los purines, la separación sólido-líquido o el compostaje posterior de los sólidos o estiércoles. Durante este proceso, es importante limitar los volteos, controlar la aireación y cubrir las pilas. Otras alternativas de interés son la digestión anaerobia para la producción de biogás o la adición de inhibidores de la nitrificación de la ureasa.

Además, mejorar la eficiencia en el uso de la energía en el control ambiental, la gestión del estiércol y la alimentación puede contribuir a reducir el impacto ambiental. En aquellos casos donde sea económicamente viable, se pueden implementar instalaciones para generar energías renovables, como fotovoltaicas, mini-eólicas o de biometano, para minimizar las emisiones de GEI.

La gestión del estiércol y la alimentación pueden contribuir a reducir el impacto ambiental