



Financiado por
la Unión Europea

Esta actividad hace parte del proyecto Diálogos
Climáticos de la Unión Europea

Resumen de política: Agricultura y ganadería

Fortalecimiento de la información sobre emisiones de metano
para la toma de decisiones y diálogos sectoriales para apoyar la
reducción de emisiones de metano en Colombia



Julio, 2024

Implementado por





Resumen de política para el sector agrícola y ganadero

Apoyo a la reducción de las emisiones de metano en Colombia

Experto líder

Ricardo Argüello

Revisión y edición

Mónica Espinosa

Juan Felipe Franco

Revisor

Mariana Rojas-Laserna (EUCDs)

Agradecimiento

Expertos sectoriales de las siguientes entidades que participaron en los diálogos:

Alliance Bioversity - CIAT

Banco Interamericano de Desarrollo (BID)

Center for Clean Air Policy (CCAP)

Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria - CIPAV

Climate and Clean Air Coalition – CCAC

Corporación colombiana de investigación agropecuaria - AGROSAVIA

Departamento Nacional de Planeación - DNP

Federación Colombiana de Ganaderos - Fedegán

Federación Nacional de Arroceros – Fedearroz

Federación Nacional de Avicultores de Colombia - FENAVI

Findeter

Fundación Natura

GIZ Colombia

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM

International Methane Emissions Observatory - IMEO

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - Minambiente

Ministerio de Relaciones Exteriores – Cancillería

Stockholm Environment Institute - SEI

UN Environment Programme - UNEP

Unidad de Planificación Rural Agropecuaria - UPRA

World Wildlife Fund - WWF





Resumen de política para el sector agrícola y ganadero

Apoyo a la reducción de las emisiones de metano en Colombia

1. Contexto de este reporte

En apoyo de la implementación efectiva del Acuerdo de París, los Diálogos Climáticos de la Unión Europea (EUCDs por su sigla en inglés) asistieron a Colombia a promover la reducción y monitoreo de las emisiones de metano (CH_4). El objetivo fue fomentar el intercambio de conocimientos y experiencias entre expertos de Colombia, la Unión Europea y otros países de América Latina. Los diálogos se centraron en cuatro sectores: i) agricultura y ganadería, ii) industrias de la energía, iii) residuos, y iv) la relación entre la calidad del aire y las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI).

Uno de los resultados del proceso es este resumen de políticas que provee un panorama comprensivo de las principales preocupaciones sobre las emisiones de CH_4 de las industrias de la energía en Colombia y propone una serie de recomendaciones de política para lograr reducciones sustanciales de las emisiones de CH_4 y mejorar su monitoreo. Esto último apunta a mejorar los sistemas de información sectorial, facilitando así los procesos de implementación. Este documento fue formulado con base en los siguientes insumos:

- Buenas prácticas extraídas del intercambio de experiencias entre la Unión Europea y Colombia.
- Comentarios de los expertos y priorización de las estrategias de mitigación y monitoreo de las emisiones de CH_4 durante los talleres, con especial atención en proponer un conjunto de acciones a corto plazo para ayudar en su implementación.
- Análisis de los documentos relacionados con los planes, normas y políticas nacionales y sectoriales, que abarcan la mitigación y el monitoreo de las emisiones de CH_4 .
- Análisis de la literatura académica sobre el tema, complementado con entrevistas adicionales a expertos.
- El conocimiento y la experiencia previa del experto sectorial líder del proceso en Colombia.

El documento está estructurado de la siguiente manera: la Sección 2 presenta y examina el papel de las emisiones de CH_4 y sus tendencias para el sector agricultura y ganadería en Colombia. La Sección 3 describe el marco de política de CH_4 del sector, abarcando tanto la política climática nacional como las políticas sectoriales específicas. La Sección 4 plantea un resumen del marco regulatorio de la Unión Europea (UE) y extrae lecciones clave de su aplicación. La Sección 5 explora las oportunidades de mitigación de las emisiones de CH_4 , junto con las estrategias prioritarias para su aplicación y monitoreo. La Sección 6 consolida las recomendaciones de políticas dirigidas a reducir las emisiones de metano en el sector y a mejorar los sistemas de Monitoreo, Reporte y Verificación (MRV). Por último, la Sección 7 resume los puntos clave del informe.

2. Caracterización de las emisiones de metano en Colombia y tendencias

Colombia representa el 0,41% de las emisiones globales de GEI y se ve significativamente afectada por el cambio climático. El Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INGEI) reportado en el BUR3 indica que en 2018 las emisiones de GEI de Colombia se estimaron en 302,9MtCO₂eq, con absorciones de 23,7MtCO₂eq (Gobierno de Colombia, 2022). El INGEI engloba las emisiones de dióxido de carbono (CO_2), CH_4 , óxido nitroso (N_2O), hidrofluorocarbonos (HFC) y hexafluoruro de azufre (SF_6). La contribución promedio





de cada GEI de 1990 a 2018 fue de 72,43% para CO₂, 22,86% para CH₄, 4,40% para N₂O, 0,29% para HFC y 0,03% para SF₆. En particular, la proporción de CH₄ ha aumentado del 19,8% en 1990 al 24,3% en 2018.

Metodológicamente, el INGEI de Colombia y otros instrumentos técnicos se adhieren a las directrices del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) de 2006, que desglosan las emisiones y absorciones de GEI en cuatro sectores: Energía; Procesos Industriales y Uso de Productos (IPPU); Agricultura, Silvicultura y Otros Usos de la Tierra (AFOLU); y Residuos. En 2018, los aportes sectoriales en Colombia fueron 59,1% de AFOLU, 30,7% de Energía, 6,8% de Residuos y 3,5% de IPPU.

Según el BUR3 de Colombia, el 62,2% de las emisiones nacionales de CH₄ se originan en el sector agrícola. De las emisiones agrícolas, el 96,5% proviene del sector ganadero. El 93% procede de ganadería bovina, el 2% de ganadería porcina, el 1% de avicultura y el 0,5% restante de otras especies. El resto de las emisiones agrícolas (3,5%) surgen de la quema de biomasa (1,6%), el cultivo de arroz (1,8%) y las emisiones de humedales (0,1%) (Gobierno de Colombia, 2022). Sin restar importancia a la necesidad de reducir todas las emisiones agrícolas, estas cifras indican que el grueso de los esfuerzos para mitigarlas debería concentrarse en el sector ganadero vacuno, especialmente en lo que respecta a las emisiones procedentes de la fermentación entérica que representan el 98% de las emisiones de CH₄ de esta actividad. Los procesos asociados con las emisiones agrícolas de CH₄ se pueden clasificar de la siguiente manera: (i) fermentación entérica, (ii) gestión del estiércol, (iii) humedales y (iv) emisiones distintas de CO₂ procedentes de actividades relacionadas con la tierra (quema de biomasa, cultivo de arroz).

La composición de la producción en términos de quiénes son los productores, qué tecnologías de producción utilizan y cuáles son las condiciones socioeconómicas y ambientales que enfrentan, son determinantes importantes para las opciones de mitigación que pueden implementarse. Algunas consideraciones relevantes sobre los sistemas de producción en Colombia son:

- i) Hay muchos productores involucrados en cada uno de los sectores.
- ii) Tiende a haber una división entre muchos pequeños productores, que en su mayoría operan con tecnologías "tradicionales", y un número relativamente pequeño de productores medianos y grandes que utilizan tecnologías "modernas".
- iii) En tercer lugar, si bien no existe información sistemática sobre el tema, es muy probable que sea el conjunto de productores medianos y grandes el que genere la mayor parte de las emisiones de CH₄, con la posible excepción del sector bovino.
- iv) Cuarto, aunque la tercera característica parece respaldar la idea de concentrar los esfuerzos de mitigación en el grupo de productores que más contribuyen a las emisiones, consideraciones básicas por una transición justa e inclusiva hacen que esta posibilidad sea indeseable, especialmente cuando las tecnologías de mitigación pueden implicar importantes cobeneficios económicos (y de otro tipo).

Con base en datos históricos de emisiones del BUR3, las emisiones totales de CH₄ de Colombia aumentaron a una tasa de crecimiento promedio anual del 1,8% entre 1990 y 2018, mientras que las del sector agrícola aumentaron a una tasa anual del 1,2%. Por lo tanto, la proporción de emisiones agrícolas ha caído del 74,2% en 1990 al 59,6% en 2017, con un pequeño repunte al 62,2% en 2018 debido a una desaceleración del crecimiento de las emisiones de CH₄ de otros sectores de la economía. La Figura 1 muestra que el actor más importante es la fermentación entérica, cuya proporción de emisiones era cercana al 70% al comienzo del período y cayó al 57,5% en 2018. Si solo se consideran las emisiones que surgen del sector agrícola, la proporción de la fermentación entérica ha sido estable, manteniéndose en torno al 93,6%. En 2018, se estimó





que las emisiones de CH₄ del sector agrícola alcanzaron los 43,8 millones de toneladas de CO₂ equivalente. (IDEAM et al., 2022).

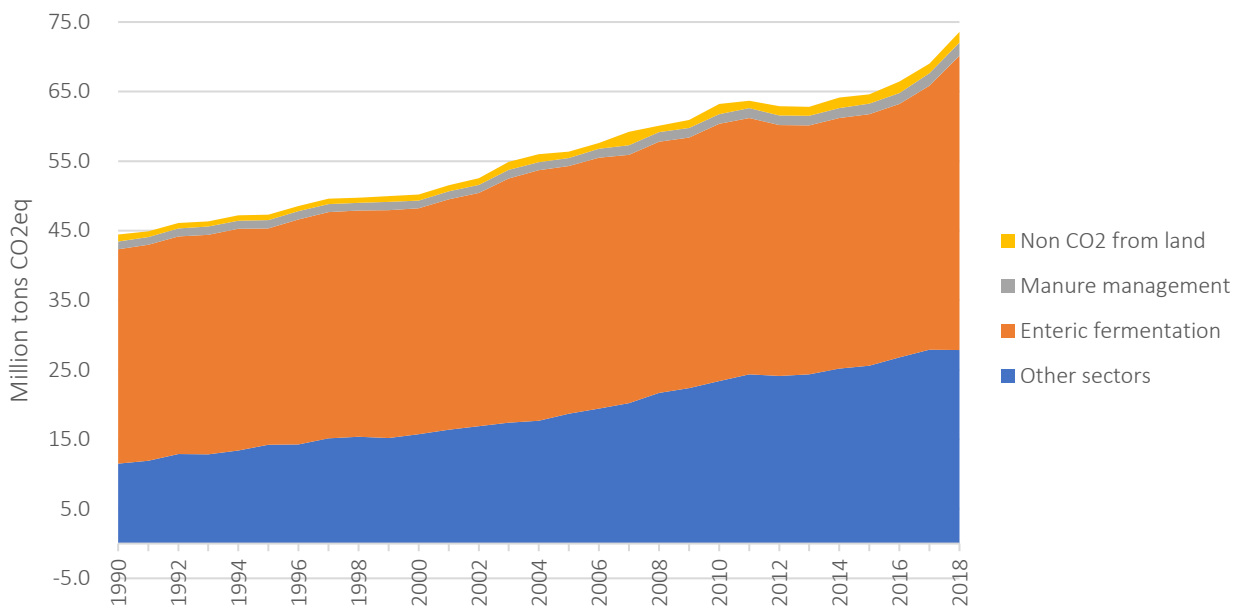


Figura 1. Tendencia de las emisiones de CO₂eq – Sector Agrícola y Ganadero 1990-2018.

Fuente: datos del BUR3.

La Figura 2 muestra la tendencia esperada en las emisiones de CH₄, como se desprende del escenario tendencial (BAU) utilizado para actualizar la NDC y ajustado para acoplar con los datos históricos. La tasa media de crecimiento anual de la fermentación entérica entre 2018 (último dato histórico disponible) y 2050 es del 0,9%¹, mientras que la gestión del estiércol y el cultivo del arroz son del 2,8% y el 0,5%, respectivamente. En consecuencia, se espera una pequeña variación en sus participaciones, que llevaría la fermentación entérica del 92,5% en 2018 al 90% en 2050. Con ello, se espera que las emisiones de CH₄ de estas tres fuentes alcancen 63,4 millones de toneladas de CO₂ equivalente en 2050.

El BAU no considera las políticas de mitigación que han entrado en vigor o han sido implementadas desde 2015. Utiliza como principales determinantes las proyecciones de población del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), datos de crecimiento económico esperado del Departamento Nacional de Planeación (incluyendo el estimado impacto de la pandemia del COVID), y escenarios de oferta y demanda de petróleo y productos derivados del petróleo. En cuanto al sector agrícola, se modeló el subsector bovino con diferenciación entre diez regiones ganaderas (ya que el manejo del rebaño, el alimento y el estiércol difieren entre ellas) y siete categorías bovinas según el tipo de tecnología y composición del rebaño. Se utilizaron factores de emisión específicos para CH₄ por región y categoría (VITO et al., 2020).

El proceso de estimación fue simple ya que la información disponible solo permitía el uso de factores de emisión fijos a través del tiempo, por lo que los niveles de actividad fueron el único factor variable. Los datos

¹ En cuanto a la población bovina, la tasa de crecimiento medio anual se estima en un 1,06%, lo que conducirá a una población de alrededor de 48,4 millones de animales en 2050, frente a 34,5 millones en 2018. (VITO et al., 2020)



de actividad fueron proporcionados por el gobierno, con base en proyecciones que utilizan datos históricos y estimaciones realizadas por organizaciones del sector privado como PorkColombia, FENAVI y FedeArroz, para los sectores porcino, avícola y arrocerero (VITO et al., 2020).

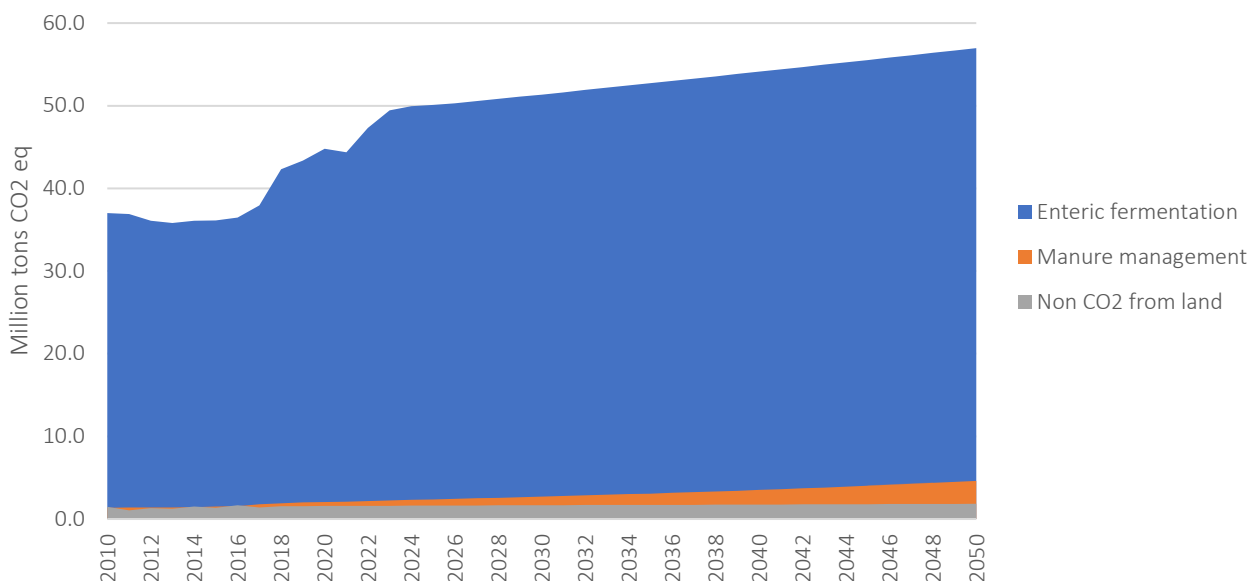


Figura 2. Tendencia proyectada de las emisiones de CH₄ en el sector agrícola colombiano (2019-2050).

Fuente: Base de datos NDC 2020 Colombia.

3. Marco de política de metano en Colombia

3.1 Políticas centrales que afectan las emisiones de CH₄ en el sector agrícola y ganadero.

Colombia ratificó la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) a través de la Ley 164 de 1994 y aprobó el Acuerdo de París mediante la Ley 1844 de 2017. Adicionalmente, y durante la COP 26 en Glasgow, el país adhirió al Compromiso Global de Metano (CGM), adquiriendo así diferentes responsabilidades bajo las que se configura su contribución a la acción climática global.

En respuesta a los compromisos internacionales, Colombia desarrolló tres instrumentos principales de planificación sobre el cambio climático:

- i) Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC) actualizada en 2022: Colombia se compromete a reducir un 51% sus emisiones de GEI al 2030 respecto al escenario de referencia, lo que representa un máximo de 169,4 MtCO₂eq en ese año (Gobierno de Colombia, 2020). Dicho objetivo no está detallado por GEI², pero el CH₄ sí está incluido en el alcance y cobertura. Para lograr este objetivo, los sectores económicos definieron un *Portafolio de Medidas Sectoriales de Mitigación del Cambio Climático*. El marco regulatorio colombiano para la reducción de las emisiones agrícolas de CH₄, tal

² GHGs included in the NDC: CO₂, CH₄, N₂O, HFCs, PFCs, SF₆

⁹ Specific measures are described below.



como lo establece la actual NDC, incluye medidas relacionadas con el cultivo de arroz (técnicas de riego alternativo húmedo-seco y manejo de residuos de cosecha) y con técnicas de manejo de estiércol asociadas al sector ganadero. Este último se refiere específicamente al funcionamiento de las subastas de ganado y al proceso de sacrificio, cuyas contribuciones a las emisiones de CH₄ son más bien marginales (MADS, 2024). Ninguna de estas dos medidas tiene objetivos cuantitativos en materia de reducción de emisiones de CH₄.

- ii) Estrategia Climática de Largo Plazo de Colombia (E2050): Establece una visión para 2050 en la que Colombia será resiliente al clima, priorizando el bienestar humano, la conservación de la biodiversidad y la seguridad hídrica. El objetivo es tener una economía competitiva, circular y neutra en carbono. La E2050 se basa en nueve apuestas transformadoras para alcanzar esta visión, una de las cuales incluye la ganadería sostenible, pero sin fijar objetivos concretos de mitigación, ni para gases concretos.
- iii) Ley de Acción Climática (Ley 2169 de 2021): Promulgada en 2021, esta Ley impulsa el desarrollo bajo en carbono del país a través del establecimiento de metas y medidas mínimas sobre neutralidad de carbono y resiliencia climática, incrementando los compromisos sectoriales establecidos en las NDC 2020 e incluyendo nuevas estrategias sectoriales. Sin embargo, el alcance de la ley es amplio, más preocupado por fijar lineamientos y actividades generales, y no contiene ninguna especificidad en términos de mitigación de emisiones de CH₄.
- iv) Estrategia Nacional para la Mitigación de Contaminantes Climáticos de Vida Corta (MADS, 2020): Hace varias referencias a la mitigación del CH₄ en el sector agrícola, incluida la mejora de la nutrición animal (que no se menciona explícitamente en la NDC), y proporciona potenciales de mitigación, pero no establece objetivos específicos más allá de los incorporados en la NDC.

La adhesión de Colombia al CGM refleja la voluntad de contribuir a un esfuerzo colectivo para reducir las emisiones de CH₄ en al menos un 30% por debajo de los niveles de 2020 para 2030. Este es un objetivo de reducción global, no nacional, pero requiere la definición de una hoja de ruta para promover medidas nacionales y sectoriales para reducir las emisiones de CH₄ y sumarse a dicho objetivo global. El Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR), con el apoyo de la Coalición Clima y Aire Limpio (CCAC), ya comenzó a desarrollar una estrategia para mitigar los GEI de corta duración para informar la actualización de la NDC (2030-2035). El proyecto (iniciado en 2023 y que durará hasta 2026), debe entregar una estrategia sectorial que priorice las acciones de mitigación del CH₄. Se espera que para 2024 el proyecto entregue la estrategia sectorial y que, al finalizar, el gobierno haya incluido medidas u objetivos agrícolas específicos para el CH₄ en su actualización de la NDC de 2025. Adicionalmente, se espera aumentar las capacidades del sector para evaluar y modelar sus emisiones de contaminantes climáticos de corta duración, con énfasis en CH₄, para poder priorizar e implementar medidas y hacer seguimiento a su progreso. (CCAC, 2024).

El país también ha avanzado significativamente en la gobernanza climática, estableciendo instancias técnicas, políticas y científicas para la toma de decisiones, avances regulatorios y la creación de lineamientos para la acción climática sectorial y territorial. Entre estos instrumentos destacan los Planes Sectoriales Integrales de Cambio Climático (PIGCCS) como marco de estrategias y objetivos sectoriales en materia de adaptación, mitigación y medios de implementación ante el cambio climático. Si bien ha habido algunos avances en materia de incorporación de acciones de mitigación dentro de varios instrumentos de política agrícola (como el programa de crédito verde, el programa Colombia Agroalimentaria Sostenible y las mesas técnicas agroclimáticas), no existe un esfuerzo integral y coordinado que apoye la implementación de las NDC a través de este tipo de acciones. Por lo tanto, los instrumentos de política agrícola más utilizados (como el crédito



subsidiado a través de la Línea de Crédito Especial) continúan apoyando proyectos agrícolas independientemente de si implementan tecnologías que mejoren la mitigación (ya sea relacionadas o no con el CH₄).

3.2 Acciones de mitigación del metano en las políticas sectoriales

El MADR cuenta con su PIGCCS (MADR, 2021), sin embargo, no contiene ningún detalle sobre la mitigación de las emisiones de CH₄. El PIGCCS proporciona un enfoque general y se centra en amplios aspectos institucionales y estratégicos, aunque se priorizaron catorce subsectores y se consagra la implementación de prácticas agrícolas sostenibles como una de sus áreas estratégicas. Además, sólo hay tres acciones de mitigación de CH₄ establecidas en las políticas sectoriales (todas dentro de las NDC), una referida a la ganadería bovina y dos al cultivo de arroz.

El asociado a la ganadería se refiere al uso de técnicas de manejo de estiércol en la operación de las subastas ganaderas, y los dos vinculados al cultivo de arroz se centran en la aplicación de la práctica de riego Alternativo Húmedo-Seco (AWD) (que reduce el tiempo durante el cual el cultivo se inunda) y en el manejo de los residuos de cosecha (para tener una menor cantidad de biomasa que pueda descomponerse en los campos inundados). Aunque existe potencial para la mitigación de CH₄ mediante la introducción de sistemas silvopastoriles y el uso del sistema AWD en el cultivo de arroz, no existen objetivos específicos para la mitigación de CH₄ en la NDC, como se mencionó anteriormente³.

Más allá de las acciones para las cuales existen compromisos en la NDC, existen otras tecnologías o prácticas que pueden ayudar a reducir las emisiones de CH₄ en el país. Por ejemplo, hay varios ejemplos de biodigestores que operan en los sectores de extracción de palma aceitera, granjas porcinas, avicultura y acuicultura. (NOVATIO, 2024). También existen otras opciones tecnológicas. Las más relevantes para el sector ganadero bovino se relacionan con la mejora de la calidad del forraje (digestibilidad, mayor contenido proteico, y otras técnicas), y el mejoramiento y manejo de los pastos (sistemas de rotación y otras técnicas) (Arango et al., 2020). Se encuentran ejemplos del uso de estas tecnologías en América Central y del Sur tropical, Asia meridional, África occidental, África subsahariana y el sudeste asiático (Thornton & Herrero, 2010). Para el sector porcino y avícola, existe la implementación de digestores anaeróbicos (con y sin generación eléctrica asociada), y para el sector del cultivo de arroz, la racionalización de las prácticas de fertilización también puede ser de ayuda (Manrique et al., 2021).

En el caso del sector bovino, todas las opciones mencionadas anteriormente conllevan cobeneficios importantes ya que generan mejoras significativas en la capacidad de carga y productividad (tanto para la producción de carne como de leche), disminuyendo la intensidad de las emisiones de CH₄, pero su realización lleva tiempo y los beneficios económicos tardan en madurar. Una característica que, ante los altos costos de implementación, puede introducir barreras de entrada. El proyecto Masificando la Ganadería Sostenible (Mainstreaming Sustainable Cattle Ranching), financiado por el Banco Mundial, fue un proyecto de diez años de duración que plantó la semilla del compromiso asumido por la NDC colombiana. Ayudó a más de 4 mil fincas familiares en cinco zonas distintas de Colombia a adoptar sistemas silvopastoriles. Se convirtieron alrededor de 32.000 hectáreas a esta tecnología, lo que aumentó los ingresos de los agricultores, impulsó la

³ La incorporación de follaje y vainas terrestres de árboles y arbustos tropicales, típicos de sistemas silvopastoriles, en las raciones para ganado, puede disminuir la producción de metano entre un 10% y un 25% (Ku-Vera et al., 2020) mientras que el uso del sistema AWD en experimentos Los ensayos en Colombia arrojaron reducciones de emisiones del orden de entre 68% y 98% en tres de los cuatro ciclos de cultivo probados y aumentos de entre 30% y 100% en uno de los ciclos (Heros et al., 2022).





productividad de la leche y recompensó a los agricultores mediante pagos por servicios ambientales. (World Bank, 2020).

La implementación de biodigestores anaeróbicos, de los cuales se puede obtener energía calórica o eléctrica (de manera que generen un cobeneficio para los productores -en el caso de la generación eléctrica ya sea para autoconsumo o para venta a la red), tiene requisitos de escala. Los digestores de laguna cubierta son apropiados para las condiciones colombianas y son económicamente rentables en escalas relativamente grandes (en el caso de la cría de cerdos en granjas de al menos 5.000 animales), por lo que requieren considerables inversiones de capital. (NOVATIO, 2024) En avicultura esta opción es relevante solo en el caso de animales mantenidos en jaulas, ya que cuando se utiliza cama no se generan emisiones de CH₄ porque no hay procesos anaeróbicos. En este caso, utilizar gallinaza como fertilizante para los cultivos es una alternativa rentable y de bajo costo que dificulta la adopción de biodigestores, pero que también tiene el potencial de reducir las emisiones de CH₄. En todos los casos, una dificultad de los biodigestores es el limitado desarrollo de un mercado para el digestato (residuo del proceso de biodigestión), de modo que se asegure un flujo que permita el funcionamiento de una economía circular.

Por último, el uso del sistema AWD en el cultivo de arroz aumenta la eficiencia en el uso del agua sin afectar los rendimientos, lo que potencialmente reduce los costos del agua. También permite a los productores familiares una mayor resiliencia a las variaciones climáticas. Esta acción, aunque ampliamente evaluada en Asia, todavía carece de una investigación sólida en gran parte de América Latina, donde se concentra principalmente en Brasil. Como ocurre con la mayoría de las prácticas de manejo, el desempeño de AWD puede ser muy específico de las condiciones ambientales donde se implementa y es una práctica difícil de adoptar para los productores, porque el uso del agua es un factor decisivo para lograr buenos rendimientos. Por tanto, es necesario evaluar y adaptar el método a las condiciones de cultivo específicas de cada región. Según Fedearroz, los costos de cultivo son menores cuando se utiliza el paquete tecnológico implementado a través del programa AMTEC (programa de Adopción Masiva de Tecnología, que está incluido en la NDC), aunque no está claro si el AWD está incluido en el mismo. El programa ha logrado superar paulatinamente la resistencia de los productores, alcanzando el 61% de la superficie plantada en 2020 (después de siete años de funcionamiento). Sin embargo, no existe información específica sobre su efecto sobre las emisiones de CH₄.

Como se mencionó, la ganadería sostenible implica importantes ganancias para los agricultores, incluso gracias a mejoras relativamente simples de las pasturas y de su gestión. Además, a la escala adecuada, los biodigestores demuestran ser una valiosa fuente de ahorro e ingresos adicionales, mientras que el uso de la tecnología AMTEC en el sector del arroz implica mayores rendimientos y menores costos de hasta un 11,4% por tonelada para 2020. (AMTEC - Fedearroz, n.d.) Por lo tanto, dada la importancia de estos cobeneficios económicos, la implementación de las acciones de mitigación no debe limitarse a los grandes agricultores debido a su mayor contribución a las emisiones, sino que debe ser ampliamente accesible para todos los agricultores por razones de equidad y justicia y de su mayor impacto en el sector en general.

4. Panorama general del marco político de la Unión Europea relacionado con el CH₄ y lecciones clave de su aplicación

La UE ha avanzado en sus esfuerzos para reducir las emisiones de GEI centrándose en el CH₄. Entre los instrumentos del marco político de la UE se encuentra la Estrategia sobre el Metano, que se centra en reducir las emisiones de CH₄ asociadas con las cadenas de suministro vinculadas a la UE, incluidos los sectores de





energía, agricultura y residuos (European Commission, 2020). Aunque la UE ha logrado reducir continuamente sus emisiones de CH₄ en un 36% entre 1990 y 2020, la mayoría de sus emisiones restantes pertenecen al sector agrícola, donde, como se menciona en el Plan de Acción sobre Metano de la UE en 2022 como parte de su compromiso con el CGM, “lograr mayores reducciones es el mayor desafío, debido a los altos costos y la naturaleza de los procesos biológicos involucrados” (European Union, 2022).

El marco de política de la UE lo proporcionan el Pacto Verde Europeo (un paquete de políticas destinado a hacer de Europa el primer continente neutro en carbono para 2050) y la PAC 2023-2027 (Política Agrícola Común) que apoya el sistema agroalimentario europeo. (*The European Green Deal - European Commission*, n.d.) En el marco del Pacto Verde se han reforzado las dimensiones medioambientales y de conservación de la PAC, incorporando desde julio de 2023 un paquete de medidas centradas en el uso sostenible de los recursos naturales, que se establecieron para hacer la PAC más compatible con los objetivos del Pacto Verde.

Como menciona la documentación sobre la PAC, se “incluye **condicionalidad**, que vincula los pagos de la PAC por superficie y animales a una serie de obligaciones. Además, también introduce los **nuevos "esquemas ecológicos"** que tienen como objetivo recompensar a los agricultores por avanzar más en la implementación de prácticas agrícolas sostenibles. Estas prácticas podrían incluir la implementación de sistemas de producción amigables con el medio ambiente, como la agroecología, la agrosilvicultura y la agricultura orgánica. El marco de desarrollo rural también incluye compromisos de gestión ambiental y climática, cuyo objetivo es compensar a los agricultores y otros beneficiarios por comprometerse voluntariamente a implementar prácticas sostenibles”.(*The CAP Reform's Compatibility with the Green Deal's Ambition - European Commission*, n.d.).

La última pieza que ayuda a dar forma al marco general de la política agrícola es la Estrategia de la Granja a la Mesa (*Farm to Fork Strategy - European Commission*, n.d.). La estrategia tiene como objetivo acelerar la transición hacia un sistema alimentario sostenible que debería tener un impacto ambiental neutro o positivo y ayudar a mitigar el cambio climático y adaptarse a sus impactos, entre otros objetivos. También establece iniciativas tanto regulatorias como no regulatorias, con las políticas agrícolas y pesqueras comunes como herramientas clave para apoyar una transición justa, al tiempo que reconoce que los instrumentos financieros, la investigación y la innovación son clave para brindar apoyo al proceso de implementación y a aliviar las tensiones asociadas con los cambios requeridos, desarrollar soluciones técnicas y superar barreras. El plan de acción de la estrategia menciona una serie de actividades que los agricultores pueden realizar para alcanzar la meta de sostenibilidad. Entre los de interés en CH₄ cabe mencionar los siguientes:

- ✓ Oportunidades para reducir las emisiones de CH₄ de la ganadería, desarrollando la producción de energía renovable e invirtiendo en digestores anaeróbicos para la producción de biogás a partir de desechos y residuos agrícolas, como el estiércol.
- ✓ El potencial para producir biogás a partir de otras fuentes de desechos y residuos, como los de la industria de alimentos y bebidas, aguas residuales, aguas residuales y desechos municipales.
- ✓ El apoyo de la Comisión para facilitar la transición en curso hacia una ganadería más sostenible, mediante la comercialización de aditivos alimentarios sostenibles e innovadores, y el establecimiento de normas para reducir la dependencia de materiales alimentarios críticos (por ejemplo, soya cultivada en tierras deforestadas), mediante el fomento de las proteínas vegetales cultivadas en la UE, así como de materiales alimentarios alternativos como insectos, materias primas marinas (por ejemplo, algas) y subproductos de la bioeconomía (por ejemplo, desechos de pescado).
- ✓ La revisión del programa de promoción de productos agrícolas de la UE, para mejorar su contribución a la producción y el consumo sostenibles y, en consonancia con la evolución de las dietas, la forma





como la UE puede utilizar el programa para apoyar los métodos de producción ganadera más sostenibles y eficientes en carbono.

Por el lado de la mitigación, en octubre de 2020, la UE emitió la Estrategia de la UE sobre Metano que cubre los sectores de energía, agricultura y residuos, que también prevé la emisión del Reglamento de Metano de la UE que solo se aplica al sector energético. (*Methane Emissions - European Commission*, n.d.) La estrategia propone varias políticas y medidas que los países deberían implementar para acelerar la reducción de las emisiones de CH₄ en el mediano plazo. Entre ellos, el apoyo para acelerar el desarrollo del mercado de biogás a partir de fuentes sostenibles (incluido el manejo del estiércol), la promoción de mejores prácticas y tecnologías para la administración del alojamiento de los rebaños, de su alimentación y reproducción y de la explotación del vínculo entre el pastoreo del ganado y el secuestro de carbono en los suelos.

De manera complementaria, el Reglamento de reparto del esfuerzo (ESR) establece objetivos anuales vinculantes de emisiones de GEI para cada Estado miembro de 2021 a 2030 (*Effort Sharing 2021-2030: Targets and Flexibilities - European Commission*, n.d.). Estos objetivos se refieren a las emisiones del transporte nacional (excluida la aviación), la construcción, la agricultura, la pequeña industria y los sectores de residuos (que son los que más contribuyen a las emisiones de la UE). El ESR asigna a cada Estado miembro un objetivo de reducción de emisiones para 2030, un conjunto de asignaciones anuales de emisiones para cada año desde 2021 a 2030 y flexibilidad para hacer frente a las fluctuaciones anuales de las emisiones de GEI debidas a condiciones climáticas o económicas. Sin embargo, su aplicación es responsabilidad de cada Estado miembro.

Algunas normas y regulaciones adicionales entran en juego. Por ejemplo, la Directiva sobre emisiones industriales de 2022 se aplica a todas las granjas de ganado vacuno, porcino y avícola con más de 150 unidades de ganado. En 2024, el Parlamento Europeo aprobó una ley que promulga la regulación de las emisiones de CH₄ del sector energético, como estaba previsto y fue mencionado anteriormente. (*Industrial Emissions Directive - European Commission*, n.d.) Sin embargo, no existe ninguna iniciativa similar para el sector agrícola, más allá del conjunto de acciones propuestas en la Estrategia De la Granja a la Mesa.

En términos de las lecciones que se pueden aprender de la experiencia de la UE o de sus Estados miembros con relevancia para Colombia, destacan las siguientes:

- ✓ La necesidad de una coordinación eficaz de las políticas (tanto entre niveles de gobierno como entre sectores).
- ✓ El establecimiento de objetivos claros y transparentes entre regiones y sectores.
- ✓ El uso de incentivos y regulaciones para apoyar la implementación de medidas de mitigación y para el monitoreo (es decir, usar condicionalidad para el acceso a incentivos, aprovechar el funcionamiento de los mercados que son críticos para la implementación, etc.).
- ✓ Provisión de apoyo multidimensional para financiamiento, investigación, transferencia de tecnología y otros instrumentos que faciliten la transición hacia una agricultura más sostenible.
- ✓ Establecimiento de una agenda CH₄ específica, clara y transparente para el país.





5. Oportunidades de mitigación de emisiones de CH₄ y estrategias priorizadas para su implementación y monitoreo

5.1 Estrategias de mitigación de emisiones de metano

Las oportunidades de mitigación de metano en el sector se centran en dos áreas principales: identificación de las tecnologías clave que se pueden utilizar para reducir las emisiones de CH₄ e identificación de acciones clave a corto y mediano plazo que podrían apoyar eficazmente la implementación.

En cuanto a la primera área, la atención se centró en las tecnologías que pueden proporcionar cobeneficios económicos, ya que la agricultura colombiana se caracteriza por el estancamiento de la productividad (DNP, 2015) y un marcado dualismo (la coexistencia de numerosas explotaciones pequeñas y relativamente pocas explotaciones grandes que utilizan tecnologías "modernas"), lo que puede ser un obstáculo para la implementación. El conjunto de tecnologías que cumplen con esta condición y además son adecuadas a las condiciones agroambientales y socioeconómicas del país son:

- ✓ Sistemas basados en pastos con estrategias adecuadas para el manejo del pastoreo, aumento del nivel de proteína en la dieta e introducción de sistemas silvopastoriles en el caso del sector ganadero bovino (Congio et al., 2021).
- ✓ Implementación de biodigestores anaeróbicos para el manejo de estiércol en el sector porcino, avícola y en algunos eslabones de la cadena de valor bovina (NOVATIO, 2024).
- ✓ Uso de técnicas AWD para riego, manejo de residuos de cosecha y fertilización mejorada en el caso de arrozales (Manrique et al., 2021).

En cuanto al segundo ámbito, los expertos sectoriales identificaron un conjunto de situaciones que deben abordarse para garantizar una adecuada implementación de las tecnologías mencionadas. Estas tienen que ver con el desarrollo de una mayor capacidad técnica para la implementación a escala de medidas de mitigación, ya que aún existen importantes vacíos de información sobre la configuración de las soluciones requeridas para las diferentes zonas del país. Además, es necesario trabajar en cuestiones culturales, ya que la resistencia a abandonar malas prácticas en diferentes sectores es una de las principales limitaciones para reducir las emisiones de CH₄.

Además, aunque las medidas de mitigación pueden ser beneficiosas para todos, se requieren mecanismos de financiación para facilitar las inversiones iniciales y deben ser coherentes con el flujo de rendimiento económico de la inversión. Además, es necesario desarrollar lineamientos de políticas e incentivos para implementar biodigestores en los sectores avícola y porcino, dado que existen requisitos de escala mínima para su operación rentable y que un mercado para el digestato (el subproducto de la digestión anaeróbica) está en gran medida en desarrollo. ausente.

Teniendo en cuenta lo anterior, los expertos sectoriales priorizaron un conjunto de acciones de corto a mediano plazo que deberían facilitar el proceso de implementación (ver Tabla 1). Los expertos también llevaron a cabo una evaluación cualitativa de los factores habilitantes para resaltar aquellas áreas que necesitan más atención para respaldar la implementación de las acciones de mitigación del CH₄. La Tabla 2 presenta los resultados de la evaluación.





Tabla 1. Estrategias priorizadas por los expertos sectoriales para la mitigación del CH₄

Estrategias de mitigación	
I.	Diseño de un sistema integrado de investigación para la estimación de factores de emisión propios que oriente y facilite la implementación de medidas de mitigación con enfoque regional.
II.	Identificación e implementación de instrumentos financieros específicamente orientados a las necesidades de implementación de medidas de mitigación (crédito, períodos de gracia, seguros, mecanismos de gestión de riesgos, esquemas de incentivos, entre otros).
III.	Incluir en el modelo de asistencia técnica y transferencias un componente de apoyo a la implementación de medidas de mitigación, liderado por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.

Fuente: Informe de los grupos técnicos de trabajo (Hill Consulting, 2024)

Table 2. Estado de los factores habilitantes – Estrategias de mitigación

Factores habilitantes	Estrategias priorizadas		
	Sistema integrado de investigación para la estimación de factores de emisión propios	Identificación e implementación de instrumentos financieros	Modelo de asistencia técnica y transferencia con enfoque de implementación
Capacidades técnicas	✓	✓	Δ
Marco regulatorio y legal	Δ	Δ	Δ
Medios de financiación	Δ	✓	Δ
Acceso y escalabilidad	Δ	✓	×
Coordinación entre actores	Δ	Δ	Δ
Aceptación pública	✓	✓	✓

Escala de evaluación de los elementos habilitantes			
Este elemento habilitante ya está implementado	✓	Este elemento habilitante no está implementado	×
Este elemento habilitante se encuentra parcialmente implementado	Δ	Sin información	¿?

Fuente: Informe de los grupos técnicos de trabajo (Hill Consulting, 2024)

5.2 Estrategias de monitoreo de emisiones de metano

En el marco del Informe de Monitoreo y Sistema de Verificación (MRV) del sector agrícola se priorizaron acciones de corto a mediano plazo que deberían facilitar las estrategias de reducción de emisiones de CH₄ y su monitoreo. La Tabla 3 enumera las medidas priorizadas resultantes de las discusiones de los expertos.

Para el esquema de gobernanza es necesario coordinar con diferentes actores e instituciones sectoriales, incluidos gremios, universidades e instituciones de investigación y asociaciones de productores. Algunos de estos actores ya tienen una amplia experiencia en la gestión de datos de actividad para estimaciones de emisiones de CH₄. Se propone a Agrosavia como líder de implementación, ya que se prevé que una conexión estrecha entre los operadores del sistema de investigación integrado propuesto anteriormente (uno de los cuales es Agrosavia) y los del MRV es clave para obtener resultados apropiados (ya que se necesitan datos





detallados sobre niveles de actividad y factores de emisión para un seguimiento adecuado). Además, Agrosavia tiene experiencia previa en el desarrollo y gestión de plataformas de información sectoriales de amplio acceso entre los usuarios (aunque ninguna de ellas dedicada específicamente a la mitigación de CH₄). El conocimiento adquirido a partir del despliegue y administración de dichos sistemas puede mejorar la calidad y el volumen de los datos sectoriales, así como también identificar en qué parte de la cadena de información se deben integrar variables esenciales del cambio climático para alimentar el sistema MRV agrícola y ganadero.

Tabla 3. Estrategias priorizadas por los expertos sectoriales – Componente Monitoreo CH₄

Estrategias de monitoreo	
I.	Definir el esquema de gobernanza para la captura y administración de datos e información de las actividades del sector agropecuario.
II.	Asignar una unidad permanente con dedicación exclusiva a la implementación del MRV (con Agrosavia como posible ejecutor).

Fuente: Informe de los grupos técnicos de trabajo (Hill Consulting, 2024)

Los expertos también llevaron a cabo una evaluación cualitativa de los factores habilitantes para resaltar aquellas áreas que necesitan más atención para fortalecer la información sobre las emisiones de CH₄ y desarrollar el sistema MRV sectorial. La Tabla 4 presenta los resultados de la evaluación.

Tabla 4. Estado de los factores habilitantes – Estrategias de monitoreo de emisiones sector agrícola y ganadero..

Factores habilitantes	Prioritized strategies	
	Esquema de gobernanza para el Sistema MRV sectorial	Asignar una unidad permanente encargada de implementar el MRV
Capacidades técnicas	Δ	Δ
Marco regulatorio y legal	Δ	Δ
Medios de financiación	Δ	Δ
Acceso y escalabilidad	Δ	Δ
Coordinación entre actores	✓	✓
Aceptación pública	Δ	Δ

Escala de evaluación de los elementos habilitantes			
Este elemento habilitante ya está implementado	✓	Este elemento habilitante no está implementado	×
Este elemento habilitante se encuentra parcialmente implementado	Δ	Sin información	¿?

Fuente: Informe de los grupos técnicos de trabajo (Hill Consulting, 2024)





6. Recomendaciones de política

6.1 Recomendaciones de políticas para la mitigación de CH₄

Acciones estratégicas: Las acciones estratégicas se derivan de identificar acciones de mitigación que cumplan tres criterios clave: proporcionar beneficios económicos colaterales, alinearse con las características nacionales y ser consistentes con la composición y tendencias proyectadas de las emisiones de CH₄. En consecuencia, sin excluir otras alternativas, se debe poner énfasis en las estrategias de mitigación identificadas para el sector ganadero por su importante contribución a las emisiones de CH₄. Esto incluye la adopción generalizada de sistemas basados en pastos con un manejo eficaz del pastoreo, la mejora de las proteínas en la dieta y la integración de sistemas silvopastoriles con componentes específicamente destinados a reducir el CH₄. Esta priorización está respaldada por los amplios esfuerzos en curso para promover prácticas ganaderas sostenibles en el país.

Acciones a corto y mediano plazo: Centradas en la aplicación práctica, estas acciones están orientadas a acelerar el proceso de implementación, abordando las necesidades regionales. Por lo tanto, es necesaria una iniciativa inmediata para desarrollar un programa de investigación integrado que estime factores de emisión de CH₄ a nivel regional y garantice que los agricultores reciban el apoyo técnico adecuado. Al mismo tiempo, se deben establecer herramientas financieras e incentivos para ayudar a la implementación.

El programa de investigación debería aprovechar los conocimientos técnicos existentes y apoyarse en el reconocimiento generalizado sobre su necesidad. Sin embargo, los esfuerzos inmediatos deberían centrarse en:

- i) Evaluar las necesidades financieras y garantizar un flujo constante de financiación.
- ii) Mejorar la coordinación entre las partes involucradas.
- iii) Crear un marco institucional de apoyo, ya que el Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sector Agropecuario de Colombia (PECTIA 2017-2027) propone una meta de sostenibilidad ambiental relacionada con el cambio climático, pero carece de una línea de acción específica para el objetivo perseguido.
- iv) Garantizar el acceso a la información y la capacidad de ampliar las actividades de investigación regionales.

El actual Sistema Nacional de Crédito Agrícola (SNCA) ofrece una base sólida para la provisión de instrumentos financieros, con capacidades técnicas, financiamiento sustancial, accesibilidad y escalabilidad en la provisión de crédito, junto con la aceptación pública. Sin embargo, carece de marcos regulatorios y legales, así como de coordinación de las partes interesadas. Los esfuerzos inmediatos en este tema deberían centrarse en:

- i) Mejorar la coordinación entre el SNCA y el sistema de financiamiento climático.
- ii) Revisar y adaptar las condiciones crediticias para alinearlas con los requisitos de las tecnologías de mitigación, incluidos montos de préstamo, términos de desembolso y cronogramas de pago que coincidan con el flujo de efectivo de la inversión.
- iii) Priorizar proyectos que incorporen tecnologías de mitigación de manera efectiva. La legislación actual aborda el financiamiento de actividades relacionadas con el cultivo, mantenimiento y recolección de especies vegetales, así como la producción agrícola sustentable, particularmente aquellas prácticas que facilitan la adaptación al cambio climático y el respeto a los ecosistemas,





como la agroecología y la agricultura regenerativa. Sin embargo, no los prioriza de manera efectiva. (RESOLUCION 8 DE 2023, n.d.).

- iv) Evaluar la viabilidad de introducir mecanismos condicionales para el acceso a préstamos, términos especiales e incentivos financieros para apoyar la adopción de tecnologías de mitigación.

La prestación de asistencia técnica y servicios de extensión para apoyar la implementación de tecnologías de mitigación tiene una fuerte aceptación pública, pero carece de muchas dimensiones del conjunto de facilitadores. La Ley 1876 de 2017 pasó de un esquema de asistencia técnica a un servicio de extensión más holístico con énfasis en el aprendizaje y las capacidades y un proceso de co-innovación. La estrategia nacional para la ganadería sostenible incluye un componente de extensión que carece de alcance y cobertura. Entre las acciones a emprender en el corto plazo se encuentran:

- i) Agilizar el funcionamiento del Sistema Nacional de Innovación Agropecuaria (SNIA) a nivel territorial y el desarrollo de los planes departamentales de extensión agrícola (PDEA).
- ii) Continuidad del proceso debido a que existen recortes temporales en los proyectos en ejecución.
- iii) Mejorar el papel de las unidades de servicios de extensión (EPSEA) en la implementación de tecnologías de mitigación.
- iv) Incrementar la financiación para el servicio de extensión.
- v) Fortalecimiento de redes de conocimiento y coordinación con el componente de investigación del SNIA.

6.2 Recomendaciones de políticas para el monitoreo del CH₄

En cuanto al fortalecimiento de la información relacionada con las emisiones de CH₄ dentro del sector agrícola, las recomendaciones de política apuntan a la definición y aplicación de su sistema de gobernanza para asegurar el debido, rápido y transparente flujo de información sobre los niveles de actividad, así como a la definición y financiamiento de una unidad administrativa específicamente encargada de la implementación del MRV.

La definición y aplicación del sistema de gobernanza para el MRV puede aprovechar las capacidades técnicas ya existentes, así como el marco institucional y conceptual proporcionado por el Sistema Nacional de Información sobre Cambio Climático (SNICC) y el monitoreo, reporte, y sistema de verificación de acciones de mitigación a nivel nacional (Resolución 1447 de 2018 del MADS). Este último establece un conjunto de principios generales para asegurar el funcionamiento adecuado del MRV, pero los detalles específicos sobre cómo llevar a cabo sus funciones se dejan para un mayor desarrollo. Es este vacío el que la propuesta pretende llenar, ya que ya existe un esquema de MRV desarrollado por el MADS que aún no ha sido probado. Si se adopta una perspectiva de reglas (Tedjini et al., 2015), se deben considerar los siguientes aspectos del sistema de gobernanza:

- i) Definido como un conjunto de reglas que permite a los administradores y partes interesadas determinar cómo deciden sobre la gestión del sistema MRV, se debe decidir si operarán de manera jerárquica o heterárquica (la perspectiva de las reglas puede proporcionar un puente entre estas dos formas y una solución a algunas de las dificultades conocidas del enfoque heterárquico que parece ser el más apropiado para el caso que nos ocupa).
- ii) Las dimensiones por considerar en el diseño del sistema de gobernanza incluyen reglas de posición, reglas de límites, reglas de autoridad, reglas de información y conocimiento, reglas de coordinación, reglas de decisión, reglas de agregación, reglas de alcance y reglas de pago.





En cuanto a la definición y financiamiento de una unidad administrativa encargada específicamente de la implementación del MRV, nuevamente, el SNICC y la Resolución 1447 proporcionan un marco institucional y conceptual que sirve como punto de partida. Dada la importancia de contar con factores de emisión propios determinados regionalmente para la operación del MRV y la complejidad de su operación, se consideró conveniente contar con una unidad administrativa encargada exclusivamente de la implementación del MRV sectorial, que también pueda estar en estrecho contacto con los administradores del programa nacional de investigación propuesto anteriormente. Teniendo esto en cuenta, las tareas inmediatas en este sentido son:

- i) Considerar y analizar la conveniencia de constituir la unidad administrativa y definir la entidad más adecuada.
- ii) Estimar el costo de implementar el MRV y su operación y asegurar su financiamiento adecuado.

Tanto las medidas de mitigación como las de monitoreo complementan las disposiciones de la Ley de Acción Climática y marcan el camino a corto plazo para implementar estrategias de reducción de emisiones de CH₄ en el sector agrícola y ganadero. Esta acción fundamental del sector contribuirá con los lineamientos para la actualización de la NDC colombiana como su enfoque en cerrar la brecha entre las metas de mitigación esperadas descritas en la NDC actual y su meta general de reducción de emisiones del 51%. Cerrar esta brecha probablemente requerirá un aumento de la ambición por parte del sector agrícola y aumentar el esfuerzo en medidas relacionadas con el CH₄ puede ser la estrategia correcta por seguir, permitiendo un avance simultáneo en el cumplimiento de los compromisos asociados con el CGM.

7. Mensajes clave

- ✚ El CH₄ es el principal GEI del sector agrícola. Las emisiones de CH₄ representan el 80,5% de las emisiones sectoriales en Colombia (medidas en CO₂ equivalente), y el 92,5% provienen de la fermentación entérica. Los esfuerzos sectoriales deben centrarse en la gestión del CH₄ para contribuir de manera equitativa a la meta de una economía descarbonizada de todo el país en 2050.
- ✚ Los expertos sectoriales priorizaron la implementación masiva de sistemas ganaderos sostenibles basados en pasturas mejoradas, sistemas silvopastoriles y modificaciones adecuadas de la dieta animal como una acción estratégica de mitigación para reducir las emisiones de CH₄. En el corto plazo, es necesario desarrollar una red de investigación para la estimación de factores de emisión a nivel regional, establecer instrumentos financieros e incentivos para apoyar la implementación de sistemas ganaderos sostenibles y fortalecer el servicio de asistencia técnica orientado a la implementación efectiva de medidas de mitigación.
- ✚ El monitoreo de las emisiones sectoriales de CH₄ también es crucial. Los expertos sectoriales recomiendan acciones que se centren en el diseño e implementación del sistema MRV sectorial y su gobernanza. Esto implica la redefinición y financiamiento de una unidad administrativa específicamente encargada de la implementación y operación del MRV.
- ✚ Los actores del sector están dispuestos a trabajar en la reducción de emisiones de CH₄. Sin embargo, la colaboración intersectorial requiere una percepción positiva del entorno facilitador en el que las acciones propuestas y otras complementarias contribuyen a dar forma. Es fundamental que este entorno genere confianza, sea estable y tenga la permanencia necesaria.





Referencias

- Arango, J., Ruden, A., Martinez-Baron, D., Loboguerrero, A. M., Berndt, A., Chacón, M., Torres, C. F., Oyhantcabal, W., Gomez, C. A., Ricci, P., Ku-Vera, J., Burkart, S., Moorby, J. M., & Chirinda, N. (2020). Ambition Meets Reality: Achieving GHG Emission Reduction Targets in the Livestock Sector of Latin America. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00065>
- Climate and Clean Air Coalition. (2024). *Colombia – Desarrollar una estrategia para el sector agrícola para informar la actualización de las NDC*. <https://www.ccacoalition.org/projects/colombia-develop-agriculture-sector-strategy-inform-ndc-update>
- Climate Change, A. and F. S. (2024). *Enteric Fermentation*. <https://agledx.ccafs.cgiar.org/emissions-led-options/sources-sinks/enteric-fermentation/>
- Congio, G. F. de S., Bannink, A., Mayorga Mogollón, O. L., Jaurena, G., Gonda, H., Gere, J. I., Cerón-Cucchi, M. E., Ortiz-Chura, A., Tieri, M. P., Hernández, O., Ricci, P., Juliarena, M. P., Lombardi, B., Abdalla, A. L., Abdalla-Filho, A. L., Berndt, A., Oliveira, P. P. A., Henrique, F. L., Monteiro, A. L. G., ... Hristov, A. N. (2021). Enteric methane mitigation strategies for ruminant livestock systems in the Latin America and Caribbean region: A meta-analysis. *Journal of Cleaner Production*, 312, 127693. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127693>
- DNP. (2015). *El campo colombiano: un camino hacia el bienestar y la paz*. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Agriculturapequarioforestal%20y%20pesca/El%20CAMPO%20COLOMBIANO%20UN%20CAMINIO%20HACIA%20EL%20BIENESTAR%20Y%20LA%20PAZ%20MTC.pdf>
- European Commission. (n.d.). *The European Green Deal*. Retrieved July 24, 2024, from https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en
- European Commission. (2010). *Directiva 2010/75/UE Del Parlamento Europeo y del Consejo*.
- European Commission. (2020a). *EU strategy to reduce methane emissions*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52020DC0663>
- European Commission. (2020b). *The CAP reform's compatibility with the Green Deal's ambition*. https://agriculture.ec.europa.eu/news/cap-reforms-compatibility-green-deals-ambition-2020-05-20_en
- European Commission. (2021). *Reglamento (UE) 2021/1119 del Parlamento Europeo y del Consejo*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32021R1119>
- European Commission. (2024a). *Effort sharing 2021-2030: targets and flexibilities*. https://climate.ec.europa.eu/eu-action/effort-sharing-member-states-emission-targets/effort-sharing-2021-2030-targets-and-flexibilities_en#member-states-targets
- European Commission. (2024b). *Farm to Fork strategy*. https://food.ec.europa.eu/horizontal-topics/farm-fork-strategy_en#F2F-appetite-for-change
- European Commission. (2024c). *Methane emissions*. https://energy.ec.europa.eu/topics/carbon-management-and-fossil-fuels/methane-emissions_en#documents
- Federeación Nacional de Arroceros. (2024). *AMTEC*. <https://fedearroz.com.co/es/fondo-nacional-del-arroz/que-es-fna/>
- Gobierno de Colombia. (2020). *NDC de Colombia*. https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/05/NDC_Libro_final_digital-1.pdf
- Gerber, P. J., Hristov, A. N., Henderson, B., Makkar, H., Oh, J., Lee, C., Meinen, R., Montes, F., Ott, T., Firkins, J., Rotz, A., Dell, C., Adesogan, A. T., Yang, W. Z., Tricarico, J. M., Kebreab, E., Waghorn, G., Dijkstra, J., & Oosting, S. (2013). Technical options for the mitigation of direct methane and nitrous oxide emissions from livestock: a review. *Animal*, 7, 220–234. <https://doi.org/10.1017/S1751731113000876>





- Heros, E., Garcés, G., Amézquita, N., Donoso, G., & Becerra, V. (2022). *Más arroz con menos emisiones y menor consumo de agua Producto 1. Medición de impacto de la Tecnología AWD a nivel experimental*. https://www.fontagro.org/new/uploads/productos/16681_-_Producto_1.pdf
- IDEAM, Fundación Natura, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA, & FMAM. (2021). *Tercer Informe Bienal de Actualización de Colombia a la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC)*. <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/BUR3%20-%20COLOMBIA.pdf>
- Ku-Vera, J. C., Castelán-Ortega, O. A., Galindo-Maldonado, F. A., Arango, J., Chirinda, N., Jiménez-Ocampo, R., Valencia-Salazar, S. S., Flores-Santiago, E. J., Montoya-Flores, M. D., Molina-Botero, I. C., Piñeiro-Vázquez, A. T., Arceo-Castillo, J. I., Aguilar-Pérez, C. F., Ramírez-Avilés, L., & Solorio-Sánchez, F. J. (2020). Review: Strategies for enteric methane mitigation in cattle fed tropical forages. *Animal*, 14, s453–s463. <https://doi.org/10.1017/S1751731120001780>
- MacLeod, M., Gerber, P., Mottet, A., Tempio, G., Falcucci, A., Opio, C., Vellinga, T., Henderson, B., & Steinfeld, H. (2013). *Greenhouse gas emissions from pig and chicken supply chains – A global life cycle assessment*. <https://www.fao.org/4/i3460e/i3460e.pdf>
- Manrique, D., Torres, C., Gómez, L., Moreno, H., & Sánchez, A. (2021). *Intensidad de emisiones por unidad de producto para la producción de arroz en Colombia*. <https://biocarbono.org/wp-content/uploads/2021/09/04-intensidad-emisiones-unidad-producto-arroz-colombia.pdf>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2021). *Plan integral de gestión del cambio climático del sector agropecuario*. <https://faolex.fao.org/docs/pdf/col214685.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2020). *Estrategia nacional para la mitigación de contaminantes climáticos de vida corta*. <https://www.ccacoalition.org/sites/default/files/resources//ESTRATEGIA%20MITIGACI%C3%93N%20CONTAMINANTES%20VIDA%20CORTA.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2024). *Marco regulatorio de Colombia para reducir emisiones de metano*.
- Neue, H.-U. (1993). Methane Emission from Rice Fields. *BioScience*, 43(7), 466–474. <https://doi.org/10.2307/1311906>
- Novatio. (2024). *Biodigesters: Successful technology implemented at different scales in Colombia*.
- Tedjini, A., Morley, C., & Soulier, E. (2015). Information Systems Governance as a System of Rules: Hierarchical and Heterarchical Implementation. *MCIS 2015 Proceedings*. 24. <https://aisel.aisnet.org/mcis2015/24/>
- Thompson, L. R., & Rowntree, J. E. (2020). Invited Review: Methane sources, quantification, and mitigation in grazing beef systems. *Applied Animal Science*, 36(4), 556–573. <https://doi.org/10.15232/aas.2019-01951>
- Thornton, P. K., & Herrero, M. (2010). Potential for reduced methane and carbon dioxide emissions from livestock and pasture management in the tropics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(46), 19667–19672. <https://doi.org/10.1073/pnas.0912890107>
- VITO, & Universidad de Los Andes. (2020). *Informe sobre el desarrollo y supuestos del escenario de mitigación*. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/cambio-climatico-Informe-sobre-el-desarrollo-supuestos-del-escenario-de-mitigacion-ndc.pdf>
- World Bank Group. (2020). *Colombia - Mainstreaming Sustainable Cattle Ranching Project*. <http://documents.worldbank.org/curated/en/806161468242641942/Colombia-Mainstreaming-Sustainable-Cattle-Ranching-Project>

