

Climate & Clean Air Coalition

Methane Roadmap Action Programme
(M-RAP)

Oportunidades para la Ganadería Sostenible en
Argentina
Policy Brief



**CLIMATE &
CLEAN AIR
COALITION**
TO REDUCE SHORT LIVED
CLIMATE POLLUTANTS

UNEP convened initiative

CREDITOS Y AGRADECIMIENTOS

AUTORES

Pablo Cañada
Daniel Perczyk
Micaela Carlino

EDITOR

Hernan Carlino

Equipo del proyecto

Stockholm Environment Institute (SEI):
Chris Malley
Jenniffer I. Pedraza

Fundación Torcuato Di Tella:

Hernan Carlino
Micaela Carlino
Luciano Caratori
Pablo Cañada
Atilio Savino

AGRADECIMIENTOS:

Climate and Clean Air Coalition (CCAC)
Subsecretaría de Ambiente de la Nación

El presente documento técnico es resultado del apoyo en la planificación de Contaminantes Climáticos de Vida Corta a la Subsecretaría de Ambiente de Argentina por parte de la CCAC. Todas las actividades descritas están destinadas a contribuir a la implementación exitosa del proyecto *Actualizar y mejorar la evaluación de mitigación de SLCP y desarrollo de la hoja de ruta de metano*, financiado por la CCAC e implementado por el Stockholm Environment Institute (SEI) y la Fundación Torcuato Di Tella.

Cita: Cañada, P.; Perczyk, D. y Carlino, M. (2025). Oportunidades para la Ganadería Sostenible en Argentina.

Disclaimer

Los contenidos de este trabajo fueron elaborados para proporcionar información de utilidad sobre los temas bajo análisis, con fines informativos, técnicos y educativos. Dado que la investigación científica está en constante avance, al momento de la lectura pueden surgir nuevas evidencias e información que permita avanzar hacia el enriquecimiento positivo de la interacción entre la ganadería y el ambiente.

Nota

Esta nota de política “Oportunidades para la Ganadería Sostenible en Argentina” forma parte de las investigaciones desarrolladas por la Fundación Torcuato Di Tella (FTDT) para desentrañar los complejos procesos de transformación asociados con los esfuerzos por corregir la triple crisis ambiental: climática, de la biodiversidad, y de contaminación global y local. Para ello es posible avanzar mediante la adopción de políticas y medidas y la introducción de nuevas tecnologías y prácticas, a la vez que procurar el desarrollo de nuevos modelos de negocios y la movilización de inversiones sostenibles, lo que debiera permitir aumentar la competitividad sistémica en algunas de las cadenas de valor claves de la economía argentina y acceder en condiciones más ventajosas a los mercados mundiales. En este documento se estudia en particular a la Ganadería bovina de carne, siendo una de las principales actividades del sector agropecuario en la producción de Gases de Efecto Invernadero en Argentina.

Estos análisis hacen necesario contemplar las múltiples y aceleradas mutaciones en la economía mundial, la intensificación de la competencia en los mercados de bienes, insumos y materiales, así como aquellos procesos que se desenvuelven en el más largo plazo y están asociados tanto a los cambios en los patrones de consumo, el aumento de los ingresos de las familias, y los cambios dietarios, a escala global, como a la evolución de los patrones de producción, vinculados a la aparición acelerada de nuevas tecnologías, la utilización de la inteligencia artificial y el desarrollo de la industria 4.0, y, asimismo, a las crecientes restricciones de política y regulatorias en ciertas regiones del planeta que están vinculadas a las asimetrías regulatorias en materia ambiental.

Asimismo, debe mencionarse que las tendencias corrientes en la ingesta de alimentos, combinadas con el crecimiento proyectado de la población mundial hasta alcanzar cerca de 10 mil millones de habitantes en el 2050, podría exacerbar los riesgos para la población y para el planeta. Se estima que la carga global de enfermedad de las enfermedades no contagiosas (enfermedades coronarias, diabetes, obesidad) podría agravarse y los efectos de la producción de alimentos sobre las emisiones de gases de efecto invernadero, la contaminación con nitrógeno y fósforo, la pérdida de biodiversidad y la demanda de agua y de tierras productivas podría afectar la estabilidad ambiental del planeta.

Esta nota de política que la Fundación ha desarrollado, y presenta en este documento, hace parte y se integra a los resultados que surgen de un proyecto financiado por la Coalición para el Aire Limpio y el Clima (CCAC) que se desarrolla en la Argentina.

Ese proyecto, que la FTDT lleva adelante conjuntamente con el Instituto de Medio Ambiente de Estocolmo (SEI), se denomina “Argentina: actualización y mejora de la evaluación de mitigación del SLCP y presentación de una hoja de ruta para el metano” y, entre otros asuntos principales, tiene como propósito evaluar la magnitud de las emisiones de contaminantes climáticos de vida corta (CCVC) que provienen de los principales sectores de origen e identificar y evaluar las opciones de mitigación de emisiones de esas diversas fuentes.

El metano se emite principalmente en tres sectores económicos de considerable peso e importancia en la estructura económica de buena parte de los países¹: i) la extracción y utilización de combustibles fósiles; ii) el sector agrícola y ganadero, y, iii) el sector de residuos.

Esta nota de política está dedicada a considerar cuestiones críticas relativas a las emisiones de gases de efecto invernadero de la actividad ganadera bovina de carne, las métricas apropiadas para su medición y control, así como a reflexionar tanto

¹ Si bien en diferentes proporciones según el grado de desarrollo de la economía, la intensidad de capital de la estructura económica nacional y la dotación de factores.

sobre las estrategias y prácticas que puedan adoptar los productores ganaderos para aumentar la producción, mejorar la eficiencia, reforzar la competitividad, enfrentar posibles barreras de entrada a los mercados de destino, y reducir las emisiones de contaminantes locales y globales.

Debe notarse que aproximadamente un tercio de las emisiones globales de gases de efecto invernadero provienen del sistema alimentario. Una estimación reciente de la contribución de los sistemas alimentarios globales a las emisiones antropogénicas totales de GEI calculaba que esas emisiones representaron un 34% (con un rango de entre 25% al 42%) en el año 2015 (Crippa et al., 2021).

El IPCC en su Sexto Informe de Evaluación indica que alrededor de un 5% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) globales corresponden a la fermentación entérica del sector ganadero. A escala global la ganadería es una fuente de proteínas de alta calidad (carne y leche) para la alimentación de una población mundial creciente. En el caso de Argentina, esas proteínas son producidas a relativamente bajo costo.

La producción de ganado puede traer como resultado emisiones de metano (CH₄) resultante de la fermentación entérica y emisiones de CH₄ y de óxido nitroso (N₂O) de los sistemas de gestión del estiércol del ganado. En este contexto de emisiones de GEI, la ganadería produce metano, que tiene un Potencial de Calentamiento Global (GWP, por sus siglas en inglés) mayor al del CO₂. Hace ya un tiempo que se presentan evidencias desde el sector científico sobre los diferentes mecanismos de acción del metano generado a partir de la fermentación entérica.

En esta nota de política, en particular, se identifican las estrategias que tiene el productor de ganadería bovina para carne para reducir los GEI generados por la actividad productiva que desempeña. También se enuncian sucintamente las políticas ganaderas que resultaría conveniente aplicar en dirección de los objetivos propuestos en términos de eficiencia económica, disminución de costos, aumento de la competitividad internacional de la producción ganadera bovina de carne, atenuación de impactos ambientales y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Asimismo, se hacen consideraciones sobre el secuestro de Carbono Orgánico del Suelo que pudiera estar asociado con la actividad productiva examinada y aportar elementos de juicio para la revisión de las metodologías destinadas a medir las emisiones de la actividad. Es sabido que las opciones de mitigación en metano asociadas a la mejora de la eficiencia productiva también tienen impacto en otros gases, como CO₂ y N₂O.

Los resultados del análisis proveen orientaciones en diferentes líneas de trabajo, entre otras las siguientes: a) para la investigación ulterior de las complejas cuestiones asociadas con la producción, la medición de los resultados y los inventarios de emisiones; b) explorar con mayor detalle las estrategias productivas que puedan introducirse en la ganadería argentina bajo diferentes escenarios y ponderar su viabilidad; y, c) examinar la estructura de incentivos más adecuada para estimular las acciones de mitigación y resiliencia frente a los impactos ambientales, con énfasis en la sostenibilidad de la producción.

Estos resultados y, en particular, la identificación de estrategias productivas para el productor ganadero de carne bovina, contribuyen a proveer insumos para fortalecer la ulterior implementación de la hoja de ruta de metano para el sector en el horizonte de corto, mediano y largo plazo.

La Coalición para el Aire Limpio y el Clima

La Coalición para el Aire Limpio y el Clima (CCAC) es un marco internacional voluntario para la adopción de medidas concretas y sustantivas destinadas a acelerar los esfuerzos que se propongan reducir los contaminantes climáticos de vida corta. Las tareas que desarrolla la Coalición están orientadas y lideradas por sus socios estatales, incluyendo organizaciones de integración estatales y regionales. Estas impulsan la toma de decisiones del CCAC y desempeñan un

papel crucial a la hora de garantizar la adopción e implementación de políticas, regulaciones y prácticas para reducir los contaminantes climáticos de vida corta.

Ya en 2011, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Organización Meteorológica Mundial (OMM) observaron que las soluciones disponibles para combatir los compuestos conocidos como contaminantes climáticos de vida corta (CCVC) reducirían el ritmo del calentamiento global mucho más rápido que otras medidas destinadas primariamente a reducir las emisiones de dióxido de carbono. Estas soluciones también aportarían a disminuir la contaminación del aire, lo que representaría resultados beneficiosos para todos en términos de clima, calidad del aire y bienestar humano en un plazo relativamente corto.

La Coalición Clima y Aire Limpio –cuya Secretaría y Fondo Fiduciario están auspiciados por el PNUMA– se concentra en apoyar la acción rápida y generar beneficios en las áreas de clima, salud pública, eficiencia energética y seguridad alimentaria.

En 2021, durante la COP 26, en Glasgow, Escocia, algunos socios del CCAC, entre ellos los Estados Unidos y la Unión Europea, anunciaron el Compromiso Mundial sobre el Metano. Los países signatarios de esa alianza se comprometen a apoyar las iniciativas internacionales existentes de reducción de emisiones de metano, como las de la Coalición por el Clima y el Aire Limpio, la Iniciativa Mundial sobre el Metano, así como la labor pertinente del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, incluido el trabajo del Observatorio Internacional de Emisiones de Metano. A la vez proponen impulsar la labor técnica y normativa que haga posible respaldar las acciones nacionales de los participantes.

El Compromiso Mundial sobre el Metano (GMP, por sus siglas en inglés), ha sido firmado por 150 países y la Unión Europea, y se propone reducir las emisiones antropogénicas globales de metano en al menos un 30% para el 2030, por comparación con los niveles del 2020. No obstante, este Compromiso, en línea con la arquitectura del Acuerdo de París, no especifica la contribución de los países signatarios o de los sectores que son fuentes de emisión (producción de combustibles fósiles, sector agrario y residuos) que deben hacerse para alcanzar esa meta global, si bien indica que las metas de reducción deben ser logradas a través de todos los sectores. Los 150 países participantes y la UE del GMP generan aproximadamente el 55% de las emisiones globales de metano (Crippa et al 2021).² Sin embargo, este Compromiso ha sido encuadrado explícitamente como una meta de carácter global por lo que no limita su aplicación sólo a los países participantes del GMP.

En cuanto a la gobernanza de la Coalición Clima y Aire Limpio, la Junta Directiva de la CCAC supervisa periódicamente las actividades e iniciativas que lleva a cabo la Coalición en todas las regiones. La Argentina, por su parte, es miembro de la Junta Directiva del CCAC.³

Notas sobre el proyecto

El proyecto del que esta publicación hace parte está orientado, de modo general, a describir el estado actual de las emisiones antropogénicas de metano en la República Argentina, así como a delinear las medidas que el país pudiera adoptar, con el apoyo de los medios de implementación necesarios, para reducir estas emisiones, lo que permitiría eventualmente contribuir al Compromiso Global de Metano, haciéndolo en el marco de las orientaciones de política nacional y bajo las premisas que esas orientaciones implican.

² Crippa M et al (2021). GHG emissions of all world countries—2021 Report EUR 30831 EN (Luxembourg: Publications Office of the European Union)

³ Acceso en: <https://www.ccacoalition.org/content/board>

La Hoja de Ruta del Metano de la Argentina adopta la metodología y la estructura propuesta que ha sido desarrollada por la Coalición Clima y Aire Limpio dentro de su Programa de Acción de la Hoja de Ruta del Metano (M-RAP).⁴

Como parte de las actividades del proyecto se presentan las emisiones totales de metano a nivel nacional correspondientes a los años 2015 y 2020. En primer lugar, se muestran y analizan las estimaciones de metano del Informe Nacional de Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero, que se incluye en el Quinto Informe Bienal de Actualización.

Esos datos representan las emisiones más recientes que el gobierno ha reportado a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC).

Asimismo, se lleva a cabo un análisis de la contribución de los distintos sectores emisores al total nacional de emisiones de metano, desglosado por sectores y subsectores, de acuerdo con la categorización de fuentes de emisión reconocida internacionalmente por el IPCC.

Comprender cómo contribuye el metano de las diferentes fuentes de emisión de manera detallada es crucial para identificar luego aquellos sectores que tienen el mayor potencial de lograr reducciones significativas en sus emisiones.

El análisis de la potencial reducción de emisiones de metano comprende en el marco del proyecto las siguientes actividades: a) elaborar un inventario de emisiones de nivel 2 (Tier 2) para las principales fuentes de emisión de metano, que se realiza con un enfoque bottom-up; b) elaborar proyecciones para el escenario de referencia (sin medidas) al 2030 y 2050; y, c) evaluar las medidas de mitigación en sectores clave para valorar el potencial de reducción de las emisiones de metano al 2030 y 2050

Consecuentemente, se presentan los resultados de la proyección de las estimaciones de emisiones de metano utilizando metodologías de Nivel 2. Esta metodología más detallada no sólo mejora la precisión de las estimaciones históricas de emisiones de metano, sino que también se entiende que es más adecuada para evaluar las opciones de mitigación propuestas en el contexto del proyecto.

Para cuantificar las emisiones de cada uno de los subsectores incluidos en los sectores de agricultura y ganadería y de residuos y aguas residuales, se han utilizado en el proyecto las metodologías de la guía de inventarios nacionales de emisiones de gases de efecto invernadero del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) (IPCC, 2006, 2019).

La vinculación de cada uno de los métodos del IPCC para cada subsector es un conjunto de cálculos que desarrollan una comprensión coherente de la demanda de diferentes productos alimenticios (ganado y productos lácteos), la generación de residuos y otros insumos en cada uno de los módulos de agricultura y residuos.

El modelo, elaborado por el equipo del Instituto de Medio Ambiente de Estocolmo (SEI) y cuya aplicación estuvo a cargo de los expertos Chris Malley y Jennifer Pedraza, se utilizó para reproducir emisiones históricas desde 2010 al 2021, basándose en estadísticas internacionales de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), IPCC (Tubiello et al., 2013). Cuando ha sido posible, también se han integrado en el análisis las estadísticas nacionales.

Las proyecciones, luego, se han realizado desde 2022 hasta 2050, con el 2030 como año intermedio. El modelo desarrollado permite principalmente cuantificar las emisiones de metano, así como también de otros gases de efecto

⁴ Acceso en: <https://www.ccacoalition.org/projects/methane-roadmap-action-programme-m-rap>

invernadero (CO₂, N₂O, CH₄) y de los contaminantes atmosféricos (PM_{2,5}, PM₁₀, BC, OC, NH₃, NO_x, SO₂, CO) emitidos por residuos y procesos agrícolas.

En la sección donde se presentan los resultados del proyecto se hace énfasis en las emisiones de metano, pero también de otros contaminantes asociados, dado que ciertas medidas de mitigación propuestas para reducir las emisiones de metano pueden contribuir también a reducir otros contaminantes como un co-beneficio adicional asociado al sector.

En el caso del sector de petróleo y gas, para estimar y proyectar las emisiones de metano del sector en la Argentina, se utilizó el Modelo Country Methane Abatement Tool (CoMAT), cuyas estimaciones se basan en estimaciones de la cantidad de equipos, cantidad de gas producido y otros datos específicos, elaborado y aplicado por la Clean Air Task Force (CATF).

Esa organización fue creada en 1996, con sede en los Estados Unidos, que en 2019 lanzó la Herramienta Nacional de Reducción de Metano (CoMAT), y que, actualmente, entre otras actividades, trabaja en la prevención de la contaminación por metano.

Para la modelación mediante la corrida del CoMAT se han utilizado los datos de actividad de Argentina al 2022 de las estadísticas oficiales disponibles (producción, número de pozos, tuberías de transmisión, consumo, etc.) y también se ha considerado la información proveída por los actores interesados del propio sector de petróleo y gas.

Para asegurar la imprescindible congruencia con la orientación de las políticas nacionales de las opciones consideradas y priorizadas, en el desenvolvimiento de las actividades de proyecto las medidas de reducción de emisiones que se modelan en el sector agropecuario, residuos y petróleo y gas, se ajustan a las siguientes premisas:

- Las medidas de reducción de emisiones de metano seleccionadas para correr el modelo no incluyen restricciones al aumento de la producción en los sectores productivos considerados
- El propósito está asociado esencialmente a la mejora de la eficiencia, de la productividad física y al ahorro de costos, y deben resultar en la reducción de emisiones por unidad de producto. Son, típicamente, medidas costo-efectivas
- Se anticipa que las reducciones de emisiones pueden generar flujos de caja adicionales a los productores y a las empresas por la vía del comercio de derechos de emisión (en el Art. 6 del AP).
- Adicionalmente, esta oportunidad se complementa con la posibilidad de obtención de mejores precios en los mercados de destino, por productos considerados premium por los propios consumidores, por ser bienes con baja intensidad de emisiones.
- Asimismo, la reducción de emisiones, por ejemplo, en la actividad ganadera (aunque no exclusivamente), tiende a evitar la aplicación de impuestos al carbono en la frontera (CBAM) y, por ende, a facilitar el acceso a mercados.

Prólogo

El metano es el segundo gas de efecto invernadero en importancia debido a su contribución al calentamiento global impulsado por las actividades humanas, solo por detrás del dióxido de carbono (CO₂).

El metano tiene un tiempo de vida en la atmósfera de entre 9 a 12 años (IPCC, 2021)⁵ y es más de 80 veces más potente que el dióxido de carbono en capturar calor, si se considera un período de 20 años. Esto significa que los cambios en la concentración atmosférica de metano (CH₄) pueden tener un efecto significativo sobre la ocurrencia temporal y la magnitud de los máximos de temperatura que puedan generarse para mediados de este siglo.

El metano (CH₄) contribuye al aumento de la concentración global de ozono troposférico (O₃) a nivel de la superficie del planeta, un contaminante atmosférico asociado a la mortalidad prematura a partir del impacto negativo por diversas vías sobre la salud e incluso sobre los rendimientos de los cultivos.

Así se ha demostrado el vínculo del metano con la contaminación atmosférica como precursor del ozono troposférico⁶ y por sus efectos negativos en la salud, por lo que es importante mencionar que adicionalmente al beneficio primario de reducción del incremento de temperatura global, la mitigación sustancial de las emisiones de metano trae consigo otros beneficios asociados a evitar enfermedades respiratorias y cardiovasculares, impulsar el aumento en el rendimiento de cultivos como trigo, maíz, soja y arroz; y la reducción de pérdidas de horas de trabajo por exposición a altas temperaturas ambientales entre otros (CCAC & UNEP, 2021).

La importancia del metano ha sido en ocasiones subestimada y algo relegada debido a la necesidad urgente y al énfasis puesto primariamente en reducir las considerables emisiones de dióxido de carbono cuando se las agrega a escala global.

Debido a su corta permanencia en la atmósfera el metano también ha sido incluido dentro del grupo de contaminantes climáticos de vida corta (CCVC), junto con el carbono negro, el óxido nitroso y los compuestos hidrofluorocarbonados (Feng et al., 2022).

Las emisiones antropogénicas de metano directas, de acuerdo con estimaciones de arriba hacia abajo (top down) para 2020,⁷ dan cuenta de más del 60% de las emisiones totales de metano (CCAC, 2024). Si se consideran además las emisiones indirectas (embalses), esa participación supera los dos tercios del total. Las emisiones naturales (no antropogénicas) resultan de los humedales, los manglares y de las aguas dulces.⁸

Los incrementos de las emisiones globales de metano antropogénico desde el período pre-industrial han contribuido con 0.5°C al calentamiento global (IPCC 2021),⁹ y actualmente venían creciendo en aproximadamente un 1% por año entre 2010 y 2018. Aproximadamente 384 millones de toneladas de metano fueron emitidas en 2020 (Crippa et al, 2021).¹⁰

El metano es emitido en procesos que son diferentes a los que generan el dióxido de carbono. Mientras que el dióxido de carbono proviene principalmente de la quema de combustibles fósiles y de ciertos procesos industriales (como la producción de cemento o acero), el metano se emite principalmente en tres sectores:

⁵ IPCC. (2021). Climate change 2021—The physical science basis: Working Group I contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (1st ed.). Cambridge University Press

⁶ CATF (2024). The Case for Action on Tropospheric Ozone. <https://www.catf.us/resource/the-case-for-action-on-tropospheric-ozone/>

⁷ Último año en el que está disponible el presupuesto global de metano.

⁸ Jackson R. B. et al. (2024). Human activities now fuel two-thirds of global methane emissions. Environ. Res. Lett. 19 (2024) 101002.

⁹ IPCC 2021 Summary for policymakers (AR6) Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change

¹⁰ Crippa M et al (2021). GHG emissions of all world countries—2021 Report EUR 30831 EN (Luxembourg: Publications Office of the European Union)

- i) La extracción de combustibles fósiles genera emisiones de metano a través de fugas, quemas y venteos durante la extracción, transmisión y distribución de petróleo y gas, así como en la minería del carbón;
- ii) En el sector agrícola, el ganado rumiante (vacas, ovejas y cabras) emite metano debido a la fermentación entérica, que ocurre cuando se descompone la materia orgánica en el rumen de los animales, además de la descomposición del estiércol, cuya gestión influye en las emisiones de metano. El cultivo de arroz también es una fuente significativa a escala global, ya que la producción en superficies inundadas favorece la producción de metano.
- iii) El sector de residuos libera metano por la descomposición de los residuos sólidos orgánicos y de la materia orgánica presente en las aguas residuales, principalmente de origen doméstico.

La Evaluación Mundial del Metano¹¹ muestra que las emisiones de metano de origen humano pueden reducirse hasta un 45% esta década. Tales reducciones evitarían casi 0,3 °C de calentamiento global de aquí a 2045 y serían coherentes con el objetivo del Acuerdo de París sobre el Clima de limitar el aumento de la temperatura global a 1,5°C.

En efecto, según un reporte de McKinsey Sustainability¹² introducir medidas de abatimiento en cinco industrias: agricultura, petróleo y gas, minería del carbón, manejo de los residuos sólidos y gestión de las aguas residuales, que representan el 98% de las emisiones humanas, podría provocar un impacto significativo sobre las emisiones. En esos sectores e industrias, la reducción de emisiones potencial a escala global podría alcanzar al 20% en 2030 y al 46% en 2050, lo que podría lograrse con tecnologías probadas, y a un costo razonable, pues según el estudio de McKinsey, las reducciones podrían lograrse a un costo inferior a USD 25 por tonelada métrica de dióxido de carbono equivalente (tCO₂e).¹³ Para algunas fuentes de emisiones sectoriales de metano, las reducciones pueden definirse como win-win (Stavins, R., 2024), en particular pero no exclusivamente en el sector de petróleo y gas, pues combinan la protección de bienes públicos globales con los intereses de la industria a la que le permite incrementar el flujo de bienes transables internacionalmente.¹⁴

Por esta razón es conveniente explorar las oportunidades de reducción de emisiones en las fuentes en la Argentina, avanzar en la estimación de los costos marginales de abatimiento en los distintos sectores, y elucidar los beneficios económicos y financieros de los aumentos de eficiencia en la producción ganadera, que también se reflejan como mejoras de eficiencia ambiental y permiten disminuir los impactos ambientales de la producción, mejorar la sostenibilidad de las actividades productivas y, asimismo, reducir emisiones de gases de efecto invernadero.

En 2023, la República Argentina presentó el Quinto Informe Bienal de Actualización ante la CMNUCC¹⁵, en el que se estimaron las emisiones netas totales del año 2020 y en el que también se incluye la serie temporal del período 1990-2020 (MAyDs, 2023).

De acuerdo con los resultados de este informe en 2020 el metano aporta 94,6 millones de toneladas de dióxido de carbono equivalente (Mt-CO₂e), lo que representa el 25% del total de las emisiones generadas en el país, las cuales totalizaban 376,4 MtCO₂e .

¹¹ CATF (2021). Global Methane Assessment. <https://www.ccacoalition.org/resources/global-methane-assessment-full-report>

¹² DeFabrizio et al. (2021). Curbing methane emissions: How five industries can counter a major climate threat. McKinsey Sustainability.

¹³ Utilizando el GWP en un marco temporal de 20 años, para convertir el metano en dióxido de carbono equivalente.

¹⁴ Stavins, R. (2024). How Reducing Methane Emissions Will Slow Climate Change.

¹⁵ El Quinto Informe Bienal de Actualización IBA-5 sigue las directrices del IPCC 2006, I se utilizaron los potenciales de calentamiento global (PCG) del Segundo Informe de Evaluación del IPCC de 1995 (SAR por su sigla en inglés).

La emisión total de 4.505 mil toneladas de metano consignada en el IBA-5 del país, indica que el país era responsable de aproximadamente el 1.1% de las emisiones antropogénicas globales de metano en 2020.¹⁶

Asimismo, según el IBA-5, en el año 2020, a nivel sectorial se observa que el sector con mayor participación en las emisiones de metano es “Agricultura, ganadería, silvicultura y otros usos de la tierra” (AGSOUT), que contribuye con un 64% (2.874 ktCH₄) de las emisiones totales de metano. Las emisiones de metano en el sector resultan principalmente de la fermentación entérica debido a las emisiones del ganado bovino (91%), seguidas de las emisiones de la quema de biomasa (cerca de 6%), gestión del estiércol (cerca de 3%) y cultivos de arroz con menos del 1%.

Le sigue el sector energía representa el 19% (842.17 ktCH₄) de las emisiones de metano; éstas provienen principalmente de las emisiones fugitivas de la cadena de extracción, procesamiento, almacenamiento y transporte de combustibles al punto de uso final (MAyDs, 2023).

Por último, el sector residuos, con un aporte del 18,58 % de las emisiones de metano (783.6 ktCH₄), que equivalen al 17% de las emisiones totales de metano del país, y se asocian a la disposición final de desechos sólidos, y por el tratamiento y eliminación de las aguas residuales industriales y domésticas.

En consecuencia, en lo que sigue se expone el análisis llevado a cabo para la producción ganadera nacional y se sistematiza un marco de estrategias que se encuadra con las orientaciones de política enfocadas en reducir la intensidad de emisiones a la vez que se propone algunas políticas y medidas que contribuirían a la implementación de esas estrategias mediante la consolidación de los diversos modelos de negocios.

¹⁶ Quinto Informe Bienal de Actualización (IBA-5), (MAyDs, 2023)

Contenido

Prólogo.....	1
Contenido	4
1 Introducción	9
2 Conociendo las métricas	11
2.1 Metano de la Fermentación Entérica.....	13
2.2 ¿Qué es el secuestro de carbono? ¿Se mide en los Inventarios Nacionales?	14
2.3 Emisiones absolutas e Intensidad de Emisión. ¿Qué nos dicen?	16
3 Emisiones de la ganadería.....	1
4 Ganadería Baja en Carbono	3
5 Medidas de mitigación.....	7
6 Una mejor ganadería	9
6.1 Productor empresario	9
6.2 Políticas Nacionales Ganaderas	9
7 El suelo ganadero	12
7.1 Estado de situación	12
7.2 ¿Qué hace complejo el manejo ganadero?	13
7.3 Medir para mejorar.....	14
7.4 ¿Cuánto COS se necesita para compensar la ganadería?.....	15
7.5 Desafíos	16
8 Nuevas tecnologías.....	17
9 Ganadería certificada.....	18
10 Hoja de ruta para el productor Ganadero	19
11 Conclusiones.....	20
12 Referencias bibliográficas.....	21

Lista de Figuras

Figura 1: Composición de las emisiones mundiales por tipo de gas.	12
Figura 2: Resultados del inventario de GEI de Argentina correspondiente al Quinto Informe Bienal elaborado en 2020..	13
Figura 3: Ciclo biogénico del carbono.....	14
Figura 4: Ciclo del Carbono Terrestre para los Sistemas Agropecuarios (AFOLU) que muestra los flujos de entrada, salida y los compartimentos conceptuales de Carbono.....	15
Figura 5: Esquema de Alcance de un sistema productivo.	3
Figura 6: Modelos de sistemas de recría y terminación modales en Argentina: (1) recría y terminación a corral, (2) recría pastoril y terminación a corral, (3) recría y terminación pastoril sin restricciones y (4) recría con restricción y terminación pastoril. Se ejemplifica el efecto diferencial de los sistemas en la duración del proceso.	5
Figura 7: evolución de las variables en los diferentes escenarios en (a) evolución del stock de vientres, (b) relación de terneros y vacas y (c) peso medio de faena.....	10
Figura 8: (A) Huella de Carbono (HC) de la carne bovina en kg de CO ₂ eq por kg de res con hueso (RcH) para los tres escenarios evaluados. (B) variación de la HC (kg de CO ₂ eq por kg RcH) de los escenarios STOCK y EFICIENCIA en relación al escenario IGUAL.....	10
Figura 9 Dinámica de la concentración de Carbono en suelo para los primeros 20 cm para parcelas implantadas con 1, 2, 4, 8 o 16 especies perennes de pastizales (c). Total de Carbono almacenado por raíces luego de 24 años de crecimientos en los primeros 60 cm de suelo (b).	13
Figura 10: Disrupción de ciclos biogeoquímicos que generan emisiones de GEI de pasturas y campo.....	14
Figura 11: a) b)	15

Lista de Tablas

Tabla 1: Equivalencia de GEIs evaluados por su impacto en la atmósfera.	12
Tabla 2: Medidas de mitigación propuestas por la Hoja de Ruta y su vínculo con las acciones de ganadería baja en carbono.	7

1 Introducción

El Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC) define al Cambio Climático como “el cambio en las condiciones climáticas atribuidas directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera terrestre y que representa un adicional a la variación natural observada sobre similares periodos de tiempos”.

El IPCC es el organismo mundial responsable de la generación del conocimiento sobre el Cambio Climático. Tiene equipos de científicos que periódicamente desarrollan informes técnicos, resúmenes para tomadores de decisión y productos de extensión para la sociedad, todos de acceso público.

En la actualidad el Cambio Climático (CC) y sus impactos en el planeta se manifiestan de modo cada vez más frecuente. Calor extremo, sequías, tormentas de nieve y excesos de lluvias son noticia recurrente en el mundo y en la Argentina. Según los reportes científicos los eventos climáticos extremos son más frecuentes e intensos comparados con los registros históricos con los que se cuenta (NASA, 2023; CIMA, 2015).

Para hacer frente al cambio climático son necesarias acciones de Adaptación y de Mitigación. **Adaptación** se refiere a la necesidad de la sociedad de hacer modificaciones en su entorno, principalmente infraestructuras, para que sean compatibles con las nuevas condiciones climáticas. Por ejemplo, para adaptarse a los calores extremos se podrían pensar ciudades que cuyo diseño pueda ayudar con esos calores, cambios en los hábitos de la sociedad, etc. Así mismo con lluvias extremas, las ciudades deberán poseer sistemas pluviales de captación y conducción mejorados. **Mitigación** es el conjunto de cambios que se implementan con el objetivo de reducir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI).

Los GEI existen naturalmente y son parte de la composición de la atmósfera. El efecto invernadero es la forma en que el calor queda atrapado cerca de la superficie de la tierra por los GEI. Estos gases incluyen al dióxido de carbono (CO_2), al metano (CH_4), al óxido nitroso (N_2O) y al vapor de agua. El balance de los GEI en la atmósfera es lo que permite la vida en la Tierra. Y el exceso de ellos, producto de las actividades económicas desde la revolución industrial, provoca un incremento en la temperatura de la Tierra que se denomina Calentamiento Global. Dado que el vapor de agua no es de origen antropogénico, no se lo incluye en los estudios de mitigación.

El incremento de la concentración de GEI en la atmósfera se aceleró desde la época industrial. Entre los gases que resultan de emisiones por acciones humanas, el CO_2 es el de mayor importancia en cuanto al aporte al efecto invernadero. Por tal motivo se lo utiliza como referencia en el seguimiento de los registros atmosféricos desde la época preindustrial (NOAA, 2023). La actividad humana en la tierra se basa en el uso de fuentes fósiles para los procesos diarios básicos: energía, transporte, procesos industriales, entre otros. Así es que el estilo de vida basado en el consumo combustibles fósiles resulta en emisiones y tiene relación directa con el aumento de CO_2 y, por lo tanto, con la existencia del Cambio Climático.

La principal fuente de emisiones GEI desde la época industrial resultantes de la actividad humana es el uso de combustible fósil, para la generación de energía eléctrica, energía térmica y el transporte. En segundo lugar, en las fuentes antropogénicas de GEI se explican por el sector de uso del suelo, cambio en el uso del suelo y

silvicultura (USCUSS), entendido como deforestación, y la actividad agropecuaria. Dentro de la actividad agropecuaria la actividad de Ganadería es la que mayor atención tiene dada su contribución a las emisiones de GEI y, por consiguiente, al Calentamiento Global. El IPCC en su Sexto Informe de evaluación indica que alrededor de un 5% de las emisiones de GEI globales corresponden a la fermentación entérica del sector ganadero. Es importante destacar que la contribución de la ganadería bovina de carne a las emisiones de metano a nivel regional es muy diversa según el nivel de producción, el sistema productivo y el clima, entre otros. En los últimos años, adicionalmente, se logró ir conociendo mejor la participación de otras fuentes naturales, que han ido participando de este proceso del ciclo del CO₂ en la atmósfera, como los océanos, humedales y manglares¹⁷. No obstante, también se estudia cómo esos sistemas se adaptan al cambio climático y cómo podrían aumentar o disminuir su contribución a los GEI por acción indirecta del accionar de la sociedad en el planeta.

A nivel mundial, la ganadería es una fuente de proteínas de alta calidad (carne y leche) para las sociedades, que en países como Argentina son producidas a bajo costo¹⁸. La transformación de fibras de recursos pastoriles naturales en esas proteínas en la mayoría del planeta se lleva adelante con procesos extensivos y con baja gestión humana, como sucede en el continente Africano con pastores tribales trashumantes, con sistemas extensivos donde la participación de las personas en la gestión aumenta y se utilizan grandes superficies como Australia y en Sudamérica (Argentina, Uruguay, Paraguay y Brasil), hasta sistemas más intensivos donde las personas gestionan la forma de alimentación, pastoril intensiva o directamente alimentos procesados o industrializados como el *feedlot*. Al bajo costo de determinados países como Argentina se le atribuye la oportunidad única que tienen los bovinos en convertir el recurso forrajero que, en la mayoría de las veces no tiene otro costo de oportunidad, es decir no posee otro uso, en nutrientes de alto valor nutricional para la población.

La Ganadería en el mundo está siendo cuestionada por sus impactos negativos en el Calentamiento Global. Se le atribuye a la actividad ganadera la generación de GEI de alto impacto en la atmósfera, lo que está confirmado científicamente.

¹⁷ <https://www.un.org/en/climatechange/science/climate-issues/ocean>

¹⁸ IERAL and Fundación Mediterránea (2023) https://www.ieral.org/images_db/noticias_archivos/4676-Documento%20de%20trabajo.pdf

2 Conociendo las métricas

Desde el IPCC se desarrollan métricas que se utilizan mundialmente para las estimaciones de GEI. La base que se utiliza en la métrica para comparar los GEI según su aporte al Calentamiento Global es el CO₂, cuyo impacto en la atmósfera y sus implicancias en el CC se toma como unidad de referencia. Pero no es el único GEI, por orden de importancia – según el *Global Warming Potencial* (GWP) – le sigue el metano (CH₄), el óxido nitroso (N₂O) y luego otros gases.

Para cuantificar el Calentamiento Global se desarrollaron diversos modelos matemáticos.

El GWP y el GTP (*Global Temperature Potential*) son modelos matemáticos utilizados por el IPCC en sus informes para cuantificar el calentamiento global mediante la estimación y proyección de los impactos de los GEI en la atmósfera. El GWP es una medida de la cantidad de energía absorbida por un gas en un período de tiempo, en general de 100 años, comparada con la energía absorbida por el CO₂ en el mismo período. El GTP estima el cambio de temperatura de la superficie terrestre en un punto específico en un momento definido, también para cada gas con respecto al CO₂. Por una práctica aprobada a nivel mundial (por ejemplo, para la preparación de inventarios nacionales) se prefirió utilizar el GWP.

La actividad humana en el planeta puede ser descripta por sus implicancias en las emisiones de GEI. El uso del combustible fósil genera CO₂ que se emite a la atmósfera. El metano es producido por procesos anaeróbicos (sin presencia de oxígeno) como sucede con los bovinos en su sistema digestivo, con los humedales y cultivos de arroz, en los océanos, por la descomposición de los residuos, por la quema de combustible y por fugas de la producción y uso del gas natural. El impacto de la molécula de CH₄ en la atmósfera es de una magnitud mayor que el CO₂ en cuanto aporte al efecto invernadero por su mayor capacidad de retención de radiación infrarroja, por lo que se le atribuye un factor de 27 veces superior para fuentes biogénicas y 29 veces para fuentes fósiles (según el modelo GWP – AR6, Tabla 1). El N₂O es producido en procesos industriales, por procesos biológicos en los suelos, por emisiones resultantes del uso de fertilizantes nitrogenados en la producción agrícola o por la descomposición de las excretas de los animales. El impacto del N₂O es de 273 veces mayor que el CO₂ en cuanto aporte al efecto invernadero (según el modelo GWP- AR6, Tabla 1). Por lo tanto, si bien las causas y efectos de los diferentes GEI no son similares, a los fines de establecer una métrica que permita comparar el efecto de las emisiones de los distintos gases a nivel mundial se consensuó el criterio de expresar las emisiones de los GEI en términos de **CO₂ Equivalente** para llevar todas las emisiones a la misma medida (Tabla 1). Si bien llevar a la misma métrica los efectos de diferentes fuentes es solo una convención, el criterio de equivalencia entre los gases posee rigor científico ponderando más los de mayor efecto.

Tabla 1: Equivalencia de GEIs evaluados por su impacto en la atmósfera.

Gases	Tiempo de vida media	GWP 100 AR 2	GWP 100 AR 5	GWP 100 AR 6	Fuentes en el Agro
CO₂	≈ 150 años	1	1	1	Respiración
CH₄ fósil	≈ 12 años	21	28	29,8	Uso de combustibles
CH₄ biogénico	≈ 12 años	-	-	27,2	Fermentación entérica del ganado, arrozales y humedales
N₂O	≈ 109 años	310	265	273	Mineralización en la Agricultura

Fuente: elaboración propia en base a los Informe de Actualización del Grupo de trabajo físicos del IPCC

El total de emisiones de GEI del mundo en el 2022 alcanza las 53.786 Mt CO_{2e} y la Argentina contribuye con 0,7%. Si diferenciamos por gases, el 72% corresponde al CO₂, 21% al CH₄, 5% al N₂O y 3% a otros gases (Figura 1) (WRI, 2020).

Figura 1: Composición de las emisiones mundiales por tipo de gas.

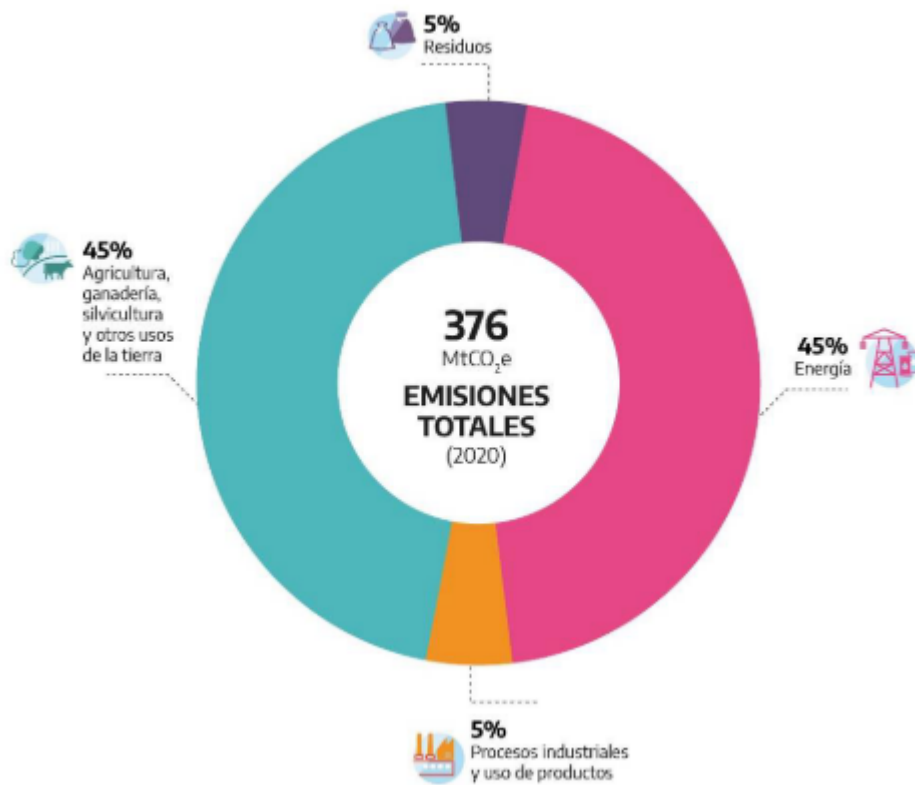


Fuente: Elaboración propia en base a EDGAR 2023

Nota: Los GEI se convierten en de dióxido de carbono equivalente (CO_{2eq}) multiplicando cada gas por su valor potencial de calentamiento global (GWP) a 100 años del AR5 del IPCC (GWP-100 AR5): la cantidad de calentamiento que crearía una tonelada del gas en relación con una tonelada de co₂ en una escala temporal de 100 años.

Los Inventarios Nacionales de GEI son los instrumentos que utilizan los países para reportar ante La Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). En la Figura 2 se muestra que Argentina reporta para el año 2020 un total de 376 millones de toneladas de CO₂ equivalentes (Mt CO_{2e}). El 45% corresponde al sector Energético y el 45% a Agricultura, Ganadería y Otros Usos de la Tierra. De este último, el 34% (57,8 Mt CO_{2e}) corresponde a la ganadería bovina, un 40% (68 Mt CO_{2e}) a tierras de cultivos y pastizales y un 26% a emisiones directas e indirectas de N₂O de suelos gestionados (44,2 Mt CO_{2e}) (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2023).

Figura 2: Resultados del inventario de GEI de Argentina correspondiente al Quinto Informe Bienal elaborado en 2020

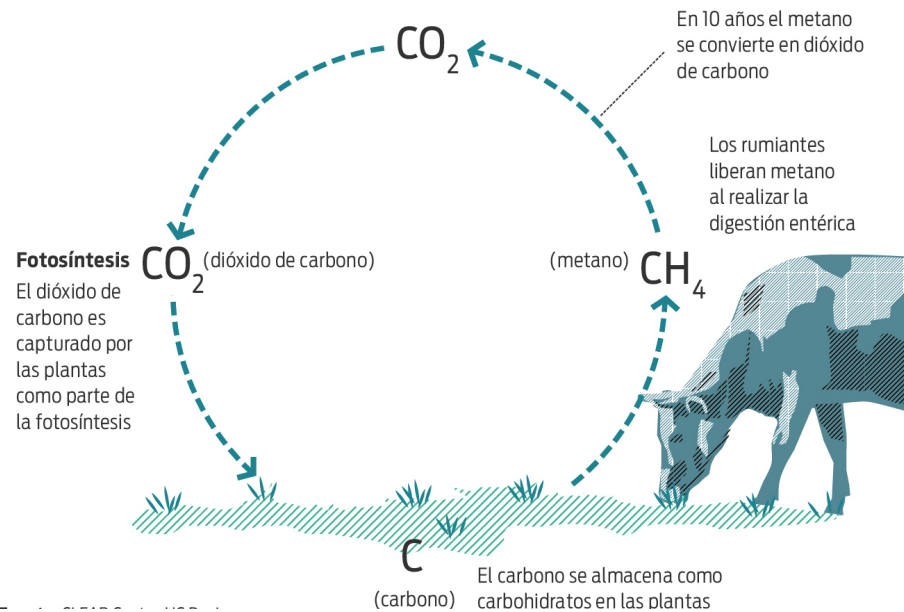


Fuente: MAyDS.

2.1 Metano de la Fermentación Entérica

La ganadería produce metano, que tiene un GWP mayor al del CO₂. Hace ya un tiempo que se presentan evidencias desde el sector científico sobre los diferentes mecanismos de acción del metano de los bovinos o metano entérico. El metano entérico es liberado por los rumiantes (bovinos, caprinos, ovinos) en su proceso digestivo (rumia) por la boca como un resultado de la ingesta de fibras naturales, principalmente por los forrajes. El metano liberado a la atmósfera es retenido por un período de entre 10 a 12 años y luego se recicla en forma de CO₂ y vapor de agua, volviendo a la tierra en forma de CO₂ para ser disponible en los procesos fotosintéticos de las plantas (Figura 3) (Mitloehner, Frank M; Kebreab, 2020).

Figura 3: Ciclo biogénico del carbono.



Fuente: CLEAR Center. UC Davis

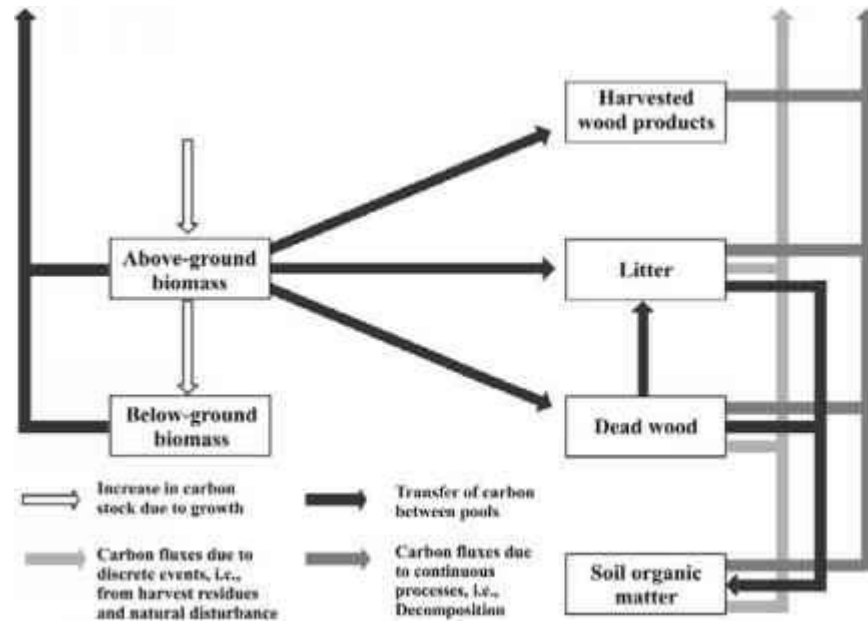
Al metano de la fermentación entérica se le aplica una métrica específica. De acuerdo al ciclo explicado anteriormente, el factor de conversión para el metano es de 27 veces el CO_2 (GWP- AR6, Tabla 1).

2.2 ¿Qué es el secuestro de carbono? ¿Se mide en los Inventarios Nacionales?

La dinámica del carbono en la tierra tiene varios flujos o movimientos. Cuando se habla de emisiones de GEI, esto se entiende como el flujo de gases hacia la atmósfera. Sin embargo, existe un flujo de gases desde la atmósfera hacia la tierra, y específicamente hacia las plantas (por medio de la fotosíntesis), los suelos y los océanos. Otro ejemplo es la forestación, donde una nueva plantación en su etapa de crecimiento captura CO_2 por la fotosíntesis y lo deja secuestrado en la madera.

En las metodologías de cálculo del IPCC se considera el secuestro como parte de la dinámica del carbono en la tierra. En la Figura 4 se muestra cómo se distinguen los flujos de emisiones y de secuestros en el modelo de suelos del IPCC. La complejidad de estimación, cálculo y medición de ciertos procesos hizo que se priorizara el desarrollo de las investigaciones en torno a las emisiones de GEI.

Figura 4: Ciclo del Carbono Terrestre para los Sistemas Agropecuarios (AFOLU) que muestra los flujos de entrada, salida y los compartimentos conceptuales de Carbono.



Fuente: Volumen 4, Capítulo 2. Guías Metodológicas IPCC 2006.

Sin embargo, en los últimos años, luego de tener una exhaustiva cantidad de información sobre las emisiones, se ha progresado en generar también información sobre los secuestros. En los últimos 5 años se incrementaron las investigaciones en las áreas de suelos ganaderos, aunque aún queda mucha información por generar. A pesar de que actualmente se conoce más acerca de los procesos de secuestro, igualmente es común seguir expresándose como “Emisiones”, aunque se incluyan en los procesos los secuestros de carbono.

Los Inventarios Nacionales expresan un balance de GEI que dependerá del acceso a la información de cada país. Los procesos más simples y que en general se reporta del secuestro de carbono son los forestales, agricultura y otros usos de la tierra. Son procesos de los cuales se cuenta con información desde hace mucho tiempo. **En general, el desafío se encuentra en la cuantificación de la captura de carbono o “secuestro” en los suelos no agrícolas.** Solo en la agricultura se conoce muy bien la dinámica del carbono en los suelos, gracias al conocimiento generado por las ciencias agronómicas y edáficas. Sin embargo, donde no se requirió información para la producción, como por ejemplo suelos ganaderos o suelos con recursos naturales, la información es mucho más escasa y en algunos países inexistente.

El Inventario de Argentina expresa un balance parcial. Argentina en su Inventario contabiliza los secuestros de carbono de las actividades conocidas como forestación, agricultura y otros usos del suelo. Sin embargo, considera sin cambios el carbono de todos los otros suelos, que abarcan aproximadamente 140 millones de hectáreas. Sin cambios significa que se estima que no se generan emisiones ni tampoco secuestro, lo que resulta en un balance neutro.

Es importante mencionar también que existen retos relacionados con la variabilidad de los suelos y su capacidad para secuestrar carbono incluso dentro de una misma región, y el límite máximo de secuestro de carbono dado

que, con el tiempo, el suelo reduce su capacidad para secuestrar carbono. En este sentido, aunque el carbono en el suelo es extremadamente importante, ello no reduce la necesidad de reducir las emisiones de metano.

2.3 Emisiones absolutas e Intensidad de Emisión. ¿Qué nos dicen?

El reporte de GEI puede ser realizado en valores absolutos y relativos o intensidades. Cada uno sirve con fines diferentes según el uso que se le quiera dar.

Las emisiones absolutas expresadas en CO_{2e} son las que, por estándar de las Guías Metodológicas del IPCC, se publican en los instrumentos nacionales y en la mayoría de las circunstancias. Un ejemplo aplicado a la ganadería de carne de Argentina es que se contabilizan 57,1 MtCO_{2e} asociados al subsector en términos absolutos para el año 2020 (IBA-5). Además de los fundamentos anteriormente expuestos, se expresan así porque es la cantidad de GEI que estará impactando en la atmósfera.

La intensidad de emisión promedio de la carne argentina es 19 tCO_{2e} por tonelada res con hueso, según datos del 2020. Este valor surge del cociente entre: las emisiones absolutas de la ganadería de 57,8 Mt CO_{2e} y la producción de carne de ese año de aprox. 3,05 millones de toneladas de res con hueso. La intensidad de emisiones es una métrica relativa, si las emisiones de GEI se mantienen constantes, a mayor producción de carne menor es la intensidad por unidad de producción. Es decir, a mayor producción ganadera menor costo ambiental medido en emisiones de GEI (tCO_{2e}).

3 Emisiones de la ganadería

La materia orgánica e inorgánica aportada como insumos o producto en la gestión de los sistemas agropecuario suele descomponerse mediante procesos bacterianos, liberando a la atmósfera cantidades significativas de CO₂, CH₄ y N₂O. El sector agropecuario incluye emisiones procedentes de la fermentación entérica, el estiércol depositado en los pastos, los fertilizantes sintéticos, el cultivo del arroz, la gestión del estiércol, los residuos de cultivos, la quema de biomasa y el estiércol aplicado a los suelos.

La ganadería se produce en todo el mundo y es una fuente importante de emisiones mundiales de metano (CH₄). La cantidad de metano emitido depende principalmente del número de animales, el tipo de sistema digestivo y el tipo y la cantidad y la calidad de alimento consumido.

El metano se emite como subproducto del proceso digestivo normal del ganado, en el que los microbios residentes en el sistema digestivo del animal fermentan el forraje que éste consume. Este proceso de fermentación, también conocido como fermentación entérica, produce metano como subproducto. A continuación, el metano es eructado o exhalado por el animal. Dentro de la ganadería, los rumiantes (vacas, búfalos, ovejas y cabras) son la principal fuente de emisiones. El resto del ganado (porcino y equino) tiene una importancia menor en casi todos los países. El número de animales y el tipo y cantidad de alimento consumido son los principales factores que afectan a las emisiones. Por consiguiente, las mejoras en las prácticas de gestión y los cambios en la demanda de productos ganaderos (principalmente carne y productos lácteos) afectarán a las futuras emisiones de metano.

Por otra parte, el metano se produce a partir de la descomposición del estiércol del ganado en condiciones anaeróbicas, ya sea como fertilizante orgánico en tierras de cultivo, como estiércol depositado en pasturas o si es incorporado a los efluentes líquidos.

Los principales factores que afectan a la emisión de metano del estiércol de ganado son la cantidad de estiércol que se produce y la parte del estiércol que se descompone anaeróbicamente. El tipo de sistema de gestión del estiércol utilizado y el clima (principalmente la temperatura) son los principales factores que determinan el grado de descomposición anaeróbica.

Esos factores se amplifican cuando se cría un gran número de animales en un espacio reducido (por ejemplo, granjas lecheras, cebaderos de vacuno y explotaciones porcinas y avícolas), donde el estiércol suele almacenarse en grandes pilas o eliminarse en lagunas. El óxido nitroso, también un gas de efecto invernadero, se produce durante la nitrificación-desnitrificación del nitrógeno contenido en los residuos ganaderos.

Algunos ganaderos reducen la cantidad de metano que se escapa a la atmósfera construyendo tapas o tapones para las lagunas o tanques donde se guarda el estiércol. Este metano recuperado suele quemarse o utilizarse como combustible en calderas, calentadores o motores generadores.

En 2023, la República Argentina presentó el Quinto Informe Bienal de Actualización ante la CMNUCC¹⁹, en el que se estimaron las emisiones netas totales del año 2020 y en el que también se incluye la serie temporal del período 1990-2020 (MAyDs, 2023).

De acuerdo con los resultados de este informe en 2020 el metano aporta 94,6 millones de toneladas de dióxido de carbono equivalente (Mt-CO₂e), lo que representa el 25% del total de las emisiones generadas en el país, las cuales totalizaban 376,4 MtCO₂e .

¹⁹ El Quinto Informe Bienal de Actualización IBA-5 sigue las directrices del IPCC 2006, I se utilizaron los potenciales de calentamiento global (PCG) del Segundo Informe de Evaluación del IPCC de 1995 (SAR por su sigla en inglés).

La emisión total de 4.505 mil toneladas de metano consignada en el IBA-5 del país, indica que el país era responsable de aproximadamente el 1.1% de las emisiones antropogénicas globales de metano en 2020.²⁰

A nivel mundial, los tres sectores principales que impulsan el cambio climático son la agricultura, los residuos y la producción de combustibles fósiles. Según el IBA-5, en el año 2020, a nivel sectorial se observa que el sector con mayor participación en las emisiones de metano es “Agricultura, ganadería, silvicultura y otros usos de la tierra” (AGSOUT), que contribuye con un 64% (2.874 ktCH₄) de las emisiones totales de metano. Las emisiones de metano en el sector resultan principalmente de la fermentación entérica debido a las emisiones del ganado bovino (91%), seguidas de las emisiones de la quema de biomasa (cerca de 6%), gestión del estiércol (cerca de 3%) y cultivos de arroz con menos del 1%.

Algunas de las medidas que se pueden implementar a nivel de producción de carne para reducir la intensidad de emisiones son:

- Adición de suplementos en la dieta del ganado
- Mejora en la calidad del forraje ingerido
- Planificación forrajera
- Apotreramiento
- Sanidad del ganado
- Servicio controlado
- Eficiencia del proceso recria – engorde
- Aumento del peso final de engorde

Se presenta a continuación un análisis de estas medidas.

²⁰ Quinto Informe Bienal de Actualización (IBA-5), (MAyDs, 2023)

4 Ganadería Baja en Carbono

En esta sección se evalúan las diferentes estrategias que puede desarrollar un productor ganadero de carne bovina para reducir las emisiones de GEI. Para avanzar, en primer lugar, es imprescindible definir el alcance del sistema en el cual se delimitarán las acciones y sus interacciones (Figura 5).

Figura 5: Esquema de Alcance de un sistema productivo.



Fuente: elaboración propia.

El productor ganadero puede disponer de su sistema sobre suelo ganadero. En él realiza la actividad, con más o menos inserción de la agricultura, con rotación con pasturas, o con algún arbolado natural que presta servicio de sombra. En ese escenario podemos decir que la empresa ganadera (Empresa A) tiene una actividad ganadera pura. Aunque también podemos imaginar otra empresa que además de tener ganadería, tiene en el mismo o en otro establecimiento una plantación forestal (Empresa B).

Por el momento analizaremos las estrategias que tiene el productor o la empresa A para reducir los GEI. Para cuantificar las medidas se utilizó el informe del IPCC sobre el impacto en el sector agropecuario (IPCC, 2019) así como trabajos locales para dar más precisión. Las opciones existentes son:

- **Nutricionales en sistemas intensivos:** se busca reducir la producción de CH_4 mediante la adición de suplementos a la dieta de los animales. Es una acción de mediano impacto y de difícil adopción. Se necesita contar con el equipamiento adecuado para suministrar el “aditivo” o suplemento. Además, solo es posible cuando el sistema de producción cuenta con la instancia de alimentar controladamente al animal. Es una estrategia que, por ejemplo, podría implementarse fácilmente en el caso de un feedlot o un tambo.

Tiene alto impacto en el indicador de emisión de CH_4 .

Los aditivos en etapa de desarrollo comercial aún tienen un precio elevado, siendo esta una barrera de adopción.

- **Nutricionales en sistemas extensivos:** también se busca reducir la producción de CH_4 , aunque en este caso mediante la mejora en la calidad del forraje ingerido. Se busca que los productores mejoren sus

recursos forrajeros en calidad (digestibilidad de la fibra) y cantidad. Con ello la vaca consume un forraje que produce menos CH₄ que su alternativa. Al mismo tiempo, la mayor oferta forrajera podría incrementar (aunque no es la única opción) la eficiencia de producción y con ello producir más kilos de carne en el mismo período.

Tiene alto impacto en el indicador de emisión de CH₄ y en la Intensidad de Emisión, ya que emiten menos GEI y se produce más carne.

El costo de implementación de esta medida es multifactorial, dependiendo en gran medida del grado de adopción de tecnologías del productor y del uso de fertilizantes en función del grado de intensificación y del tipo de forraje utilizado.

- **Planificación forrajera:** Consiste en la previsión de alimentación al ganado en forrajes en los sistemas extensivos. La planificación del recurso forrajero es un proceso que presenta un desafío al productor ganadero. Abarca desde la escasez de información para desarrollar e implementar la planificación, hasta la medición directa por cortes. Lo cierto es que sin planificación forrajera el riesgo de quedarse sin alternativas ante las contingencias climáticas, estacionales o coyunturales del país es muy alta. La planificación permite ajustar la carga animal, la oferta de alimento y la estrategia ante las eventualidades.

Tiene alto impacto sobre la intensidad de emisión.

El costo de implementación es relativamente bajo, la barrera está asociadas con el grado de adopción de procesos en la empresa y el productor.

- **Apotreramiento:** un potrero o lote es el espacio asignado para pastoreo de los animales. Según los sistemas productivos y las regiones agroecológicas, hay mucha variabilidad, aunque, en general, el nivel de apotreramiento suele ser insuficiente. La cantidad de potreros o lotes permite gestionar eficientemente el recurso forrajero, alineado con la planificación. El desafío para el aumento de potreros es la disponibilidad de aguadas y la necesidad de mano de obra, en cantidad y calidad, ya que cambia el proceso de manejo de hacienda conociendo la planificación e indicadores visuales de campo para mover los animales de un lugar a otro.

El impacto de esta medida es multifactorial, de muy difícil evaluación del impacto. Interviene en el indicador de emisión de CH₄ y en la intensidad de emisiones. Dependiendo la línea de base del productor, en general, se espera que el impacto sea alto.

El costo económico de implementación es medio a alto, siendo esto una de las barreras de adopción junto con la incorporación procesos en la empresa.

- **Sanidad:** el seguimiento de un plan sanitario es relevante ante la necesidad de no perder animales en el proceso productivo, así como también reducir las pérdidas diarias en ganancia de peso o salud. Toda acción de enfermedad o parasitosis lleva a la pérdida de la eficiencia productiva.

El impacto de esta medida es alto sobre la intensidad de emisión.

El costo de adopción debería ser de bajo a medio para un productor, con un retorno que paga la implementación.

- **Servicio controlado o estacionado:** el orden en el manejo del rodeo de cría es importante. Generalmente el desorden lleva a grandes ineficiencias productivas, por ello siempre se recomienda llevar un estacionamiento del servicio ordenado según el sistema. Las limitantes a la mejora de este proceso pueden originarse del área agroecológica, del sistema y las opciones del productor. Es preferible progresar hacia un estacionamiento del servicio lo más temprano que se pueda.

La experiencia local muestra que esta acción tiene alto impacto en el indicador de emisión de CH₄ y en la Intensidad de Emisión, menos GEI y más carne.

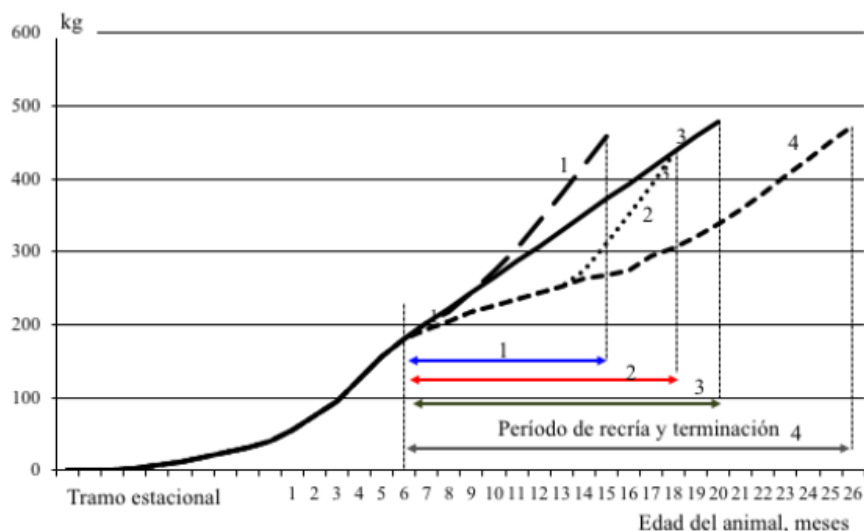
El costo de implementación es bajo a medio, la barrera de adopción no suele ser el costo sino el cambio de los procesos de la empresa.

- **Eficiencia del proceso recría - engorde:** en Argentina la conexión entre estas dos etapas es muy diversa. Coexisten productores o empresas que hacen sólo cría con recría, recría con engorde y terminación, sólo engorde y terminación y variantes que surgen de la coyuntura del negocio y las condiciones climáticas (Figura 6). Aunque hay un aspecto que poco se difunde, un animal que no tuvo un buen crecimiento (recría) luego tiene impacto en su desarrollo maduro (engorde y terminación) por lo que la eficiencia del sistema total se reduce. Es decir, un animal puede llegar a faena con 15 meses o con 26 meses de edad, casi a iguales condiciones de peso vivo. Esto genera una permanencia del animal en el sistema, emitiendo gases y consumiendo alimento.

Tiene impacto limitado a nivel global (IPCC, 2019). No obstante, según estudios realizados en Argentina (Feldkamp et al., 2019) el impacto es alto sobre el indicador de emisión de CH₄ y en la Intensidad de Emisión, menos GEI y más carne.

El costo de adopción podría ser bajo a medio, requiere de la incorporación de mejores procesos y profesionales en la empresa.

Figura 6: Modelos de sistemas de recría y terminación modales en Argentina: (1) recría y terminación a corral, (2) recría pastoril y terminación a corral, (3) recría y terminación pastoril sin restricciones y (4) recría con restricción y terminación pastoril. Se ejemplifica el efecto diferencial de los sistemas en la duración del proceso.



Fuente: Pordomingo, A.J.; Pighin et al 2016.

- **Aumento del peso de engorde:** el objetivo de peso final del animal se decide desde la mirada del negocio. La biología del animal también establece un límite dado por la genética, la edad y el tamaño del animal. Existe un indicador de eficiencia, el coeficiente de conversión, que mide la cantidad de alimento necesario para ganar un kilo de peso vivo. Cuanto menos alimento mejor. No obstante, llega un momento en el engorde, que para seguir ganando peso aumenta el consumo de alimento, pero disminuye la tasa de ganancia de peso, esto es, es menos eficiente en convertir alimento en carne

(ineficiencia biológica). Sin embargo, en cuanto a GEI es mejor seguir adelante con esa ineficiencia biológica por el total de kilogramos finales alcanzados. Es la forma de atenuar el incremento de GEI debido al diferencial de más días en engorde para alcanzar una mayor cantidad de kilos producidos finales.

También tiene impacto limitado a nivel global (IPCC, 2019). Sin embargo, según estudios realizados en Argentina (Feldkamp et al., 2019), también en este caso el impacto es alto sobre el indicador de emisión de CH₄ y en la Intensidad de Emisión, menos GEI y más carne.

El costo de adopción en los corrales es bajo, la barrera de adopción en una primera instancia es financiera y de coyuntura en las políticas comerciales a nivel nacional. En caso de un cambio muy brusco en el peso de faena (mayor a un 30%) podría requerir cambios en infraestructuras y mecanismos de financiamiento, siendo esto una barrera alta en costos y procesos.

Hasta aquí un productor o empresa A podría gestionar estas estrategias en pos de producir más y mejor, reduciendo GEI. ¿La empresa A podría ser Carbono Neutral? Esto depende de la componente de captura de carbono en el suelo que se analiza más adelante.

La Empresa B también podría optar por dichas estrategias, aunque tiene un diferencial en su empresa, ya que posee la forestación comercial dentro de sus actividades. Esto significa que en la actividad combinada junto con la ganadería podría además estar reduciendo GEI. Cabe aclarar que aún no se ha incluido la componente de captura de carbono en suelo, que se aborda más adelante. La forestación es una actividad de secuestro neto de carbono hasta que llega a su máximo valor y luego detiene su crecimiento, y a partir de ese momento no acumula más. Siendo que la empresa B mantiene la actividad forestal, en el supuesto que corta, vende y renueva su plantación tiene un nivel de secuestro constante.

¿La ganadería de la Empresa B es carbono positiva? Por lo expuesto hasta ahora, la ganadería de la empresa B es emisora de GEI y se puede asumir, en base a una estimación del efecto de la forestación, que el secuestro de carbono debido a la forestación puede ser superior a la emisión de la actividad ganadera. Por lo que el Balance de la empresa, bajo este escenario, podría ser positivo (C Forestal – GEI Ganadería). Sin embargo, no se puede afirmar técnicamente que la ganadería es Carbono positiva, dado que la empresa B lo es, pero la actividad per se no. Se debe aclarar que no se considera en el balance la componente de captura de carbono en suelo que se analiza en una sección posterior. Aún así, se debe considerar que es clave hacer foco en la reducción de emisiones de metano, a la vez que se mejora la productividad, mejora la salud animal, y el bienestar del ganado.

5 Medidas de mitigación

De acuerdo a su segunda Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC), la República Argentina no excederá la emisión neta de 349 millones de toneladas de dióxido de carbono equivalente (MtCO₂e) en el año 2030, aplicable a todos los sectores de la economía. La NDC, actualizada en 2021, indica que la meta de reducción de GEI se logrará a través de ejes de mitigación enfocados en la oferta y demanda de energía, eficiencia energética y energía renovable, rotación de cultivos, forestación, manejo sostenible de los bosques, prevención de incendios forestales. La NDC no especifica medidas con mayor énfasis en el sector ganadero, residuos o la cadena de explotación y producción de petróleo y gas.

Por su parte, en el PNAyMCC se incluyeron diferentes líneas estratégicas alineadas a la meta de mitigación y la de adaptación con sus correspondientes líneas de acción, entre las que se destacan las que se indican con relación a la reducción de GEI (y que pueden aportar a la reducción de emisiones de metano).

De acuerdo a la Hoja de Ruta de Metano, existen una serie de medidas prioritarias que el país puede implementar para mitigar el cambio climático y mejorar la calidad del aire mediante la reducción de emisiones de metano. Entre ellas se encuentran:

Tabla 2: Medidas de mitigación propuestas por la Hoja de Ruta y su vínculo con las acciones de ganadería baja en carbono.

Medida de mitigación Hoja de Ruta	Tipo de medida ganadera baja en carbono
1. Mejoramiento de la salud animal del ganado bovino con el objetivo de reducir la tasa de mortalidad	Sanidad: el seguimiento de un plan sanitario es relevante ante la necesidad de no perder animales en el proceso productivo, así como también reducir las pérdidas diarias en ganancia de peso o salud.
2. Incremento de la productividad animal para la producción de carne mediante aumento de la relación vaca-ternero dado que la media nacional es 63% (mayor cantidad de terneros por vaca) y valor HCW (Hot Carcass Weight) dado que la media nacional es 225 kg.	Sanidad: el seguimiento de un plan sanitario es relevante ante la necesidad de no perder animales en el proceso productivo, así como también reducir las pérdidas diarias en ganancia de peso o salud. Aumento del peso de engorde: La biología del animal establece un límite dado por la genética, la edad y el tamaño del animal. Existe un indicador de eficiencia, el coeficiente de conversión, que mide la cantidad de alimento necesario para ganar un kilo de peso vivo
3. Optimización del alimento para <ol style="list-style-type: none"> Aumentar la 1) productividad y 2) digestibilidad del forraje incrementando las leguminosas Intensificación del manejo de pasturas y del pastoreo 	Nutricionales en sistemas extensivos: reducir la producción de CH ₄ , mediante la mejora en la calidad del forraje ingerido. Se busca que los productores mejoren sus recursos forrajeros en calidad (digestibilidad de la fibra) y cantidad.

<p>4. Gestión del estiércol mediante</p> <p>a. Incorporación o inyección de estiércol y calendario de aplicación del estiércol para evitar el almacenamiento a partir de la aplicación directamente a los campos, evitando las emisiones de metano.</p> <p>b. Separación sólido y líquido</p>	
<p>5. Manipulación del rumen mediante la utilización de inhibidor químico 3-NOP, ionóforos, taninos, algas marinas que contienen bromoformo y otras algas marinas.</p>	<p>Mejoras en los sistemas nutricionales en sistemas extensivos a partir de incorporación de diferentes elementos: reducir la producción de CH₄ a la vez que se mejora la productividad.</p>

Fuente: elaboración propia

6 Una mejor ganadería

A continuación, se desarrollan las principales acciones que podrían adoptarse en Argentina, las mismas están clasificadas según el tipo de tomador de decisión.

6.1 Productor empresario

Desarrollar una actividad de ganadería que reduzca los GEI en el campo argentino es posible, principalmente, mediante dos líneas de acción:

1 Reducción de GEI

- a) Reducción absoluta de GEI, principalmente en la fuente de CH₄. Mediante las estrategias propuestas en nutrición, calidad de forrajes y suplementos.
- b) Reducción de la Intensidad de GEI, con las estrategias que busquen mejoras en el sistema productivo, reducción de pérdidas y aumento de eficiencias.

2 Secuestro de carbono

- a) Secuestro de carbono por adición de la forestación, sea de servicio ecosistémico o comercial con destino a bienes durables.
- b) Secuestro de carbono en suelos ganaderos. Una opción prometedora, que aún es un potencial en la Argentina.

Los incentivos a la mejora de la actividad ganadera dependen de las políticas nacionales. Para que un productor pueda modificar procesos y realizar inversiones en función de los compromisos ambientales necesita políticas claras, estables y de largo plazo. Así como un ciclo productivo dura entre 15 a 16 meses como mínimo, 6 de destete más 9 de recría y engorde, es necesario estabilizar el contexto de la actividad para poder planificar. Un ejemplo claro es la inversión en apotreramientos, aguadas y siembra de pasturas, insumos clave para la evolución de la ganadería extensiva y la conservación y mejora de los suelos, que requiere un plazo aproximado de amortización de unos 20 años.

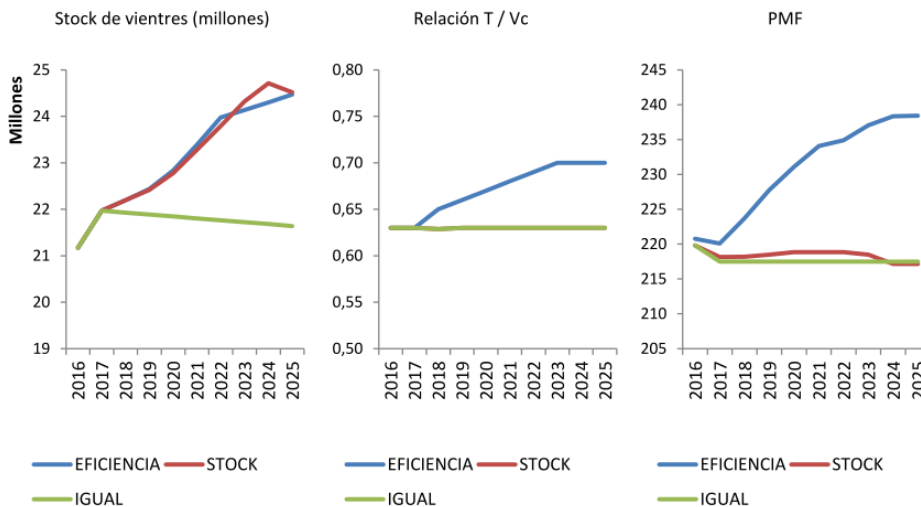
6.2 Políticas Nacionales Ganaderas

La Argentina podría accionar sobre dos indicadores productivos de la ganadería que obedecen a los compromisos de la NDC.

- El aumento en el Peso Medio de Faena (PMF). Tal como se muestra en el trabajo de (Feldkamp et al., 2019), mejorando la eficiencia productiva y aumentando el PMF de 215 kg Res con Hueso a 240 kg Rch se produce una disminución del 14% de la intensidad de emisión de 19 kg CO₂eq/kg Rch (Figura 7c y Figura 8).
- Mejora en la eficiencia productiva: mejorar en el indicador nacional de la relación ternero – vaca (T/Vc) del 63% promedio nacional histórico hasta el 70%. Con esta iniciativa se promueve la mejora en los sistemas extensivos de cría (Feldkamp et al., 2019). El impacto de esta medida es tan solo un 2% en la intensidad de emisión, sin embargo, es un requisito para avanzar en escenarios de mayor mitigación, como el punto anterior (Figura 7b y Figura 8).

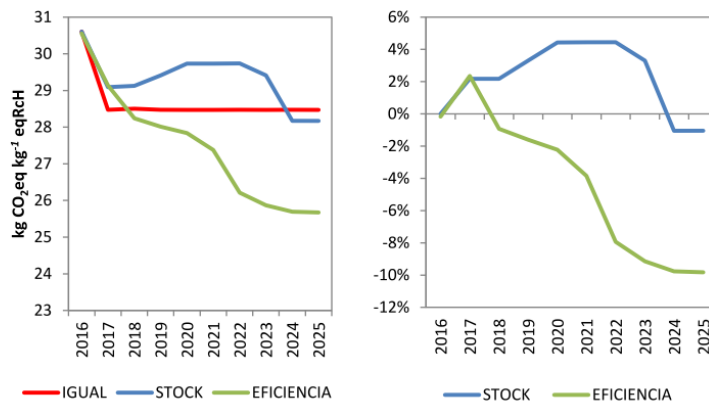
En el trabajo de (Feldkamp et al., 2019) se evaluaron los escenarios típicos de la experiencia de Argentina, IGUAL sin cambios en las variables: cantidad de animales, relación ternero-vaca (T/Vc) ni cambios en el peso medio de faena (PMF). En el escenario STOCK solo aumentan la cantidad de animales (Figura 7a) sin cambios en las demás, y solo en el escenario EFICIENCIA se modifican todas las variables, siendo este último el escenario deseable en el sector ganadero.

Figura 7: evolución de las variables en los diferentes escenarios en (a) evolución del stock de vientres, (b) relación de terneros y vacas y (c) peso medio de faena.



Fuente: (Feldkamp et al., 2019).

Figura 8: (A) Huella de Carbono (HC) de la carne bovina en kg de CO₂eq por kg de res con hueso (RcH) para los tres escenarios evaluados. (B) variación de la HC (kg de CO₂eq por kg RcH) de los escenarios STOCK y EFICIENCIA en relación al escenario IGUAL.



Fuente: (Feldkamp et al., 2019).

Para mejorar el peso medio de faena y la eficiencia productiva es indispensable desarrollar:

- Plan Nacional de Producción Forrajera: Sería una iniciativa que impacta en los dos indicadores productivos anteriores. Aunque también podría no solo beneficiar a la mejora de los sistemas productivos sino también a la mejora de los suelos (potencial de secuestro de carbono, se aborda más

abajo), a la biodiversidad y a la fauna silvestre. El alcance sería a pasturas permanentes y pastizales naturales, promoviendo la mejora de estos últimos y no su reemplazo.

- Iniciativa de Adaptación y Mitigación al Cambio Climático: en esta iniciativa se podrían sumar otras medidas que promuevan, directa e indirectamente, a la mejora de la ganadería con una componente más ambiental. Por ejemplo, con foco más fuerte en el enriquecimiento de los campos naturales, mejoras en el nivel de adopción del manejo controlado del ganado (en reemplazo del pastoreo continuo), el incentivo a los sistemas Silvo-Pastoriles con especies forestales implantadas y al Manejo Integrado de la ganadería en Bosques Nativos, buscando el enriquecimiento de la ganadería y el bosque.

La política ganadera debe traccionar a todo el sector ganadero. En la experiencia de la Argentina, políticas inadecuadas llevan a bajas drásticas de los stocks, con sus consecuentes disminuciones en producción y también en GEI. Aunque en la próxima oportunidad los productores se recuperan y vuelven a su condición normal, aumentando nuevamente el stock y los GEI. Este vaivén es el ciclo ganadero típico de Argentina, donde las fluctuaciones acontecen en la actividad de cría (Figura 7 – Escenario stock) así como el impacto en los ciclos biológicos que tienen las políticas en función de las decisiones que toman los productores ganaderos ante éstas.

7 El suelo ganadero

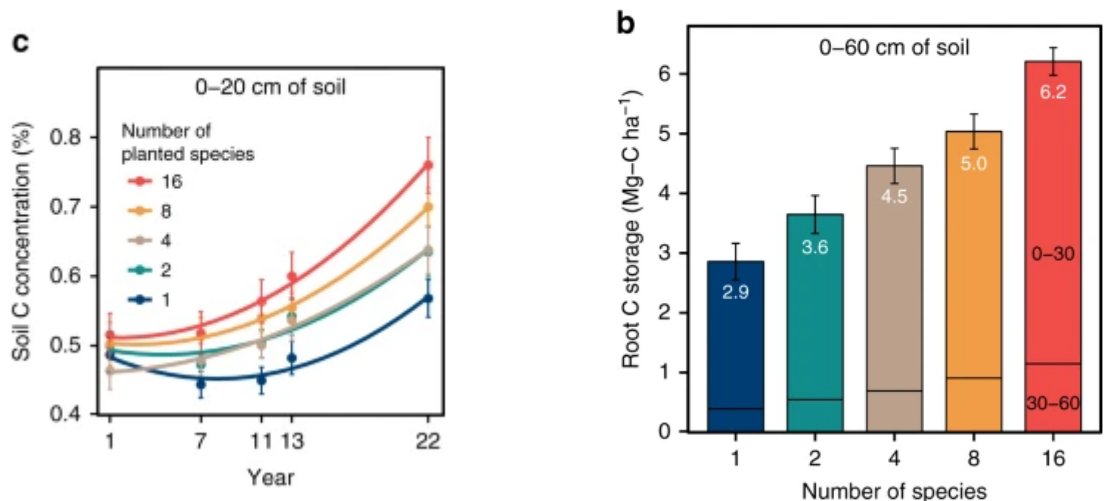
7.1 Estado de situación

Un estudio (Viglizzo et al., 2019) presenta la idea de que los suelos ganaderos tienen un potencial de secuestro de carbono que podría superar las emisiones de la ganadería. El trabajo fue respondido más tarde en 2020 por la academia argumentando que hubo aspectos metodológicos que presentan objeciones (Villarino et al., 2020). Sin embargo, la ganadería tiene un potencial en el secuestro de **Carbono Orgánico del Suelo (COS)**, pero este proceso es de una elevada complejidad.

Los campos naturales no están secuestrando carbono en la región pampeana (Alvarez et al., 2020). Sobre un total de 22 puntos analizados en 2007, cuando se repitió el monitoreo en 2019 no habían cambiado su contenido de Carbono (COS) significativamente. Este trabajo también cuestiona los hallazgos del grupo investigador del Dr. Viglizzo cuando este autor asume que fue posible estimar un secuestro promedio para la zona pampeana de 0,48 t C/ha-año, lo que en 12 años daría una acumulación aproximada de entre 6 y 7 t C/ha. Este incremento representa cerca de un 10-12% del carbono total presente en 0-50 cm (profundidad del perfil de suelo), asumiendo que la mayor parte del stock de C se encuentra en este estrato. Esto representaría un incremento anual del 0,8 a 1% de COS, que descartando que medir carbono es complejo, con esas tasas sería muy sencillo percibir el cambio y en la realidad no se observó (Alvarez et al., 2020) .

El secuestro de Carbono se acelera con la restauración de la biodiversidad en los pastizales naturales. Es un proceso lento, pudiendo llevar decenas de años. En un estudio en Minnesota (EEUU) elaborado en 2019 por Yang et al, se alcanzó hasta un incremento del 200% en la cantidad de COS en los ambientes más enriquecidos. Un incremento del 0,45 a 0,9% de COS fue alcanzado en 22 años en el ambiente enriquecido con 16 especies forrajeras templadas y leguminosas. Otro hallazgo de importancia es que la acumulación de COS se produjo marcadamente luego del año 13 (Figura 9). El trabajo enfatiza en la relación directa entre la diversidad de especies y su desarrollo de raíces en el perfil del suelo con el incremento de COS, siendo el estrato de 0-30 cm donde se encuentran la mayor concentración de COS (Figura 9) (Yang et al., 2019).

Figura 9 Dinámica de la concentración de Carbono en suelo para los primeros 20 cm para parcelas implantadas con 1, 2, 4, 8 o 16 especies perennes de pastizales (c). Total de Carbono almacenado por raíces luego de 24 años de crecimientos en los primeros 60 cm de suelo (b).



Fuente: (Yang et al., 2019)

Por lo expuesto, se puede resumir que existen trabajos académicos intentando explicar la dinámica del carbono en suelo según los sistemas productivos. Sin embargo, al parecer aún no hay elementos suficientes para establecer definiciones acerca de cómo incrementar el COS en los sistemas productivos ganaderos.

7.2 ¿Qué hace complejo el manejo ganadero?

En el manejo tradicional de la ganadería el foco de la gestión es la productividad animal. Un razonamiento sencillo, indica que a mayor producción mayor renta. Para obtener mayor producción se necesita que el ganado ingiera mayor cantidad de alimento, o mejorar su calidad o ambas. El mayor consumo debe estar relacionado con la fisiología de la masa vegetal, siguiendo el concepto que rige el pastoreo donde se debe consumir hasta un punto óptimo, dejarlo descansar (momento de crecimiento vegetal) y luego volver a pastorear.

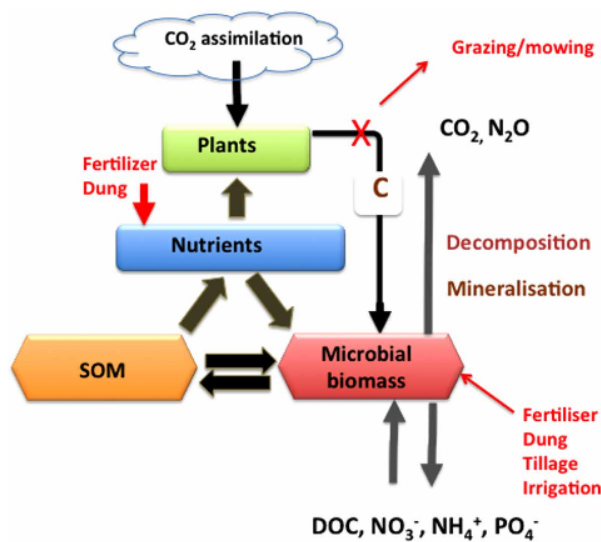
La relación de consumo – descanso fue la clave del pastoreo hasta el momento, y es la heterogeneidad de especies vegetales lo que establece esa relación. Para ejemplificar, es más simple pastorear recursos homogéneos (pasturas monofíticas = una sola especie) que polifíticas (varias especies) dado que las primeras crecen y descansan siempre en el mismo período de tiempo. En cambio, ya en las composiciones polifíticas podría haber especies más rápidas en crecimiento, otras más nutritivas, otras más resilientes y así con la gestión controlada del pastoreo se debe buscar el máximo consumo sin alterar la composición de especies. Para llevar adelante esta acción es indispensable una **Planificación Forrajera** y el apotreramiento.

Cuando la ganadería incorpora al suelo en el sistema se desconocen las nuevas relaciones que rigen los procesos. La nueva variable de COS pasa a ser relevante en el nuevo esquema de gestión ganadera. No solo se buscaría maximizar el consumo de forrajes para obtener mayor producción animal, sino que también incrementar el COS.

¿Cuáles son las variables que debe gestionar un productor para contemplar al COS? La primera respuesta es que existen algunas condiciones que el productor no puede gestionar, como las climáticas. A continuación, se presentan las que sí podría gestionar. Existe un punto óptimo de aporte de biomasa aérea (superficial) donde

se obtiene mayor biomasa radical (subterránea) y a mayores aportes más chances de incrementar la Materia Orgánica del Suelo (MOS) (relación directa con el COS). Aunque el dilema se presenta en conocer el punto óptimo que rija el sistema suelo – planta – animal (Figura 10). La experiencia actual establece que con un pastoreo que solo considera la relación planta – animal los resultados de COS son variados, puede aumentar el COS (mineralización) o disminuir (descomposición) en forma de CO_2 . Como muestra la Figura 9, la clave está en el pastoreo que debe gestionar toda la dinámica de las componentes del suelo en relación con las condiciones climáticas y agroecológicas.

Figura 10: Disrupción de ciclos biogeoquímicos que generan emisiones de GEI de pasturas y campo



Fuente: Burleigh Dodds Science Publishing, 2023.

7.3 Medir para mejorar

La medición de COS en los suelos ganaderos podría ayudar a gestionar mejor. Si bien es acertado, la dinámica de cambios del suelo es lenta. Podrían verse cambios en el COS en el rango de 5 a 10 años, antes de ese lapso es probable que el error de medición sea más significativo que el cambio mismo. Por ejemplo, en un trabajo donde se midió Carbono Orgánico Total en 2018 y se luego se repitió en 2021 se encontraron aproximadamente 35 t C/ha en ambos períodos con dos manejos ganaderos diferentes: convencional y rotativo (Adaptive Multi-paddock en inglés) (adaptado de Mosier et al., 2021, 2022) (Figura 11a y b). En un simple cálculo, la densidad aparente del suelo del estudio fue de 1,42 t/m³ sin diferencias significativas por el manejo, lo que daría un total de 4.260 t de suelo en una profundidad de 0 a 30 cm. Es decir, en ese volumen de suelo hay que detectar cambios en COS en el orden de las decenas. En el mundo del muestreo y monitoreo, un productor debe extraer porciones del suelo del orden de los kilogramos que sean representativos de miles de toneladas. Por lo tanto, la sensibilidad del muestreo en el campo es muy relevante, sumado a la necesidad de darle el tiempo suficiente para evidenciar los cambios.

Figura 11: a) b)

a)

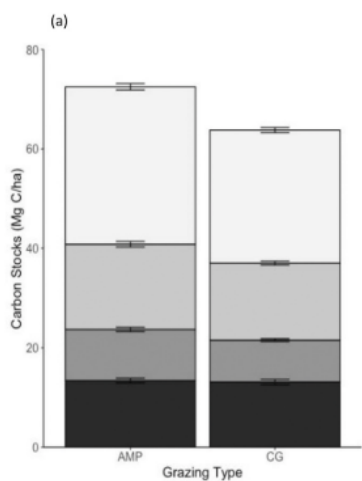


Fig. 1. Total soil organic C stocks (a) and total soil N stocks (b) down grazing (CG) managements. Error bars represent standard errors (n =

b)

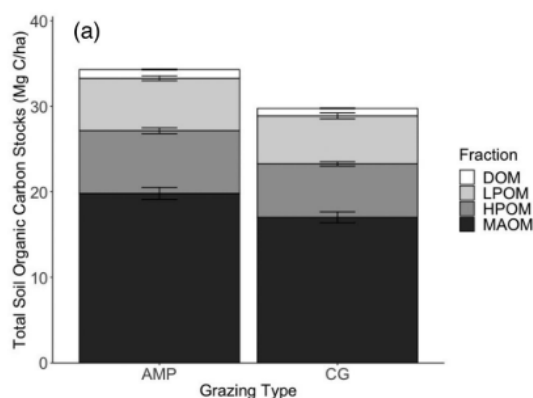


FIGURE 1 Comparison of (a) separated soil organic matter particulate organic matter (LPOM), heavy particulate organic matter (HPO) nitrogen stocks (Mg N ha^{-1}) \pm SE between adaptive multipaddock grazing Mosier et al., 2021)

Fuente: Moiser at al 2021, 2022.

7.4 ¿Cuánto COS se necesita para compensar la ganadería?

A continuación, se refleja un ejemplo con datos reales para ser considerado por los productores que buscan compensar las emisiones de la ganadería. Debe considerarse que se trata de un ejemplo concreto de una explotación y una región específicas. Es dable destacar que la ciencia del carbono en el suelo es todavía incipiente y más realizar extrapolaciones a partir de este caso a todo el país. Adicionalmente, debe considerar que existen también otras oportunidades centradas en la mejora del sistema que conducirán a reducciones de metano como las mencionadas anteriormente, por ejemplo, la mejora del rendimiento reproductivo, la aplicación de la cría selectiva, la mejora de la salud animal, la aplicación del plan de pastoreo, etc.

Es el caso de una empresa que se dedica a la ganadería de cría, con recria, en la cuenca del río Salado con 530 ha totales, 60% de campos naturales y 40% de pasturas, y un stock de 300 animales totales. Las emisiones de GEI serían aproximadamente 900 t $\text{CO}_2\text{e/año}$ o 1,7 t $\text{CO}_2\text{e/ha.año}$. Se analiza un escenario donde se supone que la compensación de emisiones sería únicamente mediante el incremento del Carbono en el suelo. Transformando los indicadores de emisiones, 1,7 t $\text{CO}_2\text{e/ha.año}$ equivalen a 0,47 t C/ha.año. De acuerdo a los datos de (Berhongaray et al., 2013) dónde la existencia promedio en la cuenca del salado de Carbono en el suelo es de 20 t C/ha, con una densidad aparente promedio de 1,15 g/cm^3 nos daría una masa de suelo de 2.000 t/ha donde el Carbono representa el 0,9%. En este escenario, incrementar 0,47 t C/ha.año en las existencias de 20 t C/ha representa un 2,3%.

¿Es posible incrementar un 2,3% el C por ha por año de un suelo? Haciendo un paralelismo con el trabajo de Álvarez (Alvarez et al., 2020) donde pone en cuestionamiento incrementos de 6 a 7 t C/ha en 12 años validados por otros autores, infiriendo el desafío del aumento del 0,8 al 1,0% anual en el perfil 0-50 cm. En este ejemplo con un incremento del 2,3% anual, si se utiliza el mismo período de 12 años se acumularían 5,59 t C/ha. Situación que parece poco probable basados en los supuestos expuestos. Es decir que, en este simulacro de empresa ganadera, el carbono necesario para alcanzar la neutralidad o balance cero, no podría ser obtenido

exclusivamente por la gestión de la salud del suelo. Podría articularse con otras medidas como, por ejemplo, forestación de servicio ecosistémico (sombra, biodiversidad, balance hídrico, etc.).

7.5 Desafíos

Existen dos desafíos importantes para el productor ganadero en la temática de COS

- La medición de COS en el establecimiento
- Qué gestión del sistema beneficia al incremento del COS

La medición de COS en los establecimientos requiere de paciencia dado que la dinámica de cambios del suelo lleva varios años. Por otro lado, realizar una primera medición de base es un requisito y se estima un valor de 40 a 50 dólares por sitio de muestreo. Dado que hasta el momento no se requirió del dato de campo de características químicas de los suelos con recursos naturales, los datos son muy pocos y hasta inexistentes en algunas zonas del país. Esta situación es claramente diferente en los suelos agrícolas, donde los muestreos pre siembra son frecuentes para conocer la necesidad de fertilización con resultados positivos en los rindes de los cultivos. Por lo tanto, hoy en día el primer desafío para un productor ganadero es medir.

Para medir se debe precisar la metodología. FAO (en su manual de suelos) sugiere realizar las mediciones de COS en un perfil de 0-30 cm, que podrían clasificarse en 0-5 cm, 5-10 cm y 10-30 cm (FAO, 2020). Sin embargo es costumbre en Argentina realizar estas mediciones en el ambiente agrícola de 0-20 cm (INTA, 2017). Sin embargo para relevar el COS en suelos se ha publicado recientemente un protocolo que establece el perfil en 0-30 cm (INTA, 2023).

La precisión de las mediciones es el siguiente escollo. El muestreo es el siguiente tema para abordar, que en general no está desarrollado en ninguna guía ni protocolo. Requiere de un experto a campo que determine la cantidad de muestras necesarias para que los análisis de laboratorios sean significativos y representativos de la situación de campo. Para dar un ejemplo, un establecimiento de 100 ha de la Pampa Ondulada con suelos Argiudoles Típicos con historial de lotes agrícolas necesitaría por cada muestra que se envía al laboratorio alrededor de 10 a 12 submuestras por hectárea (Alvarez et al., 2008). En el estudio se trabajó solo con un perfil de 0-30 cm, pero de querer hacer 0-10, 10-30 cm se estaría duplicando el submuestreo. Por cada hectárea se envía una sola muestra compuesta (mezcla de las 10 a 12 submuestras). Es decir, de aprox. 100 submuestras realizadas, se envían aprox. 10 al laboratorio (o el doble en caso de clasificar el perfil). Al incrementar la cantidad de hectáreas no se incrementan las submuestras en forma directa. Sin embargo, en suelos ganaderos la complejidad es mayor. No hay un manejo homogéneo como en la agricultura, por lo que no hay mucha experiencia de la cantidad necesaria de submuestras que se deben desarrollar para no cometer errores groseros.

Claramente en este panorama de complejidad de la dinámica de los suelos con el sistema ganadero poder saber qué manejos serían los acordes es un gran interrogante. Por el momento es solo un modelo parcial el que puede acompañar a un productor que realiza un cambio en su manejo. Basado en planificación forrajera, en el relevamiento de especies patrón que permitan entender la salud del forraje y en el manejo animal se podría encontrar un modelo productivo beneficioso para los suelos. Si está en claro qué no se debería hacer, excesos de pastoreo por altas cargas, pocos apotreramientos que no permitan gestionar el forraje, descansos excesivamente largos de los forrajes también podría ser contraproducentes y por último no medir el COS para tener una referencia del momento inicial o de referencia.

8 Nuevas tecnologías

El relevamiento de COS en el mundo se basa en mediciones a campo. Hasta el momento no hay tecnología lo suficientemente probada o calibrada para prescindir de las mediciones. Existen modelos matemáticos que tienen avances prometedores, entre ellos el Rothamsted Carbon Model (RothC), Steady State (Ogle and Paustian, 2005) y AMG (Andriulo et al., 1999) pero que aún no cuentan para Argentina con suficiente información para estimar COS en Suelos Ganaderos. Vale la aclaración de que el modelo AMG (por ejemplo) ajusta muy bien para suelos bajo sistemas de agricultura para las zonas pampeanas húmedas.

Los sensores remotos son muy promisorios para estimar SOC. Entre sensores remotos existe las tecnologías de imágenes y de radares. Ambas son utilizadas para el desarrollo de los mapas de suelos de una región o país (Gaitan et al., 2023). Sin embargo, la escala no alcanza a precisar el contenido de COS a nivel de lote o establecimiento cuando se trata de suelos en la actividad ganadera. En cambio para la actividad forestal las estimaciones han dado grandes avances en los últimos años, pudiendo en la actualidad precisar las especies de árboles implantados en un rodal comercial (Hirigoyen et al., 2021). En ganadería solo hubo una experiencia positiva en la transacción de Carbono proveniente de los suelos en un caso en Australia que utilizó la metodología de sensores remotos. La metodología es abierta y conocida en Argentina (Baldassini et al., 2022) y se pudo utilizar gracias a la cantidad suficiente de muestreos de suelos en el tiempo que tenía el establecimiento (Beef Central, 2021).

Como reflexión, la solución podría venir de la mano de todas las herramientas en conjunto. En un reciente trabajo científico se retoma el énfasis que por el momento (próximos años) será vital la necesidad de continuar midiendo (muestreando) los suelos (Garsia et al., 2023) dado que los modelos matemáticos aún no son lo suficientemente precisos para proyectar Carbono y las tecnologías se encuentran avanzando en precisión espacial.

9 Ganadería certificada

Una certificación es una declaración que realiza una tercera parte independiente, como un organismo de certificación, sobre una norma o estándar, verificando que se cumpla en su totalidad. Se pueden certificar servicios, procesos o productos. En el caso de un productor ganadero, éste puede querer certificar y para ello puede contactar a una empresa certificadora. Para ganadería se están posicionando las certificaciones de bienestar animal y de **Ganadería Carbono Neutra**. En Uruguay una certificadora anunció que ya hay 4 establecimientos Carbono Neutro y en Argentina, utilizando otra metodología diferente, se reportaron 2 casos (ver EPD en esta sección).

¿Es esto posible? Luego de todo lo desarrollado en este documento, se puede afirmar que es posible, pero en ciertas circunstancias (Ver sección El Suelo Ganadero).

¿Cuál podría ser la causa por la cual una certificación de Carbono Neutro no cumpla las expectativas de la ciencia?

La metodología científica posee una estructura de diseño de ensayos y estadísticas, que pueden extrapolarse y aplicar a campo, siempre buscando respetar el “método científico” y disminuir la incertidumbre de los resultados. En una certificación de Carbono Neutro, se verifica que se cumpla el estándar, o sea, dependerá de la exigencia y los requisitos del estándar en cuánto estos estén alineados con el método científico. Por lo tanto, es posible que una certificación Carbono Neutro de una empresa sea un producto comerciable en los mercados de carbono, pero no cumpla con las expectativas del sector científico.

En Argentina se están registrando casos de certificación bajo un estándar europeo, el EPD. **La Declaración Ambiental de Producto (en inglés EPD)** es un documento verificado y registrado por terceras partes independientes que comunica de manera voluntaria información objetiva y comparable sobre el impacto ambiental de un producto o servicio durante su ciclo de vida, de conformidad con la norma ISO 14025. Este estándar contempla el uso de 7 indicadores ambientales, de los cuales en el sector agropecuario solo está familiarizado con el indicador de Cambio Climático o GEI (*Argentina EPD*, n.d.). Bajo este estándar actualmente se registraron dos empresas ganaderas que reportan ser Carbono Neutro, una con un secuestro de 0,12 kg CO_{2e}/kg PV y la otra 1,77 kg CO_{2e}/kg PV.

10 Hoja de ruta para el productor Ganadero

A modo de orientación se identifica a continuación qué sería aconsejable para un productor ganadero que está interesado en abordar la temática.

Pasos a seguir:

1. Definir para qué necesita el producto o la empresa abordar la temática. A modo de ejemplo se citan algunas, considerar que la opción b) sería el caso más exigente por requerirse auditorías externas.
 - a. Mejora del COS para el sistema
 - b. Certificación para acceder a Mercados de Carbono
 - c. Mejora en la productividad forrajera
 - d. Enriquecimiento del ambiente
2. Listar criterios de manejo del sistema ganadero que se hacen y cuáles no. A continuación, alguno de los principales
 - a. Pastoreo controlado
 - b. Registros de productividad ganadera
 - c. Medición de producción forrajera
 - d. Planificación Forrajera
 - e. Sanidad animal
3. Caracterizar el/los ambientes donde se podría considerar trabajar en COS
4. Iniciar el relevamiento de COS según el protocolo que ajuste mejor al ítem 1)

11 Conclusiones

En este trabajo se desarrollaron conceptos relacionados a la Ganadería y las acciones de Adaptación y Mitigación al Cambio Climático. Se realizó una extensa revisión bibliográfica con sustento científico enfocada en el Carbono Orgánico de los Suelos, en interacción con la producción ganadera.

De los resultados científicos obtenidos se evidencia que, si bien hay cada vez más entendimiento de los procesos biológicos, aún no hay tendencias que permitan afirmar si la actividad ganadera estaría en condiciones de alcanzar la Carbono Neutralidad. La principal limitante en este aspecto es el relevamiento a campo mediante muestreos de suelos, donde aún las tecnologías más avanzadas, dependen del resultado de campo. El proceso de medición es complejo y los valores varían a lo largo del tiempo, con lo cual se necesita esperar de 5 a 10 años de mínima para tener resultado.

La reducción de emisiones en la Ganadería es posible y existe vasta evidencia científica respaldando los resultados benéficos en la adopción de los procesos e insumos. La adopción de éstos es el desafío y en general no hay políticas Nacionales que generen los incentivos adecuados en esta línea. Sumado a los contextos nacionales de incertidumbre en la comercialización de la carne, que tampoco fomenta a encarar cambios de mediano a largo plazo.

Con este trabajo esperamos contribuir al público a informarse de las diferentes áreas temáticas relacionadas a la ganadería y el cambio climático.

12 Referencias bibliográficas

- Allen, M. R., Shine, K. P., Fuglestvedt, J. S., Millar, R. J., & Cain, M. (2018). A solution to the misrepresentations of CO₂-equivalent emissions of short-lived climate pollutants under ambitious mitigation. *Climate and Atmospheric Science*, 16(February), 1–8. <https://doi.org/10.1038/s41612-018-0026-8>
- Andriulo, A., Mary, B., Guerif, J. (1999). Modelling soil carbon dynamics with various cropping sequences on the rolling pampas. *Agronomie*, 19:365–377. <https://doi.org/10.1051/agro:19990504>
- Alvarez, R., Berhongaray, G., & Gimenez, A. (2020). Are grassland soils of the pampas sequestering carbon? *Science of the Total Environment*, xxx, 142978. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142978>
- Alvarez, R., Steinbach, H. S., & Bauschen, B. (2008). ¿Cuántas submuestras de suelo hay que tomar para caracterizar la fertilidad de un lote en la Pampa Ondulada? *Informaciones Agronómicas*, 3(37), 17–19. <https://fertilizar.org.ar/wp-content/uploads/2008/03/4.pdf>
- Argentina EPD. (n.d.). <https://epd.inti.gob.ar/>
- Baldassini, P., Baethgen, W., Camba Sans, G., Quincke, A., Pravia, M. V., Terra, J., Macedo, I., Piñeiro, G., & Paruelo, J. (2022). Carbon stocks and potential sequestration of Uruguayan soils . A road map to a comprehensive characterization of temporal and spatial changes to assess Carbon footprint. *En Revision*, 1–23.
- Beef Central, 2021. Aus cattle company makes global carbon credit sale to Microsoft. Consultado en Septiembre 2023. Link: <https://www.beefcentral.com/news/aus-cattle-company-makes-global-carbon-credit-sale-to-microsoft/>
- Berhongaray, G., Alvarez, R., Paepe, D., Caride, C., & Cantet, R. (2013). *Geoderma Land use effects on soil carbon in the Argentine Pampas*. 192, 97–110. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.07.016>
- Burleigh Dodds Science Publishing, 2023. Understanding and fostering soil carbon sequestration, pp.523–554, Cambridge, UK, 2023, (ISBN: 978 1 78676 969 5; www.bdspublishing.com).
- Cain, M., Lynch, J., Allen, M. R., & Fuglestvedt, J. S. (2019). Improved calculation of warming-equivalent emissions for short-lived climate pollutants. *Npj Climate and Atmospheric Science*, March. <https://doi.org/10.1038/s41612-019-0086-4>
- CATF (2024). The Case for Action on Tropospheric Ozone. <https://www.catf.us/resource/the-case-for-action-on-tropospheric-ozone/FAO>. (2020). *GSOC-MRV Protocol* (Issue June).
- CATF (2021). Global Methane Assessment. <https://www.ccacoalition.org/resources/global-methane-assessment-full-report>
- CIMA, 2015. Cambio climático en Argentina; tendencias y proyecciones. Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera. Link: http://3cn.cima.fcen.uba.ar/3cn_informe.php
- Feldkamp, C., Cañada, P., & Vázquez-Amábile, G. (2019). Approximation to the carbon footprint of bovine meat in Argentina Contenido. *Revista Argentina de Producción Animal*, 39(2), 113–131. <http://www.aapa.org.ar/rapa/39-2.html>
- Gaitan, J., Wingeyer, A., & Peri, P. L. (2023). *Mapa de almacenamiento de C en los suelos de la República Argentina*. April.
- Garsia, A., Moinet, A., Vazquez, C., Creamer, R. E., & Moinet, G. Y. K. (2023). The challenge of selecting an appropriate soil organic carbon simulation model : A comprehensive global review and validation assessment. *Soil Biology Group, Wageningen University, June*, 5760–5774. <https://doi.org/10.1111/gcb.16896>

- Hirigoyen, A., Varela, B. C., Cellini, J. M., & Achinelli, F. G. (2021). Selección de modelos hipsométricos locales y generales para *Eucalyptus globulus* en macizos del sudeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina. *SEDICI*, 120(02). <https://doi.org/https://doi.org/10.24215/16699513e077>
- IERAL and Fundación Mediterránea (2023) https://www.ieral.org/images_db/noticias_archivos/4676-Documento%20de%20trabajo.pdf
- INTA. (2017). *Manual de indicadores de calidad del suelo para las ecorregiones de Argentina*.
- INTA. (2023). *Protocolo de muestreo de suelos para el mapeo de las reservas de carbono orgánico del suelo*.
- IPCC. (2019). *Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems* (J. M. P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M (Ed.)). Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA,. <https://doi.org/10.1017/9781009157988>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2023). *Quinto Informe Bienal de Actualización a la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC)*. 392. [https://unfccc.int/sites/default/files/resource/5to Informe Bienal de Actualización de la República Argentina.pdf?download](https://unfccc.int/sites/default/files/resource/5to%20Informe%20Bienal%20de%20Actualizaci%C3%B3n%20de%20la%20Rep%C3%BAblica%20Argentina.pdf?download)
- Mitloehner, Frank M; Kebreab, E. (2020). *CLEAR Center 1103*. https://clear.ucdavis.edu/sites/g/files/dgvnsk7876/files/inline-files/CLEAR-Center-Methane-Cows-Climate-Change-Sep-2-20_7.pdf
- Mosier, S., Apfelbaum, S., Byck, P., Calderon, F., Teague, R., Thompson, R., & Cotrufo, M. F. (2021). Adaptive multipaddock grazing enhances soil carbon and nitrogen stocks and stabilization through mineral association in southeastern U . S . grazing lands. *Journal of Environmental Management*, 288(February), 112409. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112409>
- Mosier, S., Cotrufo, M. F., Apfelbaum, S., Byck, P., & Ippolito, J. (2022). Improvements in soil properties under adaptive multipaddock grazing relative to conventional grazing. *Agronomy Journal*, January, 2584–2597. <https://doi.org/10.1002/agj2.21135>
- NASA, 2023. Julio de 2023 fue el mes mas caluroso registrado. Instituto Goddard de Estudios Espaciales de la NASA. Consultado: 11 de septiembre 2023. Link: <https://www.nasa.gov/nasa.gov/press-release/julio-de-2023-fue-el-mes-mas-caluroso-registrado>
- NOAA, 2023. Trends in atmospheric Carbon Dioxide. National Oceanic and Atmospheric Administration. Link: <https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/mlo.html>
- Ogle, Stephen & Paustian, Keith. (2005). Soil organic carbon as an indicator of environmental quality at the national scale: Inventory monitoring methods and policy relevance. *Canadian Journal of Soil Science*. 85. 531-540. 10.4141/S04-087.
- UCD, 2020. Methane, Cows, and Climate Change: California Dairy’s Path to Climate Neutrality. Clarity and Leadership for Environmental Awareness and Research Center University of California, Davis.
- United Nations. The ocean – the world’s greatest ally against climate change. <https://www.un.org/en/climatechange/science/climate-issues/ocean>
- Viglizzo, E. F., Ricard, M. F., Taboada, M. A., & Vázquez-Amábile, G. (2019). Reassessing the role of grazing lands in carbon-balance estimations: Meta-analysis and review. *Science of The Total Environment*, 661, 531–542. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2019.01.130>

- Villarino, S. H., Pinto, P., Della Chiesa, T., Jobbágy, E. G., Studdert, G. A., Bazzoni, B., Conti, G., Rufino, M., Álvarez, R., Boddey, R., Bayer, C., Paulo, P. C., Fernández, R. J., Lattanzi, F. A., Oesterheld, M., Oyhantçabal, W., Paruelo, J. M., Pravia, V., & Piñeiro, G. (2020). The role of South American grazing lands in mitigating greenhouse gas emissions. A reply to: "Reassessing the role of grazing lands in carbon-balance estimations: Meta-analysis and review", by Viglizzo et al., (2019). *Science of the Total Environment*, 740. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140108>
- WRI, 2020. By gas: how much does each contribute to total greenhouse gas emissions?. Climate Watch. World Research Institute. Link: <https://ourworldindata.org/greenhouse-gas-emissions>
- Yang, Y., Tilman, D., Furey, G., & Lehman, C. (2019). Soil carbon sequestration accelerated by restoration of grassland biodiversity. *Nature Communications*, 10(1), 1–7. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-08636-w>