

Factores de emisión y coeficientes para estudios de
HUELLA DE CARBONO en Uruguay:
SECTOR GANADERO

Manual de consulta



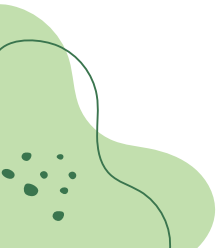


Factores de emisión y coeficientes para estudios de

HUELLA DE CARBONO en Uruguay:

SECTOR GANADERO

Manual de consulta





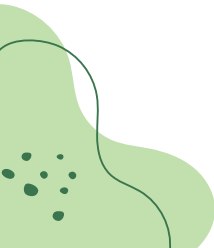
©2022, INIA

Edición Especial

ISBN: 978-9974-38-474-3

e-ISBN: 978-9974-38-473-6

Editado por la Unidad de Comunicación y Transferencia de Tecnología del INIA
Avda. Italia 6201, Edificio Los Guayabos, Parque Tecnológico del LATU, Montevideo,
Uruguay. <http://www.inia.uy>



Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria

Integración de la Junta Directiva

Ing. Agr. José Bonica - Presidente

Ing. Agr. Walter Baethgen - Vicepresidente



Ministerio
**de Ganadería,
Agricultura y Pesca**

Ing. Agr. Rafael Secco

Ing. Agr. Martín Gortari



Ing. Agr. Alberto Bozzo

Ing. Agr. Alejandro Henry



Equipo de trabajo INIA

Autor:

- Ing. Agr. (MSc.) Gonzalo Becoña (Coordinador Técnicos/as Sectoriales, Unidad de Comunicación y Transferencia de Tecnología).

Colaboradores:

- Ing. Agr. (MSc. Ph.D.) Verónica S. Ciganda (Directora del Programa de Investigación en Producción y Sustentabilidad Ambiental)

- Ing. Agr. (MSc.) Robin Cuadro López (Programa de Investigación en Pasturas y Forrajes)

- Ing. Agr. (MSc. Ph.D.) Rodrigo Zarza (Programa de Investigación en Pasturas y Forrajes)

- Ing. Alim. Irene Purtscher (Coordinadora de Laboratorios INIA La Estanzuela)

- Apoyo editorial por el equipo de la Unidad de Comunicación y Transferencia de Tecnología (UCTT)

Proceso revisado por el Ing. Agr. (MSc. Ph.D.) Walter Baethgen (Vicepresidente de INIA)

CONTENIDO

1. RESUMEN	8
2. INTRODUCCIÓN	9
3. ALCANCE DEL MANUAL	11
4. METODOLOGÍA DE ESTIMACIÓN	13
4.1. Metano	15
4.1.1. Fermentación ruminal	15
4.1.2. Gestión de estiércol	22
4.2. Óxido Nitroso	23
4.3. Dióxido de Carbono	28
4.4. Factores de emisión de GEI utilizados para otros insumos	29
5. BIBLIOGRAFÍA	32

1. RESUMEN

Un aspecto fundamental para lograr mayor exactitud en la cuantificación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en la producción ganadera, es contar con información específica del sistema de producción (categorías de animales, alimentación, insumos, etc.) y sobre los recursos utilizados en el mismo. Estos aspectos son determinantes en el momento de relacionar actividades dentro del sistema productivo con sus implicancias en las emisiones de GEI.

En el presente manual de consulta, INIA pone a disposición diferentes resultados obtenidos a nivel de investigación nacional con relación a factores de emisión aplicables en nuestras condiciones de producción, así como información específica en cantidad y calidad de diversas fuentes forrajeras utilizada en nuestros sistemas productivos.

Esta primera versión del manual agrupó la información existente y permitió identificar posibles brechas de información. Pero sobre todo, marca un punto de inflexión en hacer disponible un bien público a diversos usuarios que permite darle mayor robustez y representatividad a las estimaciones de emisiones de GEI para el beneficio de la producción agropecuaria nacional.



Foto: Martín Weiszman

Figura 1 - Sistema de producción ganadera al aire libre típico de nuestra ganadería. Pastoreo de novillos Braford sobre Festuca Rizar, departamento de Artigas.

2. INTRODUCCIÓN

La creciente preocupación internacional por el calentamiento de la Tierra, el cambio climático y sus consecuencias, ha generado la necesidad de cuantificar las emisiones de GEI y desarrollar medidas para reducirlas. El concepto de huella de carbono (HC) nace como un indicador reconocido internacionalmente, para comprender la dinámica de las emisiones de GEI, que son liberados a la atmósfera por efecto directo o indirecto de las actividades humanas —producción o consumo de bienes y servicios— y por lo tanto el impacto que provocan dichas actividades en el ambiente.

La HC permite medir las emisiones de GEI, identificar vías de control o reducción de las mismas y estimar sus impactos. De esta manera, la HC es un indicador objetivo a tener en cuenta en la toma de decisiones de aquellos individuos, empresas o naciones, que se proponen contribuir a la concientización ciudadana de prácticas más sostenibles y de responsabilidad social.

La medición de la HC puede, además, abrir oportunidades para nuevos negocios. La creciente preocupación de algunos consumidores, especialmente en países industrializados, acerca de los problemas causados por el cambio climático, está comenzando a generar nichos de mercado con un potencial beneficio en el precio para quienes suministren productos o servicios con emisiones nulas (productos neutralizados), como por ejemplo la “carne carbono neutral”.

Las características del sistema en estudio, y los procesos que ocurren dentro del mismo, definirán las emisiones y capturas de GEI generadas en cada proceso, permitiendo calcular la HC del sistema en su globalidad.

La medición de la HC en la ganadería, con bajos niveles de incertidumbre, requiere conocer información precisa del sistema en estudio, por ejemplo: uso del suelo, cantidad de animales por categoría, tipo y calidad de la alimentación suministrada, cantidad y fuente de energía utilizada, insumos utilizados de origen externo al sistema, etc.



Figura 2 - Imagen de etiquetado de distintos productos agropecuarios haciendo mención a atributos relacionados a emisiones de gases de efecto invernadero, entre los cuales se destaca huella de carbono y carbono neutralidad.

Fotos: Internet

A su vez, la obtención de una HC representativa y ajustada al sector ganadero nacional, requiere incluir en su cálculo información específica para el país, que garantice la utilización de factores de emisión y coeficientes validados en su territorio.

En este sentido, si bien hay certezas de que se puede secuestrar carbono en el suelo por distintas vías (por ejemplo: forestación, manejo de pasturas), su cuantificación presenta algunas incertidumbres sobre las que la investigación nacional está trabajando. Por tal motivo, en esta versión del manual no se incluye información sobre secuestro de carbono en diferentes situaciones, pero sí será incluida en próximas versiones.

Sin perjuicio de esto, desde ya hace varios años, INIA y la investigación nacional han trabajado en el desarrollo y validación de factores de emisión y de coeficientes. A través de este documento, ponemos a disposición de especialistas, técnicos y tomadores de decisión, información basada en ciencia nacional para que pueda ser utilizada en estimaciones de emisiones GEI de sistemas ganaderos.

3. ALCANCE DEL MANUAL

La Huella de Carbono, es un indicador reconocido internacionalmente para comprender la dinámica de los GEI en los procesos productivos, y en el consumo de bienes y servicios de los seres humanos (Schneider & Samaniego, 2010). Si bien existen varias definiciones para HC, la más adecuada refiere a “emisiones totales de gases de efecto invernadero (expresada como CO₂-equivalente) de una unidad de producto a través de todo su ciclo de vida, desde la producción de materias primas hasta la disposición del producto terminado”. En productos agropecuarios, al menos un 70 % de la HC se genera por procesos desarrollados dentro de la explotación, hasta la “puerta del establecimiento” (Becoña et al., 2013, Ledgard et al., 2011). Esto es un aspecto clave para entender la dinámica en las emisiones ya que representa una oportunidad para identificar potenciales vías de reducir las emisiones.

Análisis del ciclo de la vida



Figura 3 - Diagrama que hace alusión a lo que comprende un análisis de ciclo de vida GEI de la carne (huella de carbono) de exportación. Si bien el sistema productivo explica la mayor parte de las emisiones GEI, los procesos previos (relacionado a insumos) y posteriores (faena, procesamiento y transporte) influyen en la huella de carbono.

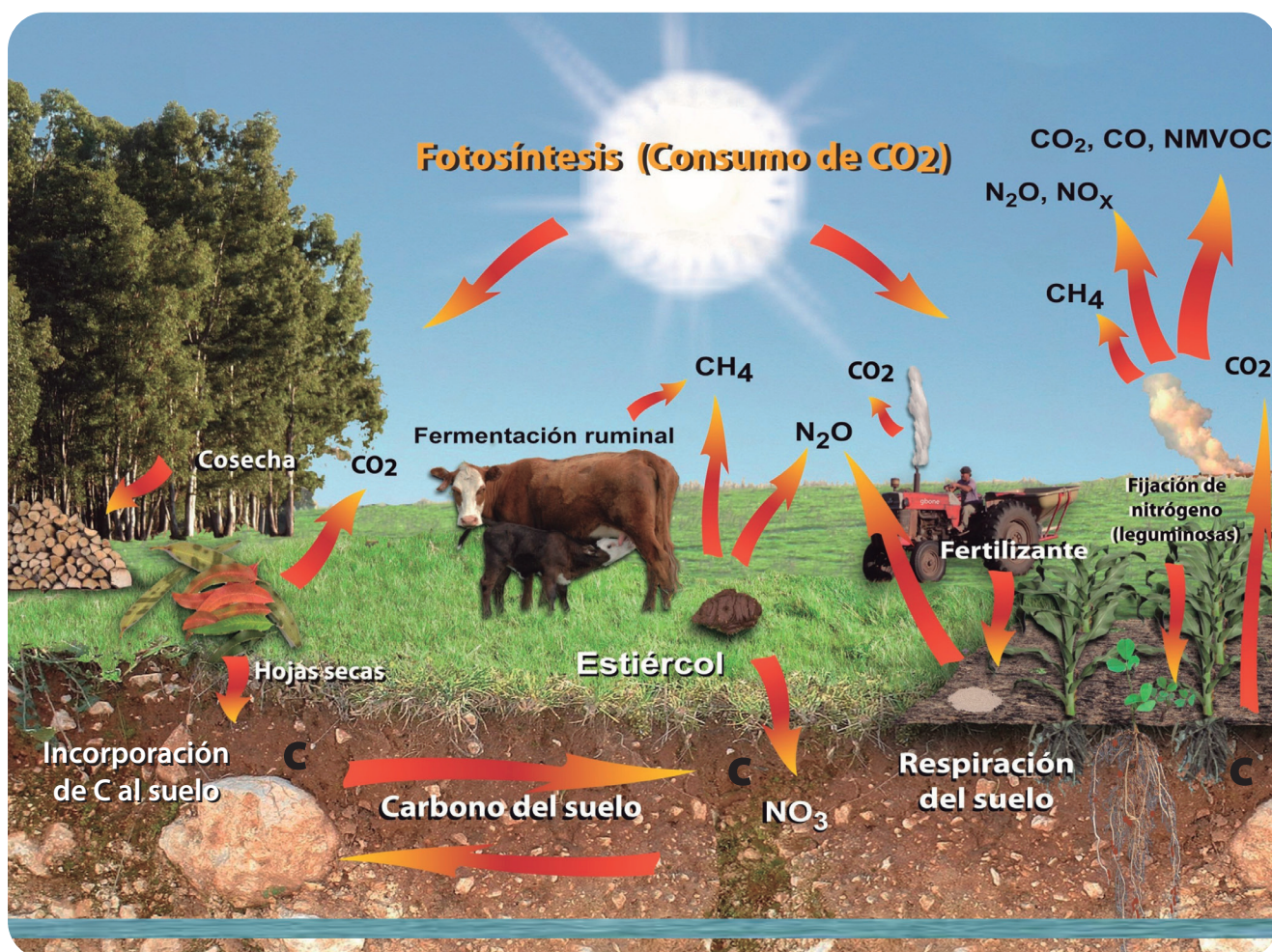
La medición y cuantificación analítica de las emisiones en un sistema de producción es un proceso dificultoso y poco práctico para llevar adelante. Sin embargo, en base a resultados generados desde la ciencia, existen recomendaciones y metodologías internacionales que permiten lograr buenas estimaciones de las mismas.

La metodología de cálculo “Guía de trabajo publicada por IPCC (2006)”, es una metodología desarrollada para la realización de inventarios nacionales de GEI por mandato de la Convención Marco de las Naciones Unidas en Cambio Climático (UNFCCC) (IPCC, 2006). Estas directrices son las recomendadas a nivel internacional por diferentes entidades (ej: FAO, IDF) y así se establecen en la iniciativa “LEAP” de múltiples partes interesadas que busca mejorar la sostenibilidad ambiental de la producción animal a través de métodos, métricas y datos armonizados (FAO, 2018).

Según las recomendaciones del IPCC (2006) se establecen 3 Niveles (o Tier en inglés) de estimaciones para las emisiones GEI, lo que representa tres niveles de complejidad metodológica. El Nivel 1 es el método básico, el Nivel 2, el intermedio, y el Nivel 3 es el más exigente en cuanto a la complejidad y a los requisitos de los datos. A veces se denominan a los niveles 2 y 3, métodos de nivel superior y se los suele considerar más exactos. El Nivel 1 se utiliza para aquellos casos en los que se tiene poca información nacional de coeficientes o factores de emisión, por lo que se recomienda usar datos por defecto para las estimaciones. En el Nivel 2 se utiliza una mayor cantidad de parámetros y datos nacionales para estimar factores de emisión locales, combinado con datos de actividad propios del país. Finalmente, el Nivel 3 es el más exigente en cuanto a la complejidad y a los requisitos de los datos, parámetros y factores de emisión, los cuales deben ser valores locales específicos. Este último nivel incluye, además, el uso de modelos con datos de actividad más detallados o provenientes de mediciones de emisiones, entre otros.

4. METODOLOGÍA DE ESTIMACIÓN

Los principales gases de efecto invernadero que se emiten en los sistemas de producción ganadera, en orden de relevancia son: metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O) y dióxido de carbono (CO_2). La magnitud de las emisiones depende de factores como: las categorías de los animales, su tamaño, la alimentación, las actividades relacionadas al cambio de uso del suelo, el transporte, el uso de energía, etc. (FAO, 2018).



Elaborado por: G. Boné y G. Becoña

Figura 4 - Diagrama que refleja la dinámica en las emisiones GEI de un sistema de producción ganadera en nuestro país. El énfasis de las emisiones dependerá de su grado de intensificación.

Los GEI tienen un poder de calentamiento diferente entre sí, por lo que para poder unificar criterios y lograr una estimación total de las emisiones de GEI de un sistema productivo, estos se expresan en unidades de CO₂ equivalente. Esto significa que todas las emisiones de cada gas se multiplican por su potencial de calentamiento global (PCG) que es establecido por el IPCC para un horizonte de tiempo de 100 años. Según el último informe del IPCC (AR6) se reporta que en el CO₂ es 1, CH₄ es 27,2 y N₂O es 273 (Tabla 1).

Tabla 1. Potencial de calentamiento global para CO₂, CH₄ y N₂O según el 6to Reporte del IPCC (AR6) y los valores definidos para reportes anteriores con su año de publicación (AR4 y AR5).

Greenhouse Gas	100 Year Time Period			20 Year Time Period		
	AR4 2007	AR5 2014	AR6 2021	AR4 2007	AR5 2014	AR6 2021
CO ₂	1	1	1	1	1	1
CH ₄ fossil origin	25	28	29.8	72	84	82.5
CH ₄ non fossil origin			27.2			80.8
N ₂ O	298	265	273	289	264	273

Las emisiones totales de gases de efecto invernadero en cualquier sistema de producción se estiman con la siguiente fórmula:

$$\text{Emisión total de GEI} = \sum \text{PCG} \times m$$

Donde m es la masa en kg emitida de cada gas.

En las siguientes secciones de este documento se presenta el método para cuantificar las emisiones de cada uno de los GEI y la información nacional de calidad de dieta y factores de emisión que pueden ser incluidos para la estimación de emisiones en condiciones nacionales. Así mismo, se presenta una sección donde se expresa la carga ambiental en términos de emisiones GEI de insumos que son utilizados en el sistema de producción ganadera y deben ser incluidos en las estimaciones.

4.1. Metano

La producción ganadera presenta: (a) emisiones de metano resultante de la fermentación entérica en el rumen de los animales, y (b) emisiones de metano y de óxido nitroso de los sistemas de gestión del estiércol del ganado. En general la mayor parte de las emisiones de metano en vacunos y ovinos proviene de la fermentación entérica en su sistema digestivo, y las emisiones de metano producidas por la gestión del estiércol tienden a ser comparativamente menores.

4.1.1. Fermentación ruminal

El metano se produce en los herbívoros como subproducto de uno de los procesos productivos, que es la fermentación entérica. La cantidad de metano que se libera depende del tipo de tracto digestivo, la edad y el peso del animal, así como de la calidad y la cantidad del alimento consumido. Los rumiantes (ej., vacunos, ovinos) emiten considerablemente más metano que los no rumiantes (ej., porcinos, equinos). El sistema digestivo de los rumiantes permite que la fibra del alimento consumido se digiera en uno de sus compartimentos (el rumen) a través de la fermentación entérica.



Foto: Juan Clariget

Figura 5 - Trabajo de investigación nacional, en el que se busca medir emisiones de metano en novillos en fase de terminación alimentados con dietas contrastantes en los niveles de fibra.

La estimación de las emisiones de metano se calcula a través de la siguiente ecuación:

$$\text{Kg CH}_4 / \text{animal} / \text{año} = (\text{EB} \times \text{Ym} \times 365 \text{ días}) / (55.65 \text{ MJ/kg CH}_4)$$

donde EB es la energía bruta consumida (EB) y Ym es la proporción de esa energía que se pierde como metano.

La proporción de energía de los alimentos que se convierte en CH₄ depende de varios factores que tienen que ver con la alimentación y con factores relacionados a los animales. La energía bruta consumida se relaciona con la digestibilidad de los alimentos consumidos, que es un factor determinante. En general, cuando la alimentación suministrada es de alta calidad (i.e. elevada digestibilidad y elevados valores de energía), las emisiones son menores que en casos de alimentos de baja digestibilidad y bajos valores de energía.

En nuestro país, la calidad de la dieta de animales que consumen pasturas es muy variable a lo largo del año en cuanto a cantidad y calidad, debido a la variabilidad de los recursos forrajeros, el efecto del clima sobre las pasturas, y el grado de intensificación de los sistemas. Estos son aspectos muy importantes que determinan variaciones en las estimaciones de las emisiones y que deben ser tomados en cuenta para el cálculo de las emisiones.





Figura 6 – A) Pasturas de calidad con alta digestibilidad (*Festulolium* INIA Merlín) manejadas en franja; se aumenta la eficiencia de cosecha de forraje y se reducen emisiones GEI. B) Mejoramiento de pasturas naturales con leguminosas, otra alternativa disponible para mejorar calidad de pasturas y así contribuir a mejorar ganancias de peso y reducir emisiones de metano (censo de composición botánica sobre un mejoramiento de campo con leguminosas, en el marco de la Red de evaluación participativa de forrajeras INIA). C) Los verdeos, en este caso Raigrás anual Cambará, son utilizados estratégicamente para mejorar la performance productiva animal y así posibilitar menores huellas de carbono (medición de materia seca en establecimiento ganadero). D) El campo natural, principal fuente forrajera de nuestros sistemas ganaderos; manejos que permitan mantener buena disponibilidad durante todo el año favorecen la estabilidad y mejoran la producción impactando directamente en la reducción de emisiones GEI.

A continuación, en las tablas 2, 3 y 4 se presenta información proveniente de investigación nacional de diversas fuentes de alimentación forrajera que contribuyen a reducir la incertidumbre en la estimación del consumo de energía bruta.

Tabla 2. Información de productividad anual y estacional (kg MS/ha), digestibilidad (%) y proteína cruda (%) para distintas fuentes de alimentación forrajera en base a campo natural, campo natural mejorado y campo natural fertilizado, para distintas regiones del Uruguay.

		Productividad	Distribución estacional				Digestibilidad	Proteína cruda
		Kg MS/ha	ver	oto	inv	pri	%	%
Basalto	CN sup rojo	2499	654	611	444	790	52,6	9,6
	CN sup negro	3802	766	980	730	1327	52,6	9,8
	CN profundo	4580	1511	985	692	1393	58,3	9,2
	CN + NP	6456	2150	1388	975	1943	55,5	10,6
	CN + TB	5300	954	1272	848	2226	61,5	13,1
	CN + LR	5532	1150	750	1389	2243	63,1	12,2
	CN + LC	6250	2188	1360	794	1908	62,2	19,0
	CN + LT	6659	2026	1736	1270	1627	63,3	10,0
	CN + L INIA Basalto	8109	2151	1080	1548	3330	60,1	15,2
	CN + LM	7233	2553	1759	1252	1669	64,0	15,0
Lomadas del este	CN	3425	1206	878	364	978	53,5	8,7
	CN + LC	5668	1872	1360	226	2210	57,6	12,3
	CN + TB	6901	2622	966	898	2415		
	CN + LM	5604	2127	810	861	1806		
	CN + LR	5200	1335	655	393	2817		
Sierras del este	CN	1306	494	350	98	364		
	CN + LM	7594	2810	1139	950	2695		
	CN + TB	4419	1105	1016	398	1900		
	CN + LR	7325	733	1465	1831	3296		
Bañado de Oro	CN	1168	409	155	145	459		
	CN + LC + TB	4150						
Cristalino	CN	4350	1305	870	609	1566	60,4	9,5
	CN + TB + LC	7658	2318	1577	1058	2705	64,2	13,2
	CN + LR	7179	1872	1554	899	2854	63,3	12,4
	CN + LM	8258	1817	1239	1734	3468	67,5	18,5
Areniscas	CN (Cuchillas)	5140	2495	675	370	1600		
	CN + LC	9810	2898	1118	1072	4722		
	CN (Bajos)	5504	691	336	2024	2453		
	CN + LM	9400	2500	1800	1900	3200	58,5	15,2
Litoral W	CN (Ladera)	3645	1061	871	450	1263		
	CN (zona baja)	3618	1080	955	623	960		
	CN + LM	10585					58,5	15,2
	CN + LR	7300						
Brunosoles del NE	CN	5450	981	1308	872	2289	55,8	8,9
	CN + LC	8877	2092	1072	1613	4100	63,0	15,2
	CN + TB	6993	1259	1678	1119	2937	54,6	12,3
	CN + LR	7576	830	876	2000	3870	55,7	16,4
	CN + LM	6133	830	1229	1424	2650	52,3	15,9

CN: Campo Natural, NP: Nitrógeno y Fósforo, TB: Trébol Blanco, LC: Lotus Corniculatus, LR: Lotus Rincón, LM: Lotus Maku.

Tabla 3. Información de productividad anual y estacional (kg MS/ha), digestibilidad (%) y proteína cruda (%) para distintas fuentes de alimentación forrajera en base a mezclas forrajeras, para distintas regiones del Uruguay.

	Composición de especies	Productividad	Distribución estacional				Digestibilidad	Proteína cruda
		Kg MS/ha	ver	oto	inv	pri	%	%
Basalto	FES	7800	1014	2106	1660	3020	63,0	18,1
	FES+TB+LC	9870	1280	2040	2450	4100	60,2	23,5
	DAC+TB+LC	7500	1500	1200	1200	3600		
	RG+TB+LC	7400	1700	900	2100	2700		
Llanuras del este	FES+TB+LC	7500	975	2025	1500	3000	63,0	18,1
	RG+TB+LC	5500	550	1485	1100	2365		
	RG+TR	5200	884	1040	1040	2236		
Cristalino y lomadas del este	FES	10950	2700	2100	2550	3600	62,3	12,6
	FES+TB+LC	9630	1444	2600	1926	3659	60,1	15,2
	HOL+TB+LC	8731	2229	1532	2400	2570		
	CEB+TR	8733	1800	1170	2219	3544		
	RG+LR+LM	10530	3317	1369	1948	3896		
Areniscas	HOL+TB+LO	4600						
	RG+TB+LO	7538	2800	1138	1313	2287	72,7	17,4
	HOL	6764	1557	902	2685	1620	75,4	
Litoral W	FES	7250	920	1690	1958	2683	63,0	18,1
	FES+TB+LC	11770	2119	2472	2001	5179		18,5
	DAC+TB+LC	11160	3013	2902	1339	3906		17,8
	RG+TB+LC	10857	1629	1954	2714	4560		17,4
	CEB+TR	12040	2288	1806	2528	5418		17,3
	AA+TR	11600	3248	1508	1972	4872		15,7
Sur lechero	FES	7270	970	2000	1500	2800		16,8
	DAC	7550	1250	1800	1700	2800		24,5
	FES+TB+LC	9800	1950	2000	1950	3900		18,5
	DAC+TB+LC	9783	1957	1761	1957	4109		17,8
	RG+TB+LC	10971	1646	1975	2743	4608		17,4
	CEB+TR	13592	2582	2039	2854	6116		17,3
	AA	10036	2910	1305	1806	4014		20,8
Noreste	FES+TB+LC	5389	647	1078	1078	2587	60,0	18,5
	DAC+TB+LC	5264	1053	948	1053	2211	62,0	17,8
	RG+TB+LC	9538	1800	1750	2088	3900		17,4
	CEB+TR	5313	1009	797	1116	2391		17,3
	AA+TB+FES	6249	1812	812	1125	2500		20,8

FES: Festuca, DAC: Dactylis, RG: Raigrás, TR: Trébol Rojo, HOL: Holcus, CEB: Cebada, AA: Alfalfa, AV: Avena.

Tabla 4. Información de productividad anual y estacional (kg MS/ha), digestibilidad (%) y proteína cruda (%) para distintas fuentes de alimentación forrajera en base a cultivos forrajeros anuales, para distintas regiones del Uruguay.

	Especie/s	Productividad	Distribución estacional				Digestibilidad	Proteína cruda
		Kg MS/ha	ver	oto	inv	pri	%	%
Basalto	RG	7500		1125	1950	4425	79	18,5
	AV	6800		2176	2992	1632	82	17,5
Lomadas del este	RG	6800		1020	1768	4012		19,8
	AV	5560		1779	2446	1334		17,5
Llanuras del este	RG	4584						19,8
Cristalino	RG	7100		500	2250	4350		19,8
	AV	5850		450	3637	1763		17,5
Areniscas	RG	5243		902	2685	1657		17,4
	HOL	6734		1327	2377	3030		15,6
	AV	4800		1536	2112	1152		
Litoral W	RG	8750		900	3100	4750	75	19,8
	AV	6640		1490	2350	2800	71	17,5
Sur lechero	RG	7200		800	2800	3600		19,8
	AV	6500		1950	2650	1900		17,5

RG: Raigrás, HOL: Holcus, AV: Avena.

La información presentada en las tablas 2,3 y 4 corresponde a un resumen de las productividades promedio de cada alternativa forrajera, sin incluir el año de implantación. En la mayoría de los casos los valores presentados para cada alternativa forrajera, representan un promedio de producción de varios trabajos de investigación. La elaboración de la misma, fue realizada a través de un proceso de revisión bibliográfica, que incluye información nacional publicada por investigadores pertenecientes a diferentes instituciones (Facultad de Agronomía, SUL e INIA).

Tal como fue mencionado anteriormente el Ym (% energía que se pierde como metano) es un factor clave en relación con las emisiones de metano. Dada la importancia del Ym, una parte sustancial de la investigación nacional se ha destinado a mejorar las estimaciones de Ym para diferentes combinaciones de ganado y alimentos.

En el tabla siguiente se presentan valores nacionales de Ym para diferentes categorías animales y dietas, que se recomiendan para estimaciones de emisiones de metano en nuestras condiciones.

Tabla 5. Valores de Ym para vacunos de carne, vacunos de leche y ovinos expresados en %. La Tabla incluye valores en base a resultados de investigación nacional y valores por defecto recomendados por el IPCC.

Tipo de animal	Ym (%)	Observaciones	Fuente
GC (vaq. Hereford)	7,90 +/- 1,07	Campo natural degradado. Cynodon Dactylon > 60% + Lotus + Paspalum D. < 10% en Invierno	Dini et al. 2017
GC (vaq. Hereford)	5,20 +/- 0,77	Campo natural degradado. Lotus 60% en Primavera	Dini et al. 2017
GC (vaq. Hereford)	7,00 +/- 1,44	Praderas Trébol rojo (50%) + Bromus auleticus (50%) en Invierno	Dini et al. 2017
GC (vaq. Hereford)	4,20 +/- 0,59	Praderas Trébol rojo (50%) + Bromus auleticus (50%) en Primavera	Dini et al. 2017
GC (novillos en crecimiento 13 meses)	9,17	Silo de sorgo, silo de cebada, grano de maíz, y premix de proteína, minerales y vitaminas Baja eficiencia (confinados)	Dini et al. 2018
GC (novillos en crecimiento 13 meses)	6,72	Silo de sorgo, silo de cebada, grano de maíz, y premix de proteína, minerales y vitaminas Alta eficiencia (confinados)	Dini et al. 2018
GC (vacas cría Hereford y Angus)	6,3 ; 7,6 ; 7,2	Campo natural en alta oferta de forraje para mayo, agosto y noviembre respectivamente	Orcasberro et al. 2018
GC (vacas cría Hereford y Angus)	7,2 ; 7,5 ; 8,6	Campo natural en baja oferta de forraje para mayo, agosto y noviembre respectivamente	Orcasberro et al. 2018
GC (novillos en terminación)	6,7	Dieta forrajera alta calidad (100% de henolaje de alfalfa + dactylis, FDN 47.8%, Digestibilidad 60,7%)	Santander et al. 2022
GC (novillos en terminación)	7,5	Dieta forrajera baja calidad (70% de henolaje de alfalfa + dactylis + 30% rastrojo cebada, FDN 54.9%, Digestibilidad 50,4%)	Santander et al. 2022
GL (Holstein Norteamericano)	5,1	Pasturas calidad (37%) + ración parcialmente mezclada (63%)	Silva et al. (2020)
GL (Holstein Norteamericano)	4,7	Pasturas de calidad (73%) + concentrado (27%)	Silva et al. (2020)
GL (Holstein Neozelandés)	6,9	Pasturas de calidad (73%) + concentrado (27%)	Silva et al. (2020)
GL (Holstein)	6,4	Pasturas mezcla cebadilla (40%) + alfalfa y trébol blanco (60%)	Dini et al. 2012
GL (Holstein)	6,7	Pasturas mezcla cebadilla (24%) + Lotus corniculatus (76%)	Dini et al. 2012
GO (corderos < 1 año edad)	4,5 +/- 1,0	Valor por defecto para pasturas	IPCC (2006)
GO (ovinos adultos)	6,5 +/- 1,0	Valor por defecto para pasturas	IPCC (2006)
GC (carne y leche)	6,5 +/- 1,0	Valor por defecto para pasturas	IPCC (2006)
GC	3,0 +/- 1,0	Valor por defecto para vacunos alimentados a corral con > 90% de concentrado	IPCC (2006)

GC: Ganado de carne, GL: Ganado de leche, GO: Ganado ovino



Foto: Alessandro Zucchetti

Figura 7 - Determinación de emisión de metano en ovinos en breves períodos de tiempo.

4.1.2. Gestión del estiércol

Durante el almacenamiento y el tratamiento del estiércol, así como del estiércol depositado en la pastura se producen emisiones de metano. Según las directrices del IPCC el estiércol depositado por los animales en pastoreo, así como cuando se gestionan grandes cantidades de animales en una superficie confinada (ej., tambos, corrales de ganado de carne) y donde se elimina el estiércol en sistemas basados en líquidos, se declaran como emisiones de metano relacionadas con el manejo y el almacenamiento de estiércol bajo «Gestión del Estiércol».

Para estimar emisiones producto de la gestión del estiércol en un nivel 2 de cálculo se realiza a través de la siguiente ecuación:

$$\text{Kg CH}_4 / \text{animal} / \text{año} = (\text{VS} * 365) * [\text{Bo} * 0,67 * \Sigma \text{MCF}/100 * \text{MS}]$$

Donde:

VS es excreción de sólidos volátiles por día en base a materia orgánica seca, en kg VS/día.

Bo es la capacidad máxima de producción de metano del estiércol producido por el ganado de la categoría T, en m³ CH₄/kg de VS excretados.

0,67 es el factor de conversión de m³ de CH₄ a kilos de CH₄, sin dimensión.

MSF es factores de conversión de metano para cada sistema de gestión del estiércol S por región climática k, en %.

MS es fracción del estiércol del ganado de la categoría T manejado usando el sistema de gestión de desechos S en la región climática k, sin dimensión.

Los sólidos volátiles excretados por día en la categoría de ganado, en kg materia seca/animal/día (VS) constituyen el material orgánico del estiércol animal y consiste en fracciones tanto biodegradables como no-biodegradables. El valor a aplicar en la ecuación es el del total de VS (tanto las fracciones biodegradables como las no-biodegradables) tal como las excreta cada especie animal y su valor depende de la digestibilidad y la energía bruta consumida (la ecuación para su cálculo se detalla en el IPCC -ecuación 10.24).

El Bo, que representa la capacidad máxima de producción de metano del estiércol, varía según las especies y la dieta y se relaciona directamente con los VS. El valor por defecto recomendado para utilizar es $0,1 \text{ m}^3\text{CH}_4/\text{kg VS}$ y para el caso de ovinos 0,19 y 0,13 para ovinos desarrollados y en desarrollo respectivamente.

Para factores de conversión de metano (MCF) en el IPCC (2006) (Cuadro 10.17) se proveen valores por defecto para distintos sistemas de gestión del estiércol y según las temperaturas anuales promedio. Los MCF se determinan para un sistema específico de gestión del estiércol y representan el grado en el que se logra la capacidad máxima de producción de metano del estiércol producido por el ganado. Los valores de MCF sistema (MCF, del inglés methane conversion factor) pueden variar en función de la característica del sistema de gestión del estiércol y el clima. En el caso de sistemas de pastoreo es poco lo que se convierte del estiércol en metano y por tanto el valor por defecto recomendado en nuestras condiciones climáticas puede ser del 1,5%, pero en el caso de estiércol líquido puede ser en el entorno del 27%. Sin perjuicio de esto, es importante recalcar que las emisiones relativas de metano proveniente de la gestión del estiércol en nuestras condiciones representan entre el 3 y el 5%.

4.2. Óxido Nitroso

Para la estimación de las emisiones de óxido nitroso, se contabilizan emisiones tanto directas, como indirectas (volatilización y lixiviación), desde el suelo. Se toma en consideración todo el nitrógeno que ingresa al suelo por las diferentes vías posibles: excretado, fertilizantes, descomposición de residuos de cultivos (suplemento).

En su forma más básica, las emisiones directas de N_2O de suelos gestionados (tierra bajo manejo agropecuario, incluido forestal) se estiman empleando la Ecuación 11.1 (IPCC, 2006) donde se contabilizan las emisiones en función del aporte de cada fuente nitrogenada.

$$\text{Emisiones } \text{N}_2\text{O-N (kg N}_2\text{O-N)} = F * FE$$

Donde F es la cantidad de nitrógeno aplicado a los suelos contabilizado como kg N, en forma de fertilizante sintético, compost, lodos cloacales y otros aportes de N, residuos agrícolas (aéreos y subterráneos). Incluye también al N incorporado a través de fijación biológica y el nitrógeno en los suelos que se mineraliza. Finalmente, incluye a las deposiciones más importantes en Uruguay: la orina y el estiércol depositados por los animales en pastoreo sobre pasturas en general (praderas, campo natural, verdeos, etc.), todos ellos contabilizado como kg N.

Los FE son los factores de emisión de N_2O de aportes de N, es decir qué proporción del N depositado se emite como N_2O . Los FE se contabilizan como kg $\text{N}_2\text{O-N}$ por kg N depositado y son específicos para las diferentes fuentes de nitrógeno (Tabla 6).

Tal como fue expresado anteriormente, en condiciones de pastoreo las emisiones de N_2O provienen casi exclusivamente del estiércol y orina animal y en este caso el primer paso es estimar la proporción del nitrógeno consumido por los animales que es excretado en promedio por cabeza de cada categoría.

El nitrógeno excretado (N_{ex}) se calcula considerando el consumo de Energía Bruta (que estima el consumo de materia seca), la concentración de proteína cruda de la dieta ($\% \text{PC} = 6.25 \times \% \text{N}$), y el nitrógeno retenido por el animal (basado en el IPCC, 2006).





Figura 8 – A) Investigación nacional a través de cámaras, con el objetivo de medir emisiones de óxido nitroso y evolución de nitrógeno mineral en suelo, producto del agregado de nitrógeno a través de la aplicación de orina. B) Cierre de cámaras y toma de muestras de N_2O en campo natural tras aplicación de orina bovina.

$$N_{ex} = N_{consumido} * (1 - N_{retenido})$$

Donde:

N_{ex} = tasa de excreción de N, kg N animal

$N_{consumido}$ = ingesta N por cabeza de la categoría animal, kg N animal

$N_{retenido}$ = fracción de la ingesta de N retenida por el animal de la categoría

El contenido de PC de la dieta depende de los distintos recursos utilizados en la alimentación, ya sea forrajes como suplementos. En nuestro país el contenido de PC en las pasturas naturales puede variar entre agroecosistemas y entre estaciones del año. En las tablas 2, 3 y 4 se presentan valores de referencia para ser utilizados para nuestras condiciones de producción en base resultados de investigación nacional.

Una vez que se tienen las distintas cantidades de nitrógeno que llega al suelo, se multiplica por los factores de emisión específicos (Tabla 6) para cuantificar las emisiones directas.

Tabla 6. Valores de factores de emisión directas para N_2O y factores para pérdidas de nitrógeno (proporción del N aplicado) de la excreta animal y aplicación de fertilizante (IPCC, 2006).

Descripción	Factores de emisión	Fuente
Factor de emisión para vacunos (lecheros y no lecheros), aves de corral y porcinos (kg N_2O-N /kg N proveniente de nitrógeno excretado por orina y estiércol)	0,004	IPCC, 2019
Factor de emisión (kg N_2O-N /kg N) proveniente de orina excretada por vacunos consumiendo pastura "baja" calidad (1,59% - 1,7% N vegetal)	0,0028	Ciganda et al, 2016
Factor de emisión (kg N_2O-N /kg N) proveniente de orina excretada por vacunos consumiendo pastura "alta" calidad (2,94 % - 3,14% N vegetal)	0,0055	Ciganda et al, 2016
Factor de emisión para ovinos (kg N_2O-N /kg N) proveniente de nitrógeno excretado por orina y estiércol	0,003	IPCC, 2019
Factor de emisión para aportes de N de fertilizantes minerales, abonos orgánicos y residuos agrícolas, y N mineralizado de suelos minerales a causa de pérdida de carbono del suelo (kg N_2O-N /kg N)	0,01	IPCC, 2019

Además de las emisiones de N_2O de los suelos gestionados que se producen por vía directa (es decir, desde los suelos a los que se les aplica N), también tienen lugar emisiones de N_2O por vías indirectas. Las emisiones indirectas de N_2O se producen a través de dos vías: (i) a partir de la volatilización de NH_3 y NO_x (óxidos de nitrógeno) de suelos gestionados, de la combustión de combustible fósil y de la quema de biomasa, y la subsiguiente redeposición de estos gases y sus productos NH_4^+ y NO_3^- en suelos y aguas; y (ii) después de la lixiviación y el escurrimiento del N, principalmente como NO_3^- , de suelos gestionados.

Para calcular las emisiones indirectas producidas por la volatilización del nitrógeno, de la misma manera que en el caso de las emisiones directas se toma en consideración la cantidad de nitrógeno aplicado (fertilizante, estiércol gestionado, o las deposiciones directas de orina y estiércol) el cual se multiplica por las fracciones que se volatilizan (cada una por su valor específico, Tabla 5) y por un nuevo factor de emisión correspondiente a las deposiciones atmosféricas del N_2O . En la siguiente ecuación se representa como realizar el cálculo.

$$Kg\ N_2O-N = F * FRACVol * FEx$$

Donde F es la cantidad de nitrógeno aplicado a los suelos gestionados

Frac es la fracción de N de fertilizantes sintéticos, estiércol gestionado u orina y estiércol depositado directamente sobre la pastura que se volatiliza

FEx es el factor de emisión correspondiente a las emisiones de N_2O de la deposición atmosférica de N en los suelos y en las superficies del agua (kg $N-N_2O$ /kg N volatilizado)

Tabla 7. Valores de factores de emisión indirectas para N_2O y factores para pérdidas de nitrógeno (proporción del N aplicado) de la excreta animal y aplicación de fertilizante (IPCC, 2019) por volatilización.

Descripción	Valores	Fuente
Fracción de N de fertilizantes sintéticos que se volatiliza (kg $NH_3-N + NO_x-N$ /kg nitrógeno aplicado)	0.11	IPCC, 2019
Fracción de N orgánico del estiércol gestionado y de N de orina y estiércol depositada por animales de pastoreo que se volatiliza (kg $NH_3-N + NO_x-N$ /kg nitrógeno)	0.21	IPCC, 2019
Factor de emisión correspondiente a las emisiones de N_2O de la deposición atmosférica de N en los suelos (kg N_2O-N /kg nitrógeno)	0.010	IPCC, 2019

Las emisiones indirectas por lixiviación y el escurrimiento del N tiene una lógica similar a las registradas por volatilización. Es decir, que para estimarlas se considera cantidad de nitrógeno aplicado (fertilizante, estiércol gestionado, o las deposiciones directas de orina y estiércol) y se multiplica por las fracciones que se lixivia y escurre (Tabla 8) y por un nuevo factor de emisión correspondiente a las emisiones de N_2O por lixiviación y escurrimiento del nitrógeno.

$$Kg\ N_2O-N = F * FRACLix * FEy$$

Donde F es la cantidad de nitrógeno aplicado a los suelos gestionados

FRACLix es la fracción de N de fertilizantes sintéticos, estiércol gestionado u orina y estiércol depositado directamente sobre la pastura donde se produce lixiviación/escurrimiento, kg N /kg de agregados de N

FEy es el factor de emisión correspondiente a las emisiones de N_2O por lixiviación y escurrimiento de N, kg N_2O-N /kg N por lixiviación y escurrido

Tabla 8. Valores de factores de emisión indirectas para N₂O y factores para pérdidas de nitrógeno (proporción del N aplicado) de la excreta animal y aplicación de fertilizante (IPCC, 2019) para lixiviación y escurrimiento.

Descripción	Valores	Fuente
Fracción de N de fertilizantes sintéticos, N orgánico del estiércol gestionado, y de N de orina y estiércol depositados por animales de pastoreo que se lixivia y escurre (kg N/kg N depositado)	0.24	IPCC, 2019
Factor de emisión correspondiente a las emisiones de N ₂ O de la deposición atmosférica de N en los suelos (kg N ₂ O–N/kg N lixiviado/escurrido)	0.011	IPCC, 2019

Finalmente, una vez que se suman todas las emisiones de N₂O directas como indirectas deben ser convertidas de kg de N₂O–N a emisiones de kg N₂O. A los efectos de la declaración se realiza empleando la siguiente ecuación:

$$N_2O = N_2O-N * 44/28$$

4.3. Dióxido de Carbono

Cuando se contabilizan las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) del sistema, estas se encuentran relacionadas directamente con todas aquellas prácticas que se realizan a partir del uso de combustible fósil, ya sea por la generación de energía a partir de combustible fósil o directamente por la combustión de motores.

En el caso de emisiones producto de la combustión de motores se utiliza un parámetro basado en información nacional (2,98 kg CO₂eq/litro combustible), ya sea combustible en vehículos o para generar energía (motor eléctrico).

Para el caso de emisiones producto de la generación de energía, se estima teniendo en cuenta que se necesitan 3,6 MJ/kWh (Mega Joule/Kilowatt) y de ésta solo un 3% proviene de combustible fósil en la matriz energética nacional (aunque puede tener alguna variabilidad según el año). Una vez definidos los MJ se convierten a litros de combustible (38,5 MJ/lit diésel, 34,2 MJ/lit nafta) y finalmente a partir del coeficiente mencionado en el párrafo anterior se calculan las emisiones CO₂.



Figura 9 – En nuestros sistemas ganaderos las emisiones de CO₂ representan una muy baja proporción y se producen fundamentalmente por el uso de maquinaria agrícola.

4.4. Factores de emisión de GEI utilizados para otros insumos

En las estimaciones de emisiones GEI de los sistemas ganaderos, en especial cuando se incorporan pasturas con el agregado de insumos como fertilizantes, herbicidas o insecticidas, es importante tener en consideración la carga ambiental que ingresa al sistema como resultado de la manufactura y transporte de los mismos. Si bien existe variabilidad en función del origen y la fuente, es complejo tener información particular en cada caso. Dada la magnitud que representan estas fuentes de emisiones de GEI en los sistemas de producción en Uruguay, manejar valores por defecto afecta en muy baja medida los resultados. En las tablas 7 y 8, se presentan algunos valores por defecto para este tipo de insumos.



Figura 10 – Los insumos que ingresan a un establecimiento y que se utilizan para producir, poseen una carga ambiental (incluido emisiones GEI), que se debe incorporar en la estimación de emisiones GEI del sistema productivo.

Fotos: Internet

Tabla 9. Emisiones producto manufactura de fertilizantes hasta la llegada al establecimiento expresado en CO₂e/kg (Becoña et al, 2020).

Fertilizantes (N-P-K-S)	Valores
7-0-40-0	0.79
Fosfato de amonio	0.79
Fosfato monoamónico	0.05
Fosforita	0.24
Superfosfato	0.37
Urea	0.79

Tabla 10. Emisiones producto de la manufactura de herbicidas e insecticidas hasta la llegada al establecimiento expresado en CO₂e/lit (Becoña et al, 2020).

Herbicidas e Insecticidas	Valores
2-4D amina	2.94
Atrazina	6.49
Cipermetrina	10.00
Dual	18.26
Glifosato	11.27
Flumetsulam	18.25
Lorsban	14.79

Así como estos insumos tienen una variabilidad importante en la estimación de emisiones de GEI, otros insumos importantes como los suplementos alimenticios (fardos, concentrados, raciones, etc.) también presentan una gran variabilidad. En este sentido, a pesar de que la información nacional disponible es escasa, existe una aproximación que se puede utilizar para estimarlas en la siguiente referencia bibliográfica (Becoña et al., 2020).

5. BIBLIOGRAFÍA

Becoña G., Astigarraga, L. and Piccaso, V. Greenhouse gas emissions of beef cow-calf grazing systems in Uruguay. *Sustainable Agriculture Research*. 2014; 3(2):89-105. Disponible en: www.ccsenet.org/journal/index.php/sar/article/view/34611

Becoña, G., Ledgard, S., Astigarraga, L., Lizarralde, C., Dieguez, F., Morales, H. EMAG-National model to evaluate environmental impacts of cattle production systems in Uruguay. *Agrociencia Uruguay*. 2020;24(2):48. Disponible en: <http://agrocienciauruguay.uy/ojs/index.php/agrociencia/article/view/48>

Ciganda, V., Dini, Y., Torres, P., Romero, C., Mariotta, J., Federici, M.T., Cajarville C. Cuantificación de Emisiones Producidas por la Actividad Ganadera en el Uruguay. VIII Encuentro de la SUCS. 2016. Lavalleya, Uruguay.

Dini, Y., Gere, J., Briano, C., Manetti, M., Juliarena, P., Picasso, V., Gratton, R., & Astigarraga, L. Methane emission and milk production of dairy cows grazing pastures rich in legumes or rich in grasses in Uruguay. *Animals*. 2012; 2: 288-300. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3390/ani2020288>.

Dini, Y., Gere, J., Cajarville, C., Ciganda, V. Using highly nutritious pastures to mitigate enteric methane emissions from cattle grazing systems in South America. *Animal Production Science* 2017; 58: 2329-2334. <https://doi.org/10.1071/AN16803>

Dini, Y., Cajarville, C., Gere, J.I., Fernandez, S., Fraga, M., Pravia, M.I., Navajas, E.A, Ciganda, V.S. Association between residual feed intake and enteric methane emissions in Hereford steers. *Transl Anim Sci*. 2018; 3(1):239-246. <https://doi.org/10.1093/tas/txy111>

FAO. Guidelines for environmental quantification of nutrient flows and impact assessment in livestock supply chains. Version 1. *Livestock Environmental Assessment and Performance (LEAP) Partnership*. 2018. FAO, Rome, Italy. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-bu312e.pdf>

IPCC. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Workbook. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. Intergovernmental Panel on Climate Change. 2006. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. In H. S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara & K. Tanabe (Eds). Kanagawa, Japan: IGES. 2006. Disponible en: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>

IPCC. 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 [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. Belkacemi, J. Malley, (eds.)].2019. Disponible en:
<https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/index.html>

Ledgard, S. F., Boyes, M., and Brentrup, F. Life cycle assessment of local and imported fertilisers used on New Zealand farms. In: 'Adding to the knowledge base for the nutrient manager'. (Eds. Currie LD, Christensen CL). <http://flrc.massey.ac.nz/publications.html>. Occasional Report No. 24, Fertilizer and Lime Research Centre, Massey University, Palmerston North, New Zealand. 13p. Marcondes, M., Tedeschi, L., Valadares Filho, S. & Chizzotti, M. 2012. Prediction of physical and chemical body compositions of purebred and crossbred nellore cattle using the composition of a rib section. Journal of Animal Science, 90(4), 1280-1290.

Orcasberro, M., Effect of two herbage allowance on dry matter intake and methane emissions of primiparous beef cows in grasslands. Master Thesis. 2018. Udelar. Uruguay. (advisor: L. Astigarraga)

Santander, D., Clariget, J., Banchero, G., Simón, C., Mariotta, J., Ciganda, V.S. Forage-Finished Beef Steers and Enteric Methane in Uruguay: Reducing Emissions by Managing Forage Fiber Content. 8th International Greenhouse Gas & Animal Agriculture Conference. 2022. Abstract Book, 206. Disponible en
<https://conference.ifas.ufl.edu/ggaa/documents/GGAA-2022-Abstract-Book.pdf>

Silva G., Estrategia de alimentación y genotipo animal en la emisión de Metano entérico de vacas Holstein en pastoreo. Tesis de Maestría. 2020. Udelar. Uruguay. (tutor: Ciganda V.)

Schneider, H., Samaniego, J.L. 2010. CEPAL. La huella del carbono en la producción, distribución y consumo de bienes y servicios.