

HERRAMIENTA INTEGRADA PARA EL CÁLCULO DE HUELLA DE CARBONO EN EXPLOTACIONES DE VACUNO LÁCTEO



Alberto Fraile,
candidato a
doctor



Sara González, profesora titular
Ingeniería Química



Almudena Hospido, catedrática
Ingeniería Química

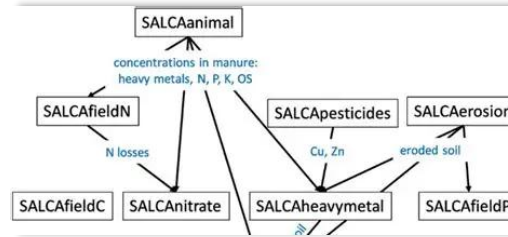


Almudena Hospido Quintana ✓ · 1er
Full Professor USC

BBDD Composición raciones



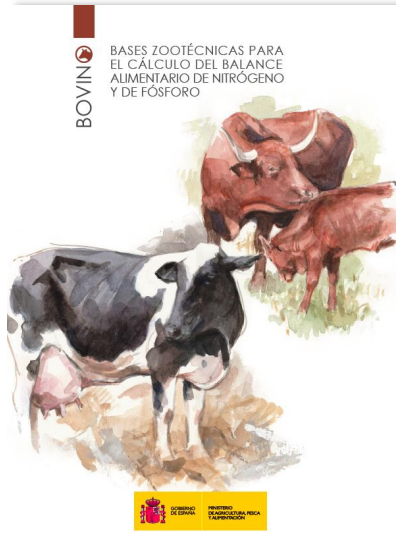
Integración de modelos de emisiones



Factores de emisión



Balance alimentario



albertofraile.debenito@usc.es

CRETUS



HERRAMIENTA INTEGRADA PARA EL CÁLCULO DE
HUELLA DE CARBONO EN EXPLOTACIONES DE
VACUNO LÁCTEO

Criterios de asignación

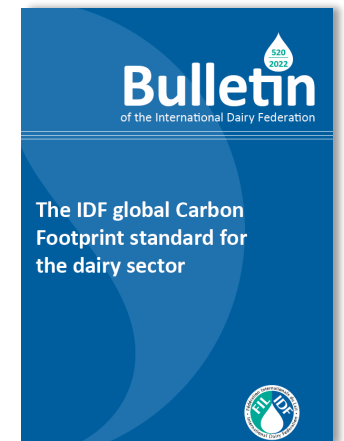


BBDD Ciclo de Vida

Datos GANADERIA

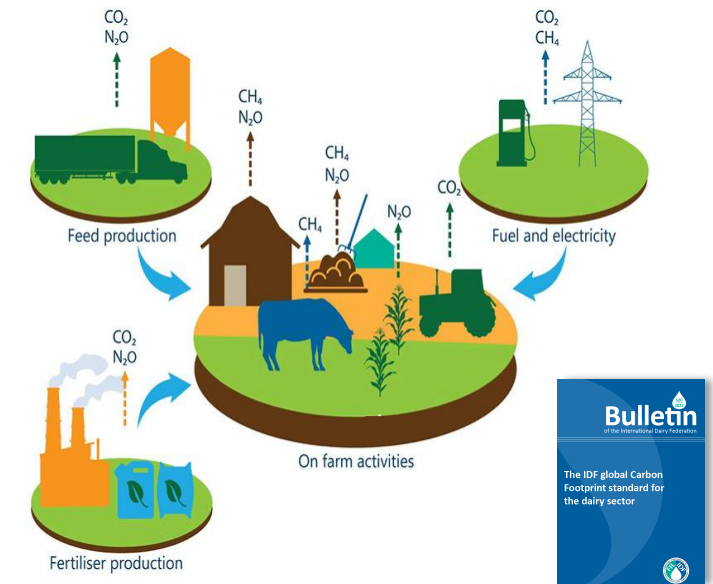


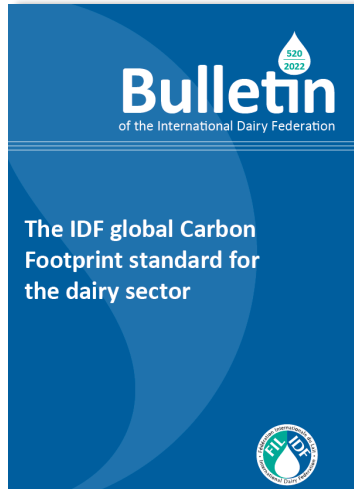
WORLD FOOD
LCA DATABASE



Deben incluirse:

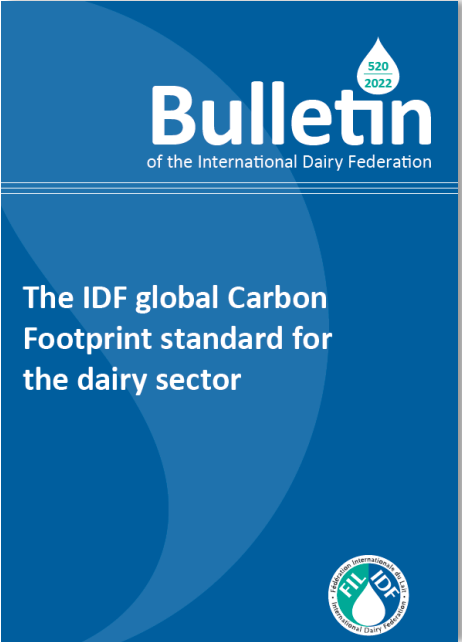
- Todas las emisiones de GEI en las explotaciones agrícolas relacionadas con el **uso de combustibles fósiles**.
- **Emisiones de CH_4 entérico de las vacas lecheras y de los animales de reposición** (ganado joven).
- Emisiones de GEI (CH_4 y emisiones directas e indirectas de N_2O) **procedentes del manejo del estiércol** en el alojamiento del ganado (incluidas las emisiones durante su almacenamiento y tratamiento) de vacas lecheras y animales de reposición, incluyendo los materiales de cama.
- **Todas las emisiones de GEI procedentes de las tierras arables y los pastos** utilizados para alimentar al rebaño lechero. Estas incluyen, entre otras, las emisiones derivadas de: Aplicación de **fertilizantes y enmiendas del suelo** (por ejemplo, emisiones directas e indirectas de N_2O del suelo, emisiones de CO_2 de la cal y la urea).
- **Excreciones del ganado lechero y de reposición en pastoreo** (por ejemplo, emisiones directas e indirectas de N_2O).





- **Oxidación y mineralización de suelos orgánicos** (turberas) (emisiones de CO_2 y N_2O directo, y emisiones de CH_4 procedentes de suelos de turba utilizados para la producción lechera).
 - **Residuos de cosecha y rastrojos** (emisiones directas e indirectas de N_2O).
 - **Nitrógeno en suelos minerales** (emisiones directas e indirectas de N_2O).
 - **Refrigerantes utilizados en la explotación** (emisiones directas de GEI), además de emisiones indirectas de N_2O en los casos en que se utilice NH_3 como refrigerante.
-
- **Cambios de uso del suelo directos (dLUC)** entre tierras arables o pastos y la deforestación para la producción lechera (emisiones de CO_2 biogénico), aunque esto debe reportarse por separado.
 - **Residuos y su tratamiento** (por ejemplo, residuos de pienso no consumido, residuos plásticos del ensilado y de la fabricación de materiales de envasado).

Unidad funcional y asignación entre coproductos



Unidad funcional: **1 kg de leche corregida para grasa y proteína (FPCM)**

$$\text{FPCM (kg)} = \text{milk production (kg)} \times [0.1226 \times \text{fat\%} + 0.0722 \times \text{crude protein\%} + 0.2534]$$

Asignación entre coproductos: Aproximación biofísica



$$AF_{milk} = \frac{NE_L * M_{milk}}{NE_L * M_{milk} + NE_G * M_{meat}}$$

$$FA_{meat} = 1 - AF_{milk}$$

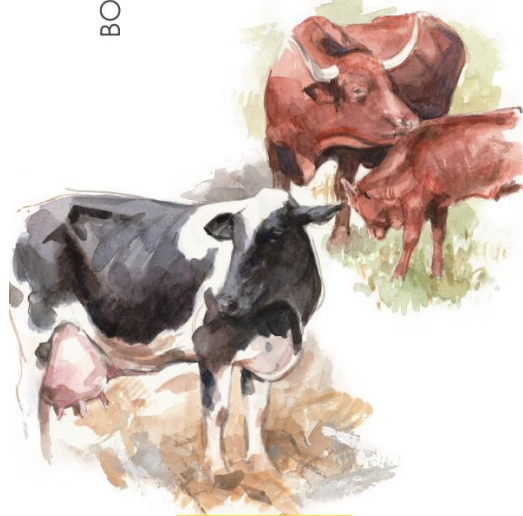
LAKTIS

	Media (%)	Mínimo (%)	Máximo (%)	17
Afva				3,8%
A	Leche	93,6	87,9	98,3
	Vacas de desvieje	5,7	1,7	10,7
	Terneros	0,5	0,0	1,1
	Recría	0,2	0,0	0,8

Balance alimentario – Esquema general

BOVINO

BASES ZOOTÉCNICAS PARA
EL CÁLCULO DEL BALANCE
ALIMENTARIO DE NITRÓGENO
Y DE FÓSFORO

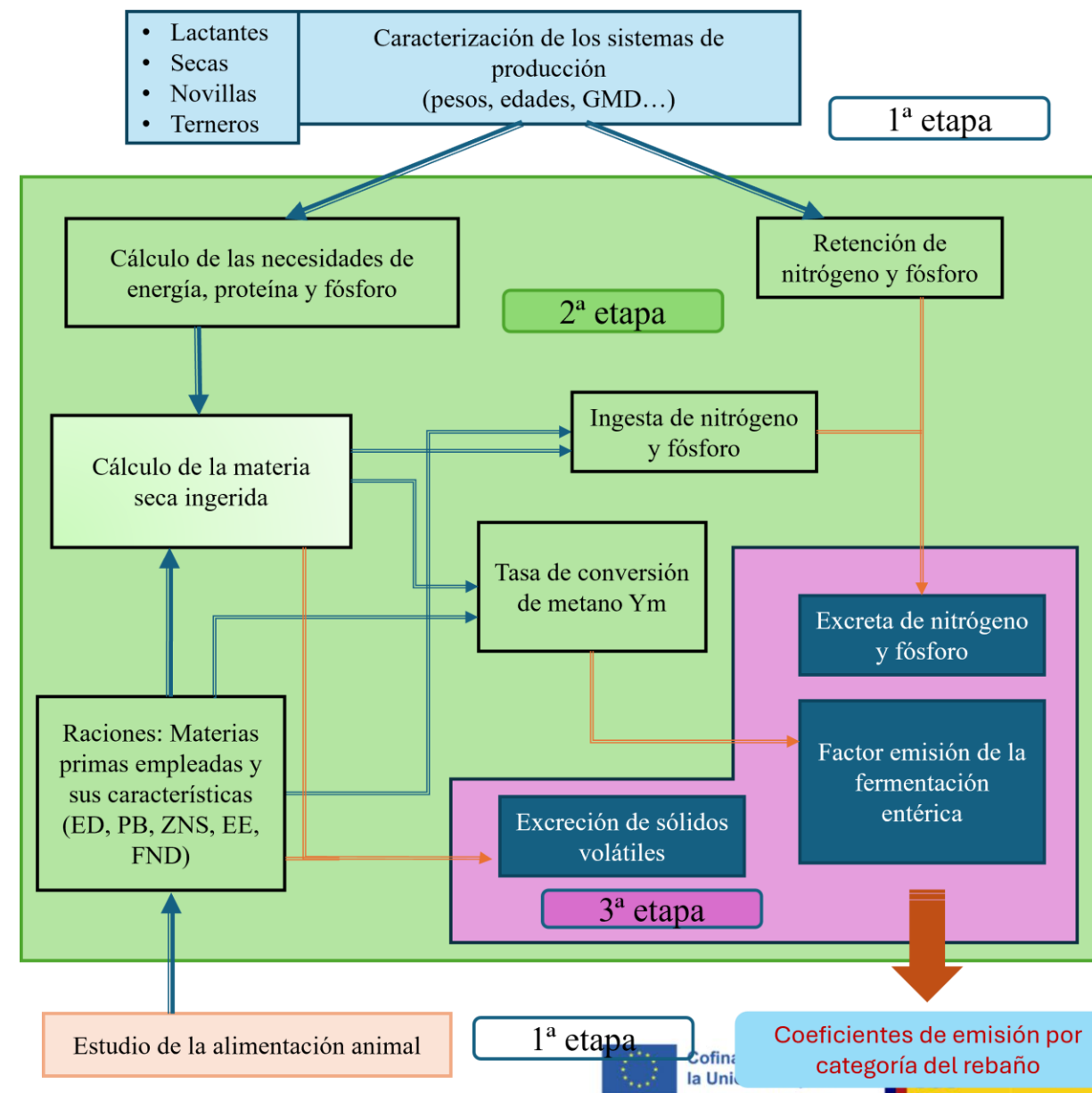


FEDNA
Fundación Española para el Desarrollo
de la Nutrición Animal

Demanda teórica de
MS, energía y proteína
de los animales **en**
estas condiciones de
productividad

Aporte real de las
raciones declarado por
los ganaderos

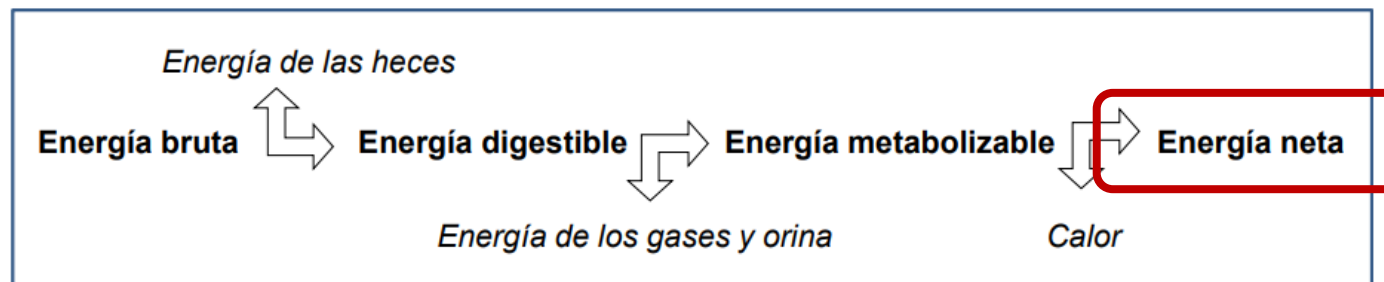
Contrastada caracterización fisicoquímica
FEDNA con la proporcionada por las cooperativas



Aporte REAL

$\text{EN ingerida (kcal / cabeza / día)} = \text{MS ingerida (kg / cabeza / día)} * \text{EN ración (kcal / kg MS)}$

Necesidad teórica



$\text{EN}_{\text{TOTAL}} = \text{EN mantenimiento} + \text{EN actividad} + \text{EN crecimiento} + \text{EN gestación} + \text{EN lactancia}$

Energía neta para el mantenimiento (IPCC, 2019)

$$\text{EN}_{\text{mant.}} (MJ/día) = \text{Coef}_m \times W_j^{0,75}$$

W_j : peso vivo medio de la categoría j (pto. 6.6.4.), expresado en kg

0,75: coeficiente de peso metabólico.

Coef_m: coeficiente de mantenimiento, expresado en MJ de EN/kg/día.

Energía neta para actividad diaria (IPCC, 2019)

$$\text{EN}_{\text{activ.}} (MJ/día) = \text{Coef}_a \times \text{EN}_{\text{mant.}} (MJ/día)$$

Coef_a = 0 en animales estabulados

Coef_a = 0,17 en animales en pastoreo confinado

Coef_a = 0,36 en animales en pastoreo en zonas extensas o agrestes.

Necesidad teórica

$$EN_{TOTAL} = EN_{mantenimiento} + EN_{actividad} + EN_{crecimiento} + EN_{gestación} + EN_{lactancia}$$

Energía neta para el crecimiento (IPCC, 2019)

$$EN_{crec.} (MJ/día) = 22,02 \times \left[\frac{W_j}{C_{crec} \times W_{adulto}} \right]^{0,75} \times GMD^{1,097}$$

W_j : peso vivo medio de la categoría j (kg)

W_{adulto} : peso adulto de la hembra (kg) (*apartado 6.6.1*). Hay que tener en cuenta si la categoría es de sacrificio o reposición/reproductor

GMD_j : ganancia media diaria en kg/día (*apartado 6.6.4*)

C_{crec} : coeficiente de crecimiento con un valor de 0,8 para hembras, 1 para castrados y 1,2 para machos no castrados

Energía neta para lactancia (IPCC, 2019)

Energía neta para gestación (IPCC, 2019)

$$EN_{gest.} (MJ/día) = Coef_g \times EN_{mant.} (MJ/día)$$

Siendo:

$Coef_g$: coeficiente de gestación, expresado en tanto por uno.

Para vacas, el $Coef_g = 0,1$ (Tabla 10.7, Cap. 10, vol. 4, IPCC 2006)

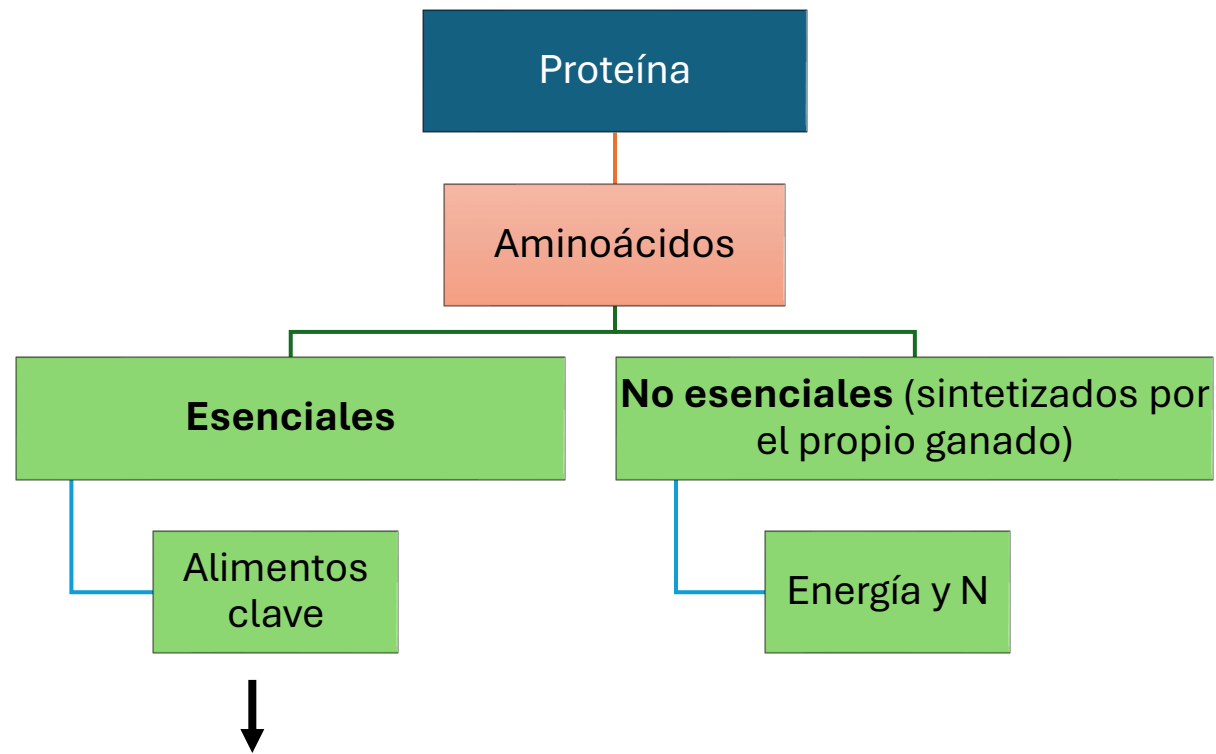
En FEDNA (2009, 2010a) se hace una propuesta diferente que resulta más completa. Se asume que las necesidades para la gestación son nulas los 190 primeros días de gravidez y, a partir de entonces, estas se calculan según la fórmula siguiente:

PESO

PRODUCTIVIDAD

ESTABULACIÓN

$$EN_{lact.} (MJ/día) = P_{diaria\ leche} \times [0,0929 \times Grasa + 0,0547 \times PB_{leche} + 0,192] \times 4,1855$$



Rumiantes: **Proteína microbiana**, cumple en gran medida necesidades aminoacídicas.

CANTIDAD > CALIDAD

NRC

Prot Metabolizable (PM)

INRA

Prot Digerible en el intestino (PDI)

PDI: necesidad de proteína digestible en el intestino.

$$PDI = PDI_m + PDI_g + PDI_L$$

- Necesidad proteína para el mantenimiento
- Necesidad proteína para gestación
- Necesidad proteína para lactancia

- Aporte de proteína del alimento : PDIA
- Aporte de proteína microbiana: PDIM
 - Proteína microbiana potencialmente sintetizable en función del valor energético (PDIME)
 - Proteína microbiana potencialmente sintetizable en función del nitrógeno (PDIMN)

Necesidad teórica

Necesidad proteína para el mantenimiento $PDI_m (kg/día) = 3,25 \times W^{0,75} / 1.000$

PDI_m : proteína digestible en intestino necesaria para el mantenimiento en kg/día

W: peso vivo en kg

0,75: coeficiente de peso metabólico

Necesidad proteína para la gestación $PDI_g (kg/día) = 0,07 \times W_{nac} \times SG / 1.000$

PDI_g : proteína digestible en intestino necesaria para la gestación en kg/día

W_{nac} : peso al nacimiento del ternero en kg (*apartado 7.1.2*)

SG: semana de gestación. Su valor es desde 27 hasta 39

Necesidad proteína para la lactación $PDI_L (kg/día) = 1,56 \times Y_{prot}$

PDI_L : proteína digestible en intestino necesaria para la lactación en g/día

Y_{prot} : producción de proteína láctea en kg/día.

$$Y_{prot} (kg/día) = P_{diaria\ leche} \times t_p$$

$P_{diaria\ leche}$: producción diaria provincial de leche (kg/día). Ver *apartados 6.7 y 6.8*

t_p : tasa de proteína de la leche (tanto por uno) Ver *apartados 6.7 y 6.8*

PESO

PRODUCTIVIDAD

ESTABULACIÓN

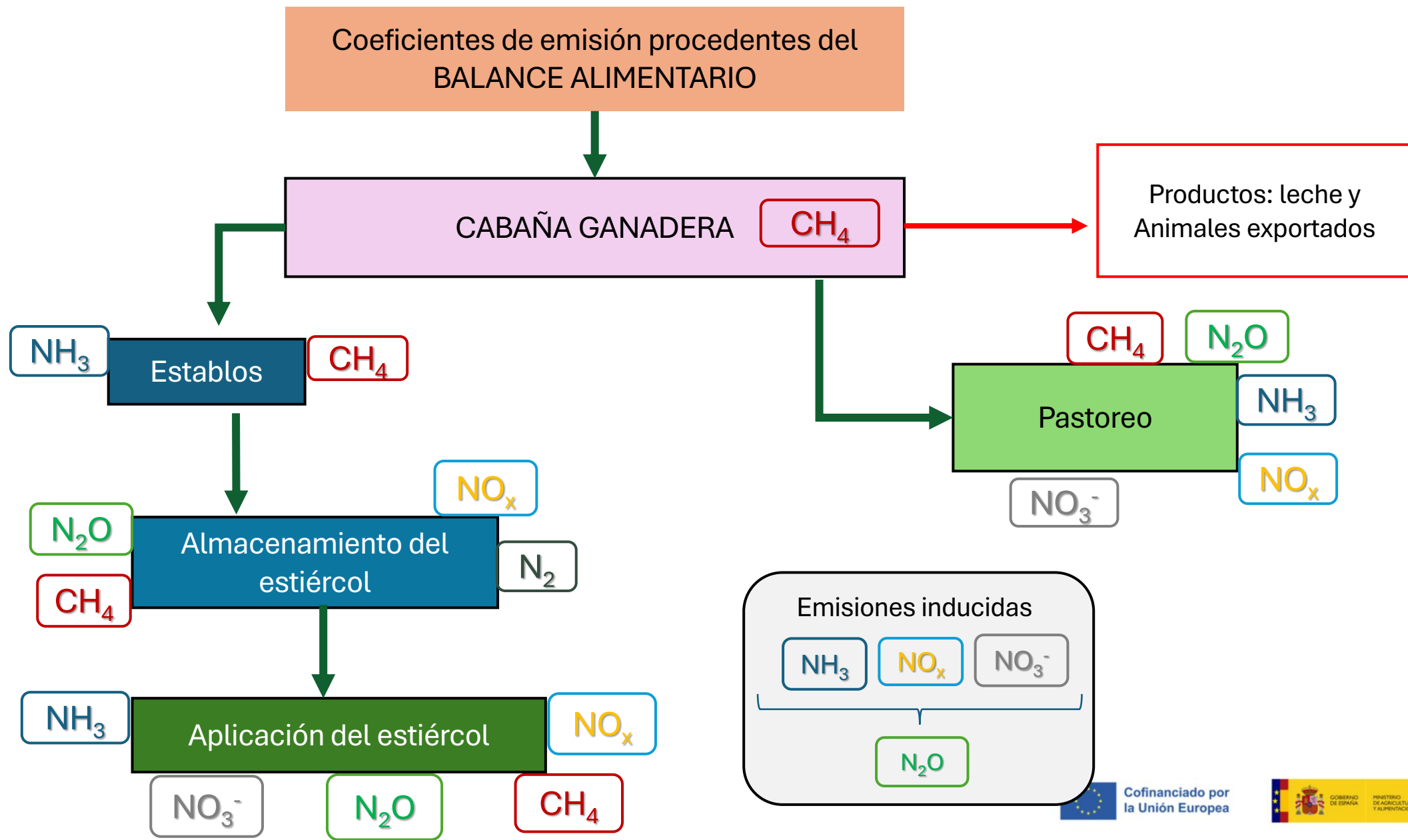
Balance alimentario – Evaluación de energía y proteína

LAKTIS								
	01	02	03	04	05	06	07	08
DE (%)	69,7%	73,0%	68,3%	63,0%	70,3%	65,3%	68,1%	65,8%
Energía	E	E	E	E	E	E	E	E
Proteína	A	E	E	A	E	E	A	E
Excedente: kg/día	0,68	1,01	0,97	0,15	0,84	0,58	0,24	0,55

	09	10	11	12	13	14	15	16	17
DE (%)	74,2%	73,7%	73,9%	64,6%	65,9%	72,8%	71,7%	75,9%	75,7%
Energía	E	E	E	E	E	D	D	E	E
Proteína	E	E	E	A	D	D	D	A	E
Excedente: kg/día	1,63	1,22	1,72	0,16	-0,16	-0,75	-0,43	0,47	0,95

Criterio propio: **20%** por encima de la demanda teórica es excedentario

Modelos emisiones en campo



Origen	Emisión	Alcance	Método
Fermentación Entérica	CH ₄	Tier III	MAPA, 2019
Purines y Fertilizantes minerales	CH ₄	Tier II	MAPA, 2019
	NH ₃	Tier II	EMEP, EEA 2023
	N ₂ O _d	Tier II	IPCC, 2019
	NO ₂	Tier II	EMEP, EEA 2023
	N ₂ O _{ind}	Tier II	IPCC, 2019

Gas	GWP (Potencial de calentamiento global) CO ₂ eq
Dióxido de carbono (CO ₂)	1
Metano (CH ₄)	27
Óxido nitroso (N ₂ O)	273

$$FE (kg CH_4/año) = EB_{\text{ingerida}} (MJ/año) \times Y_m / 55,65 (MJ/kg CH_4)$$

FE: factor de emisión de metano por fermentación entérica

EB_{ingerida} : energía bruta ingerida en MJ/año

$$EB_{\text{ingerida}} = MS_{\text{Ingerida}} (kg/año) \times EB_{\text{Ración}} (MJ/kg)$$

MS_{Ingerida} : materia seca ingerida anualmente (*apartado 7.6*)

$EB_{\text{Ración}}$: energía bruta de la ración en MJ/kg (*apartado 7.5*)

Y_m : tasa de conversión de metano en tanto por uno. Es la fracción de la energía bruta que se transforma en metano.

55,65: energía que aporta el metano en MJ/kg (13,3 Mcal/kg).

$$Y_m = 3,5 - 0,243 \times MS_{\text{ingerida}} + 5,9 \times 10^{-2} \times FND + 5,7 \times 10^{-2} \times DE$$

Cantidad de alimento

Digestibilidad del alimento

Fibra Neutro Detergente

Energía de la ración

Datos sobre el impacto en el ciclo de vida de productos:

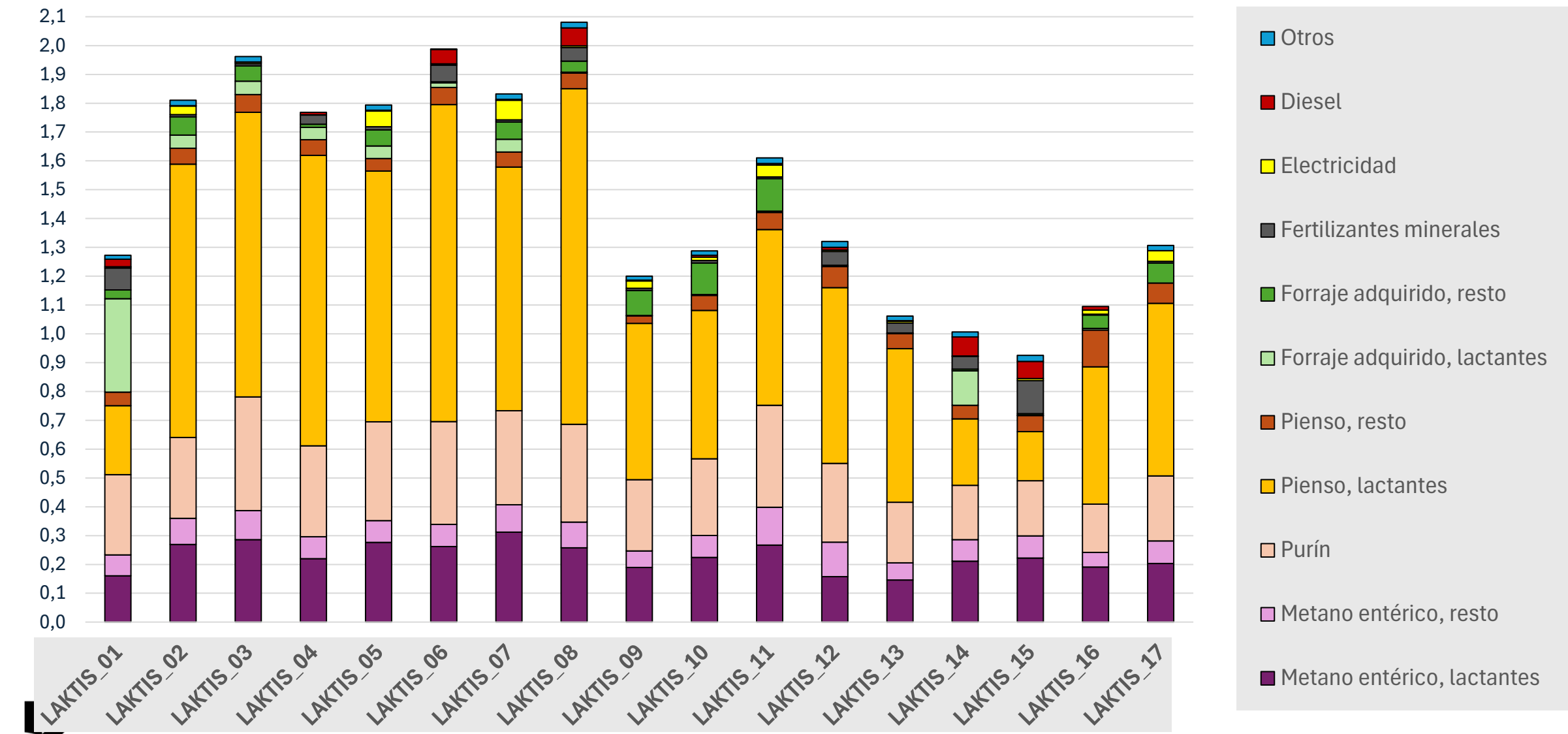


El cambio de uso del suelo se asigna a todos los cultivos y actividades que crecieron en los últimos 20 años en un país determinado, según su respectivo aumento de superficie.
A los cultivos cuya superficie disminuyó no se les atribuyen impactos ni créditos sobre el uso del suelo.

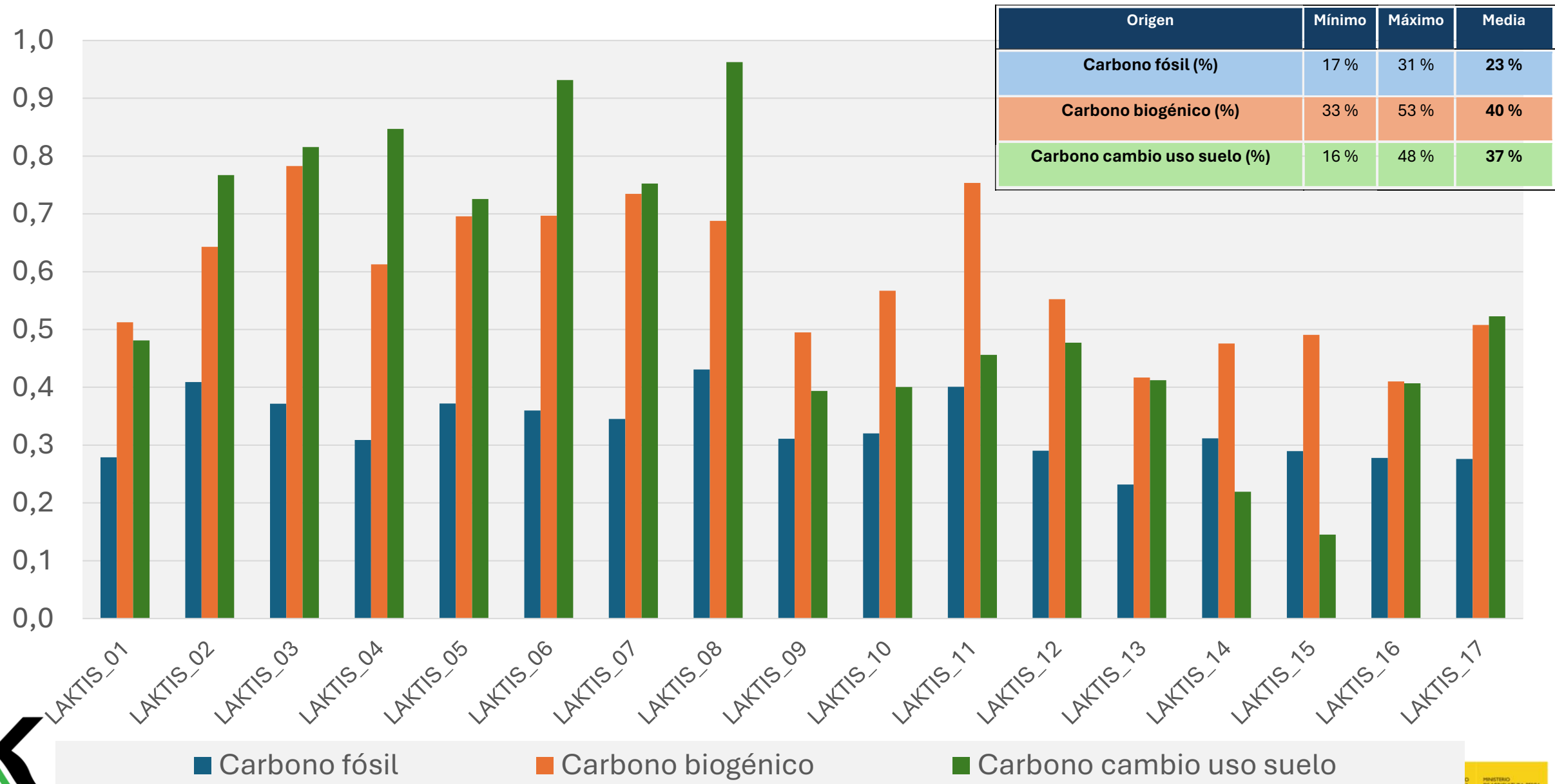
Resultados – Resumen por actividades

Actividad	Mínimo	Máximo	Media	Variación
Huella total (kg CO ₂ eq/kg FPCM)	0,93	2,08	1,45 ± 0,58	—
Metano entérico total (%)	20 %	36 %	28 %	Media
L Lactantes (%)	13 %	18 %	16 %	Baja
L Resto del rebaño (%)	4 %	12 %	7 %	Media
Purín (%)	16 %	22 %	19 %	Media
Alimentación adquirida (%)	24 %	63 %	45 %	-
L Piensos (%)	18 %	56 %	38 %	Muy alta
L Forrajes adquiridos (%)	0 %	25 %	7 %	Alta
Fertilizantes minerales (%)	0 %	12 %	4 %	Alta
Energía (electricidad + diésel) (%)	1 %	9 %	4 %	Media
Otros (%)	0 %	3 %	1 %	Baja

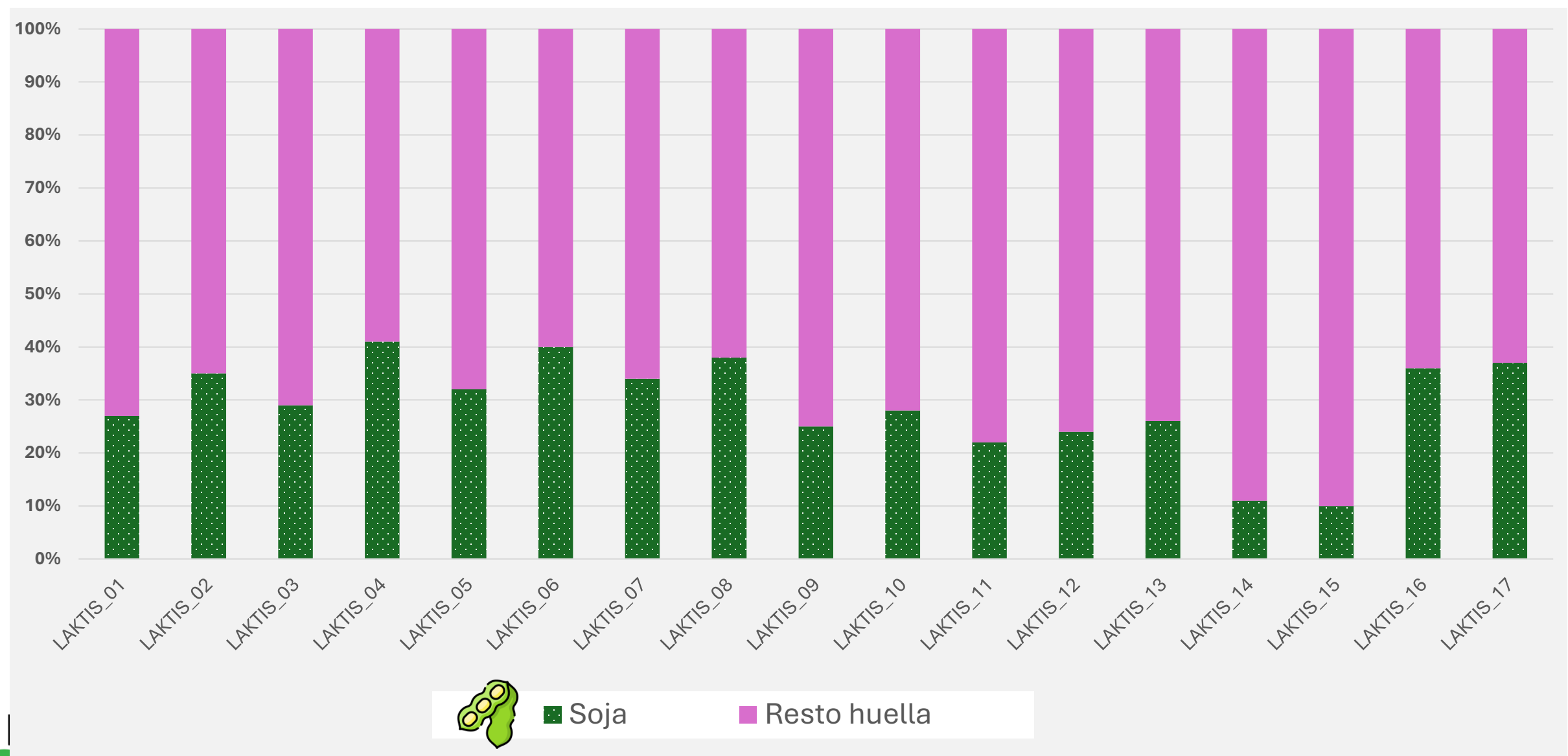
Resultados – Por actividades (en kg CO₂eq)



Resultados – Por origen del CO₂ (en kg CO₂eq)



Resultados – Por origen del CO₂ (en kg CO₂eq)



Soja

Resto huella

Mensaje clave 1

*La huella de carbono de las explotaciones lácteas de vacuno está **dominada por emisiones de origen biogénico y por emisiones asociadas a cambios de uso del suelo**, que en conjunto representan cerca de tres cuartas partes del impacto climático.*

Mensaje clave 2

*Los resultados ponen de manifiesto la necesidad de encontrar un **equilibrio entre eficiencia digestiva y origen responsable de los alimentos**.*

Las explotaciones con raciones ajustadas, una buena digestibilidad y un uso moderado de concentrados externos tienden a mostrar un mejor compromiso entre productividad, emisiones entéricas, dependencia de insumos externos y huella de carbono total.

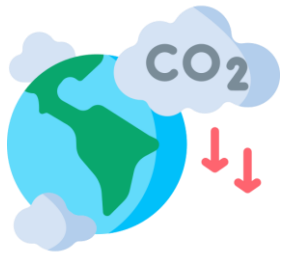
Reemplazar alimentos proteicos importados por productos locales

- Reemplazar soja en grano por guisante o colza / aumentar maíz
 - Reemplazar forraje de soja por alfalfa o forraje de leguminosas
-
- Corregir proteína (disminuir o aumentar en cada caso)
-
- Certificar soja desde fuentes responsables



Responsabilidad social
corporativa

- *Sin deforestación asociada*
- *Apoyando agricultores locales*



Efecto directo
sobre la huella de
carbono



Bajos efectos
cruzados



Reduce la dependencia
de precios externos



Aplicable de
forma inmediata