



Emisións e pegada de carbono nas explotacións leiteiras de Galicia

Amosamos o estudo levado a cabo co obxectivo de estimar co modelo DairyCant (Salcedo, 2015a) a produción de gases de efecto invernadoiro e a pegada de carbono por ha, por unidade de gando maior e por litro de leite corrixido por enerxía á saída da granxa en cinco tipoloxías diferentes de alimentación do gando procedentes de 19 explotacións de Galicia.

Gregorio Salcedo^{1*}, M.ª Dolores Báez², M.ª Isabel García², Juan Castro², Carme Santiago²

¹CIFP La Granja, 39792, Heras, Cantabria

²Axencia Galega de Calidade Alimentaria-Centro de Investigacións Agrarias de Mabegondo (AGACAL-CIAM)

*gregoriosal57@gmail.com

INTRODUCCIÓN

Os sistemas leiteiros emiten gases de efecto invernadoiro (GEI), principalmente dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nítrico (N₂O) [Steinfeld *et al.*, 2006], contribuíndo ao quecemento global. O potencial de quecemento

do CO₂ = 1 do CH₄ = 21 e do N₂O = 310 veces máis que un quilo de CO₂, sendo o CH₄ o gas maioritariamente emitido nas explotacións leiteiras (Gerber *et al.*, 2010). O CO₂ procede principalmente da combustión de enerxía fósil para a maquinaria, electricidade, plásticos, produción e compra de alimentos, fertilizantes,

animais etc. Outras fontes poden ser a respiración microbiana do solo encargada de transformar a materia orgánica e cambios de uso do solo, por exemplo a transformación de pradeiras a cultivos forraxeiros anuais. O CO₂ tamén procede da respiración animal, aínda que estas emisións non son incluídas no cálculo da pegada de carbono porque se asume que están en equilibrio co consumo animal (Rypdal *et al.*, 2006).

O CH₄ prodúcese no rume a partir do hidróxeno formado na fermentación dos carbohidratos. O ácido

acético formado no rume produce hidróxeno, mentres que a formación de propionato o consome, o que explica a relación positiva entre a produción de metano e a relación acetato/propionato producidos no rume. O hidróxeno é, por tanto, un elemento limitante na produción de metano. Xa que logo, manipular a dieta cara á formación de propionato contribúe a reducir a formación de CH_4 . No entanto, a súa produción está relacionada co tipo e consumo de alimento (Ellis *et al.*, 2008). Unha das estratexias alimenticias para minimizar o metano de orixe entérica é aumentar o consumo de alimentos ricos en amidón, como os concentrados ou o ensilado de millo (Dijkstra *et al.*, 2011). Estes autores sinalan reducións de CH_4 de aproximadamente o 8 % cando substitúen o 50 % do ensilado de herba por ensilado de millo. Con todo, o cultivo de millo require achega de fertilizantes e laboreo do solo, dando lugar a cambios das emisións directas de N_2O do solo, e indirectas, relacionadas coa produción de fertilizantes (Basset-Mens *et al.*, 2009).

As emisións de N_2O son o resultado da transformación do nitróxeno no solo ou do procedente de fertilizantes orgánicos e inorgánicos, restos vexetais, a través dos procesos de nitrificación. Os procesos de nitrificación [conversión de amonio (NH_4^+) a nitrato (NO_3^-)] lévanos a cabo bacterias autótrofas en presenza de osíxeno e carbono inorgánico, mentres que a desnitrificación [conversión do (NO_3^-) a gas molecular (N_2)] realízana as bacterias heterótrofas en ausencia de osíxeno e presenza de carbono orgánico. En ambos os procesos se forma nitrito (NO_2^-), óxido nítrico (NO) e óxido nítrico (N_2O). Os factores máis influentes son a dispoñibilidade de N e C, anaerobiose e, en menor medida, a temperatura. Unha porcentaxe de NO_3^- é lixiviado e desnitrificado como N_2O . A pesar das emisións de N_2O procedentes do xurro e dos restos vexetais, estes contribúen a incrementar o carbono no solo (Soussana *et al.*, 2010).

Nos últimos anos gran parte das investigacións centráronse en: i) estudar a influencia da alimentación animal na produción de GEI;

▶ UNHA DAS ESTRATEXIAS ALIMENTICIAS PARA MINIMIZAR O METANO DE ORIGEN ENTÉRICA É AUMENTAR O CONSUMO DE ALIMENTOS RICOS EN AMIDÓN, COMO OS CONCENTRADOS OU O ENSILADO DE MILLO

ii) mellorar a produción animal e vexetal e iii) melloras tecnolóxicas relacionadas coa aplicación do esterco (Ellis *et al.*, 2008; Wall *et al.*, 2010 e de Vries *et al.*, 2012). Entre os obxectivos marcados están: i) reducir o metano entérico; ii) mellorar a cría de gando e a produción de alimentos e iii) mellorar a produtividade animal (Bell *et al.*, 2011). Reducir o metano entérico leva a incrementar o concentrado, substituír ensilado de herba polo de millo e mellorar a calidade da forraxe (Glasser *et al.*, 2008; Dijkstra *et al.*, 2011; Brask *et al.*, 2013) ou outras estratexias como o balanceo de racións (Van Gastelen *et al.*, 2015). ▶

COMERCIAL
AGRÍCOLA E
VETERINARIA



Desexámoslles bo Nadal e felices festas!





**BOTICA
DO
CAMPO, S.L.**





AGROBOTICA



**BOTICA
DO
XALLAS, S.L.**



Avda. de Castelao, 18
TOURO (A Coruña)
Telf: 981 517 348
Almacén Arzúa
Telf: 981 500 714

Avda. de Lugo, 110
1500 ARZÚA (A Coruña)
Telf: 981 508 061

Avda. del Brasil, 65 - baixo
15840 SANTA COMBA (A Coruña)
Telf: 981 896 922 - 646 106 767

Respecto da cría do gando e melloras de produtividade animal, son de destacar: i) o incremento da produción de leite; ii) reducir o intervalo entre partos (aumenta a produción e reduce o consumo); iii) incrementar a lonxevidade das vacas (reduce a taxa de reposición) [Wall *et al.*, 2010 e Bell *et al.*, 2011].

Outras estratexias consideradas para reducir as emisións de GEI na produción de leite son aumentar a eficiencia na conversión de alimento en leite (Basarab *et al.*, 2013), a produción de alimentos (Kristensen *et al.*, 2011), reducir a compra de alimentos e fertilizantes (Basarab *et al.*, 2013) ou potenciar o sistema de pastoreo (Ou'Brien *et al.*, 2014), que proporciona un maior potencial de secuestro de carbono no chan (Zotarelli *et al.*, 2012).

MATERIAL E MÉTODOS

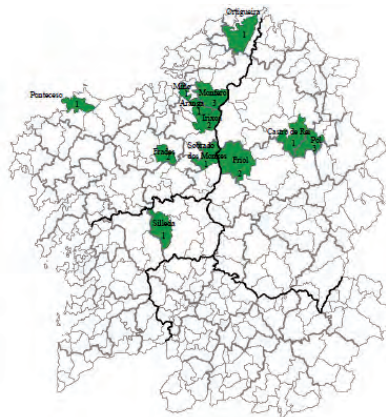
Granxas participantes

A figura 1 sinala a localización de 19 explotacións gandeiras seleccionadas e divididas en cinco tipoloxías de alimentación previamente clasificadas no proxecto INIA-RTA 2012-00065-C05: a) Pastoreo ecolóxico (PasEco); b) Pastoreo convencional (PasCon); c) Ensilado de herba (EHba); d) Ensilado de millo (EMz) e e) Ensilado de herba e de millo (EHba-EMz). As explotacións foron enquisadas durante o ano 2018 e analizadas baixo unha perspectiva de análise de ciclo de vida, co modelo de simulación "DairyCant" (Salcedo 2015a). A mostra representa o 0,25 % do total de explotacións de Galicia, que supoñen un total de 1.827 vacas leiteiras. As entrevistas, realizadas in situ, incluían cuestións relacionadas con: i) a localización, ii) a base territorial e distribución forraxeira, iii) a fertilización; iv) a composición e manexo do rabaño, v) a alimentación dos animais, vi) a produción e composición química do leite e vii) o consumo de enerxía.

Unidade funcional e límites do sistema

A metodoloxía de avaliación do ciclo de vida require dunha unidade funcional (UF), atributo do produto ou sistema, e utilízase como un escalar cuantitativo para fins de comparación, no noso caso, as tipoloxías de alimentación. As UF utilizadas neste traballo foron: i) unha hectárea, ii) unha unidade de

Figura 1. Localización e número de ganderías mostreadas por concello



gando maior (UGM) e iii) un litro de leite corrixido por enerxía (Sjaunja *et al.*, 1990) á saída da explotación (ECM).

Porcentaxe de CO_{2-eq} atribuída ao leite e á carne

Ademais do leite, todas as explotacións venden xatos e vacas de desvelle; por tanto, unha determinada porcentaxe das emisións son asignadas á produción de leite ou de carne (Cederberg e Stading, 2002). A asignación estimouse polo método do IDF (2010) usando a fórmula $AF = 1 - 5,7717 \times R$, onde AF é o factor de asignación; $R = M \text{ carne} / M \text{ leite}$; $M \text{ carne}$ = suma de peso vivo vendido de todos os animais por hectárea e $M \text{ leite}$ = é a suma do leite vendido por hectárea.

Emisións indirectas atribuídas ao cambio indirecto de uso do solo e pola importación de soia

O factor de emisión de 143 g CO₂ (Audsley *et al.*, 2009) foi asumido para o cambio indirecto de uso do solo (iLUC) e 2,98 kg CO₂ por quilo de soia importada (FAO, 2010) citado por Battini *et al.* (2016), excluíndose do cálculo para esta última ás explotacións ecolóxicas.

Secuestro de carbono

O secuestro de carbono no solo estimouse conforme a Petersen *et al.* (2013), considerando as entradas de xurro mais os restos vexetais das colleitas por riba do solo e as raíces por baixo. Considerouse un contido en carbono da biomasa vexetal do 45 %, mentres que o do xurro foi estimado para un contido en materia seca do 10,6±2,6 %, relación C/N de 11,9 e

► O N₂O EMITIDO PARA A MOSTRA DE 19 EXPLOTACIÓNS REPRESENTA O 17,5±2,4 % DO TOTAL DE EMISIÓN POR HECTÁREA

un contido en materia orgánica do 74±8,8 % (Salcedo, 2011).

Análise estatística

Os resultados das enquisas foron procesados mediante análises de varianza utilizando o procedemento GLM do programa SPSS 15.0 (2006), considerando como efecto principal a tipoloxía de alimentación da explotación. Para as variables en que o efecto principal resultou estatisticamente significativo, utilizouse a proba de Duncan para a comparación de medias.

RESULTADOS E DISCUSIÓN

Descrición das explotacións

As diferenzas nas características técnico-productivas das explotacións veñen indicadas na táboa 1. En xeral, as tipoloxías ensilado de millo (EMz) e ensilado de herba-ensilado de millo (EHba-EMz) teñen un maior número de vacas leiteiras, superficie agrícola útil (SAU) dedicada a cultivos forraxeiros por UGM, produción de leite por hectárea e eficiencias alimenticias [eficiencia de utilización do nitróxeno como a porcentaxe de N recuperado en leite respecto ao inxerido e a eficiencia alimenticia bruta expresada en quilos de leite por quilo de materia seca inxerida]. Pola contra, as explotacións máis extensivas (PasEco e PasCon) basean a alimentación na herba verde e conservada de

► A MAIOR CARGA GANDEIRA DAS TIPOLOXÍAS MÁIS INTENSIVAS É A RESPONSABLE DO INCREMENTO DE CO₂, ONDE AUMENTOS DE 1 UGM HA⁻¹ PODEN ACENTUAR AS EMISIÓN EN 3566±299 QUILOS

pradeiras sementadas, con menores compras (*inputs*) de alimentos, inferior eficiencia na utilización do nitróxeno, tanto no que se refire á vaca coma para o total dos animais e menores *outputs* de leite por hectárea e vaca leiteira. As explotacións pertencentes á tipoloxía ensilado de herba (EHba) poden considerarse intermedias entre (EMz e EHba-EMz) e (PasEco e PasCon) para o número de animais, carga gandeira, compra de alimentos por hectárea, produción de leite por hectárea e por vaca leiteira.

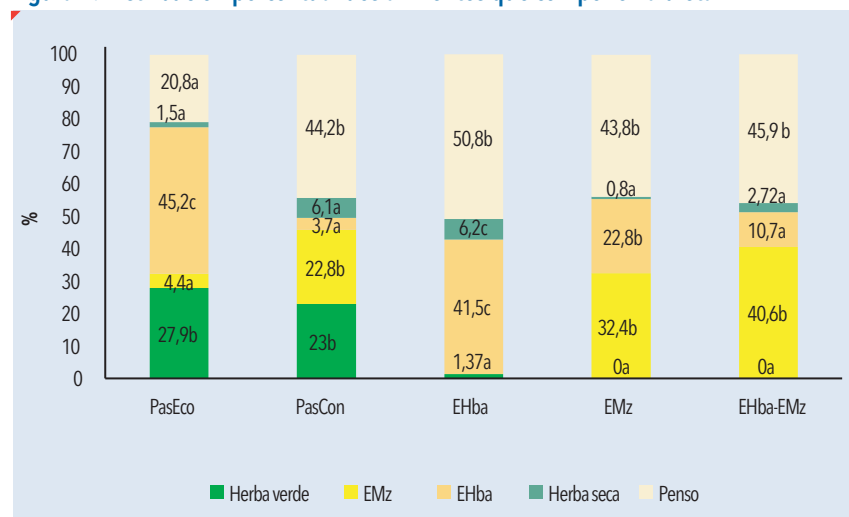
A aplicación de fertilizantes químicos nitróxenos e fosfóricos por hectárea foi superior en EHba, mentres que en EMz foi superior para o potasio, sen diferenzas para este último entre EMz e EHba-EMz sen aplicacións de fertilizante químico en Eco e ausencia de K. As estimacións na produción de N-P-K de orixe orgánica (feces + ouriños) foron superiores en EMz e EHba-EMz (P<0,05) e equivalentes a 372-24-234 e 377-23-235 kg N-P-K ha⁻¹ respectivamente e a menor en PasEco, de 55-9-96 quilos. Estas diferenzas son principalmente debidas, entre outras, á desigual carga gandeira entre tipoloxías. En calquera caso, o N-P-K excretado por UGM no conxunto de tipoloxías foi de 94-8-73 kg por ano, con máximos de 120-8-75 kg en EHba-EMz e mínimos de 39-6-68 kg UGM⁻¹ en PasEco. ►

Táboa 1. Características técnico-productivas das explotacións segundo o tipo de alimentación (n=19)

Variable	PasEco	PasCon	EHba	EMz	EHba-EMz	sd
Número de explotacións	2	4	3	5	5	
Animais						
Vacas de leite, N.º	46	50	66	105	164	89
Carga gandeira, UGM ha ⁻¹	1,40a	1,86ab	2,39ab	3,13b	3,16b	0,95
Reposición xovencas < e > 1 ano, %	43	41	44,1	31,4	46,8	13,7
Superficie						
Superficie agrícola útil (SAU), ha	59,5	41,4	44	82,7	52,7	43,9
Superficie pradeira, ha	59,5c	41,1bc	44c	9,7a	21,4ab	20,3
SAU pradeira, %	100a	100a	100a	14,8b	47,5b	41,3
SAU pradeira, ha/UGM	0,71c	0,54b	0,46b	0,04a	0,17a	0,25
Superficie millo, ha	-	-	-	65,8b	23,9ab	45
SAU cultivos forraxeiros, %	-	-	-	85,1a	52,3a	41
SAU cultivos forraxeiros, ha/UGM	-	-	-	0,36b	0,17ab	0,18
Raigrás italiano despois do millo, ha	-	-	-	33,2	29,8	33
Alimentos e fertilizantes						
Compra de concentrados, t ha ⁻¹	1,19a	3,5ab	7,1bc	9,7c	7,9bc	3,7
Fertilizante químico, kg N ha ⁻¹	-	129	159	107	92	65
Fertilizante químico, kg P ha ⁻¹	-	41	70	43	24	43
Fertilizante químico, kg K ha ⁻¹	-	-	12	36	10	17
Fertilizante orgánico, kg N ha ⁻¹	53,5	-	-	-	-	-
Fertilizante orgánico, kg P ha ⁻¹	21,5	-	-	-	-	-
Orgánico da explotación, kg N ha ⁻¹	55,a	89,7ab	265bc	372c	377c	168
Orgánico da explotación, kg P ha ⁻¹	9a	16,5ab	19,6ab	24b	23b	8
Orgánico da explotación, kg K ha ⁻¹	96a	121a	192ab	234b	235b	77
Fertilizante N aplicado ao millo, kg ha ⁻¹	-	-	-	129	114	75
Carbono total achegado, kg ha ⁻¹	2692a	3130ab	4141ab	4352b	4206ab	1000
Produción de leite						
Leite ECM, t explotación	299	354	763	1935	1225	1050
Leite ECM, t ha ⁻¹	5,9a	9,1ab	16,9bc	28,5d	23,8cd	10,3
Leite vaca leiteira ano, t ECM ano ⁻¹	7,2a	8,2a	11,4b	12,8b	12,4b	2,7
Venda de carne por hectárea	190	217	223	363	439	177
EUNL _{VL} , %	18,3a	20,8a	32,7b	33,9b	34,3b	6,9
EUNL _{RL} , %	16,8a	20,3ab	25,8b	27,1b	23,5ab	5,1
EUNL _{CR} , %	19,6a	22,6ab	27ab	28,7b	24,8ab	5,2
EBL _{VL} , litros leite kg ⁻¹ MS inxerida	1,53	1,34	1,38	1,61	1,6	0,24
EBL _{CR} , litros leite kg ⁻¹ MS inxerida	1,06	0,99	1,06	1,36	1,17	0,23

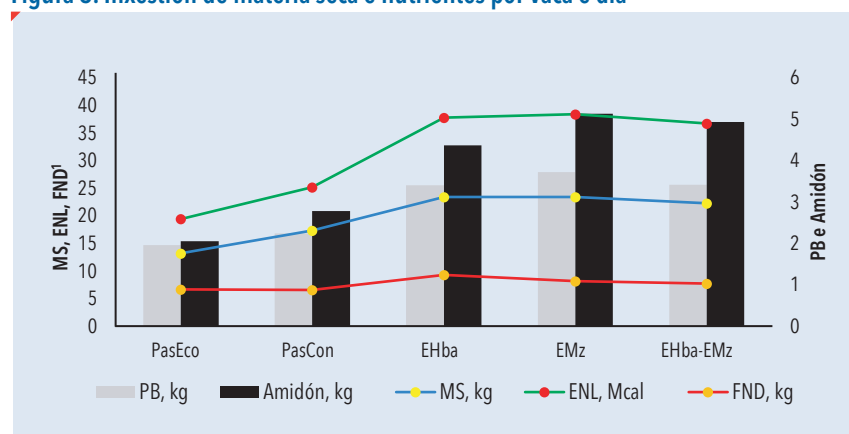
PasEco: pastoreo ecolóxico; **PasCon:** pastoreo convencional; **EHba:** ensilado de herba; **EMz:** ensilado de millo; **EHba-EMz:** ensilado de herba e de millo; **ECM:** leite corrixido por enerxía; **EUNL_{VL}:** eficiencia de utilización do N en leite para as vacas leiteiras; **EUNL_{RL}:** eficiencia de utilización do N en leite para o conxunto do rabaño; **EUNL_{CR}:** eficiencia de utilización do N en leite+carne do rabaño; **EBL_{VL}:** eficiencia alimenticia bruta en vacas leiteiras; **EBL_{CR}:** eficiencia alimenticia bruta no conxunto do rabaño; ^(A): suma de C procedente do xurro e residuos vexetais; a, b, c, d dentro da mesma fila difiren P<0,05; sd: desviación estándar

Figura 2. Distribución porcentual dos alimentos que compoñen a dieta



▶ O 60,3±4,9 % DAS EMISIÓN TOTAIS PRODÚCENSE DENTRO DA EXPLOTACIÓN, PERMITINDO AMPLAS OPORTUNIDADES DE MELLORA

Figura 3. Inxestión de materia seca e nutrientes por vaca e día



MS: materia seca; ENL: enerxía neta leite e FND: fibra neutro deterxente; ¹PB: proteína bruta

Os alimentos que compoñen a dieta das vacas leiteiras dentro de cada tipoloxía de alimentación veñen representados na figura 2. O maior consumo de herba verde corresponde ás tipoloxías PasEco e PasCon, con porcentaxes medias de 24,6±6,9 % e practicamente simbólico nas tipoloxías máis intensivas (EHba, EMz e EHba-EMz). Pola contra, o menor consumo de concentrado localízase nas explotacións PasEco (20,8±7,1 %) e o maior en EHba-EMz (50,8±4,1 %), sen diferenzas respecto de EMzyEHba-EMz e PasCon.

Nas tipoloxías máis extensivas (PasEco e PasCon) a inxestión de ensilado de millo e ensilado de herba é un -40,5 % e -22,2 % inferior respectivamente, mentres que a inxestión de herba seca é un +39 % superior en relación coas tipoloxías máis intensivas. O consumo de materia

seca e a achega de nutrientes por vaca leiteira e día estimados a partir da información proporcionada polo gandeiro foron superiores ($P<0,05$) nas tipoloxías máis intensivas, con inxestións medias 22,9±2,4 kg de materia seca; 37,6±3,5Mcal de enerxía neta leite; 3,53±0,4 kg de proteína bruta; 8,25±1,1 kg de fibra neutro deterxente e 4,88±0,76 kg de amidón (figura 3).

A porcentaxe de nitróxeno recuperado en leite ou en leite e carne respecto ao N inxerido é definida neste traballo como eficiencia de utilización do nitróxeno (EUN). Tres son as eficiencias estimadas: i) N exportado no leite producido respecto ao inxerido polas vacas leiteiras (EUN_{VL}); ii) N do leite respecto ao total de N inxerido no conxunto do rabaño (EUN_R) e iii) N do leite máis o N da carne exportado coa venda de animais respecto ao total

do N inxerido pola totalidade do rabaño ($EUNLC_R$). As diferentes eficiencias de utilización do nitróxeno para o conxunto de tipoloxías foron 29,4±6,9 % para EUN_{VL} ; 23,4±5,1 % EUN_R e 25,1±5,5 % $EUNLC_R$, con mínimos de 18,3±2,5 %; 16,8±1,3 % e 19,6±2,5 % en PasEco e máximos de 34,3±1,3 % en EHba-EMz e 27,1±5,6 % e 28,7±6,4 % en EMz respectivamente (táboa 1).

Tanto EUN_{VL} como $EUNLC_R$ para o conxunto das explotacións da mostra é superior nun 23,8 % e 21,6 % ao sinalado por Powell *et al.* (2013) en explotacións leiteiras de Europa, América do Norte e Oceanía. Posiblemente, a superior eficiencia do N nas explotacións galegas se deba ao inferior consumo de N (459±123 g por vaca leiteira e día) respecto de 587 g sinalado por Powell *et al.* (2013), equivalente a unha concentración de proteína bruta da dieta do 14,8±1,5 % fronte ao 16 % indicada por aqueles autores.

A produción de leite por hectárea explica o 63 %, 42 % e o 36 % da variabilidade da EUN_{VL} , EUN_R e a $EUNLC_R$ (figura 4), incrementando en todos os casos 0,56; 0,34 e 0,32 unidades porcentuais ao aumentar a produción de leite por hectárea nunha tonelada. Con todo, a porcentaxe de reposición das xovencas non afecta ás eficiencias analizadas, posiblemente debido á similar porcentaxe no conxunto de explotacións

► MELLORAR A PRODUCCIÓN DE FORRAXES CUNHA ROTACIÓN DE CULTIVOS QUE INCLÚA LEGUMINOSAS DIMINÚE A COMPRA DE FERTILIZANTES INORGÁNICOS, SUPLEMENTOS PROTEICOS E, POR TANTO, REDUCE AS EMISIÓN DE N_2O

Figura 4. Relación da eficiencia de utilización do N e a produción de leite

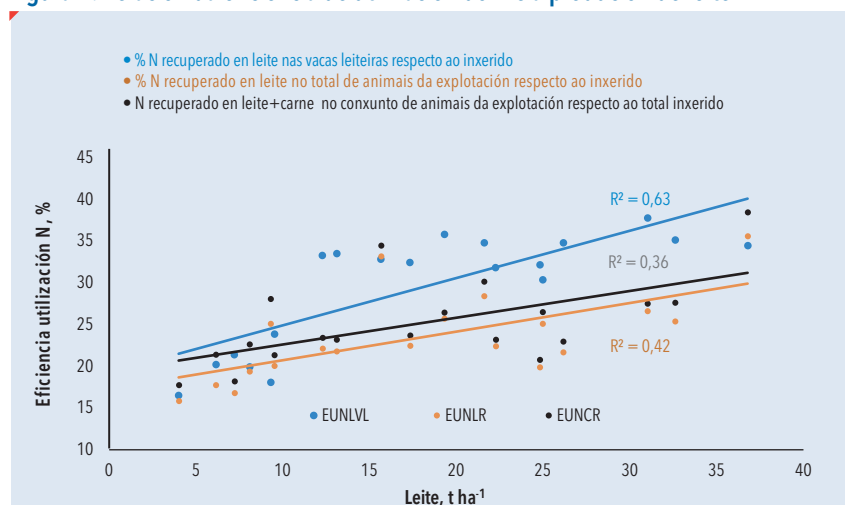
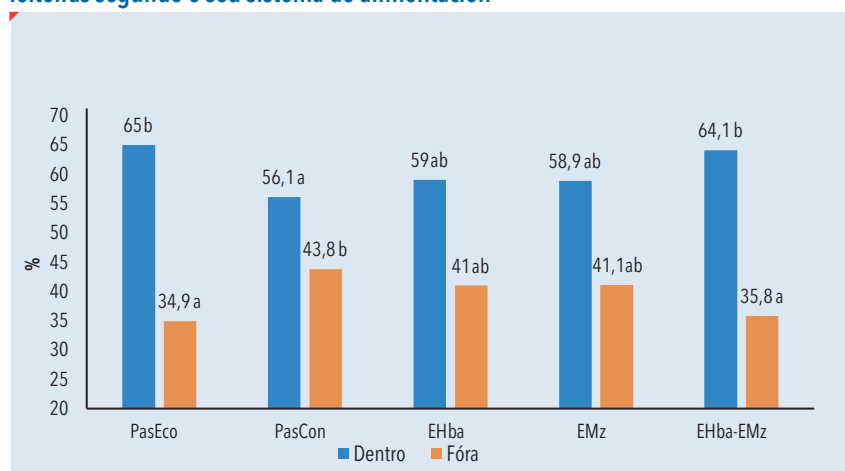


Figura 5. Procedencia das emisións de gases de efecto invernadoiro en explotacións leiteiras segundo o seu sistema de alimentación



PasEco: pastoreo ecolóxico; PasCon: pastoreo convencional; EHba: ensilado de herba; EMz: ensilado de millo; EHba-EMz: ensilado de herba e de millo

do $40,8 \pm 13,7$ %, con mínimos do $31,4 \pm 2,5$ % na tipoloxía EMz e máximos do $46,8 \pm 4,3$ % en EHba-EMz.

A eficiencia alimenticia bruta en litros de leite por quilo de materia seca inxerida foi similar entre tipoloxías, tanto se se expresa por vaca leiteira ou polo conxunto de animais (táboa 1), con medias de $1,5 \pm 0,24$ e $1,15 \pm 0,23$ litros respectivamente.

ii) Emisións de gases de efecto invernadoiro

Os principais gases de efecto invernadoiro (GEI) emitidos nunha explotación de vacún leiteiro son o metano (CH_4), o dióxido de carbono (CO_2) e o óxido nítrico (N_2O). As emisións poden ser xeradas na propia explotación ou fóra dela (figura 5). As emisións xeradas dentro da propia explotación e tendo en conta a totalidade de explotacións da mostra representan o $60,3 \pm 4,9$ % do total de gases emitidos, con máximos de $65 \pm 7,6$ % en PasEco e mínimos de $56,1 \pm 1,3$ % en PasCon (figura 5). Estas porcentaxes son indicadores potenciais de grandes oportunidades de mellora para reducir emisións dentro de cada tipoloxía. As emisións orixinadas fóra da explotación proceden dos inputs externos como a compra de alimentos, fertilizantes, electricidade, gasóleo, plásticos, animais etc. e é máis difícil actuar para reducir estas porcentaxes.

En xeral e para o conxunto de explotacións, o metano (CH_4) representa o $51,9 \pm 3,9$ % do total do CO_{2-eq} por hectárea (táboa 2), dos cales o $78,5 \pm 1,2$ % se orixina no rume como consecuencia da fermentación dos alimentos e o $21,4 \pm 1,2$ % restante é debido á manipulación de xurros e esterco. A produción de metano por hectárea, UGM e litro de leite corrixido por enerxía (ECM) para o conxunto de explotacións foi de 414 ± 189 kg, 156 ± 24 kg e $25,1 \pm 6,1$ gramos respectivamente. As emisións de metano por hectárea e UGM foron maiores nas explotacións máis intensivas (EHba, EMz e EHba-EM), imputable á superior carga gandeira e inxestión de alimentos (táboa 1 e táboa 2), con valores medios de 505 ± 158 kg e 169 ± 14 kg/UGM respectivamente, mentres que nestas mesmas tipoloxías o cálculo de emisións de metano por

litro de leite é menor, con medias de $22,5 \pm 4,3$ g de metano, respecto das tipoloxías máis extensivas (PasEco e PasCon) con medias de $30,7 \pm 5,78$ g, imputable á menor produción de leite nestas últimas. Dentro das tipoloxías máis intensivas, o CH_4 foi maior por hectárea en EMz ($P < 0,05$), pero inferior por litro de leite (táboa 2). A menor concentración de CH_4 por litro de leite nas tipoloxías intensivas respecto das máis extensivas, ten a súa orixe, entre outros, na maior produción de ácido propiónico no rume. Este fórbase como consecuencia da fermentación do amidón do ensilado de millo e do concentrado, actuando como sumidoiro de hidróxeno e reducindo a formación de metano ou metanoxénese (Bannink et al., 2006). A maior concentración de CH_4 por litro de leite en PasEco é atribuída á superior ►►

concentración de fibra neutro deterxente. Pódense citar algúns aspectos de mellora como aproveitar a forraxe con alta dixestibilidade e adecuada fibra que permita rumiar, sen verse comprometida a saúde da vaca (acidose, laminite etc.) e a graxa do leite, un feito que incrementa o consumo de materia orgánica fermentable e, por riba, a formación de ácido propiónico en rume. Ao mesmo tempo, a produción de leite veríase incrementada, diminuíndo así as emisións de metano por litro de leite. Por cada incremento nun litro de leite para o rango de 12 litros (mínimo) a 39 litros (máximo), as emisións de metano entérico poden diminuír en 0,46 g ($r^2=0,53$ $P<0,001$).

A porcentaxe de CO_2 respecto ao total de CO_{2-eq} no conxunto de explotacións foi do 30,4±4,1 %, das cales o 93,2±3,1 % se distribúe entre o gasóleo e a electricidade (29,3±6,1 %), a fabricación dos fertilizantes químicos (14±9,2 %) e o 50±9,9 % restante é atribuído á compra de alimentos. O menor dióxido de carbono por hectárea prodúcese nas explotacións PasEco con 1543±689 kg e o máximo na tipoloxía EMz de 7943±1659 kg (táboa 2). As explotacións intensivas (EHba, EMz e EHba-EMz) emiten máis CO_2 por hectárea e por UGM un 60 % e un 25 % respectivamente, pero o 23,3 % menos por litro de leite respecto das máis extensivas PasEco e PasCon. Os valores medios para as explotacións intensivas e extensivas foron de 6352±2358 e 2606±636 kg ha^{-1} ; 3566±299 e 2671±291 kg UGM^{-1} e 0,28±0,06 e 0,35±0,08 kg por litro de leite, respectivamente. A maior carga gandeira das tipoloxías máis intensivas é a responsable do incremento de CO_2 , onde aumentos de 1 UGM ha^{-1} poden acentuar as emisións en 3566±299 quilos. Pola contra, o CO_2 por litro de leite non foi diferente entre tipoloxías de alimentación (táboa 2), con medias de 0,30±0,07 kg CO_2 . En xeral, e como consecuencia da intensificación, observouse unha relación lineal e positiva, entre as emisións de CO_2 por hectárea e a porcentaxe de SAU dedicado a cultivos forraxeiros ($r^2=0,43$ $P<0,001$), e negativa respecto ao dedicado a pradería ($r^2=0,43$ $P<0,001$), equivalente en ambos os casos a 44±12 kg de CO_2 por unidade porcentual de SAU incrementada. Isto pode ser unha consecuencia da maior necesidade de forraxe nos sistemas máis intensivos.

Táboa 2. Emisións parciais de gases de efecto invernadoiro por tipoloxía de alimentación en explotacións leiteiras galegas

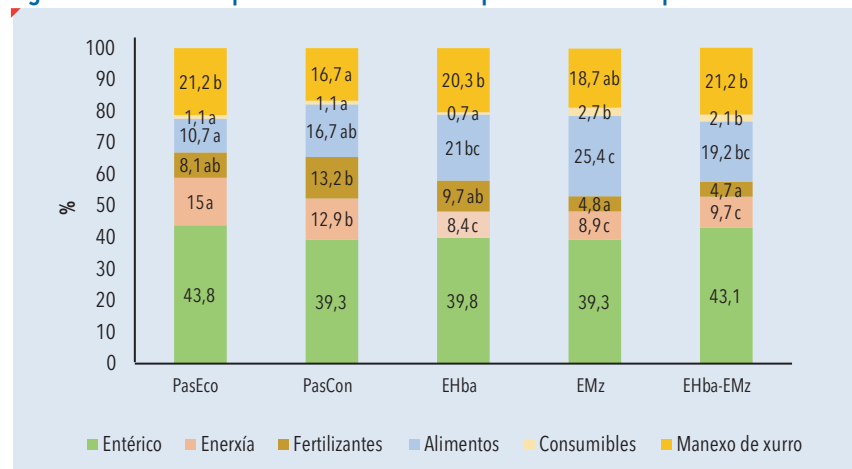
	PasEco	PasCon	EHba	EMz	EHba-EMz	sd
Número de explotacións	2	4	3	5	5	
CH₄						
Entérico, kg ha^{-1}	131a	192ab	319bc	441c	399c	148
Feces sólidas e líquidas, kg ha^{-1}	38a	51a	86ab	124b	107b	41
CH ₄ total, kg ha^{-1}	169a	243ab	405bc	565c	506b	189
CH ₄ total kg UGM^{-1}	120a	131a	166b	180b	161b	24
CH ₄ total, g l^{-1} ECM	34,3b	29,8ab	23,1a	20,7a	24,0a	6,1
% CH ₄ sobre total en CO_{2-eq}	56,6b	49,7a	50,3a	50,4a	54,5ab	3,9
CO₂						
Gasóleo, kg ha^{-1}	418a	554ab	712ab	925b	941b	284
Electricidade, kg ha^{-1}	148a	287ab	634bc	1095d	907cd	418
Fertilizantes, kg ha^{-1}	303	722	906	605	511	369
Alimentos, kg ha^{-1}	587a	1431ab	3155bc	4601c	2881bc	1774
Plásticos, kg ha^{-1}	0,11a	0,13a	1,4ab	2,7b	2,9b	1,44
Sementes, kg ha^{-1}	-	-	-	15b	8a	7,28
Actividades agrícolas, kg ha^{-1}	68a	119a	97a	612c	377b	235
Aplicación xurro, kg ha^{-1}	20a	24a	58b	85b	73b	31
Compra xovencas, kg ha^{-1}	-	-	-	-	-	-
CO ₂ total, kg ha^{-1}	1543a	3138ab	5565bc	7943c	5702bc	2732
CO ₂ total, kg UGM^{-1}	2526a	2744a	3478b	3792b	3394b	515
CO ₂ total, kg l^{-1} ECM	0,29	0,38	0,31	0,29	0,27	0,07
% sobre total en CO_2	23,6a	30,5b	31,4b	34,1b	29,0b	4,1
N₂O						
Excretado en establo, kg ha^{-1}	0,32a	0,50ab	1,51bc	2,12c	2,14c	0,96
Aplicación de fertilizantes, kg ha^{-1}	0,54	1,29	1,59	1,07	0,92	0,66
Volatilización, kg ha^{-1}	-	-	0,043a	0,064a	0,064a	0,03
Lixiviados, kg ha^{-1}	0,31a	0,38a	0,84b	0,71ab	0,89b	0,32
Achegar xurro, kg ha^{-1}	0,17a	0,27ab	0,79bc	1,11c	1,13c	0,50
Fixación biolóxica, kg ha^{-1}	0,10ab	0,13ab	0,25b	-0,014a	-0,014a	0,15
Rume, kg ha^{-1}	0,002a	0,005a	0,02b	0,028b	0,022b	0,011
Gasóleo, kg ha^{-1}	1,2b	1,5c	0,16a	0,21a	0,21a	0,60
Compra fertilizantes nitrogenados, kg ha^{-1}	0,24	0,66	0,79	0,53	0,46	0,31
Alimentos, kg ha^{-1}	0,44a	0,96ab	2,21bc	4,36d	2,92cd	1,66
Mineralización e restos vexetais, kg ha^{-1}	0,74a	0,72a	1,37b	1,56b	1,51b	0,44
N ₂ O total, kg ha^{-1}	4,07a	6,49ab	9,6bc	11,7c	10,2bc	3,5
N ₂ O total, kg UGM^{-1}	2,9a	3,5ab	4,02b	3,81ab	3,32ab	0,68
N ₂ total, g l^{-1} ECM	0,80b	0,77b	0,55a	0,43b	0,49b	0,17
% N ₂ O sobre total en CO_{2-eq}	19,7b	19,8b	18,1ab	15,5a	16,5ab	2,46

PasEco: pastoreo ecolóxicas; PasCon: pastoreo convencional; EHba: ensilado de herba; EMz: ensilado de millo; EHba-EMz: ensilado de herba e de millo; UGM: unidade de gando maior; ECM: leite corrixido por enerxía; a, b, c, d dentro da mesma fila difiren $P<0,05$; sd: desviación estándar

O N_2O emitido para a mostra de 19 explotacións representa o 17,5±2,4 % do total de emisións por hectárea (táboa 2). Desta porcentaxe, o 82,5±14,1 % desagregase desta forma: o 25±10,8 % debido á compra de alimentos; o

15,1±6,4 % ás emisións orixinadas no establo e no estercoireiro; o 14,5±4 % á mineralización do solo e restos vexetais; o 12,6±6,9 % á aplicación de fertilizantes nitrogenados; o 8±3,3 % á achega de xurro e o 7,4±2,2 % ▶▶

Figura 6. Distribución porcentual das emisións por elementos de produción



PasEco: pastoreo ecolóxico; PasCon: pastoreo convencional; EHba: ensilado de herba; EMz: ensilado de millo; EHba-EMz: ensilado de herba e de millo

aos lixiviados. As maiores emisións de N_2O rexístrase na tipoloxía EMz, de $11,7 \pm 2,7$ kg ha^{-1} , e as menores en PasEco ($4,0 \pm 1,1$ kg), e intermedias e sen diferenzas significativas EHba e EHba-EMz (táboa 2). O N_2O por UGM variou desde mínimos de $2,9 \pm 0,83$ kg en PasEco a máximos de $4,02 \pm 0,04$ kg en EHba. Reducións dun quilo de fertilizante nitróxeno aplicado ao solo (orgánico máis inorgánico) e un quilo de penso por hectárea teñen un potencial mitigante de $-0,018 \pm 0,85$ kg e $-0,001 \pm 1,51$ kg N_2O , respectivamente. Por tanto, reducindo nun kg o N que entra na explotación poderíase reducir o N_2O en $0,02 \pm 1,8$ kg.

Os diferentes factores de manexo implicados na emisión de gases de efecto invernadoiro entre as distintas tipoloxías de alimentación veñen representados na figura 6. Dela despréndese que o metano entérico, a compra de alimentos e o manexo do xurro son as fontes que representan o $80 \pm 5,6$ %, con máximos de $82,9 \pm 2,5$ % nos intensivos (EHba, EHba-EMz e EMz) e mínimos de $73,7 \pm 5,3$ % nos extensivos PasEco e PasCon). Posiblemente, nestes tres aspectos sexan nos cales o gandeiro teña as maiores oportunidades de mellora de face a mitigar ou reducir emisións. A achega de concentrado por hectárea en PasCon, por exemplo, é de 2,94 veces superior respecto de PasEco, mentres que a produción de leite é só 1,54 veces. A maior achega de fertilizante en PasCon de 129 ± 65 kg ha^{-1} (táboa 1) transfírelle o $13,2 \pm 7,1$ % do CO_{2-eq} (figura 6); con todo, a aplicación de fertilizante nitróxeno nesta tipoloxía é moi ampla, con mínimos de 50 kg h^{-1} a máximos de 211 quilos.

ii) Pegada de carbono

O DairyCant (Salcedo, 2015a) diferencia dúas pegadas de carbono, ambas as expresadas en CO_{2-eq} . A primeira, denominada parcial (HP) ou potencial de quecemento global como a suma do CH_4 , CO_2 e N_2O e a segunda, a pegada total (HT) definida como a suma da HP, o secuestro de carbono (SC), as emisións derivadas da compra de soia (So) procedente do Brasil ou a Arxentina e as atribuídas ao uso indirecto do solo (iLUC). Tanto HP como HT foron estimadas por hectárea, UGM e litro de leite corrixido por enerxía e indicadas na táboa 3.

O carbono incorporado ao solo procede principalmente dos restos vexetais e do achegar do xurro, os cales representan unha media de conxunto equivalente a 3848 ± 1000 kg por hectárea (táboa 1) para o conxunto de explotacións, sendo o xurro o maior contribuínte cunha media do $61,9 \pm 17$ %. As entradas de carbono son maiores nas tipoloxías máis intensivas (EHba, EMz e EHba-EMz) que nas máis extensivas (PasEco e PasCon), con medias de 4247 ± 962 kg e 2984 ± 264 kg/ha respectivamente. A pesar destas diferenzas, a procedencia do carbono tamén difire entre tipoloxías, mentres que os restos vexetais representan o 56,7 % en PasEco e PasCon, en EHba, EMz e EHba-EMz representan o 28,5 %. Entre outras causas, esta menor porcentaxe de C procedente da biomasa débese, en parte, á perda de carbono causado polo laboreo, onde o $68,7 \pm 30,6$ % da SAU se dedica á sementeira de cultivos forraxeiros, principalmente millo en rotación con raigrás italiano (táboa 1) e tamén á ausencia de pastoreo, o cal

mediante o piso da herba contribúe a incrementar a achega de carbono ao solo procedente dos restos vexetais. Un aumento de carbono no chan favorece o secuestro de carbono, mentres que un descenso favorece a liberación de CO_2 á atmosfera. A porcentaxe de carbono no solo das explotacións EMz e EHba-EMz que cultivan forraxes de inverno e verán é do $5,16 \pm 1,09$ %, e superior nas explotacións onde non se laboreo (PasEco, PasCon e EHba) cun $6,98 \pm 2,17$ %. Ademais, un descenso do C no solo está relacionado coa maior achega de N debido á mineralización da materia orgánica, ocasionando maior emisión de N_2O (IPCC 2006; Vellinga *et al.*, 2004).

A diferente achega de carbono ao solo tamén causa un desigual secuestro de carbono (SC) entre explotacións. Desta forma, as tipoloxías EMz e EHba-EMz rexistran o maior SC (táboa 3), imputable á superior carga gandeira (táboa 1) e unha produción media de $67,7 \pm 6,4$ t de xurro por hectárea, contribuíndo co $79,2 \pm 6$ % do secuestro de carbono, pero tamén pode destruírse máis C mediante o laboreo. Nas explotacións PasEco, PasCon e EHba secuéstrase menos carbono, cun valor de conxunto equivalente a 582 ± 85 kg CO_2 , dos cales o $74,9 \pm 17,6$ % procede dos restos vexetais e o resto do xurro. Entre outras causas, débese á menor achega de xurro atribuído á inferior carga gandeira, sobre todo nas dúas primeiras tipoloxías. Zotarelli *et al.* (2012) suxiren que o non laboreo (no presente traballo explotacións: PasEco, PasCon e EHba) diminúe a taxa de descomposición e incrementa o carbono secuestrado.

A pegada parcial para o conxunto de explotacións foi de 16831 ± 7661 kg CO_{2-eq} ha^{-1} ; 6366 ± 1206 kg CO_{2-eq} UGM $^{-1}$ e $1,01 \pm 0,22$ kg CO_{2-eq} litro de leite corrixido por enerxía, incrementándose a total (HP+SC+So+iLUC) en cada caso un $10,2 \pm 4,6$ %, $9,7 \pm 5,3$ % e $9,0 \pm 4,8$ % por hectárea, UGM e litro de leite respectivamente. Entre tipoloxías de alimentación, a maior pegada, tanto parcial como total por hectárea e UGM, corresponde a EMz ($P < 0,05$), sen diferenzas significativas en EHba e EHba-EMz e as menores ($P < 0,05$), a PasEco (táboa 3). Pola contra, no carbono secuestrado por litro de leite non se observan diferenzas significativas entre tipoloxías de alimentación, con valores medios de 66 ± 25 g kg^{-1} leite, similares a 77 g en sistemas ingleses a pastoreo sinalados por O'Brien *et al.* (2014).

Táboa 3. Pegada de carbono por hectárea, UGM e litro de leite segundo o tipo de alimentación

	PasEco	PasCon	EHba	EMz	EHba-EMz	sd
Número explotacións	2	4	3	5	5	
CO_{2-eq} kg/hectárea						
Pegada parcial (HP)	6358a	10256ab	17042bc	23464c	19523bc	7661
Secuestro carbono (SC)	-552a	-585a	-598a	-1504b	-1541b	571
Soia (So)	41	672	674	123	762	629
iLUC	648	1196	3319	3444	3142	1766
HT: HP+SC+So+iLUC	6495a	11239ab	20437bc	25527c	21886bc	8854
CO_{2-eq} kg/UGM						
Pegada parcial	4522a	5511ab	6918bc	7598d	6918cd	1206
Secuestro carbono (SC)	-393bc	-314ab	-261a	-473c	-500c	111
Soia	29	201	380	41	204	238
iLUC	460a	643a	1305b	1010ab	1009ab	419
HT: HP+SC+So+iLUC	4619a	6041b	8342c	8176c	6937bc	1431
CO_{2-eq} kg/litro de leite ECM						
Pegada parcial	1,26c	1,22bc	0,97abc	0,85a	0,92ab	0,22
Secuestro carbono (SC)	-0,11c	-0,069b	-0,035a	-0,054ab	-0,074b	0,025
Soia	0,0075	0,043	0,044	0,005	0,028	0,029
iLUC	0,12	0,13	0,18	0,12	0,15	0,06
HT:HP+SC+So+iLUC	1,28b	1,33b	1,16ab	0,92a	1,03ab	0,23
Asignación do CO_{2-eq} para leite e carne						
Asignación por litro de leite, %	79,4a	85,1ab	92,2c	91,0bc	90,7bc	5,2
CO _{2-eq} L ⁻¹ de leite	1,02	1,13	1,07	0,846	0,936	0,20
CO _{2-eq} kg ⁻¹ carne	7,42b	7,69b	6,72ab	5,35ab	5,95a	1,36

PasEco: pastoreo ecolóxico; **PasCon:** pastoreo convencional; **EHba:** ensilado de herba; **EMz:** ensilado de millo; **EHba-EMz:** ensilado de herba e de millo; **HP:** pegada parcial (suma do CH₄, CO₂ e N₂O); **HT:** pegada total [HP + o secuestro de carbono (SC) + as emisións derivadas da compra de soia (So) + as atribuídas ao uso indirecto do chan (iLUC)] a, b, c, letras diferentes na mesma liña indican diferenzas significativas P<0,05

A menor pegada de carbono parcial dun litro de leite da mostra corresponde á tipoloxía EMz de 0,85±0,17kg CO_{2-eq} e a maior de 1,26±0,09 kg á tipoloxía PasEco (táboa 3) para un valor medio de conxunto equivalente a 1,01±0,22 quilos. A pegada total aumentou ata 1,11±0,23 kg CO_{2-eq}, con mínimos de 0,92±0,23 kg en EMz e máximos de 1,33 kg en PasCon. Pola contra, as pegadas parcial e total por hectárea foron un 56,2 % 49,2 % inferiores nos sistemas a pastoreo (PasEco e PasCon) respecto de EHba, EMz e EHba-EMz.

As porcentaxes de CO₂ que representan o secuestro de carbono (SC), a compra de soia (So) e o cambio de uso indirecto do solo (iLUC) á pegada total dun litro de leite para o conxunto de explotacións foron do -6,04±1,9 %, o 2,5±3,2 % e 12,7±4,5 % respectivamente. Como se indica na táboa 3 e na figura 7, só o secuestro de carbono presenta signo

negativo en todas as graxas, con diferenzas significativas entre elas e, dentro destas, a tipoloxía PasEco foi porcentualmente superior nun 68,2 % respecto da de menor secuestro de carbono por litro de leite en EHba. Pola contra, non se observaron diferenzas significativas para o CO₂ da soia e o iLUC entre tipoloxías (táboa 3), con valores medios de conxunto equivalentes a 0,066±0,025 kg CO₂ e 0,14±0,06 kg respectivamente.

A variable mellor relacionada coa pegada de carbono dun litro de leite no conxunto de explotacións foi a eficiencia de utilización do nitróxeno da dieta (EUN) expresada en porcentaxe (figura 8), tanto para o N do leite considerando só vacas leiteiras (EUN_{VL}), o N no leite considerando o conxunto do rabaño (EUN_R) e o N do leite e carne no conxunto do rabaño (EUN_{CR}). En xeral, por cada incremento dunha unidade porcentual da EUN_{VL}, EUN_R e EUN_{CR} a pegada de carbono pode reducirse

▶ OS RESULTADOS OBTIDOS CONTRIBÚEN A AUMENTAR O COÑECEMENTO DA SAÚDE AMBIENTAL DOS SISTEMAS LEITEIROS GALEGOS

en 0,020, 0,038 e 0,037 kg CO_{2-eq} respectivamente. Aumentar a eficiencia de utilización do N da dieta nas vacas leiteiras ou no conxunto do rabaño implica máis N recuperado en leite e menos en feces e ouriños, por riba as súas emisións potenciais de óxido nítrico, reducíndose así a pegada de carbono.

A cantidade de soia que intervéen na mestura do concentrado das vacas leiteiras é do 9,2±9,6 %, con mínimos do 0 % e máximos do 30 %. Esta porcentaxe transfere consumos medios de 0,78±0,96 kg vaca e día, con máximos de 1,32±1,57 kg en EHba e mínimos de 0,17±0,09 e 0,16±0,37 en PasEco e EMz respectivamente, favorecendo emisións de CO_{2-eq} por hectárea, por UGM e por litro de leite inferiores nestas dúas últimas tipoloxías.

O CO_{2-eq} asignado a un litro de leite en porcentaxe da pegada total (HT), o kg de CO_{2-eq} por litro de leite e por kg de peso vivo vendido vén sinalado na táboa 3. A porcentaxe de asignación estimado para o leite para as tipoloxías de alimentación EHba, EMz e EHba-EMz foi maior (P<0,05), con asignacións similares para o tres de 91,1±2,2 % e inferior en PasEco e PasCon co 83,2±5,9 %. En calquera caso e para o conxunto de explotacións a porcentaxe media é do 88,7±5,2 %, lixeiramente superior ao 85,6 % indicado por defecto polo IDF (2010), e similares ao 89,8 % das explotacións leiteiras de Australia, superiores ao 77 % sinalado por Kiefer *et al.* (2014) para explotacións ecolóxicas de Alemaña e similares a 84,8 % no Reino Unido. Así, a pegada de carbono o CO_{2-eq} dun litro sitúase en valores de 0,98±0,20 kg, con máximos de 1,1±0,69 kg nas explotacións máis extensivas e de 0,93±0,2 kg as intensivas.

A figura 9 compara a pegada de carbono por litro de leite de 43 publicacións de entre os anos 2000-2010 ▶

Figura 7. Pegada de carbono total dun litro de leite segundo tipoloxía de alimentación

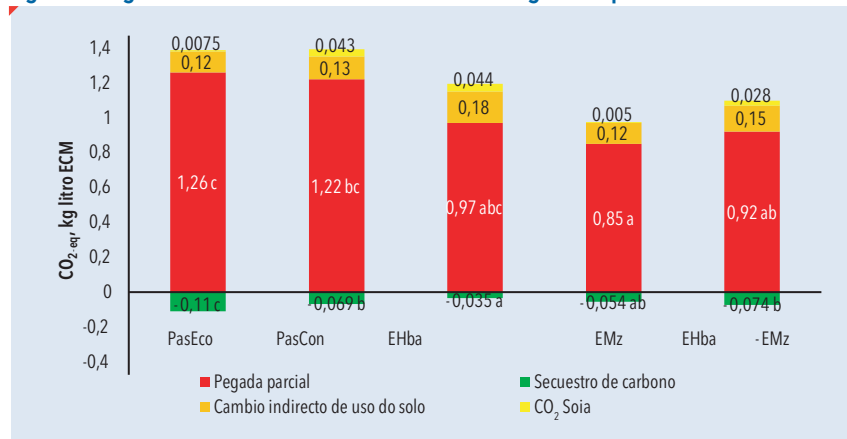


Figura 8. Relacións entre a pegada de carbono e a eficiencia de utilización do N

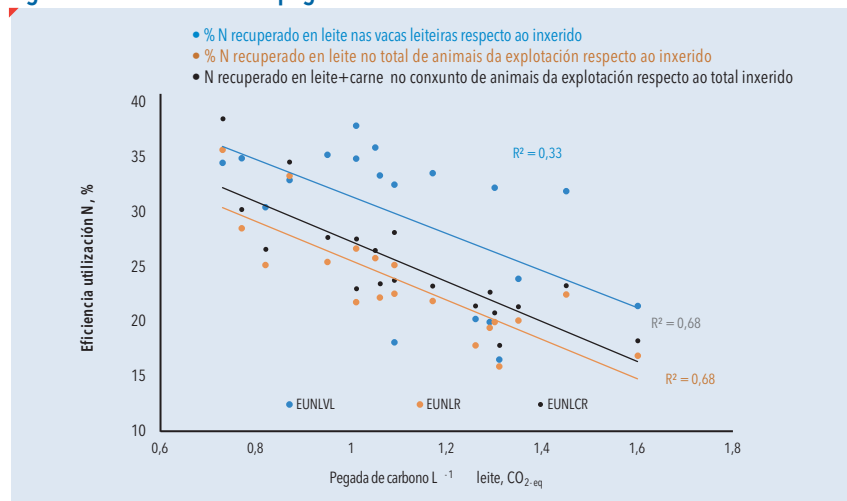
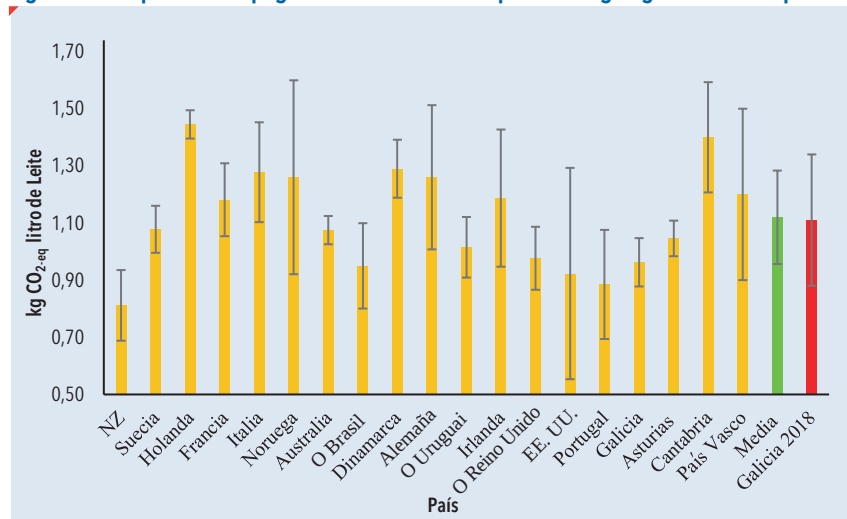


Figura 9. Comparativa da pegada de carbono das explotacións galegas con outros países



(23,3 %) ata 2011-2019 (76,7 %), procedentes de 15 países e 4 comunidades autónomas españolas cun total de 79 pegadas de carbono publicadas, a maioría delas sen asignación de leite e carne. O valor medio da pegada de carbono corresponden-

te a esas publicacións é de $1,11 \pm 0,24$ kg CO₂-eq/kg de leite, con mínimos de 0,55 kg e máximos de 1,59 kg CO₂-eq. Este valor é similar ao $1,11 \pm 0,23$ kg CO₂-eq obtido no conxunto das explotacións consideradas no presente estudo.

IMPLICACIÓNS

- Mellorar a produción de forraxes cunha rotación de cultivos que inclúa leguminosas diminúe a compra de fertilizantes inorgánicos, suplementos proteicos e, por tanto, reduce as emisións de N₂O.
- Mellorar a fertilización orgánica con aplicacións de xurro enterrado contribúe a reducir significativamente as emisións de NH₃ e en consecuencia de forma indirecta de óxido nítrico.
- Utilizar fertilizantes nitroxenados de liberación lenta para o millo e outros cultivos forraxeiros pode mitigar significativamente as emisións de N₂O.
- Diminuír a porcentaxe de proteína do concentrado e o de soia na ración aumentaría a eficiencia de utilización do N da dieta (máis N en leite) e habería menos excretado en feces e ouriños, o que permitiría reducir as emisións de NH₃ e N₂O.
- Nos sistemas a pastoreo ou os baseados en ensilado de herba a reserva dunha determinada porcentaxe de SAU da explotación para o cultivo de millo permitiría incrementar a produción forraxeira, menor dependencia de alimentos de fóra da explotación, mellor porcentaxe de proteína en leite (menos N excretado ao medio) e, por tanto, reducións de metano entérico.
- Potenciar o pastoreo e reducir o ensilado de herba. Desta forma, os azucres consumidos nos procesos de fermentación son inxeridos directamente polos animais, hai unha redución de custos, mellor valor nutritivo da herba consumida polos animais e menor gasto de enerxía nos procesos de produción (sega, transporte, plásticos, conservantes etc.), así mesmo, unha redución das emisións de amoníaco.

CONCLUSIÓNS

A mostra analizada de 19 explotacións de leite neste traballo representou o 0,25 % do total das existentes en Galicia do ano 2018. Aínda que esta baixa porcentaxe non permite extrapolar os resultados na comunidade de Galicia; os resultados obtidos contribúen a aumentar o coñecemento da saúde ambiental dos sistemas leiteiros galegos. O 60,3±4,9 % das emisións totais produ-

cense dentro da explotación, permitindo amplas oportunidades de mellora. A pegada de carbono parcial estimada a partir do modelo DairyCant dun litro de leite da mostra foi de $1,01 \pm 0,22$ kg $\text{CO}_2\text{-eq}$ e $1,11 \pm 0,23$ kg a pegada total, en ambos os casos para a totalidade dos animais. Ao diferenciar a porcentaxe de ambas as pegadas, o 88,7 % do $\text{CO}_2\text{-eq}$ é atribuído ao leite e o 11,3 % á venda de animais. A pegada de carbono aquí obtida de $1,11 \pm 0,23$ kg é similar á media de 15 países e 4 comunidades autónomas da cornixa cantábrica. Un maior número de explotacións permitiría confirmar se a tendencia observada nestas explotacións é a tónica xeral ou, se pola contra, a variabilidade é superior á aquí observada.

AGRADECEMENTOS

Os autores agradecen o financiamento obtido polo INIA e o Ministerio de Economía, Industria e Competitividad (subproxectos: INIA RTA2015-00058-C06-01 e 02), cofinanciado con fondos FEDER. Un agradecemento especial ás ganderías participantes do proxecto. ■

BIBLIOGRAFÍA

Ausley E., Bradera M., Chatterton J., Murphy-Borken D., Webster C., Williams A. (2009). Howlow can we go? And assessment of greenhouse gas emissions from the UK food system and the scope reduction by 2050. Report for the WWF and Food Climate Research Network.

Bannink A., Kogut J., Dijstra J., France J., Kebreab E., Van Vuuren A.M., Tamminga S. (2006). Estimation of the stoichiometry of volatile fatty acid production in the rumen of lactating cows. *J.Theor. Biol.* 238, 36-51.

Basarab, J.A., Beauchemin, K.A., Baron, V.S., Ominski, K.H., Guan, L.L., Miller, S.P., Crowley, J.J.(2013). Reducing GHG emissions through genetic improvement for feed efficiency: effects on economically important traits and enteric methane production. *Animal* 7, 303-315.

Basset-Mens, C., Ledgard, S., Boyes, M., 2009. Eco-efficiency of intensification scenarios for milk production in New Zealand. *Ecol. Econ.* 68, 1615-1625.

Bell, M.J., Wall, E., Russell, G., Stott, A.W. (2011). The effect of improving cow productivity, fertility, and longevity on the global warming potential of dairy systems. *J. Dairy Sci.* 94, 3662-3678.

Brask, M., Lund, P., Hellwing, A.L.F., Poulsen, M., Weisbjerg, M.R. (2013). Enteric methane production, digestibility and rumen fermentation in dairy cows fed different forages with and without rapeseed fat supplementation. *Anim. Feed Sci. Technol.* 184, 67-79.

Cederberg, C., Stadig, M. (2002). System Expansion and Allocation in Life Cycle Assessment of Milk and Beef Production.

PhD. Thesis submitted to the Department of Applied Environmental Science Goteburg University. Goteburg, Sweden.

De Vries, J.W., Groenestein, C.M., De Boer, I.J.M. (2012). Environmental consequences of processing manure to produce mineral fertilizer and bio-energy. *J. Environ. Manage.* 102, 173-183.

Dijkstra, J., Oenema, O., Bannink, A., 2011. Dietary strategies to reducing N excretion from cattle: implications for methane emissions. *Curr. Opin. Environ. Sustain.* 3, 414-422.

Ellis, J.L., Dijkstra, J., Kebreab, E., Bannink, A., Odongo, N.E., McBride, B.W., France, J. (2008). Aspects of rumen microbiology central to mechanistic modelling of methane production in cattle. *J. Agric. Sci.* 146, 213-233.

FAO, (2010). Greenhouse Gas Emissions from the Dairy Sector: A Life Cycle Assessment. Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome, Italy.

Gerber, P., Vellinga, T., Opio, C., Henderson, B., Steinfeld, H. (2010). Greenhouse Gas Emissions from the Dairy Sector, A Life Cycle Assessment. FAO Food and Agriculture Organization of the United Nations, Animal Production and Health Division, Rome.

Glasser, F., Ferlay, A., Chilliard, Y. (2008). Oilseed lipid supplements and fatty acid composition of cow milk: A meta-analysis. *J. Dairy Sci.* 91, 4687-4703.

IDF. 2010. A common carbon footprint approach for the dairy sector. The IDF guide to standard life cycle assessment methodology. Bulletin 445/2010.

IPCC. 2006. Intergovernmental Panel on Climate Change. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4: Agriculture, forestry and other land use. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Program, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan.

Kiefer, L., Menzel, F., Bahrs, E. (2014). The effect of feed demand on greenhouse gas emissions and farm profitability for organic and conventional dairy farms. *J. Dairy Sci.* 97, 7564-7574.

Kristensen, T., Mogensen, L., Trydeman, M., Hermansen, J. (2011). Effect of production system and farming strategy on greenhouse gas emissions from commercial dairy farms in a life cycle approach. *Livestock Science* 140, 136-148.

O'Brien, D., Capper, J.L., Garnsworthy, P.C., Grainger, C., Shalloo, L. (2014). A case study of the carbon footprint of milk from high-performing confinement and grass-based dairy farms. *J. Dairy Sci.* 97, 1835-1851.

Petersen, B.M., Knudsen, M.T., Hermansen, J.E., Halberg, N. (2013). An approach to include soil carbon changes in the life cycle assessments. *J. Clean Prod.* 52, 217-224.

Powell, J.M., MacLeod, M., Vellinga, T.V., Opio, C., Falcucci, A., Tempio, G., Steinfeld, H., Gerber, P. (2013). Feed milk manure nitrogen relationships in global dairy production systems. *Livestock Science* 152, 261-272.

Rypdal K., Paciornik, N., Eggleston, S., Goodwin, J., Irving, J., Penman, J., Woodfield, M. (2006). Introduction to the 2006 guidelines. In: Eggleston HS, Buendia L, Miwa K, Ngara T, Tanabe K (eds) IPCC guidelines for national greenhouse gas

inventories, vol 1. IGES, Hayama.

Salcedo, G. (2011). Minimización y aprovechamiento del purín en origen de las explotaciones lecheras de Cantabria, Consejería de Medio Ambiente, Depósito Legal: SA-258-2011, 681 pág.

Salcedo, G. (2015). DairyCant: a model for the reduction of dairy farm greenhouse gas emissions. *Advances in Animal Biosciences.* 6, 26-28.

Salcedo, G., Sande, V., Alonso, G. (2015). Ensilado de maíz como potencial mitigante de gases de efecto invernadero en las explotaciones lecheras de Galicia, AFRIGA AÑO XXI - Nº 116, 102-114.

Sjaunja, L.O., Baevre, L., Junkkarinen, L., Pedersen, J., Setälä, J. (1990). A Nordic proposal for an energy corrected milk (ECM) formula. In: 27th session of the International Commission for Breeding and Productivity of Milk Animals. Paris. France.

Soussana, J.F., Tallec, T., Blanfort, V. (2010). Mitigating the greenhouse gas balance of ruminant production systems through carbon sequestration in grasslands. *Animal* 4, 334-350.

Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M. & de Haan, C. (2006). Livestock's long shadow - Environmental issues and options. Rome, Italy, Food and Agriculture Organization of the United Nations.

SPSS (2006). Statistical Package for the Social Sciences. 2006, Guía breve de SPSS 15.0. SPSS Inc., Chicago.

Wall, E., Simm, G., Moran, D. (2010). Developing breeding schemes to assist mitigation of greenhouse gas emissions. *Animal* 4, 366-376.

Vellinga T.V., Van den Pol-Van Dassel, A., Kuikman, P.J. (2004). The impact of grassland ploughing on CO₂ and N₂O emissions in The Netherlands. *Nutr. Cycling Agroecosyst.* 70, 33-45.

Van Gastelen, S., Antunes-Fernandes, E., Hettinga, K., Klop, G., Alferink, J., Hendriks, W., Dijkstra, J. (2015). Enteric methane production, rumen volatile fatty acid concentrations, and milk fatty acid composition in lactating Holstein-Friesian cows fed grass silage or corn silage-based diets. *J. Dairy Sci.* 98, 1-13.

Zotarelli, L., Zatorre, N.P., Boddey, R.M., Urquiza, S., Jantalia, C.P., Franchini, J.C., Alves, B.J.R. (2012). Influence of no-tillage and frequency of a green manure legume in crop rotations for balancing N outputs and preserving soil organic C stocks. *Field Crops Res.* 132, 185-195