

Huella de Carbono de la carne: Un estudio de caso

Rodolfo Gustavo Bongiovanni¹   Leticia Tuninetti²  

Estación Experimental Agropecuaria Manfredi, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Argentina

Carbon footprint of beef: A case study

Abstract. The aim of this study was to analyze the carbon footprint of beef production, with field rearing and rearing plus fattening in a *feedlot*, in a circular economy system, in the southeast of San Luis, Argentina, for three categories of animals: male TBeef (up to 503 kg), female TBeef (up to 502 kg) and Gombu (up to 606 kg). The functional unit is 1 kg of boneless frozen beef, red *Aberdeen Angus* breed, packed and placed in the export port. Breeding takes place in natural and implanted pastures. Weaning was performed at 6 months of age (150 kg for females and 185 kg for males). Rearing was carried out in a corral and lasted 105 days for males (up to 299 kg) and 135 days for females (up to 305 kg). Fattening was carried out in a feedlot and lasted 180 days for TBeef males, 210 days for TBeef females and 285 days for Gombu. The carbon footprint was 21.6 kgCO₂eq for male TBeef, 24.0 kgCO₂eq for female TBeef, and 20.3 kgCO₂eq for Gombu. The hotspot was enteric fermentation, representing between 63 % and 65 % of the total impact. The female TBeef had the largest footprint because it required more rearing and fattening days to reach the same sales weight as the male Tbeef. This implies the greatest use of resources and more days of emissions from enteric fermentation and manure management. The category with the lowest emissions was Gombu, since it was fattened up to the final 606 kg, so the total impact of its production was divided into a higher final weight. The results are considerably below the surveyed bibliography, which is explained by the integrated circular economy system. A high percentage of the diet was by-products of ethanol production because they used the effluents for a biodigester and because nitrogenous fertilisers were reduced.

Key Words: life cycle assessment, carbon footprint, emissions, environmental impact, global warming.

Resumen. El objetivo de este estudio fue analizar la huella de carbono de la producción de carne bovina, con cría a campo y recría más engorde en *feedlot*, en un sistema de economía circular, en el sudeste de San Luis, Argentina, para tres categorías de animales: machos TBeef (hasta los 503 kg), hembras TBeef (hasta los 502 kg) y Gombu (hasta los 606 kg). La unidad funcional fue 1 kilogramo de carne bovina congelada sin hueso, raza *Aberdeen Angus* colorado, envasado y puesto en el puerto de exportación. La cría se realizó en pastizales naturales y en pasturas implantadas. El destete se realizó a los 6 meses (150 kg las hembras y 185 kg los machos). La recría se realizó a corral y duró 105 días para los machos (hasta los 299 kg) y 135 días para las hembras (hasta los 305 kg). El engorde se realizó en *feedlot* y duró 180 días para los machos TBeef, 210 días para las hembras TBeef y 285 días para Gombu. La Huella de Carbono resultó en 21.6 kgCO₂eq para el macho TBeef, 24.0 kgCO₂eq para la hembra TBeef, y 20.3 kgCO₂eq para Gombu. El punto crítico fue la fermentación entérica, que representó entre el 63 % - 65 % del impacto total. La hembra TBeef fue la que mayor huella presentada, porque requirió más días de recría y engorde para alcanzar el mismo peso de venta que los TBeef machos. Esto implicó el mayor uso de recursos y más días de emisiones por fermentación entérica y gestión del estiércol. La categoría que menores emisiones presentó fue Gombu, ya que se engordó hasta los 606 kg finales y el impacto total por su producción, se dividió en un mayor peso final. Los resultados encontrados estaban por debajo de la bibliografía relevada, lo que se explica por el sistema integrado de economía circular, en el que un alto porcentaje de la dieta son subproductos de la producción de etanol, porque usaban los efluentes para un biodigester, y porque había un uso reducido de fertilizantes nitrogenados.

Palabras clave: análisis de ciclo de vida, sostenibilidad, emisiones, impacto ambiental, calentamiento global.

Recibido:2022-01-14. Aceptado: 2023-01-30

¹ Autor para la correspondencia: bongiovanni.rodolfo@inta.gob.ar

² Instituto Nacional de Tecnología Industrial, Córdoba, Argentina.

Pegada de carbono da carne bovina: Um estudo de caso

Resumo. O objetivo deste trabalho foi analisar a pegada de carbono da produção de carne bovina, com criação a campo e recria mais engorda em confinamento, em sistema de economia circular, no sudeste de San Luis, Argentina, para três categorias de animais: TBeef macho (até 503 kg), TBeef fêmea (até 502 kg) e Gombu (até 606 kg). A unidade funcional foi 1 quilo de carne bovina desossada congelada, da raça *Aberdeen Angus* Colorado, embalada e colocada no porto de exportação. A criação ocorreu em pastagens naturais e pastagens implantadas. O desmame foi realizado aos 6 meses (150 kg para fêmeas e 185 kg para machos). A recria foi feita em curral com duração de 105 dias para machos (até 299 kg) e 135 dias para fêmeas (até 305 kg). A engorda foi realizada em confinamento e teve a duração de 180 dias para machos TBeef, 210 dias para fêmeas TBeef e 285 dias para Gombu. A pegada de carbono resultou em 21,6 kgCO₂eq para o TBeef novilhos, 24,0 kgCO₂eq para o TBeef novilhas e 20,3 kgCO₂eq para Gombu. O ponto crítico foi a fermentação entérica, que representou entre 63 % e 65 % do impacto total. O grupo de novilhas TBeef apresentaram a maior pegada de carbono, pois necessitaram de mais dias de recria e engorda para atingir o mesmo peso de terminação do que os novilhos TBeef. Isso implicou uma maior utilização de recursos e mais dias de emissões decorrentes da fermentação entérica e do manejo de dejetos. A categoria com as menores emissões foi a Gombu, pois os animais foram engordados até 606 kg de peso vivo e o impacto total de sua produção foi dividido por um peso final maior. Os resultados foram aquém da bibliografia pesquisada, o que se explica pelo sistema integrado de economia circular, em que uma alta percentagem da dieta era composta de subprodutos da produção de etanol, porque utilizava-se os efluentes para um biodigestor, e porque havia uma redução no uso de fertilizantes nitrogenados.

Palavras-chave: avaliação do ciclo de vida, sustentabilidade, emissões, impacto ambiental, aquecimento global.

Introducción

Existe una creciente preocupación de la sociedad con respecto a los impactos de las actividades humanas sobre los recursos naturales. Dichos impactos se pueden estimar a través de indicadores o “huellas ambientales” con el método “análisis de ciclo de vida” (ACV), el que trata los aspectos e impactos ambientales potenciales a lo largo de todo el ciclo de vida de un producto, desde la obtención de la materia prima, pasando por la producción, utilización, consumo, tratamiento final, reciclado, hasta su disposición final (ISO, 2006). Las huellas ambientales no sólo transparentan la información sobre el impacto de los sistemas productivos, sino que también detectan oportunidades de mejora de la eficiencia, las que posteriormente pueden ser aprovechadas con herramientas de la “economía circular”, la que busca conservar y mejorar el capital natural, optimizar el uso de los recursos y minimizar los riesgos del sistema (ONU, 2018; Ellen MacArthur Foundation, 2019). A su vez, los consumidores exigen, de forma creciente, información sobre el impacto ambiental de los productos que adquieren para poder realizar una compra responsable (Haller y otros, 2020; Eurobarometer, 2020). Por ello, cada vez más las empresas y gobiernos solicitan una valoración de las emisiones producidas por la actividad empresarial para la compra y contratación. En Argentina, el estudio de las huellas resulta de vital importancia para el sector, porque el ganado bovino aporta el 21,6 % de las

emisiones totales de gases de efecto invernadero del país (SAyDS, 2019). La producción mundial de carne vacuna es de aproximadamente 63 millones de toneladas por año. Durante la última década, se incrementó en el orden de 8 %, por debajo del crecimiento de la población mundial (15 %). La tendencia creciente registrada entre 2003 y 2007 se revirtió en 2008 y 2009 debido a la crisis internacional, manteniéndose luego relativamente estable hasta la actualidad. En 2018 se registró un crecimiento anual del 2 % en la producción mundial de carne vacuna. Estados Unidos se posicionó como el principal productor mundial, concentrando el 19,7% de la producción, seguido por Brasil (15,4 %), la Unión Europea (12,9 %), China (11,5 %) e India (6,9 %). Por su parte, Argentina ocupa el sexto lugar, con una participación del 4,4 %. La cadena de carne vacuna es una de las cadenas más importantes del país, por constituir una actividad con valor agregado, demandante de mano de obra directa e indirecta y por la generación de divisas a través de las exportaciones (Paolilli y otros, 2019). El cálculo de la huella de carbono de un producto resulta de utilidad en la cadena de valor, porque: 1) brinda una visión ambiental integral, mostrando qué etapas del ciclo de producción-consumo de un producto son las de mayor impacto (puntos críticos); 2) permite comunicar la imagen ambiental de un producto (marketing, ecoetiquetas); 3) muestra posibles reducciones de

costos a través del uso más eficientes de recursos energéticos y materiales (gestión de materias primas y proveedores); 4) propone argumentos y herramientas para la revalorización de subproductos y desechos a través del reciclado o la reutilización; y 5) permite comparaciones entre materias primas, embalajes, tecnologías, métodos de distribución, como así también entre productos y servicios sustitutos (Bongiovanni & Tuninetti, 2021, 2018, 2016; ISO, 2013, 2006; Environdec, 2023).

Materiales y Métodos

Este trabajo analizó la huella de carbono de la producción de carne bovina, con cría a campo y recría más engorde en *feedlot*, en un sistema de economía circular, de un establecimiento productor de etanol, carne de exportación y energía eléctrica, ubicado en la zona semiárida central de Argentina, para tres categorías de animales denominados macho TBeef, Hembra TBeef y macho GOMBU. La unidad funcional fue un kilogramo de carne bovina congelada sin hueso, raza *Aberdeen Angus* colorado, envasado y puesto en el puerto de exportación de Buenos Aires. También se analizó 1 kg de peso vivo en la puerta del campo, como una unidad funcional intermedia.

El método que se sigue en este trabajo es compatible con las normas de ecoetiquetado ISO 14025 y con las reglas de categoría de producto (PCR) (The International EPD System, 2016) para poder informar la declaración ambiental de producto. Se utilizaron las guías 2019 del IPCC, con factores de emisión específicos del país tomados de los informes bienales de actualización de Argentina (SAyDS, 2019; IPCC, 2019). El estudio abarcó los insumos requeridos para la producción del alimento de los bovinos: pasturas implantadas, grano de maíz, silo de maíz, burlanda húmeda con solubles, vinaza, urea, núcleo mineral y el agua de bebida bajo el método ACV.

En el caso de los alimentos: grano de maíz, silo de maíz, burlanda y vinaza fueron modelados en el estudio huella de carbono y huella energética del etanol anhidro, producido en una mini destilería "Minidest" en origen (Bongiovanni & Tuninetti, 2021). Se incluyeron en el estudio las emisiones derivadas de la aplicación de fertilizantes nitrogenados y por la descomposición de residuos aéreos y subterráneos del cultivo de maíz, calculadas de acuerdo a las guías del IPCC.

El objetivo de este estudio fue determinar la huella de carbono de la carne bovina de tres categorías de animales: machos TBeef (hasta los 503 kg), hembras TBeef (hasta los 502 kg) y Gombu (hasta los 606 kg) producidos en un sistema de cría a campo y engorde en *feedlot* de un establecimiento integrado con economía circular, ubicado en la localidad de Buena Esperanza, provincia de San Luis, Argentina.

Los perfiles ambientales de urea, núcleo mineral y agua de bebida se tomaron de la base de datos Ecoinvent, como así también los perfiles ambientales de producción y quema de combustibles en las labores agrícolas, producción de agroquímicos y producción de fertilizantes. La carga animal por hectárea y las pasturas implantadas fueron modeladas con información provista por la empresa analizada, complementada con información técnica del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria de Argentina (INTA). Se incluyó el cálculo de emisiones derivadas de los residuos subterráneos del cultivo. Se incluyeron en el estudio las emisiones derivadas de la fermentación entérica y gestión del estiércol de los bovinos en todas las etapas de su ciclo vida, hasta que son transportados para su faena en frigorífico. Se incluyeron las emisiones en el crecimiento, preñez y madurez de la hembra madre, dividido entre el total de crías que tuvo en su vida; el crecimiento y madurez del toro dividido en el total de servicios efectivos que prestó en su vida y las emisiones de la cría, recría y engorde de los animales destinados a faena. Las ecuaciones para el cálculo de estas emisiones fueron tomadas de las Guías IPCC 2019. Los resultados de las ecuaciones se encuentran en la Tabla 3.

En el caso de la faena en frigorífico, se utilizó información relevada por el Centro Carnes del Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) de tres frigoríficos con diferentes niveles y tipos de producción. Los perfiles ambientales de generación de energía eléctrica de Argentina, producción y quema de combustibles y producción de otros insumos fueron tomados de la base de datos Ecoinvent, como así también los perfiles ambientales de los transportes de campo a frigorífico y de frigorífico a puerto.

² Se contempló que la mitad de los servicios se realizan bajo la modalidad de inseminación artificial y la otra mitad, bajo la modalidad de servicio natural.



Tabla 3: Resultados de las ecuaciones calculadas de fermentación entérica y gestión del estiércol.

	Cría solo leche	Cría Leche/ pasto	Cría solo pasto	Recria	Engorde 1 Tbeef y GOMBU	Engorde 2 GOMBU	Recria	Engorde 1	Engorde 2	Vaquillona 6 a 15 meses	Vaquillona preñada	Vaca (madre)	Toro 6 a 24 meses	Toro
Peso inicio etapa	33.75	75	155	185	299	503	150	305	476	171	345	445	171	600
Peso fin etapa	75	155	171	299	503	606	305	476	502	345	445	550	600	750
Días	60	100	20	105	180	105	135	180	30	270	270	2930	540	2748
BW	54	115	163	242	401	555	228	391	489	258	395	498	386	675
MW	550	550	550	550	550	606	502	502	502	550	550	550	750	750
WG	0.69	0.8	0.8	1.09	1.13	0.98	1.15	0.95	0.87	0.64	0.37	0.04	0.79	0.05
Leche (kg/día)												5		
Grasa de la leche (%)												3.00		
Ecuación 10.21	0	13.5	49.3	44.9	34.2	38.4	50.2	34.3	37.9	67.6	86.2	92.2	89.4	96.4
Ym	0	4	7	6.3	4	4	6.3	4	4	7	7	7	7	7
Ecuación 10.16	20.8	51.5	107.4	108.6	130.3	146.5	121.4	130.6	144.6	147.2	187.8	200.9	194.8	210
Ecuación 10.3	6.4	11.3	14.7	19.8	28.9	36.8	18.9	28.3	33.5	20.7	31.4	40.7	32.2	49
Ecuación 10.4	1.1	1.9	2.5	0	0	0	0	0	0	3.5	5.3	6.9	5.5	8.3
Ecuación 10.6	2.6	5.3	6.9	13	19.9	20.2	16.7	20.4	21.8	9.1	6.8	0.6	9.1	0.7
Ecuación 10.8												7.4		
Ecuación 10.13											3			
Ecuación 10.14	0.57	0.54	0.48	0.53	0.55	0.55	0.53	0.55	0.55	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48
Ecuación 10.15	0.4	0.36	0.26	0.33	0.37	0.37	0.33	0.37	0.37	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
Digestibilidad DE (%)	95	76.4	57.7	70.3	81.3	82.2	70.5	81.3	82.2	57.7	57.7	57.7	57.7	57.7
Coefficiente Ca	0.17	0.17	0.17	0	0	0	0	0	0	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
Coefficiente Cfi	0.322	0.322	0.322	0.322	0.322	0.322	0.322	0.322	0.322	0.322	0.354	0.386	0.37	0.37
CH₄ EMISSIONS FROM MANURE MANAGEMENT														
Ecuación 10.23	0.02	0.15	0.52	62.4	0.66	0.71	69.39	0.66	0.71	0.72	0.92	0.98	0.95	1.03
Ecuación 10.24	0.1	0.73	2.53	1.87	1.51	1.62	2.07	1.51	1.6	3.47	4.43	4.74	4.6	4.95
B ₀	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
MCF	0.47	0.47	0.47	76	1	1	76	1	1	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47
AWMS	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
N₂O EMISSIONS FROM MANURE MANAGEMENT														
Suma 10.25, 10.28 y 10.29	0.004	0.064	0.165	0.1	0	0	0.117	0	0	0.238	0.328	0.338	0.313	0.38
Ecuación 10.25	0.007	0.051	0.108	0	0	0	0	0	0	0.156	0.199	0.202	0.363	0.27
Ncdg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EF ₃	0.002	0.002	0.002	0	0	0	0	0	0	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
Ecuación 10.28	0.001	0.022	0.057	0.1003	0	0	0.1175	0	0	0.082	0.113	0.116	0.108	0.131
EF ₄	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
N volatilización	0.17	2.8	7.2	12.8	0	0	14.9	0	0	10.4	14.4	14.8	13.7	16.6
FragasMS	0.21	0.21	0.21	0.35	0	0	0.35	0	0	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21
Ecuación 10.29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EF ₅	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011
N leaching	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Frac leachMS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ecuación 10.31 A	0.8	13.3	34.5	36.5	48.2	57.8	42.7	51.4	59.5	49.6	68.4	70.5	65.3	79.2
Ecuación 10.32	0.029	0.065	0.121	0.132	0.158	0.178	0.15	0.16	0.18	0.153	0.195	0.209	0.203	0.237
% CP	16	14.5	13	14	14	14	14	14	14	12	12	12	12	12
Ecuación 10.33	0.027	0.028	0.027	0.032	0.026	0.019	0.03	0.018	0.013	0.0174	0.0082	0.0158	0.0239	0.0015

Respecto al alcance temporal de los inventarios, la información del sistema productivo ganadero correspondió a la campaña de 2018 y 2019, coincidente con la información de maíz, silo de maíz, burlanda y vinaza del estudio del etanol ya mencionado, en el mismo periodo (Bongiovanni & Tuninetti, 2021). No se incluyeron en el cálculo los siguientes elementos y eslabones de la cadena de valor: a) variación del stock de carbono en suelos debido a la gestión agrícola, por no contar con información suficiente para realizar la estimación; b) emisiones debidas al cambio de uso del suelo, ya que se asumió que la producción de maíz y de pasturas se desarrollan en superficies que se encuentran en uso agrícola desde hace más de 20 años y que, por lo tanto, no hubo cambio de uso de suelo; c) traslado y disposición final de los envases de agroquímicos usados para la producción de las pasturas implantadas; d) impacto generado en la técnica de inseminación artificial, por su baja relevancia en relación a la alta tasa de preñez que genera; e) impacto por la construcción y fabricación de infraestructura, corrales, máquinas y espacios de usos comunes ya que, por su extensa vida útil, la participación es poco significativa con respecto al volumen de producción que se maneja; e) consumos de energía para el alumbrado de oficinas, talleres o viviendas y limpieza de instalaciones. Tampoco se consideraron las emisiones generadas por el transporte de los empleados; f) consumos de productos químicos utilizados para tratamiento de efluentes del frigorífico.

La asignación de cargas ambientales fue un paso obligatorio en el cálculo de la huella de carbono de un producto basado en la metodología de ACV, siempre que existieron otros subproductos además del objeto de estudio. Esto tiene como finalidad "dividir" la carga ambiental "aguas arriba" de un proceso, entre las distintas salidas que se obtienen de él. La asignación se realizó definiendo el "valor" (no necesariamente monetario) del producto y de los subproductos, ya sea por su masa, su contenido energético, su precio de venta u otro método que resulte apropiado, de acuerdo al tipo de proceso. Se utilizó el criterio de asignación económico para adjudicar la correspondencia del impacto derivado de las emisiones de la vaca madre y del toro a los terneros en la etapa de cría; y para adjudicar el impacto a la carne sin hueso y a todos los otros subproductos con valor económico que se obtienen en la faena de un bovino en el frigorífico.

Una vez armados los inventarios de entradas y salidas de cada operación y etapas, se obtuvieron en la base de datos Ecoinvent las emisiones unitarias asociadas a cada una de esas entradas: insumos, materias primas, energía, etc., referidas a 1 kg, 1 L, 1 MJ o la unidad que corresponda. Los agroquímicos se contabilizaron por su contenido de principio activo y si no estaban disponibles de ese modo, se incluyeron por su grupo de pertenencia según su acción (herbicida, fungicida, insecticida). Como paso posterior, se asociaron las cantidades usadas de cada "entrada" a sus emisiones unitarias, obteniéndose el impacto para dichas cantidades. El método utilizado para extraer los perfiles ambientales de todos los insumos del proceso productivo fue IPCC 2013 GWP 100 años.

El sistema productivo analizado en este estudio incluyó la cría del ternero al pie de la madre, desde el nacimiento hasta los 6 meses. Luego los animales pasaron a la etapa de recria a campo, en las localidades de Unión, Bagual y Buena Esperanza, provincia de San Luis. La primera preñez de las vaquillonas ocurrió a los 15 meses, teniendo su primera cría a los 24 meses. El peso de la cría se estimó en 25 kg para la primera parición y en 35 kg para las pariciones sucesivas. La vaca permaneció 3 meses aproximadamente con su cría al pie en forma exclusiva, momento en el cual, volvió a preñarse, permaneciendo 3 meses más con su cría al pie y en estado de preñez. El destete se realizó a los 6 meses. Se estimó que una vaca tuvo unos 8 terneros a lo largo de su vida, y cuando se descartó a los 9 o 10 años, pesaba 550 kg. En el caso de los machos, se asumió que prestaban su primer servicio a los 24 meses. Sirvieron alrededor de 33,3 hembras por año, con un porcentaje de preñez del 90 %. A los 9 o 10 años se descartaron con un peso de 750 kg. Los cálculos arrojaron que cada toro tuvo aproximadamente 225 crías. El sistema productivo también realizó inseminación artificial, que resultó en la preñez del 50 % de las hembras. De acuerdo a esta información se asumió que cada ternero tuvo una componente promedio de 50 % de servicio por inseminación artificial y 50 % de servicio por monta natural. Como ya se mencionó, el impacto derivado del proceso de inseminación artificial quedó fuera del alcance de este estudio.

Durante la cría y durante todo el ciclo de vida de vaquillonas, vacas y toros, la alimentación fue a base de pasturas implantadas. Se asumió proporciones iguales de las siguientes variedades de pasturas: pasto

³ Ecoinvent es una de las más extensas y más consistentes bases de datos internacionales. De origen suizo es compatible con estudios y evaluaciones, basada en las normas ISO 14.040: Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Cuenta con más de 12.800 conjuntos de datos en las áreas de suministro de energía, agricultura, transporte, biocombustibles y biomateriales, productos químicos, materiales de construcción, envases, metales, lechería, madera y tratamiento de residuos entre otros. <https://www.ecoinvent.org/>

llorón, agropiro, centeno, sorgo forrajero y alfalfa. Los terneros al pie de la madre mamaron hasta los 60 días, para comenzar luego a incorporar progresivamente forraje en su dieta. Tanto la recría como el engorde se llevaron a cabo en Buena Esperanza, provincia de San Luis, para lo cual se trasladaron los terneros desde los otros campos (localidades de Unión y Bagual,

provincia de San Luis). La recría se realizó bajo el sistema a corral y el engorde en *feedlot*. Esta última etapa incluyó una o dos subetapas, dependiendo del tipo de producto que se buscó lograr. En la Tabla 1 se presentan en detalle las dietas de recría y engorde de los tres tipos de animales para carne que se producen: macho TBeef, hembra TBeef y Gombu.

Tabla 1: Alimentación de los animales durante la recría y el engorde: Machos TBeef y Gombu.

Animales	Recría		Engorde TBeef	
	9 600		1 600	
Días por etapa	105		180	
	MS (kg)	MF (kg)	MS (kg)	MF (kg)
Maíz grano	1 829.056	2 022.041	1 557.268	1 721.577
Burlanda húmeda	2 264.160	7 257.984	362.761	1 162.867
Núcleo mineral	187.203	187.203	60.934	60.934
Urea	25.741	25.741	9.081	9.081
Silaje maíz	3 069.639	8 433.714	523.145	1 437.321
	7 375.799	17 926.683	2 513.190	4 391.780
kg MS/animal total	768	1 571		
kg MS/animal día	7.32	8.73		

Animales	Engorde GOMBU			
	8 000		105	
Días por etapa	180		105	
	MS (kg)	MF (kg)	MS (kg)	MF (kg)
Maíz grano	7 786.343	8 607.887	5 331.656	5 894.204
Burlanda húmeda	1 813.807	5 814.333	1 241.994	3 981.333
Núcleo mineral	304.671	304.671	208.622	208.622
Urea	45.091	45.091	30.876	30.876
Silaje maíz	2 615.726	7 186.606	1 457.376	4 004.084
	12 565.638	21 958.588	8 270.525	14 119.119
kg MS/animal total		1 571		1 034
kg MS/animal día		8.73		9.85

Las emisiones derivadas de la fermentación entérica y gestión del estiércol de los bovinos en todas las etapas de su ciclo vida también se modelaron de acuerdo a las Guías IPCC (IPCC, 2019). Se incluyeron las emisiones en la cría, crecimiento, preñez y madurez de la hembra madre, dividido entre el total de crías que tuvo en su vida; la cría, crecimiento y madurez del toro dividido en el total de servicios efectivos que prestó en su vida y las emisiones de la cría, recría y engorde de los animales destinados a faena. La etapa de cría se dividió en tres subetapas, en las que el ternero consume: a) solo leche (60 días); b) leche y pasto (100 días); c) solo pasto (20 días). Los resultados de las ecuaciones se encuentran en la Tabla 3.

Se incluyeron las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), óxido nitroso (N₂O) y metano (CH₄), asociadas a la quema de combustibles para las labores agrícolas

como siembra, aplicación de fertilizantes y agroquímicos. Para combustibles se adicionaron las emisiones generadas durante el ciclo de vida productivo, contemplando las etapas de extracción, refinado y transporte.

También se tuvieron en cuenta las emisiones de GEI asociadas al ciclo de producción de los agroquímicos y fertilizantes aplicados durante la producción de las pasturas. Para realizar la estimación se calcularon las cantidades de agroquímicos (expresados en kg de principio activo), en función del principio activo, concentración y densidad informada en los marbetes de los productos. También se tuvieron en cuenta las emisiones derivadas de la producción de los envases de los distintos agroquímicos utilizados en la etapa agrícola, teniendo en cuenta su capacidad y material de fabricación.

El modelo de cálculo de emisiones por la descomposición de los residuos subterráneos surgió de las Guías IPCC, Volumen 4, Capítulo 11. En el caso de los residuos de cosecha se incluyeron las fuentes de emisiones directas; las indirectas por lixiviación resultaron en cero. No se incluyeron emisiones de óxido nitroso por la aplicación de fertilizantes nitrogenados, ya que el fertilizante que se consideró usado en las pasturas no es nitrogenado (superfosfato triple). Se tuvo en cuenta además la duración de cada pastura, cuyos valores fueron: agropiro y pasto llorón: 10 años; centeno y sorgo forrajero: 1 año; alfalfa: 5

años. Los alimentos utilizados en la etapa de recría a corral y feedlot fueron granos de maíz, silo de maíz, burlanda y vinazas obtenidas como subproductos en la minidest, con el agregado de pequeñas cantidades de urea y núcleo mineral. Los impactos generados en la producción de estos alimentos se calcularon para el año 2019 (Bongiovanni & Tuninetti, 2021) y se usaron para este trabajo. La cantidad de agua de bebida que consume cada animal se extrajo de (Duarte, 2020). Además del agua, los animales consumieron vinaza a libre demanda, por lo que su impacto también fue considerado (Tabla 2).

Tabla 2: Valores de digestibilidad usados para cada alimento

Producto	DE %	Fuente de información
Maíz grano	91.9	Composición de alimentos para rumiantes EEA INTA Balcarce. 2002. Consultas a: Ing. Agr. Héctor H. Fernández, Nutrición Animal (Fernández, 2002)
Burlanda y Vinaza	67.8	Caracterización de co-productos de la industria del etanol. INTA Manfredi (Brunetti, Moretto, Frossasco, & Martínez-Ferrer, 2020)
Silaje de maíz picado fino	59.2	Composición de alimentos para rumiantes EEA INTA Balcarce. 2002. Consultas a: Ing. Agr. Héctor H. Fernández, Nutrición Animal (Fernández, 2002)
Promedio pasturas implantadas	57.7	Promedio: alfalfa 65, pasto llorón 53, agropiro 50, sorgo forrajero 57,5 y centeno 63.

En el sistema en estudio, tranqueras adentro del campo se obtuvieron como productos principales los animales criados en *feedlot*: macho TBeef, hembra TBeef y machos Gombu. Como subproductos se obtuvieron las vacas y toros maduros, al final de su vida útil. Para realizar la asignación, se tuvo en cuenta las crías que tuvo una vaca en su vida y el mismo dato para el toro; además los precios de venta de los animales (peso vivo) y los pesos al momento de la venta. Una vaca tuvo 8 crías y se descartó con aproximadamente 550 kg de peso. Su valor de venta fue de 0,95 USD/kg de peso vivo (PV). Los toros tuvieron 225 crías en su vida y se descartaron con 750 kg de peso aproximadamente. Su precio de venta fue de 1,08 USD/kg PV. Para animales engordados en *feedlot* se asumió un precio de venta de 1,40 USD/kg PV para las categorías macho y hembra TBeef y de 1,57 USD/kg PV para machos Gombu (Tabla 4).

Los resultados del proceso de asignación de cargas ambientales mostraron que los animales terminados TBeef macho y hembra se llevaron el 91,5 % del impacto de la vaca y el 99,5 % del impacto del toro, el que, a su vez, debe ser dividido luego por las 8 crías de la vaca y por las 225 crías del toro. En el caso de los Gombu, se llevaron el 93,5 % del impacto de la vaca y el 99,6 % del impacto del toro. En la etapa de faena, la información de consumos de insumos, envases y embalajes usados en el frigorífico se obtuvieron de diversas fuentes, debido a que no se tuvo acceso a

información primaria. Luego el impacto unitario de producir, trasladar y usar una unidad de cada insumo se tomó de la base de datos Ecoinvent. Las cantidades de insumos utilizados y efluentes generados se presentan en la Tabla 5. En las diversas fuentes consultadas, los efluentes se trataron dentro de las instalaciones del frigorífico y se volcaron a distintos cursos de agua superficial cumpliendo con la normativa exigida en cada jurisdicción; de este modo se asumió que ese efluente no generó impacto luego de su vuelco. Los productos químicos utilizados en los procesos de tratamiento de los efluentes no fueron considerados en este estudio por no contar con dicha información.

En cuanto a los productos y subproductos obtenidos luego de la faena, se tomaron valores de rendimientos, mermas y porcentajes informados por el Centro INTI Carnes, del mismo modo que los precios de referencia para cada corriente. La Tabla 6 muestra las cantidades de productos y subproductos obtenidos para cada categoría animal producida. Se complementa la tabla con los valores de asignación de cargas del frigorífico.

Tabla 5: Consumos y efluentes generados en el frigorífico

	Unidad	Cantidad
Energía eléctrica	kWh/kg PV	0.2788
Gas natural	m ³ /kg PV	0.1154
Agua	m ³ /kg PV	0.0192
Efluente a río	m ³ /kg PV	0.0179

⁴Emisiones predeterminadas, factores de volatilización y lixiviación para emisiones indirectas de N₂O al suelo. Tabla 11.3.

Tabla 4: Asignación económica del impacto ambiental a las diferentes categorías

Tbeef macho				
Valor de mercado	USD/kg PV	Cantidad (PV)	Ingreso	Asignación
Animal terminado	USD 1.40	4024	USD 5 634	91.50 %
Vaca descarte	USD 0.95	550	USD 523	8.50 %
Valor de mercado	USD/kg PV	Cantidad (PV)	Ingreso	
Animal terminado	USD 1.40	113 175	USD 158 445	99.50 %
Toro descarte	USD 1.08	750	USD 810	0.50 %
Tbeef hembra				
Valor de mercado	USD/kg PV	Cantidad (PV)	Ingreso	Asignación
Animal terminado	USD 1.40	4 016	USD 5 622	91.50 %
Vaca descarte	USD 0.95	550	USD 523	8.50 %
Valor de mercado	USD/kg PV	Cantidad (PV)	Ingreso	
Animal terminado	USD 1.40	112 950	USD 158 130	99.50 %
Toro descarte	USD 1.08	750	USD 810	0.50 %
Macho GOMBU				
Valor de mercado	USD/kg PV	Cantidad (PV)	Ingreso	Asignación
Animal terminado	USD 1.56	4 848	USD 7 563	93.50 %
Vaca descarte	USD 0.95	550	USD 523	6.50 %
Valor de mercado	USD/kg PV	Cantidad (PV)	Ingreso	
Animal terminado	USD 1.56	136 350	USD 212 706	99.60 %
Toro descarte	USD 1.08	750	USD 810	0.40 %

Tabla 6: Rendimiento de la carne en la etapa del frigorífico

	USD/kg	Porcentajes
Peso vivo en campo		
Desbaste (% del peso vivo en el campo)		4.10 %
Peso vivo en planta		100 %
Sangre	USD 0.32	3.20 %
Patas y Manos	USD 0.02	2.50 %
Cuero	USD 0.23	7.20 %
Cabeza	USD 0.02	4.30 %
Aparato gastrointestinal	USD 1.54	11.90 %
Otras vísceras y menudencias	USD 1.54	3.10 %
Entraña fina	USD 5.07	0.20 %
Prolijado y recortes y dressing de la canal	USD 2.68	10.90 %
Otros subproductos y mermas	USD 1.94	2.80 %
Peso Canal Caliente		53.90 %
Merma por frio		1.00 %
Peso Canal Fria (dos medias canales)		52.90 %
Carne (sin hueso ni grasa)	USD 4.07	69.00 %
Grasa	USD 0.10	9.00 %
Hueso	USD 0.02	22.00 %

En cuanto a los envases y embalajes de la carne, se obtuvo información por entrevistas personales con informantes calificados de la empresa Packing box Argentina (Packing box Argentina, 2020). Cada caja

contenía 22 kg de carne congelada y pesaba 500 gramos (cartón corrugado y papel Kraft). Se usaron 208 g de plástico por cada caja (incluyendo el polietileno de cada corte y bolsa grande de la caja). Se

tuvieron en cuenta los transportes de los animales vivos, desde los campos de cría (Unión y Bagual) hasta Buena Esperanza, donde se realizó la recría y engorde, y desde Buena Esperanza hasta el frigorífico en Villa Mercedes. Luego el transporte de la carne sin hueso desde el frigorífico hasta el puerto de Buenos Aires. Todos los recorridos se contabilizaron ida y vuelta, asumiendo que retornaron al origen sin carga. El primer tramo mencionado se consideró que se realizaba en camión jaula con una capacidad de entre 60 y 70 animales (de entre 150 y 185 kg). Las distancias

recorridas fueron de 90 km entre Unión y Buena Esperanza y de 115 km entre Bagual y Buena Esperanza. El tramo entre Buena Esperanza y el frigorífico se realizó en el mismo tipo de camión, pero se trasladaron aproximadamente 30 animales. La distancia desde Buena Esperanza hasta Villa Mercedes fue de 140 km. Finalmente se consideró el tramo desde Villa Mercedes hasta el puerto de Buenos Aires con 720 km contados de ida y vuelta en camión refrigerado con capacidad para transportar hasta 16 t de carga.

Resultados y Discusión

La huella de carbono de la carne bovina producida, cortes sin hueso para exportación en el puerto de Buenos Aires resultó en 21.1 kg CO₂ equivalente por UF para la categoría Macho TBeef, 23.5 para la hembra TBeef y 19.9 para Gombu. En la puerta del frigorífico los valores encontrados fueron de 20.8 kg CO₂ equivalente por UF para la categoría Macho TBeef, 23.1 para la hembra TBeef y 19.5 para Gombu. La Tabla 7 muestra los resultados y los principales elementos que componen la huella de carbono de cada categoría de carne bovina producida.

A los efectos ilustrativos y comparativos se analizó también otra Unidad Funcional, que fue 1 kg de PV en la tranquera del campo. El impacto calculado resultó en 9.8 kg CO₂ equivalente por kg de PV para la categoría Macho TBeef, 11.0 para la hembra TBeef y 9.2 para Gombu. La Tabla 8 muestra los principales elementos que integran la huella de carbono de cada categoría en la tranquera del campo.

Los puntos críticos de impacto se encontraron, en primer lugar, en la producción primaria, notoriamente en la emisión de metano por fermentación entérica que representó entre el 62 % y el 64 % del impacto total. Dentro de este punto, aparecieron con mayor valor las emisiones de la vaca madre (que se encuentran multiplicadas por el valor de asignación calculado y divididas por el número de crías que tuvo en su vida), seguidas de las emisiones del propio animal de engorde y finalmente el aporte del toro, que es mínimo, debido a que sus emisiones se multiplicaron por el factor de asignación calculado y se dividieron en el número de crías que tuvo en su vida, siendo mucho mayor al de la hembra. La conversión de energía en metano, denominada factor Y_m , fue mayor para animales alimentados con pasturas que para animales alimentados con granos y silos, tal como se mencionó anteriormente en lo referido a emisiones por fermentación entérica y gestión del estiércol.

En segundo lugar, se destacaron las emisiones derivadas de la gestión del estiércol, las que ocurrieron principalmente en la recría, donde la acumulación de excretas en lagunas anaeróbicas generó emisiones de metano y óxido nitroso que representaron el 11 % y el 15 % del impacto total. Cuando las excretas quedaron naturalmente en el campo, como en el caso de los animales en la etapa de cría y de las vacas y toros, no se generaron emisiones relevantes. En el otro extremo, las excretas de la etapa de engorde se consideraron enviadas al biodigestor instalado en las inmediaciones de los corrales, por lo que tampoco se generaron emisiones en esta forma de gestión. Las emisiones ocurridas en el biodigestor para generar energía y calor fueron asignadas a esos productos, tal como se hizo en el estudio del etanol.

En tercer orden de importancia aparecen las emisiones en la producción de los alimentos de la recría y engorde (maíz grano, burlanda y maíz picado ensilado), las que sumaron entre un 12 % y un 15 % del total. La burlanda se llevó parte del impacto generado en la producción de etanol, de acuerdo al proceso de asignación que se hizo durante el estudio de ese producto.

El cuarto lugar correspondió a las pasturas implantadas que representaron un 4 %, debido a que implicaron el uso de insumos, como agroquímicos y combustibles. Las emisiones derivadas de la faena en frigorífico y del packaging fueron iguales para las tres categorías de animales, representando un 5 % del impacto total y finalmente apareció el transporte refrigerado a puerto que sumó un 2 % más.

Del análisis comparativo de las tres categorías de animales producidos, se desprende que la hembra TBeef fue la que mayor huella presentó, debido a la etapa de producción primaria. Se requirieron más días de recría y engorde (30 días más de recría y 30 días más de engorde) para alcanzar el mismo peso de venta

que los machos TBeef, lo que implicó el uso de mayor cantidad de recursos de alimento y más días en que el animal estuvo emitiendo metano por fermentación entérica y metano y óxido nitroso por gestión del estiércol. La categoría animal que menores emisiones presentó fue Gombu, ya que se engordó hasta los 606 kg finales y el impacto total por su producción, más el de la vaca y el toro, se dividieron en un peso mayor. El macho Gombu requirió 105 días más de engorde y se logró un 20 % más de peso. En este periodo, las emisiones fueron 13 % mayores comparadas con el

Macho TBeef. Al analizar la producción primaria por cada una de sus tres etapas, la cría fue la que mayores emisiones generó en las tres categorías de animales (entre 54 % y 61 %). En segundo lugar, se encuentra la recría (22 % y 27 %) y en tercer lugar el engorde (17 % y 18 %) de machos y hembras TBeef, respectivamente. Para la categoría Gombu, en segundo lugar, se encuentra el engorde con un 26 % del total y en tercer lugar la recría, con el 19 %. Esto ocurre porque este animal permaneció más tiempo en el engorde que los otros dos, para lograr su peso final de venta de 606 kg.

Tabla 7: Resumen de resultados y componentes de la huella de carbono de cada categoría de carne bovina producida

	Huella de Carbono (Kg CO ₂ eq.) Macho Tbeef			Huella de Carbono (Kg CO ₂ eq.) Hembra Tbeef			Huella de Carbono (Kg CO ₂ eq.) Macho GOMBU		
	UF	1	kg	UF	1	kg	UF	1	kg
	HC en el puerto: carne con hueso		21.6			24.0			20.3
Tpte Frigorífico/puerto (I y V)		0.38	2 %		0.38	2 %		0.38	2 %
HC en la puerta de la Industria: carne con hueso		21.3			23.6			19.9	
Packaging		0.12	1 %		0.12	0 %		0.12	1 %
EE frigorífico		0.24	1 %		0.24	1 %		0.24	1 %
GN frigorífico		0.53	2 %		0.53	2 %		0.53	3 %
Agua frigorífico		0.03	0 %		0.03	0 %		0.03	0 %
Tpte Campo/Frigo (I y V)		0.10	0 %		0.10	0 %		0.10	0 %
		20.2			22.6			18.9	

	animal terminado				animal terminado				animal terminado			
	vaca	toro	%		vaca	toro	%		vaca	toro	%	
Fermentación entérica	4.01	9.80	0.21	65%	5.00	9.81	0.21	63%	4.35	8.31	0.18	63%
Gestión estiércol (CH ₄)	2.04	0.10	0.00	10%	2.91	0.10	0.00	13%	1.71	0.09	0.00	9 %
Gestión estiércol (N ₂ O)	0.06	0.35	0.01	2 %	0.07	0.35	0.01	2%	0.05	0.30	0.01	2 %
Pasturas implantadas	0.21	0.69	0.01	4 %	0.21	0.69	0.01	4%	0.18	0.58	0.01	4 %
Agua	0.04	0.06	0.00	0 %	0.04	0.06	0.00	0%	0.04	0.05	0.00	0%
Vinaza	0.29			1 %	0.34			1%	0.32			2%
Maíz grano (Fert. 100 % ha)	0.91			4 %	1.05			4%	1.19			6%
Burlanda húmeda	0.77			4 %	0.92			4%	0.86			4%
Cloruro de Sodio	0.06			0 %	0.07			0%	0.07			0%
Urea	0.05			0 %	0.06			0%	0.06			0%
Maíz picado ensilado	0.46			2 %	0.53			2%	0.49			2%
Asistencia técnica	0.04	0.03	0.00	0 %	0.05	0.03	0.00	0%	0.04	0.03	0.00	0%
Transporte entre campos	0.02	0.00	0.00	0 %	0.02	0.00	0.00	0 %	0.01	0.00	0.00	0%
División por etapas de producción												
Aporte de la etapa Cría	11.7			55 %	11.7			50 %	9.9			50%
Aporte de la etapa Recría	4.5			21 %	6.3			27 %	3.8			19%
Aporte de la etapa Engorde	3.5			17 %	4.1			18 %	4.9			24%

A los efectos de comparar estos resultados con publicaciones similares, se puede decir que uno de los trabajos más conocidos a nivel mundial está el publicado en la revista Science (Poore & Nemecek, 2018). Es un meta-análisis que revisó más de 570 estudios científicos de 38.700 establecimientos ganaderos en 119 países. Informaron un valor medio de 100 kg CO₂ eq / kg de carne bovina sin hueso, cruda, en la venta minorista. Esto es un valor genérico a nivel global que resulta considerablemente alto. Por otro lado, la empresa italiana Coop Italia publicó recientemente la Declaración Ambiental de Producto

de 1 kg de carne de vacuna comestible, fresca y deshuesada, de bovinos adultos, lista para ser comprada por los clientes minoristas en envases de plástico, en la carnicería del supermercado (Coop, 2020). La huella de carbono calculada fue de 19.9 kg CO₂ eq / kg de carne con hueso (rendimiento del 60 %) en la puerta de salida del frigorífico. En segundo lugar, se estimó en 24.7 kg CO₂ eq / kg de carne sin hueso (rendimiento del 83 %) en el punto de venta minorista, con una variabilidad que depende de los cortes de carne deseados. En tercer lugar, informaron la huella de carbono de la carne lista para comer,

teniendo en cuenta el almacenamiento en frío y la cocción en el hogar. Ya que los procedimientos y hábitos de cocción pueden ser muy diferentes, los datos se presentan por separado. Se presenta un rango, cuyos extremos son: consumo crudo (24.9 kg CO₂ eq / kg) y dos horas cocción en la olla (29.1 kg CO₂ eq / kg). Si bien las unidades funcionales no son estrictamente las mismas que las usadas en nuestro estudio, los valores en la puerta de salida del frigorífico son similares.

Por otro lado, la base de datos Ecoinvent (Russo y otros, 2018) informa que la huella de carbono de 1 kg de peso vivo de animales pesados producidos en feedlot en Sudáfrica fue de 9.65 kg CO₂ eq / kg de peso vivo.

Comparativamente, un meta-análisis sectorial de EE.UU. informa una Huella de Carbono en feedlot de 15.23 kg CO₂ eq / kg de peso vivo (Environmental Working Group, 2011) y al mismo tiempo, informan valores similares de otros autores, 15.9 kg CO₂ eq / kg PV por Williams (DEFRA, 2013); 20 kg CO₂ eq / kg PV por Phetteplace, y otros (EE.UU.), 14.8 kg CO₂ eq / kg PV por Pelletier y otros (2010) y 15.32 kg CO₂ eq / kg PV por Subak (1999). En este mismo país, un artículo científico que presenta datos representativos sobre la producción, procesamiento y consumo de carne analiza datos del sector ganadero, de mataderos-

frigoríficos y del consumidor y reporta una Huella de Carbono de 48.4 kg CO₂ eq / kg de carne sin hueso consumida en EE.UU. (Asem-Hiablíe y otros, 2019). En el Sur de Brasil, un trabajo indica una Huella de Carbono entre 18.3 kg CO₂ eq / kg de peso vivo para pastura cultivada y 42.6 kg CO₂ eq / kg de peso vivo para pastos naturales (Favarini Ruviaro y otros, 2014). Beauchemin y otros (2010) indicaron una Huella de Carbono de 13.04 kg CO₂ eq / kg PV como representativa de Canadá; mientras que Pelletier y otros (2010) informaron una Huella de Carbono de 14.8 kg CO₂ eq / kg PV para EE.UU.

En una reciente edición especial de la Revista Argentina de Producción Animal se realizó una extensa discusión sobre el tema (Faverín y otros, 2019) y se refiere a que las estimaciones de las huellas de carbono en otros países presentan una gran variabilidad que se encuentra en el orden de 15.9 a 36.4 CO₂ eq / kg de peso vivo para los planteos de ciclo completo. En una revisión bibliográfica publicada en la revista RAPA (Faverín y otros, 2014) se relevaron las emisiones de gases de efecto invernadero en sistemas de producción de carne vacuna de ciclo completo. Los valores comparativos oscilan entre un mínimo de 13.04 (Beauchemin y otros, 2010) en Canadá y un máximo de 34.9 CO₂ eq / kg de peso vivo en EE.UU. (Pelletier y otros, 2010).

Tabla 8: Huella de carbono de cada categoría en la tranquera del campo

	Huella de Carbono (kg CO ₂ eq.) Macho Tbeef				Huella de Carbono (kg CO ₂ eq.) Hembra Tbeef				Huella de Carbono (kg CO ₂ eq.) Macho GOMBU			
	animal terminado	vaca	toro	%	animal terminado	vaca	toro	%	animal terminado	vaca	toro	%
HC en la tranquera del campo: animal peso vivo	10.1				11.2				9.4			
Fermentación entérica	1.995	4.87	0.11	69 %	2.49	4.88	0.11	67 %	2.16	4.13	0.09	68%
Gestión estiércol (CH ₄)	1.012	0.05	0.00	11 %	1.44	0.05	0.00	13 %	0.85	0.04	0.00	10%
Gestión estiércol (N ₂ O)	0.030	0.17	0.00	2 %	0.04	0.17	0.00	2 %	0.02	0.15	0.00	2%
Pasturas implantadas	0.106	0.34	0.01	5 %	0.11	0.34	0.01	4 %	0.09	0.29	0.01	4 %
Agua	0.018	0.03	0.00	0 %	0.02	0.03	0.00	0 %	0.02	0.02	0.00	0 %
Vinaza	0.143			1 %	0.17			2 %	0.16			2 %
Maíz grano (Fert. 100% ha)	0.451			4 %	0.52			5 %	0.59			6 %
Burlanda húmeda	0.385			4 %	0.46			4 %	0.43			5 %
Cloruro de Sodio	0.031			0 %	0.04			0 %	0.04			0 %
Urea	0.025			0 %	0.03			0 %	0.03			0 %
Maíz picado ensilado	0.230			2 %	0.26			2 %	0.24			3 %
Asistencia técnica	0.021	0.02	0.00	0 %	0.02	0.02	0.00	0 %	0.02	0.01	0.00	0 %
Transporte entre campos	0.008	0.00	0.00	0 %	0.01	0.00	0.00	0 %	0.01	0.00	0.00	0 %
División por etapas de producción												
Aporte etapa Cría		6.1		61%		6.1		54 %		5.2		55 %
Aporte etapa Recría		2.2		22%		3.1		27 %		1.8		19 %
Aporte etapa Engorde		1.8		17%		2.0		18 %		2.4		26 %



Tabla 9: Análisis comparativo de resultados de la huella de carbono de la carne, con respecto a la bibliografía.

Fuente consultada			Macho Tbeef	Hembra Tbeef	Macho Gombu
Russo y otros (2018) Sudáfrica - Ecoinvent	9.7	kg CO ₂ eq / kg PV	4 %	16 %	-3 %
Environmental Working Group, 2011, USA	15.2	kg CO ₂ eq / kg PV	-51 %	-36 %	-62 %
Williams 2005 (DEFRA, UK)	15.9	kg CO ₂ eq / kg PV	-58 %	-42 %	-69 %
Phetteplace, y otros (USA)	20.0	kg CO ₂ eq / kg PV	-99 %	-78 %	-113 %
Pelletier y otros (2010)	14.8	kg CO ₂ eq / kg PV	-47 %	-32 %	-57 %
Subak (1999)	15.3	kg CO ₂ eq / kg PV	-52 %	-37 %	-63 %
Favarini Ruviaro, de Léis, Lampert, & Barcellos, 2014, Brasil	18.3	kg CO ₂ eq / kg PV	-82 %	-63 %	-95 %
Faverín, Tieri, & Herrero, 2019, Argentina	15.9	kg CO ₂ eq / kg PV	-58 %	-42 %	-69 %
Faverín, Tieri, & Herrero, 2019, Argentina	36.4	kg CO ₂ eq / kg PV	-262 %	-225 %	-287 %
Beauchamin y otros (2010), Canadá	13.0	kg CO ₂ eq / kg PV	-30 %	-16 %	-39 %
Pelletier y otros (2010), USA	14.8	kg CO ₂ eq / kg PV	-47 %	-32 %	-57 %

Aunque la variabilidad de los resultados publicados es muy amplia, los valores encontrados en este estudio son menores a los de la bibliografía. Una posible explicación es la integración de la producción con un sistema de economía circular. Dentro de los puntos a destacar de este estudio se encuentran las menores emisiones relativas generadas en la etapa de engorde en feedlot, con un alto porcentaje de la dieta con subproductos de la producción de etanol (burlanda), junto con granos y silo de maíz, que tienen factores de emisión de metano por fermentación entérica (Y_m) inferiores a los animales alimentados con pasturas. Además, los efluentes del feedlot se destinan a un biodigestor, por lo que se evitan emisiones en la etapa de engorde.

La etapa de producción primaria de granos y pasturas presentó baja huella de carbono, por un uso reducido de fertilizantes nitrogenados, lo que representa un beneficio, al evitar la emisión de óxido nitroso, amoníaco y óxidos de nitrógeno.

Todas las actividades económicas, en la medida en la que utilizan energía a lo largo de sus cadenas de producción, son responsables de una cantidad más o menos significativa de emisiones que generan impactos ambientales. La actividad agrícola y ganadera no son una excepción, al utilizar diversas fuentes energéticas para producir, y al emitir los animales una cantidad considerable de metano por fermentación entérica, que no pueden ser evitadas, pero si disminuidas con un manejo sustentable de las dietas. Por otro lado, existen aditivos dietarios que pueden disminuir las emisiones por fermentación entérica.

Dentro de los eslabones de producción, un punto que generó alta huella es la gestión del estiércol en la etapa de cría, donde la acumulación y el escurrimiento del estiércol de los corrales generó altas emisiones de metano, óxido nitroso, amoníaco y óxidos de nitrógeno.

En lo que refiere a los procesos dentro del frigorífico toda acción que impulse el uso eficiente de recursos energéticos y de agua, con la consecuente generación de efluentes, redundará en disminuciones en los impactos ambientales. También el agregado de valor a los subproductos repercutirá en la huella de la carne, ya que la asignación de cargas en la etapa industrial se realiza por el criterio económico.

Las futuras líneas de investigación sobre la huella de carbono de la carne bovina podrían estar orientadas a fortalecer la competitividad ambiental de la carne, a través de algunas acciones relevantes como: (a) Reforzar los modelos de estimación de captura de carbono que incluya distintos sumideros; (b) Vincular las huellas con las buenas prácticas ganaderas; (c) Establecer programas de mejora continua de gestión ambiental en frigoríficos para disminuir emisiones; (d) Generar estudios que permitan finalizar con certificaciones ambientales; (e) Valorizar ambientalmente la ganadería en bosque nativo, pastizales naturales y sistemas silvo-pastoriles; (f) Estimular integraciones de la ganadería a sistemas de producción de bioenergías y uso ganadero de subproductos; (g) Analizar la genética animal como instrumento para aumentar la base hereditaria de la eficiencia productiva; (h) Estudiar el uso de energías renovables (solar, eólica, biológica) para sustituir los combustibles fósiles; (i) Mejorar la eficiencia en la utilización de pasturas, acortar el período ocioso de los vientres, aumentar el porcentaje de destete, criar a buen ritmo y mejorar la eficiencia de conversión en los sistemas de engorde a corral; (j) Aumentar su productividad y mejorar las técnicas agrícolas con vistas en la sustentabilidad del planteo técnico, con dosis variables de fertilizantes y agroquímicos, fertilización en tiempo óptimo, riego complementario, mantenimiento preventivo de la maquinaria, eficiencia de uso de combustible, entre otras.

Conclusiones

Este estudio determinó la huella de carbono de la carne bovina de tres categorías de animales: machos TBeef (hasta los 503 kg), hembras TBeef (hasta los 502 kg) y Gombu (hasta los 606 kg) producidos en un sistema de cría a campo y engorde en *feedlot* de un establecimiento integrado con economía circular, ubicado en la localidad de Buena Esperanza, provincia de San Luis, Argentina. Los animales fueron faenados en un frigorífico ubicado en la ciudad de Villa Mercedes, San Luis. La unidad funcional fue 1 kilogramo de carne bovina congelada sin hueso, raza Aberdeen Angus colorado, envasado y puesto en el puerto de exportación de Buenos Aires. También se analizó 1 kg de peso vivo en la puerta del campo, como una unidad funcional intermedia.

Los resultados se encontraron dentro de un rango inferior con respecto a la bibliografía consultada, explicado por la reducción de los impactos ambientales asociada al sistema de economía circular en el que se produce la carne.

Este estudio vinculó el conocimiento científico disponible sobre las emisiones de la producción de carne mediante el método ACV, con las normas de certificación de impactos ambientales. Los resultados son comparables con otros análisis que incluyan todo el ciclo de vida de la carne.

Conflicto de intereses: No hay ningún conflicto de intereses que declarar.

Aprobación del Comité de Experimentación Animal: N/C.

Contribuciones de los autores: Los autores contribuyeron de manera igualitaria en todas las etapas del trabajo.

Agradecimientos: Gastón González, Hernán Masetti, Irina Bussi, Diego Ortiz, Iván Torres, quienes aportaron datos técnicos y registros de producción de Tigonbú. Javier Echazarreta, de INTI, quien brindó los datos de frigorífico.

Financiación: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), empresa Tigonbú

Editado por: Abdel Fattah Zeidan Salem.

Literatura Citada

- Asem-Hiablíe, S., Battagliese, T., Stackhouse-Lawson, K. R., & Rotz, C. A. 2019. A life cycle assessment of the environmental impacts of a beef system in the USA. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 24:441-455, 441-455.
- Beauchemin, K., Janzen, H., Little, S., Mcallister, T., & McGinn, S. 2010.. Life cycle assessment of greenhouse gas emissions from beef production in Western Canada: A case study. *Agricultural Systems* 103(6), 371-379.
- Bongiovanni, R., & Tuninetti, L. 2018. Análisis del ciclo de vida de la cadena del algodón de Argentina. 28 páginas. *Revista LALCA- Revista Latino Americana em Avaliação do Ciclo de Vida*. revista.ibict.br/lalca. R. Latino-amer. em Aval. do Ciclo de Vida, Brasília, v. 1, n. 1, p. 9-34, jan./jun 2018, 9-34.
- Bongiovanni, R., & Tuninetti, L. 2021. Huella de Carbono de la cadena de trigo de Argentina. Obtenido de LALCA: *Revista Latino-Americana em Avaliação do Ciclo de Vida*: <http://lalca.acv.ibict.br/lalca/article/view/5551>
- Bongiovanni, R., & Tuninetti, L. 2021. Huella de Carbono y Huella energética del etanol anhidro, producido en una mini destilería "Minidest" en origen. *Revista de Investigaciones Agropecuarias (RIA)* Vol. 47 n.º 2 Agosto 2021, Argentina, 1-12.
- Bongiovanni, R., Tuninetti, L., & Garrido, G. 2016. Huella de Carbono de la cadena de maní de Argentina. *Revista de Investigaciones Agropecuarias (RIA)* ISSN edición impresa 0325-8718 ISSN en línea 1669-2314, <http://ria.inta.gob.ar/trabajos/huella-de-carbono-de-la-cadena-de-mani-de-argentina>, http://ria.inta.gob.ar/sites/default/files/trabajosenpresa/bongiovanni-castellano-4_0.pdf; <http://ria.inta.gob.ar/sites/default/files/trabajosenpresa/bongiovanni-ingles.pdf>.
- Brunetti, M., Moretto, F., Frossasco, G., & Martinez-Ferrer, J. 2020. Caracterización de co-productos de la industria del etanol. Manfredi: INTA.
- Coop. 2020. Environmental Product Declaration of Coop Beef Meat. Obtenido de Coop Italia Life Cycle Assessment of Beef and Veal Meat, detailed Registration number: S-P-00495 CPC 2111, 2113. Registration number: S-P-00495, CPC code: 2111 Product category rules (PCR): PCR 2012:11 Meat of mammals, fresh: The International EPD®



- System (www.environdec.com). Programme operator: EPD International AB. Number and date of revision : v. 5 - 2020-01-16
- DEFRA. 2013. Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA). Obtenido de Farm Practices Survey Autumn 2012 - England (March, 2013): https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/181719/defra-stats-foodfarm-environ-fps-statsrelease-autumn2012edition-130328.pdf
- Duarte, E. 2020. Uso del Agua en establecimientos agropecuarios. Sistema de abrevadero (Parte I). Obtenido de https://www.planagropecuario.org.uy/publicaciones/revista/R139/R_139_52.pdf
- EcoInvent. 2020. Database version 3.5. Swiss Centre for Life Cycle Inventories. <http://www.ecoinvent.org/>.
- EllenMacArthur Foundation. 2019. Economía Circular. Obtenido de <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/es/economia-circular/concepto>
- Environdec. 2023. Environmental Product Declarations. Obtenido de <https://www.environdec.com/all-about-epds/the-epd>
- Environmental Working Group. 2011. Meat Eaters Guide. Obtenido de Methodology: <http://www.ewg.org/meateatersguide/>
- Eurobarometer. . 2020. Flash Eurobarometer 367. 2013. Attitudes of Europeans towards building the single market for green products. Obtenido de European Commission website: https://ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/facts_and_figures_en.htm
- Favarini Ruviano, C., de Léis, C. M., Lampert, V. d., & Barcellos, J. 2014. Carbon footprint in different beef production systems on a southern Brazilian farm: A case study. Obtenido de Journal of Cleaner Production 96 DOI: 10.1016/j.jclepro.2014.01.037: https://www.researchgate.net/publication/260058390_Carbon_footprint_in_different_beef_production_systems_on_a_southern_Brazilian_farm_A_case_study
- Faverín, C., Gratton, R., & Machado, C. 2014. Emisiones de gases de efecto invernadero en sistemas de producción de carne vacuna de base pastoril. Revisión bibliográfica. Obtenido de Revista de la Asociación Argentina de Producción Animal. Vol 34, No 1 . 2014. ISSN impreso 0326-0550 ISSN en línea 2314-324X.: <http://ppct.caicyt.gov.ar/index.php/rapa/article/view/7634>
- Faverín, C., Tieri, M., & Herrero, M. 2019. Metodologías de cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero en ganadería bovina. Revista Argentina de Producción Animal VOL 39 N° 2, 87-104.
- Fernández, H. H. 2002. Composición de alimentos para rumiantes. Obtenido de Sitio Argentino de Producción Animal - EEA INTA Balcarce. Nutrición Animal: http://www.produccion-animal.com.ar/tablas_composicion_alimentos/01-alimentos_rumiantes.pdf
- Haller, K., Lee, J., & Cheung, J. 2020. Meet the 2020 consumers driving change. IBM Institute for Business Value. Obtenido de Los compradores están dispuestos a pagar más por marcas sostenibles y rastreables: <https://www.ibm.com/thought-leadership/institute-business-value/report/consumer-2020>
- Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C., & Baptista-Lucio, P. 2006. Metodología de la Investigación. Enfoque cualitativo, cuantitativo y mixto. MacGraw-Hill Interamericana.
- INTA. 2020. Estudio Integral de Modelos de Producción de Etanol Estudio ambiental y económico de minidestilerías de etanol en modelos agroindustriales integrados (CIGBO). Manfredi: INTA.
- IPCC. 2006. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Volumen 4: Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra. Obtenido de Capítulo 10: Emisiones del ganado y por gestión del estiércol. Capítulo 11: Emisiones de N₂O de los suelos gestionados y emisiones de CO₂ derivadas de la aplicación de cal y urea: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/vol4.html>
- IPCC. 2019. 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4 Agriculture, Forestry and Other Land Use. Chapter 2: Generic Methodologies Applicable to Multiple Land-Use Categories. Obtenido de <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/vol4.html>
- IPCC. 2019. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Revisión 2019. Obtenido de Volumen 4: Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/vol4.html>
- ISO. (2006). Etiquetas y declaraciones ambientales — Declaraciones ambientales tipo III — Principios y procedimientos. Obtenido de ISO 14025:2006(es): <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:14025:ed-1:v1:es>

- ISO. 2006. ISO 14044: Environmental Management, Life Cycle Assessment Requirements and Guidelines, International Organisation for Standardisation (ISO).
- ISO. 2013. ISO 14067: Carbon footprint of products – Requirements and guidelines for quantification and communication. International Organization for Standardization (ISO).
- Márgenes Agropecuarios. 2019. Resultados económicos. Buenos Aires: Margenes Agropecuarios.
- ONU. 2018. ¿Qué es la economía circular y cómo cuida del medio ambiente? Obtenido de Organización de las Naciones Unidas: <https://news.un.org/es/interview/2018/12/1447801>
- Packing box Argentina. 2020. Cajas para Frigoríficos. Obtenido de 011 5256 0124 contacto@cajas.com.ar: <https://www.cajas.com.ar/cajas-por-industria/cajas-para-frigorificos>
- Paolilli, M. C., Cabrini, S. M., Pagliaricci, L. O., Fillat, F. A., & Bitar, M. V. 2019. Estructura de la cadena de carne bovina argentina. Obtenido de INTA Pergamino RTA / Vol 10 / N°40: https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_pergamino_estructura_de_la_cadena_de_carne_bovina_argentina.pdf
- Poore, J., & Nemecek, T. 2018. Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. *Science*, 360(6392), 987-992.
- Romero, L. A. 2004. Silaje de maíz. Calidad en forrajes conservados. Obtenido de Sitio Argentino de Producción Animal: http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_reservas/reservas_silos/05-silaje_maiz.pdf
- Russo, V., de Kock, L., Muir, K., Notten, P., Patel, I., Stucki, M., . . . Wettstein, S. 2018. Life Cycle Inventories of Agriculture and Animal Husbandry - South Africa. Obtenido de ecoinvent Association, Zürich, Switzerland: https://www.ecoinvent.org/files/change_report_v3_6_20190912.pdf
- SAyDS. 2019. Tercer Informe Bienal de Actualización de Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC). Obtenido de Argentina. Biennial update report (BUR). BUR 3: <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/3er%20Informe%20Bienal%20de%20la%20Republica%20Argentina.pdf>
- Simapro. 2020. PRé Consultants. Life Cycle Assessment Software version 8.2. <http://www.pre-sustainability.com/>.
- Stake, R. E. 1999. Investigación con estudio de casos. Segunda edición. Obtenido de EDICIONES MORATA, S. L.: <https://www.uv.mx/rmipe/files/2017/02/Investigacion-con-estudios-de-caso.pdf>
- The International EPD System. 2016. PRODUCT CATEGORY RULES ACCORDING TO ISO 14025. Obtenido de Arable crops v2.0 DATE 2016-06-23: <https://www.environdec.com/PCR/Detail/?Pcr=8804>
- Veneciano, J. H., & Frasinelli, C. A. 2014. Cría y recría de bovinos. Obtenido de Sitio Argentino de Producción Animal: http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/cria/177-TextoCriaRecria.pdf