



TÍTULO

**PRODUCTOS DE ORIGEN ANIMAL EN ESPAÑA
DE LO CONVENCIONAL A LO ECOLÓGICO.
ESTUDIO DE IMPACTO Y POSIBLES ESCENARIOS DE TRANSICIÓN**

AUTOR

Haizea Cruz Elejalde

	Esta edición electrónica ha sido realizada en 2024
Directores	Dra. D ^a . Yolanda Mena Guerrero ; D ^a . Inmaculada Batalla Garlito ; Dr. D. Pablo Manzano Baena
Institución	Universidad Internacional de Andalucía
Curso	<i>Máster Oficial en Agricultura y Ganadería Ecológicas (2021/22)</i>
©	Haizea Cruz Elejalde
©	De esta edición: Universidad Internacional de Andalucía
Fecha documento	2023



**Atribución-NoComercial-SinDerivadas
4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0)**

Para más información:

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.en>

MÁSTER EN AGRICULTURA Y GANADERÍA ECOLÓGICAS

Curso académico 2021-2022

Productos de origen animal en España: de lo convencional a lo ecológico

Estudio del impacto y posibles escenarios de transición

Trabajo de Fin de Máster

Autor:
Haizea Cruz Elejalde

Directores:
Yolanda Mena Guerrero
Inmaculada Batalla Garlito
Pablo Manzano Baena



bc³

BASQUE CENTRE
FOR CLIMATE CHANGE
Klima Aldaketa Ikergai
Sustainability, that's it!

Resumen:

El proceso de industrialización por el que ha pasado la agricultura las últimas décadas ha dado lugar a la implantación de un sistema con una producción que es capaz de satisfacer la demanda mundial de alimentos, pero trayendo consigo un gran impacto ambiental. Ello, entre otras cosas, ha aumentado el interés por la implantación de sistemas alternativos ecológicos.

El objetivo principal de este Trabajo de Fin de Máster ha sido el planteamiento de posibles escenarios de transición ecológica, de cara a reducir el impacto ambiental del consumo alimentario de productos de origen animal y, más concretamente, de los rumiantes. Para ello, se ha contextualizado numéricamente el consumo de productos de origen animal convencionales y ecológicos los últimos años. Posteriormente se ha llevado a cabo una revisión bibliográfica para encontrar indicadores que cuantificaran el impacto ambiental en diversas explotaciones de rumiantes en España para usar como referencia. El indicador elegido ha sido la huella de carbono y su composición por Gases de Efecto Invernadero. Con los datos del consumo alimentario y su impacto ambiental, se han planteado diferentes escenarios de transición.

Los resultados han mostrado que puede haber habido desviaciones a la hora de calcular la huella de carbono de las explotaciones, debido a los datos limitados disponibles para ello. Se han observado dos conclusiones claras como resultado: en primer lugar, la transición agroecológica, a pesar de no reducir notablemente las emisiones totales, sí reduce las emisiones derivadas de combustibles fósiles, sustituyéndolas por emisiones de metano, procedente de la fermentación entérica de animales de pasto. Por otro lado, pequeños cambios en la dieta pueden originar una disminución significativa de la huella de carbono total de la alimentación.

Este estudio, a pesar de tener ciertas limitaciones, muestra la importancia de analizar cada componente de la huella de carbono, aportando conclusiones a las que no se podría llegar analizándola en su totalidad. Estas conclusiones dan pie a futuros estudios en los que se pueda profundizar sobre el tema.

Palabras clave: impacto ambiental, consumo alimentario, animal, rumiantes, escenarios, transición agroecológica, huella de carbono, Gases de Efecto Invernadero.

Abstract:

The industrialization process that agriculture has undergone in recent decades has given rise to the implementation of a system with a production that can satisfy the global demand for food but bringing with it a great environmental impact. This, among other things, has increased interest in the implementation of alternative ecological systems.

The main objective of this Master Thesis has been to propose possible ecological transition scenarios, to reduce the environmental impact of food consumption of products of animal origin, ruminants, more specifically. To do this, the consumption of conventional and organic animal products in recent years has been contextualized numerically. Subsequently, a bibliographic review has been carried out to find indicators that quantify the environmental impact of various ruminant farms in Spain. The chosen indicator has been the carbon footprint, and its composition by Greenhouse Gases. With the data on food consumption and its environmental impact, different scenarios have been proposed.

The results have shown that there may have been deviations when calculating the carbon footprint of the farms, due to the limited data available for it. Even so, two clear conclusions have been observed: first, the agroecological transition, despite not significantly reducing total emissions, does reduce emissions from fossil fuels, replacing them with methane emissions, which can partly be considered natural. On the other hand, small changes in the diet can lead to a significant decrease in the total carbon footprint of the diet.

This study, despite having certain limitations, shows the importance of analyzing each component of the carbon footprint, providing conclusions that could not be reached by analyzing it in its entirety. These conclusions give rise to future studies in which the subject can be deepened.

Keywords: environmental impact, food consumption, animal, ruminants, scenarios, agroecological transition, carbon footprint, Greenhouse Gases.

ÍNDICE

1.	Introducción	5
1.1.	Consumo de alimentos de origen animal en España	7
1.2.	Consumo de alimentos de origen animal ecológico en España y potencial de consumo en función de la producción	5
1.3.	Indicadores de sostenibilidad para cuantificar el impacto de la producción animal	7
2.	Objetivos	9
3.	Metodología	9
3.1.	Explotaciones lecheras de ganado bovino	11
3.2.	Explotaciones lecheras de ganado ovino	12
3.3.	Explotaciones lecheras de ganado caprino	14
3.4.	Explotaciones cárnicas de ganado vacuno	15
3.5.	Explotaciones cárnicas de ganado ovino	16
3.6.	Planteamiento de escenarios de transición	17
4.	Resultados y discusión	18
4.1.	Comparativa entre sistemas	18
4.2.	Escenarios de transición	21
4.2.1.	Escenario actual	21
4.2.2.	Escenario de transición sin reducción de consumo total, pero aumentando el de ecológico frente al convencional	21
4.2.3.	Escenario de transición con reducción de consumo	25
5.	Conclusiones	27
6.	Referencias	28
7.	ANEXO I. Revisión bibliográfica	31
8.	ANEXO II. Cálculos	32

1. *Introducción*

En las últimas décadas, la agricultura ha pasado por un proceso de industrialización con el que se ha logrado un gran aumento de la producción de alimentos. Esto ha permitido alimentar a la creciente población, pero trayendo consigo consecuencias negativas: la agricultura es la actividad humana con mayor uso del territorio e impacto en los ecosistemas, alterando la biodiversidad, los ciclos de nutrientes o la salinidad de las aguas. Además, a pesar de que la producción de alimentos es suficiente como para alimentar a toda la humanidad, el sistema de producción y consumo instaurado conlleva un gran desperdicio de alimentos y casi la mitad de la población mundial sufre de algún tipo de malnutrición (desnutrición, sobrepeso o falta de micronutrientes) debido a dietas desequilibradas. (Aguilera et al., 2022)

En el caso de España, el sistema agroalimentario ha experimentado este proceso de industrialización desde comienzos del siglo XX, cuando la población a alimentar era mucho más pequeña y rural y su dieta estaba basada en productos vegetales, locales y poco procesados. La industrialización, con la multiplicación de los rendimientos agrícolas y la producción animal, estableció un sistema agrícola altamente exportador, pero a la vez muy dependiente de recursos externos, en particular combustibles fósiles, piensos y otros insumos. Este sistema ha servido para mejorar la productividad y las condiciones de vida de muchos trabajadores y consumidores, pero también ha generado altos impactos socioambientales. (Aguilera et al., 2020, 2022)

Respecto al cambio climático, el sistema agroalimentario mundial supone un tercio de las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero (GEI) siendo un 14,5% provenientes del sector ganadero (Gerber et al., 2013). Dentro de ese porcentaje, al sector de los rumiantes, que es el que se analizará en este Trabajo de Fin de Máster, se le atribuye un 80% (Batalla et al., 2015). Las emisiones son originadas tanto en la propia explotación como fuera de ella como consecuencia de las emisiones que se generan en los procesos productivos implicados en los suministros que necesita la ganadería (alimentos comprados, combustibles, fertilizantes, etc.). La mayor parte de las emisiones achacadas a la ganadería son en forma de metano (CH₄), siendo el resto óxido nitroso (N₂O) y dióxido de carbono (CO₂). El CH₄ se produce en el rumen de los de los animales como consecuencia fisiológica de la fermentación entérica, el CO₂

proviene de la combustión de la energía fósil para la producción de alimentos y transporte y, por último, el N₂O proviene del manejo del estiércol, la fertilización y los procesos de nitrificación y desnitrificación en el suelo. (Batalla et al., 2015; Junta de Andalucía, 2014; Del Prado & Manzano, 2020)

El porcentaje de cada GEI sobre las emisiones totales puede variar según el sistema productivo de cada explotación. Por un lado, la ganadería intensiva, es un sistema de producción en el que los animales están confinados y no salen a pastar, mientras que en la extensiva sí hay pastoreo. A medida que aumenta la digestibilidad del alimento ingerido por los animales, disminuyen las emisiones de CH₄, por lo que, al depender los sistemas intensivos, de concentrados altamente digeribles, emiten menos CH₄ que los sistemas con mayor porcentaje de pasto en la dieta. La emisión de CO₂, por el contrario, disminuye en sistemas más extensivos, debido a que los intensivos tienen mayor dependencia de inputs asociados a insumos de fuera de la explotación. En cuanto al NO₂, su emisión aumenta en sistemas extensivos, al ser mayor la deposición de estiércol sobre los pastos, aunque dependerá de otros inputs de nitrógeno a los suelos gestionados. Por otro lado, se puede diferenciar también entre granjas de manejo ecológico y convencional. En este trabajo, al haber poca cantidad y homogeneidad de datos, para el planteamiento de escenarios en algunos casos se tomará como equivalente ecológico-extensivo y convencional-intensivo; entendiendo las similitudes de los sistemas extensivos con la mayoría de manejos ecológicos. (Del Prado & Manzano, 2020).

Los datos negativos relacionados con la producción de alimentos manifiestan la necesidad de poner en marcha estrategias de reducción de emisiones aplicadas a todos los procesos del sistema agroalimentario, de forma que se produzca una transición hacia un sistema con un menor impacto ambiental que pueda abastecer a la población mundial de forma saludable. En este contexto, en los años veinte del pasado siglo surgió una primera corriente que fue ganando peso mediante la implicación de productores de diversos países, interés de investigadores y el apoyo del sector público (especialmente en los Estados miembros de la Unión Europea) y condujo a la construcción sistémica de la agricultura ecológica. (Aguilera et al., 2020, 2022; Boza Martínez, 2010)

El Ministerio de Agricultura define la producción ecológica, también llamada biológica u orgánica, como *“un sistema de gestión y producción agroalimentaria que combina las mejores prácticas ambientales junto con un elevado nivel de biodiversidad y de preservación de los recursos naturales, así como la aplicación de normas exigentes sobre bienestar animal, con la finalidad de obtener una producción conforme a las preferencias de determinados consumidores por los productos obtenidos a partir de sustancias y procesos naturales.”* (MAPA, 2021)

Mediante la agricultura y ganadería ecológicas se producen alimentos libres de contaminantes químicos de síntesis, con alto valor nutricional y organoléptico y cuyos sistemas de producción contribuyen a la protección del medio ambiente, la reducción de los costos de producción y permiten obtener una renta digna a los agricultores. Para ello, en los sistemas ecológicos no se emplean agrotóxicos ni métodos que provoquen el deterioro de los suelos y el medio ambiente en general; en la ganadería no se emplean antibióticos, hormonas u otras drogas y la cría animal se basa en sistemas que permitan un máximo de bienestar de los animales. (Junta de Andalucía, 2006.)

Con el aumento de su importancia se ha desarrollado el Reglamento (UE) 2018/848, con el objetivo de estandarizar los criterios de producción y etiquetado. A la vez, se ha extendido el número de organismos de control, tanto públicos como privados, que se dedican a garantizar la aplicación de la legislación en los productos que se comercializan como ecológicos. (Boza Martínez, 2010)

En España, la producción ecológica se encuentra regulada como tal desde 1989. En 2020 ocupaba 2.437.891 hectáreas, siendo así el primer país europeo en superficie y el tercero del mundo. Entre las comunidades autónomas, Andalucía estuvo en cabeza, con el 45% de la superficie ecológica de España. (MAPA, 2021)

A continuación, se describen los datos más relevantes de los últimos años (2014-2020) relativos al consumo de alimentos de origen animal convencional y ecológico en España. Se distingue el consumo dentro y fuera del hogar. Todos los datos han sido obtenidos del Ministerio de Pesca y Agricultura y las figuras 1-17 han sido elaboradas con ellos.

1.1. Consumo de alimentos de origen animal en España

Los datos sobre el consumo alimentario en España en los últimos años (2014-2021) se han obtenido de los Informes Anuales de Consumo Alimentario del Ministerio de Pesca y Agricultura (MAPA, 2020). En ellos, el consumo de alimentos de origen animal (dejando de lado el pescado) dentro de hogares se encuentra dividido en las siguientes categorías: carne, huevos, leche y derivados lácteos. Fuera de los hogares, las categorías son sólo carne y derivados lácteos (el consumo del resto no se considera relevante).

Entre 2014 y 2021, dentro de los hogares, ha predominado el consumo de leche y derivados lácteos, mientras que fuera de los hogares ha sido el de la carne el de mayor relevancia. Las *Figuras 1* y *2* muestran, para dentro y fuera del hogar respectivamente, el porcentaje de cada alimento consumido en el año 2021.

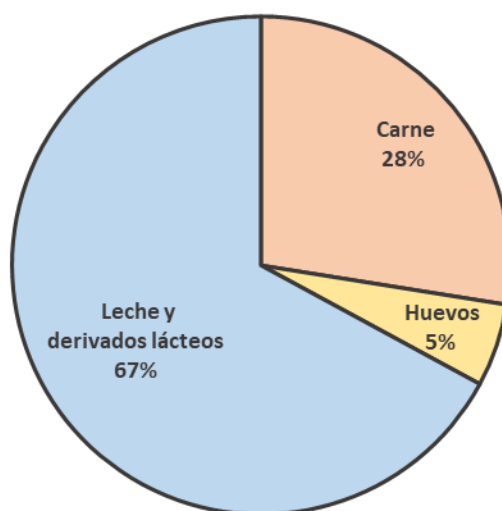


Figura 1. Consumo de productos de origen animal dentro del hogar en el año 2021

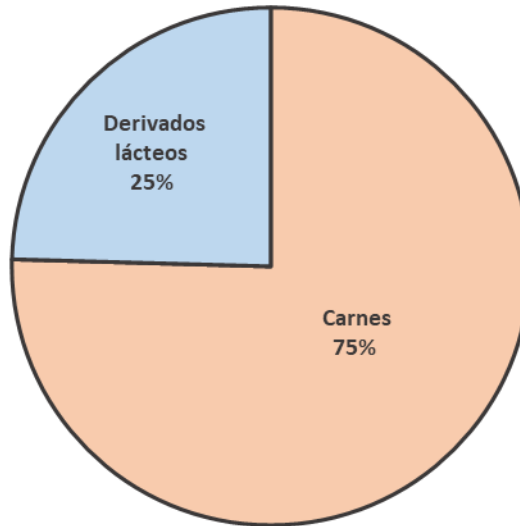


Figura 2. Consumo de productos de origen animal fuera del hogar en el año 2021

El consumo de huevos, leche líquida y derivados lácteos se ha mantenido relativamente estable los últimos años, sin embargo, el de carne ha ido disminuyendo progresivamente. Durante el 2021 el volumen comprado de carne se sitúa un 14,8 % por debajo de lo que era en 2008. Hay que tener en cuenta que 2020 fue un año anómalo, pues el confinamiento debido a la pandemia Covid-19 hizo que aumentara el consumo de la mayoría de los alimentos dentro del hogar. Estas tendencias se pueden observar en la *Figura 3*. También señalar de este estudio que el 19,91 % del valor para alimentación y bebidas en el hogar fue destinado a la compra de carne durante el año 2021.

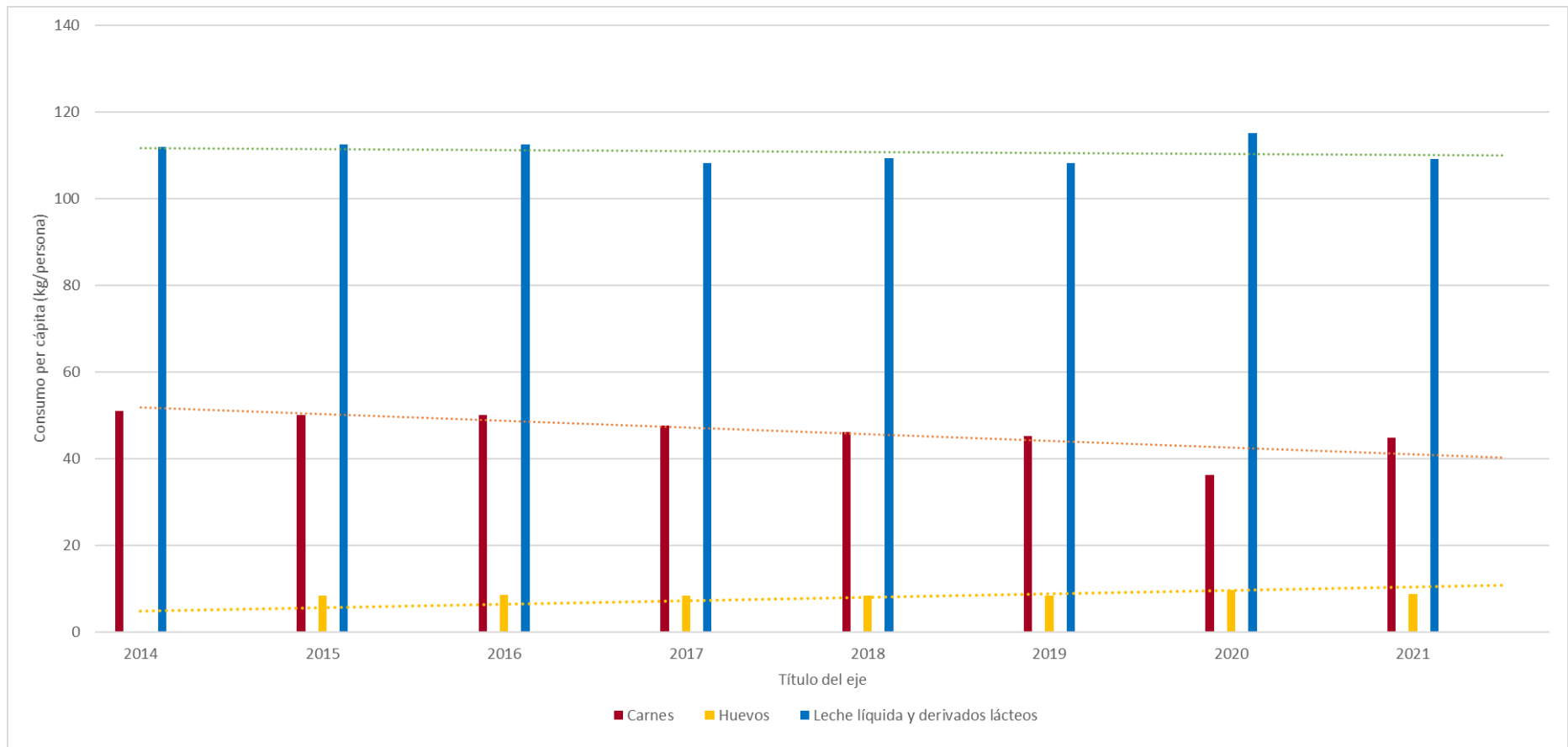


Figura 3: Consumo per cápita (kg por persona) de productos de origen animal dentro del hogar los últimos años

Fuera de los hogares, ha sido el consumo de los derivados lácteos el que ha ido disminuyendo, mientras que el consumo de carne ha variado, pero no ha mostrado una tendencia de disminución. De nuevo, se pueden observar los efectos del confinamiento en el año 2020, provocando una disminución del consumo de alimentos fuera del hogar ese año.

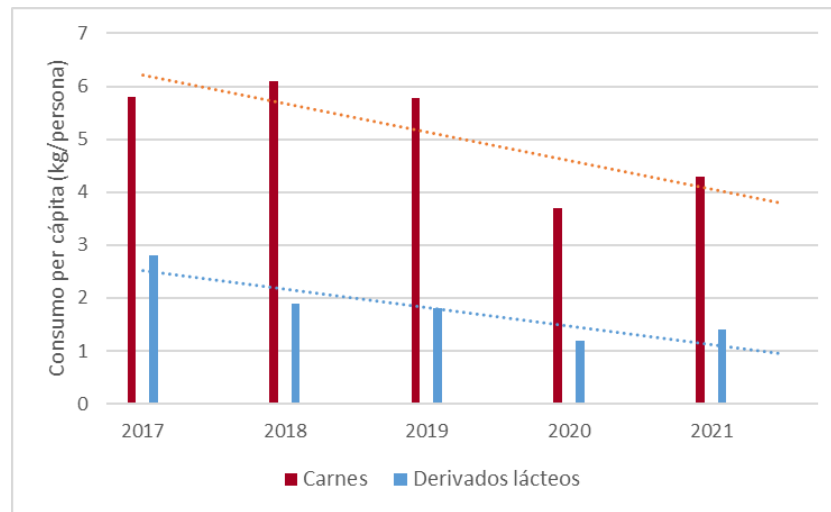


Figura 4: Consumo per cápita (kg por persona) de productos de origen animal fuera del hogar los últimos años

En los últimos años, en general, los productos más consumidos dentro del hogar han sido la carne de pollo entre las carnes frescas (Figura 6), los fiambres entre las carnes transformadas (Figura 7), y las leches fermentadas entre los derivados lácteos (Figura 9).

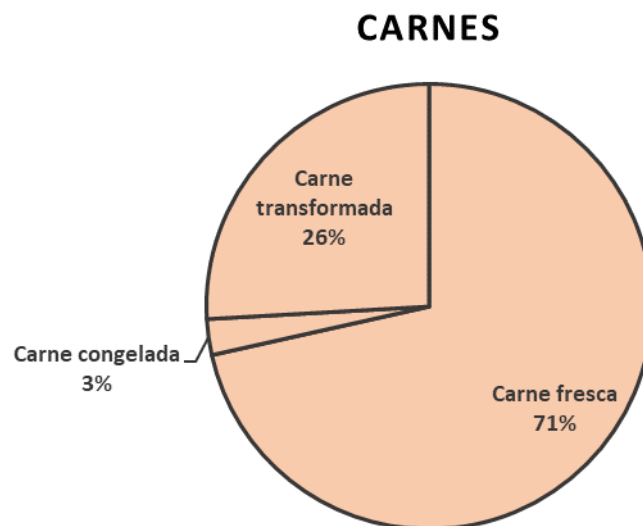


Figura 5: Carnes más consumidas dentro del hogar en el año 2021

CARNES FRESCAS

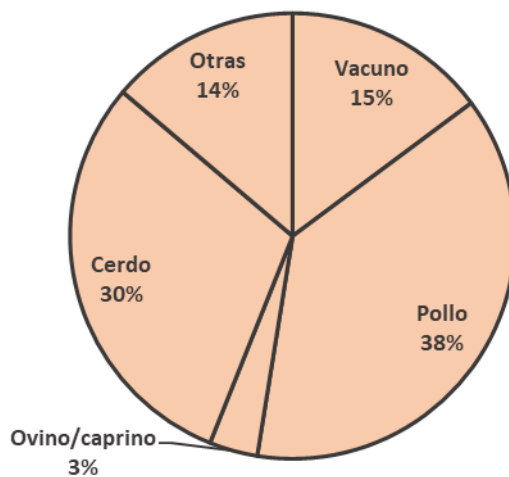


Figura 6: Carnes frescas más consumidas dentro del hogar en el año 2021

CARNES TRANSFORMADAS

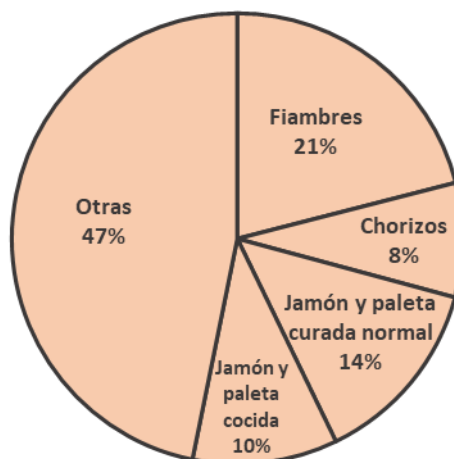


Figura 7: Carnes transformadas más consumidas dentro del hogar en el año 2021

LECHE Y DERIVADOS LÁCTEOS

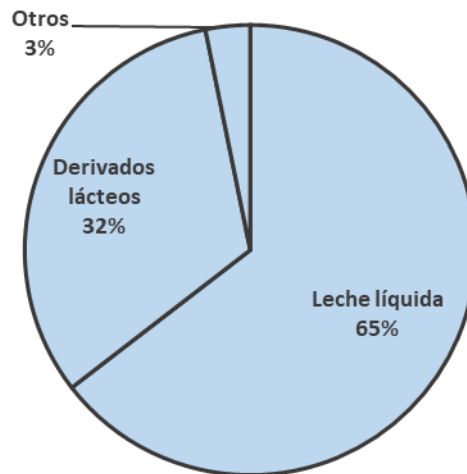


Figura 8: Consumo de leche líquida y derivados lácteos dentro del hogar en el año 2021

DERIVADOS LÁCTEOS

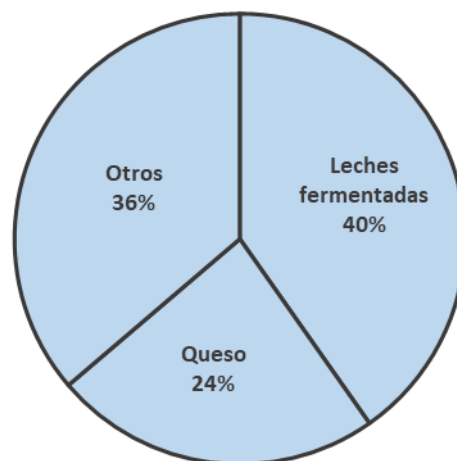


Figura 9: Derivados lácteos más consumidos dentro del hogar en el año 2021

Fuera del hogar, los más consumidos han sido de nuevo la carne de pollo entre las carnes frescas (*Figura 11*), el jamón curado (*Figura 12*) entre las carnes transformadas y el queso entre los derivados lácteos (*Figura 13*). El orden de prioridad de consumo de los distintos productos ha variado muy poco en los últimos años.

CARNES

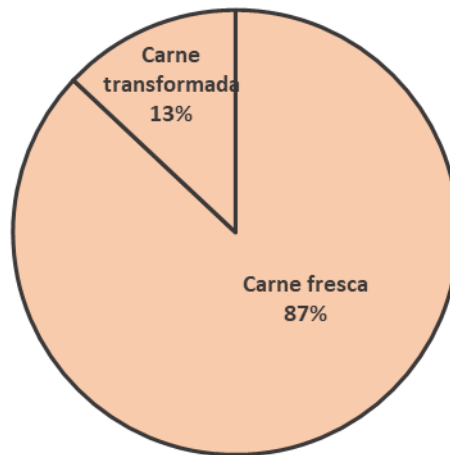


Figura 10: Carnes más consumidas fuera del hogar en el año 2021

CARNES FRESCAS

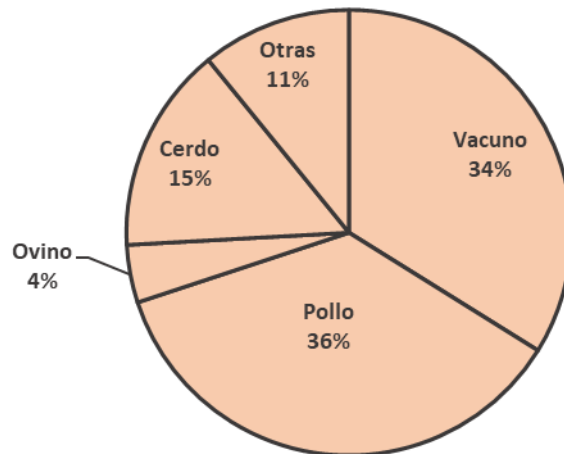


Figura 11: Carnes frescas más consumidas fuera del hogar en el año 2021

CARNES TRANSFORMADAS

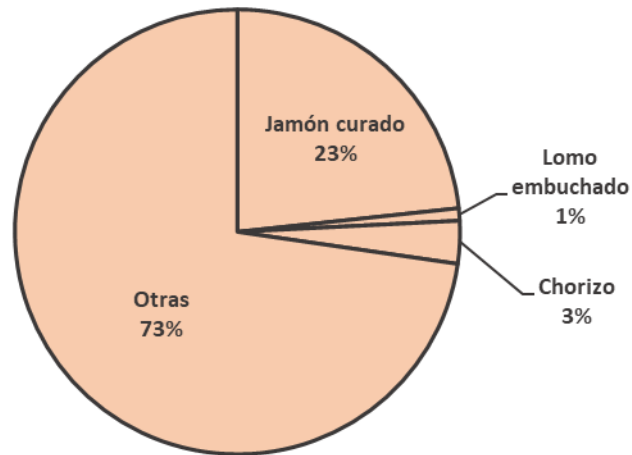


Figura 12: Carnes transformadas más consumidas fuera del hogar en el año 2021

DERIVADOS LÁCTEOS

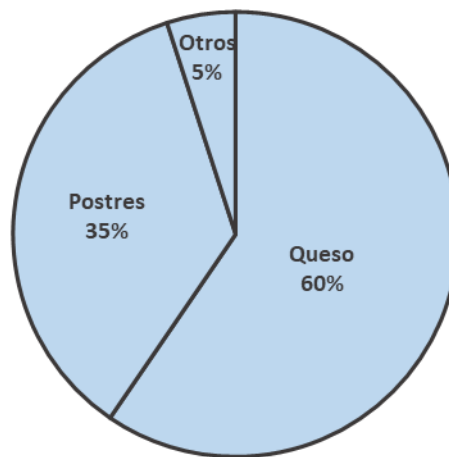


Figura 13: Carnes transformadas más consumidas fuera del hogar en el año 2021

1.2. Consumo de alimentos de origen animal ecológico en España y potencial de consumo en función de la producción

El consumo de alimentos ecológicos fuera de hogares es prácticamente irrelevante: en 2019 representó solamente entre el 2% y el 3% del consumo total en el mercado interior, y en 2020 estuvo incluso por debajo del 1%, debido a la pandemia COVID 19. (MAPA, 2020)

Entre los productos ecológicos, los más relevantes en España son la carne, la leche líquida y los huevos. La carne predomina entre las compras, seguida de la leche líquida y los huevos. (MAPA, 2020)

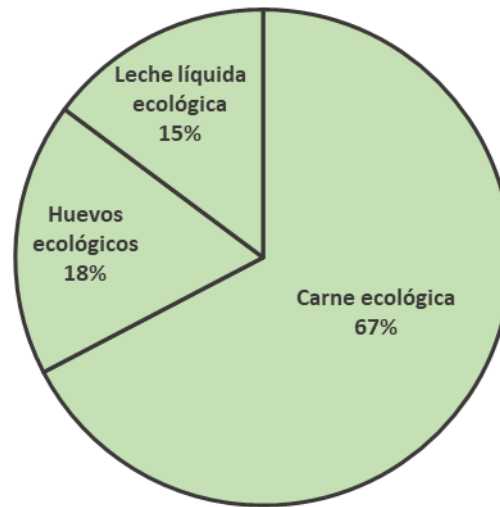


Figura 14: Alimentos ecológicos más consumidos fuera del hogar en el año 2021

La producción ecológica en España ha ido incrementándose los últimos años, siendo el caso de la carne el que más altibajos ha mostrado (Figura 15). A pesar de que la producción sea alta y vaya en aumento, es conocido que se trata de un sector principalmente orientado a las exportaciones. En 2020, el consumo de alimentos ecológicos solamente supuso un 2,2%. (MAPA, 2020)

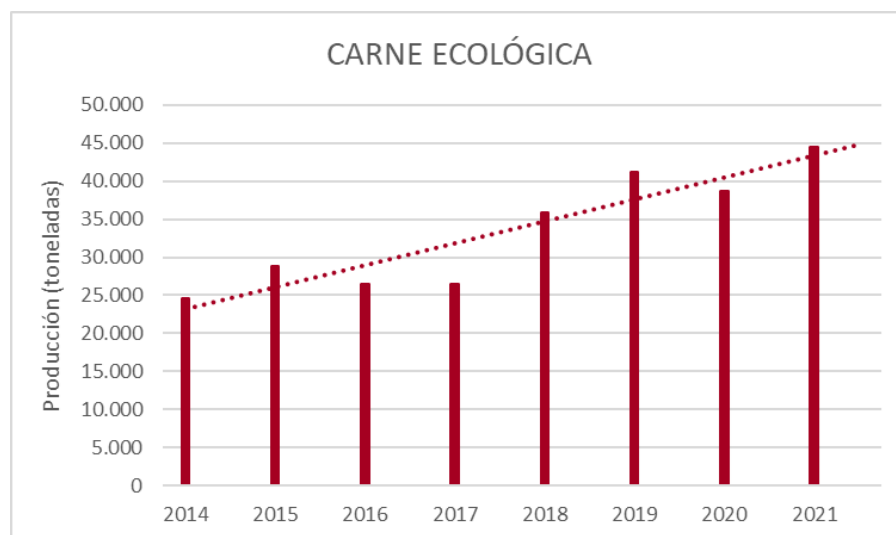


Figura 15: Producción de carne ecológica los últimos años

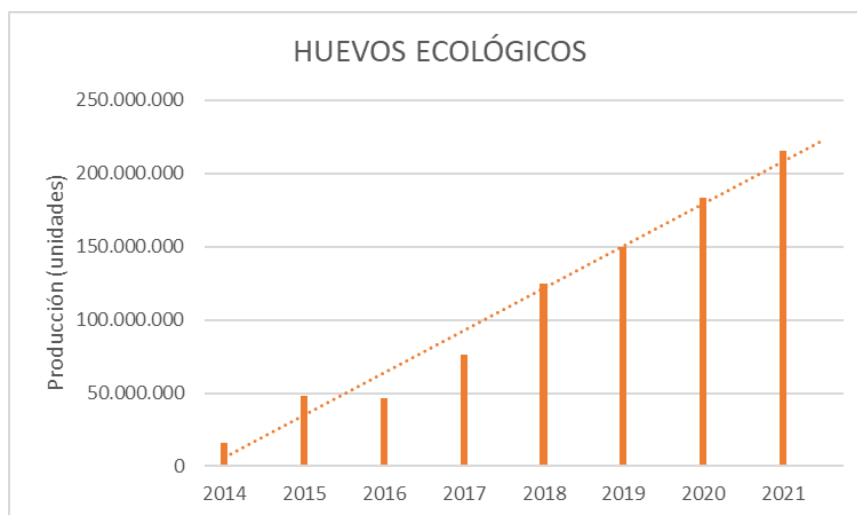


Figura 16: Producción total de huevos ecológicos los últimos años

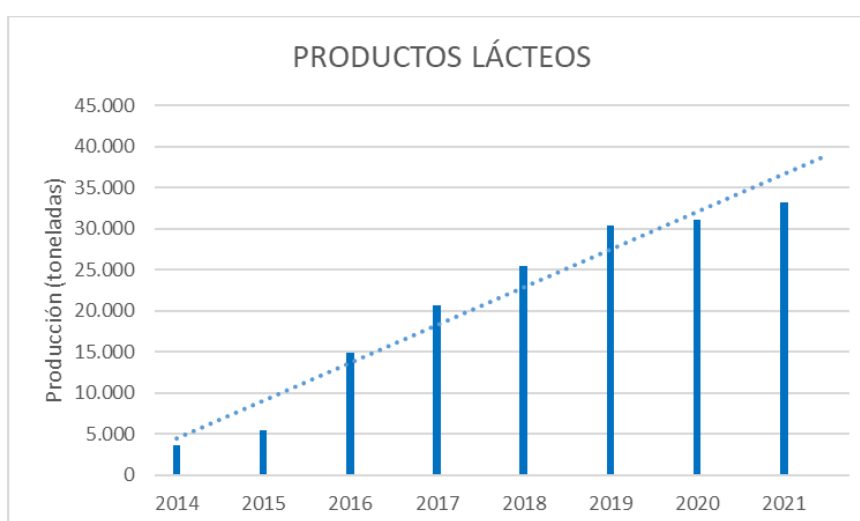


Figura 17: Producción total de productos lácteos ecológicos los últimos años

1.3. *Indicadores de sostenibilidad para cuantificar el impacto de la producción animal*

Dada la importancia de la sostenibilidad en los procesos productivos, existen distintos indicadores ambientales para poder cuantificarla. Para la realización de este Trabajo se ha elegido la huella de carbono, el más común a la hora de para calcular el potencial de calentamiento global de una organización, proyecto, producto o evento, como totalidad de gases de efecto invernadero, medido en toneladas de CO₂ equivalente (CO₂-eq). Su cálculo engloba tanto el consumo de combustibles, la energía eléctrica, el agua, el transporte, los residuos de las actividades implicadas y los insumos empleados, lo que significa que tiene en cuenta todos o casi todos los

aspectos a tener en cuenta en lo referente a la emisión de gases de efecto invernadero. Para ello, es necesario definir una cantidad representativa utilizada para referenciar los cálculos, conocida como unidad funcional (UF). (ISO 14.067)

Para estimar la huella de carbono de un producto se pueden plantear distintos alcances, dependiendo de cuánto del ciclo de vida de ese producto se tenga en cuenta. La *Figura 18* muestra un esquema de la huella de carbono asociada al ciclo de vida de un producto proveniente de la ganadería, según el alcance establecido.

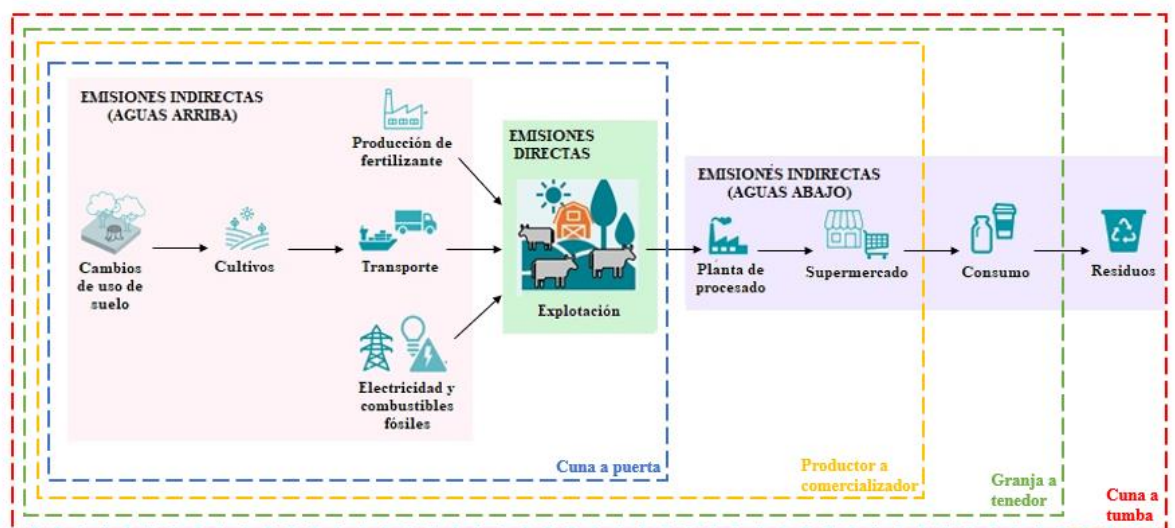


Figura 18: uella de carbono asociada al ciclo de vida de un producto de una explotación ganadera y sus distintos alcances. (Adaptado de Del Prado et al., 2022)

El alcance que se ha considerado en el Trabajo es el de la “de la cuna a la puerta”, es decir, teniendo en cuenta las emisiones de todos los insumos utilizados en la explotación, así como las que se originan hasta la salida del producto de la explotación. (Del Prado et al., 2022)

En la *Figura 19* se puede ver un esquema de las emisiones directas originadas dentro de la granja/explotación: CH₄ (fermentación entérica), el CO₂ (combustión de la energía fósil) y N₂O (manejo del estiércol, fertilización y procesos de nitrificación y desnitrificación en el suelo). (Batalla et al., 2015; Junta de Andalucía, 2006; Del Prado & Manzano, 2020)

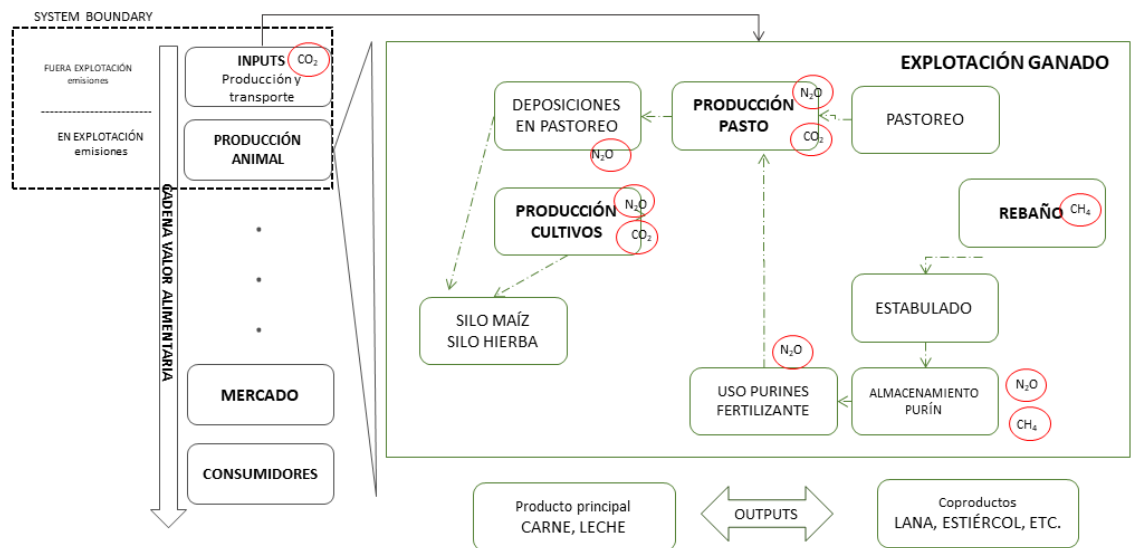


Figura 19: emisiones asociadas a una explotación ganadera (Adaptado de Batalla et al, 2015)

2. Objetivos

El objetivo principal de este Trabajo de Fin de Máster es el planteamiento de posibles escenarios de transición ecológica, de cara a reducir el impacto ambiental del consumo alimentario de productos de origen animal. Para ello, se contemplan los siguientes objetivos específicos:

- Contextualización del consumo de productos de origen animal convencionales y ecológicos los últimos años (desde 2014 hasta 2021). Determinación de los alimentos más consumidos y tendencias de consumo.
- Revisión bibliográfica de cara a encontrar indicadores que permitan calcular el impacto ambiental del consumo de esos alimentos.
- Utilización de los valores de los indicadores en el planteamiento de escenarios de transición ecológica.

3. Metodología

El objetivo de este apartado ha sido la recopilación de datos, de cara a obtener valores de la huella de carbono relativa a la producción animal convencional y ecológica de rumiantes en España. Para ello, se ha llevado a cabo un estudio retrospectivo, realizando una revisión bibliográfica de artículos en distintos buscadores especializados,

incluyendo publicaciones en inglés y castellano. Entre los distintos indicadores ambientales, se ha elegido la huella de carbono por ser del que más información se disponía.

El buscador utilizado ha sido *Google Scholar*. Las palabras de búsqueda empleadas han sido: “*huella carbono*” “*ganado España*” y “*carbon footprint*” “*livestock*” “*Spain*”. Se han establecido como criterios de inclusión los siguientes:

- Estudios realizados en España
- Estudios referidos a explotaciones de rumiantes
- Estudios en los que se calculase la huella de carbono por kg o L de producto final (leche o carne), especificando el porcentaje o de cada GEI sobre el total de CO₂-eq

Se han encontrado un total de 3.000 publicaciones, de las que por título se han seleccionado 47, que han sido revisadas. Tras aplicar los criterios de inclusión, finalmente se han utilizado 9 para la realización del Trabajo. En el Anexo I, se detallan los criterios de exclusión e inclusión llevados a cabo para la selección de los artículos.

Las publicaciones elegidas han tendido contenido específico sobre el cálculo y resultados de la huella de carbono en distintas explotaciones ganaderas de España, en 2 de los trabajos sobre ganado bovino de leche (Salcedo et al., 2019, 2020) en 4 sobre ganado ovino de leche (Batalla et al., 2015; Eldesouky et al., 2018; Escribano et al., 2020; Mandaluniz et al., 2015), en 2 sobre ganado caprino de leche (Boza Martínez, 2010; Pardo et al., 2022), en 2 sobre ganado bovino de carne (Boza Martínez, 2010; Eldesouky et al., 2018) y en 3 sobre ganado ovino de carne (Eldesouky et al., 2018; Horrillo et al., 2020; Ripoll-Bosch et al., 2013)

A continuación, se presenta la información hallada en los artículos utilizados y los valores promedio calculados a partir de ella.

3.1. *Explotaciones lecheras de ganado bovino*

Se han tenido en cuenta dos estudios con un total de 34 explotaciones ganaderas de Asturias y Galicia, divididas en seis tipos de alimentación (Salcedo et al., 2019, 2020):

- a) Ecológicas (Eco)
- b) Pastoreo convencional (Con)
- c) Pesebre-pastoreo (Pe-Pa)
- d) Ensilado de hierba (EHba)
- e) Ensilado de maíz (EMz)
- f) Ensilado de hierba y de maíz (EHba-EMz).

En los estudios de estas explotaciones, el cálculo de las emisiones de GEI, las explotaciones se habían analizado bajo la perspectiva de análisis de ciclo de vida, con el modelo de simulación DairyCant. Se trata de un modelo basado en el análisis estadístico que, mediante encuestas en las explotaciones, permite crear simulaciones de distintos aspectos productivos para el caso del vacuno lechero. En las explotaciones estudiadas, las encuestas habían sido realizadas durante el año 2018. La unidad funcional (UF) había sido un litro de leche corregido por energía (Energy Corrected Milk o ECM) a la salida de la explotación. Se conoce como ECM de leche producida ajustada a 2,5% de grasa de mantequilla y 3,2% de proteína. El modelo DairyCant aporta la huella de carbono dividida en dos categorías: la primera, la huella parcial, no tiene en cuenta el secuestro de carbono ni las emisiones derivadas de la compra de soja procedente de Brasil o Argentina, ni las atribuidas al uso indirecto del suelo (iLUC) mientras que la segunda, la huella total, sí. Para este trabajo sólo se tuvo en cuenta la huella parcial. (Salcedo et al., 2019, 2020)

La *Tabla 1* muestra los valores medios de huella de carbono total por litro de leche ECM y su composición por GEI en las explotaciones consideradas.

Tabla 1: Huella de carbono estimada de 1 L de leche ECM y sus componentes, según el tipo de alimentación del ganado bovino

	Eco	Con	Pe-Pa	EHba	EMz	EHba-EMz
CH₄						
Entérico (kg·ha ⁻¹)	149,00	192,00	413,00	267,00	441,00	443,00
Estiércol (kg·ha ⁻¹)	40,00	51,00	112,00	70,00	124,50	117,50
CH ₄ total (g·L ⁻¹ ECM)	30,35	29,80	26,00	24,55	21,60	23,35
% CH ₄ sobre total en CO _{2-eq}	57,20	49,70	60,30	52,35	51,65	54,80
CO₂						
Gasóleo (kg·ha ⁻¹)	827,00	554,00	909,00	610,50	928,00	1032,00
Electricidad (kg·ha ⁻¹)	235,00	287,00	754,00	507,00	1013,00	943,00
Fertilizantes (kg·ha ⁻¹)	151,50	722,00	5,00	497,50	839,50	513,50
Alimentos (kg·ha ⁻¹)	764,50	1431,00	2736,00	2389,50	4601,00	3429,50
Plásticos (kg·ha ⁻¹)	0,13	0,13	5,00	2,20	3,35	4,45
Semillas (kg·ha ⁻¹)	0,00	0,00	1,00	3,00	15,00	7,50
Actividades agrícolas (kg·ha ⁻¹)	178,50	119,00	154,00	139,00	561,50	377,00
Aplicación purín (kg·ha ⁻¹)	21,00	24,00	76,00	47,50	85,00	80,00
Compra novillas (kg·ha ⁻¹)	0,00	0,00	2,40	0,00	4,60	0,50
CO ₂ total (kg·L ⁻¹ ECM)	0,27	0,38	0,23	0,29	0,29	0,27
% CO ₂ sobre total en CO _{2-eq}	24,95	30,50	24,80	29,35	32,80	29,73
NO₂						
Excretado en establo (kg·ha ⁻¹)	0,48	0,50	1,52	1,31	2,01	2,37
Aplicación de fertilizantes (kg·ha ⁻¹)	0,27	1,29	0,00	0,86	1,50	0,76
Volatilización (kg·ha ⁻¹)	0,00	0,00	0,04	0,04	0,06	0,07
Lixiviados (kg·ha ⁻¹)	0,22	0,38	0,65	0,75	0,70	0,74
Aporte purín (kg·ha ⁻¹)	0,26	0,27	0,79	0,69	1,06	1,27
Fijación biológica (kg·ha ⁻¹)	0,11	0,13	0,04	0,14	-0,07	-0,02
Rumen (kg·ha ⁻¹)	0,00	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03
Gasóleo (kg·ha ⁻¹)	1,18	1,50	0,20	0,14	0,21	0,24
Compra fertilizantes nitrogenados (kg·ha ⁻¹)	0,12	0,66	0,0030	0,43	0,75	0,38
Alimentos (kg·ha ⁻¹)	0,64	0,96	2,68	2,00	3,80	3,08
Mineralización y restos vegetales (kg·ha ⁻¹)	0,73	0,72	1,40	1,38	1,63	1,57
NO ₂ total (g·L ⁻¹ ECM)	0,65	0,77	0,44	0,57	0,45	0,45
% NO ₂ sobre total en CO _{2-eq}	17,75	19,80	14,80	18,15	15,50	15,45
CO _{2-eq} (kg·L ⁻¹ ECM)	1,11	1,22	0,92	0,99	0,88	0,89

3.2. Explotaciones lecheras de ganado ovino

Se han tenido en cuenta varios estudios de un total de 28 explotaciones ganaderas de Extremadura, el País Vasco y el sureste de España, con sistemas semi-intensivos, semi-extensivos o extensivos. (Batalla et al., 2015; Eldesouky et al., 2018; Escribano et al., 2020)

Para la estimación de la huella de carbono se había utilizado la metodología de evaluación del ciclo de vida (ACV). Los datos se habían obtenido a través encuestas

y de SERGAL S. Coop (centro de gestión económica y técnica de la región de Álava) durante los años 2011, 2016 y 2017. La unidad funcional había sido un kg de leche ECM en algunos casos y un L de leche ECM en otros. A lo largo de todo el Trabajo se ha considerado que estas dos unidades son equivalentes. (Batalla et al., 2015; Eldesouky et al., 2018; Escribano et al., 2020)

La *Tabla 2* muestra los valores medios de huella de carbono total por litro de leche ECM y su composición por GEI en las explotaciones consideradas:

Tabla 2: Huella de carbono estimada de 1 L de leche ECM y sus componentes, según el tipo de alimentación del ganado ovino (semi-intensivo, semi-extensivo, extensivo)

	Semi-intensivo	Semi-extensivo	Extensivo
CH₄ (kg CO_{2-eq}·L⁻¹ ECM)			
Fermentación entérica	0,90	1,27	2,14
Gestión del estiércol	0,02	0,03	0,06
% CH ₄ sobre total	36,01	41,69	53,66
CO₂ (kg CO_{2-eq}·L⁻¹ ECM)			
Alimentación	1,04	0,93	1,33
Energía	0,17	0,28	0,19
Fertilizantes minerales	0,08	0,10	0,00
Otros inputs	0,02	0,002	0,00
% CO ₂ sobre total	50,47	42,08	37,07
NO₂ (kg CO_{2-eq}·L⁻¹ ECM)			
Gestión del estiércol	0,12	0,14	0,08
Gestión del suelo	0,23	0,37	0,30
% NO ₂ sobre total	13,52	16,22	9,27
CO_{2-eq} (kg·L⁻¹ ECM)	2,58	3,12	4,10

Por otro lado, también se ha considerado un estudio realizado en el País Vasco y Navarra, donde se comparaban distintos sistemas entre los que figuraban convencional y ecológico. Los datos fueron recogidos en explotaciones entre 2013 y 2014, calculando la huella mediante la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV). La unidad funcional fue 1 L de leche ECM. (Mandaluniz et al., 2015)

La *Tabla 3* muestra los valores medios de huella de carbono total por L de leche ECM y su composición por GEI en las explotaciones consideradas:

Tabla 3: Huella de carbono estimada de 1 L de leche ECM y sus componentes, según el tipo de alimentación del ganado ovino (intensivo, ecológico)

	Intensivo	Ecológico
CH₄ (kg CO₂-eq·L⁻¹ ECM)		
Fermentación entérica	1,34	1,70
Gestión del estiércol	0,07	0,08
% CH ₄ sobre total	57,32	48,37
CO₂ (kg CO₂-eq·L⁻¹ ECM)		
Alimentación	0,31	0,57
Energía	0,31	0,36
Fertilizantes minerales	0,00	0,00
Otros inputs	0,00	0,00
% CO ₂ sobre total	25,20	25,27
NO₂ (kg CO₂-eq·L⁻¹ ECM)		
Gestión del estiércol	0,09	0,32
Gestión del suelo	0,34	0,65
% NO ₂ sobre total	17,48	26,36
CO₂-eq (kg·L⁻¹ ECM)	2,46	3,68

3.3. Explotaciones lecheras de ganado caprino

Se ha tenido en cuenta un primer estudio en el que se había analizado un grupo de 5 granjas en Andalucía entre los años 2014 y 2018, representando el sistema intensivo típico de esa región. La huella de carbono se había estimado mediante la metodología ACV, con 1 kg de leche ECM como unidad funcional. (Pardo et al., 2022)

La *Tabla 4* muestra los valores medios de huella de carbono total por L de leche ECM y su composición por GEI en las explotaciones consideradas.

Tabla 4: Huella de carbono estimada de 1 L de leche ECM y sus componentes, para una explotación intensiva de ganado caprino

	Intensivo
% CH ₄ sobre total	29,41
% CO ₂ sobre total	67,32
% NO ₂ sobre total	3,27
CO₂-eq (kg·L⁻¹ ECM)	1,53

Por otro lado, se ha analizado el caso de un sistema ecológico en Extremadura, con datos obtenidos mediante entrevistas en 2017. El cálculo de la huella de carbono se había realizado mediante análisis ACV, con 1 kg de leche ECM como unidad funcional. (Boza Martínez, 2010)

La Tabla 5 muestra los valores medios de huella de carbono total por L de leche ECM y sus componentes, para una explotación ecológica de ganado caprino.

Tabla 5: Huella de carbono estimada de 1 L de leche ECM y sus componentes, para una explotación ecológica de ganado caprino

	Ecológico
CH₄ (kg CO₂-eq·L⁻¹ ECM)	
Fermentación entérica	0,51
Gestión del estiércol	0,02
% CH ₄ sobre total	44,54
CO₂ (kg CO₂-eq·L⁻¹ ECM)	
Alimentación	0,25
Energía	0,11
% CO ₂ sobre total	30,25
NO₂ (kg CO₂-eq·L⁻¹ ECM)	
Gestión del estiércol	0,09
Gestión del suelo	0,21
% NO ₂ sobre total	25,4
CO₂-eq (kg·L⁻¹ ECM)	1,19

3.4. Explotaciones cárnicas de ganado vacuno

Se atendió a 2 estudios realizados en Extremadura, de explotaciones con sistemas extensivos y ecológicos. Para el cálculo de la huella de carbono se había utilizado el ACV, con 1 kg de vacuno en peso vivo como unidad funcional. Para poder realizar una comparativa correcta en los siguientes apartados, es necesario cambiar la unidad funcional a kg de carne, ya que esas son las unidades en las que se dan los datos de consumo de carne en España. Se ha estimado que el procesado de la carne aumenta al doble la huella de carbono por kg de peso vivo. (Boza Martínez, 2010; Eldesouky et al., 2018)

La Tabla 6 muestra los valores medios de huella de carbono total por L de leche ECM y su composición por GEI en las explotaciones consideradas:

Tabla 6: Huella de carbono estimada de 1 kg de carne y sus componentes, según el tipo de alimentación del ganado bovino

	Extensivo	Ecológico
CH₄ (kg CO₂-eq·L⁻¹ ECM)		
Fermentación entérica	8,69	7,30
Gestión del estiércol	0,41	0,99
% CH ₄ sobre total	51,27	62,02
CO₂ (kg CO₂-eq·L⁻¹ ECM)		
Alimentación	4,42	0,17
Energía	0,39	0,82
Fertilizantes minerales	0,00	0,00
Otros inputs	0,00	0,00
% CO ₂ sobre total	27,10	7,42
NO₂ (kg CO₂-eq·L⁻¹ ECM)		
Gestión del estiércol	0,29	0,13
Gestión del suelo	3,55	3,95
% NO ₂ sobre total	21,63	30,56
CO₂-eq (kg·kg-1 en peso vivo)	17,75	13,35
CO₂-eq (kg·kg-1 carne)	35,50	26,70

Se puede observar que se desconocen los datos sobre la huella de carbono de una explotación intensiva o convencional. Para poder realizar una comparativa y plantear los escenarios en los siguientes apartados, se va a hacer una excepción y utilizar un valor calculado para una explotación fuera de España. Se tomó una huella de carbono de 15,5 kg CO₂-eq por kg de vacuno en peso vivo (31 kg CO₂-eq por kg de carne), con porcentajes de GEI aproximados de 45% CH₄, 20% CO₂ y 35% NO₂ (Edwards-Jones et al., 2009).

3.5. Explotaciones cárnicas de ganado ovino

Se atendió a 3 estudios realizados en el noreste de España y Extremadura, de explotaciones con sistemas intensivos, extensivos y ecológicos. Para el cálculo de la huella de carbono se había utilizado el ACV, con 1 kg de vacuno en peso vivo como unidad funcional. (Eldesouky et al., 2018; Horrillo et al., 2020; Ripoll-Bosch et al., 2013)

La Tabla 7 muestra los valores medios de huella de carbono total por kg de carne y su composición por GEI en las explotaciones consideradas. En el caso del sistema intensivo se desconocían los porcentajes atribuidos a cada fuente de emisión. Se ha

estimado que la huella de carbono aumenta al doble al cambiar de unidad funcional desde 1 kg en peso vivo a 1 kg de carne. (Eldesouky et al., 2018; Horrillo et al., 2020; Ripoll-Bosch et al., 2013)

Tabla 7: Huella de carbono estimada de 1 kg de carne y sus componentes, según el tipo de alimentación del ganado ovino

	Extensivo	Ecológico
CH₄ (kg CO₂-eq·L⁻¹ ECM)		
Fermentación entérica	8,69	7,30
Gestión del estiércol	0,41	0,99
% CH ₄ sobre total	51,27	62,02
CO₂ (kg CO₂-eq·L⁻¹ ECM)		
Alimentación	4,42	0,17
Energía	0,39	0,82
Fertilizantes minerales	0,00	0,00
Otros inputs	0,00	0,00
% CO ₂ sobre total	27,10	7,42
NO₂ (kg CO₂-eq·L⁻¹ ECM)		
Gestión del estiércol	0,29	0,13
Gestión del suelo	3,55	3,95
% NO ₂ sobre total	21,63	30,56
CO₂-eq (kg·kg⁻¹ en peso vivo)	17,75	13,35
CO₂-eq (kg·kg⁻¹ carne)	35,50	26,70

3.6. Planteamiento de escenarios de transición

Una vez obtenidos los valores medios de la huella de carbono de cada producto, se procede a plantear diferentes escenarios de transición:

1. Escenario actual (S₀): se han cuantificado las emisiones de carbono derivadas del consumo de cada producto el último año tenido en cuenta para el trabajo, es decir, el 2021.
2. Escenario de transición sin reducir consumo: se han planteado 4 casos distintos, en los que un porcentaje del consumo de alimentos convencionales pasa a ser ecológico. Los porcentajes utilizados han sido el 10, el 20, el 50 y el 100% (S₁₀, S₂₀, S₅₀ y S₁₀₀).
3. Escenario transición reduciendo consumo: se ha planteado, para el escenario actual (S₀), una reducción del nivel de consumo de los productos de origen convencional, de un 10, 20 y un 30%.

Para el cálculo de las emisiones de carbono derivadas del consumo de cada producto, se ha requerido obtener los valores de consumo para el año 2021 del informe del Consumo Alimentario en España en ese año, publicado por el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA, 2020).

En la siguiente Tabla se muestran los resultados del consumo para el año 2021:

Tabla 8: Consumo per cápita de alimentos de origen convencional y ecológico en 2021

	Consumo per cápita (kg/persona)	
	Convencional	Ecológico
Leche vaca	70,22	0,43
Leche oveja	2,03	0,43
Leche cabra	0,21	0,001
Carne vacuno	6,01	0,29
Carne ovino	1,28	0,08

4. Resultados y discusión

4.1. Comparativa entre sistemas

A continuación, en las siguientes gráficas se muestra una recopilación de la huella de carbono por unidad funcional de todos los sistemas de los que se han recogido datos en este TFM.

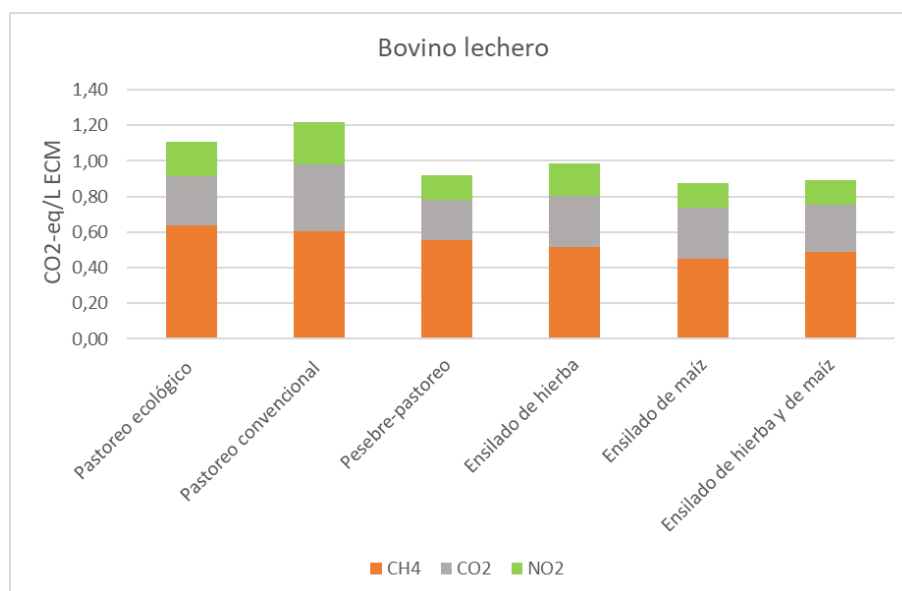


Figura 20: Huella de carbono por unidad funcional de los distintos sistemas de bovino lechero (kg CO₂-eq/ L ECM)

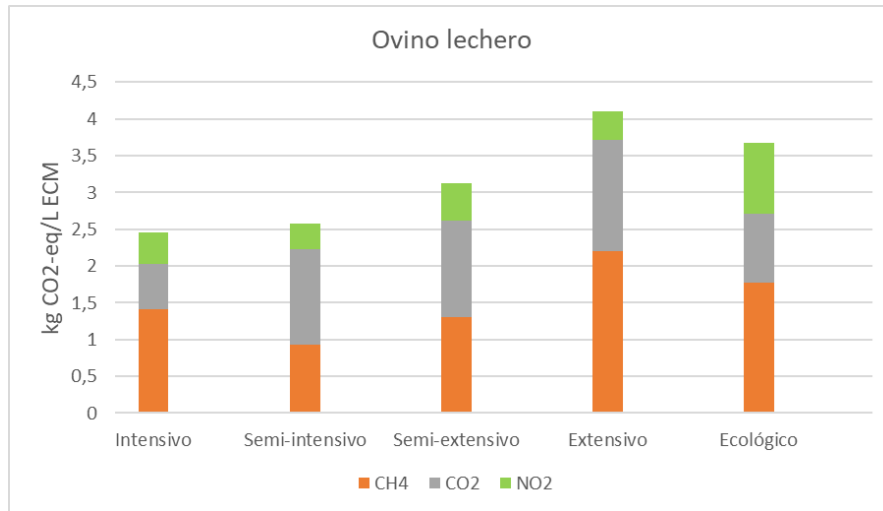


Figura 21: Huella de carbono por unidad funcional de los distintos sistemas de ovino lechero (kg CO₂-eq/ L ECM)

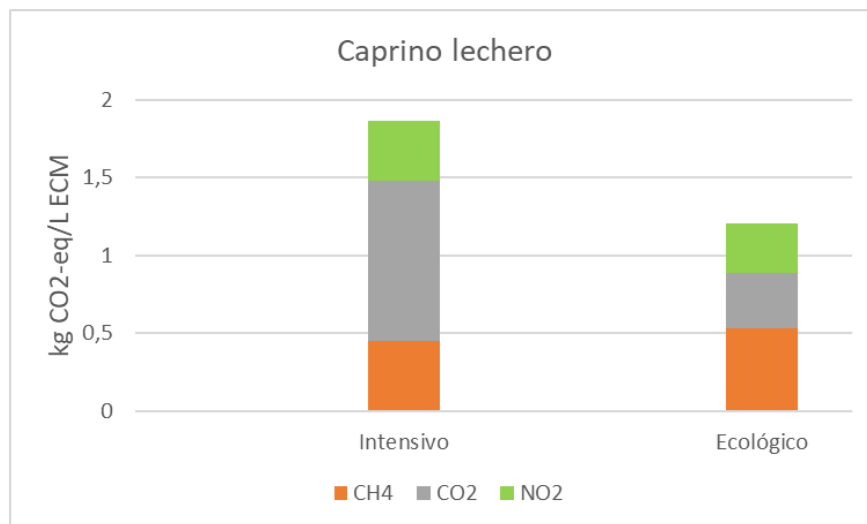


Figura 22: Huella de carbono por unidad funcional de los distintos sistemas de caprino lechero (kg CO₂-eq/ L ECM)

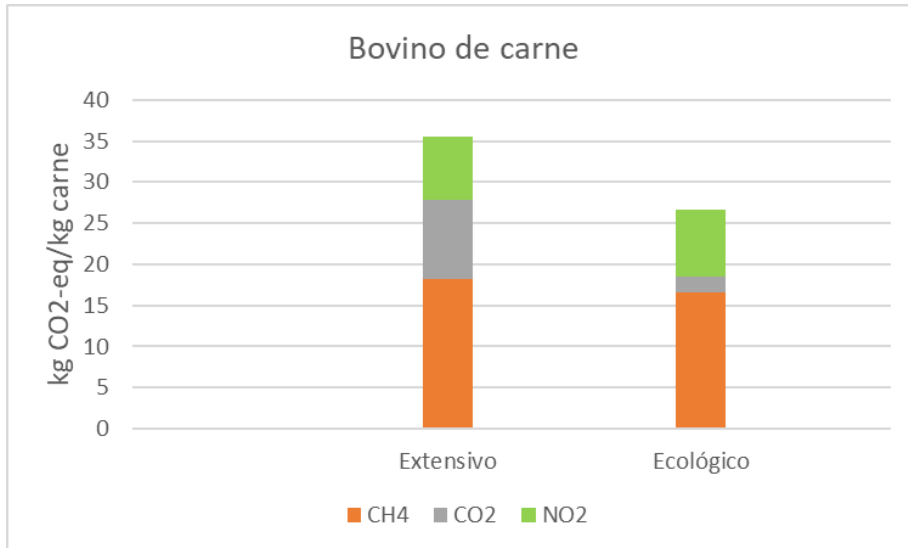


Figura 23: Huella de carbono por unidad funcional de los distintos sistemas de bovino de carne (kg CO₂-eq/kg carne)

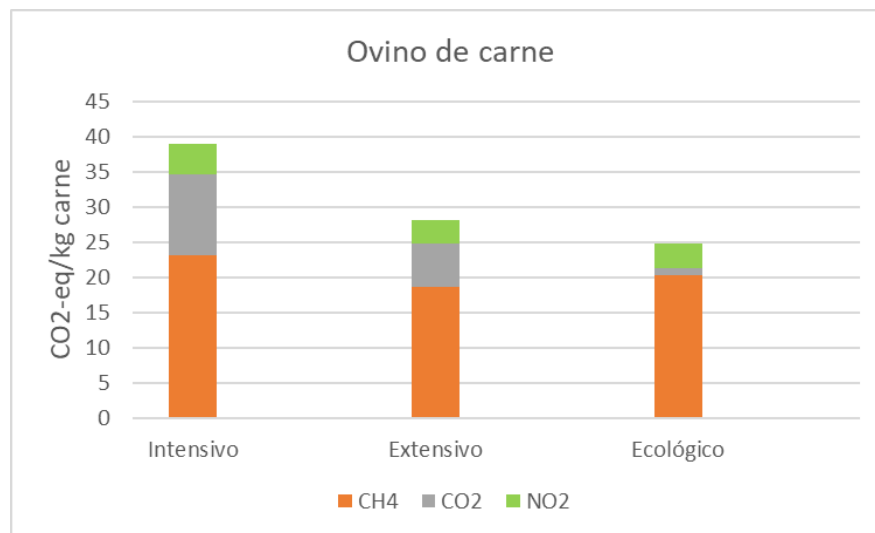


Figura 24: Huella de carbono por unidad funcional de los distintos sistemas de ovino de carne (kg CO₂-eq/ kg carne)

Entre los distintos sistemas de bovino lechero, hay poca variación, exceptuando el ecológico y el convencional, donde se muestran emisiones mayores, siendo las del convencional las más altas. Para los sistemas de caprino lechero, ovino de carne y bovino de carne, se ha mostrado la misma tendencia, donde las emisiones disminuían al disminuir el grado de intensificación, siendo los sistemas ecológicos los que menos emisiones conllevaban. La única excepción para este patrón ha sido caso del ovino lechero, donde las emisiones han disminuido al aumentar el grado de intensificación, siendo las del sistema ecológico las mayores.

Es un hecho conocido que los sistemas intensivos tienen menores emisiones de GEI que los extensivos, por lo que llama la atención que en casi todos los valores promedio calculados, se haya visto la tendencia contraria. El caso en el que se ha visto la tendencia esperada, es decir, el del ovino lechero, es en el que más variedad de artículos se ha encontrado, lo que probablemente ha dado lugar a un resultado más coherente. El resto de los casos, en los que la información disponible ha sido más limitada, sugieren que los resultados que muestran menores emisiones para sistemas ecológicos no son fiables.

4.2. Escenarios de transición

4.2.1. Escenario actual

A continuación, se presentan las emisiones derivadas del consumo per cápita de los productos provenientes de rumiantes.

Tabla 9: Huella de carbono del consumo per cápita en el año 2021

		Huella de carbono per cápita (kg CO ₂ -eq/persona)	
		Convencional	Ecológico
S ₀	Leche vaca	85,67	0,48
	Leche oveja	5,01	1,59
	Leche cabra	0,32	0,002
	Carne vacuno	213,27	7,80
	Carne ovino	49,81	2,06

Las mayores emisiones del consumo per cápita de cada producto son debidas a la carne de vacuno. A pesar de que la leche de vaca tiene un consumo mayor, la huella por unidad funcional de la carne de vacuno es mayor que la de la leche. Las emisiones derivadas de los alimentos ecológicos son prácticamente insignificantes frente a las de los convencionales, debido a que su consumo es muy bajo.

4.2.2. Escenario de transición sin reducción de consumo total, pero aumentando el de ecológico frente al convencional

A continuación, se muestran los resultados de los escenarios en los que un porcentaje del consumo convencional (10%,20%, 50% y 100%) pasa a ser

ecológico (S_{10} , S_{20} , S_{30} , S_{100}). En la *Gráfica 27*, se puede observar, para cada caso, las emisiones de CO_{2-eq} relativas al consumo total per cápita.

Tabla 10: Huella de carbono del consumo per cápita para el escenario base (S_0) los escenarios sin reducción de consumo total, pero aumentando el de ecológico con relación al convencional en un 10%, 20%, 50% y 100% (S_{10} , S_{20} , S_{50} y S_{100}).

		Huella de carbono per cápita (kg CO_{2-eq} /persona)	
		Convencional	Ecológica
S_0	Leche vaca	85,67	0,48
	Leche oveja	5,01	1,59
	Leche cabra	0,32	0,002
	Carne vacuno	213,27	7,80
	Carne ovino	49,81	2,06
S_{10}	Leche vaca	77,10	8,27
	Leche oveja	4,51	2,34
	Leche cabra	0,29	0,03
	Carne vacuno	191,95	23,84
	Carne ovino	44,83	5,23
S_{20}	Leche vaca	68,53	16,07
	Leche oveja	4,00	3,09
	Leche cabra	0,26	0,05
	Carne vacuno	170,62	39,89
	Carne ovino	39,85	8,40
S_{50}	Leche vaca	42,83	39,45
	Leche oveja	2,50	5,34
	Leche cabra	0,16	0,13
	Carne vacuno	106,64	88,01
	Carne ovino	24,91	17,92
S_{100}	Leche vaca	0,00	78,42
	Leche oveja	0,00	9,08
	Leche cabra	0,00	0,25
	Carne vacuno	0,00	168,21
	Carne ovino	0,00	33,78

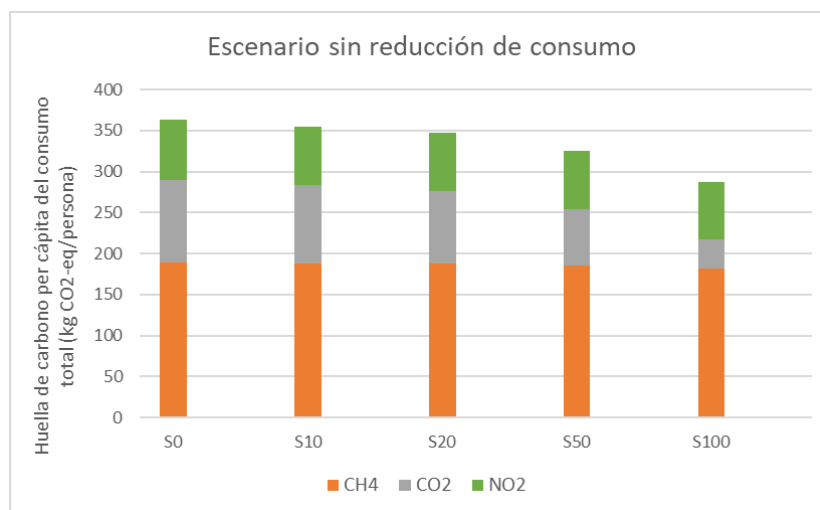


Figura 25: Huella de carbono per cápita asociada al consumo total (kg CO₂-eq/persona), para el escenario base (S₀) y los escenarios sin reducción de consumo total, pero aumentando el de ecológico con relación al convencional en un 10%, 20%, 50% y 100% (S₁₀, S₂₀, S₅₀ y S₁₀₀)

El que las emisiones totales de los casos en los que predomina el consumo ecológico sean menores que aquellos en los que predomina el convencional, como se ha explicado, puede deberse a estimaciones erróneas de las huellas de carbono. Además, la variación al pasar parte del consumo convencional al ecológico es muy baja, incluso si el 100% del consumo fuera ecológico. Lo que sí que se cumple constantemente es la tendencia a reducirse del CO₂ y aumento del CH₄ al pasar de convencional a ecológico. Esta tendencia también se podía observar en la comparativa de sistemas del apartado 4.1 y, como ya se ha explicado, es lógico atendiendo a las características de cada sistema (los sistemas más extensivos y los sistemas ecológicos, una de cuyas características es el pastoreo, implican más emisiones de metano derivadas del proceso digestivo de los rumiantes).

Por tanto, se observa que no hay gran variación entre las emisiones totales de GEI incluso si el 100% de consumo fuera de alimentos ecológicos, por lo que podría parecer que, con estos resultados, una transición hacia sistemas ecológicos no tiene gran utilidad. Sin embargo, si se atiende al origen de cada gas constituyente de la huella de carbono, las emisiones antropogénicas vienen representadas mayormente por el CO₂ pertenecen al fondo de emisión natural de gases de efecto invernadero (Pardo et al., 2023). A pesar de que esta “emisión natural” de CH₄ o N₂O se está dando por la existencia de la

explotación, está demostrado que, en ausencia de ella, esas emisiones seguirían existiendo al menos en parte, pues los pastos serían colonizados por seres vivos emisores de metano. (Del Prado & Manzano, 2020).

Por tanto, el implantar un sistema ecológico puede contribuir a asemejar ese sistema a un ecosistema natural, reduciendo las alteraciones derivadas de las emisiones antropogénicas. Por eso es necesario, en estos casos de estudio, al utilizar la huella de carbono como indicador, diferenciar entre los distintos GEI, pues con los datos sobre CO₂-eq no se pueden observar las diferencias entre emisiones antropogénicas y naturales.

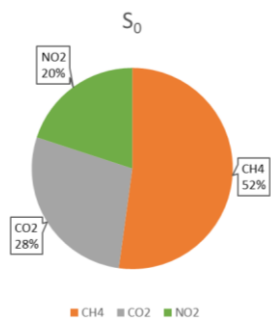


Figura 26: Porcentajes de cada GEI en la huella de carbono del consumo total del escenario S₀

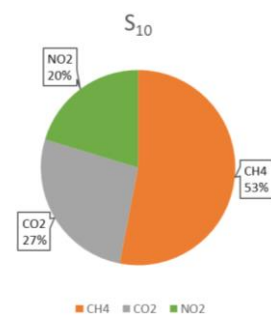


Figura 27: Porcentajes de cada GEI en la huella de carbono del consumo total del escenario S₁₀

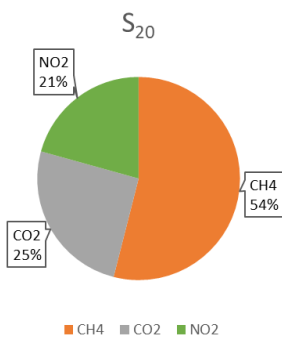


Figura 28: Porcentajes de cada GEI en la huella de carbono del consumo total del escenario S₂₀

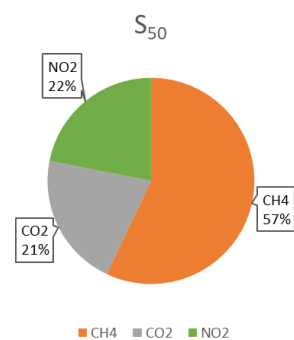


Figura 29: Porcentajes de cada GEI en la huella de carbono del consumo total del escenario S₅₀

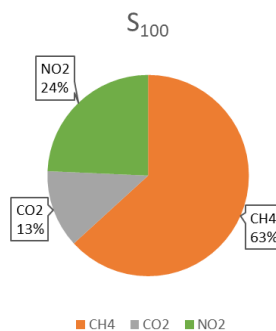


Figura 30: Porcentajes de cada GEI en la huella de carbono del consumo total del escenario S₁₀₀

4.2.3. Escenario de transición con reducción de consumo

A continuación, se muestran los resultados de los escenarios Sr₁₀, Sr₂₀ y Sr₃₀. En ellos, se ha reducido el consumo de cada producto de origen convencional un 10, un 20 y un 30% respectivamente.

Tabla 11: Huella de carbono del consumo per cápita (kg CO₂-eq/persona) para los escenarios con reducción de consumo

		Huella de carbono (kg CO ₂ -eq/persona)	
		Convencional	Ecológica
Sr ₁₀	Leche vaca	77,10	0,48
	Leche oveja	4,51	1,59
	Leche cabra	0,29	0,002
	Carne vacuno	191,95	7,80
	Carne ovino	44,83	2,06
Sr ₂₀	Leche vaca	68,53	0,48
	Leche oveja	4,00	1,59
	Leche cabra	0,26	0,002
	Carne vacuno	170,62	7,80
	Carne ovino	39,85	2,06
Sr ₃₀	Leche vaca	59,97	0,48
	Leche oveja	3,50	1,59
	Leche cabra	0,23	0,002
	Carne vacuno	149,29	7,80
	Carne ovino	34,87	2,06

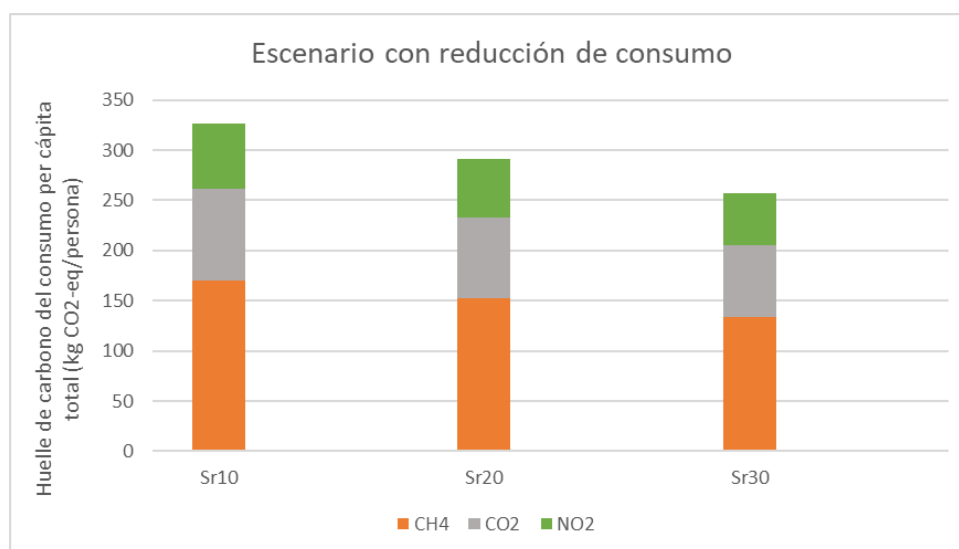


Figura 31: huella de carbono per cápita asociada al consumo total, para los escenarios con reducción de consumo del 10%, 20% y 30% (Sr₁₀, Sr₂₀ y Sr₃₀)

Con la reducción del consumo, sí se puede observar una reducción notable de las emisiones totales. La *Figura 31* muestra cómo cambios pequeños en la alimentación pueden dar lugar a reducciones significativas de emisiones GEI. Por ejemplo, como se muestra en la *Tabla 12*, una disminución de unos 20 kg de alimentos de origen animal da lugar a una reducción de unos 100 kg de CO₂-eq.

Tabla 12: Cantidad reducida del consumo de alimentos per cápita (kg/persona) de origen animal convencional y su huella de carbono (kg CO₂-eq/persona) para los escenarios Sr10, Sr20 y Sr30 respecto al escenario base S₀.

	Sr ₁₀	Sr ₂₀	Sr ₃₀
Reducción del consumo convencional total per cápita (kg/persona) respecto a S ₀	7,97	15,95	23,92
Reducción de la huella de carbono per cápita (kg CO ₂ -eq/persona) respecto a S ₀	34,66	69,79938147	104,9346775

5. Conclusiones

El objetivo de este Trabajo ha sido evaluar el impacto ambiental del consumo alimentario de origen animal, limitando el estudio al sector de los rumiantes dentro de España, para posteriormente plantear posibles escenarios de transición agroecológica. Para poder cuantificar este impacto, se ha realizado una revisión bibliográfica de cara a obtener valores promedio de indicadores ambientales en las explotaciones convencionales y ecológicas de rumiantes de España. Entre los distintos indicadores, se ha elegido la huella de carbono, porque es del que más información se ha encontrado. Aun así, la información disponible ha sido limitada, lo que ha dado lugar a resultados que indican que las explotaciones ecológicas, en general tienen menores emisiones de gases de efecto invernadero, medidas como CO₂-equivalente, que las convencionales, lo que no suele ser común.

Los escenarios planteados, por su parte, sí han mostrado los resultados esperados, pues se ha podido concluir que una transición hacia un sistema ecológico puede no tener un gran impacto en las emisiones totales de CO₂-eq desde una perspectiva de Análisis de Ciclo de Vida. Si se analizan esas emisiones por gases, se observa una disminución de aquellos atribuidos a las emisiones del uso de combustibles fósiles e insumos y un aumento de aquellos atribuidos a la fermentación entérica y al estiércol de los rumiantes en pastoreo. Por otro lado, también se ha observado que pequeñas reducciones en el consumo de productos de origen animal dan lugar a una reducción aproximadamente equivalente en las emisiones totales de GEI.

Por tanto, combinando la transición agroecológica y la reducción del consumo de productos de origen animal, se puede lograr una reducción del total de Gases de Efecto Invernadero provenientes de las explotaciones, junto con una reducción aún más importante de las emisiones antropogénicas provenientes de combustibles fósiles.

Sin embargo, hay que recordar que este estudio tiene varias limitaciones. Por un lado, se han hecho varias estimaciones sobre el consumo, junto con los valores medios obtenidos de un número de estudios con información limitada. Además, no se está teniendo en cuenta otros factores que pueden resultar un obstáculo para la transición agroecológica y habría que evaluar, como puede ser el uso de suelo en sistemas ecológicos. Tampoco se están evaluando otros posibles impactos positivos que puede

tener el sistema ecológico sobre el convencional, como el aumento de la biodiversidad o el secuestro de carbono en tierras pastoreadas. Por último, en este estudio se ha utilizado el enfoque “de la cuna a la puerta”, obviando todas las posibles emisiones derivadas del reparto y el consumo.

Este estudio aporta unas ideas básicas que dan pie a futuras profundizaciones, de cara a obtener conclusiones más concretas y precisas. Además, se muestra la importancia de analizar la huella de carbono atendiendo al porcentaje de cada GEI, ya que, en caso de analizar sólo la total, se está obviando información que puede ser relevante de cara al planteamiento de la transición ecológica.

6. Referencias

Aguilera, E., Piñero, P., Infante-Amate, J., Molina, M., Lassaletta, L., & Sanz-Cobena, A. (2020). *Emisiones de gases de efecto invernadero en el sistema agroalimentario y huella de carbono de la alimentación en España*.

Aguilera, E., Rivera-Ferre, M., Calvet Nogués, M. D. M., Rodríguez, A., Molina, M., Morilla, A., Infante-Amate, J., Sanz-Cobena, A., & Guzmán, G. (2022). *Escenarios de transición agroecológica en el sistema agroalimentario español*.

Gerber, P.J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., Falcucci, A. & Tempio, G. (2013). *Enfrentando el cambio climático a través de la ganadería – Una evaluación global de las emisiones y oportunidades de mitigación*. Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (FAO), Roma.

Batalla, I., Knudsen, M. T., Mogensen, L., Hierro, Ó. del, Pinto, M., & Hermansen, J. E. (2015). Carbon footprint of milk from sheep farming systems in Northern Spain including soil carbon sequestration in grasslands. *Journal of Cleaner Production*, 104, 121-129. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.05.043>

Boza Martínez, S. (2010). *La agricultura ecológica como parte de la estrategia de desarrollo rural sostenible en Andalucía* [DoctoralThesis]. <https://repositorio.uam.es/handle/10486/4228>

Caracterización, diagnóstico y mejora de los sistemas de producción ecológica de rumiantes en Andalucía. (2014). Junta de Andalucía. Recuperado 21 de enero de 2023, de <https://www.juntadeandalucia.es/servicios/publicaciones/detalle/77769.html#toc-documentos-adjuntos>

Del Prado, A., & Manzano, P. (2023). *¿Podemos renunciar a la ganadería industrial?* The Conversation. Recuperado 21 de enero de 2023, de <http://theconversation.com/podemos-renunciar-a-la-ganaderia-industrial-174677>

Del Prado, A. & Manzano, P. (2020). *La ganadería y su contribución al cambio climático*.

Del Prado, A., Pardo, I., Batalla, I., & Manzano, P. (2022). *El análisis del ciclo de vida en las actividades ganaderas*.

Edwards-Jones, G., Plassmann, K., & Harris, I. M. (2009). Carbon footprinting of lamb and beef production systems: Insights from an empirical analysis of farms in Wales, UK. *The Journal of Agricultural Science*, 147(6), 707-719. <https://doi.org/10.1017/S0021859609990165>

Eldesouky, A., Mesias, F. J., Elghannam, A., & Escribano, M. (2018). Can extensification compensate livestock greenhouse gas emissions? A study of the carbon footprint in Spanish agroforestry systems. *Journal of Cleaner Production*, 200, 28-38. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.279>

Escribano, M., Elghannam, A., & Mesias, F. J. (2020). Dairy sheep farms in semi-arid rangelands: A carbon footprint dilemma between intensification and land-based grazing. *Land Use Policy*, 95, 104600. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104600>

Horrillo, A., Gaspar, P., & Escribano, M. (2020). *Organic Farming as a Strategy to Reduce Carbon Footprint in Dehesa Agroecosystems: A Case Study Comparing Different Livestock Products*. Recuperado 21 de enero de 2023, de https://www.researchgate.net/publication/338596885_Organic_Farming_as_a_Strategy_to_Reduce_Carbon_Footprint_in_Dehesa_Agroecosystems_A_Case_Study_Comparing_Different_Livestock_Products

MAPA. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Resumen anual de la alimentación. La Producción Ecológica. (2021). Recuperado 21 de enero de 2023, de <https://www.mapa.gob.es/es/alimentacion/temas/produccion-eco/>

MAPA. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Resumen anual de la alimentación. (2020) Recuperado 21 de enero de 2023, de <https://www.mapa.gob.es/es/alimentacion/temas/consumo-tendencias/panel-de-consumo-alimentario/resumen-anual-de-la-alimentacion/default.aspx>

MAPA. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Últimos datos. (2021). Recuperado 21 de enero de 2023, de <https://www.mapa.gob.es/es/alimentacion/temas/consumo-tendencias/panel-de-consumo-alimentario/resumen-anual-de-la-alimentacion/default.aspx>

Mandaluniz, N., Mingo, A., Batalla, I., & Ruiz, R. (2015). *EFFECTO DEL MANEJO SOBRE LA HUELLA DE CARBONO EN EXPLOTACIONES DE OVINO LECHERO*. Recuperado 16 de febrero de 2023, Actas XL Congreso Nacional SEOC, XVI congreso Internacional. Castellón de la Plana (Spain) Volume: 1

Pardo, G., del Prado, A., Fernández-Álvarez, J., Yáñez-Ruiz, D. R., & Belanche, A. (2022). Influence of precision livestock farming on the environmental performance of intensive dairy goat farms. *Journal of Cleaner Production*, 351, 131518. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131518>

Pardo, G., Casas, R., del Prado, A. et al. Carbon footprint of transhumant sheep farms: accounting for natural baseline emissions in Mediterranean systems. *Int J Life Cycle Assess* (2023). <https://doi.org/10.1007/s11367-023-02135-3>

Ripoll-Bosch, R., de Boer, I. J. M., Bernués, A., & Vellinga, T. V. (2013). Accounting for multi-functionality of sheep farming in the carbon footprint of lamb: A comparison of three contrasting Mediterranean systems. *Agricultural Systems*, 116, 60-68. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2012.11.002>

Salcedo, G., Báez, D., García, M., Castro, J., & Santiago Andión, C. (2020). *EMISIONES Y HUELLA DE CARBONO EN LAS EXPLOTACIONES LECHERAS DE GALICIA*. 2, 150-161.

Salcedo, G., J.D., J.-C., Martínez-Fernández, A., Baizán González, S., & Vicente Mainar, F. (2019). *Huella de carbono en las explotaciones lecheras asturianas*. N.º 13, 134-143.

7. ANEXO I. Revisión bibliográfica

A continuación, se detallan todas las publicaciones consultadas tras filtrar los resultados de la búsqueda en función del nombre del artículo. En formato **negrita** aparecen aquellas publicaciones que finalmente fueron usadas para el trabajo.

Artículos	Año	Autores	País	Link/doi	Especie	Tipo de producción	Número granjas	Indicadores	Unidad funcional
<i>Huella de carbono en las explotaciones lecheras asturianas</i>	2019	G. Salcedo, J. D. Jiménez-Calderón, A. Martínez-Fernández, S. Baizán, F. Vicente	España	https://www.researchgate.net/publication/337706313_Huella_de_carbono_en_las_explotaciones_lecheras_asturianas	Vacuno de leche	Cinco tipologías de alimentación: ecológicas (Eco), pesebre-pastoreo (Pe-Pa), ensilado de hierba (EHba), ensilado de maíz (EMz), ensilado de hierba y de maíz (EHba-EMz)	15 granjas	Huella de carbono por componentes, secuestro de carbono, emisiones debidas al uso indirecto del suelo de los alimentos comprados, emisiones atribuidas a la compra de soja	1 L leche ECM
<i>Emisiones y huella de carbono en las explotaciones lecheras de Galicia</i>	2019	Salcedo et al.	España	https://www.researchgate.net/publication/338450461_EMISIONES_Y_HUELLA_DE_CARBONO_EN_LAS_EXPLORACIONES_LECHERAS_DE_GALICIA	Vacuno de leche	Pastoreo ecológico (Pas Eco), pastoreo convencional (PasCon), Ensilado de hierba (EHba), Ensilado de maíz (EMz), Ensilado de hierba y de maíz (EHba-EMz).	19 granjas	Huella de carbono por componentes, secuestro de carbono, emisiones debidas al uso indirecto del suelo de los alimentos comprados, emisiones atribuidas a la compra de soja	1 L leche ECM
<i>"Dairy sheep farms in semi-arid rangelands: A carbon footprint dilemma between intensification and land-based grazing"</i>	2020	Escribano et al.	España	10.1016/j.landusepol.2020.104600	Ovino de leche	Manejo semi-intensivo, manejo semi-extensivo, manejo extensivo	15 granjas	Huella de carbono dividida por componentes, secuestro de carbono	1 L leche ECM
<i>"Carbon footprint of milk from sheep farming systems in Northern Spain including soil carbon sequestration in grasslands"</i>	2015	Batalla et al.	España	https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.05.043	Ovino de leche	Manejo semi-intensivo, manejo semi-extensivo	12 granjas	Huella de carbono por componentes, secuestro de carbono	1 L leche ECM
<i>"Can extensification compensate livestock greenhouse gas emissions? A study of the carbon footprint in Spanish agroforestry systems Spain including soil carbon sequestration in grasslands"</i>	2018	Eldesouky et al.	España	https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.279	Ovino de leche, ovino de carne, bovino de carne	Manejo extensivo	4 granjas	Indicadores económicos, huella de carbono por componentes, secuestro de carbono	1 kg de carne en peso vivo, 1 L leche ECM

<i>Efectos del manejo sobre la huella de carbono en explotaciones de ovino lechero</i>	2016	Mandaluniz et al.	España	https://www.researchgate.net/publication/282604905_EFECTO_DE_L_MANEJO_SOBRE_LA_HUELLA_DE_CARBOENO_EN_EXPLORACIONES_DE_OVINO_LECHERO	Ovino de leche	Intensivo, alternativo, ecológico, regenerativo	5 granjas	Huella de carbono dividida por componentes	1 kg leche FPCM
<i>"Influence of precision livestock farming on the environmental performance of intensive dairy goat farms"</i>	2022	Pardo et al.	España	https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131518	Caprino de leche	Intensivo	5 granjas	Huella de carbono dividida por componentes (mostrado en gráfica)	1 kg leche FPCM
<i>"Organic Farming as a Strategy to Reduce Carbon Footprint in Dehesa Agroecosystems: A Case Study Comparing Different Livestock Products"</i>	2020	Horrillo et al.	España	10.3390/ani10010162	Caprino de leche, bovino de carne, ovino de carne	Extensivo, ecológico	5 granjas	Huella de carbono dividida por componentes, secuestro de carbono	1 kg peso vivo, 1 kg FPCM, 1 ha
<i>The carbon footprint of lamb: Sources of variation and opportunities for mitigation</i>	2013	Jones et al.	Inglaterra, Gales	https://doi.org/10.1016/j.agsy.2013.09.006	Ovino de carne	Granjas en tierras bajas, en mesetas y en cerros	64 granjas	Huella de carbono dividida por componentes	kg de ovino en peso vivo
<i>Predicting methane emissions, animal-environmental metrics and carbon footprint from Brahman (Bos indicus) breeding herd systems based on longterm research on grazing of neotropical savanna and Brachiaria decumbens pastures</i>	2020	Ramírez-Restrepo et al.	Colombia	https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102892	Bovino de carne	Pastoreo continuo	Registros individuales de 30 novillas nacidas y criadas	Huella de carbono dividida por componentes	1 cabeza de ganado
<i>A case study of the carbon footprint of milk from high-performing confinement and grass-based dairy farms</i>	2013	O'Brien et al.	Reino Unido, Estados Unidos, Irlanda	https://doi.org/10.3168/jds.2013-7174	Bovino de leche	Sistema de pastoreo, sistema de confinamiento	Datos de informes existentes	Huella de carbono	t de leche ECM
<i>Mitigation of greenhouse gases in dairy cattle via genetic selection: 2. Incorporating methane emissions into the breeding goal</i>	2019	González-Recio et al.	España	https://doi.org/10.3168/jds.2019-17598	Bovino de leche	No se menciona	Datos de la Asociación Española Holstein (CONAFE)	Indicadores económicos	1 vaca
<i>Modelling the interactions between C and N farm balances and GHG emissions from confinement dairy farms in northern Spain</i>	2013	Del Prado et al.	España	https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.03.064	Bovino de leche	Manejo heterogéneo	17 granjas comerciales	Balance de nitrógeno	1 ha
<i>Environmental and water sustainability of milk production in Northeast Spain</i>	2017	Noya et al.	España	10.1016/j.scitotenv.2017.10.186	Bovino de leche	Sistema intensivo	1 granja	Huella hídrica	1 kg leche FPCM
<i>Environmental impact of cheese production: A case study of a small-scale factory in southern Europe and global overview of carbon footprint</i>	2018	Canellada et al.	España	10.1016/j.scitotenv.2018.04.045	---	---	1 fábrica de queso	Huella de carbono	4770 kg de queso

<i>A scenario-based analysis of the effect of carbon pricing on organic livestock farm performance: A case study of Spanish dehesas and rangelands</i>	2020	A. Horrillo, P. Gaspar, C. Díaz-Caro, M. Escribano	Spain	https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141675	Bovino de carne, ovino de carne	Manejo extensivo	4 granjas	Indicadores económicos, huella de carbono, secuestro de carbono	1 ha
<i>Water and carbon footprint of selected dairy products: A case study in Catalonia</i>	2016	Vasilaki et al.	España	https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.08.032	---	---	1 fábrica de yogur	Huella hídrica y huella de carbono	1 kg de yogur
<i>Greenhouse gas emissions and carbon sequestration in organic dehesa livestock farms. Does technical-economic management matters?</i>	2022	Escribano et al.	España	https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133779	Bovino de carne	Sistema ecológico con diferentes grados de extensividad	34 granjas	Huella de carbono por componentes y secuestro de carbono	ha, kg de carne en peso vivo
<i>Carbon footprint of dairy goat production systems: A comparison of three contrasting grazing levels in the Sierra de Grazalema Natural Park (Southern Spain)</i>	2018	Gutiérrez-Peña et al.	España	10.1016/j.jenvma.2018.12.005	Caprino de leche	Granjas de pastoreo de baja productividad, granjas de pastoreo más intensificadas y granjas de pastoreo de alta productividad	16 granjas	Huella de carbono y secuestro de carbono	1 kg leche ECM, 1 ha
<i>Environmental and biodiversity effects of different beef production systems</i>	2021	Angerer et al.	Italia	10.1016/j.jenvma.2021.112523	Bovino de carne	Convencional, ecológico	18 granjas	Huella de carbono, potencial de acidificación, potencial de eutrofización, uso de energía no renovable, ocupación de suelo, potencial de daño a la biodiversidad	1 kg carne en peso vivo
<i>Dairy sheep carbon footprint and ReCiPe end-point study</i>	2020	Sabia et al.	Italia	https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2020.106085	Ovino de leche	Pastoreo diurno y confinamiento nocturno	4 granjas	Huella de carbono	1 kg leche FPCM
<i>Agricultural carbon footprint is farm specific: Case study of two organic farms</i>	2019	Adewale et al.	Estados Unidos	https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124861	Cultivos	Ecológico	2 granjas	Huella de carbono	ha-año
<i>Pursuing the route to eco-efficiency in dairy production: The case of Galician area</i>	2020	Cortes et al.	España	https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124861	Bovino de leche	No se menciona	96 farms	huella de carbono (en gráfica), huella hídrica (en gráfica), ecoeficiencia	1 kg leche FPCM
<i>Carbon sequestration offsets a large share of GHG emissions in dehesa cattle production</i>	2022	Reyes-Palomo et al.	España	https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131918	Bovino de carne	Extensivo, ecológico, convencional	15 granjas	Huella de carbono	1 kg carne en peso vivo
<i>Integrating social and economic criteria in the carbon footprint analysis in sheep dairy farms</i>	2014	Batalla et al.	España	https://www.researchgate.net/publication/265794481_Integrating_social_and_economic_criteria_in_the_carbon_footprint_analysis_in_sheep_dairy_farms	Ovino de leche	Semi-extensivo	12 granjas	Huella de carbono	kg leche ECM, ha
<i>Carbon Footprint Assessment of Spanish Dairy Cattle Farms: Effectiveness of Dietary and Farm Management Practices as a Mitigation Strategy</i>	2020	Ibidhi et al.	España	https://doi.org/10.3390/ani10112083	Bovino lechero	No se menciona	12 granjas	Huella de carbono	1 kg leche ECM

<i>Milk Quality and Carbon Footprint Indicators of Dairy Sheep Farms Depend on Grazing Level and Identify the Different Management Systems</i>	2021	Plaza et al.	España	10.3390/ani11051426	Ovino de leche	No se menciona	17 granjas	Huella de carbono	1 kg leche FPCM
<i>GHG Emissions from Dairy Small Ruminants in Castilla-La Mancha (Spain), Using the ManleCO2 Simulation Model</i>	2022	Salcedo et al.	España	10.3390/ani12060793	Ovino de leche, caprino de leche	No se menciona	36 granjas	Huella de carbono	ha, unidad de ganado, L de leche FPCM
<i>Carbon footprint of transhumant sheep farms: accounting for natural baseline emissions in Mediterranean systems</i>	2022	Pardo et al.	España	10.21203/rs.3.rs-1838904/v1	Bovino de carne	Estático, transhumante por camión, transhumancia a pie	21 granjas	Huella de carbono	kg de carne en peso vivo
<i>Water footprint of milk</i>	2013	Bach et al.	Alemania	https://www.researchgate.net/publication/271199349_Water_Footprint_of_Milk	Bovino de leche	Ensilaje de hierba, sistema basado en ensilaje de maíz, sistema mixto	18 sistemas	Huella hídrica	1 L leche cruda
<i>Carbon-footprints for food of animal origin, reduction potentials and research need</i>	2011	G. Flachowsky	Alemania	10.3390/ani2020108	---	---	---	---	---
<i>Carbon Footprint of Milk Production</i>	2016	Paul et al.	India	https://www.researchgate.net/publication/305754727_Carbon_Footprint_of_Milk_Production	---	---	---	---	---
<i>Cradle-to-farm gate analysis of milk carbon footprint: a descriptive review</i>	2012	G. Pirlo	Italia	10.4081/ijas.2012.e20	---	---	---	---	---
<i>Environmental footprints in the meat chain</i>	2017	Đekić et al.	Serbia	10.1088/1755-1315/85/1/012015	---	---	---	---	---
<i>Carbon footprint in dehesa agroforestry systems</i>	2018	Escribano et al.	España	https://www.repositorio.utl.pt/bitstream/10400.5/18623/1/EURAFIVConf_Escribano_M_et_all_page_401_405.pdf	Bovino de carne, ovino de carne	Extensivo	2 granjas	Huella de carbono	kg carne en peso vivo
<i>Life beef carbon: a common framework for quantifying grass and corn based beef farms' carbon footprints</i>	2019	O'Brien et al.	Irlanda, España, Italia, Francia	10.1017/S175173119002519	---	---	---	---	---
<i>Effect of dairy cattle production systems on sustaining soil organic carbon storage in grasslands of northern Spain</i>	2022	Jebari et al.	España	10.1007/s10113-022-01927-x	---	---	---	---	---
<i>Overview on GHG emissions of raw milk production and a comparison of milk and cheese carbon footprints of two different systems from northern Spain</i>	2019	Laca et al.	España	10.1007/s11356-019-06857-6	Bovino de leche	sistema de semi-confinamiento, sistema de pastoreo	2 granjas, 1 fábrica de leche	Huella de carbono	1 kg leche FPCM, 1 kg queso

<i>Energy Assessment of Pastoral Dairy Goat Husbandry from an Agroecological Economics Perspective. A Case Study in Andalusia (Spain)</i>	2018	Pérez et al.	España	10.3390/su10082838	Caprino de leche	No se menciona	3 granjas	Indicadores de energía	unidad estándar de ganado, 1 L leche
<i>Sustainable Development in the Agri-Food Sector in Terms of the Carbon Footprint: A Review</i>	2020	Karwacka et al.	Polonia	10.3390/su12166463	---	---	---	---	---
<i>Natural Carbon Sinks Linked to Pastoral Activity in S Spain: A Territorial Evaluation Methodology for Mediterranean Goat Grazing Systems</i>	2021	Muñoz Vallés et al.	España	https://doi.org/10.3390/su13116085	---	---	---	---	---
<i>¿Es posible identificar sistemas lecheros intensificados más amigables con el medio ambiente? Evaluación de la huella de carbono</i>	2020	Larripa et al.	Brasil	https://www.researchgate.net/publication/339725690_ES_POSIBLE_IDENTIFICAR_SISTEMAS_LECHEROS_INTENSIFICADOS_MAS_AMIGABLES_CON_EL_MEDIO_AMBIENTE_EVALUACION_DE_LA_HUELLA_DE_CARBONO	---	---	---	---	---
<i>La huella de carbono en explotaciones de ovino de leche de Castilla y León en función de indicadores ambientales</i>	2016	Alonso et al.	España	---	Ovino de leche	convencional y ecológico semi-extensivo	dos granjas	huella carbono y costes energéticos directos e indirectos	oveja
<i>Un procedimiento simple para estimar la producción de metano y dióxido de carbono del ganado vacuno en pastoreo</i>	2018	J. R. Stuart	Cuba	https://www.researchgate.net/profile/John-Stuart/publication/325793647_Un_procedimiento_simple_para_estimar_la_produccion_de_metano_y_di_oxido_de_carbono_del_ganado_vacuno_en_pastoreo/links/5b240577aca272277fb273f1/Un-procedimiento-simple-para-estimar-la-produccion-de-	---	---	---	---	---

				metano-y-dioxido-de-carbono-del-ganado-vacuno-en-pastoreo.pdf					
<i>La huella de carbono en los forrajes de cantabria</i>		G. Salcedo	España	https://www.researchgate.net/publication/301765136_La_huella_de_carbono_en_los_forrajes_de_Cantabria_Espana	Vacuno de leche	Atendiendo a su sistema de producción forrajera: pradera, pradera-maíz y pradera-maíz-cultivos de invierno	60 explotaciones	Emisiones CO2	kg materia seca

8. ANEXO II. Cálculos

En este anexo se especifican todos los cálculos realizados a lo largo del trabajo, tanto en la metodología, para el cálculo de los promedios de la huella de carbono por unidad funcional, como en el planteamiento de los escenarios.

8.1. Huella de carbono por unidad funcional

A continuación, se especifica para cada categoría, los valores que se han utilizado para el cálculo de la media de la huella de carbono y el resultado de ésta.

8.1.1. Vacuno lechero

Del artículo *Huella de carbono en las explotaciones lecheras asturianas* (Salcedo et al., 2019), a partir de *Tabla 2. Emisiones parciales de gases de efecto invernadero por tipología de alimentación en explotaciones lecheras asturianas* y a partir de *Tabla 3. Huella de carbono por hectárea, UGM y litro de leche según el tipo de alimentación*, se han obtenido los siguientes datos:

Tabla 12. Datos obtenidos del artículo *Huella de carbono en las explotaciones lecheras asturianas* (Salcedo et al., 2019)

	Eco	Pe-Pa	EHba	EMz	EHba-EMz
CH₄					
Entérico (kg·ha ⁻¹)	167,00	413,00	215,00	441,00	487,00
Estiércol (kg·ha ⁻¹)	42,00	112,00	54,00	125,00	128,00
CH ₄ total (g·L ⁻¹ ECM)	26,40	26,00	26,00	22,50	22,70
% CH ₄ sobre total en CO _{2-eq}	57,80	60,30	54,40	52,90	55,20
CO₂					
Gasóleo (kg·ha ⁻¹)	409,00	909,00	509,00	931,00	1123,00
Electricidad (kg·ha ⁻¹)	322,00	754,00	380,00	931,00	979,00
Fertilizantes (kg·ha ⁻¹)	0,00	5,00	89,00	1074,00	516,00
Alimentos (kg·ha ⁻¹)	942,00	2736,00	1624,00	3699,00	3978,00
Plásticos (kg·ha ⁻¹)	0,14	5,00	3,00	4,00	6,00
Semillas (kg·ha ⁻¹)	0,00	1,00	3,00	15,00	7,00
Actividades agrícolas (kg·ha ⁻¹)	289,00	154,00	181,00	511,00	377,00
Aplicación purín (kg·ha ⁻¹)	22,00	76,00	37,00	85,00	87,00
Compra novillas (kg·ha ⁻¹)	0,00	2,40	0,00	4,60	1,00
CO ₂ total (kg·L ⁻¹ ECM)	0,25	0,23	0,27	0,28	0,26
% CO ₂ sobre total en CO _{2-eq}	26,30	24,80	27,30	31,50	30,40
NO₂					
Excretado en establo (kg·ha ⁻¹)	0,63	1,52	1,10	1,90	2,60
Aplicación de fertilizantes (kg·ha ⁻¹)	0,00	0,00	0,13	1,92	0,60
Volatilización (kg·ha ⁻¹)	0,00	0,04	0,03	0,06	0,08
Lixiviados (kg·ha ⁻¹)	0,12	0,65	0,65	0,68	0,58
Aporte purín (kg·ha ⁻¹)	0,34	0,79	0,58	1,00	1,40
Fijación biológica (kg·ha ⁻¹)	0,12	0,04	0,02	-0,12	-0,02
Rumen (kg·ha ⁻¹)	0,00	0,02	0,01	0,02	0,03
Gasóleo (kg·ha ⁻¹)	1,16	0,20	0,11	0,21	0,26
Compra fertilizantes nitrogenados (kg·ha ⁻¹)	0,00	0,003	0,07	0,96	0,30
Alimentos (kg·ha ⁻¹)	0,84	2,68	1,79	3,23	3,24
Mineralización y restos vegetales	0,72	1,40	1,38	1,70	1,63
NO ₂ total (g·L ⁻¹ ECM)	0,49	0,44	0,58	0,46	0,40
% NO ₂ sobre total en CO _{2-eq}	15,80	14,80	18,20	15,50	14,40
CO_{2-eq} (kg·L⁻¹ ECM)	0,96	0,92	1	0,9	0,86

Del artículo *Emisiones y huella de carbono en las explotaciones lecheras de Galicia* (Salcedo et al., 2020) a partir de la *Tabla 2. Emisiones parciales de gases de efecto invernadero por tipología de alimentación en explotaciones lecheras gallegas* y a partir de la *Tabla 3. Huella de carbono por hectárea, UGM y litro de leche según el tipo de alimentación* se han obtenido los siguientes datos:

Tabla 13. Datos obtenidos del artículo *Emisiones y huella de carbono en las explotaciones lecheras de Galicia* (Salcedo et al., 2020)

	Eco	Con	EHba	EMz	EHba-EMz
CH₄					
Entérico (kg·ha ⁻¹)	131,00	192,00	319,00	441,00	399,00
Estiércol (kg·ha ⁻¹)	38,00	51,00	86,00	124,00	107,00
CH ₄ total (g·L ⁻¹ ECM)	34,30	29,80	23,10	20,70	24,00
% CH ₄ sobre total en CO ₂ -eq	56,60	49,70	50,30	50,40	54,40
CO₂					
Gasóleo (kg·ha ⁻¹)	418,00	554,00	712,00	925,00	941,00
Electricidad (kg·ha ⁻¹)	148,00	287,00	634,00	1095,00	907,00
Fertilizantes (kg·ha ⁻¹)	303,00	722,00	906,00	605,00	511,00
Alimentos (kg·ha ⁻¹)	587,00	1431,00	3155,00	4601,00	2881,00
Plásticos (kg·ha ⁻¹)	0,11	0,13	1,40	2,70	2,90
Semillas (kg·ha ⁻¹)	0,00	0,00	3,00	15,00	8,00
Actividades agrícolas (kg·ha ⁻¹)	68,00	119,00	97,00	612,00	377,00
Aplicación purín (kg·ha ⁻¹)	20,00	24,00	58,00	85,00	73,00
Compra novillas (kg·ha ⁻¹)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CO ₂ total (kg·L ⁻¹ ECM)	0,29	0,38	0,31	0,29	0,27
% CO ₂ sobre total en CO ₂ -eq	23,60	30,50	31,40	34,10	29,06
NO₂					
Excretado en establo (kg·ha ⁻¹)	0,32	0,50	1,51	2,12	2,14
Aplicación de fertilizantes (kg·ha ⁻¹)	0,54	1,29	1,59	1,07	0,92
Volatilización (kg·ha ⁻¹)	0,00	0,00	0,04	0,06	0,06
Lixiviados (kg·ha ⁻¹)	0,31	0,38	0,84	0,71	0,89
Aporte purín (kg·ha ⁻¹)	0,17	0,27	0,79	1,11	1,13
Fijación biológica (kg·ha ⁻¹)	0,10	0,13	0,25	-0,01	-0,01
Rumen (kg·ha ⁻¹)	0,00	0,01	0,02	0,03	0,02
Gasóleo (kg·ha ⁻¹)	1,20	1,50	0,16	0,21	0,21
Compra fertilizantes nitrogenados (kg·ha ⁻¹)	0,24	0,66	0,79	0,53	0,46
Alimentos (kg·ha ⁻¹)	0,44	0,96	2,21	4,36	2,92
Mineralización y restos vegetales	0,74	0,72	1,37	1,56	1,51
NO ₂ total (g·L ⁻¹ ECM)	0,80	0,77	0,55	0,43	0,49
% NO ₂ sobre total en CO ₂ -eq	19,70	19,80	18,10	15,50	16,50
CO₂-eq (kg·L⁻¹ ECM)	1,26	1,22	0,97	0,85	0,92

Hay que tener en cuenta que, como se ha explicado en el apartado Metodología, en la *Tabla 3. Huella de carbono por hectárea, UGM y litro de leche según el tipo de alimentación* de los dos artículos sólo se han tenido en cuenta los datos sobre emisiones parciales, sin considerar el secuestro de carbono ni las emisiones debidas al uso indirecto del suelo de los alimentos comprados ni las atribuidas a la compra de soja.

Calculando el promedio de los datos mostrados en las *Tablas 12 y 13* se llega a los datos de la *Tabla 1* en el apartado *Metodología*.

8.1.2. Ovino lechero

Del artículo *Dairy sheep farms in semi-arid rangelands: A carbon footprint dilemma between intensification and land-based grazing* (Escribano et al., 2020), a partir de *Table 5 CF per FU in the systems under analysis* se han obtenido los siguientes datos:

Tabla 14. Datos obtenidos del artículo *Dairy sheep farms in semi-arid rangelands: A carbon footprint dilemma between intensification and land-based grazing* (Escribano et al., 2020)

	Semi-intensivo	Semi-extensivo	Extensivo
CH₄ (kg CO₂-eq·L⁻¹ ECM)			
Fermentación entérica	0,80	0,84	2,14
Gestión del estiércol	0,02	0,02	0,06
CO₂ (kg CO₂-eq·L⁻¹ ECM)			
Alimentación	1,02	0,86	1,33
Energía	0,14	0,07	0,19
Fertilizantes minerales	0,00	0,00	0,00
Otros inputs	0,00	0,00	0,00
NO₂ (kg CO₂-eq·L⁻¹ ECM)			
Gestión del estiércol	0,02	0,04	0,08
Gestión del suelo	0,11	0,12	0,30

La columna semi-extensivo está constituida por el promedio de las columnas *Large semi-extensive dairy sheep farms* y *Medium-size semi-extensive dairy sheep farms* de *Table 5 CF per FU in the systems under analysis*.

Del artículo *Carbon footprint of milk from sheep farming systems in Northern Spain including soil carbon sequestration in grasslands* (Batalla et al., 2015), a partir de *Table 6. Contribution to carbon footprint from different sources, presented both as kg CO₂/kg FPCM and as % of total carbon footprint in brackets* se han obtenido los siguientes datos:

Tabla 15. Datos obtenidos del artículo *Carbon footprint of milk from sheep farming systems in Northern Spain including soil carbon sequestration in grasslands* (Batalla et al., 2015)

	Semi-intensivo	Semi-extensivo
CH₄ (kg CO₂-eq·L⁻¹ ECM)		
Fermentación entérica	0,92	1,49
Gestión del estiércol	0,03	0,04
CO₂ (kg CO₂-eq·L⁻¹ ECM)		
Alimentación	1,04	0,97
Energía	0,17	0,39
Fertilizantes minerales	0,09	0,16
Otros inputs	0,02	0,003
NO₂ (kg CO₂-eq·L⁻¹ ECM)		
Gestión del estiércol	0,14	0,19
Gestión del suelo	0,25	0,50

Los datos de semi-intensivo se han obtenido como la media de las 6 granjas semi-intensivas (*SIF.1, SIF.2, SIF.3, SIL.4, SIL.5, SIL.6*) y los datos de semi-extensivo como la media de las 6 granjas semi-extensivas (*SEL.7, SEL.8, SEL.9, SEL.10, SEL.11, SEL.12*) estudiadas en el artículo.

Del artículo *Can extensification compensate livestock greenhouse gas emissions? A study of the carbon footprint in Spanish agroforestry systems* (Eldesouky et al., 2018), a partir de la table *Table 4 Carbon Footprint per functional unit in the systems under analysis* se han obtenido los siguientes datos, tomando “*Grazing dairy sheep farm*” como un sistema extensivo:

Tabla 16. Datos obtenidos del artículo *Can extensification compensate livestock greenhouse gas emissions? A study of the carbon footprint in Spanish agroforestry systems* (Eldesouky et al., 2018)

	Extensivo
CH₄ (kg CO₂-eq·L⁻¹ ECM)	
Fermentación entérica	0,80
Gestión del estiércol	0,02
CO₂ (kg CO₂-eq·L⁻¹ ECM)	
Alimentación	0,81
Energía	0,04
Fertilizantes minerales	0,00
Otros inputs	0,00
NO₂ (kg CO₂-eq·L⁻¹ ECM)	
Gestión del estiércol	0,03
Gestión del suelo	0,11

Del artículo *Efectos del manejo sobre la huella de carbono en explotaciones de ovino lechero* (Mandaluniz et al., 2015), mediante la *Figura 1* se han obtenido los siguientes datos:

Tabla 17. Datos obtenidos del artículo *Efectos del manejo sobre la huella de carbono en explotaciones de ovino lechero* (Mandaluniz et al., 2015)

	Intensivo	Ecológico
CH₄ (kg CO₂-eq·L⁻¹ ECM)		
Fermentación entérica	1,34	1,70
Gestión del estiércol	0,07	0,08
CO₂ (kg CO₂-eq·L⁻¹ ECM)		
Alimentación	0,31	0,57
Energía	0,31	0,36
Fertilizantes minerales	0,00	0,00
Otros inputs	0,00	0,00
NO₂ (kg CO₂-eq·L⁻¹ ECM)		
Gestión del estiércol	0,09	0,32
Gestión del suelo	0,34	0,65

La *Tabla 2* del apartado *Metodología* muestra el sumario de los datos, con los valores promedio calculados en los sistemas de los que se tenía información proveniente de más de un artículo. Además, en la *Tabla 2* también se ha calculado la huella de carbono total de cada sistema por UF, junto con el porcentaje de contribución de cada gas.

8.1.3. *Caprino lechero*

Del artículo *Influence of precision livestock farming on the environmental performance* (Pardo et al., 2022), a partir de la *Tabla Table 4 Environmental impact of goat milk of the analyzed farms (1 kg of fat and protein corrected milk)* se han obtenido los datos sacados de la columna de la media para las 5 granjas para el año 2018 (año más cercano a 2021, el año de consumo estudiado). A partir de la figura *Fig. 5. Carbon footprint of 1 kg of fat and protein corrected milk (FPCM) for different dairy goat farms in the analyzed period. Last two columns show average of all farms in the selected year. Bars show standard deviation. (LUC: Land use change)* se ha estimado el porcentaje de contribución de cada gas a la huella:

Tabla 18. Datos obtenidos del artículo *Influence of precision livestock farming on the environmental performance* (Pardo et al., 2022)

	Intensivo
% CH ₄ sobre total	29,41
% CO ₂ sobre total	67,32
% NO ₂ sobre total	3,27

Del artículo *Organic Farming as a Strategy to Reduce Carbon Footprint in Dehesa Agroecosystems: A Case Study Comparing Different Livestock Products* (Boza Martínez, 2010), de la tabla *Table 4. Carbon footprint per functional unit* se han obtenido los siguientes datos:

Tabla 19. *Organic Farming as a Strategy to Reduce Carbon Footprint in Dehesa Agroecosystems: A Case Study Comparing Different Livestock Products* (Boza Martínez, 2010)

	Ecológico
CH₄ (kg CO_{2-eq}·L⁻¹ ECM)	
Fermentación entérica	0,51
Gestión del estiércol	0,02
CO₂ (kg CO_{2-eq}·L⁻¹ ECM)	
Alimentación	0,25
Energía	0,11
NO₂ (kg CO_{2-eq}·L⁻¹ ECM)	
Gestión del estiércol	0,09
Gestión del suelo	0,21

La *Tabla 3* del apartado *Metodología* muestra el sumario de los datos. Además, también se ha calculado la huella de carbono total de cada sistema por UF, junto con el porcentaje de contribución de cada gas.

8.1.4. Vacuno de carne

Del artículo *Can extensification compensate livestock greenhouse gas emissions? A study of the carbon footprint in Spanish agroforestry systems* (Eldesouky et al., 2018), de *Table 4 Carbon Footprint per functional unit in the systems under analysis*, se han obtenido los siguientes datos:

Tabla 20. Datos obtenidos del artículo *Can extensification compensate livestock greenhouse gas emissions? A study of the carbon footprint in Spanish agroforestry systems* (Eldesouky et al., 2018)

	Extensivo
CH₄ (kg CO₂-eq·L⁻¹ ECM)	
Fermentación entérica	8,69
Gestión del estiércol	0,41
CO₂ (kg CO₂-eq·L⁻¹ ECM)	
Alimentación	4,42
Energía	0,39
Fertilizantes minerales	0,00
Otros inputs	0,00
NO₂ (kg CO₂-eq·L⁻¹ ECM)	
Gestión del estiércol	0,29
Gestión del suelo	3,55

Del artículo *Organic Farming as a Strategy to Reduce Carbon Footprint in Dehesa Agroecosystems: A Case Study Comparing Different Livestock Products* (Boza Martínez, 2010), de *Table 4. Carbon footprint per functional unit* se han obtenido los siguientes datos:

Tabla 21. Datos obtenidos del artículo *Organic Farming as a Strategy to Reduce Carbon Footprint in Dehesa Agroecosystems: A Case Study Comparing Different Livestock Products* (Boza Martínez, 2010)

	Ecológico
CH₄ (kg CO₂-eq·L⁻¹ ECM)	
Fermentación entérica	7,30
Gestión del estiércol	0,99
CO₂ (kg CO₂-eq·L⁻¹ ECM)	
Alimentación	0,17
Energía	0,82
Fertilizantes minerales	0,00
Otros inputs	0,00
NO₂ (kg CO₂-eq·L⁻¹ ECM)	
Gestión del estiércol	0,13
Gestión del suelo	3,95

La *Tabla 4* del apartado *Metodología* muestra el sumario de los datos. Además, también se ha calculado la huella de carbono total de cada sistema por UF, junto con el porcentaje de contribución de cada gas.

8.1.5. Ovino de carne

Del artículo *Accounting for multi-functionality of sheep farming in the carbon footprint of lamb: A comparison of three contrasting Mediterranean systems* (Ripoll-Bosch et al., 2013), de la tabla *Table 5 GHGs emissions (CO₂-eq/kg) with or without ES allocation for lamb live weight or lamb meat and contribution (%) of CO₂, CH₄ and N₂O to total GHGs* se han obtenido los siguientes datos:

Tabla 22. Datos obtenidos del artículo *Accounting for multi-functionality of sheep farming in the carbon footprint of lamb: A comparison of three contrasting Mediterranean systems* (Ripoll-Bosch et al., 2013)

	Intensivo
CH₄ (kg CO₂-eq·L⁻¹ ECM)	
Fermentación entérica	---
Gestión del estiércol	---
% CH ₄ sobre total	59,40
CO₂ (kg CO₂-eq·L⁻¹ ECM)	
Alimentación	---
Energía	---
Fertilizantes minerales	---
Otros inputs	---
% CO ₂ sobre total	29,10
NO₂ (kg CO₂-eq·L⁻¹ ECM)	
Gestión del estiércol	---
Gestión del suelo	---
% NO ₂ sobre total	11,50
CO₂-eq (kg·kg⁻¹ en peso vivo)	19,50

Del artículo *Can extensification compensate livestock greenhouse gas emissions? A study of the carbon footprint in Spanish agroforestry systems* (Eldesouky et al., 2018), de *Table 4 Carbon Footprint per functional unit in the systems under analysis* se han obtenido los siguientes datos:

Tabla 22. Datos obtenidos del artículo *Can extensification compensate livestock greenhouse gas emissions? A study of the carbon footprint in Spanish agroforestry systems* (Eldesouky et al., 2018)

	Extensivo
CH₄ (kg CO₂-eq·L⁻¹ ECM)	
Fermentación entérica	9,01
Gestión del estiércol	0,25
CO₂ (kg CO₂-eq·L⁻¹ ECM)	
Alimentación	2,98
Energía	0,11
Fertilizantes minerales	0,00
Otros inputs	0,00
NO₂ (kg CO₂-eq·L⁻¹ ECM)	
Gestión del estiércol	0,37
Gestión del suelo	1,32

Del artículo *Organic Farming as a Strategy to Reduce Carbon Footprint in Dehesa Agroecosystems: A Case Study Comparing Different Livestock Products* (Horrillo et al., 2020), a partir de *Table 4. Carbon footprint per functional unit* se han obtenido los siguientes datos:

Tabla 23. Datos obtenidos del artículo *Organic Farming as a Strategy to Reduce Carbon Footprint in Dehesa Agroecosystems: A Case Study Comparing Different Livestock Products* (Horrillo et al., 2020)

	Ecológico
CH₄ (kg CO₂-eq·L⁻¹ ECM)	
Fermentación entérica	9,76
Gestión del estiércol	0,36
CO₂ (kg CO₂-eq·L⁻¹ ECM)	
Alimentación	0,22
Energía	0,30
Fertilizantes minerales	0,00
Otros inputs	0,00
NO₂ (kg CO₂-eq·L⁻¹ ECM)	
Gestión del estiércol	0,37
Gestión del suelo	1,43

La *Tabla 5* del apartado *Metodología* muestra el sumario de los datos. Además, también se ha calculado la huella de carbono total de cada sistema por UF, junto con el porcentaje de contribución de cada gas.

8.2. Escenarios de transición

A continuación, se especifican los cálculos llevados a cabo para el planteamiento de cada escenario de transición.

8.2.1. Consumo de alimentos

Se han utilizado los datos de consumo del año 2021, obtenidos del Informe Anual de la Alimentación:

- Leche de origen convencional
 - Del apartado 4.14.1. *Leche líquida (consumo doméstico)*: consumo per cápita: 70,43 L al año. Leche de cabra 0,3% y leche de vaca 99,7%
 - El consumo extradoméstico se considera insignificante
 - El consumo de leche oveja se considera insignificante
- Carne de origen convencional:
 - Del apartado 4.7. *Carnes (consumo doméstico)*, en el subapartado 4.7.1. *Carnes frescas*: total de 31,98 kg de carne fresca por cápita al año, vacuno 14,8%, ovino/caprino 3,5%. Para el cálculo de los escenarios se ha considerado que el total de ese porcentaje pertenece a carne de ovino.
 - Del apartado 6.5. *Total carne (consumo extradoméstico)*, subapartado 6.5.1. *Carne fresca*: 3,76 kg por cápita, ovino 4,2%, vacuno 33,9%
- Alimentos de origen ecológico:
 - Del apartado 7.22. Alimentos ecológicos (consumo doméstico): 14,96 kg per cápita en total, 13,2% carne y 2,9% leche líquida. No se detallan los tipos de carne ni de leche, por lo que se va a hacer la aproximación de que el porcentaje de cada tipo de leche y carne es el mismo en convencional y ecológico doméstico.

Como se ve, el consumo de leche de oveja se considera insignificante, no se tienen datos sobre él. Esto se debe a que la leche de oveja, en general, va destinada a la fabricación de queso. El consumo de queso de oveja se puede obtener en el apartado 4.14.2. *Derivados lácteos (consumo doméstico)*: consumo total de derivados lácteos de 35,20 kg per cápita, siendo el queso el 23,5%, y dentro del queso el de oveja el 4,1%.

No se pueden calcular las emisiones del consumo de queso, porque la unidad funcional utilizada para el cálculo de la huella de carbono es 1 kg de leche ECM. Por tanto, para poder plantear los escenarios y ver la evolución de las emisiones, lo que se va a plantear es la huella de carbono de la leche necesaria para el queso de oveja consumido. Para ello, se estima que se necesitan 6 L de leche de oveja para un kg de queso de oveja.

El siguiente problema a la hora de realizar este planteamiento es que, entre los alimentos ecológicos, el informe sólo tiene en cuenta la leche líquida; los derivados lácteos se consideran insignificantes. Por tanto, se realiza otra estimación, el porcentaje de consumo de queso de oveja respecto a los derivados lácteos en ecológico es el mismo que el convencional, y mediante una regla de tres se obtiene el consumo de queso de oveja ecológico.

Estos cálculos dan lugar a los datos mostrados en la *Tabla 8* del apartado *Metodología*.

8.2.2. Comparativa entre sistemas

A continuación, las siguientes tablas muestran la recopilación de datos obtenidos en distintos artículos, con estas tablas se han elaborado las figuras mostradas en el apartado *Comparativa entre sistemas* de los *Resultados*.

Tabla 24. Huella de carbono por componentes de los distintos sistemas de vacuno lechero

	Eco	Con	Pe-Pa	EHba	EMz	EHba-EMz
CH ₄	0,63	0,61	0,55	0,52	0,45	0,49
CO ₂	0,28	0,37	0,23	0,29	0,29	0,26
NO ₂	0,20	0,24	0,14	0,18	0,14	0,14
CO₂-eq (kg·L⁻¹ ECM)	1,11	1,22	0,92	0,985	0,875	0,89

Tabla 25. Huella de carbono por componentes de los distintos sistemas de ovino lechero

	Intensivo	Semi-intensivo	Semi-extensivo	Extensivo	Ecológico
CH ₄	1,41	0,88	1,19	2,57	1,78
CO ₂	0,62	1,24	1,12	1,19	0,93
NO ₂	0,43	0,26	0,42	0,36	0,97
CO₂-eq (kg·L⁻¹ ECM)	2,46	2,38	2,73	4,11	3,68

Tabla 26. Huella de carbono por componentes de los distintos sistemas de caprino lechero

	Intensivo	Ecológico
CH ₄	0,45	0,53
CO ₂	1,03	0,36
NO ₂	0,39	0,31
CO₂-eq (kg·L⁻¹ ECM)	1,53	1,19

Tabla 27. Huella de carbono por componentes de los distintos sistemas de bovino de carne

	Extensivo	Ecológico
CH ₄	18,20	16,56
CO ₂	9,62	1,98
NO ₂	7,68	8,16
CO₂-eq (kg·kg⁻¹ carne)	35,50	26,70

Tabla 28. Huella de carbono por componentes de los distintos sistemas de ovino de carne

	Intensivo	Extensivo	Ecológico
CH ₄	23,17	18,52	20,22
CO ₂	11,35	6,18	1,02
NO ₂	4,49	3,38	3,59
CO₂-eq (kg·kg⁻¹ carne)	39,00	28,08	24,83

8.2.3. Escenario base

Para llegar a la huella de carbono per cápita del consumo del escenario base, es necesario multiplicar la huella de carbono por unidad funcional de los sistemas de producción convencional y ecológico por el consumo per cápita de alimentos, datos obtenidos en apartados anteriores:

Tabla 29. Huella de carbono por UF de los sistemas convencional y ecológico

	Huella de carbono por unidad funcional (CO ₂ eq/kg)	
	Convencional	Ecológico
Leche vaca	1,22	1,11
Leche oveja	2,46	3,68
Leche cabra	1,53	1,19
Carne vacuno	31,00	26,70
Carne ovino	39,00	24,83

Tabla 8: Consumo per cápita de alimentos de origen convencional y ecológico en 2021

	Consumo per cápita (kg/persona)	
	Convencional	Ecológico
Leche vaca	70,22	0,43
Leche oveja	2,03	0,43
Leche cabra	0,21	0,001
Carne vacuno	6,01	0,29
Carne ovino	1,28	0,08

Multiplicando los valores de la *Tabla 29* con los de la *Tabla 8* se llega a los resultados de la *Tabla 9* del apartado *Metodología*.

8.2.4. Escenario transición ecológico convencional

Para este escenario, en primer lugar, se ha realizado el cálculo de cuáles serían los valores de consumo per cápita si un porcentaje del consumo convencional actual pasara a ser ecológico. Se ha calculado para los porcentajes 10, 20, 50, 100:

Tabla 30. Consumo per cápita de los escenarios S₀, S₁₀, S₂₀, S₅₀ y S₁₀₀

		Consumo per cápita (kg)	
		Convencional	Ecológica
S ₀	Leche vaca	70,22	0,43
	Leche oveja	2,03	0,43
	Leche cabra	0,21	0,001
	Carne vacuno	6,01	0,29
	Carne ovino	1,28	0,08
S ₁₀	Leche vaca	63,20	7,45
	Leche oveja	1,83	0,64
	Leche cabra	0,19	0,02
	Carne vacuno	5,41	0,89
	Carne ovino	1,15	0,21
S ₂₀	Leche vaca	56,17	14,48
	Leche oveja	1,63	0,84
	Leche cabra	0,17	0,04
	Carne vacuno	4,81	1,49
	Carne ovino	1,02	0,34
S ₅₀	Leche vaca	35,11	35,54
	Leche oveja	1,02	1,45
	Leche cabra	0,11	0,11
	Carne vacuno	3,00	3,30
	Carne ovino	0,64	0,72
S ₁₀₀	Leche vaca	0,00	70,65
	Leche oveja	0,00	2,47
	Leche cabra	0,00	0,21
	Carne vacuno	0,00	6,30
	Carne ovino	0,00	1,36

Una vez teniendo esos consumos, se ha calculado la huella de carbono, de nuevo multiplicando el consumo per cápita por la huella de carbono por unidad funcional, dando lugar a los datos de la *Tabla 10*.

Posteriormente, con los datos recopilados en los artículos (*Tablas 24-28*), se ha calculado la contribución de cada gas a la huella de carbono per cápita:

Tabla 31. Huella de carbono por UF de los sistemas convencional y ecológico para los escenarios S₀,

		Huella de carbono (kg CO ₂ -eq)		
		Convencional	Ecológica	
S ₀	Leche vaca	85,67	0,48	
	CH4	42,58	0,27	
		CO2	26,13	0,120
		NO2	16,96	0,085
	Leche oveja	5,01	1,59	
	CH4	0,07	0,77	
		CO2	1,26	0,40
		NO2	0,49	0,42
	Leche cabra	0,32	0,002	
	CH4	0,01	0,001	
		CO2	0,22	0,0005
		NO2	0,08	0,0004
	Carne vacuno	213,27	7,80	
	CH4	109,34	4,84	
		CO2	57,79	0,58
NO2		46,14	2,24	
Carne ovino	49,81	2,06		
CH4	29,59	1,68		
	CO2	14,50	0,08	
	NO2	5,73	0,30	
S ₁₀	Leche vaca	77,10	8,27	
	CH4	38,32	4,73	
		CO2	23,52	2,06
		NO2	15,27	1,47
	Leche oveja	4,51	2,34	
	CH4	0,06	1,13	
		CO2	1,14	0,59
		NO2	0,44	0,62
	Leche cabra	0,29	0,03	
	CH4	0,01	0,01	
		CO2	0,20	0,01
		NO2	0,07	0,01
	Carne vacuno	191,95	23,84	
	CH4	98,41	14,79	
		CO2	52,01	1,77
NO2		41,53	6,86	
Carne ovino	44,83	5,23		
CH4	26,63	4,26		
	CO2	13,05	0,21	
	NO2	5,16	0,76	
S ₂₀	Leche vaca	68,53	16,07	
	CH4	34,06	9,19	
		CO2	20,90	4,01
		NO2	13,57	2,85
	Leche oveja	4,00	3,09	
	CH4	0,06	1,49	
		CO2	1,01	0,78
		NO2	0,39	0,81
	Leche cabra	0,26	0,05	
	CH4	0,01	0,02	
		CO2	0,17	0,016
		NO2	0,07	0,014
	Carne vacuno	170,62	39,89	
	CH4	87,47	24,74	
		CO2	46,24	2,96
NO2		36,91	11,47	
Carne ovino	39,85	8,40		
CH4	23,67	6,84		
	CO2	11,60	0,35	
	NO2	4,58	1,22	

S ₅₀	Leche vaca	42,83	39,45	
	CH4	21,29	22,57	
		CO2	13,06	9,84
		NO2	8,481	7,00
	Leche oveja	2,50	5,34	
	CH4	0,04	2,58	
		CO2	0,63	1,35
		NO2	0,25	1,41
	Leche cabra	0,16	0,13	
	CH4	0,004	0,06	
		CO2	0,11	0,04
		NO2	0,04	0,03
	Carne vacuno	106,64	88,01	
	CH4	54,67	54,58	
		CO2	28,90	6,53
NO2		23,07	25,31	
Carne ovino	24,91	17,92		
CH4	14,79	14,59		
	CO2	7,25	0,74	
	NO2	2,86	2,59	
S ₁₀₀	Leche vaca	0,00	78,42	
	CH4	0,00	44,86	
		CO2	0,00	19,57
		NO2	0,00	13,92
	Leche oveja	0,00	9,08	
	CH4	0,00	4,39	
		CO2	0,00	2,29
		NO2	0,00	2,39
	Leche cabra	0,00	0,25	
	CH4	0,00	0,11	
		CO2	0,00	0,08
		NO2	0,00	0,07
	Carne vacuno	0,00	168,21	
	CH4	0,00	104,33	
		CO2	0,00	12,47
NO2		0,00	48,38	
Carne ovino	0,00	33,78		
CH4	0,00	27,50		
	CO2	0,00	1,39	
	NO2	0,00	4,89	

Con esos valores, se ha calculado en cada escenario la suma de las emisiones de los distintos alimentos, es decir, la huella de carbono per cápita del consumo total de alimentos:

Tabla 32. Huella de carbono del consumo total de alimentos per cápita para los escenarios S₀, S₁₀, S₂₀,

S₅₀ y S₁₀₀

	Huella de carbono del consumo total per cápita				
	S ₀	S ₁₀	S ₂₀	S ₅₀	S ₁₀₀
CH ₄	189,14	188,35	187,55	185,17	181,19
CO ₂	101,08	94,55	88,03	68,44	35,80
NO ₂	72,45	72,17	71,89	71,05	69,65
CO₂-eq (kg·L⁻¹ ECM)	362,68	355,07	347,47	324,66	286,64

Con los datos de la Tabla 32 se ha elaborado la Figura 27.

8.2.5. Escenario con reducción de consumo

A continuación, se ha calculado el consumo de alimentos de origen animal si, partiendo del consumo inicial, ese consumo se redujese un 10, un 20 y un 30%. De nuevo, se siguen los mismos pasos que en escenario anterior para llegar a la huella de carbono per cápita del consumo total de alimentos.

Tabla 33. Consumo per cápita de los escenarios Sr10, Sr20 y Sr30

		Consumo per cápita (kg)	
		Convencional	Ecológica
Sr₁₀	Leche vaca	63,20	0,43
	Leche oveja	1,83	0,43
	Leche cabra	0,19	0,001
	Carne vacuno	5,41	0,29
	Carne ovino	1,15	0,08
Sr₂₀	Leche vaca	56,17	0,43
	Leche oveja	1,63	0,43
	Leche cabra	0,17	0,001
	Carne vacuno	4,81	0,29
	Carne ovino	1,02	0,08
Sr₃₀	Leche vaca	49,15	0,43
	Leche oveja	1,42	0,43
	Leche cabra	0,15	0,001
	Carne vacuno	4,21	0,29
	Carne ovino	0,89	0,08

Una vez teniendo esos consumos, se ha calculado la huella de carbono, de nuevo multiplicando el consumo per cápita por la huella de carbono por unidad funcional, dando lugar a los datos de la *Tabla 11*.

Posteriormente, con los datos recopilados en los artículos (*Tablas 24-28*), se ha calculado la contribución de cada gas a la huella de carbono per cápita:

Tabla 34. Huella de carbono por UF de los sistemas convencional y ecológico para los escenarios Sr10, Sr20 y Sr30

		Huella de carbono (kg CO ₂ -eq)		
		Convencional	Ecológica	
Sr ₁₀	Leche vaca	77,10	0,48	
	CH4	38,32	0,27	
		CO2	23,52	0,12
		NO2	15,27	0,09
	Leche oveja	4,51	1,59	
	CH4	0,06	0,77	
		% CO2	1,14	0,40
		% NO2	0,79	0,42
	Leche cabra	0,29	0,002	
	% CH4	0,09	0,00	
		% CO2	0,20	0,00
		% NO2	0,07	0,00
	Carne vacuno	191,95	7,80	
	% CH4	98,41	4,84	
		% CO2	52,01	0,58
		% NO2	41,53	2,24
Carne ovino	44,83	2,060		
% CH4	26,63	1,68		
	% CO2	13,05	0,08	
	% NO2	5,16	0,30	
Sr ₂₀	Leche vaca	68,53	0,48	
	% CH4	34,06	0,27	
		% CO2	20,90	0,12
		% NO2	13,57	0,09
	Leche oveja	4,00	0,43	
	% CH4	0,06	0,77	
		% CO2	1,01	0,40
		% NO2	0,70	0,42
	Leche cabra	0,26	0,002	
	% CH4	0,08	0,00	
		% CO2	0,17	0,00
		% NO2	0,07	0,00
	Carne vacuno	170,62	7,80	
	% CH4	87,47	4,84	
		% CO2	46,24	0,58
		% NO2	36,91	2,24
Carne ovino	39,85	2,060		
% CH4	23,67	1,68		
	% CO2	11,60	0,08	
	% NO2	4,58	0,30	
Sr ₃₀	Leche vaca	59,97	0,48	
	% CH4	29,80	0,27	
		% CO2	18,29	0,12
		% NO2	11,87	0,09
	Leche oveja	3,50	1,59	
	% CH4	0,05	0,77	
		% CO2	0,88	0,40
		% NO2	0,61	0,42
	Leche cabra	0,23	0,00	
	% CH4	0,07	0,00	
		% CO2	0,15	0,00
		% NO2	0,06	0,00
	Carne vacuno	149,29	7,80	
	% CH4	76,54	4,84	
		% CO2	40,46	0,58
		% NO2	32,30	2,24
Carne ovino	34,87	2,06		
% CH4	20,71	1,68		
	% CO2	10,15	0,08	
	% NO2	4,01	0,30	

Con esos valores, se ha calculado en cada escenario la suma de las emisiones de los distintos alimentos, es decir, la huella de carbono per cápita del consumo total de alimentos:

Tabla 35. Huella de carbono del consumo total de alimentos per cápita para los escenarios S_0 , S_{10} , S_{20} , S_{50} y S_{100}

	S_{10}	S_{20}	S_{30}
CH ₄	171,06	152,90	134,73
CO ₂	91,09	81,10	71,11
NO ₂	65,86	58,88	51,90
CO₂-eq (kg·L⁻¹ ECM)	328,01	292,88	257,74

Con los datos de la Tabla 35 se ha elaborado la Figura 28.