

UNIVERSIDAD DE OVIEDO

**MASTER UNIVERSITARIO EN BIOTECNOLOGÍA
ALIMENTARIA**

**“Análisis de Ciclo de Vida y Huella de
Carbono de una queso tradicional
asturiana”**

**TRABAJO FIN DE MASTER
POR**

FERNANDO CANELLADA BARBÓN

JUNIO, 2017





PROFESORAS TUTORAS:

Dra. D^a .Adriana Laca Pérez (Universidad de Oviedo)

Dra. D^a .Amanda Laca Pérez (Universidad de Oviedo)

CERTIFICAN:

Que D. **Fernando Canellada Barbón** ha realizado bajo nuestra dirección el Trabajo Fin de Master al que corresponde la presente memoria en el contexto de los estudios del Master Universitario en Biotecnología Alimentaria, 11^a promoción curso 2016-2017.

Oviedo, 12 de Junio de 2017

D^a. Adriana Laca

D^a. Amanda Laca

V^oB^o

Manuel Rendueles de la Vega

Coordinador del Master en Biotecnología Alimentaria

Agradecimientos

Quiero agradecer su ayuda en el desarrollo de este Trabajo Fin de Máster a mis tutoras, Adriana y Amanda Laca, pues sin sus explicaciones y consejos este trabajo no habría visto la luz. También agradecer especialmente a Alberto, por su plena disposición y proporcionarme todos los datos del inventario de manera tan rápida, y espero que este trabajo también le pueda ser de utilidad. Y, por supuesto, dar las gracias a mis amigos y familia, por estar siempre ahí.

Resumen

La contaminación y los impactos ambientales que presentan las diferentes actividades humanas sobre el medio ambiente es uno de los principales temas de conflicto de la sociedad actual. El empleo de métodos de análisis medioambiental como el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) y la Huella de Carbono permiten determinar cuantitativamente los diferentes impactos ambientales debidos a las actividades industriales, en este caso, en el sector alimentario, y en base a estos resultados, poder tomar decisiones para mejorar los procesos productivos de forma que sean más sostenibles.

En este trabajo se realizó un ACV y un estudio de Huella de Carbono de una quesería tradicional asturiana, empleando para ello el software SimaPRO. Para ello se realizó un inventario en el que se consideraron todos los consumos de materias primas, recursos energéticos, productos de limpieza, medios de transporte así como las emisiones generadas por la actividad y los productos y subproductos generados. El análisis de todo este inventario mostró que la producción de la leche empleada para la elaboración de los quesos es la principal causa de los impactos ambientales derivados de la actividad quesera. Asimismo, se obtuvo una Huella de Carbono de 10,2 kg de CO₂ por kg de queso, que resultó comparable a la obtenida para otros quesos comerciales. Finalmente, a partir de estos resultados se pudo indicar algunas propuestas de mejora de la quesería de carácter medioambiental.

Abstract

Pollution and environmental impacts that present the different human activities on the environment is one of the principal topics of dispute of the current society. The employment of environmental analysis tools such as Life Cycle Analysis (LCA) and Carbon Footprint allow us to determinate quantitatively the different environmental impacts due to the industrial activities, in this case, in the food sector, and to the point of these results, we can be able to take decisions to improve the productive processes and make them more sustainable.

In this work there was realized a study of LCA and Carbon Footprint of a traditional Asturian cheese factory, using for it the software SimaPRO. For it, an inventory was carried out that included all the consumptions of raw materials, energetic resources, cleaning products, transport as well as the emissions generated by the activity and the generated products and by-products. The analysis of this entire inventory showed that the production of the milk used for the chesses production is the principal reason of the environmental impacts derived from cheese activity. Likewise, a Carbon Footprint of 10,2 kg of CO₂ per kg of cheese has been obtained, which is comparable to values obtained for other commercial cheeses. Finally, from these results it was possible to indicate some ways of environmental improvement for the cheese factory.

Lista de figuras

Figura 1-1: Reparto de consumo de leche y productos lácteos a nivel global (FAO, 2016).....	2
Figura 1-2: Normas ISO aplicables internacionalmente sobre ACV y ejemplos de aplicaciones (Chacón, 2008).....	5
Figura 2-1: Distribución por continentes de la producción de queso de leche entera de vaca durante el periodo 2010-2014 (FAOSTAT).....	6
Figura 2-2: Distribución por países de la producción mundial de queso de leche entera de vaca durante el periodo 2010-2014 (FAOSTAT).....	7
Figura 2-3: Porcentajes de productos lácteos obtenidos de la leche producida en la UE en el año 2013 (EUROSTAT).	8
Figura 2-4: Distribución, por CCAA, de volúmenes de producción en toneladas de leche de vaca en el periodo 2014-2015 (Subdirección General de Productos Ganaderos, 2015)	9
Figura 2-5: Consumo de leche y productos lácteos en los hogares españoles durante los cursos 13-14 y 14-15 (Subdirección General de Productos Ganaderos, 2015).....	9
Figura 2-6: Balance de importaciones y exportaciones desde la UE y terceros países, y balance total, de productos lácteos españoles durante los años 2012, 2013 y 2014 (Subdirección General de Productos Ganaderos, 2015).....	10
Figura 2-7: Alternativas de valorización del suero (Cravero, 2013).	13
Figura 3-1: Etapas a seguir en un ACV (Norma UNE EN ISO 14040:2006).....	16
Figura 3-2: Ejemplo de clasificación en evaluación de impactos de ACV (Ihobe, 2014)	18
Figura 3-3: Esquema de alcances y GEI que influyen en la huella de carbono (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015).....	23
Figura 4-1: Gráfico que muestra la distribución como principal causa de impacto ambiental en la producción de café (Salomone, 2003).....	26
Figura 4-2: Huella de carbono de carne de pollo, cerdo y vacuno según su contenido proteico y energético (Roy et al., 2012)	27
Figura 4-3: Comparación de los impactos ambientales debidos a una hamburguesa empleando dos procesos de ACV diferentes (Madsen y Effing, 2003).....	28
Figura 4-4: Diagrama de bloques que indica el impacto ambiental acumulado en una planta de elaboración de queso (Nielsen et al., 2003)	30

Figura 4-5: Distribución gráfica del uso de agua durante la producción de yogur (Vasiliaki et al., 2016)	31
Figura 5-1: Logo de marca de la quesería "Ca Llechi"	32
Figura 5-2: Plano de la planta de la quesería "Ca Llechi"	33
Figura 5-3: Queso "Franxón" elaborado por la quesería "Ca Llechi"	34
Figura 5-4: Queso casín con DOP de la quesería "Ca Llechi"	34
Figura 6-1: Límites del sistema a estudio	36
Figura 6-2: Caracterización de impactos ambientales asociados a la producción anual de quesos en la quesería tradicional asturiana "Ca Llechi" según el método ReCiPe midpoint.....	52
Figura 6-3: Normalización de impactos ambientales asociados a la producción anual de quesos en la quesería tradicional asturiana "Ca Llechi" según el método ReCiPe midpoint.....	55
Figura 6-4: Diagrama de bloques y cargas ambientales para la quesería "Ca Llechi" según el método ReCiPe midpoint para la categoría de impacto ambiental "transformación del suelo natural". Valor de corte: 7,5%	56
Figura 6-5: Diagrama de bloques y cargas ambientales para la quesería "Ca Llechi" según el método ReCiPe midpoint para la categoría de impacto ambiental "eutrofización marina". Valor de corte: 7,5%.....	57
Figura 6-6: Diagrama de bloques y cargas ambientales para la quesería "Ca Llechi" según el método ReCiPe midpoint para la categoría de impacto ambiental "ecotoxicidad terrestre". Valor de corte: 7,5%.....	58
Figura 6-7: Diagrama de bloques y cargas ambientales para la quesería "Ca Llechi" según el método ReCiPe midpoint para la categoría de impacto ambiental "ecotoxicidad del agua dulce". Valor de corte: 7,5%.....	59
Figura 6-8: Diagrama de bloques y cargas ambientales para la quesería "Ca Llechi" según el método ReCiPe midpoint para la categoría de impacto ambiental "ecotoxicidad marina". Valor de corte: 7,5%.....	60
Figura 6-9: Caracterización de impactos ambientales asociados a la producción anual de quesos en la quesería tradicional asturiana "Ca Llechi" según el método ReCiPe endpoint.	61
Figura 6-10: Normalización de impactos ambientales asociados a la producción anual de quesos en la quesería tradicional asturiana "Ca Llechi" según el método ReCiPe endpoint.	62

Figura 7-1: Caracterización de huella de carbono asociada a la producción de 1 kg de queso en la quesería tradicional asturiana "Ca Llechi" según el método Greenhouse Gas Protocol.....	65
Figura 7-2: Ponderación de huella de carbono asociada a la producción de 1 kg de queso en la quesería tradicional asturiana "Ca Llechi" según el método Greenhouse Gas Protocol.....	67
Figura 7-3: Diagrama de bloques y cargas ambientales para la quesería "Ca Llechi" según el método ReCiPe midpoint para la categoría de impacto ambiental "cambio climático". Valor de corte: 12.5%	68

Lista de tablas

Tabla 2-1: Impactos medio ambientales propios de las industrias lácteas (González, 2012).....	11
Tabla 2-2: Composición del suero (González, 2012).....	12
Tabla 6-1: Datos de inventario para la quesería a estudio, expresados según la unidad funcional de 4770 kg de queso producido durante un año.	50
Tabla 7-1: Análisis comparativos de los resultados obtenidos sobre huella de carbono para este trabajo y diversos estudios ambientales de producción de queso, citados en la bibliografía.	70

Lista de abreviaturas

ACV: Análisis de Ciclo de Vida.

CaCl₂: Cloruro de calcio.

CCAA: Comunidades Autónomas.

CFCs: Compuestos clorofluorocarbonados.

CH₄: Metano.

CIP: Limpieza in situ (“Clean in place”).

CO: Monóxido de carbono.

CO₂: Dióxido de carbono.

COVs: Compuestos Orgánicos Volátiles.

DBO₅: Demanda Biológica de Oxígeno.

DOP: Denominación de Origen Protegida.

EEUU: Estados Unidos.

EICV: Evaluación de Impactos de Ciclo de Vida.

EN: Norma Europea (“European Norm”).

eq: Equivalente.

EUROSTAT: Oficina Estadística de la Unión Europea.

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (“Food and Agriculture Organization”).

FAOSTAT: Estadísticas de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (“Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics”).

g: Gramo.

GEI: Gases de Efecto Invernadero.

GHG Protocol: “Greenhouse Gas Protocol Corporate Standard”.

h: Hora.

H₂O₂: Peróxido de hidrógeno.

H₃PO₄: Ácido fosfórico.

HCFCs: Compuestos hidroclorofluorocarbonados.

HFCs: Compuestos hidrofluorocarbonados.

ICV: Inventario de Ciclo de Vida.

IDAE: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía.

ISO: Organización Internacional de Estandarización (“International Standardization Organization”).

kcal: Kilocaloría.

kg: Kilogramo.

kJ: Kilojulio.

kW: Kilovatio.

L: Litro.

LCA: “Life Cycle Analysis”.

LDPE: Polietileno de Baja Densidad (“Low Density Polyethylene”).

m: Metro.

mg: Miligramo.

MJ: Megajulio.

mm: Milímetro.

μm: Micrómetro.

NaCl: Cloruro de sodio (sal).

NaClO: Hipoclorito sódico.

NaOH: Hidróxido sódico.

NF₃: Trifluoruro de nitrógeno.

NO_x: Óxidos de nitrógeno.

N₂O: Monóxido de nitrógeno.

PCG: Potencial de Calentamiento Global.

PET: Polietilentereftalato.

RSU: Residuos Sólidos Urbanos.

SEFH: Sociedad Española de Farmacia Hospitalaria.

SETAC: Sociedad de Toxicología y Química Medioambiental “Society of Environmental Toxicology and Chemistry”.

SF₆: Hexafluoruro de azufre.

SO₂: Dióxido de azufre.

t: Toneladas.

tkm: Toneladas por kilómetro.

UE: Unión Europea.

ULPGC: Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.

UNE: Una Norma Española.

Índice

1.	Introducción.....	1
2.	Sector quesero	6
2.1.	Situación mundial	6
2.2.	Situación nacional.....	8
2.3.	Impactos ambientales.....	10
3.	Gestión medioambiental	15
3.1.	Análisis del Ciclo de Vida	15
3.2.	Normativa del ACV	20
3.3.	Huella de carbono	21
4.	ACV en el sector alimentario	25
5.	Descripción de la quesería tradicional asturiana “Ca Llechi”	32
6.	ACV de la quesería tradicional asturiana “Ca Llechi”	35
6.1.	Definición de objetivos y alcance	35
6.2.	Análisis de inventario	40
6.2.1.	Entradas	40
6.2.2.	Salidas.....	46
6.3.	Evaluación de impactos	51
6.4.	Interpretación de resultados	63
7.	Huella de carbono.....	65
8.	Conclusiones.....	72
9.	Bibliografía.....	73

1. Introducción

El queso es un alimento sólido que se elabora tras la maduración de la cuajada de la leche obtenida de vaca, cabra, oveja o búfala. Se trata, por tanto, de un alimento que se clasifica dentro del grupo de los lácteos, los cuales se caracterizan por su riqueza en proteínas. Los quesos requieren, por tanto, como materia prima principal, la leche, que puede ser natural, desnatada o semidesnatada. A partir de las diferentes leches se pueden realizar multitud de variedades de queso, los cuales pueden provenir de un único tipo de leche o de la mezcla de distintas leches. De esta manera, los quesos que se realizan a partir de leche de vaca suelen presentar sabores más suaves, mientras que aquellos que se elaboran con leche de oveja suelen ser los que presentan un sabor más intenso (Arroyo et al., 1996).

Algunas de las funciones que realizan los diferentes componentes de la leche en la elaboración de queso son las siguientes (Madrid, 1994):

- **Agua:** Permite el crecimiento microbiano y, por tanto, favorece la maduración del queso.
- **Grasa, lactosa, caseína:** Influyen en textura, sabor, color y olor.
- **Suero:** Aumentan el valor nutritivo, gracias a su importante concentración en proteínas.
- **Fermentos:** Esenciales en la obtención del queso. Antiguamente, se empleaban enzimas de origen animal como la quimosina o la renina, que se extraían del estómago de los corderos. En la actualidad, se emplean enzimas de origen microbiano o vegetal (bromelina, papaína, ficina), estos últimos más utilizados a nivel artesanal.
- **CaCl₂:** Aporta firmeza.
- **Nitratos:** Evitan la proliferación de bacterias.
- **Sal:** Aporta sabor y alarga la vida útil del queso.

A nivel nutricional, el queso presenta unas características similares a las del resto de lácteos. Se trata de una de las mejores fuentes de calcio que existen, siendo capaz de proporcionar al organismo la misma cantidad de calcio que un vaso de leche o que un yogur consumiendo apenas un trozo de 50 gramos (Barthelemy, 2005). Este es un nutriente muy importante, dado que participa en la formación de huesos y dientes y evita, ya en la edad adulta, que proliferen enfermedades como la osteoporosis.

El queso también presenta un alto contenido en proteínas y en grasas, principalmente grasas saturadas, pero esto no implica que se deba evitar su consumo, más bien al contrario, dado que se recomienda un consumo diario de lácteos (leche, yogur, queso) de entre 2 y 3 raciones en jóvenes, y de entre 1 y 2 en adultos (FAO, 2014).

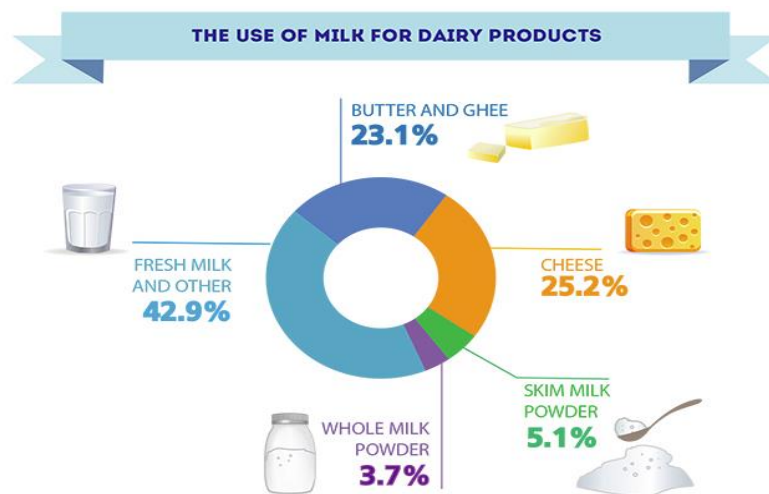


Figura 1-1: Reparto de consumo de leche y productos lácteos a nivel global (FAO, 2016)

Para la elaboración de quesos se requiere que la leche empleada pase por las etapas que se indican a continuación (Madrid, 1994):

- **Pretratamiento:** Se filtra la leche para eliminar partículas grandes e impurezas que puedan provenir de la manipulación de la misma. Después, se añade o elimina nata dependiendo del queso a realizar, se homogeniza y se pasteuriza, o no, dependiendo del producto final.
- **Coagulación:** Se introduce la leche en una cuba a 35°C y se adiciona, dependiendo del queso, fermentos vegetales o animales; obteniendo así una fermentación que puede ser láctica o enzimática. En este proceso, la leche se solidifica porque se generan micelas de caseína, proteína propia de la leche, que retiene en su interior grasa y sales. Este producto se denomina cuajada.

- **Corte de la cuajada y desuerado:** Cuando la coagulación termina, se corta la cuajada mediante liras, aparatos formados por un conjunto de hilos tensos en paralelo. Mediante este corte se consigue eliminar gran parte del suero.
- **Moldeo y prensado:** La cuajada en trozos se introduce en unos moldes y se la somete a presión para dar forma al queso, eliminar los restos de suero y unir los granos de la cuajada entre sí
- **Salado:** Con esta etapa se consigue evitar la proliferación de microorganismos patógenos, formar la corteza y dar sabor al queso. Este proceso se lleva a cabo en seco, simplemente recubriendo el queso en sal, o bien introduciéndolo en una disolución de sal en agua (salmuera).
- **Maduración y afinado:** En esta etapa los quesos son introducidos en cámaras o en cuevas, como es el caso del queso Cabrales. En ellas se mantienen los quesos en unas condiciones de temperatura y humedad constantes durante el tiempo necesario según el grado de curación que se desee.

Existen múltiples maneras de clasificar los diferentes quesos existentes: según el contenido en materia grasa, la consistencia de la pasta, el periodo de maduración, el tipo de leche empleada, etc. Según la tecnología empleada para su elaboración, los quesos se clasifican de la siguiente manera (Androuët, 2002):

- **Quesos frescos:** Quesos de fermentación láctica a los que se añade poco cuajo y de lento desuerado. Presentan alta humedad y se les suele añadir nata.
- **Quesos de pasta blanda con corteza enmohecida:** Presentan cuajadas mixtas, esto es, obtenidas tanto por fermentación láctica como enzimática. No se suelen prensar y se les añaden diferentes mohos, de manera superficial, lo que provoca una corteza con aspecto de pelo. Ej.: Brie, Camembert.
- **Quesos de pasta blanda con corteza lavada:** Presentan, como en el caso anterior, cuajadas mixtas pero, a diferencia del caso anterior, no se les añaden mohos, sino que se lavan en una disolución de agua y sal y, en ocasiones, con cerveza o aguardiente. Se obtiene una corteza anaranjada, de olor fuerte pero sabor suave. Ej.: queso de la Serena.
- **Quesos azules:** Se caracterizan por la presencia de moho azul (*Penicillium roqueforti*) en su interior. Presentan dos tipos, “azules fuertes” (ej.: Cabrales) y “azules suaves” (ej.: Gorgonzola).

- **Quesos de cabra:** Se clasifican de manera separada aunque su método de elaboración no difiere del método general porque presentan unas características organolépticas que les hacen muy identificativos. Los más habituales son los de pasta blanda.
- **Quesos de pasta prensada cruda:** Quesos de fermentación enzimática que presentan una humedad en su extracto seco de entre un 44 y un 55%. Ej.: Manchego, Gouda.
- **Quesos de pasta prensada cocida:** Quesos en los que, cuando ya está formada la cuajada, se cocinan a 53-55 °C durante 30-60 minutos, para favorecer su drenaje. Ej.: Gruyère.

En la realización de este trabajo se llevará a cabo un análisis de ciclo de vida (ACV) de la quesería tradicional asturiana “Ca Llechi”. Se trata de una técnica que permite determinar los impactos ambientales potenciales que presenta un producto o servicio a lo largo de su vida útil (Chacón, 2008).

Este tipo de técnicas de análisis medioambiental se caracterizan por presentar un origen relativamente reciente. Los primeros estudios de impacto ambiental se realizaron en EEUU durante los años 60, como el que llevó a cabo Smith en 1963 acerca de la energía necesaria para la fabricación de diversos productos químicos (Chacón, 2008). Ya en el año 1973 se desarrolla el primer software que permitía realizar estudios de ACV. En el año 1979 se funda la SETAC (“Society of Environmental Toxicology and Chemistry”) que se encarga del desarrollo y promoción de las metodologías que se emplean en ACV. En Europa, Asia, Canadá o Australia, el desarrollo del ACV fue más lento, pero también se llevó a cabo a partir de los años 80 y 90.

En lo que respecta a la normativa acerca de los análisis de ciclo de vida, esta no se empieza a desarrollar hasta el año 1997, cuando se publicó la primera norma ISO acerca del ACV, aplicable internacionalmente. A partir de ahí, se introduciría un mayor número de normas ISO, lo que acarreó que los estudios sobre ACV presentasen una cierta estandarización, aumentando de manera considerable el número de trabajos realizados en este ámbito, incluyendo también el sector alimentario.

ISO 14040:2006: Principios y marco de referencia. Esta norma establece los principios y marco de referencia para llevar a cabo un ACV, describe las fases claves del proceso de ACV. Se recomienda usarla junto con ISO 14044.

ISO 14044:2006: Requisitos y lineamientos. Esta norma establece los requisitos y orientaciones para llevar a cabo un ACV. Se recomienda utilizarla junto con ISO 14040.

ISO/TR 14047:2003: Ejemplos de aplicación de ISO 14042.
Ofrece ejemplos del empleo del ACV.

ISO 14042 se eliminó en el 2006, pero su contenido se incorporó en las versiones de ISO 14040 e ISO 14044.

ISO/TS 14048:2002. Formato para la documentación de datos. Ilustra los formatos para la recolección de información con énfasis en la fase del inventario de ciclo de vida (recopilación de las entradas y salidas de los procesos).

ISO/TR 14049:2000. Ejemplos de aplicación de ISO 14041 para la definición del objetivo, alcance y análisis del inventario.

ISO 14041 se eliminó en el 2006, pero su contenido se incluyó en las versiones del 2006 de ISO 14040 e ISO 14044.

Figura 1-2: Normas ISO aplicables internacionalmente sobre ACV y ejemplos de aplicaciones (Chacón, 2008)

Asimismo, el concepto de huella de carbono fue introducido por Høgevold en el año 2003 como la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) expresada en cantidad de CO₂ equivalente (Tapia et al., 2013). Para intentar reducir las emisiones de GEI, durante los últimos años se han firmado diversos acuerdos, a nivel internacional, como el Protocolo de Kioto (1997), pero que, hasta el momento, no han proporcionado grandes resultados.

El objetivo de este trabajo consiste en determinar los diferentes impactos ambientales generados en una quesería tradicional asturiana, incluyendo la determinación de la huella de carbono, con el objeto de identificar aquellos aspectos clave susceptibles de ser mejorados.

2. Sector quesero

2.1. Situación mundial

A nivel mundial, la producción de quesos es muy elevada, pero cabe destacar que esta distribución no es uniforme. En función a los datos obtenidos de las bases de datos de la FAO, la producción de quesos en el año 2014 según el tipo de leche empleada fue la siguiente:

- **Queso de búfala:** 280.000 toneladas, elaborado en Egipto, Italia y China. Su producción disminuyó en estos últimos cinco años.
- **Queso de cabra:** 520.000 toneladas, elaborado principalmente en Sudán y los países mediterráneos. Su producción en los últimos tres años se encuentra estable.
- **Queso de oveja:** 680.000 toneladas, elaborado principalmente en China y los países mediterráneos. Su producción ha caído ligeramente en los últimos cinco años.
- **Queso de leche desnatada de vaca:** 2.430.000 toneladas, elaborado a nivel global. Su producción aumenta cada año.
- **Queso de leche entera de vaca:** 18.740.000 toneladas, elaborado principalmente en Europa y EEUU. Su producción aumenta de manera notable.

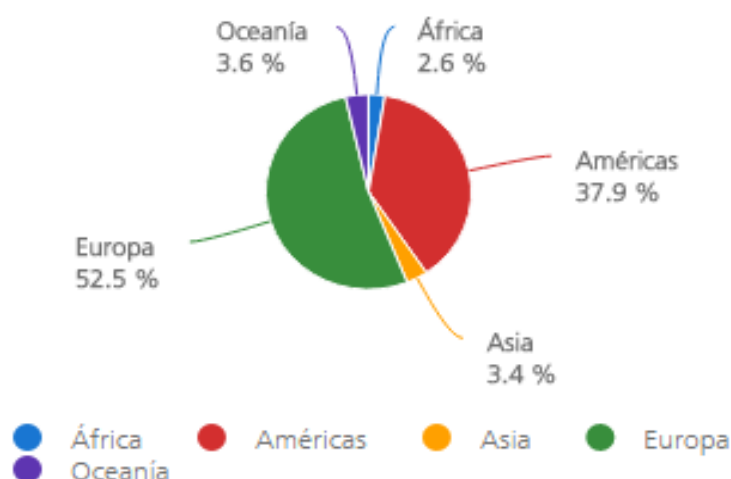


Figura 2-1: Distribución por continentes de la producción de queso de leche entera de vaca durante el periodo 2010-2014 (FAOSTAT)

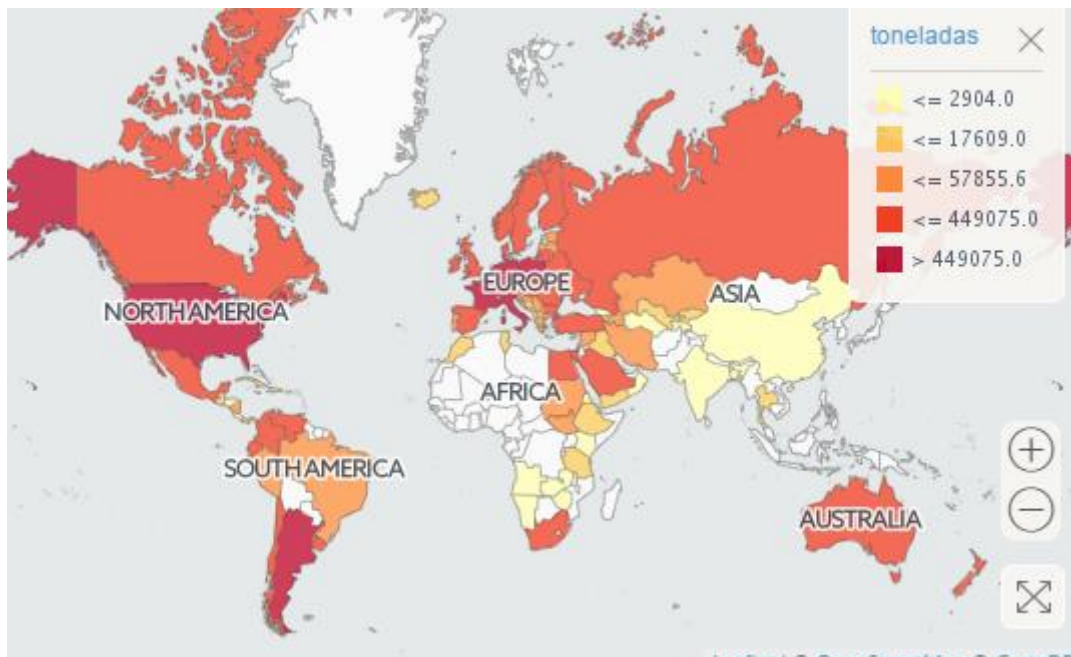


Figura 2-2: Distribución por países de la producción mundial de queso de leche entera de vaca durante el periodo 2010-2014 (FAOSTAT)

De los datos anteriores se observa que, a nivel mundial, los quesos que se producen en mayor cantidad son los quesos elaborados a partir de leche de vaca y, en mucha menor medida, los quesos de oveja, cabra y búfala. Esta distribución varía según los países.

En EEUU se producen principalmente quesos a partir de leche de vaca, siendo muy infrecuentes los quesos elaborados con otros tipos de leches. En Europa, sin embargo, se producen quesos de todo tipo, sobre todo en los países mediterráneos, como es el caso de España. Por contra, China produce más queso de oveja y de búfala que de vaca.

En la Unión Europea (FAOSTAT), la producción de quesos de vaca ha ido aumentando anualmente hasta alcanzar las 10.000.000 de toneladas, principalmente en los países de Europa central. Respecto a los quesos de cabra y de oveja, su producción está experimentando un leve descenso, siendo elaborados en Grecia, Francia y España, principalmente; mientras que el queso de búfala dentro de la UE solo se produce en Italia (Mozzarella), siendo esta una producción bastante baja. Asimismo, según datos de EUROSTAT, en el año 2013, de toda la leche producida en la Unión Europea, el 36.2 % se dedicó a la elaboración de quesos, siendo esta su principal aplicación.

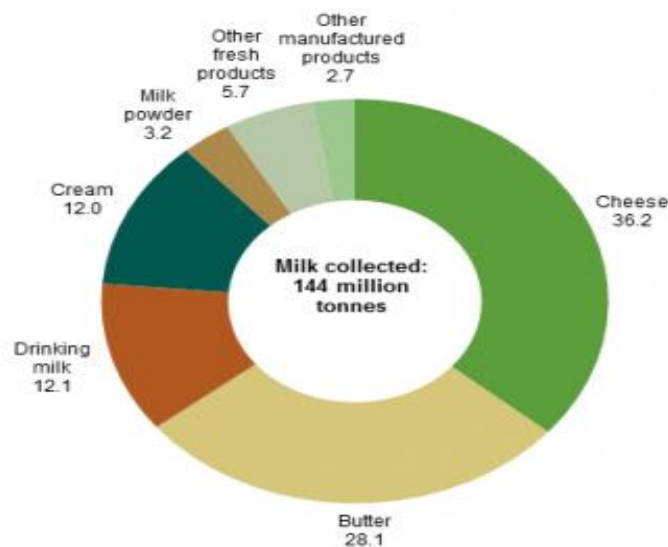


Figura 2-3: Porcentajes de productos lácteos obtenidos de la leche producida en la UE en el año 2013 (EUROSTAT).

Esto se puede explicar dado que la producción de queso es, dentro de todo el sector lácteo, la actividad económica más rentable, según indican los datos económicos del sector (Álvarez et al., 2008).

2.2. Situación nacional

A nivel nacional, la producción de quesos presenta ciertas características distintivas a la producción de otros países. En España, los quesos más producidos son los elaborados a partir de leche entera de vaca, donde en el año 2014 se produjeron 128.000 toneladas (FAOSTAT); seguidos de los de leche de oveja y de cabra, los cuales son poco habituales fuera de países mediterráneos. Por otra parte, es llamativo que en España la producción de quesos a partir de leche desnatada de vaca es ínfima, apenas 600 toneladas anuales, un 0,06 % de la producción europea, cuando se trata de uno de los tipos de quesos más producidos en todo el mundo. En lo que respecta a los quesos de búfala, no existen datos acerca de su producción en España.

Para analizar la producción de los diferentes productos lácteos, hay que tener en cuenta que esta producción estuvo limitada en España por un sistema de cuotas, implantado por la UE, que fue eliminado el 31 de marzo del año 2015 (Subdirección General de productos ganaderos, 2015).

Es de destacar que más de la mitad de la producción de leche de vaca se concentró en las comunidades de la Cordillera Cantábrica, siendo Galicia la Comunidad Autónoma con mayor producción (38 %). Asturias, por su parte, fue la 4ª Comunidad con mayor producción a nivel nacional, un 10 % del total.

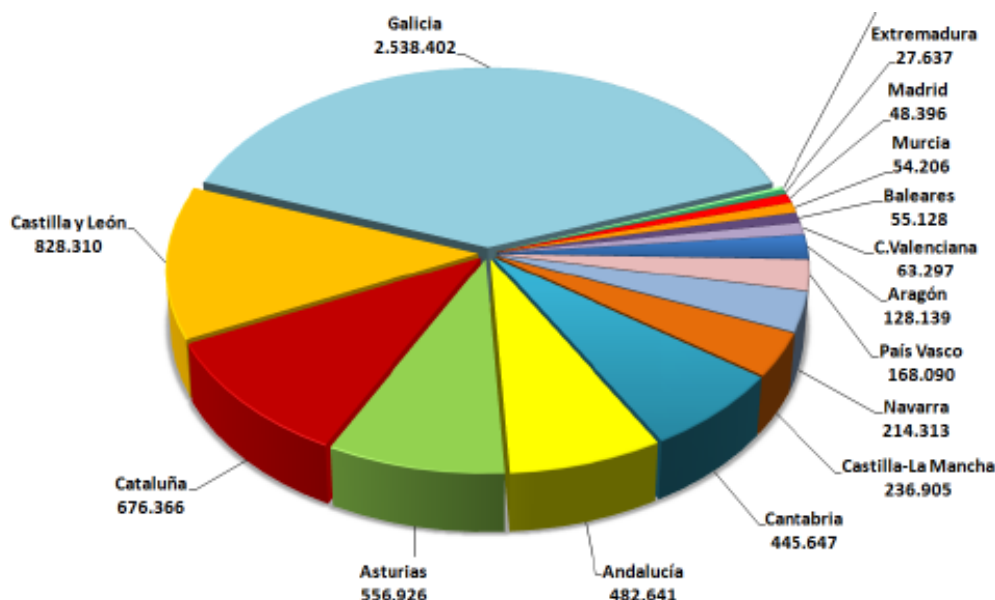


Figura 2-4: Distribución, por CCAA, de volúmenes de producción en toneladas de leche de vaca en el periodo 2014-2015 (Subdirección General de Productos Ganaderos, 2015)

En España se observó, en los últimos años, un leve descenso, en el consumo de leche y productos lácteos. Como se puede observar en la Figura 2-5, el consumo de leche y productos lácteos en los hogares españoles presenta un claro componente estacional, provocando que durante los meses de verano su consumo disminuya de manera notable.

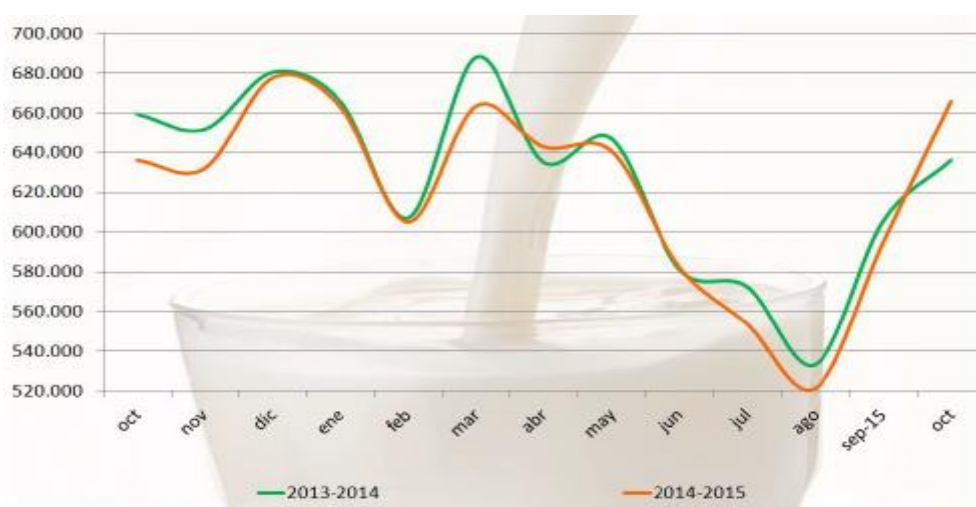


Figura 2-5: Consumo de leche y productos lácteos en los hogares españoles durante los cursos 13-14 y 14-15 (Subdirección General de Productos Ganaderos, 2015)

Por otra parte, a pesar del importante volumen de producción láctea que presenta España, se trata de un importador neto tanto de leche como de productos lácteos, pues su producción no es capaz a satisfacer las necesidades de su población. Así pues, los países de los cuales España importa mayor cantidad de lácteos son Francia y Portugal, los cuales son, a su vez, los principales compradores extranjeros de los productos lácteos españoles (Subdirección General de Productos Ganaderos, 2015).

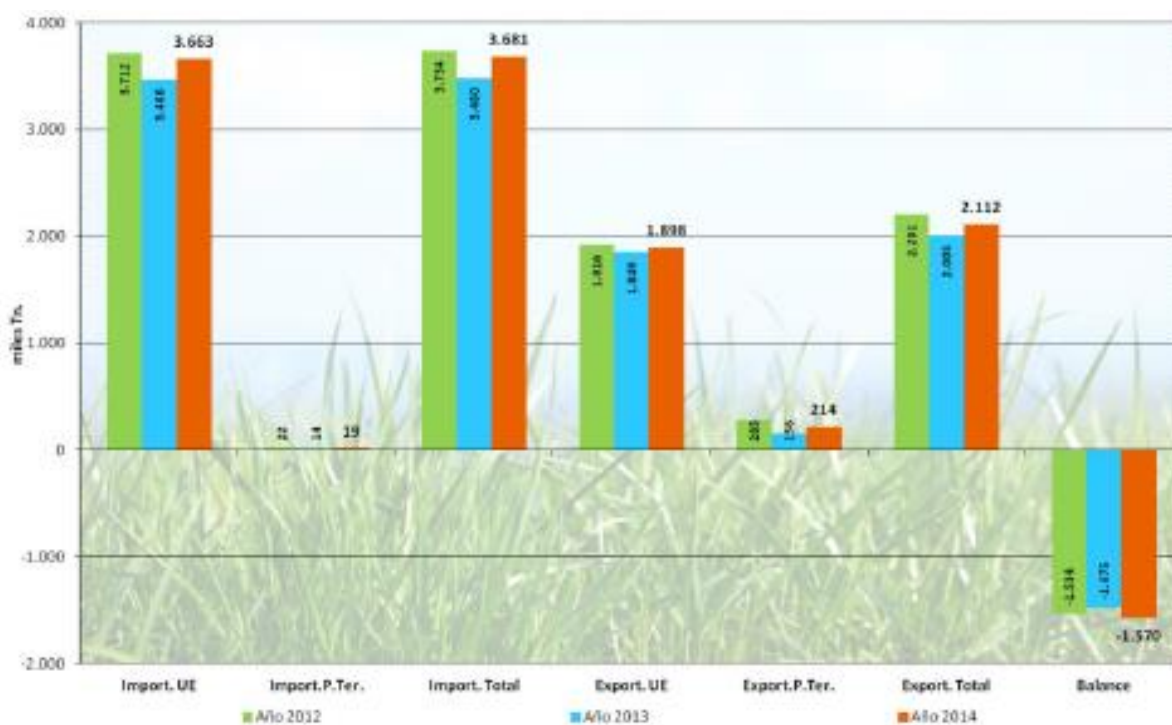


Figura 2-6: Balance de importaciones y exportaciones desde la UE y terceros países, y balance total, de productos lácteos españoles durante los años 2012, 2013 y 2014 (Subdirección General de Productos Ganaderos, 2015)

2.3. Impactos ambientales

La industria alimentaria genera importantes impactos ambientales, tanto por los procedimientos seguidos como por los productos elaborados. Más concretamente, la industria láctea, genera un importante volumen de residuos, debido principalmente a los procesos de tratamiento, almacenamiento y conservación de la leche (Restrepo, 2006).

Dentro de los diferentes productos lácteos que se elaboran, la industria que más impactos ambientales presenta es precisamente la industria quesera. Es, por tanto, el proceso de elaboración del queso, el proceso más importante a tener en cuenta para analizar los diferentes impactos ambientales que se generan en el sector (González, 2012).

En la industria láctea se generan, en mayor o menor medida, una serie de impactos ambientales muy diversos, tanto a nivel atmosférico como debida a la producción de residuos sólidos y líquidos. Dentro de los residuos que influyen como contaminantes atmosféricos se encuentran los gases que se emiten en la combustión en calderas y malos olores. Los causantes de los residuos sólidos se corresponden principalmente con restos de materiales de embalaje, plásticos, papeles, etc. Así, son los residuos líquidos los que presentan un mayor impacto ambiental en las industrias lácteas (Restrepo, 2006).

Los principales impactos ambientales que se generan en las industrias lácteas se pueden observar en la siguiente Tabla:

Tabla 2-1: Impactos medio ambientales propios de las industrias lácteas (González, 2012)

Operación Básica	Efecto
Limpieza y desinfección	Consumo de energía térmica Consumo de agua Consumo de productos químicos Vertido de aguas residuales (volumen y carga contaminante) Consumo de energía eléctrica
Generación de vapor	Emisión de gases y partículas Consumo de combustibles Vertido de aguas con gran conductividad(purgas) Consumo de productos químicos (aditivos) Residuos de envases de productos
Generación de frío	Emisiones de gases refrigerantes (CFC y amoniaco) Consumo de energía eléctrica Ruido Producto de mantenimiento de equipos Residuos de envases de productos químicos
Abastecimiento de agua	Consumo de energía eléctrica Vertidos del rechazo del tratamiento Consumo de productos químicos y filtros Residuos de envases

Así pues, la generación de **suero** es el principal impacto potencial que presenta la producción quesera, si no se gestiona de manera adecuada. El suero es un líquido de color amarillo-verdoso que presenta más de la mitad de los nutrientes de la leche, y que constituye casi el 90 % de la leche empleada para la elaboración de quesos. Esta gran cantidad de nutrientes que contiene el suero hace que presente unos valores de demanda biológica de oxígeno (DBO₅) de entre 40.000 y 50.000 mg/L (Restrepo, 2006). El suero, por tanto, es un foco potencial de contaminación de los medios acuosos, debido a su alto contenido en materia orgánica y en nutrientes, de manera que su vertido de manera incontrolada puede ocasionar problemas de eutrofización y de reducción del oxígeno disuelto en medios acuosos naturales (Clemente, 2005).

De esta manera, y dado que el suero presenta una composición nutricional muy aprovechable, es importante analizar los posibles usos que se pueden dar a este subproducto, empleando para ello diferentes procesos industriales que permitan eliminar agua, recuperar sales minerales y proteínas para evitar desecharlo como un efluente (Valencia, 2008).

Tabla 2-2: Composición del suero (González, 2012)

Composición del suero	
Componente	Concentración (g/L)
Sólidos totales	63,0 - 70,0
Lactosa	44,0 - 52,0
Proteínas	6,0 - 10,0
Grasa	0,5 - 7,0
Calcio	0,4 - 1,6
Fosfatos	1,0 - 4,5
Lactatos	2,0 - 6,4
Cloruros	1,1

Así pues, las principales industrias lácteas suelen considerar el lactosuero como un subproducto, y no como un residuo, de manera que lo transforman en un producto que pueda ser comercializable, como pueda ser suero en polvo, concentrado de proteínas, etc. Sin embargo, hay otras alternativas más sencillas para reducir el impacto ambiental de este suero como, por ejemplo, aportarlo en la alimentación de otros animales, como cerdos o caballos, debido a su alto contenido nutricional (Berruga, 1999). Estas posibles alternativas, al ser más baratas y accesibles, podrían ser tratamientos aceptables para instalaciones queseras de menor tamaño, como es el caso de la quesería objeto de nuestro estudio.

Algunas de estas posibles aplicaciones de valorización del lactosuero se resumen en la siguiente Figura:

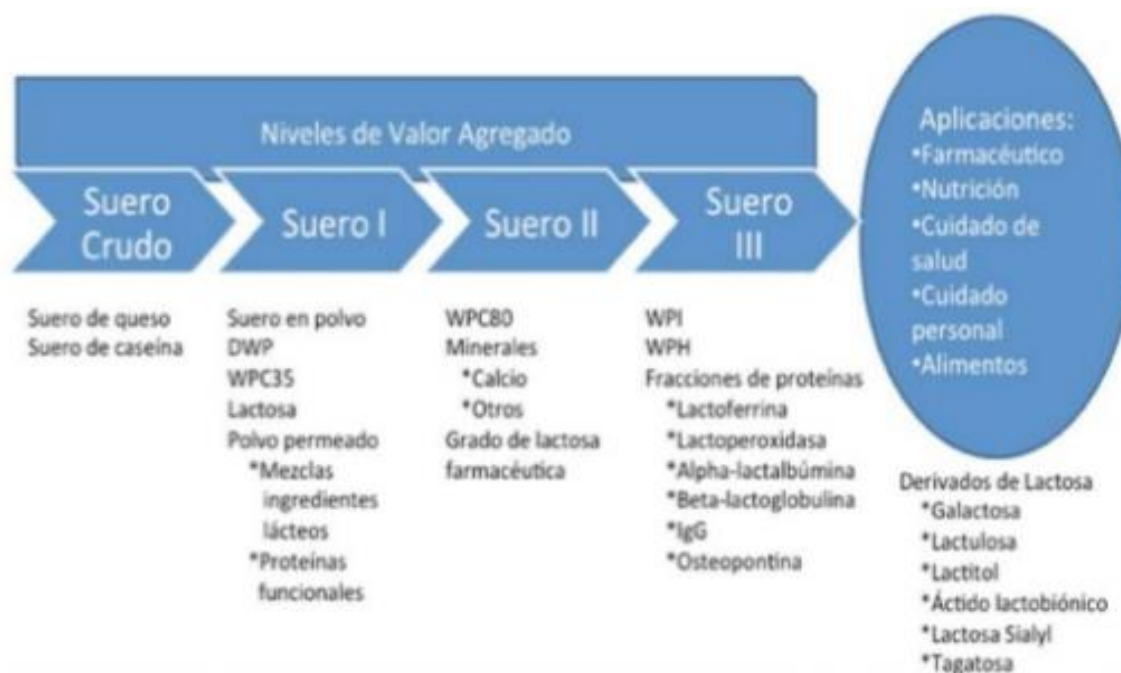


Figura 2-7: Alternativas de valorización del suero (Cravero, 2013).

Por otra parte, en lo que respecta a los **residuos sólidos**, estos suelen ser residuos orgánicos que se generan tras el proceso productivo, residuos de envases tanto de materias primas como del producto final y residuos derivados de actividades de mantenimiento, limpieza, laboratorio y oficina (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2005). Estos residuos se rigen según la Ley 10/1998 de residuos, según la cuales se catalogan, de manera mayoritaria, como residuos asimilables a urbanos.

En lo que respecta a las **emisiones a la atmósfera**, las principales en industria láctea son aquellas debidas a las calderas, necesarias en etapas de producción y limpieza. En ellas, se pueden generar gases contaminantes como CO, SO₂, NO_x y partículas sólidas en suspensión. Estas emisiones contaminantes dependerán del estado, de la eficiencia de la caldera, del control de la combustión y, por supuesto, del combustible utilizado, que puede ser gasóleo o gas natural principalmente, pero también biomasa, utilizada esta última en menor medida (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2005).

El empleo de combustibles como el gasóleo requiere que la empresa presente unos depósitos de almacenaje de este combustible que deben cumplir las más altas condiciones de seguridad, para así evitar fugas o explosiones. Esto no es así para el caso del gas natural, dado que no es necesario almacenarlo en la instalación láctea. Además, presenta otra ventaja, y es que no presenta azufre, por lo que no se emite SO₂ tras su combustión.

Sin embargo, no solo las calderas son foco de emisión de gases contaminantes, pues otro foco de emisión importante son los gases empleados en sistemas de refrigeración. Estos gases son unos contaminantes muy importantes dado que favorecen la degradación de la capa de ozono, especialmente los gases clorados. Así, el Reglamento 2037/2000 acerca de sustancias que afectan a la capa de ozono, establece que se deberá reducir de manera paulatina el empleo de compuestos hidroclorofluorocarbonados (HCFCs), de forma que, desde el año 2015, se encuentran totalmente prohibidos. En la actualidad, se suelen emplear los hidrofluorocarbonados (HFCs) los cuales, al no presentar cloro en su estructura, no afectan de manera tan grave a la capa de ozono (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2005).

Otro aspecto considerado como impacto ambiental es el **ruido**. La influencia de este último aspecto es menor y de marcado carácter local; influencia que se ve incrementada conforme aumenta el tamaño de la empresa láctea. Los principales focos de ruido provienen de los equipos de generación de frío y del tráfico de vehículos. Es un aspecto importante a considerar, especialmente si la instalación se encuentra próxima a zonas urbanas.

3. Gestión medioambiental

3.1. Análisis del Ciclo de Vida

El Análisis del Ciclo de Vida (ACV) es una herramienta de gestión medioambiental que permite determinar los diferentes aspectos medioambientales asociados a un producto o a un proceso productivo durante su ciclo de vida. Esto es, que se estudia este producto o proceso desde su origen en la producción de las materias primas, su empleo, mantenimiento, fabricación y la gestión de los residuos generados cuando finaliza la vida útil del producto (Fullana y Puig, 1997). Mediante esta herramienta lo que se consigue es identificar y cuantificar el impacto ambiental de los recursos empleados y de los residuos generados, para así poder actuar en posibles mejoras ambientales.

La información que se obtiene de la realización de un ACV sobre un producto o proceso se pueden emplear con los siguientes objetivos (Ihobe, 2014):

- Desarrollo de nuevos productos más adecuados ambientalmente (ecodiseño).
- Marketing de productos o servicios, como método para mejorar la imagen de empresa.
- Mecanismo de evaluación de tecnologías empleadas.
- Desarrollo de nuevas políticas ambientales que permitan definir normativas ambientales más específicas o identificar posibles actuaciones para la mejora del medio ambiente.

Estos estudios de ACV se rigen según la normativa UNE EN ISO 14040:2006, la cual establece el marco de referencia y las directrices según las cuales se deben. Para ello, se establecen las siguientes etapas a seguir:

- Definición de objetivos y alcance.
- Análisis de inventario de ciclo de vida (ICV).
- Evaluación de impactos de ciclo de vida (EICV).
- Interpretación y revisión de los resultados.

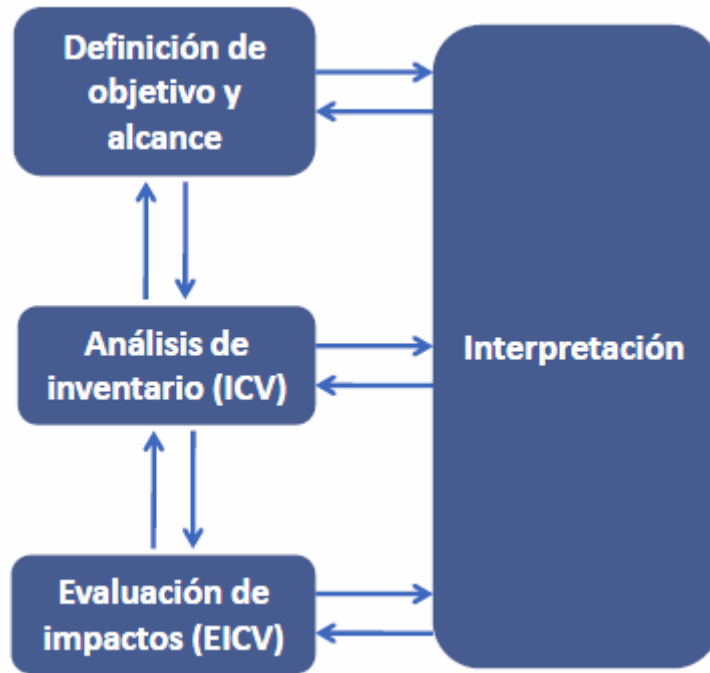


Figura 3-1: Etapas a seguir en un ACV (Norma UNE EN ISO 14040:2006)

- **Etapa 1:** Definición de objetivos y alcance

El objetivo debe indicar claramente cuál es el motivo por el cual se realiza el estudio de ACV. Los objetivos más comunes suelen ser comparar entre dos productos o procesos para saber cuál es el que presenta un menor impacto ambiental, o determinar, para un producto o proceso, qué aspecto o etapa del proceso productivo es el que más afecta al medio ambiente.

El alcance o límite del sistema es todo aquello que se incluye dentro del sistema de estudio, delimitando a su vez qué es lo que queda fuera del ámbito de estudio. El alcance también incluye el proceso de asignación de cargas, según el cual se designarán valores de cargas ambientales cuando un sistema conduce a productos que se encuentran fuera de los límites del estudio.

También en esta etapa se debe determinar lo que es la unidad funcional, que es la unidad a la cual van referidas todos los datos del sistema, sean consumos o emisiones. Esta unidad puede ser de tipo físico, si se refiere a una determinada característica física, o funcional. La selección de la unidad funcional es un proceso muy importante, sobre todo si el objetivo es la comparación entre dos sistemas (Clemente et al., 2005).

- **Etapa 2:** Análisis de inventario de ciclo de vida (ICV)

Esta etapa consiste en la recogida de datos para poder cuantificar tanto las entradas como las salidas de materia y de energía del sistema que queremos estudiar. Esta etapa es especialmente importante porque errores en el proceso de recogida de datos puede dar lugar a resultados muy alejados de la realidad.

Para esta etapa, cada uno de los procesos que se llevan a cabo es considerado como un subsistema, y para cada uno de ellos se debe determinar las materias primas empleadas, los productos auxiliares necesarios, la energía utilizada y las emisiones.

En esta etapa se pueden diferenciar los siguientes procesos asociados (Clemente et al., 2005):

- Recogida de datos de todas las actividades realizadas, especificando el origen de estos datos y la metodología empleada para ello. Estos datos se pueden obtener mediante medidas directas, o bien mediante documentos publicados.
- Construcción del diagrama de flujo.
- Cálculo de las cargas ambientales de la unidad funcional considerada.
- Normalización de los datos recogidos.
- Realización de balances de materia para relacionar las entradas y salidas de los diferentes subsistemas empleados.
- Cuantificación de los flujos de salida.
- Elaboración de un inventario global del sistema.
- Documentación de los cálculos realizados.

Dado que existen diversas fuentes de información para la elaboración del inventario, es imprescindible disponer de bases de datos lo suficientemente fiables. Para ello, existen numerosas bases de datos con las que se puede trabajar para realizar estudios de ACV:

- EcoInvent (Suiza): Base de datos que obtiene su información del ministerio suizo de medio ambiente. Presenta datos de procesos sobre electricidad, fuentes de energía, transportes, materiales industriales, productos y procesos agrícolas, tratamiento de residuos, etc.
- Idemat (Holanda): Presenta datos acerca de materiales industriales, energía y transportes.

- LCA Food (Dinamarca): Base de datos que presenta información sobre la cadena alimentaria en las diferentes etapas de su producción.
- Agri-footprint (Holanda): Esta base de datos está enfocada en el sector agroalimentario. Tiene información acerca de productos agrícolas, alimentos y biomasa.
- TEAM (Francia, Reino Unido, EEUU, Italia, Japón): Base de datos de la empresa PWC, consultora multinacional. Presenta datos relativos a tratamiento de residuos, productos electrónicos, etc.

▪ **Etapa 3:** Evaluación de impactos de ciclo de vida (EICV)

Esta etapa consiste en transformar la información obtenida en la etapa anterior en información interpretable, esto es, tratar de evaluar la importancia de los diferentes impactos ambientales, asociando los datos del inventario a las categorías ambientales pertinentes (Clemente et al., 2005).

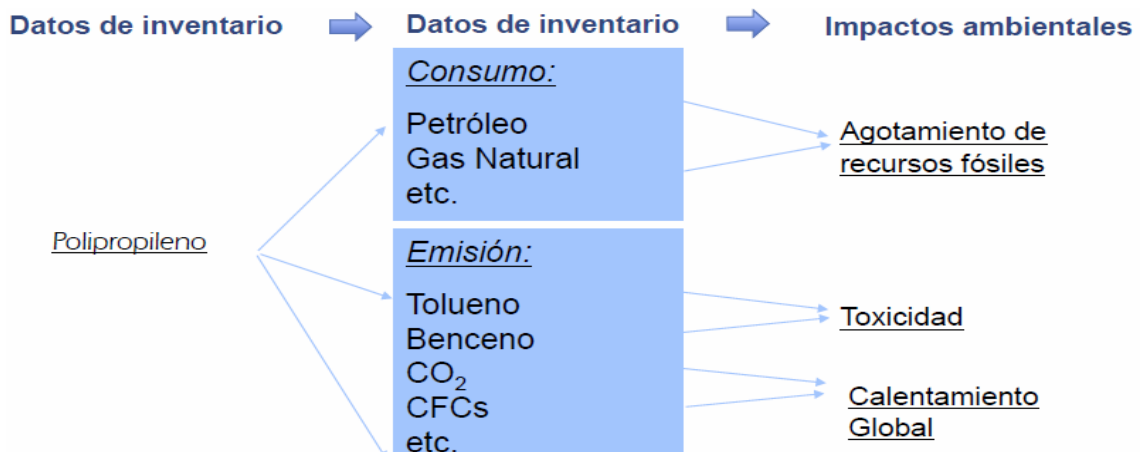


Figura 3-2: Ejemplo de clasificación en evaluación de impactos de ACV (Ihobe, 2014)

En base a la norma UNE EN ISO 14042:2001, esta etapa se subdivide en los siguientes procesos:

- **Clasificación:** Consiste en agrupar las diferentes intervenciones ambientales según las categorías de impacto ambiental a las que afectan.
- **Caracterización:** Consiste en evaluar el efecto total del sistema sobre cada una de las categorías de impacto ambiental.

Estas dos etapas ya citadas son de obligado cumplimiento durante la realización de un ACV. Mientras que las dos siguientes son opcionales y se realizarán, o no, según el objetivo del estudio a realizar:

- **Normalización:** Relación de los resultados obtenidos en la etapa de caracterización con respecto de ciertos valores de referencia, lo que permite observar su importancia con respecto de otras categorías de impacto.
- **Valoración:** Permite establecer un valor relativo de cada categoría de impacto ambiental para poder compararlas entre sí y así poder priorizar cuáles serían las acciones más importantes para reducir el impacto ambiental.

La evaluación de impactos es, por tanto, imprescindible dado que los resultados obtenidos directamente de la etapa anterior resultan difíciles de interpretar sin la realización de esta evaluación de impactos. Por todo eso, se hace necesario estudiar todas estas contribuciones de manera conjunta según unos determinados parámetros conocidos, reduciendo así el número de variables que influyen como impacto ambiental.

Existen diferentes métodos de evaluación de impacto según su objetivo. Algunos buscan definir un perfil ambiental cuantificando los efectos intermedios que presentan las diferentes categorías de impacto ambiental, los cuales son conocidos como “midpoints”. Por otro lado, otros tratan de analizar los efectos últimos en el medio ambiente, esto es, los efectos causados sobre el hombre y la naturaleza. A estos últimos métodos se les conoce como “endpoints”.

- **Etapa 4:** Interpretación y revisión de los resultados

En esta etapa, la información obtenida en las etapas anteriores se combina y se interpretan los resultados obtenidos para dar lugar a una serie de conclusiones. De esta manera, se puede determinar qué aspecto del ciclo de vida del proceso o producto genera mayor impacto ambiental, se pueden observar posibles mejoras para ello, o comparar entre diferentes opciones (Clemente et al., 2005).

3.2. Normativa del ACV

La normativa que rige el funcionamiento de los estudios de Análisis de Ciclo de Vida viene marcada por las directrices de la ISO (International Organization for Standardization), la cual ya ha sido citada anteriormente. La ISO es una organización internacional privada que incluye a determinados organismos nacionales de múltiples países, cuyo objetivo es normalizar y estandarizar múltiples productos y actividades profesionales. Sus normas son aceptadas, por tanto, a nivel internacional.

La ISO incluye una serie de normas acerca de los estudios de ACV, que hacen referencia a aspectos técnicos y organizativos, estos últimos centrados en el diseño del proceso. Estas normas se incluyen dentro de la serie 14040, referente a gestión ambiental y Análisis de Ciclo de Vida.

- **ISO 14040:2006:** Gestión Ambiental - Análisis de Ciclo de Vida - Principios y Estructura. Indica las aplicaciones y limitaciones que presentan los estudios de ACV.
- **ISO 14044:2006:** Gestión Ambiental - Análisis de Ciclo de Vida - Requerimientos y Directrices. Indica los mecanismos de actuación para la realización del inventario, estudios de evaluación de impacto e interpretación de resultados en los estudios de ACV.

Estas son las normas más actuales acerca de los estudios de ACV, las cuales sustituyeron normas anteriores como ISO 14040:1997, ISO 14041:1998, ISO 14042:2000 o ISO 14043:2000.

3.3. Huella de carbono

La huella de carbono es un término que indica la cantidad total de CO₂ equivalente emitido a la atmósfera, de manera directa o indirecta, debido a una actividad o acumulada durante el ciclo de vida de un producto (Tapia et al., 2013). Este volumen de CO₂ equivalente se mide, de manera habitual, en toneladas, y se refiere al volumen total de gases de efecto invernadero (GEI) que se emiten.

Según la convención que dio lugar al Protocolo de Kioto, se consideran gases de efecto invernadero los siguientes: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), monóxido de nitrógeno (N₂O), compuestos halocarbonados, hexafluoruro de azufre (SF₆) y trifluoruro de nitrógeno (NF₃) (Pachauri y Reisinger, 2007). Dado que el CO₂ es, de todos los gases de efecto invernadero anteriormente citados, el que se emite a la atmósfera en mayor proporción, es el que se usa como referencia para la medición de la huella de carbono.

El impacto ambiental que presentan las emisiones de los diferentes gases de efecto invernadero se expresan a través del concepto conocido como Potencial de Calentamiento Global (PCG). El PCG se define como el cambio en la irradiancia neta en un periodo determinado de tiempo provocado por la emisión de 1 kg de un gas en relación con el cambio de irradiancia neta provocado por 1 kg de CO₂, el cual actúa como gas de referencia. Este concepto, si bien es complejo, es necesario porque es lo que explica que se puedan expresar las emisiones de cualquier GEI como emisión de CO₂ equivalente, simplemente multiplicando la masa del gas emitido por su correspondiente GEI. Esta transformación es necesaria para poder comparar la influencia de los diferentes gases al efecto invernadero, puesto que no todos los GEI influyen de la misma en el calentamiento global, ya que dependen de la capacidad de las diferentes especies para absorber la radiación infrarroja, causante del aumento de temperatura terrestre (Tapia et al., 2013).

La huella de carbono referida a un producto determina la cantidad de gases de efecto invernadero que son emitidos durante todo el ciclo de vida de dicho producto. Esto vuelve a poner de manifiesto la necesidad de obtener información con la suficiente veracidad, para así evitar sobreestimar o subestimar las emisiones derivadas de la fabricación del producto en estudio. Resulta también imprescindible presentar unas metodologías de trabajo adecuadas. Sin embargo, en la actualidad no existe una metodología aceptada inequívocamente a nivel internacional

El principal objetivo del análisis de huella de carbono consiste en poder establecer medidas para la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. Por eso, estos estudios se suelen emplear como puntos de referencia para emprender actuaciones como la reducción de consumo de materiales y energía (Ihobe, 2009). La metodología que se emplea habitualmente en los estudios de huella de carbono es la siguiente:

- Determinación de las emisiones de gases de efecto invernadero correspondientes al sistema en estudio. Para ello, es necesario realizar un proceso de inventariado de dichas emisiones de GEI. Estas medidas se realizan siguiendo metodologías diversas pudiendo ir desde el empleo de calculadoras de huella de carbono, hasta la realización de Análisis de Ciclo de Vida.
- Limitación de las emisiones de gases de efecto invernadero mediante el uso de tecnologías que permitan la reducción de las emisiones de estos gases o mediante otro tipo de estrategias.
- Establecer compensaciones de las emisiones de GEI. Esta etapa se realiza con el objetivo de neutralizar el impacto ambiental que se produce por la emisión de estos contaminantes. Esto consiste en que la empresa o institución participante del estudio realice determinados proyectos que permitan compensar, en cierta manera, las emisiones de gases contaminantes debido al producto o proceso que se analiza.
- Comunicación de los resultados obtenidos del estudio. Esta etapa tiene como objetivo favorecer la conciencia medioambiental de la empresa en cuestión y, por otro lado, mejorar su imagen de marca.

La huella de carbono, como ya se ha explicado, permite determinar la cantidad de GEI que es emitida en un proceso de manera directa e indirecta. Para poder explicar este último aspecto se introduce el concepto de alcance, que hace referencia a los límites según los cuales unas determinadas emisiones pueden ser consideradas como causa directa o indirecta.

Las emisiones directas son aquellas que son generadas por la empresa, mientras que las emisiones indirectas son aquellas que, si bien dependen de la actividad empresarial, no surgen de sus dependencias ni están controladas por ella, por ejemplo la electricidad. Por tanto, para poder diferenciar de manera adecuada estos límites se diferencian tres alcances (Ihobe, 2009):

- **Alcance 1:** Emisiones directas de GEI. Son aquellas emisiones que suceden en instalaciones que son propiedad de la empresa, o que están controladas por la empresa. Por ejemplo, combustión de calderas, hornos o vehículos de empresa.
- **Alcance 2:** Emisiones indirectas de GEI debidas a electricidad consumida por la empresa. Se considera una emisión indirecta dado que estas emisiones ocurren en un lugar ajeno a la empresa en estudio, en la central eléctrica donde se genere.
- **Alcance 3:** Incluye el resto de emisiones indirectas de GEI. Por ejemplo, extracción y producción de los materiales y combustibles consumidos, uso de productos vendidos, etc.

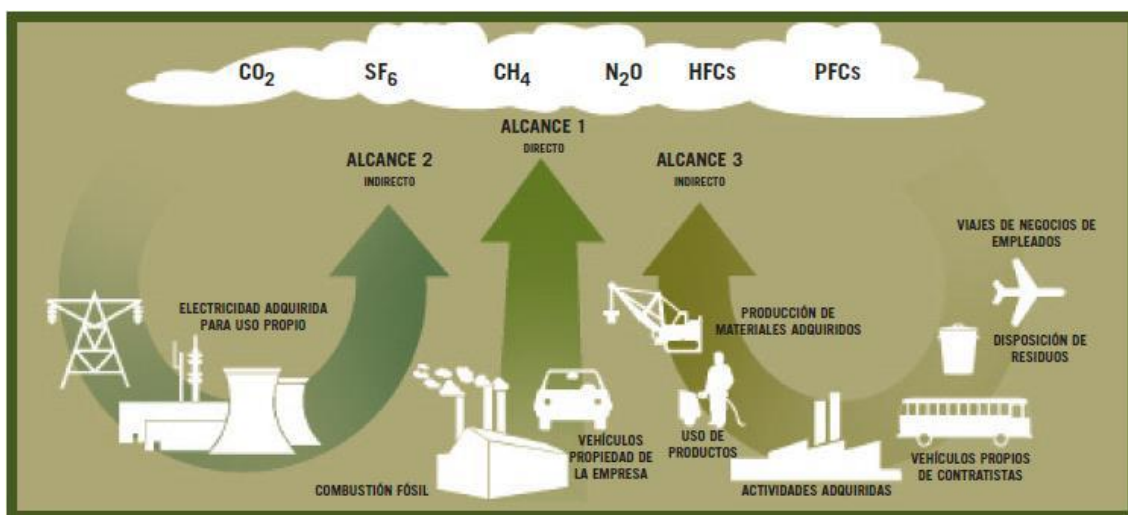


Figura 3-3: Esquema de alcances y GEI que influyen en la huella de carbono (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015)

Así, para la aplicación de esta metodología, el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente dispone de una herramienta conocida como calculadora de huella de carbono. Esta herramienta emplea la información aportada por el “Greenhouse Gas Protocol Corporate Standard” (GHG Protocol) realizado por el Instituto de Recursos Mundiales y el Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible. Esta calculadora constituye una de las herramientas más empleadas a nivel internacional en el cálculo de las emisiones de gases de efecto invernadero y se emplea para el cálculo de las emisiones correspondientes a los alcances 1 y 2 (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015).

Estas metodologías, al igual que sucede en el caso de los estudios de ACV, vienen regidas por una serie de normativas aplicables a nivel internacional. El GHG Protocol es una de las metodologías más empleadas a nivel internacional, estando regulada para su aplicación por una serie de normativas:

- **ISO 14064:2006:** Desarrollada de acuerdo con el GHG Protocol, se encuentra dividida en tres partes. La ISO 14064-1 que se encarga de delimitar principios y requisitos para la cuantificación de las emisiones de GEI, la ISO 14064-2, dirigida a proyectos diseñados para reducir las emisiones de GEI y la ISO 14064-3, que especifica el mecanismo de validación y verificación de los gases de efecto invernadero emitidos.
- **ISO 14065:2012:** Establece los requisitos necesarios para aquellos organismos que se encargan de validar y verificar las emisiones de gases de efecto invernadero.
- **ISO 14069:2013:** Indica los métodos de cuantificación de gases de efecto invernadero. Constituye la guía de aplicación de la norma ISO 14064-1.

4. ACV en el sector alimentario

La industria alimentaria es uno de los sectores industriales con mayor importancia a nivel global y, por tanto, los impactos ambientales derivados de su actividad también presentan una considerable importancia. En este contexto, los estudios de ACV permiten a las empresas dirigirse hacia unos sistemas productivos más sostenibles, aspecto que cada vez es más tenido en cuenta por los consumidores, especialmente aquellos de los países desarrollados.

El consumo de alimentos es una de las principales causas del aumento en el uso de los recursos naturales y, con ello, de los impactos ambientales. La regulación medioambiental de la industria agroalimentaria está centrada en paliar efectos provocados a nivel local. Sin embargo, hay que tener en cuenta que esta industria se encuentra en crecimiento, por lo que es necesario desarrollar un nuevo enfoque para estas medidas, centrándose en todo el sistema de producción y considerando los efectos globales que este sistema presenta (Halsberg, 2003).

El ACV proporciona una herramienta para determinar los impactos ambientales en industria agroalimentaria desde los años 60 y 70. Los estudios de ACV inicialmente no se plantean para la industria alimentaria sino para la eléctrica, con el fin de buscar posibles sistemas de energía alternativos al petróleo que redujesen la dependencia de países productores que presentaban inestabilidad política, como Siria o Iraq (Chacón, 2008). Sin embargo, estos estudios fueron extendiéndose a más sectores económicos y ya en el año 1969 se realiza el primer estudio de ACV que se conoce en industria alimentaria, realizado por la empresa Coca-Cola, con el fin de evaluar medioambientalmente el ciclo de vida de los envases de sus productos (Hunt y Franklin, 1996).

Los estudios de ACV que se realizan para un determinado sector o producto no pueden ser extrapolados a otro sector diferente, dado que los impactos que estos generan también difieren. De esta manera, hay actualmente estudios de ACV realizados para una gran variedad de productos agroalimentarios.

En lo que respecta a cereales, se han realizado estudios de ACV sobre el pan que analizan aspectos como los métodos de producción empleados (convencional u orgánico), moliendas industriales o domésticas, tecnologías de cocinado, el procesado, el envasado y la limpieza. Mediante este estudio se comprobó que aquel escenario en el cual se combina la producción orgánica del trigo, la molienda industrial y la cocción del pan a gran escala era más ventajoso; observándose que la principal contribución al impacto ambiental era debida al transporte de materias primas y productos terminados (Braschkat et al., 2003).

En referencia a verduras, se han realizado estudios de ACV sobre la producción de tomate en los cuales se destaca la diferencia en los impactos ambientales que se generan según estas verduras sean cultivadas al aire libre o en invernaderos. Con este estudio se comprobó que la gestión de los residuos generados es uno de los aspectos de mayor impacto ambiental, principalmente de la biomasa y de los plásticos de los invernaderos (Muñoz et al., 2006).

En otros productos como el café, la realización de un ACV es un proceso más complejo debido a que, en su producción, hay muchas empresas implicadas y de varios continentes, puesto que generalmente se produce en países tropicales, pero se procesa en Europa y EEUU. En este caso, el impacto ambiental principal bien ocasionado por el proceso de distribución, debido a las largas distancias que recorre el producto, siendo las emisiones de gases el aspecto más destacable (Salomone, 2003).

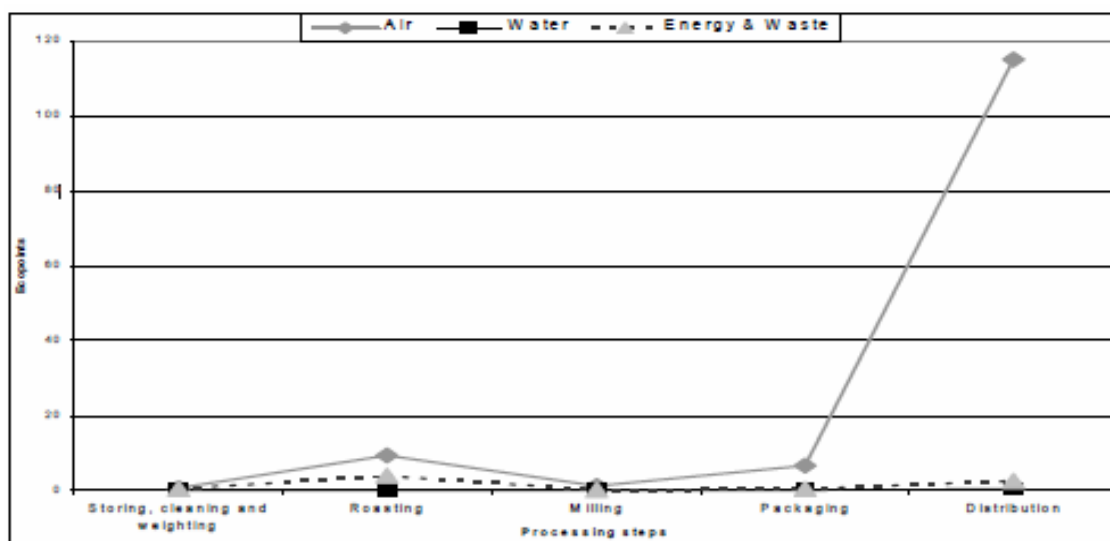


Figura 4-1: Gráfico que muestra la distribución como principal causa de impacto ambiental en la producción de café (Salomone, 2003)

También existen diferentes estudios de ACV acerca de frutas como, por ejemplo, estudios acerca de los impactos ambientales relativos a las naranjas valencianas. En este estudio se tuvieron en cuenta aspectos como el uso de pesticidas, el consumo de energía y el proceso de trabajo empleado. Mediante este estudio se comprobó que el empleo de pesticidas y fertilizantes suponen el principal problema, generando un importante impacto en la categoría de eutrofización (Sanjuán et al., 2002).

En el caso de la producción de carne, la magnitud del impacto ambiental generado depende del tipo de carne a estudio. En ganado vacuno, el mayor impacto ambiental es debido a la alimentación del animal, concretamente a las cantidades de pienso y forraje suministradas. Lo mismo ocurre para el ganado porcino, en el cual el factor más importante vuelve a ser la alimentación del ganado (Núñez et al., 2005). Según diferentes estudios, considerando el contenido proteico que presentan las carnes, se observó que la producción de carne de pollo es la más eficiente en términos de impacto ambiental; mientras que en contenido energético la más eficiente es la carne de cerdo (Roy et al., 2012).

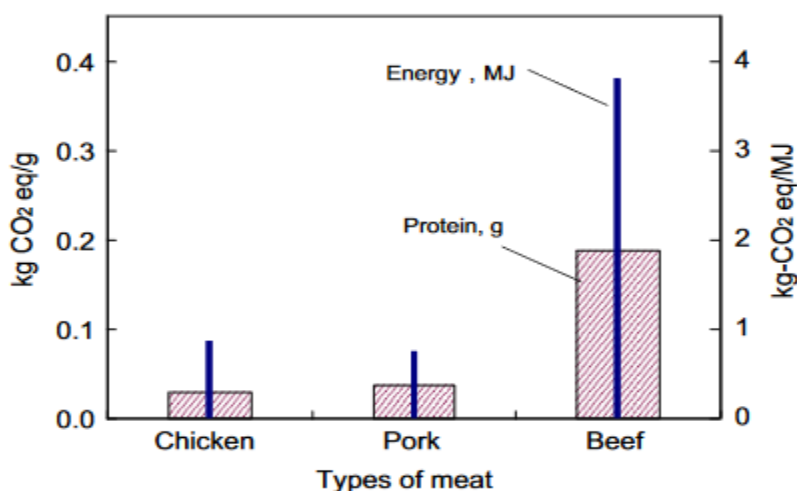


Figura 4-2: Huella de carbono de carne de pollo, cerdo y vacuno según su contenido proteico y energético (Roy et al., 2012)

En lo que respecta a pescados, estudios de ACV realizados sobre la captura de pescados frescos afirman que el consumo de carburantes corresponde el principal impacto ambiental, el cual depende de manera directa del tipo de pescado, debido a la diferente localización que presentan las especies (Thrane, 2004).

En pescados de acuicultura, por su parte, los efectos ambientales más importantes se corresponden con la eutrofización, la acidificación, el cambio climático, el uso de la producción primaria y el consumo de energía. Esto se explica debido a las altas necesidades proteicas que presentan estos animales, lo que conlleva la liberación de compuestos nitrogenados y fosforados a los medios acuáticos (Aubin et al., 2009). Estos mismos impactos son propios en el marisco de acuicultura, incluyendo también el impacto sobre el uso de la tierra (Mungkung y Clift, 2002).

También existen estudios de ACV realizados para alimentos preparados, como es el caso de las hamburguesas o de los perritos calientes. En estos casos, se analizan los impactos ambientales del alimento en su conjunto y de sus diferentes contribuciones. Por ejemplo, en estudios de ACV sobre hamburguesas se comprobó que las categorías ambientales más afectadas eran las relativas al uso del terreno y de combustibles fósiles (Madsen y Effing, 2003).

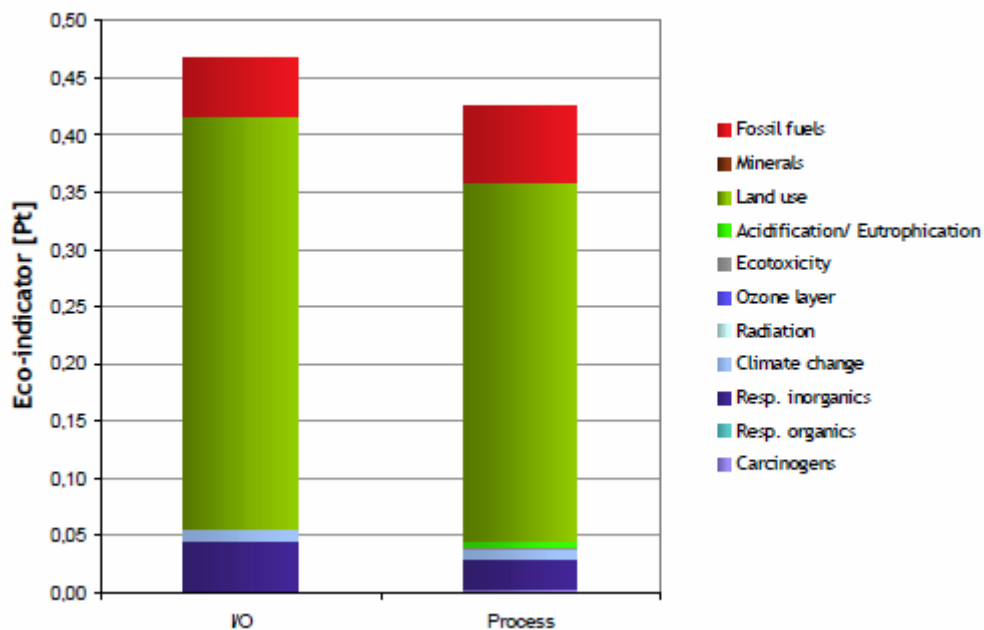


Figura 4-3: Comparación de los impactos ambientales debidos a una hamburguesa empleando dos procesos de ACV diferentes (Madsen y Effing, 2003)

En lo que respecta al queso, que es el tema objeto de nuestro estudio, hay una cantidad bastante importante de estudios de ACV realizados.

A nivel autonómico asturiano no se han encontrado estudios de ACV al respecto, pero sí en quesos y productos lácteos en Galicia. En estudios diseñados para explotaciones de gran tamaño, se observó que la categoría ambiental más afectada era el cambio climático, y no la eutrofización, debido a que este suero era utilizado para la elaboración de otros productos. Las principales contribuciones a la categoría de cambio climático correspondieron al transporte, la alimentación del ganado y el consumo de electricidad, aunque este último aspecto depende mucho de la época del año que se trate (Hospido et al., 2002).

Otros estudios realizados en Galicia en instalaciones de menor tamaño demuestran que la eutrofización es el principal impacto ambiental correspondiente a la elaboración de queso con DOP San Simón, considerando como principal punto conflictivo en este impacto el tratamiento de aguas negras y del suero. En este estudio se ofrece como alternativa para reducir este impacto desecar el suero y venderlo en forma de polvo a otras industrias que lo puedan utilizar, debido a su alto contenido en nutrientes. Además, se observa el consumo de electricidad y en combustibles como causas de impacto ambiental, pero a menor escala (González-García et al., 2013b).

También a nivel europeo existen múltiples estudios de ACV relacionados con la industria láctea. Por ejemplo, estudios realizados en Dinamarca afirmaron que las principales cargas ambientales que se generan en la producción de quesos vienen debidas a la obtención de la leche de las granjas, más que del proceso de elaboración del queso en sí mismo (Nielsen et al., 2003). Estos estudios destacan como un impacto ambiental importante el calentamiento global, debido al metano emitido por las vacas, óxidos de nitrógeno generados por residuos de cosecha y el manejo de abonos (Dalgaard y Halberg, 2004; Casey y Holden, 2003).

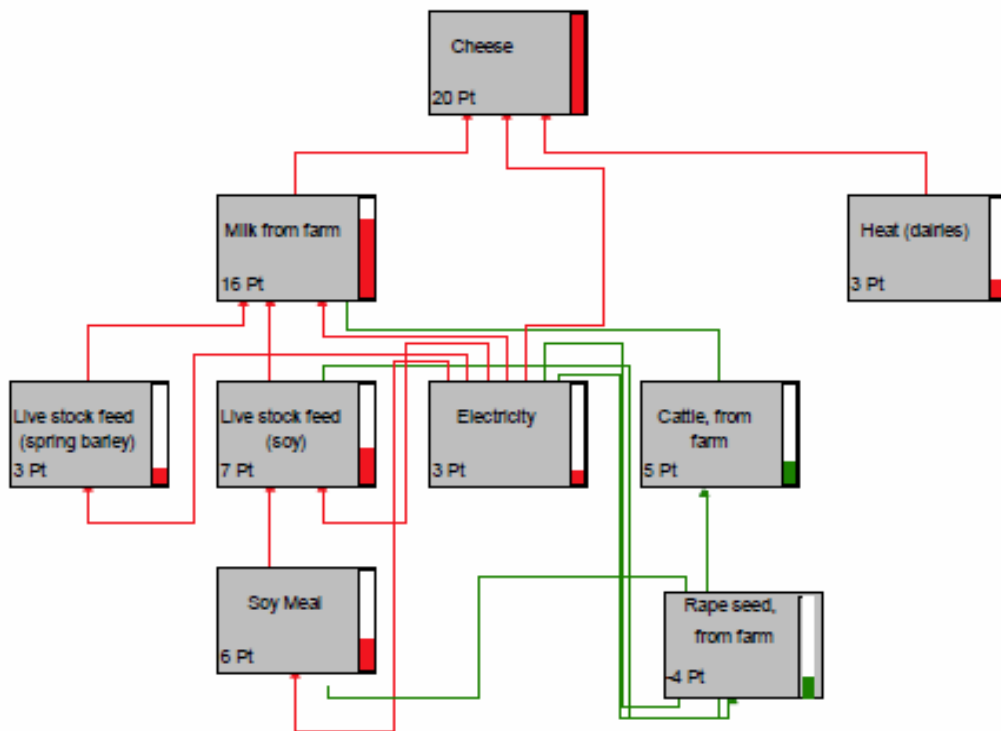


Figura 4-4: Diagrama de bloques que indica el impacto ambiental acumulado en una planta de elaboración de queso (Nielsen et al., 2003)

También fuera de Europa se han realizado estudios de ACV referentes a la producción de queso. Por ejemplo, estudios de Estados Unidos hacen referencia a la importancia que presenta la eutrofización como impacto ambiental en la producción de quesos, debido principalmente a la liberación del suero en forma de aguas negras, y considera imprescindible buscar métodos de producción según los cuales se pueda reducir esta liberación de suero al medio ambiente. Por otra parte, en este estudio se destaca también la importancia que presenta el cambio climático como impacto ambiental, aunque en menor medida. Este impacto vendría causado principalmente por el transporte de materias primas y productos y por el consumo de combustibles fósiles (Kim et al., 2013).

De la misma manera, otros estudios anteriores destacan la importancia de las emisiones de sustancias nitrogenadas y fosforadas en las industrias lácteas, con el consiguiente riesgo de eutrofización; debido principalmente a la liberación del suero y al uso de fertilizantes (Katajajuuri et al., 2004; Ledgard et al., 2001).

A su vez, como ya se ha indicado, se pueden realizar estudios de huella de carbono a partir de los datos obtenidos en estudios de ACV. Así, estudios acerca de huella de carbono referidos a industria láctea en Cataluña muestran que la producción de leche cruda y los ingredientes lácteos empleados, en este caso para la fabricación de yogur, son los principales factores que influyen en la categoría de emisiones de gases de efecto invernadero, suponiendo entre el 80% y el 96% del CO₂ equivalente emitido durante su ciclo de vida. Cuando se excluye el impacto de la leche del estudio, se observó que los siguientes factores en importancia en la categoría de emisiones de gases de efecto invernadero fueron el consumo de energía y la fabricación de los materiales de envasado, también muy importantes en la categoría de ecotoxicidad y acidificación del agua dulce. Asimismo, es destacable el elevado consumo de agua que se realiza en este tipo de industrias, especialmente debido a los procesos de limpieza (CIP) de las instalaciones (Vasiliaki et al., 2016).

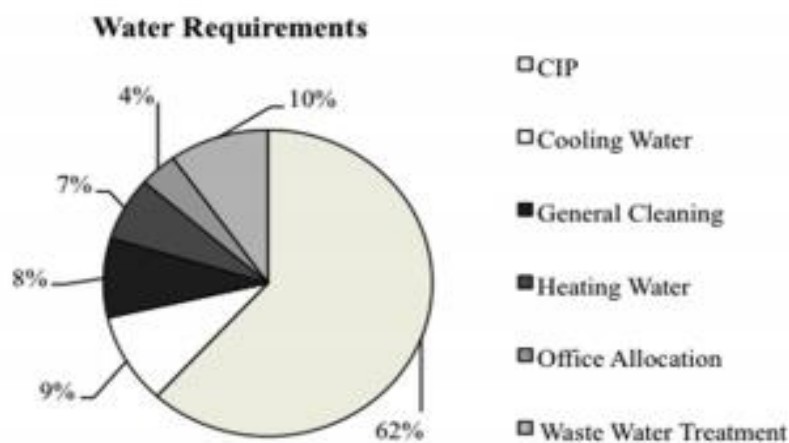


Figura 4-5: Distribución gráfica del uso de agua durante la producción de yogur (Vasiliaki et al., 2016)

Se han realizado trabajos que calculan la huella de carbono en prácticamente todos los sectores alimentarios. Así pues, hay ejemplos de estudios que comparan los impactos que generan los productos de origen animal y vegetal. En todos ellos se llegó a la conclusión de que los productos de origen animal presentan una mayor huella de carbono que los productos vegetales. Dentro de los productos animales, se destacan la ternera y el cordero como mayores fuentes de emisión de gases de efecto invernadero; mientras que el rábano era el producto vegetal estudiado con menores emisiones de estos gases (Xu y Lan, 2016).

5. Descripción de la quesería tradicional asturiana “Ca Llechi”

Este estudio de ACV se llevó a cabo gracias a la colaboración de la quesería tradicional asturiana “Ca Llechi”, situada en la localidad asturiana de Moruxones, Pintueles, en el concejo de Piloña, en la región oriental del Principado de Asturias.



Figura 5-1: Logo de marca de la quesería "Ca Llechi".

La quesería tiene una superficie total de unos 200 m² en una sola nave. Su superficie incluye las siguientes salas (entre paréntesis, los números indican la ubicación dentro de la planta; véase Figura 5-2):

- **Vestuario** (1): Superficie de 8,1 m².
- **Sala de etiquetado y laboratorio** (2): Superficie de 8,3 m².
- **Oficina** (3): Superficie de 13 m².
- **Cámara frigorífica** (4): Superficie de 8,6 m².
- **Sala de elaboración** (5): En ella se realizan la mayoría de las etapas de elaboración de queso desde coagulación hasta salado. Superficie de 43,6 m², es la sala más grande.
- **Cámara de reposo** (6): Superficie de 8,2 m².
- **Cámara de maduración** (7): Superficie de 17,4 m².
- **Sala de máquinas** (8): En esta sala se encuentra incluida la caldera (9). Superficie de 12,6 m².
- **Sala de recepción de leche** (11): En ella se incluye un tanque de frío (10) donde se almacena la leche hasta su posterior utilización para elaborar el queso. Superficie de 13,1 m².

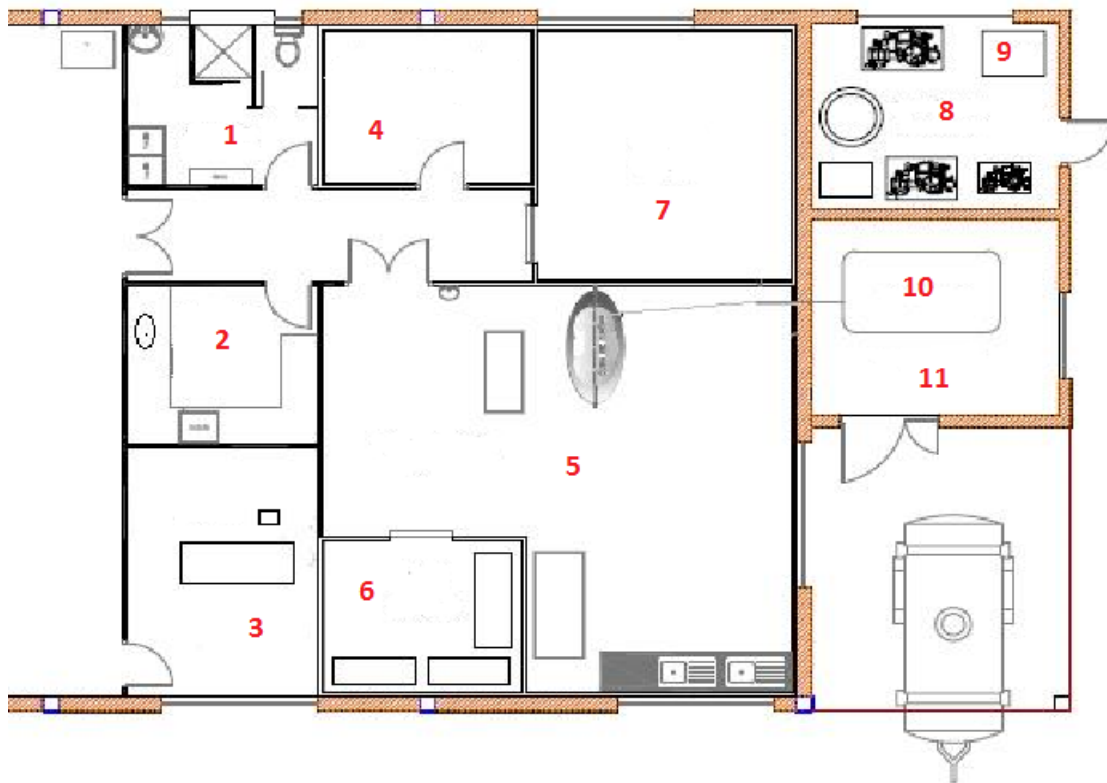


Figura 5-2: Plano de la planta de la quesería "Ca Llechi".

Esta quesería comienza su funcionamiento en el año 2012 empleando para la elaboración de sus quesos exclusivamente de leche de vaca, obtenida del mismo concejo de Piloña. Su producción anual fue de 4770 kg en el año 2016.

La mayor parte de su producción se corresponde con la elaboración del queso "Franxón", desarrollado específicamente por esta quesería, el cual se trata de un queso de pasta blanda elaborado a partir de leche pasteurizada de vaca. El queso casín, que constituye el resto de su producción, presenta Denominación de Origen Protegida (DOP), y se trata de un queso graso, madurado, elaborado a partir de leche entera cruda de vaca, de coagulación enzimática y que se caracteriza por su sabor fuerte y un tanto picante, más intenso que el "Franxón". La producción de estos dos tipos de quesos supone la práctica totalidad de la producción anual de la empresa, distribuyéndose esta producción en, aproximadamente, un 70% de "Franxón" y un 30% de queso casín.



Figura 5-3: Queso "Franxón" elaborado por la quesería "Ca Llechi"



Figura 5-4: Queso casín con DOP de la quesería "Ca Llechi"

6. ACV de la quesería tradicional asturiana “Ca Llechi”

6.1. Definición de objetivos y alcance

El objetivo de este trabajo fin de máster consistió en determinar los diferentes impactos ambientales generados durante la actividad de todo un año que presenta una quesería tradicional asturiana (“Ca Llechi”), empleando para su determinación un Análisis de Ciclo de Vida (ACV) y, a partir de los resultados obtenidos, proponer posibles mejoras para reducir dichos impactos.

- **Función del sistema:** La función que presenta esta quesería a estudio es la producción de diferentes clases de quesos a partir de leche de vaca para su distribución y venta a diferentes comercios del Principado de Asturias.
- **Sistema a estudio:** Consta de todas las actividades relacionadas con la producción anual de los quesos producidos en la quesería a estudio, incluyendo materiales, recursos energéticos y transporte.
- **Unidad funcional:** La unidad funcional considerada para la realización de este ACV es la producción anual de quesos, del año 2016 (4770 kg).
- **Límites del sistema:** En este estudio se consideraron los consumos de las diferentes materias primas necesarias para la producción de queso (leche, sal...), los materiales de embalaje y los productos de limpieza. También se incluyen los consumos de los diferentes recursos energéticos como electricidad, pellets o gasoil. A su vez, también se tuvieron en cuenta los residuos que se generan derivados de la actividad productiva, como plásticos o materia orgánica, y, por supuesto, el suero, dado que se trata del principal subproducto que se genera durante la actividad quesera. No se consideraron los residuos generados por los clientes durante el consumo de dichos productos.

Estos límites del sistema a estudio se pueden observar de manera más clara en el siguiente gráfico:

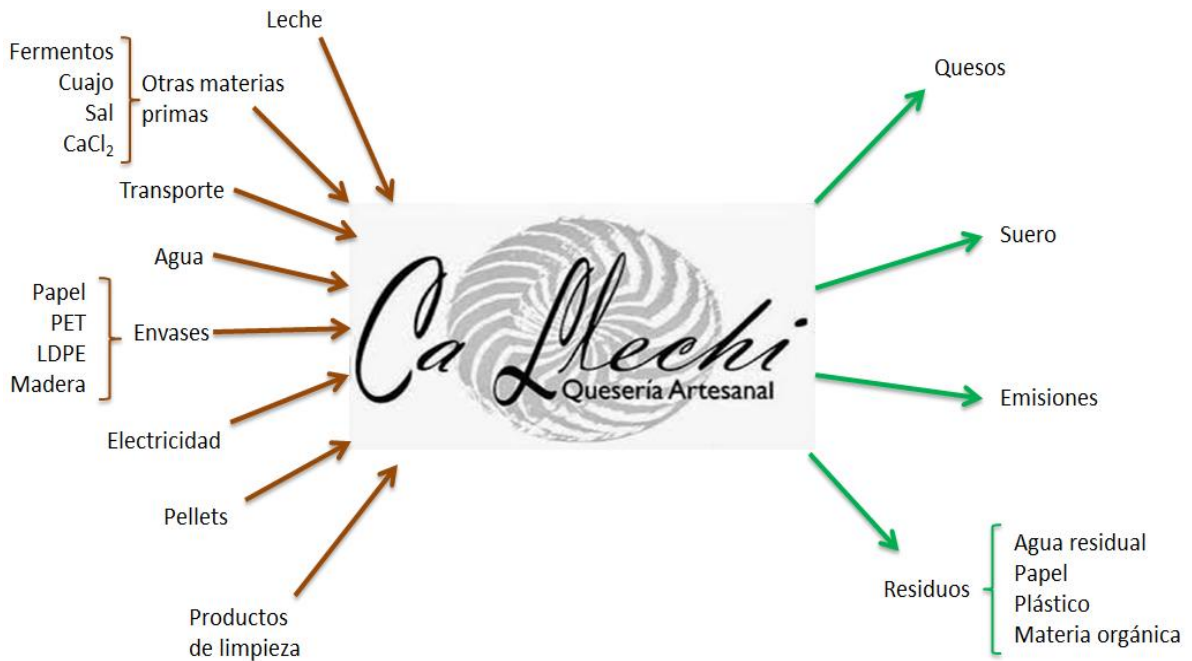


Figura 6-1: Límites del sistema a estudio

Para realizar la evaluación de los diferentes impactos ambientales se utilizó el programa informático SimaPRO v7, que incluye diferentes metodologías adecuadas para realizar estudios de ACV. En este trabajo, se ha empleado el método ReCiPe, ya que es el recomendado para realizar estudios de ACV del sector agroalimentario (Heinonen et al., 2016).

Esta metodología presenta las dos perspectivas ya citadas en el punto 3.1., los “midpoints” y los “endpoints”. Mediante los primeros se busca definir un perfil ambiental cuantificando los efectos intermedios que presentan las diferentes categorías de impacto ambiental; mientras que los segundos tratan de analizar los efectos últimos sobre el medio ambiente.

La perspectiva “midpoint” incluye las siguientes categorías de impacto ambiental:

- **Cambio climático:** Mide el potencial de calentamiento global. Se mide en kg de CO₂ equivalentes.
- **Reducción de la capa de ozono:** Analiza la destrucción de la capa de ozono estratosférico debido a las emisiones de gases. Se mide en kg de CFC-11 equivalentes.
- **Toxicidad humana, ecotoxicidad:** Indican la toxicidad de un determinado compuesto químico para los seres humanos y su acumulación en medios terrestres y acuáticos, de agua dulce o marina. Este impacto se divide en las 4 categorías citadas de manera independiente. Se miden estas 4 categorías en kg de 1,4-diclorobenceno equivalentes.
- **Formación de oxidantes fotoquímicos:** Considera la variación en la concentración media de ozono presente en Europa, debido a variaciones en la emisión de determinadas sustancias químicas que puedan dar lugar a estos oxidantes fotoquímicos. Se mide en kg de compuestos orgánicos volátiles (COVs) equivalentes.
- **Formación de materia particulada:** Se trata de la formación de materia sólida de tamaño de partícula inferior a 10 µm. Se mide en kg de materia particulada equivalentes.
- **Radiación ionizante:** Considera el nivel de exposición a radiación. Se mide en kg de uranio-235 equivalentes.
- **Acidificación terrestre:** Se trata de la acidificación del suelo debido a la sedimentación de contaminantes atmosféricos. Se mide en kg SO₂ equivalente.
- **Eutrofización:** Se trata de dos categorías de impacto separadas, la eutrofización de agua dulce y de agua marina. En estas dos categorías se analiza la persistencia, en los dos ambientes acuáticos citados, del fósforo y del nitrógeno. Se miden en kg de fósforo y nitrógeno.
- **Ocupación de suelo agrícola y urbano:** Se trata de dos categorías de impacto separadas que analiza la cantidad de suelo agrícola o urbano que se ocupa durante un cierto tiempo. Se mide en m²/año.
- **Transformación del suelo natural:** Se trata de la cantidad de suelo natural transformado y ocupado durante un cierto tiempo. Se mide en m²/año.

- **Agotamiento de agua potable:** Se trata de la cantidad de agua potable consumida. Se mide en m³ de agua consumida.
- **Agotamiento de minerales:** Se trata de la cantidad de componentes minerales consumidos. Se mide en kg de hierro equivalentes.
- **Agotamiento de combustibles fósiles:** Considera la cantidad de combustibles fósiles consumidos, en base a su poder calorífico. Se mide en kg de petróleo equivalentes (1 kg de petróleo equivalente = 42 MJ).

A su vez, la perspectiva “endpoint” también analiza la gran mayoría de las categorías de impacto ambiental anteriormente descritas (cambio climático, reducción de la capa de ozono, toxicidad humana, ecotoxicidad, formación de oxidantes fotoquímicos y de materia particulada, radiación ionizante, acidificación terrestre, eutrofización del agua dulce, ocupación de suelo agrícola y urbano, transformación del suelo natural y agotamiento de minerales y de combustibles fósiles), pero además en su formato normalizado éstas se estudian agrupadas en las tres categorías siguientes:

- **Daño a la salud humana:** Hace referencia al efecto que tienen los diferentes impactos ambientales anteriores sobre la salud humana, expresado según el número de años perdidos más el número de años vividos con discapacidad debido a estos impactos. Se mide en años.
- **Daño a los ecosistemas:** Se refiere al efecto que generan estos impactos ambientales sobre la pérdida de especies animales y vegetales en un determinado área y tiempo. Se mide en años.
- **Daño a la disponibilidad de recursos:** Indica el sobre coste que presentarán los recursos futuros, en un tiempo ilimitado, debido al consumo de los recursos actuales durante el ciclo de vida. Se mide en dólares.

En lo referente a la calidad de los datos con los que se ha trabajado para la realización de este estudio de ACV, la mayoría de los datos utilizados para la elaboración del inventario son datos reales facilitados por los responsables de la empresa “Ca Llechi”, relacionados con la producción del año 2016.

Para estimar los impactos ambientales derivados de la producción de materias primas, productos evitados y gestión de residuos, se ha utilizado la información disponible en diversas bases de datos. En el caso particular de la producción de leche de vaca, principal materia prima en la elaboración de quesos, se emplearon los datos obtenidos en un estudio de ACV sobre producción de leche en una instalación asturiana realizado anteriormente en la Universidad de Oviedo (datos pendientes de publicación).

Otra serie de aproximaciones empleadas para este estudio de ACV son las que se citan a continuación:

- No se han incluido para el análisis los consumos de fermentos y cuajo, dado que la cantidad inventariada era muy baja ($< 0.02\%$ de las materias primas empleadas).
- En el caso de los productos de limpieza, cuando no se indicaba la composición de los mismos, se supuso que la totalidad del volumen de producto empleado se correspondería con el componente mayoritario. Esto se especificará en el apartado del inventario correspondiente.
- Los datos de cantidades de materiales de empaquetado y residuos generados se proporcionaron en unidades empleadas y desechadas, respectivamente. Por tanto, se introdujeron en el programa SimaPRO en unidades de masa en base a aproximaciones que se detallarán en el apartado siguiente.
- La energía obtenida a partir de la combustión de los pellets se determinó a partir del poder calorífico medio de los mismos y de la eficacia media que presentan las calderas de pellets comerciales (90%).
- Se considera que todo el transporte de los quesos producidos viene realizado por la propia empresa “Ca Llechi” mediante su furgoneta de empresa.
- Se considera que todos los envases de plástico fueron reciclados, mientras que el resto de residuos sólidos se consideraron asimilables a residuos sólidos urbanos.

6.2. Análisis de inventario

En este apartado se incluyen todos los datos correspondientes a entradas y salidas que se produjeron durante la producción anual de quesos en el año 2016 en la quesería “Ca Llechi”. Las bases de datos empleadas para la implementación de los datos inventariados en la realización de este estudio de ACV fueron EcoInvent, LCA Food y Agri-footprint, empleando para ello el software SimaPRO.

6.2.1. Entradas

❖ Leche

El consumo de leche total que presentó la quesería “Ca Llechi” durante su producción de quesos del año 2016 ascendió a **44589 L**. La entrada seleccionada para considerar los impactos ambientales derivados de la producción de esta materia prima ha sido un estudio de ACV realizado con el mismo software, relativos a la producción de leche en una explotación vacuna asturiana (datos pendientes de publicación), lo cual concuerda con el origen de la leche empleada por la quesería a estudio.

❖ Otras materias primas

En este apartado se incluyen los consumos de fermentos, cuajo, sal y CaCl_2 durante la elaboración anual de quesos. Estos ascendían a:

- Fermentos: **1,456 kg**.
- Cuajo: **10,208 L**.
- Sal: **65 kg**.
- CaCl_2 anhidro: **3,3 kg**.

Como ya se indicó, los datos de fermentos y cuajo no fueron incluidos para la realización del presente estudio debido a su pequeña cantidad respecto de la cantidad total de materias primas utilizadas ($< 0,02\%$). La sal (NaCl) y el cloruro cálcico anhidro se introdujeron en las cantidades descritas a partir de los datos obtenidos de la base de datos LCA food.

El cloruro de calcio ha sido considerado en este inventario, a pesar de encontrarse también en muy bajas cantidades, ya que al ser un producto químico obtenido a nivel industrial, se consideró que podría suponer un mayor impacto ambiental que los productos no considerados, fermento y cuajo, los cuales presentan un origen biológico.

❖ Transporte

El subsistema “transporte” hace referencia a la furgoneta empleada por la empresa para realizar los repartos de los quesos producidos, el transporte de la leche desde la granja de origen hasta la quesería y el transporte del suero generado como subproducto hasta la ganadería porcina donde se aprovecha como alimento para los animales. Se mide en función de las toneladas por kilómetro (tkm) e incluye el consumo de gasoil, por lo que este consumo no se incluye como subsistema separado, dado que el gasoil solo se empleó para este fin.

En el caso del transporte de los quesos, las distancias recorridas se dividieron en los trayectos desde el lugar de elaboración de los quesos, Moruxones (Piloña), hasta Priede, a 19,6 km de distancia; y Coya, a 8,35 km; los principales puntos de distribución de sus productos. Así pues, dado que se realizaron un total de 74 viajes hasta Priede y 26 viajes hasta Coya en todo el año 2016, el número total de kilómetros recorridos durante todo el año viene calculado en la siguiente expresión:

$$\left(74 \text{ viajes} \cdot \frac{19,6 \text{ km}}{\text{viaje}} + 26 \text{ viajes} \cdot \frac{8,35 \text{ km}}{\text{viaje}} \right) \cdot 2 \text{ (ida y vuelta)} = 3335 \text{ km}$$

Para expresar este kilometraje en función de las toneladas transportadas, lo que se hizo fue expresar estos kilómetros totales multiplicando por la cantidad de queso producida, en toneladas (4,77 toneladas), y dividiendo entre el número de viajes realizados (100). Así se obtuvo el valor final que se introdujo en el software, de **159,1 tkm**.

En el caso del transporte de la leche empleada y del suero producido como subproducto en la elaboración de los quesos, los trayectos eran de 8 y 10 km respectivamente (solo trayectos de ida). Para el cálculo de las toneladas por kilómetro se realizaron las siguientes expresiones:

- **Leche:** $44589 L \cdot \frac{1,03 kg}{L} \cdot 8 km \cdot 2 (ida y vuelta) \cdot \frac{1 t}{1000 kg} = 734,8 tkm$
- **Suero:** $36000 L \cdot \frac{1,022 kg}{L} \cdot 10 km \cdot 2 (ida y vuelta) \cdot \frac{1 t}{1000 kg} = 735,8 tkm$

Por tanto, la cantidad total de toneladas por kilómetro en función de los tres transportes considerados fue de **1629,7 tkm**.

La entrada seleccionada en la base de datos para este subsistema es la denominada “Delivery van < 3,5 t”, obtenida de la base de datos Agri-footprint. Se consideró esta entrada porque hace referencia a una furgoneta de menos de 3,5 toneladas, lo cual concuerda con la furgoneta que posee la quesería para el reparto del queso.

❖ Agua

Este subsistema incluye el consumo de agua empleado tanto para los procesos de elaboración de queso como, principalmente, para la limpieza de los aparatos e instalaciones. Así, el consumo de agua correspondiente a la quesería a estudio fue de **345 m³** durante la producción del año 2016. Este era un agua correspondiente de la red municipal, y así queda reflejada en la entrada seleccionada en el programa SimaPRO (“Tap water”), obtenida de la base de datos Agri-footprint.

❖ Envases

En lo que respecta al material de empaquetado, se empleó papel, plástico y madera. Los datos fueron suministrados en número de unidades empleadas, por lo que se tuvieron que transformar en unidades de masa con el fin de poder introducir las en las bases de datos.

El papel consumido fue un total de 4500 unidades de papel de tamaño 210 x 210 mm y de 900 unidades de tamaño 245 x 245 mm. Según los datos obtenidos de las casas comerciales el peso medio de una unidad de papel es de unos 5 gramos, por lo que, multiplicando este valor de masa por las 5400 unidades empleadas se obtuvo que el consumo de papel alcanzó los **27 kg**. Todo este papel se supone que se empleó en el proceso de embalaje, por lo que no se incluye como residuo.

En lo que respecta al plástico, cabe diferenciar entre las bolsas de plástico, elaboradas en polietileno de baja densidad (LDPE), y las botellas de plástico en las cuales se encuentran los productos de limpieza, formadas principalmente por polietilentereftalato (PET).

En total, se emplearon 90 bolsas de tamaño 45x45 (masa = 3,65 kg/ 250 bolsas) y 1400 bolsas de tamaño 15x15 (masa = 1,60 kg/ 500 bolsas). Así pues, realizando el siguiente cálculo, se obtuvo que la masa de LDPE empleada por la quesería fue la siguiente:

$$1400 \text{ bolsas (15x30)} \cdot \frac{1,60 \text{ kg}}{500 \text{ bolsas}} + 90 \text{ bolsas (45x45)} \cdot \frac{3,65 \text{ kg}}{250 \text{ bolsas}} = \mathbf{5,80 \text{ kg}}$$

Respecto al PET consumido, se emplearon un total de 16 botellas de 1 L (50 g por botella), 50 botes de 30 mL (5 gramos la unidad), 5 garrafas de 40 L (960 g por garrafa) y 2 garrafas de 20 L (600 g la garrafa). Sumando todos estos valores, de manera análoga a la expresión anterior, se obtiene que el valor aproximado de PET consumido es de **8,25 kg**.

También se empleó madera de pino como envase para algunos de los quesos realizados. Para ello se consumieron un total de 4500 unidades de estos envases de madera, que presentan un peso de 16 gramos por unidad, por lo que la cantidad de madera de pino empleada fue de **72 kg**.

Para estimar el impacto ambiental que acarrea el uso de estos materiales, se empleó la base de datos EcoInvent.

❖ **Electricidad**

El consumo de electricidad que presentó la quesería durante el año 2016 ascendió a **13864 kW/h**. Este aspecto se introdujo en el programa SimaPRO a partir de la entrada “Electricity, low voltaje {ES} | market for | Alloc Def, S”, a partir de la base de datos EcoInvent.

❖ **Pellets**

Los pellets fueron empleados por la quesería como combustible para la. Su consumo durante el año 2016 fue de **9240 kg**. Dado que no hay ninguna entrada disponible en las bases de datos empleadas que haga referencia a dicho producto, este subsistema se introdujo considerando la principal materia que forma parte de su composición, el serrín. Este serrín se introduce en el sistema informático como serrín húmedo de madera blanda (“wet sawdust of softbean”, en la entrada de la base de datos Agri-footprint).

De esta manera, se introdujo en el programa SimaPRO la cantidad de **6006 kg** de serrín húmedo, puesto que se considera que al menos un 65% de la composición de los pellets estaría formado por serrín húmedo (Pelletsolucion).

❖ **Productos de limpieza**

Este subsistema incluye todos los productos de limpieza empleados en la higienización de las instalaciones y los equipos presentes en la planta donde se produjeron los quesos de la quesería a estudio. En concreto, se utilizaron los siguientes productos de limpieza:

- Lejía: 40 L.
- Clorado para CIP: Producto líquido formado en su mayoría por hipoclorito sódico (NaClO) al 20% e hidróxido sódico (NaOH) al 12%. 128 L.
- Ácido para CIP: Disolución ácida formada mayoritariamente por ácido fosfórico (H₃PO₄) en concentración superior al 30 %. 72 L.
- Polvo clorado + hidróxido sódico: Detergente de carácter básico formado en su gran mayoría por hidróxido sódico y diferentes sales de cloro. 20 kg.
- Peróxido + ácido acético: Disolución ácida constituida por peróxido de hidrógeno (H₂O₂) al 25% y ácido acético al 8%. 15 L.

Estos productos comerciales no se encuentran disponibles en el software empleado para la realización del ACV, por lo que se ha optado por considerar los compuestos químicos mayoritarios que los formaban. Sin embargo los fabricantes no proporcionan las cantidades concretas con las que se elaboran dichos productos de limpieza, así que se tuvieron que realizar aproximaciones. Estas aproximaciones se realizaron “al alza”, con el fin de considerar el máximo efecto ambiental que podían presentar. Así pues, se realizaron las siguientes aproximaciones:

- **NaClO:** A partir de la lejía, la cantidad de NaClO presente en la lejía era de aproximadamente 60 g/L (SEFH, 2017), por lo que se determinó que la masa de NaClO fue de 2,4 kg. A partir del clorado para CIP, se supuso que el 20% de la disolución habría sido NaClO, por lo que la masa empleada fue de 25,6 kg. Así, el total de NaClO empleado fue de **28 kg**. Se obtuvo de la base de datos Agri-footprint.
- **NaOH:** Para su determinación se supuso que el polvo clorado (20 kg) fuese hidróxido sódico y se le añadió el 12% correspondiente al producto líquido clorado para CIP (15 kg). Esto hace un total de **35 kg** de NaOH empleado. Se obtuvo de la base de datos EcoInvent.
- **H₂O₂:** Este compuesto provenía únicamente del peróxido + ácido acético. Dado que se encontraba a una concentración del 25%, la cantidad introducida en el programa fue de **3,5 L**. Se obtuvo de la base de datos LCA Food.
- **Ácido acético:** Al igual que el anterior, este compuesto provenía del peróxido + ácido acético y, dado que se encontraba a una concentración del 8%, la cantidad introducida en el SimaPRO fue de **1,2 L**. Se obtuvo de la base de datos EcoInvent.
- **H₃PO₄:** Este compuesto se encontraba en una concentración mayor o igual al 30% en el ácido para CIP, por lo que se introdujo un valor de **22 kg** (> 30% de 72 kg) para este compuesto en la entrada correspondiente obtenida de la base de datos EcoInvent.

Además de estos productos de limpieza, en este subsistema también se incluyeron otros productos que, si bien no son productos de limpieza en sí, se emplean en diversas actividades de limpieza, y complementarias, llevadas a cabo en la instalación, como son las bobinas de papel secamanos y los guantes de nitrilo.

En lo que respecta a las bobinas de papel empleadas, se gastó un total de 8 rollos de 500 metros de celulosa de doble hoja. Estos rollos pesan, de media, unos 2,5 kg cada uno por lo que, el gasto total de rollos de celulosa de doble hoja fue de **20 kg**. Todo este papel se desecha tras su uso, por lo que estos 20 kg se incluirán dentro del subsistema de residuos.

El gasto en guantes de nitrilo ascendió a 600 guantes, que a un peso por unidad de 4,5 g supone que la cantidad total de guantes de nitrilo fue de **2,7 kg**. Al igual que ocurría con el caso de las bobinas de papel, estos guantes fueron desechados tras su uso junto con el resto de residuos sólidos urbanos.

6.2.2. Salidas

❖ Quesos

Los quesos son la principal salida que presenta este estudio de ACV, puesto que representa la referencia tomada para la definición de la unidad funcional empleada, la producción anual en 2016. La cantidad de quesos producida fue de **4770 kg**.

❖ Suero

El suero es, como ya se ha descrito anteriormente, el principal subproducto de las industrias de elaboración de quesos. En este caso, los encargados de la quesería ceden este suero de manera gratuita a una instalación de ganado porcino, la cual emplea este suero lácteo como alimento para sus animales, debido a su alto contenido en nutrientes. Debido a esto, no se puede indicar el suero en el software como una salida del sistema, puesto que no se está tratando de manera alguna.

De esta manera, el suero generado como subproducto en la elaboración del queso se considera, en este trabajo, como un producto evitado, puesto que se emplea en la alimentación de los cerdos de la granja porcina a la que se cede, evitando así que ésta tenga que comprar pienso, con la consiguiente disminución en los impactos perjudiciales de la quesería

El problema que presenta realizar esta suposición es que se necesita realizar una equivalencia entre la cantidad de lactosuero producida y la cantidad de pienso para cerdos que puede ser sustituida con este suero. Para ello, se partió del dato suministrado de suero producido (36000 L), de las concentraciones en proteínas que presentan este subproducto (9 g/L, valor intermedio obtenido de la Tabla 2-2) y el pienso para cerdos (90 g/kg, cantidad estándar). Así, mediante la siguiente expresión se pudo determinar la cantidad de pienso para cerdos que equivale a 36000 L de suero lácteo:

$$\frac{36000 \text{ L suero} \cdot 9 \frac{\text{g proteína}}{\text{L suero}}}{90 \frac{\text{g proteína}}{\text{kg pienso}}} = \mathbf{3600 \text{ kg pienso}}$$

De esta manera, se introdujo en el software del programa SimaPRO esta cantidad de 3600 kg de pienso en un nuevo subsistema, como producto evitado. El pienso escogido ha sido un pienso estándar con la siguiente composición (ULPGC):

- Maíz: 65%
- Soja: 17%
- Cebada: 10%
- Trigo: 3%
- Remolacha: 3%
- Girasol: 2%

Todas estas entradas fueron seleccionadas de la base de datos Agri-footprint.

❖ **Emissiones derivadas de pellets**

Los pellets fueron empleados por la quesería a estudio como combustible para la caldera, como ya hemos visto, y su consumo durante el año 2016 fue de 9240 kg. En este caso, se debe incluir la energía generada por los pellets como una salida del sistema, puesto que su uso implica unas determinadas emisiones de gases a la atmósfera, especialmente CO₂, pero también otros contaminantes como SO₂ y óxidos de nitrógeno, que deben ser tenidos en consideración tanto para el ACV como para el estudio de huella de carbono. Este aspecto se introdujo en el sistema con la entrada “Heat, central or small-scale, other than natural gas {ES} | heat production, wood pellet, at furnace 25 kW | Alloc Def, S”, de la base de datos EcoInvent.

De esta manera, para calcular la energía generada durante la combustión de los pellets se requiere conocer los datos del poder calorífico que presenta los pellets, 4319 kcal/kg (IDAE, 2014), y la eficiencia de la caldera que, dado que no se conocía el dato para la caldera utilizada, se empleó el dato de eficiencia más habitual en las calderas de este tipo, que es del 90% (Faro de Vigo, 2017). Así pues, empleando estos datos, se pudo determinar la energía generada durante la combustión de los pellets mediante la siguiente expresión:

$$9200 \text{ kg} \cdot \frac{4319 \text{ kcal}}{\text{kg}} \cdot 0,9 \cdot \frac{4,184 \text{ kJ}}{\text{kcal}} \cdot \frac{1 \text{ MJ}}{1000 \text{ kJ}} = \mathbf{149625 \text{ MJ}}$$

❖ **Residuos:** En este subsistema se incluyen:

▪ **Agua residual**

Para estimar la cantidad de agua residual generada, se ha considerado que toda el agua consumida se desechaba como agua residual, esto es, **345 m³**. Esta aproximación se considera bastante próxima a la realidad, ya que los quesos no tienen agua como ingrediente y el suero lácteo, como ya se ha explicado, no se vierte junto a las aguas residuales.

Esta agua se vierte al sistema de alcantarillado municipal del concejo de Piloña. Así, teniendo en cuenta las actividades que realiza esta empresa, se consideró que su composición sería similar a las que presentan las aguas residuales urbanas y, por tanto, se introdujo en el programa SimaPRO como agua de tratamiento procedente de residencia (“wastewater, from residence”), empleando para ello los datos de la base EcoInvent.

- **Residuos sólidos**

En el caso de los envases de plástico, se consideró a efectos de simplificación que todos los envases de plástico empleados se reciclaron, consideración bastante cercana a la realidad según los datos facilitados. Así, se introdujo como residuos plásticos los **8,25 kg** de botellas de PET consumidas, mientras que las bolsas de plástico empleadas se proporcionaron a los clientes, por lo que no se considerará un residuo generado por la empresa. Esta entrada fue seleccionada en la base de datos EcoInvent.

En el caso de los residuos sólidos urbanos (RSU), estos se corresponderían principalmente con guantes de nitrilo y papel secamanos, que fueron gestionados como RSU y, por tanto, destinados al vertedero central de Asturias para residuos no peligrosos. Así pues, en base a las cantidades anteriormente descritas en el subsistema “productos de limpieza”, se estimó esta cantidad en **22,7 kg**. Esta entrada fue seleccionada en la base de datos EcoInvent.

Como resumen de todo este inventario, en la Tabla 6-1 se muestra un resumen de todos estos datos, organizados según los subsistemas considerados al realizar este estudio.

Tabla 6-1: Datos de inventario para la quesería a estudio, expresados según la unidad funcional de 4770 kg de queso producido durante un año.

Subsistemas	
1. Leche (L)	44589
2. Agua (m³)	345
3. Electricidad (kW/h)	13864
4. Pellets (serrín húmedo, kg)	6006
5. Emisiones derivadas de pellets (MJ)	149625
6. Productos de limpieza	
a. NaClO (kg)	28
b. NaOH (kg)	35
c. H ₂ O ₂ (L)	3,5
d. Ácido acético (L)	1,2
e. H ₃ PO ₄ (kg)	22
f. Papel de celulosa (kg)	20
g. Guantes de nitrilo (kg)	2,7
7. Otras materias primas (kg)	
a. Sal	65
b. CaCl ₂	3,3
8. Material de empaquetado (kg)	
a. Papel	27
b. Bolsas de plástico (LDPE)	5,8
c. Botellas de plástico (PET)	8,25
d. Madera de pino	72
9. Transporte (tkm)	
a. Quesos	159,1
b. Leche	734,8
c. Suero	735,8
10. Residuos	
a. Agua residual (m ³)	345
b. Plásticos (reciclaje) (kg)	8,25
c. RSU (depósito en vertedero) (kg)	22,7
11. Producto evitado (pienso para cerdos) (kg)	3600

6.3. Evaluación de impactos

A partir de todos los datos recogidos en el inventario del proceso (apartado anterior), se realizó la evaluación de las diferentes categorías de impacto ambiental empleando para ello el método ReCiPe, tanto “midpoints” como “endpoints”. En este apartado se discutirán, por tanto, los resultados obtenidos.

Para el método ReCiPe midpoint, su etapa de **caracterización** permite obtener información acerca de las diferentes categorías de impacto, descritas anteriormente, de forma gráfica según se recoge en la Figura 6-2. En esta Figura se observa la influencia que presentan los diferentes subsistemas analizados (véase Tabla 6-1) con respecto de las categorías de impacto ambiental consideradas.

En este gráfico, las barras superiores al eje central indican impactos ambientales perjudiciales, mientras que las barras inferiores al eje central muestran aquellos subsistemas que no influyen en dicha categoría de impacto ambiental, sino que contrarrestan el efecto contaminante de los impactos perjudiciales. Como se puede observar, la producción de quesos genera una mayor cantidad de impactos ambientales de los que ayuda a eliminar, aspecto que cabía esperar.

Respecto a los diferentes subsistemas considerados, cabe destacar la gran contribución que supone la producción de **leche** utilizada como materia prima para la elaboración de quesos, representada en color verde oliva, en la gran mayoría de las categorías de impacto ambiental, siendo especialmente destacada su contribución en categorías como la ecotoxicidad terrestre (99,6%) y la transformación del suelo natural (99,0%), donde prácticamente es el único subsistema responsable del impacto ambiental de dichas categorías. Además, la leche influye en más del 75% en 8 de las 18 categorías a estudio (cambio climático, acidificación terrestre, eutrofización del agua dulce, eutrofización marina, formación de materia particulada, ecotoxicidad terrestre, ocupación de suelo urbano y transformación de suelo natural), esto es, casi la mitad de las categorías de impacto ambiental, por lo que se puede afirmar que la leche es el subsistema que más influye en el impacto ambiental, de manera global, de la quesería a estudio.

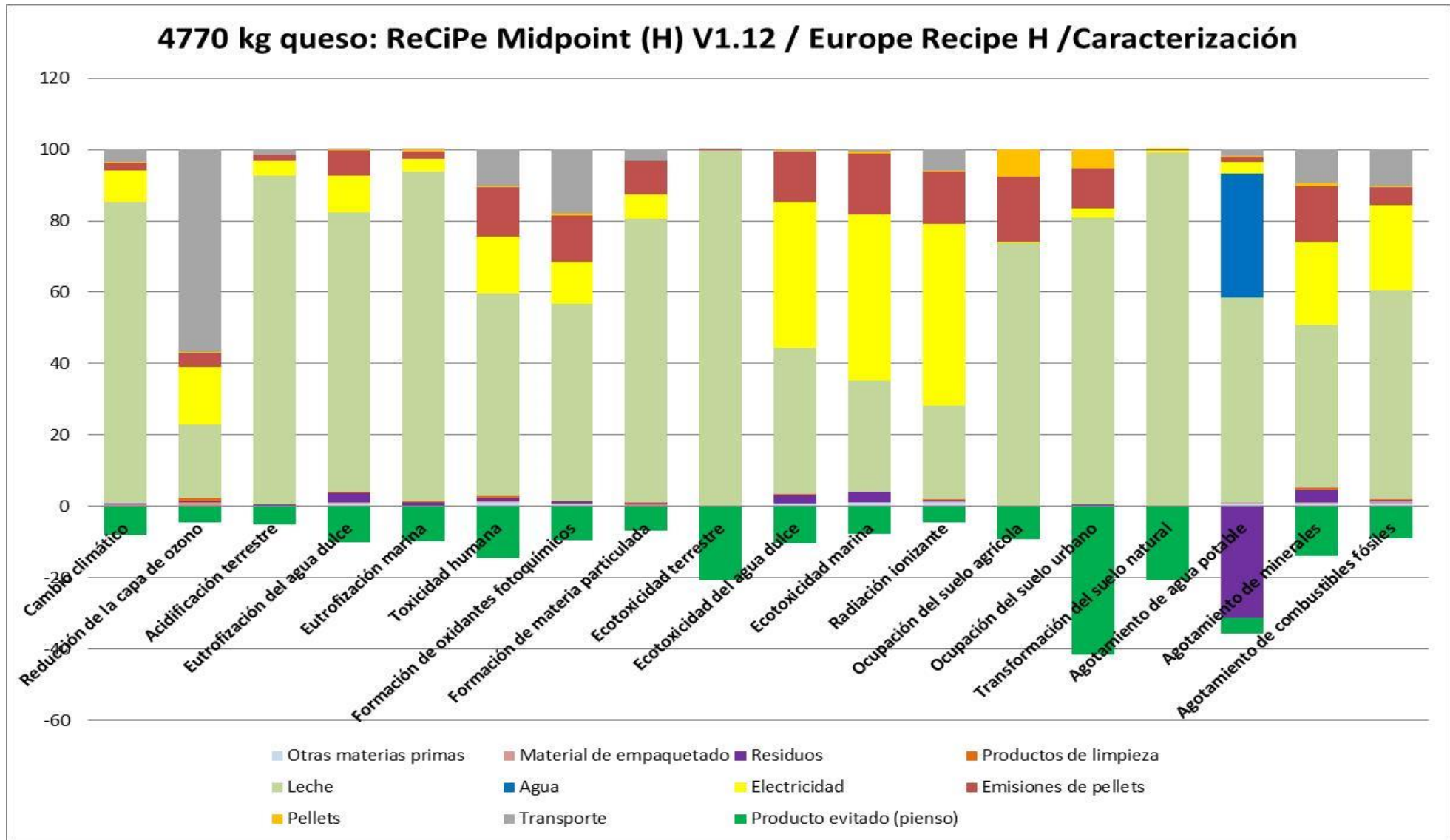


Figura 6-2: Caracterización de impactos ambientales asociados a la producción anual de quesos en la quesería tradicional asturiana "Ca Llechi" según el método ReCiPe midpoint.

A continuación de la leche, los siguientes subsistemas que destacan dentro de las diferentes categorías de impacto ambiental son dos subsistemas referidos al consumo energético, que son la **electricidad** (amarillo), las **emisiones de pellets** (rojo) y el **transporte** (gris). La electricidad presenta una especial relevancia en la categoría de radiación ionizante (51,1%), debido a la importancia que presenta en el mix energético español el empleo de energía nuclear, puesto que al emplear materiales radioactivos se genera esta radiación ionizante (MINETUR, 2008). También presenta gran importancia el consumo eléctrico en las categorías de ecotoxicidad marina (46,6%) y ecotoxicidad del agua dulce (41,0%).

En el caso de las emisiones debidas al consumo de pellets, estas presentan una influencia más uniforme y moderada que la que presenta la electricidad, pues solo en dos categorías, las emisiones debidas a los pellets superan el 15%, en la categoría de formación de oxidantes fotoquímicos (18,2%) y en agotamiento de minerales (15,7%). En el caso del transporte, su influencia es mucho más variable, dado que oscila desde categorías donde apenas influye o, directamente, no influye en absoluto, como es el caso de las categorías de ocupación de suelo urbano, ocupación de suelo agrícola y transformación de suelo natural, hasta categorías donde su impacto perjudicial supera el 10% e, incluso, en una categoría es el impacto más importante, en la reducción de la capa de ozono (56,7%).

Otros aspectos que presentan cierta importancia son el agua, representada en color azul, que solo se indica en una categoría pero en gran importancia, la de agotamiento de agua potable (34,8%) y el consumo de pellets, representado en color anaranjado, especialmente en las categorías de ocupación de suelo agrícola (7,5%) y urbano (5,4%).

Finalmente el resto de subsistemas presentan una menor importancia, puesto que la suma conjunta de todos ellos no alcanza el 5% del total de impactos perjudiciales en ninguna de las categorías a estudio, teniendo cierta contribución en alguna de ellas el material de empaquetado (rosa), los residuos (morado) y los productos de limpieza (naranja oscuro). El impacto del subsistema referente a otras materias primas (azul claro) se podría considerar, en base a los resultados obtenidos, prácticamente despreciable.

Respecto a los impactos ambientales beneficiosos, cabe destacar la esperable influencia del **producto evitado** (pienso para cerdos, color verde) en todas las categorías, dado que, como ya se ha explicado, el producto evitado implica que no se generen aquellos impactos que derivarían de su producción. Su influencia es especialmente importante en la categoría de ocupación del suelo urbano (-41,4%) y, en menor medida, en otras categorías como transformación del suelo natural (-20,7%), ecotoxicidad terrestre (-20,7%), toxicidad humana (-14,6%) y agotamiento de minerales (-13,9%).

También cabe destacar el impacto ambiental beneficioso que presenta el subsistema “residuos” en la categoría de agotamiento de agua potable (-31,1%). Esto se debe al hecho de que se considera que el agua residual, tras su tratamiento, se devuelve al medio natural, y al reciclaje de los envases de PET.

El método ReCiPe midpoint permite también realizar una etapa de **normalización** (Figura 6-3). Con esta etapa, se puede evaluar el mismo número de categorías que se analizaron en la etapa de caracterización, pero ya no se estudian en porcentaje, sino que los números se normalizan en base a una referencia común, de manera que se puede comparar entre las distintas categorías de impacto ambiental para poder determinar cuál es la categoría que presenta un mayor impacto ambiental.

Así, en base a lo que se puede observar en la Figura 6-3, la categoría de impacto ambiental que presenta una mayor importancia en este ACV es la correspondiente a la **transformación del suelo natural**, y dentro de esta categoría se observa que la leche es la causa primordial, casi única, de este impacto. También cabe destacar que el producto evitado permite que el impacto de esta categoría se reduzca en cierta medida ($\approx 15\%$, en relación al conjunto de los impactos ambientales perjudiciales), lo cual es un dato a destacar debido a la gran influencia de esta categoría.

El resto de categorías presentan una influencia bastante menos importante, según muestra la Figura 6-3, destacando dentro de este grupo las relacionadas con ecotoxicidad y eutrofización, especialmente marina. Resulta llamativo el caso del agotamiento del agua potable, puesto que una vez normalizados los resultados, esta categoría resulta prácticamente despreciable en relación al resto de categorías.

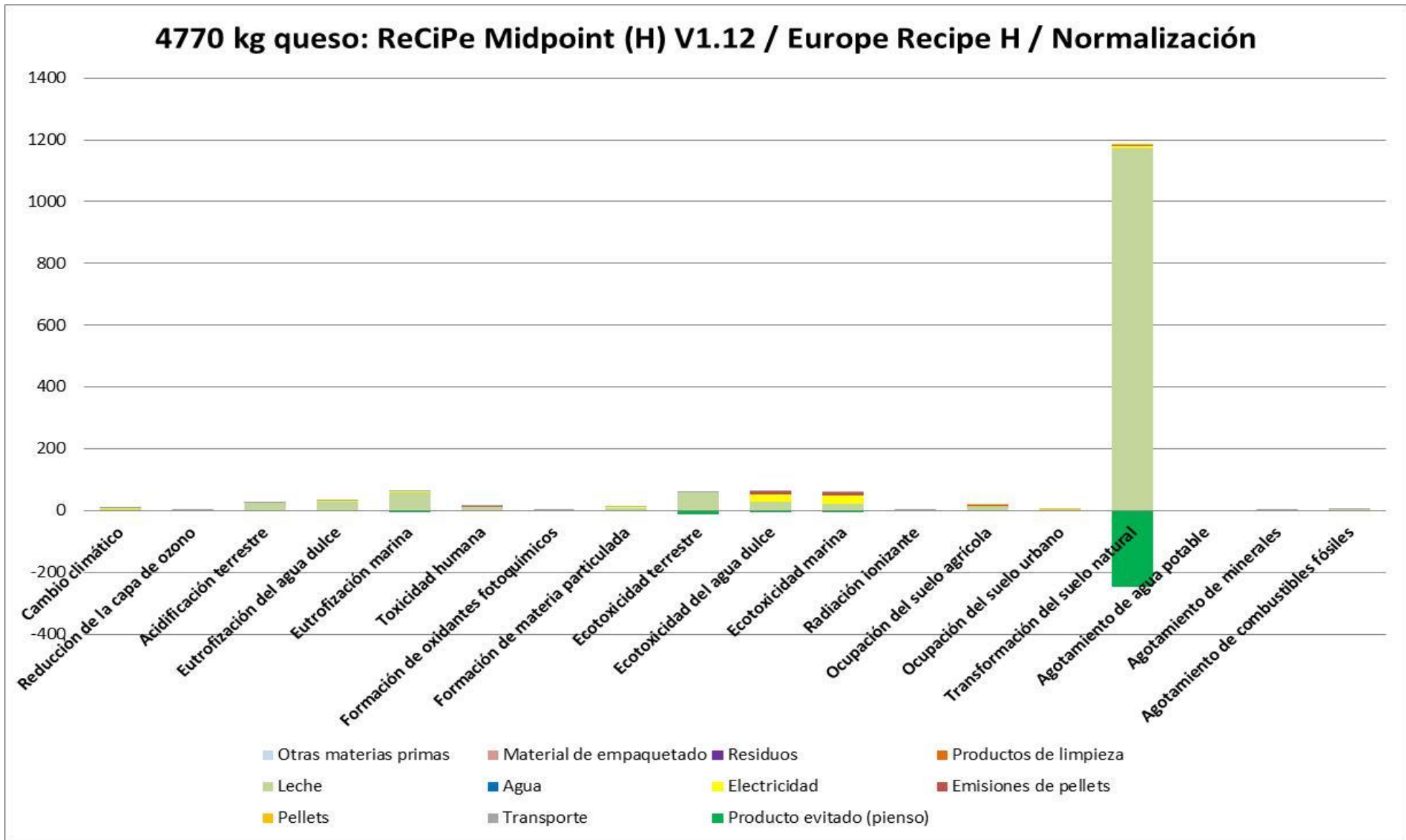


Figura 6-3: Normalización de impactos ambientales asociados a la producción anual de quesos en la quesería tradicional asturiana "Ca Llechi" según el método ReCiPe midpoint.

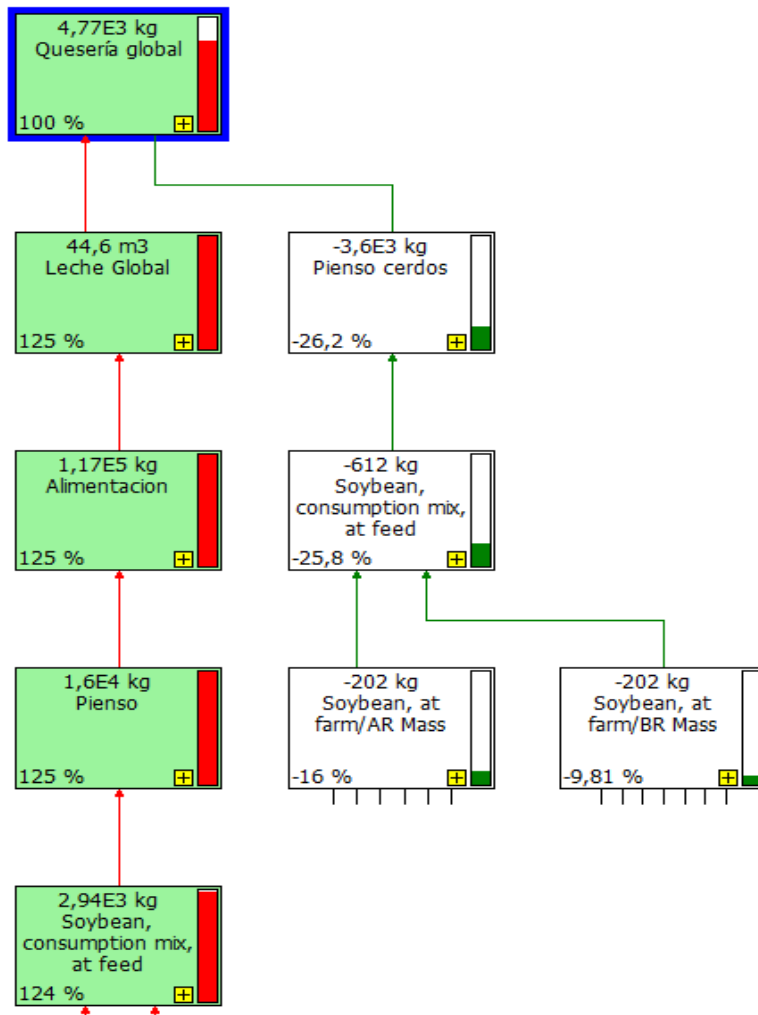


Figura 6-4: Diagrama de bloques y cargas ambientales para la quesería "Ca Llechi" según el método ReCiPe midpoint para la categoría de impacto ambiental "transformación del suelo natural". Valor de corte: 7,5%

En la Figura 6-4 se indica, claramente, que la causa que provoca el elevado impacto de la categoría de transformación del suelo natural es el subsistema "leche". Dentro de este subsistema, el pienso es la principal causa de este impacto, pues hay que tener en cuenta que para su producción se requieren grandes cantidades de terreno, además del uso de fertilizantes y abonos químicos que afectan al suelo. Dentro de los diferentes cultivos que se emplean en estos piensos, es muy destacable la influencia de la soja. Este impacto se debe a que para su producción se emplea una gran extensión de terreno, especialmente de países sudamericanos como Brasil (Mattson et al., 2000).

Por tanto, parece lógico concluir que limitando el uso de piensos para la alimentación de ganado vacuno que contengan harinas de soja se podría reducir de una manera muy relevante el impacto ambiental que supone la producción de leche y, por tanto, de toda la quesería.

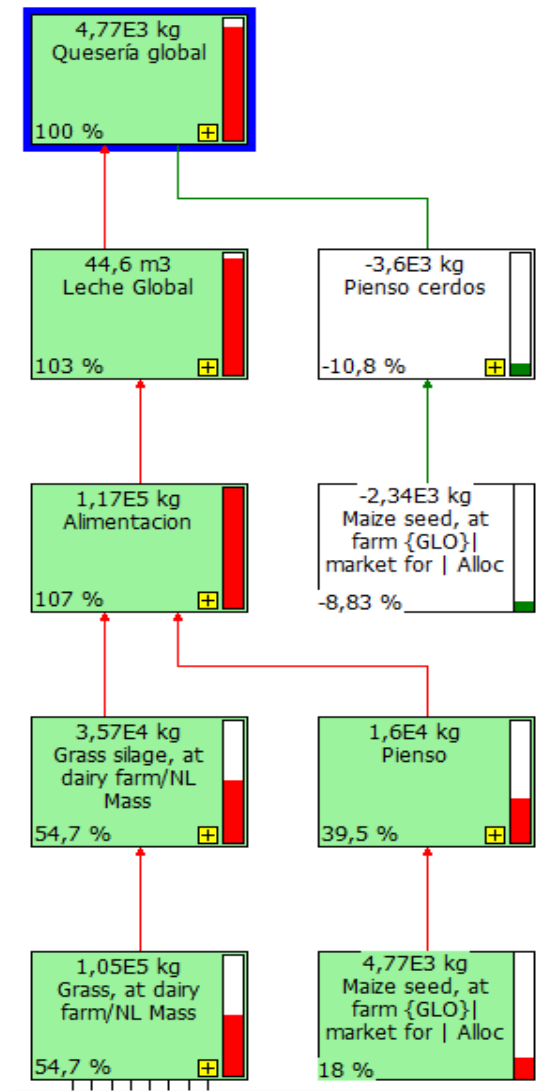


Figura 6-5: Diagrama de bloques y cargas ambientales para la quesería "Ca Llechi" según el método ReCiPe midpoint para la categoría de impacto ambiental "eutrofización marina". Valor de corte: 7,5%

La **eutrofización marina** es la segunda categoría de impacto ambiental que presenta una mayor importancia. En su correspondiente diagrama de bloques (Figura 6-5) se puede observar que apenas presenta diferencias con la categoría anterior y que es el subsistema “leche” (impacto perjudicial) y el producto evitado (impacto beneficioso) los principales responsables del impacto ambiental que presenta esta categoría.

En este caso, el forraje de la alimentación de las vacas presenta una mayor influencia que el pienso para que se genere eutrofización, y en este caso ya no es la soja el componente del pienso que más influye, sino el maíz.

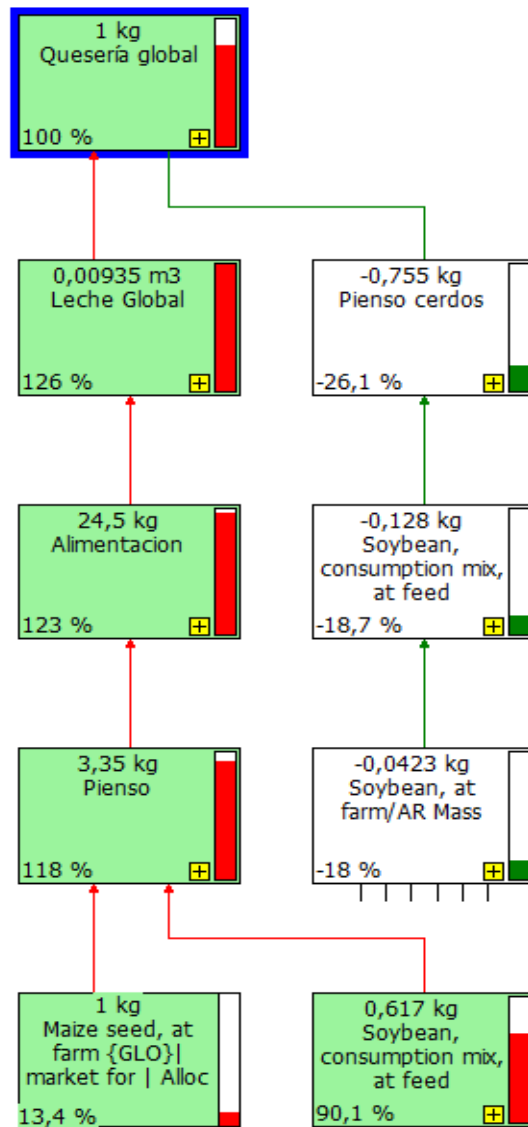


Figura 6-6: Diagrama de bloques y cargas ambientales para la quesería "Ca Llechi" según el método ReCiPe midpoint para la categoría de impacto ambiental "ecotoxicidad terrestre". Valor de corte: 7,5%

La **ecotoxicidad** terrestre (Figura 6-6), del agua dulce (Figura 6-7) y marina (Figura 6-8) son las siguientes categorías de impacto más afectadas, en dicho orden. En lo que respecta a la ecotoxicidad terrestre, nuevamente se observa el mismo patrón que se observaba para las dos categorías anteriormente descritas. Así, el subsistema “leche”, y más concretamente, el pienso, es el principal responsable del impacto ambiental perjudicial de esta categoría. En este caso, vuelve a ser la soja la principal causa de la ecotoxicidad terrestre, seguido por el maíz con mucha menor importancia.

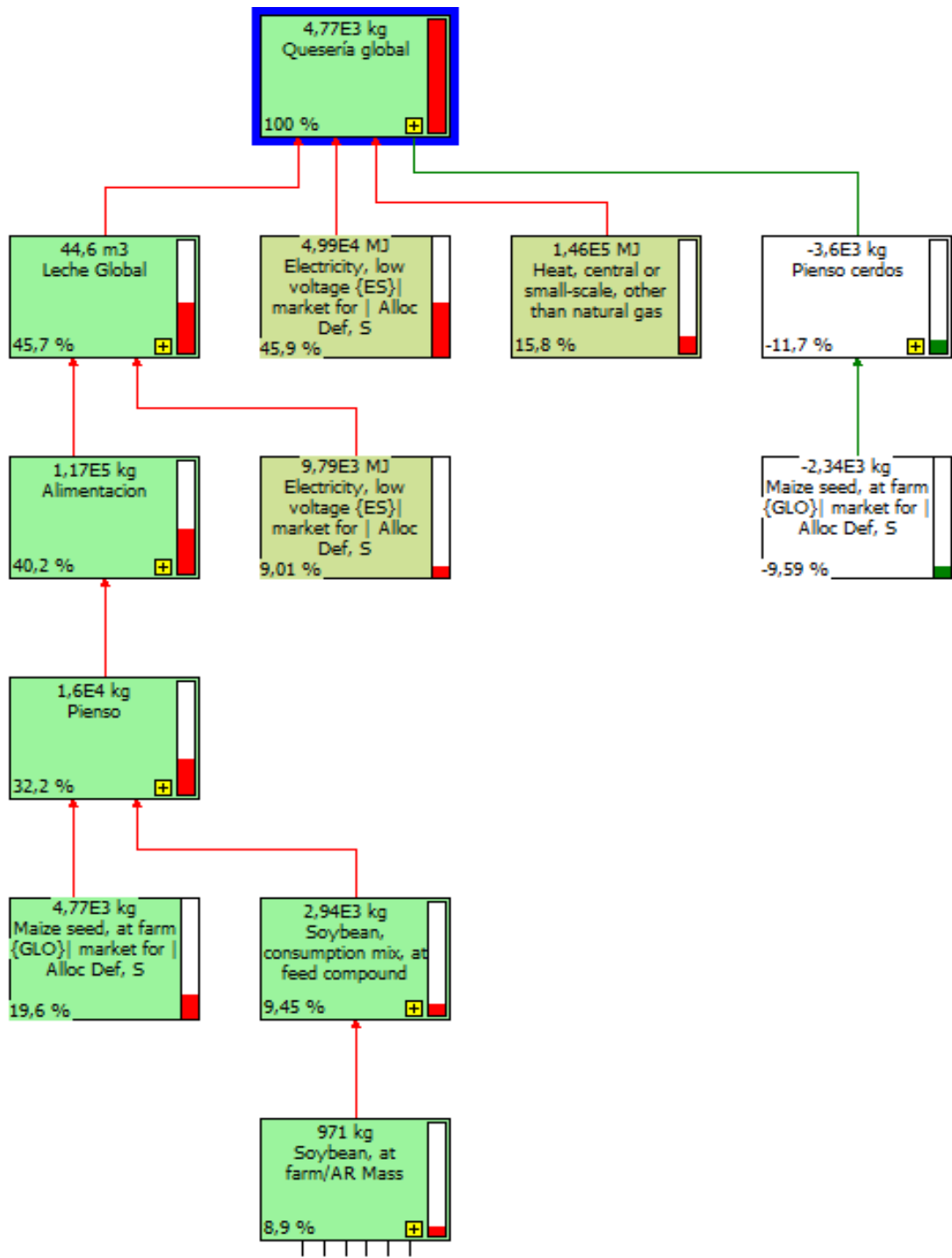


Figura 6-7: Diagrama de bloques y cargas ambientales para la quesería "Ca Llechi" según el método ReCiPe midpoint para la categoría de impacto ambiental "ecotoxicidad del agua dulce". Valor de corte: 7,5%

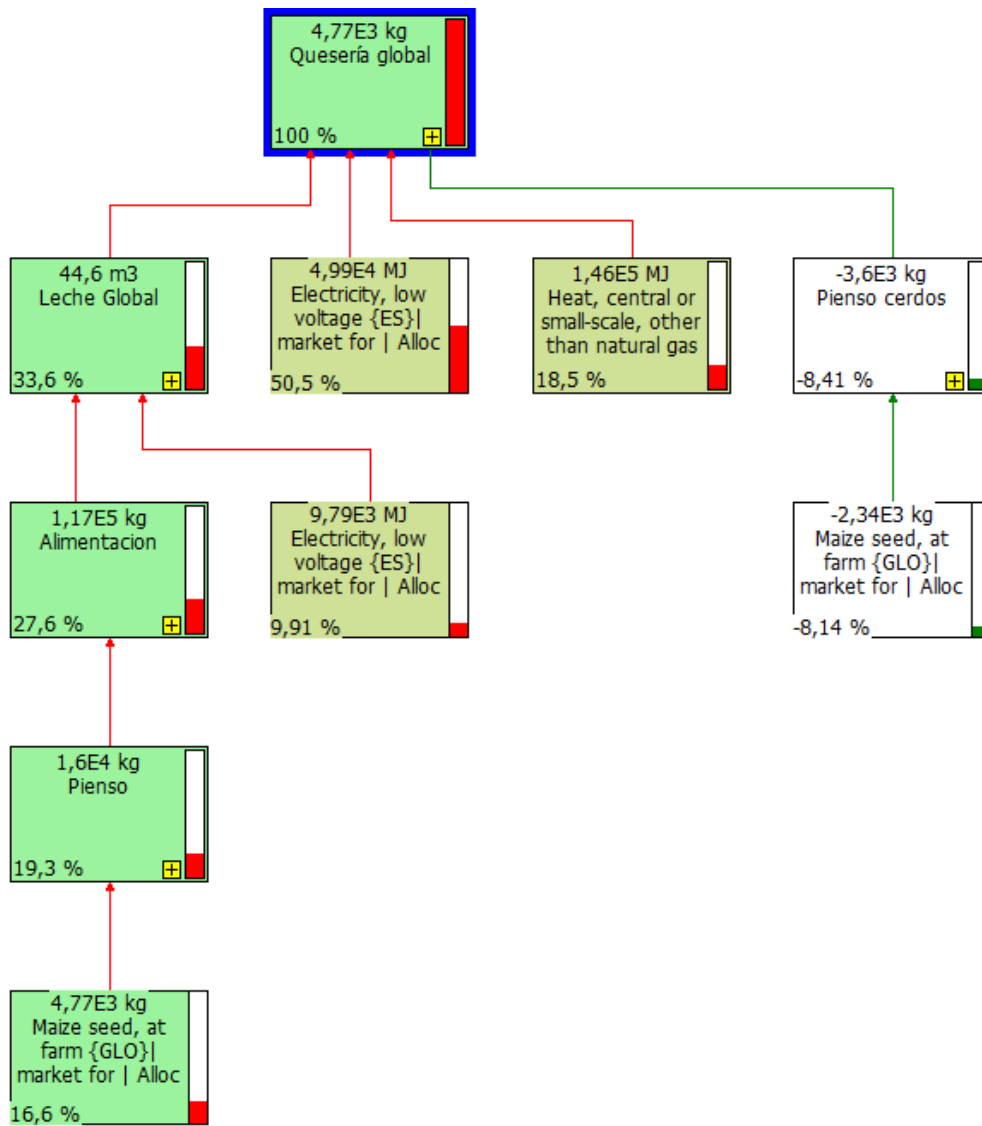


Figura 6-8: Diagrama de bloques y cargas ambientales para la quesería "Ca Llechi" según el método ReCiPe midpoint para la categoría de impacto ambiental "ecotoxicidad marina". Valor de corte: 7,5%

En el caso de las ecotoxicidades del agua dulce (Figura 6-7) y marina (Figura 6-8), sí que es destacable la influencia de la electricidad y de los pellets en dichas categorías, aunque nuevamente presenta una gran relevancia la alimentación animal en estas categorías, tanto para la producción de la leche a emplear en la elaboración de los quesos como en el producto evitado, como impacto beneficioso.

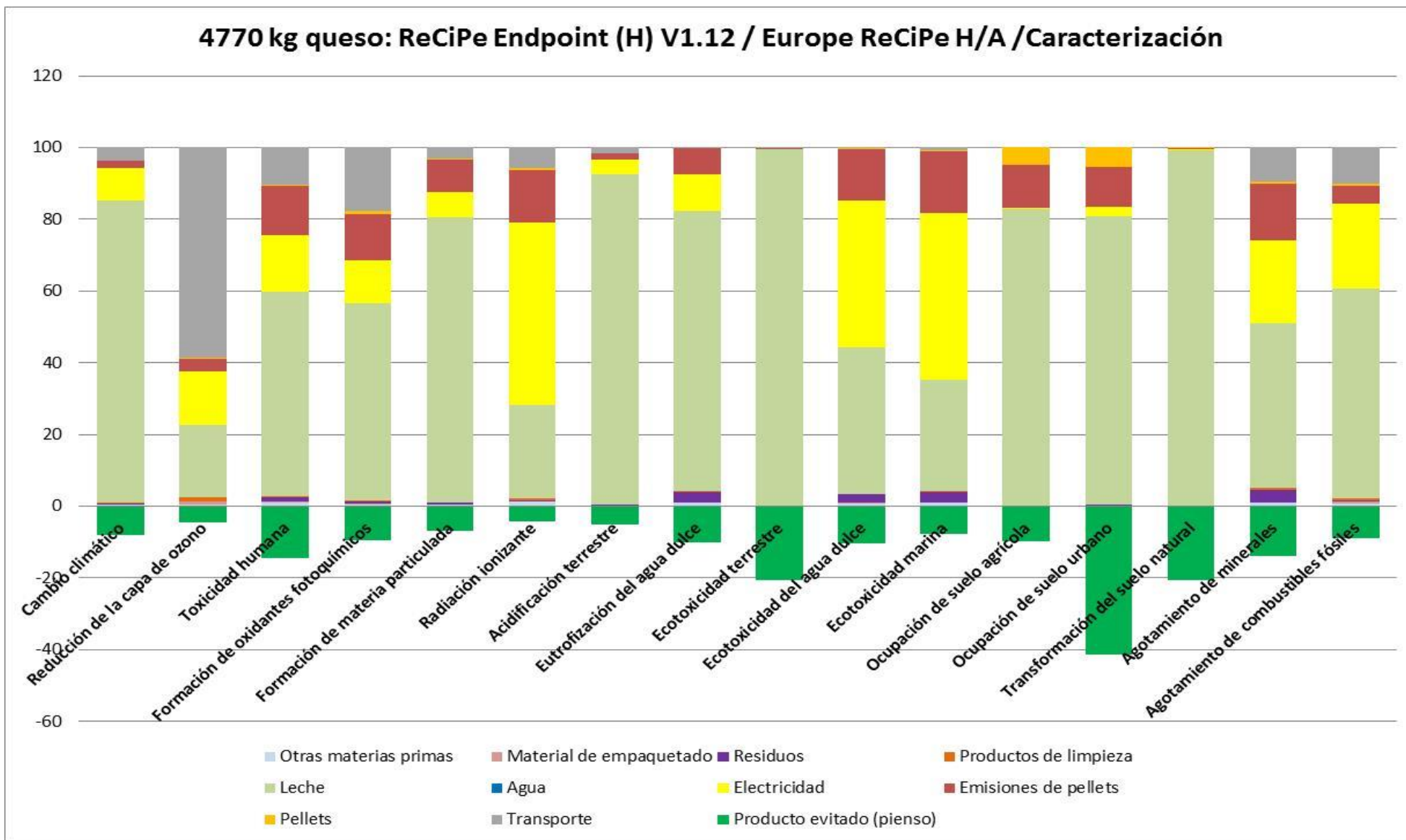


Figura 6-9: Caracterización de impactos ambientales asociados a la producción anual de quesos en la quesería tradicional asturiana "Ca Llechi" según el método ReCiPe endpoint.

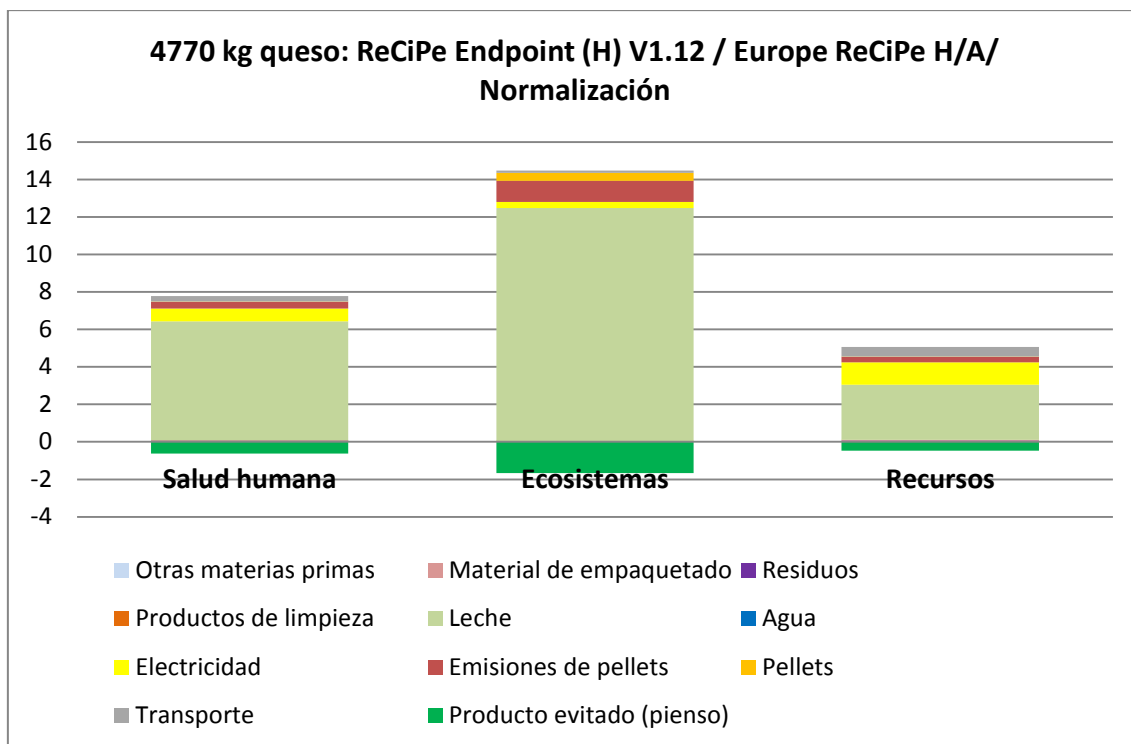


Figura 6-10: Normalización de impactos ambientales asociados a la producción anual de quesos en la quesería tradicional asturiana "Ca Llechi" según el método ReCiPe endpoint.

Asimismo, como ya se ha indicado, el método ReCiPe permite evaluar los diferentes impactos ambientales desde la perspectiva “endpoint”, tanto en caracterización (Figura 6-9), con categorías de impacto similares a las que se observan en la perspectiva “midpoint”, como en normalización (Figura 6-10), agrupando dichas categorías en tres grupos: según el daño generado sobre la salud humana, sobre los ecosistemas y sobre la disponibilidad de recursos.

En el caso de la **caracterización**, apenas se observan variaciones en las diferentes categorías que se observaban en la perspectiva “midpoint”, por lo que las consideraciones realizadas para dicho método se pueden aplicar de la misma manera para este estudio.

Por otra parte, en lo que respecta a la **normalización**, se puede observar que los ecosistemas son los que se ven más afectados por la producción de la quesería, seguido de la salud humana y de la disponibilidad de los recursos. Nuevamente, la leche es el factor que más influye en estos impactos, aunque cabe destacar el peso de la electricidad, especialmente en la disponibilidad de recursos; y de las emisiones de la caldera de pellets, en el daño a los ecosistemas. Asimismo, el producto evitado permite que haya un impacto beneficioso en las tres categorías.

6.4. Interpretación de resultados

En base a los resultados obtenidos con este estudio se pueden establecer las actividades que más afectan medioambientalmente y sobre las que habría que dirigir los esfuerzos en caso de querer mejorar el comportamiento medioambiental la quesería a estudio.

En primer lugar, el aspecto más destacado a tener en cuenta es que el subsistema del inventario que más influye, perjudicialmente, en las diferentes categorías de impacto ambiental estudiadas es la producción de la leche empleada en la elaboración de los quesos, lo cual concuerda con la bibliografía publicada en este campo. Por ejemplo, para el estudio de González-García et al., 2013a acerca de un queso maduro portugués, las contribuciones que suponían la producción de leche a los impactos ambientales oscilaron entre un 64% y un 91% en todas las categorías de impacto ambiental estudiadas; mientras que para González-García et al., 2013b acerca del queso San Simón da Costa, se observó que el impacto que generaba la producción de leche oscilaba entre un 63% y un 89%. Así pues, en este estudio acerca de la quesería “Ca Llechi”, dichas cifras oscilaron entre un 21% y un 99%, siendo mayor el número de categorías consideradas, por lo que se puede afirmar que los resultados obtenidos están en concordancia con los obtenidos para otras queserías.

Así, reducir este impacto se antoja como un aspecto fundamental, y se podría abordar de diferentes maneras. Una primera línea de actuación debería ir destinada a minimizar las pérdidas de leche tanto en el proceso de elaboración del queso como en el de suministro, pues esto redundaría en un menor gasto de leche y, de la misma manera, un menor gasto económico y menos impactos ambientales (Kim et al., 2013). Otros estudios añaden que se puede mejorar el rendimiento del proceso de elaboración del queso. Así pues, aumentando el agua y la sal que forman parte del queso, o conservando más proteínas séricas en la cuajada, se reducirían las necesidades de leche, pero podría alterar las características organolépticas del producto final (Berlin, 2002).

Otra posibilidad para reducir el impacto ambiental debido a la leche sería adquirir la leche de granjas que lleven a cabo medidas que permitan reducir el impacto ambiental asociado a su producción. Por ejemplo, está comprobado que para la leche obtenida de vacas Jersey presenta menores impactos ambientales que la obtenida de vacas Holstein (Capper y Cady, 2011). También, como ya se indicó, disminuir el consumo de pienso, especialmente aquel que presente grandes cantidades de harinas de soja en su composición, en las ganaderías implicaría reducir el impacto ambiental. De la misma manera, resultan menos impactantes aquellas granjas que sean capaces de producir la mayor parte de los alimentos que consumen sus propias vacas.

También se indica en la bibliografía utilizada la importancia del aprovechamiento del suero para reducir los impactos perjudiciales sobre el medio ambiente que presenta la actividad quesera. La alternativa más empleada en las grandes queserías consiste en la deshidratación del suero para generar un concentrado que se pueda utilizar tanto para alimentación animal como para la fabricación de diferentes productos alimenticios para el ser humano, si bien este proceso lleva asociados diferentes impactos derivados del proceso de secado y transporte del producto. La alternativa de valorización del suero que se lleva a cabo en la quesería objeto de estudio en este trabajo, emplearlo como alimento en una granja cercana, es la mejor opción, ya que no se generan impactos por su tratamiento, sino que resulta beneficioso para el medio ambiente, al evitar el consumo de piensos.

Otro aspecto de consideración es el impacto que presenta el consumo de electricidad. Para reducirlo, resultaría interesante aplicar medidas de ahorro energético como instalar iluminación de bajo consumo o emplear electricidad de origen renovable, que bien pueda provenir de empresas externas o, incluso, de la instalación de placas fotovoltaicas. También resultaría conveniente emprender estrategias de reducción en el consumo de los pellets empleados para la caldera. Así, emplear medidas de aprovechamiento del calor generado como, por ejemplo, emplear intercambiadores de calor que permitan precalentar la leche fría gracias a la leche calentada anteriormente (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2005).

7. Huella de carbono

Para el análisis de la huella de carbono de la quesería tradicional asturiana “Ca Llechi” durante su producción anual de 2016 se empleó el método Greenhouse Gas Protocol V1.01 del software SimaPRO, a partir de los datos de inventario ya descritos. Este método permite obtener el CO₂ eq. fósil, que es el CO₂ que surge de la combustión de los combustibles fósiles; el CO₂ eq. biogénico, que es aquel que surge de fuentes biológicas; el CO₂ eq. debido a la transformación de la tierra y la absorción de CO₂, que hace referencia al CO₂ que se almacena en las plantas durante su crecimiento (Iribarren et al., 2015).

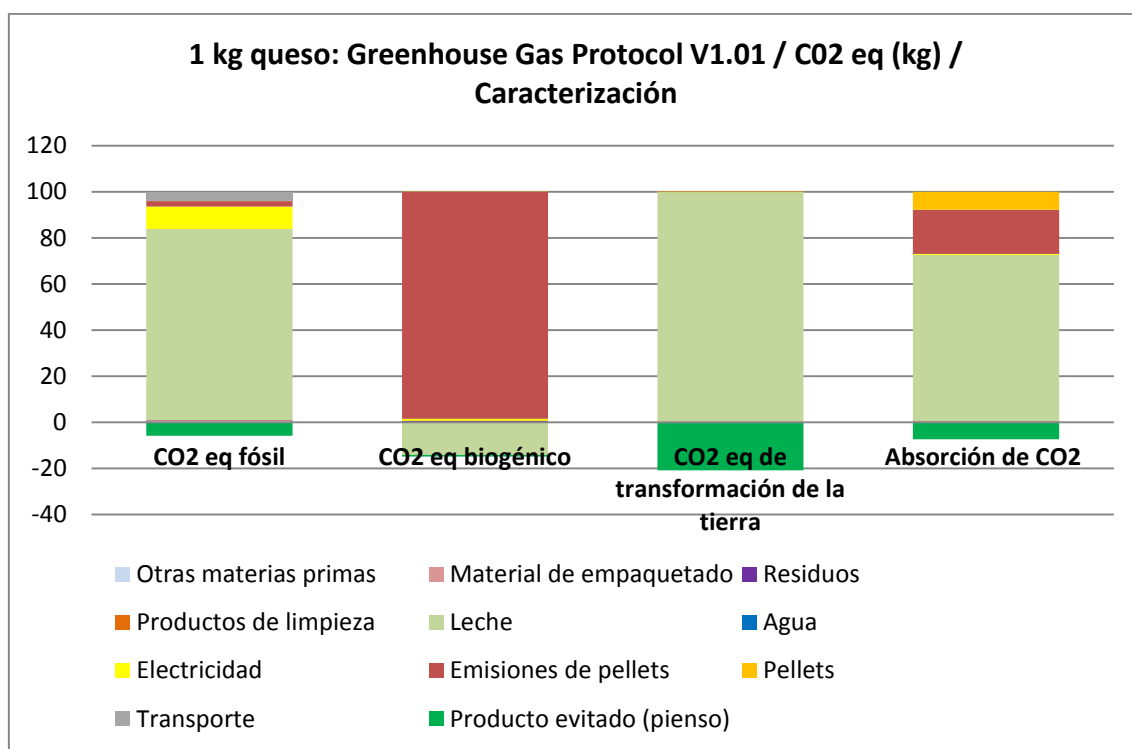


Figura 7-1: Caracterización de huella de carbono asociada a la producción de 1 kg de queso en la quesería tradicional asturiana "Ca Llechi" según el método Greenhouse Gas Protocol.

En esta Figura se puede observar, al igual que ocurriría con las caracterizaciones en el método ReCiPe, las diferentes influencias de los distintos subsistemas del inventario sobre los diferentes aspectos que considera el método Greenhouse Gas Protocol acerca de la huella de carbono, en términos porcentuales.

De esta manera, en lo que respecta al CO₂ eq. fósil, existe una gran influencia del subsistema correspondiente a la producción de la leche empleada (+82,8%), seguido del consumo eléctrico (+9,7%), lo cual es normal debido a la generación de electricidad a partir de combustibles fósiles, y, ya en menor medida, se pueden distinguir las emisiones de los pellets, los residuos y el transporte. También cabe destacar que, nuevamente, la presencia del pienso para cerdos como producto evitado genera un impacto beneficioso que permite reducir la huella de carbono que presenta la quesería.

En el caso del CO₂ eq. biogénico, se observa que en un +98,5% se debe a las emisiones generadas por los pellets empleados en las calderas de la quesería. Es destacable que el empleo de leche supone un impacto beneficioso en dicha categoría.

Además de estos dos términos, el método Greenhouse Gas Protocol incluye los términos de las emisiones debidas a la transformación de la tierra y a la absorción de CO₂, los cuales no son de obligatoria información en los estudios de huella de carbono (ISO 14067). En el caso del CO₂ eq. debido a la transformación de la tierra, la leche es la principal influencia (+99,9%). Para el término de absorción de CO₂, se observa que la leche (-72,3%), las emisiones de los pellets (-19,2%) y el empleo de dichos pellets (-7,9%) son los aspectos que más influyen de manera beneficiosa en dicho término a estudio, mientras que en este caso el producto evitado sí actúa de manera perjudicial, pues evita que se absorba CO₂ al no plantarse los cereales a partir de los cuales se elabora el pienso.

La ponderación del método Greenhouse Gas Protocol (Figura 7-2) permite comparar el diferente peso que presenta cada uno de los CO₂ equivalentes considerados. Así pues, se obtuvieron los siguientes resultados:

- CO₂ eq. fósil: **13,9 kg de CO₂ eq.** por kg de queso producido.
- CO₂ eq. biogénico: **3,5 kg de CO₂ eq.** por kg de queso producido.
- CO₂ eq. de transformación de la tierra: **1,6 kg de CO₂ eq.** por kg de queso producido.
- Absorción de CO₂: **-8,8 kg de CO₂ eq.** por kg de queso producido.

Así pues, sumando estos valores, obtenemos la huella de carbono total, que es de **10,2 kg de CO₂ eq.** por kg de queso producido.

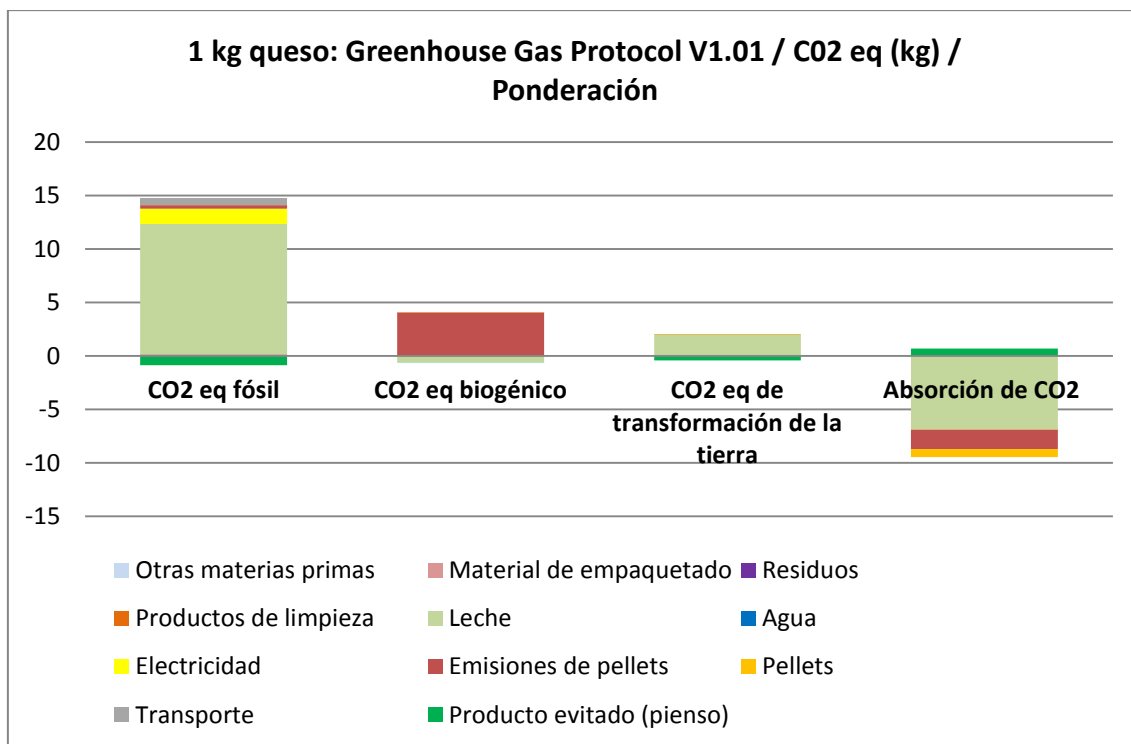


Figura 7-2: Ponderación de huella de carbono asociada a la producción de 1 kg de queso en la quesería tradicional asturiana "Ca Llechi" según el método Greenhouse Gas Protocol.

También se puede estudiar la huella de carbono en términos de alcances (véase apartado 3.3. Huella de carbono). Así pues, el Alcance 1 hace referencia, en este estudio, a las emisiones debidas al consumo de pellets y al transporte, considerando que este transporte fuera realizado por la empresa quesera en todos los casos, lo que da un total de **3,1 kg de CO₂ eq.** por kg de queso producido. En el caso del Alcance 1+2 se suma este valor al aporte de la electricidad, dando un total de **4,6 kg de CO₂ eq.** por kg de queso producido. Finalmente, el Alcance 1+2+3 considera ya todos los aspectos analizados, por tanto, **10,2 kg de CO₂ eq.** por kg de queso producido.

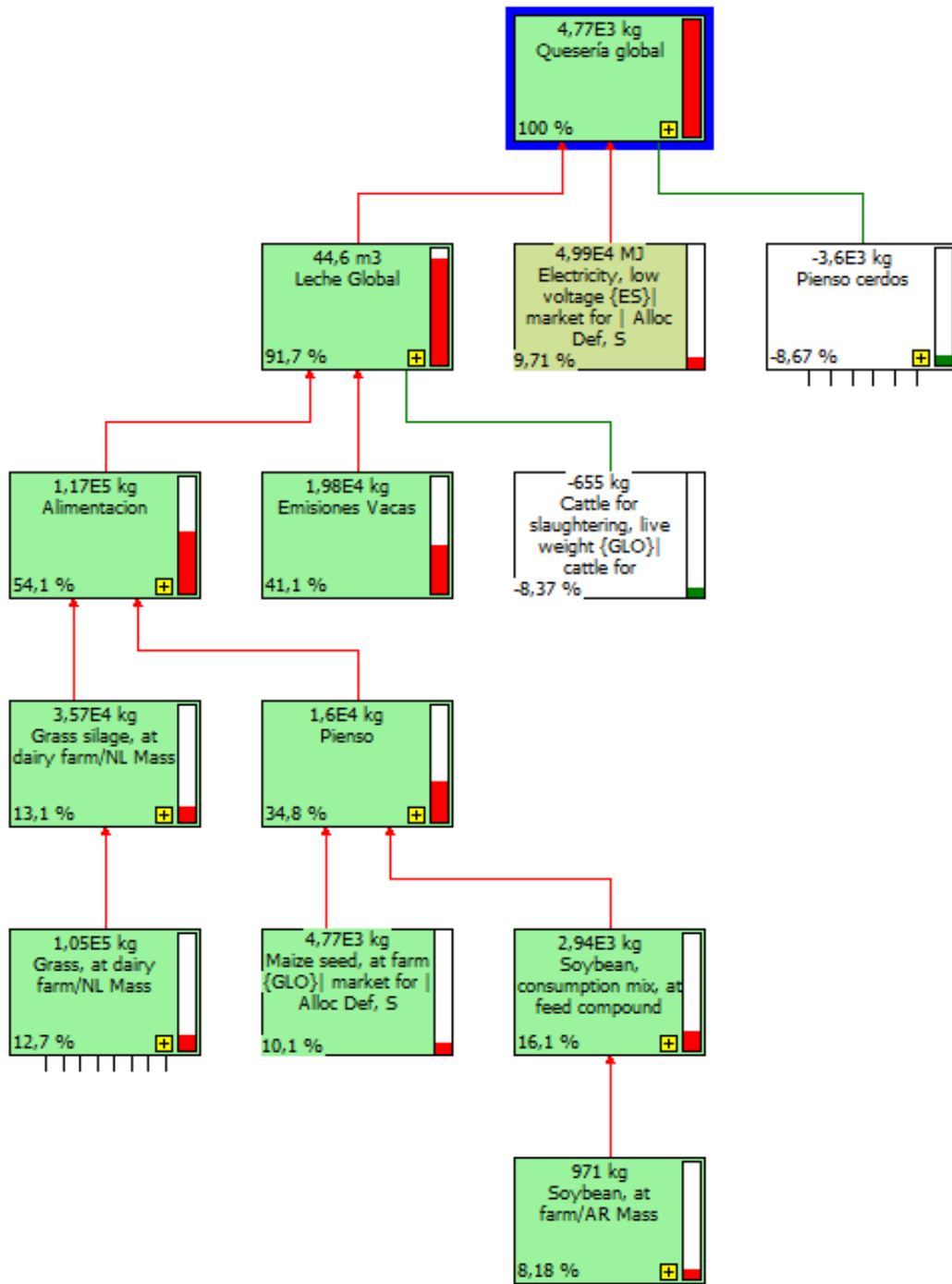


Figura 7-3: Diagrama de bloques y cargas ambientales para la quesería "Ca Llechi" según el método ReCiPe midpoint para la categoría de impacto ambiental "cambio climático". Valor de corte: 12.5%

En el diagrama de bloques anterior (Figura 7-3) se observan cuáles son los subsistemas que más influyen en la categoría ambiental de cambio climático. Así, el método ReCiPe midpoint confirma que los subsistemas “leche” y “electricidad” son los que más influyen de manera perjudicial en dicha categoría. Dentro del subsistema “leche”, la alimentación y las emisiones que presentan las vacas son los aspectos más importantes dentro del mismo. Las emisiones procedentes del metabolismo de los animales no se pueden eliminar, pero sí se puede modificar si se cambia su dieta, con el fin de disminuir este aspecto (Thomassen et al., 2009; Del Prado et al., 2013). Por otra parte, se observa que el pienso y, más concretamente, el consumo de harinas de soja es el aspecto que más influye en la categoría de cambio climático. Por tanto, una disminución en el consumo de este producto supondría disminuir el impacto sobre el cambio climático. El forraje y la harina de maíz también influyen en menor medida, por lo que sustituir la soja por otro producto para reducir el impacto no se puede considerar sencillo, debiéndose tener en cuenta, además de los aspectos medioambientales, los aspectos económicos y nutricionales.

Por último, también se debe destacar que la valorización del suero como pienso para cerdos permite reducir la huella de carbono que presenta la quesería a estudio. Así, para el caso del CO₂ equivalente fósil, de no aprovecharse este suero y verterlo como residuo, los kilogramos de CO₂ equivalente emitidos a la atmósfera serían de **15,6 kg de CO₂ eq.** por kg de queso producido, en lugar de los 13,9 kg que se producen en la actualidad, con lo que la rebaja en las emisiones es muy destacable.

Los resultados obtenidos comparados con algunos de los citados en la bibliografía, se muestran en la siguiente Tabla:

Tabla 7-1: Análisis comparativos de los resultados obtenidos sobre huella de carbono para este trabajo y diversos estudios ambientales de producción de queso, citados en la bibliografía.

Referencia	Origen de producto	Objetivo	Conclusiones	Huella de carbono (kg CO ₂ / kg queso)
Este trabajo	Asturias (España)	ACV y huella de carbono de la producción anual de una quesería tradicional asturiana	Influencia primordial de la leche y del consumo eléctrico. Influencia positiva del aprovechamiento del suero	10,2
Basset-Mens et al., 2007	Nueva Zelanda	Huella de carbono de un proceso de elaboración de un queso de Nueva Zelanda	Influencia de leche, alto consumo eléctrico y fertilizantes	10,0
Clune et al., 2017	Internacional (38 muestras)	Comparación de huellas de carbono de diferentes alimentos	El queso es el 2º producto lácteo con mayor huella de carbono	5,3-16,4
González-García et al., 2013a	Portugal	ACV de la elaboración de un queso curado portugués	Gran influencia de la producción de leche en la huella de carbono	7,5
González-García et al., 2013b	Galicia (España), San Simón da Costa	Identificar y cuantificar los impactos ambientales debidos a la elaboración del queso San Simón da Costa	La leche es la principal influencia. La valorización del suero disminuye 1 kg CO ₂ emitido por kg de queso	10,4
Kim et al., 2013	EEUU, quesos Cheddar y Mozzarella	Análisis de la huella de carbono de los quesos consumidos en EEUU en mayor cantidad	Reducir impactos ambientales en la producción de leche es la principal vía de disminuir la huella de carbono	8,6 (Cheddar), 7,3 (Mozzarella)
Van Middelaar et al., 2011	Países Bajos	Eficiencia económica y ambiental de la producción de un queso semicurado holandés	Necesidad de minimizar las pérdidas de leche y el uso de combustibles fósiles	8,5

Se puede observar que el dato de huella de carbono para este estudio de ACV es similar o ligeramente superior a la mayoría de los valores mostrados en la Tabla 7-1. Sin embargo, no es un valor anómalo si nos fijamos en el estudio de Clune et al., 2017, que realizaron un estudio comparativo entre diferentes quesos a nivel internacional e indicaron que los valores de huella de carbono oscilan entre 5,3 y 16,4 kg CO₂ por kg de queso producido.

Resulta lógico que la huella de carbono de la quesería estudiada no se encuentre entre los más bajos, ya que se trata de una quesería artesanal con un volumen de producción muy pequeño en comparación con el que se tiene en estos estudios. Es necesario tener también en cuenta el tipo de queso producido, puesto que los quesos muy curados, como es este el caso, requieren de una mayor cantidad de leche por kilogramo de producto acabado que otros de los quesos ahí indicados, como por ejemplo, el Cheddar (Kim et al., 2013).

De esta manera, algunas alternativas que se proponen para disminuir la huella de carbono en el proceso de elaboración de quesos, de acuerdo a diferentes trabajos revisados así como a los resultados obtenidos en este proyecto, son (González-García et al., 2013a; Berlin, 2002; Kim et al., 2013):

- Disminuir el consumo de energía eléctrica y combustibles fósiles, primando el uso de energías renovables y el empleo de técnicas de ahorro energético.
- Minimizar las pérdidas de leche durante el proceso de elaboración de queso y emplear leche que provenga de granjas con una menor huella de carbono.
- Emplear medios de transporte menos contaminantes.
- Valorizar el suero generado como subproducto de la manera más directa que sea posible.

8. Conclusiones

- ❖ Las categorías de impacto ambiental más afectadas por la actividad de esta quesería artesanal son, por orden de mayor a menor relevancia, la transformación del suelo natural, la eutrofización marina y las diferentes ecotoxicidades.
- ❖ El subsistema que más influye en las diferentes categorías de impacto ambiental es la producción de leche, debido principalmente al pienso empleado en la alimentación bovina, y, en menor medida, el transporte, el consumo de energía eléctrica y las emisiones de la caldera de pellets.
- ❖ La huella de carbono para esta quesería es de **10,2 kg de CO₂ eq.** por kg de queso producido, valor que se encuentra dentro de los intervalos recogidos en la bibliografía.
- ❖ Las acciones de mejora medioambiental deberían ir encaminadas a maximizar el rendimiento de la leche empleada, búsqueda de granjas suministradoras con menor huella de carbono, ahorro energético y empleo de energías renovables.
- ❖ El uso del suero generado como subproducto en la elaboración del queso para alimentación animal constituye un impacto ambiental beneficioso en todas las categorías de impacto ambiental consideradas, disminuyendo, a su vez, la huella de carbono de la quesería en 1,7 kg de CO₂ eq. por kg de queso producido.

9. Bibliografía

- Álvarez, A., del Corral J., Solís, D., Pérez J.A. “Does Intensification Improve the Economic Efficiency of Dairy Farms?” *Journal of Dairy Science*, 91 (pp. 3693-3698). 2008
- Androuët, P. “Le dictionnaire des fromages du monde”. París. 2002.
- Arroyo, Manuel y otros. “España, el país de los quesos”. CCI-Consultores alimentarios. Barcelona. 1996.
- Aubin, J., Papatryphon, E., Van der Werf, H.M.G., Chatzifotis, S. “Assessment of the environmental impact of carnivorous finfish production systems using life cycle assessment”. *Journal of Cleaner Production*, 17 (pp. 354–361). 2009.
- Barthelemy, R. “Guide to the Cheeses of the World: 1200 Cheeses of the World”. Londres. 2005.
- Basset-Mens, C., McLaren, S. y Ledgard, S. “Exploring a comparative advantage for New Zealand cheese in terms of environmental performance”. *Book of Proceedings 5th International Conference LCA in Foods* (pp. 84–87). 2007.
- Berlin, J. “Environmental life cycle assessment (LCA) of Swedish semi-hard cheese”. *International Dairy Journal*, 12 (pp. 939–953). 2002
- Berruga, M. I. “Desarrollos de procedimientos para el tratamiento de efluentes de quesería”. Tesis Doctoral Universidad Complutense de Madrid. Facultad de Veterinaria. Madrid. 1999.
- Braschkat, J., Patyk, A., Quirin, M. y Reinhardt, G.A. “Life cycle assessment of bread production – a comparison of eight different scenarios”. 2003.
- Capper, J.L. y Cady, R.A. “A comparison of the environmental impact of Jersey compared with Holstein milk for cheese production”. *American Dairy Science Association. Journal of Dairy Science*, 95 (pp. 165-176). 2011.
- Casey, J.W. y Holden, N.M. “A systematic description and analysis of GHG emissions resulting from Ireland’s milk production using LCA methodology”. Departamento de Agricultura e Ingeniería de los Alimentos. Universidad de Dublín. 2003.
- Chacón, J.R. “Historia ampliada y comentada del análisis de ciclo de vida (ACV)”. *Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería*. 2008.

- Clemente, G., Sanjuán, N. y Vivancos J.L. “Análisis del Ciclo de Vida: Aspectos Metodológicos y Casos Prácticos”. Ed. Universidad Politécnica de Valencia. 2005.
- Clune, S., Crossin, E. y Verghese, K. “Systematic review of greenhouse gas emissions for different fresh food categories”. *Journal of Cleaner Production*, 140 (pp. 266-283). 2017.
- Cravero, T. “Implantación de un modelo que optimice la actual cadena de valor del lactosuero en PyMES lácteas de la cuenca central santafesina”. 2013.
- Daalgard, R. y Halberg, N. “LCA of Danish milk -system expansion in practice”. Instituto Danés de Ciencias de la Agricultura. Copenhagen. 2004.
- Del Prado, A., Crosson, P., Olesen, J.E. y Rotz, C.A. “Whole-farm models to quantify greenhouse gas emissions and their potential use for linking climate change mitigation and adaptation in temperate grassland ruminant-based farming systems”. *Animal journal*. 2. 2013.
- EUROSTAT
<<ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Agricultural_products/es>> (Consultado el 30/12/2016).
- FAO. “Milk facts”. <<http://www.fao.org/resources/infographics/infographics-details/en/c/273893/>>. 2016. (Consultado el 21/01/2017).
- FAO. “Rome Declaration on Nutrition”. Second International Conference on Nutrition. Rome. 2014.
- FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics. <http://faostat.fao.org/> (Consultado el 30/12/2016).
- Faro de Vigo
<<http://mas.farodevigo.es/especiales/eficiencia-energetica?id=1850>> (Consultado el 26/03/2017).
- Fullana, P. y Puig, R. “Análisis del ciclo de vida”. Rubes, Barcelona. 1997.
- González, M. “Alternativas de Aprovechamiento del lacto suero en la Industria”. Productos Lácteos Flor de Aragua C.A. Informe de Gestión. 2010.
- González, M. “Aspectos medio ambientales asociados a los procesos de la industria láctea”. *Mundo Pecuario*, 8 (pp. 16-32). 2012.
- González-García, S., Castanheira, É.G., Dias, A.C. y Arroja, L. “Environmental performance of a Portuguese mature cheese-making dairy mill”. *Journal of Cleaner Production*, 41 (pp. 65-73). 2013. (a)

- González-García, S., Hospido, A., Moreira M.T., Feijoo, G. y Arroja, L. “Environmental Life Cycle Assessment of a Galician cheese: San Simon da Costa”. Departamento de Ingeniería Química. Universidad de Santiago de Compostela. *Journal of Cleaner Production*, 52 (pp. 253-262). 2013. (b)
- Halsberg, N. “Life Cycle Assessment in the Agri-food sector. Proceedings from the 4th International Conference”. Bygholm, Dinamarca. 2003.
- Heinonen, J., Säynäjoki, A., Junnonen, J.M., Pöyry, A. y Junnila, S. “Pre-use phase LCA of a multi-story residential building: Can greenhouse gas emissions be used as a more general environmental performance indicator?” *Building and Environment*, 95 (pp. 116-125). 2016
- Hospido, A., Moreira, M.T. y Feijoo, G. “Life Cycle Inventory of the Galician dairy sector”. Departamento de Ingeniería Química. Universidad de Santiago de Compostela. 2002.
- Hunt, R. y Franklin, W. “LCA- How it came about: Personal Reflections on the Origin and the Development of LCA in the USA”. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 1 (pp. 4-7). 1996.
- IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía). Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital. Gobierno de España. <<www.idae.es/.../documentos_PCI_Combustibles_Carburantes_final_valores_Update_2014>>. 2014. (Consultado el 26/03/2017).
- Ihobe. “Análisis de Ciclo de Vida (ACV): Metodología y aplicación práctica (principios generales)”. Programa de Formación de 2014. Gobierno Vasco. 2014.
- Iribarren, D., Peters, J.F., Susmozas, A., Cruz, P.L. y Dufour, J. “The Carbon Footprint Handbook”. Capítulo 5: “Carbon Footprints and Greenhouse Gas Emission Savings of Alternative Synthetic Biofuels” (pp. 101-124). 2015.
- Katajajuuri, J.M., Virtanen, Y., Voutilainen, P. y Tuhkanen, H.R. “Life cycle assessment results and related improvement potentials for oat and potato products as well as for cheese”. MTT Agrifood Research Finland. Jokionen, Finlandia. 2004.
- Kim, D., Thoma, G., Nutter, D., Milani, F., Ulrich, R y Norris, G. “Life cycle assessment of cheese and whey production in the USA”. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 18 (pp. 1019-1035). 2013.

- Ledgard, S.F., Finlayson, J.D., Patterson, M.G., Carran, R.A. y Wedderburn, M.E. “Effects of Intensification of Dairy Farming in New Zealand on Wholesystem Resource Use Efficiency and Environmental Emissions”. AgResearch Ruakura. Hamilton, Nueva Zelanda. 2001.
- Madrid, A. “Nuevo manual de tecnología quesera”. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 1994.
- Madsen, J. y Effing, S. “Using I/O data to find hotspots in LCA - Example of a hamburger meal”. PRé Consultants, Plotterweg 12, Amersfoort, Países Bajos. 2003.
- Mattsson, B., Cederberg, C. y Blix, L. “Agricultural land use in life cycle assessment (LCA): case studies of three vegetable oil crops”. Journal of Cleaner Production, 8 (pp. 283–292). 2000.
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. “Guía de Mejores Técnicas Disponibles en España del sector lácteo”. pp. 80-85. 2005.
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. “Guía para el cálculo de la huella de carbono y para la elaboración de un plan de mejora de una organización”. Versión 2. 2015.
- Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital (MINETUR). “Reglamento sobre Instalaciones Nucleares y Radiactivas”. Real Decreto 35/2008 del 18 de enero. 2008.
- Mungkung, R. y Clift, R. “Qualitative Life Cycle Assessment of Thai Shrimp Product”. Centre for Environmental Strategy (CES), School of Engineering, University of Surrey. Reino Unido. 2002.
- Muñoz, P., Antón, A., Montero, J.I. y Castells, F. “Using LCA for the Improvement of Waste Management in Greenhouse Tomato Production”. Tarragona. 2006.
- Nielsen, A.M., Nielsen, P.H., Dejgård Jensen, J., Andersen, M. y Weidema B.P. “Identification of processes affected by a marginal change in demand for food products - two examples on Danish pigs and cheese”. Copenhagen. 2003.
- Núñez, Y., Feroso, J., Garcia, N. e Irusta, R. “Comparative life cycle assessment of beef, pork and ostrich meat: a critical point of view”. International Journal of Agricultural Resources, Governance and Ecology; 4 (pp. 140–151). 2005.

- Pachauri, R.K. y Reisinger, A. “Intergovernmental Panel on Climate Change”. Informe de síntesis. Cambio Climático 2007. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. 2007.
- Pelletsolucion.
<<http://www.pelletsolucion.com/wp-content/uploads/2016/01/GUIA_T%C3%89CNICA_PARA_LA_ELABORACION_DE_PELLET_DE_BIOMASA.pdf>> (Consultado el 18/05/2017).
- PRé Consultants. SimaPro Database Manual 2.8. 2016.
- PRé Consultants. Why Food Sustainability LCAs Make Up a Full 25% of All Published LCAs (<https://www.pre-sustainability.com/why-25-of-LCAs-are-agriculture-related>). 2016.
- Restrepo, M. “Producción más limpia en la industria alimentaria”. Artículo de revisión. 2006.
- Roy, P., Orikasa, T., Nei, D., Okadome, H., Nakamura, N. y Shiina, T. “Life cycle of meats: An opportunity to abate the greenhouse gas emission from meat industry in Japan”. *Journal of Environmental Management*, 93 (pp. 218-224). 2012.
- Salomone, R. “Environmental Management Practices in an Italian Coffee Company using LCA Methodology”. Università di Messina. 2003.
- Sanjuán, N., Clemente, G. y Úbeda L. “LCA of the integrated production of oranges in the Comunidad Valenciana”. Departamento de tecnología de los alimentos. Universidad Politécnica de Valencia. 2002.
- SEFH, Sociedad Española de Farmacia Hospitalaria.
<<<http://www.sefh.es/bibliotecavirtual/antisepticos/4desinfectantes.pdf>>>. Pág. 46 (Consultado el 26/03/2017).
- Subdirección General de Productos Ganaderos. Dirección General de producciones y mercados agrarios. “Informe de coyuntura del sector vacuno de leche”. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Gobierno de España. 2015.
- Tapia, C., Olivares, C. y Núñez, I. “Línea base del conocimiento regional sobre las implicancias de la huella de carbono en los procesos de toma de decisiones”. Comisión Permanente del Pacífico Sur. 2013.

- Thomassen, M.A., Dolman, M.A., van Calker, K.J. y de Boer I.J.M. “Relating life cycle assessment indicators to gross value added for Dutch dairy farms”. *Ecological Economics*. 68 (pp. 2278-2284). 2009.
- Thrane, M. “Environmental impacts from Danish Fish Products”. Departamento de Desarrollo. Universidad de Aalborg. Dinamarca. 2004.
- ULPGC (Universidad de Las Palmas de Gran Canaria). <<<http://www.webs.ulpgc.es/nutranim/tema14.htm>>>. (Consultado el 26/03/2017).
- Valencia J. “El Suero de Quesería y sus Posibles Aplicaciones” parte 1. Artículo de revisión. *Mundo Lácteo y Cárnico*. 2008.
- Van Middelaar, C.E., Bertensen, P.B.M., Dolman, M.A. y de Boer I.J.M. “Eco-efficiency in the production chain of Dutch semi-hard cheese”. *Livestock Science*, 139 (pp. 91-99). 2011.
- Vasiliaki, V., Katsou, E., Ponsá, S. y Colón J. “Water and carbon footprint of selected dairy products: A case study in Catalonia”. *Journal of Cleaner Production*. 139 (pp. 504-516). 2016.
- Xu, X. y Lan, Y. “A comparative study on carbon footprints between plant- and animal-based foods in China”. *Journal of Cleaner Production*. 112 (pp. 2581-2592). 2016.