



Universidad
Zaragoza



Escuela de
Ingeniería y Arquitectura
Universidad Zaragoza

PROYECTO FIN DE CARRERA

Análisis del Ciclo de Vida y Huella Hídrica del proceso de elaboración del queso fresco

Autora:

Sara Pascual Sevilla

Directores:

Amaya Martínez Gracia

Javier Uche Marcuello

Zaragoza, Junio de 2013

Resumen

Con este Proyecto Fin de Carrera se acomete un Análisis del Ciclo de Vida y un cálculo de la Huella Hídrica que se centra en el proceso de fabricación del queso fresco, para determinar los impactos ambientales ocasionados y la cantidad de agua consumida por este proceso.

El estudio se divide en dos apartados:

El primero sobre el ACV es el más relevante, se agrupa en tres partes:

- La primera corresponde al estudio del ACV de todas las etapas del proceso de la elaboración del queso y la obra civil. Es la parte principal de este estudio y la más importante de todas. Se analizan los impactos ambientales que se generan en las distintas etapas y su contribución a cada categoría de impacto evaluada. Las etapas a evaluar son: recepción, pasteurización, adición de insumos, coagulación, corte cuajada, primer batido, primer desuerado, segundo batido y calentamiento, segundo desuerado, salado, moldeado y auto prensado, refrigeración, envasado, almacenamiento, limpieza de equipos y obra civil.
- En la segunda parte se realizan comparativas sobre una etapa en concreto, la limpieza de los equipos. Se analizan los tipos de limpieza manual total, automática total y la elegida en la instalación, que es un 80% automática y un 20% manual. También se realiza una comparación entre etapas similares para evaluar el impacto generado en cada una de ellas.
- En tercer lugar se analiza el sistema cambiando la forma de consumo de energía, producida con energías renovables en el mismo lugar en la que está ubicada la instalación.

Para realizar el análisis del estudio de ACV es necesario el software SimaPro 7.2 siguiendo la normativa ISO establecida para este tipo de análisis. Los métodos utilizados para calcular los impactos son: IPCC en un plazo de 100 años y Ecoindicador '99.

- En la fase de inventario se tienen en cuenta: los materiales de los equipos de cada proceso del sistema; los flujos de materia orgánica, inorgánica, agua y energía de cada proceso; y los flujos de materiales de la obra civil.
- Los resultados de las diferentes partes del estudio muestran que: las etapas de recepción y obra civil son las que mayor contribución de impacto generan, muy por encima del resto de etapas. La recepción contribuye con un 70% del impacto total

global proveniente casi en su totalidad del tipo de leche de entrada. La obra civil es la segunda etapa que mayor impacto genera, casi un 20% del total; la limpieza que se realiza en la instalación tiene un 35% menos de impacto que la manual total, y un 7% más de impacto que la automática total; las etapas que son similares se diferencian en el impacto generado debido a que una necesita más aporte de energía que otra, en concreto un 75% más.

- La alternativa energética de la producción de energía en el mismo lugar de la instalación con energías renovables, solo puede llegar a ser rentable si el coste de producción es menor que con energías no renovables, y si el viento y cobertura solar en la ubicación de la zona son óptimos y aprovechables. Esto se debe a que la diferencia de impacto generada es muy pequeña, menos del 1%.

El segundo apartado está dedicado al estudio de la Huella Hídrica.

Para realizar el análisis del estudio de la Huella Hídrica es necesario contrastar el cálculo de la huella con las estadísticas de la FAO sobre huellas hídricas de los alimentos.

- La huella del proceso de producción de queso fresco de la instalación, que es 13,2 litros/kg de queso está muy por debajo de la media global de la huella del queso fresco, que es de 150,4 litros/kg de queso, debido a que esta última incluye el consumo de agua del proceso de producción de la leche en las granjas y la elaboración del queso.

Por último, este proyecto se centra en la evaluación de los impactos ambientales y el consumo de agua del proceso de producción de queso fresco, pero también se deben tomar en cuenta posibles cambios en partes del sistema para reducir ese impacto global.

ÍNDICE

1. OBJETO Y ALCANCE.....	5
2. INTRODUCCIÓN.....	6
3. METODOLOGÍAS	8
3.1. ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA (ACV).....	9
3.1.1. Información necesaria para el estudio del ACV.....	10
3.1.2. Normas ISO de la metodología AVC.....	11
3.1.3. Estudio del ACV.....	12
3.1.3.1. Definición del objetivo y alcance	13
3.1.3.1.1. Objetivo	13
3.1.3.1.2. Alcance	13
3.1.3.2. Análisis de Inventario del Ciclo de Vida (ICV)	15
3.1.3.3. Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida (EICV).....	16
3.1.3.4. Interpretación de resultados	17
3.1.4. Herramientas informáticas del ACV: SimaPro	18
3.1.5. Métodos de cálculo.....	20
3.1.5.1. IPCC (International Panel on Climate Change).....	20
3.1.5.2. Ecoindicador '99.....	20
3.2. HUELLA HÍDRICA	24
3.2.1. Información necesaria para el estudio de la huella hídrica	25
3.2.2. Estudio de la huella hídrica	26
3.2.2.1. Definición del objetivo y alcance	26
3.2.2.2. Cálculo de la huella hídrica	26
3.2.2.3. Evaluación de la huella hídrica.....	26
3.2.2.4. Interpretación de resultados	26
4. CASO DE ESTUDIO: SECTOR AGROINDUSTRIAL.....	27
4.1. INDUSTRIA LÁCTEA: ELABORACIÓN DE QUESO FRESCO	27
4.2. APLICACIÓN DEL ACV AL PROCESO DE ELABORACIÓN DEL QUESO FRESCO.....	29
4.2.1. Definición del objetivo y alcance	29
4.2.1.1. Objetivo	29
4.2.1.2. Alcance	29

4.2.2.	Análisis de Inventario del Ciclo de Vida (ICV)	33
4.2.2.1.	Procesos del sistema	33
4.2.2.2.	Obra civil	47
4.2.2.3.	Uso del suelo.....	47
4.2.3.	Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida (EICV).....	48
4.2.3.1.	IPCC 100 años.....	48
4.2.3.2.	Ecoindicador '99.....	48
4.2.4.	Interpretación de resultados.....	49
4.2.4.1.	Carga de impacto ambiental de las etapas.....	49
4.2.4.2.	Comparativa limpieza manual y automática	60
4.2.4.3.	Comparativa de los dos procesos de batido	63
4.2.4.4.	Alternativas energéticas	64
4.2.4.4.1.	Eólica y solar térmica de tubos de vacío	64
4.2.4.4.2.	Solar fotovoltaica y solar térmica de tubos de vacío	65
4.3.	APLICACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA AL PROCESO DE ELABORACIÓN DEL QUESO	
FRESCO		66
4.3.1.	Definición del objetivo y alcance	66
4.3.2.	Calculo de la huella hídrica.....	66
4.3.3.	Evaluación de la huella hídrica	67
4.3.4.	Interpretación de resultados.....	67
5.	CONCLUSIONES	68
ÍNDICE DE FIGURAS		71
REFERENCIAS		72

ANEXOS

- A. Impactos asociados a los tipos de leche proveniente de granjas de la base de datos del SimaPro 7.2.

1. OBJETO Y ALCANCE

El objeto de este proyecto es el estudio de la gestión del consumo de agua y de los distintos impactos ambientales de la industria agroalimentaria. Dentro del sector agroalimentario, este estudio se centra en la industria láctea, ya que tiene un gran peso dentro de este sector [1].

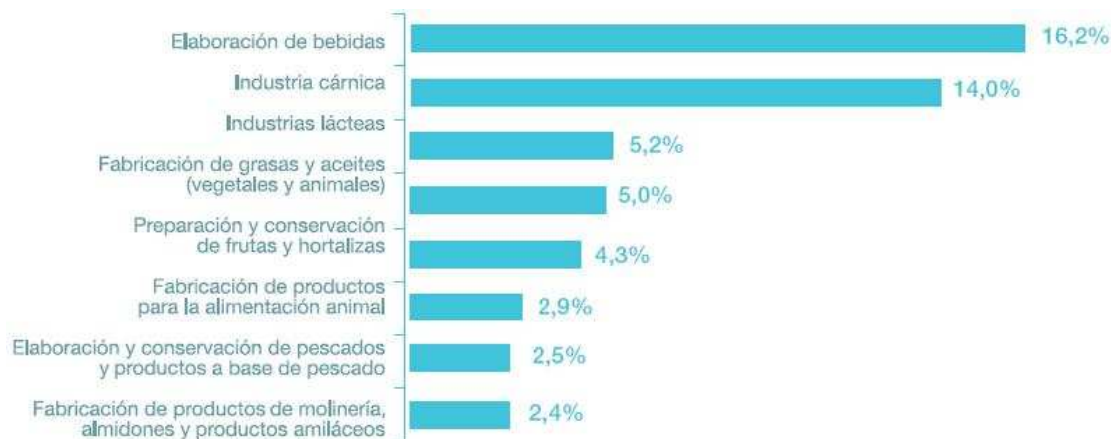


Figura 1. Subsectores del sector agroalimentario en España, según el número de empresas dedicadas a dicha actividad.

De la industria láctea, se obtienen productos que se clasifican en derivados lácteos y helados. Este estudio se centra en la elaboración de los derivados, en especial en el proceso de elaboración del queso fresco.

Para conocer los posibles impactos que se generan de la producción de queso, se realiza un ACV (Análisis del Ciclo de Vida) con la ayuda de una herramienta informática, el software SimaPro 7.2 [2]. Para evaluar el consumo de agua, se contabiliza el uso del agua a través de la Huella Hídrica.

El alcance del estudio se centra solo en el proceso de fabricación del queso fresco, es decir, se considera desde que entra la materia prima (leche cruda de vaca) en la planta de procesado hasta que sale de ella como producto ya elaborado, en este caso, el queso fresco.

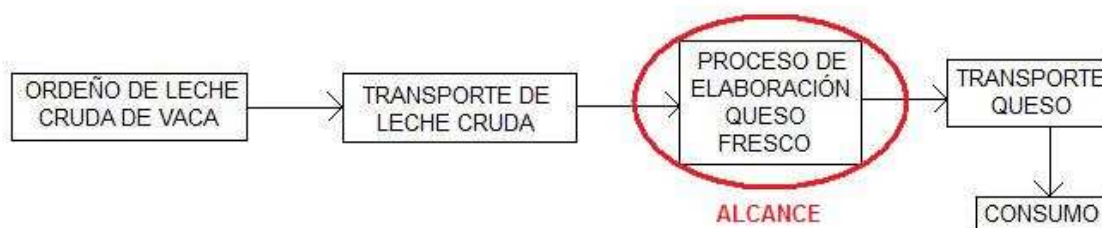


Figura 2. Ciclo de procesos de la producción de queso fresco desde el ordeño de la leche en la granja hasta el consumo del producto terminado.

2. INTRODUCCIÓN

Conceptos de gran importancia y actualidad, como el desarrollo sostenible, el impacto ambiental o el calentamiento climático, están ligados a la producción y consumo de energía en el planeta.

La generación de energía se lleva a cabo a través de los diferentes recursos, tanto renovables como no renovables, que existen en la tierra. A lo largo del siglo XX la energía se ha obtenido en una gran parte con recursos no renovables¹, como los combustibles fósiles o la energía nuclear, que son limitados [3]. Además con la creciente industrialización el consumo de energía ha aumentado. Esto ha generado una mayor contaminación del planeta, lo que supone un incremento del CO₂ en la atmósfera o una generación de gran cantidad de residuos, contribuyendo así a un calentamiento climático [4].

Para frenar el calentamiento global y generar un desarrollo sostenible se creó el Protocolo de Kyoto², que ha desencadenado un aumento del uso de recursos renovables, para la generación de energía, a nivel doméstico y sobretodo industrial, ya que este ultimo contribuía en una mayor parte al calentamiento global [5]. También se ha concienciado a la gente de que gran parte del consumo de energía es innecesario, tanto a nivel domestico como industrial, y para ello se han realizado diversas campañas para que este consumo disminuya. En España, para reducirlo se han implantado desde el IDAE³ medidas como el Plan de Ahorro Energía [6]. Con todo ello se contribuye a un desarrollo sostenible del planeta y a que el impacto ambiental se reduzca.

Para conocer ese impacto ambiental generado por actividades o procesos de empresas y organismos públicos, es necesario realizar un estudio como el Análisis del Ciclo de Vida para poder reducir esa huella de impacto a través de cambios y mejoras.

No obstante, no solo debe preocupar a la población del planeta como afecta la producción y consumo de energía por si sola en el medio ambiente, sino que la energía también va ligada al uso de un recurso tan preciado como es el agua dulce. En la mayoría de los casos el uso del agua implica un consumo de energía, ya que entre el 2 y el 3% de la energía que se consume en el mundo se utiliza para el bombeo y tratamiento de agua para las poblaciones urbanas y el sector industrial [7]. Además, el recurso hídrico aunque sea renovable es limitado debido a que en cada zona del planeta no existe la misma disponibilidad de agua y dentro de cada zona ese nivel varía según la climatología. Es

¹ Según el INE, en la actualidad hay un consumo de recursos no renovables de alrededor del 90% en España.

² Es un protocolo de la CMNUCC (Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático) , y un acuerdo internacional que tiene por objetivo reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (como el CO₂) que causan el calentamiento global.

³ Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía.

decir, aunque el agua siga un ciclo⁴ y dentro de este un ciclo integral⁵ para potabilizar el agua, el nivel de disponibilidad en una zona depende de si nos encontramos en un año de abundancia de precipitaciones o en un año de sequía. También hay que tener en cuenta que solo el 3% del agua total del planeta es agua dulce, el otro restante 97% es agua salada la cual no puede ser utilizada y su proceso de desalación no es rentable [8].

Por todas estas razones se puede percibir que el uso del agua interviene en el desarrollo sostenible del planeta. Por ello el estudio del consumo de agua a través de un indicador como la Huella Hídrica, nos puede dar una idea de cómo se está realizando la gestión de esa agua en los procesos o actividades de empresas.

En este caso, el estudio se centra en el proceso de elaboración del queso fresco. Se analizan los impactos ambientales generados a través del Análisis del Ciclo de Vida y el consumo de agua a través de la Huella Hídrica.

⁴ El agua se evapora de los océanos, cae a la tierra a través de las nubes, y vuelve a los océanos a través de los ríos.

⁵ Las fases que conforman el ciclo integral del agua son: la captación, la potabilización, el suministro, el saneamiento (alcantarillado) y la depuración.

3. METODOLOGÍAS

Se puede estudiar el impacto ambiental y el uso de agua a nivel doméstico, industrial, de comunidades, nacional, o incluso a nivel mundial. Para observar el impacto ambiental que se pueda generar, se necesitan una serie de herramientas como los indicadores. Los indicadores son utilizados para relacionar el uso de los recursos hídricos con el consumo de bienes, con contaminación del entorno o con el desarrollo sostenible, conocer si se realizan consumos innecesarios o se genera impacto ambiental y como afecta ese impacto o el uso del agua al ecosistema del entorno.

Tras conocer los diversos datos que proporcionan los distintos indicadores que existen, se puede realizar un diagnóstico de la situación. Si se conocen los datos sobre el uso del agua, de recursos y energía, se puede saber qué ocurre, si hay un uso incorrecto y así poder formular una respuesta ante lo que sucede, si hay que realizar o no cambios. Es decir, para realizar el diagnóstico se utilizan metodologías que llevan a hacer una evaluación del proceso que se estudia.

Los indicadores utilizados en este estudio son:

- ***Análisis del Ciclo de Vida.***

Se usa para evaluar el impacto potencial sobre el ambiente de un producto, proceso o actividad a lo largo de todo su ciclo de vida, es decir, de toda su existencia, mediante la cuantificación de las entradas (uso de recursos) y salidas (emisiones ambientales al aire, agua y suelo) asociadas con el sistema que se va a analizar.

- ***Huella hídrica.***

Permite evaluar el consumo de agua tanto directo como indirecto de un producto, de un proceso, de una industria, de un individuo, de una comunidad o hasta de una nación.

Otro indicador usado para este tipo de estudios es:

- ***Water Pinch.***

Es una técnica sistemática que sirve para reducir y optimizar tanto el consumo de agua como la generación de aguas residuales a través de la integración de actividades o procesos en los que se utiliza agua.

Para evaluar el caso práctico, se especifican a continuación con más detalle las metodologías que se van a utilizar.

3.1. ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA (ACV)

La creciente preocupación por la contaminación del medio ambiente generada por los posibles impactos asociados a productos fabricados y consumidos, ha incrementado el interés en el desarrollo de métodos, como el ACV, para comprender mejor y reducir esos impactos [9].

El ACV es una metodología que evalúa la calidad ambiental de un producto o servicio. Estudia los aspectos ambientales y los impactos potenciales a lo largo de la vida del producto, desde que se obtienen las materias primas hasta la producción, uso y disposición del producto. Se basa en el análisis de los flujos de entradas y salidas del sistema, tanto de materia como de energía, para obtener unos resultados que muestren sus impactos ambientales, con el objetivo de poder determinar estrategias para su reducción.

La metodología del ACV es la mejor forma de analizar los productos y/o servicios desde el punto de vista ambiental sin límites geográficos, funcionales o temporales, ya que se evalúan todos los procesos seguidos por la materia prima, desde su extracción, transformación, uso y terminando con el retorno a la naturaleza en forma de residuos. De esta forma es posible evaluar y comparar tecnologías alternativas, considerando todas sus etapas del ciclo de vida [10].

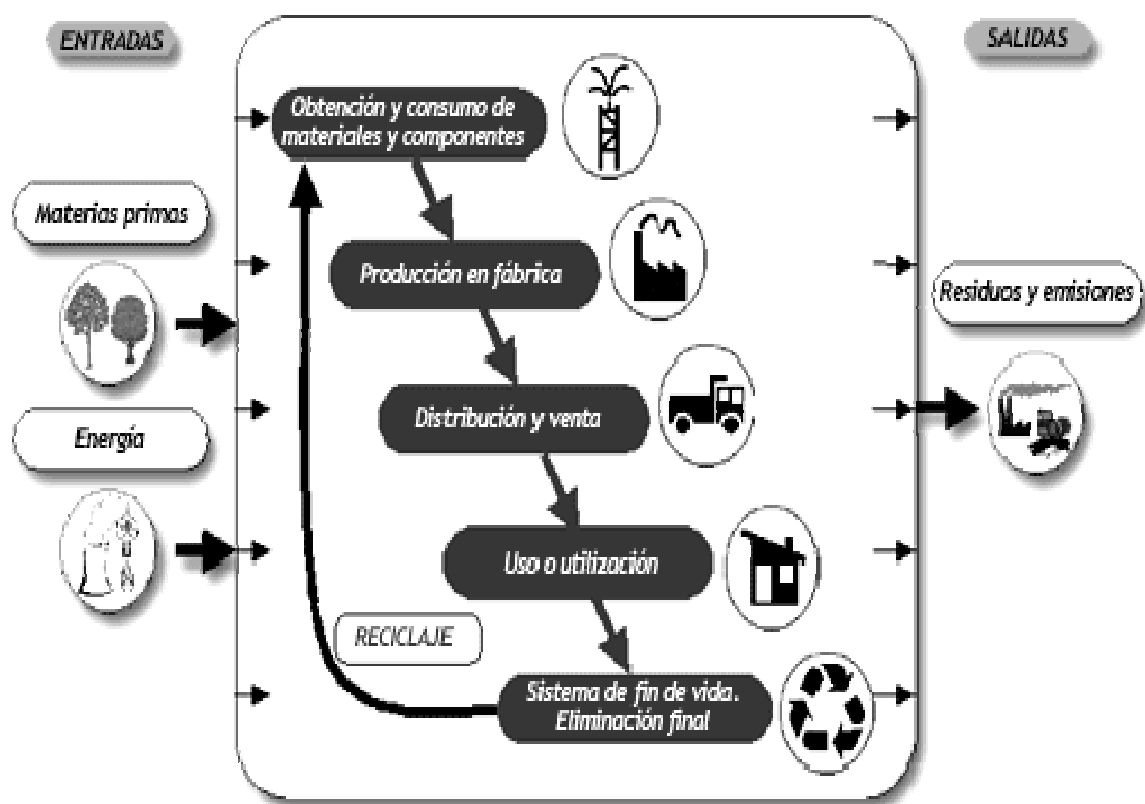


Figura 3. Análisis del ciclo de vida.



Es necesario integrar todos los procesos del sistema propuesto para poder analizar debidamente el ACV. Todos los flujos de entradas y salidas del sistema deben estar en la misma unidad funcional (por toneladas de producto o por producto terminado) para poder contabilizar el impacto ambiental que se genera [11].

3.1.1. Información necesaria para el estudio del ACV

➤ **Datos de entrada.**

Entradas y salidas del sistema.

- **Entradas.**

Flujos de materiales, materias primas, energía (eléctrica y térmica), y agua consumida en cada proceso del sistema. Además, realizar un inventario de los materiales de los equipos utilizados en la instalación, además de los materiales utilizados en la construcción de la planta.

- **Salidas.**

Cantidad de producto terminado, residuos generados a lo largo de la cadena de producción, así como emisiones al aire, al agua y al suelo.

➤ **Datos de salida.**

Se eligen las categorías de impacto, los indicadores (como kg equivalentes de CO₂), y el método de análisis (como el Eco indicador '99), que se van a utilizar para poder contabilizar a la vez las sustancias escogidas para el análisis del impacto ambiental (CO₂, N, SO₂,...).

Como resultado se obtiene el impacto ambiental generado por la unidad funcional que se escoja. Para cada proceso del sistema o el sistema global, nos indica la contribución de una sustancia (medido con el indicador elegido) a cada categoría de impacto ambiental elegida para el estudio.



3.1.2. Normas ISO de la metodología AVC

Esta metodología está totalmente estandarizada y se rige por una serie de normas ISO 14040-14043 [12]:

➤ **UNE-EN ISO 14040.**

Se especifica la estructura general, principios y requisitos que se deben contemplar en el estudio del ACV.

➤ **UNE-EN ISO 14041.**

Define las consideraciones que se van a tomar en la definición de objetivos y alcance, así como en el análisis de inventario del ciclo de vida.

➤ **UNE-EN ISO 14042.**

Describe el objetivo y requisitos generales a tomar en cuenta para la evaluación del ciclo de vida y las fases que lo componen. Considera también la relación entre el impacto del ciclo de vida y el resto de las etapas.

➤ **UNE-EN ISO 14043.**

Describe la etapa de interpretación del ACV, donde se deben considerar tanto el análisis de inventario como la evaluación del impacto para poder presentar unas conclusiones de estudio.

3.1.3. Estudio del ACV

Esta metodología consta de cuatro fases, según la norma ISO 14040 [13]:

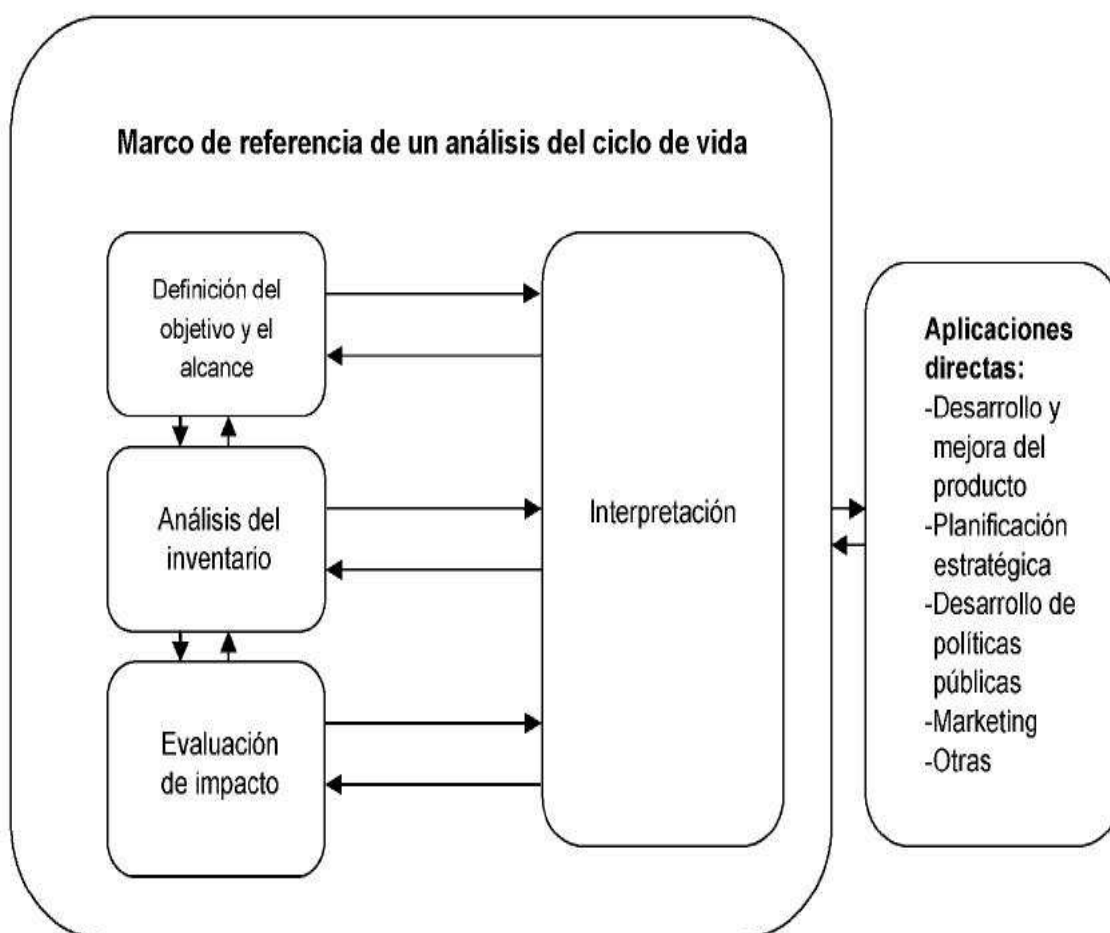


Figura 4. Fases del AVC, según norma ISO 14040.



3.1.3.1. Definición del objetivo y alcance

En esta fase se especifica el motivo por el cual se va a realizar el ACV, se describe el sistema objeto del estudio y la finalidad de los resultados. Se tiene en cuenta el alcance geográfico, el tiempo de estudio y el nivel de calidad precisada para los datos.

3.1.3.1.1. Objetivo

Se debe indicar el fin que se persigue con el estudio que se va a realizar y a quien van dirigidos los resultados del mismo.

3.1.3.1.2. Alcance

Debe estar suficientemente definido para asegurar que la amplitud, profundidad y detalle del estudio son suficientes y compatibles para alcanzar el objetivo del mismo. Para ello se considera:

- ***Función del sistema.***

Define las características de operación del sistema. Cabe destacar que un sistema puede tener más de una función.

- ***Unidad funcional.***

Proporciona una referencia a partir de la cual sean matemáticamente normalizados todos los datos de entrada y salida. Puede ser de tipo físico o funcional.

- ***Sistema y límites del sistema.***

El sistema es el conjunto de procesos conectados material y energéticamente que permiten la presencia del producto estudiado en el mercado. Se suele representar por medio de un diagrama de procesos interconectados entre sí. Por otra parte, el límite del sistema define los procesos que se van a incluir en el estudio y a qué nivel de detalle van a ser estudiados. Estos límites deben estar en consonancia con el objetivo descrito previamente.

- ***Categorías de impacto y metodología de evaluación de impacto.***

Decidir que método de evaluación de impacto se va a aplicar en el estudio. Los métodos se diferencian unos de otros en las categorías de impacto elegidas y el peso asignado a cada una de ellas.

- ***Requisitos de calidad de datos.***

Deben definirse de modo que permitan lograr los objetivos y el alcance de estudio. Se debe considerar la cobertura temporal, la cobertura geográfica, la cobertura tecnológica, la precisión, la amplitud, y representatividad de los datos, la consistencia y reproducibilidad de los métodos usados en el ACV, las fuentes bibliográficas de los datos y su representatividad, y la incertidumbre de la información.

- ***Tipo de revisión crítica.***

Verifica si un estudio de ACV cumple los requisitos normativos en cuanto a metodología, obtención y presentación de datos.

3.1.3.2. *Análisis de Inventario del Ciclo de Vida (ICV)*

Es la fase del ACV en la que se recogen los datos y los procedimientos de cálculo para cuantificar las entradas y salidas relevantes del sistema analizado. Se realiza un balance de los flujos de entrada y salida de materiales y energía a lo largo de la vida útil del sistema.

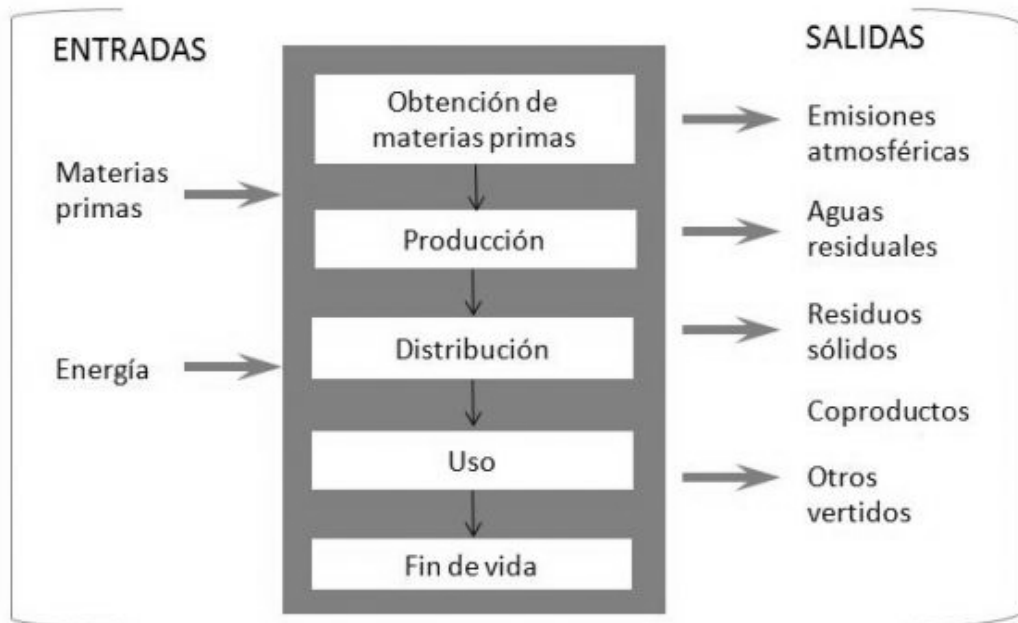


Figura 5. Análisis de Inventario del Ciclo de Vida.

Las entradas para cada proceso del sistema incluyen el uso de energía y materias primas provenientes de la naturaleza (materias primas y combustibles crudos), además de las provenientes de la tecnosfera (medio no natural construido por el hombre), como materiales, combustibles y electricidad.

Las salidas para cada proceso del sistema incluyen las emisiones al aire, agua y suelo, subproductos y otros vertidos.



3.1.3.3. Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida (EICV)

Es la fase del ACV en la que los datos recogidos en el ICV son comparados con impactos ambientales específicos, perjudiciales para el medio ambiente, la salud humana y la disponibilidad de recursos naturales. Esta evaluación consta de cuatro fases:

- **Clasificación.**

Asignación de los datos del inventario a las categorías de impacto seleccionadas, dentro de las establecidas por la SETAC⁶. Cada dato de entrada o salida del ICV puede tener relación con más de una categoría de impacto.

- **Caracterización.**

Modelización de los datos del ICV dentro de las categorías de impacto. En esta fase, se multiplican los resultados del inventario obtenido en la fase anterior por los factores de caracterización de cada sustancia incluida en cada categoría de impacto, es decir, si en una categoría de impacto hay más de una sustancia, para poder contabilizar el impacto global que suponen todas, se ponen en función de una a través de un indicador, como por ejemplo kg equivalentes de CO₂.

- **Normalización.**

Cálculo de la magnitud de los resultados de los indicadores de categoría con relación a los indicadores de referencia. Se dividen los resultados de caracterización por los factores de normalización de cada categoría de impacto. Estos factores constituyen la magnitud real o predicha de la categoría de impacto correspondiente para un área geográfica y un momento en el tiempo determinado. Cada método de evaluación utiliza un factor de normalización diferente.

- **Ponderación.**

Conversión de los resultados de los indicadores normalizados de las diferentes categorías de impacto, utilizando factores numéricos basados en valoraciones subjetivas. Se multiplican dichos factores por el resultado de la normalización de cada categoría de impacto para sumarlos posteriormente y obtener una puntuación global medioambiental del sistema.

⁶ Society of Environmental Toxicology and Chemistry



3.1.3.4. Interpretación de resultados

Es la fase del ACV en la que los resultados del ICV y el EICV son interpretados de acuerdo al objetivo y alcance marcados inicialmente. En esta fase se realiza un análisis de los resultados y se marcan las conclusiones. Si el nivel de concentración de una sustancia perjudicial para el medio ambiente en alguno de los procesos supera el límite establecido por los parámetros exigidos en el alcance, es necesario modificar dichos procesos para evitar posibles impactos ambientales. Dentro de esta fase se incluyen tres elementos fundamentales:

- **Identificación de las variables significativas.**

Consiste en determinar los procesos del sistema que conllevan un mayor impacto y cuales se podrían descartar.

- **Verificación de los resultados.**

Asegurar que la información relevante y los datos necesarios para la interpretación están disponibles y completos, comprobar la fiabilidad de los resultados finales y conclusiones determinando si se ven afectados por incertidumbres en los datos o en los métodos de evaluación seleccionados, y valorar si las hipótesis, métodos y datos son coherentes con el objetivo y alcance del estudio.

- **Conclusiones y recomendaciones.**

Para realizar las conclusiones se deben considerar todas las fases del ACV. Las recomendaciones se basan en las conclusiones elaboradas.

3.1.4. Herramientas informáticas del ACV: SimaPro

Para poder realizar la evaluación de impacto del ACV, es necesaria una herramienta informática debido a la gran cantidad de datos que se tienen que manejar, es decir, tanto los datos del inventario del ACV como los datos de los impactos que se generan.

El software que se utiliza en este caso es SimaPro versión 7.2, desarrollado por Pré Consultants (Países Bajos). Permite realizar ACV completos con múltiples métodos de evaluación de impactos. Presenta completas y variadas bases de datos [14].

Estos programas informáticos contienen diferentes bases de datos para poder introducir los datos de inventario. Algunas bases de datos utilizadas son:

Nombre	País de origen	Alcance
ECOINVENT v1	Suiza	Más de 2500 procesos: energía, transporte, materiales de construcción, compuestos químicos, papel y cartón, gestión de residuos ...
ETH-ESU 96	Suiza	Más de 1200 procesos: generación de electricidad y procesos relacionados, como transporte, procesado y gestión de residuos
BUWAL 250	Suiza	Procesos relacionados con materiales de envase (plástico, cartón, papel, vidrio, metales), energía, transporte y gestión de residuos
IDEMAT 2001	Holanda	Procesos relacionados con materiales ingenieriles (metales, aleaciones, plásticos, madera), energía y transporte
IVAM	Holanda	Procesos relacionados con materiales, transporte, energía y tratamiento de residuos
FEFCO	Bélgica	Datos europeos relativos a la fabricación de cartón corrugado
Franklin US LCI	EEUU	Datos de inventario procedentes de Norte América, relativos a energía, transporte, acero, plásticos y procesado

Figura 6. Bases de datos en programas informáticos para introducir datos del Inventario.

Para realizar la evaluación de los impactos es necesario aplicar métodos de cálculo que vienen incorporados en el software del programa. Algunos métodos con sus correspondientes categorías de impacto son:

ECOPPOINTS 97	ECO 99	IPCC 2001
No existen categorías de impacto. Los impactos se evalúan sin clasificación, desde las emisiones/consumos individuales.	USO DE RECURSOS (minerales y combustibles fósiles) 2X	Sólo para cambio climático
	Emisiones- REDUCCIÓN DE CAPA DE OZONO	
	Emisiones- ECOTOXICIDAD	
	Emisiones-SMOG DE VERANO E INVIERNO (respiratory organic and inorganic) 2X	
	Emisiones- ACIDIFICACIÓN EUTROFILIZACIÓN	
	Emisiones- SUBSTANCIAS CANCERÍGENAS	
	Emisiones-CAMBIO CLIMÁTICO	
	Emisiones-RADIACIÓN USO DE SUELO	

Figura 7. Algunos métodos de cálculo utilizados.

3.1.5. Métodos de cálculo

Para realizar la fase de “*Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida*”, es necesario utilizar unos métodos de cálculo en relación con las categorías de impacto seleccionadas en el alcance. Dependiendo de las que se quieran analizar, se seleccionara un método de evaluación. Estos métodos se implementan en un programa informático para que los resultados se den nada mas meter los datos de la fase del inventario. El programa a utilizar en este caso va a ser el SimaPro 7.2 con los siguientes métodos de cálculo:

3.1.5.1. IPCC (*International Panel on Climate Change*)

Evalúa las emisiones de gases de efecto invernadero con factores de cambio climático IPCC con un tiempo de vida de 20, 100 o 500 años, es decir, mediciones de kg equivalentes de CO₂ en un plazo de 20, 100 o 500 años respectivamente [15].

Éste método coge como referencia el CO₂ debido a que es el gas de efecto invernadero que más afecta a la Tierra. Para poder evaluar los procesos, todos los gases de efecto invernadero se presentan como kg equivalentes de CO₂, es decir, que la emisión de una cierta cantidad de CO₂ mostrada tiene el mismo efecto ambiental que la cantidad del resto de gases efecto invernadero que se vean involucrados en el análisis.

3.1.5.2. Ecoindicador '99

Es una actualización del método Ecoindicador '95. Existen tres modelos medioambientales diferentes, y el más utilizado es el que supone una perspectiva jerárquica, es decir, considerando una perspectiva temporal a largo plazo donde se incluyen las sustancias si hay consenso respecto a su efecto. Se asume que los combustibles fósiles no son sustituibles fácilmente [16].

El método incluye las etapas de caracterización, normalización, ponderación y evaluación de daños. El impacto lo evalúa sobre once categorías.

Los resultados del ICV se agrupan en las siguientes categorías de impacto:

- **Sustancias cancerígenas.**

El alcance geográfico de este indicador es global y local. El daño se expresa en DALY (Disability Adjusted Life Years) por kg de emisión.



- **Orgánicos respirados.**

Efectos respiratorios como resultado de emisiones de sustancias orgánicas al aire. El alcance de este indicador es global, regional y local. Se expresa en DALY/kg de emisión.

- **Inorgánicos respirados.**

Efectos causados por emisiones de partículas SO_x y NO_x al aire. El alcance de este indicador es global, regional y local. Se expresa en DALY/kg de emisión.

- **Cambio climático.**

Los factores de caracterización están basados en los modelos desarrollados basados por el IPCC (Internacional Panel on Climate Change) y expresados como potencial de calentamiento global para un horizonte temporal a largo plazo de 100 años. El daño se expresa en DALY/kg de emisión, resultado del incremento o descenso de muertes o enfermedades causadas por el cambio climático.

- **Radiación.**

Basada en estudios para la industria nuclear alemana. El daño se expresa en DALY/kg de emisión, resultado de la radiación radiactiva, con un alcance regional y local.

- **Capa de ozono.**

Los valores de potencial de reducción de ozono (ODP) han sido establecidos para hidrocarburos que contienen cloro, flúor y bromo o también llamados CFC. El daño se expresa en DALY/kg de emisión, debido al incremento de radiación UV por la emisión de sustancias reductoras de ozono al aire. El alcance es a escala global.

- **Ecotoxicidad.**

Daños a la calidad del ecosistema, como resultado de la emisión de sustancias tóxicas al aire, agua y tierra. Las principales son de metales pesados y se utiliza como referencia el cromo. El daño se expresa como Fracción Potencialmente Afectada (PAF) m² año/kg emisión. El alcance es global, regional y local.

- **Uso del terreno.**

El uso de la tierra tiene impacto sobre la diversidad de especies por tipo de uso de la tierra, basada en observaciones. Los daños se expresan en PAF m^2 año/kg emisión. El alcance es local.

- **Acidificación - Eutrofización.**

La acidificación es causada por la emisión de protones en los ecosistemas terrestres y acuáticos. La eutrofización puede ser causada por excesos de nitrógeno, fósforo y sustancias orgánicas desagradables. Los daños se expresan en PAF m^2 año/kg emisión. El alcance es local.

- **Minerales.**

Energía excedente por kg mineral, como resultado del descenso de las clases minerales. El alcance es global.

- **Combustibles fósiles.**

Energía excedente para extraer MJ, kg o m^3 de combustible fósil, como resultado de la menor calidad de los recursos. El alcance es global.

Para simplificar estas categorías de impacto, se agrupan las que tienen la misma unidad de indicador en otras categorías de daño, aplicando los correspondientes factores de daño. Las categorías son:

- **Daños a la salud humana.**

Se expresa como la suma de número de años de vida perdidos y el número de años vividos incapacitado (DALY). Incluye las categorías de impacto de sustancias cancerígenas, orgánicos respirados, inorgánicos respirados, cambio climático, radiación, y capa de ozono.

- **Daños a la calidad del ecosistema.**

Se expresa como la pérdida de especies en un área concreta, durante cierto tiempo (PDF m^2 año). Incluye las categorías de impacto de ecotoxicidad, uso del terreno, y acidificación-eutrofización.

- ***Daños a los recursos.***

Se expresa como la energía necesaria (MJ) para las futuras extracciones de minerales y combustibles fósiles. Los recursos obtenidos de estas extracciones cada vez son de peor calidad ya que primero se han ido extrayendo los de mayor calidad. Esto supone que en generaciones futuras sea necesario un mayor esfuerzo para realzar estas extracciones. Incluye las categorías de impacto de minerales y combustibles fósiles.

Para poder evaluar y comparar las distintas categorías de impacto en la fase de ponderación, se contabilizan todas con un ecoindicador, en este caso Pt, es decir, puntos. Estos puntos son un sistema de medida de los impactos ambientales, siendo un punto la centésima parte de la carga ambiental anual de un ciudadano medio europeo [17].

3.2. HUELLA HÍDRICA

La huella hídrica⁷ es un indicador que representa tanto el uso directo de agua⁸ como el uso indirecto⁹ por parte de un consumidor o productor. Es un indicador multidimensional que muestra los diferentes tipos de consumos y contaminación del agua en función del espacio y del tiempo. Se divide en tres componentes: huella hídrica azul, huella hídrica verde y huella hídrica gris. Cada uno de ellos se especifica geográfica y temporalmente [18].

La huella hídrica azul se refiere al consumo de agua superficial y subterránea para la producción de un producto. Ese consumo apunta a la pérdida de agua disponible desde la superficie del suelo en una zona de captación. Las pérdidas se producen cuando el agua se evapora, no retorna a su mismo cauce (vuelve a otra cuenca o va al mar), no retorna en el mismo periodo (se recoge en periodo de sequía y se devuelve en periodo húmedo) o se incorpora a un producto. Para una etapa o proceso se calcula como:

$$\text{Ec. 1} \quad \text{Huella hídrica azul} = \text{agua azul evaporada} + \text{agua azul incorporada} + \text{flujos de retorno perdido}$$

La huella hídrica verde se refiere al consumo de agua que se almacena temporalmente en la parte superior del suelo o en la vegetación, proveniente de las precipitaciones y que no se pierde por escorrentía. Es decir, el volumen de agua de lluvia consumida durante el proceso de producción. Para una etapa o proceso se calcula como:

$$\text{Ec. 2} \quad \text{Huella hídrica verde} = \text{agua verde evaporada} + \text{agua verde incorporada}$$

La huella hídrica gris se refiere al grado de contaminación del agua y se define como el volumen de agua que se requiere para diluir una cierta cantidad de agentes contaminantes, del tal manera que satisfaga las normas de calidad ambiental del agua. Se calcula como:

$$\text{Ec. 3} \quad \text{Huella hídrica gris} = \text{concentración contaminante [masa/tiempo]} / (\text{concentración máxima aceptable [masa/volumen]} - \text{concentración natural [masa/volumen]})$$

⁷ El concepto de huella hídrica fue introducido en 2002 por el profesor Arjen Hoekstra de UNESCO-IHE como un indicador alternativo *del uso del agua*.

⁸ El uso directo del agua hace referencia al uso doméstico de la misma.

⁹ El uso indirecto es la cantidad de agua necesaria para producir productos industriales y agrícolas.



La evaluación de la huella hídrica es un instrumento analítico, puede ayudar a comprender cómo las actividades y productos tienen relación con la escasez de agua y la contaminación y por tanto los impactos que esto produce, y qué se puede hacer para que las actividades y productos no contribuyan al uso insostenible del agua dulce.

3.2.1. Información necesaria para el estudio de la huella hídrica

➤ **Datos de entrada**

Volumen de agua azul evaporado e incorporado más los flujos retirados (sin retorno) en cada proceso, volumen de agua verde incorporado y evaporado en cada proceso (volúmenes medidos en m^3/tiempo o kg de producto), y la cantidad de concentración de contaminante a la salida de cada proceso (medida en ppm).

➤ **Datos de salida**

Volumen de agua gris necesaria para satisfacer las normas de calidad del agua. Volumen de agua total, azul y verde, utilizada en la elaboración del producto (volúmenes medidos en m^3/tiempo o kg de producto).

3.2.2. Estudio de la huella hídrica

3.2.2.1. Definición del objetivo y alcance

Indicar que huella hídrica se va a estudiar, si es de un producto, de una etapa de proceso de producción, de un consumidor o grupo de consumidores, o de una nación. Además si el objetivo es formular políticas y establecer ese objetivo de forma cuantitativa, como la reducción de la huella, es necesario un mayor grado de detalle espacio-temporal.

3.2.2.2. Cálculo de la huella hídrica

Se contabiliza la huella hídrica azul, la verde y la gris en unidades de m^3/kg de producto o en m^3/Julios (energía consumida en un proceso) o en m^3/tiempo si hablamos de la huella de una etapa de la producción de un producto. La suma total de las huellas proporciona el volumen total de agua consumido en la cadena de producción.

3.2.2.3. Evaluación de la huella hídrica

Para la sostenibilidad medioambiental, se compara el tamaño de la huella hídrica azul calculada con los recursos disponibles de agua azul y se observa el grado de escasez de agua azul, se compara el tamaño de huella hídrica verde calculada con la disponibilidad de agua verde y se observa el grado de escasez del agua verde y por último se compara la huella hídrica gris calculada en la captación con la escorrentía real de captación para determinar el grado de contaminación en el agua. Para la sostenibilidad social, se deben cumplir las necesidades básicas humanas, como que haya agua potable para todos, y seguir unas normas básicas de equidad o una distribución equitativa del agua. Para la sostenibilidad económica, se debe generar un uso económico eficiente del agua.

3.2.2.4. Interpretación de resultados

El objetivo de la evaluación de la huella hídrica es analizar cómo influyen las actividades humanas o productos específicos en los problemas de escasez y contaminación del agua. Según como sea esa escasez y contaminación del agua, hay que formular una respuesta, es decir, generar cambios en la gestión del uso del agua para que las actividades y productos que se elaboren puedan ser más sostenibles a nivel medioambiental, social y económico.

4. CASO DE ESTUDIO: SECTOR AGROINDUSTRIAL

En este caso se estudian procesos del sector agroindustrial. La agroindustria abarca una serie de actividades de manufacturación mediante las cuales se elaboran materias primas y productos intermedios provenientes de los sectores agrícola y ganadero [19].

4.1. INDUSTRIA LÁCTEA: ELABORACIÓN DE QUESO FRESCO

Este estudio se centra en la industria láctea ya que dentro del sector ganadero es una de las más importantes debido a que los productos lácteos ocupan el segundo lugar en los alimentos más adquiridos por los consumidores, por detrás de la carne. Este consumo hace que exista una mayor producción y por tanto un mayor gasto de energía y agua, es decir, un mayor impacto ambiental.

Dentro de la industria láctea existen varios tipos de procesos de elaboración dependiendo del producto final que se desee. La materia prima de entrada utilizada en todos los casos es la leche proveniente de animales como la vaca, la cabra o la oveja. Tras sufrir diferentes transformaciones se pueden conseguir productos como leche de consumo, queso, yogurt, mantequilla o nata.

En España, la producción en el sector lácteo se distribuye de la siguiente forma [20]:

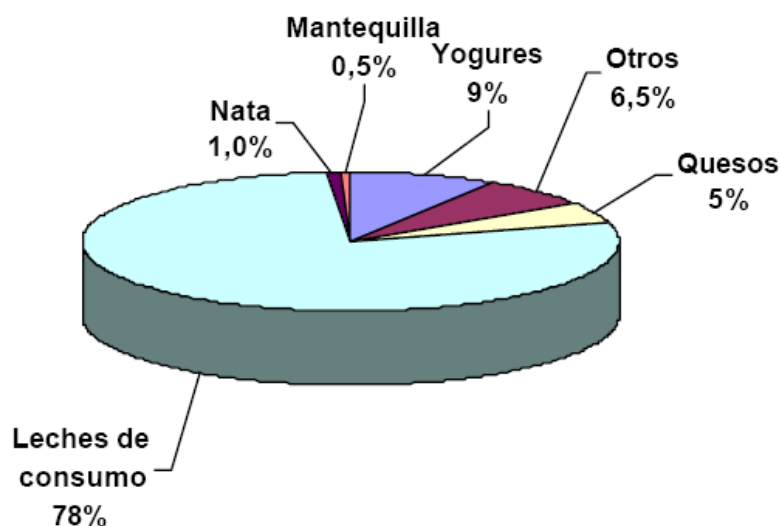


Figura 8. Distribución de la producción en el sector lácteo

Se puede observar que la mayor producción es de leche de consumo seguido de la producción de yogures y quesos. Este estudio se centra en analizar la elaboración de queso, en particular del queso fresco, ya que es un producto importante dentro de los consumidos y dicho consumo va en aumento, de 1999 a 2003 ha crecido un 20%, mientras que el consumo de los otros dos productos más relevantes, la leche de consumo y los yogures, ha descendido alrededor del 4% [21].

En la elaboración del queso fresco se realizan varios procesos en los cuales intervienen flujos de materia orgánica e inorgánica además de flujos de energía y agua. Estos últimos son elevados ya que se requiere un gran consumo de agua para la elaboración de este producto.

En este caso la instalación de estudio es de pequeña producción, con una entrada de leche cruda de 300L al día. Se trata de una elaboración de queso fresco artesanal en un entorno rural aislado.



4.2. APLICACIÓN DEL ACV AL PROCESO DE ELABORACIÓN DEL QUESO FRESCO

4.2.1. Definición del objetivo y alcance

4.2.1.1. *Objetivo*

El objeto de este estudio es conocer los posibles impactos ambientales que pueda generar una instalación dedicada a la producción de queso fresco, en este caso con una capacidad de entrada de 300 litros de leche cruda de vaca. Se pretende obtener los impactos que se generan a nivel global de la instalación y de cada proceso con el fin de detectar los puntos más graves y así poder tomar alternativas más eficientes.

4.2.1.2. *Alcance*

➤ ***Función del sistema.***

La función de la leche cruda de entrada es llegar al consumidor final como un producto elaborado de queso fresco envasado. No se tiene en cuenta la estética del envase y etiquetado, ni la calidad de la leche de entrada.

➤ ***Unidad funcional.***

La unidad funcional escogida es el kg de queso fresco, es decir, el kg de producto terminado. Primero hay que calcular los kg de queso que se producen con 300 litros de leche, y para ello es necesario conocer la composición de ambos productos.

Un litro de leche contiene aproximadamente un 90% de agua, el otro 10% restante es grasa, proteínas y sales minerales [22].

Por otro lado, un queso fresco contiene un 60% de agua y un 40% de lípidos, proteínas y sales. Se sabe que el 10% de materia de la leche aumenta de concentración y pasa a ser el 40% de materia del queso fresco.

Esto quiere decir que el porcentaje de agua se ve reducido aproximadamente un 80%.

Por tanto, de una instalación de 300 litros de leche de entrada al día, se obtienen 75 kg de queso fresco.

Además si este proceso de elaboración se realiza alrededor de 20 días al mes, se consiguen 18000 kg de queso fresco al año.

➤ **Sistema y límites del sistema.**

El sistema en este caso es el conjunto de procesos necesarios para la elaboración del queso fresco, desde la entrada de leche cruda hasta el almacenaje del queso fresco envasado, es decir, los procesos que se llevan a cabo dentro de la instalación. No se tiene en cuenta el transporte de la leche cruda hasta la instalación, ni el transporte del queso envasado hasta el consumidor final.

En los procesos en los que se consume energía eléctrica no se tiene en cuenta la producción y transporte de dicha energía. En los procesos en los que sea necesaria una generación de calor, es decir, energía térmica, se tiene en cuenta el consumo de combustible.

Un equipo que sea necesario en más de un proceso, se divide la cantidad de material total de ese equipo entre los diferentes procesos.

Tanto los materiales de los equipos como los de la obra civil se dan en cantidades totales, en toneladas. Para saber la cantidad de material correspondiente al kg de queso que es la unidad funcional, se debe dividir esa cantidad total de material entre la cantidad de queso que se produce al año, en este caso 18000 kg, por los años de vida útil de ese equipo o material obra civil, es decir:

$$(\text{Toneladas de material}) / (18000 \text{ kg} * \text{años vida útil})$$

A continuación, se muestra el diagrama de los procesos que intervienen en el sistema [23]:



Figura 9. Procesos de elaboración del queso fresco.

➤ ***Categorías de impacto y metodología de evaluación de impacto.***

Los datos de inventario del sistema a estudiar provienen de la base de datos registrados en el software SimaPro 7.2. Son necesarios para evaluar el impacto que se produce en cada proceso. Los métodos de cálculo elegidos para hallar los resultados son:

- IPCC en un periodo de 100 años, para visualizar la carga de gases efecto invernadero para cada proceso en unidades de kg equivalentes de CO₂.
- Ecoindicador '99, para poder visualizar la carga de impacto que genera cada categoría de impacto evaluable en este método sobre cada proceso y en global sobre todo el sistema.

➤ ***Requisitos de calidad de los datos.***

Los datos de este estudio no son de una producción real de una industria dedicada a la elaboración de queso fresco. No ha sido posible realizar el estudio con una empresa real ya que no es factible que proporcionen datos.

Sin embargo se ha podido encontrar información sobre algunos flujos necesarios para la producción de queso fresco [23].

Los datos de flujos son de:

- Materia orgánica: leche cruda, cuajo, fermento láctico.
- Materia inorgánica: cloruro de calcio, bolsas de plástico y etiquetas.
- Energía eléctrica y térmica.
- Agua.

Los datos para los materiales de los equipos y la obra civil se han supuesto de acuerdo a los flujos solicitados para que la instalación pueda aproximarse lo máximo a la realidad.

4.2.2. Análisis de Inventario del Ciclo de Vida (ICV)

Se evalúa cada proceso del sistema por separado, tanto los flujos de entrada de materia, energía y agua como los equipos necesarios en cada una de las etapas. También se realiza un inventario de la instalación, es decir, la obra civil, y la ocupación de esa construcción en el entorno, el uso del suelo.

Todos los datos del inventario se introducen en el programa SimaPro 7.2 a través de su base de datos.

4.2.2.1. Procesos del sistema

➤ RECEPCIÓN.

En esta etapa la leche cruda llega a la central, se mide el volumen y se evalúa su calidad tanto físico-química como higiénica. También se realiza un filtrado de la leche con filtros de acero inoxidable de diámetro de paso de 0.2 a 1mm, para eliminar las partículas más groseras (despreciables en comparación con la cantidad de leche de entrada).

La leche cruda que entra en la instalación proviene de granjas lecheras. En la base de datos del software SimaPro 7.2 existen diferentes tipos de leche [24]:

- **Leche convencional de granja con cuotas.**

La leche regida por regulaciones públicas se encuentra en exceso en el mercado y su producción está entre ciertos límites independientes de la demanda de mercado.

La leche contabilizada por la base de datos del programa es la que proviene de la demanda marginal de la leche de granjas lecheras que no influye en el alcance de los procesos de producción de leche en la granja, es decir, no incluye el ganado ni los pastos o alimento de la producción, y esto hace que los impactos medioambientales asociados a la leche sean cero.

- **Leche convencional de granja sin cuotas.**

Las granjas lecheras no pueden determinarse sobre la base de la experiencia como otros productos agrícolas, porque el mercado ha sido regulado por cuotas durante muchos años.

Sin embargo, se ha supuesto que la leche marginal se produce en suelos arenosos en granjas con alta densidad de ganado (granja tipo 18) o en suelos arcillosos en granjas con alta densidad de ganado (granja tipo 6).

✓ **Granja tipo 18.**

En este tipo de granja con suelo arenoso, las vacas lecheras son alimentadas con alimento para el ganado especialmente el producido a partir de la cebada de primavera y harina de soja. Esto produce un aumento del uso del suelo, proveniente de la producción de alimento para el ganado.

✓ **Granja tipo 6.**

En este tipo de granja con suelo arcilloso, las vacas lecheras se alimentan de los pastos que este suelo alberga, no es necesario un suplemento alimenticio como en el caso anterior. Esto hace que desaparezca el uso del suelo para producir alimento para el ganado. Este alimento se genera solo en el tipo de suelo arcilloso, es decir, las praderas y pastos.

En este tipo de granjas sin cuotas, los impactos ambientales asociados a la leche están influenciados por la demanda de carne de ganado debido a que la leche y la producción de ganado se integran en un mismo proceso. Se ha asumido que la medida de la producción de carne de ganado se determina por la demanda de leche de forma independiente de las cuotas lácteas.

Tras comprobar el impacto generado por cada uno de los tipos de leche descritos anteriormente, se selecciona la leche convencional sin cuotas de la granja tipo 6. Estos resultados de impacto ambiental se recogen en el ANEXO A.

Se elige este tipo de leche debido a que incluye en el impacto el ganado productor de la leche y el alimento del ganado.

Se asume que la leche de entrada en la recepción proviene del mismo entorno rural en el que se encuentra la instalación debido a que se considera que la elaboración de este queso fresco es artesanal, con lo que el tipo de alimento del ganado son pastos y praderas como en el tipo de granja 6.



Figura 10. Proceso de recepción.

✓ **Flujos de energía.**

Consumo de energía eléctrica: 0,00156 kWh/kg de queso

✓ **Flujos de materia orgánica.**

Leche cruda: 4 kg/kg de queso

✓ **Equipos necesarios.**

PROCESO	EQUIPOS NECESARIOS	kg	Años vida útil
RECEPCIÓN	Báscula acero inoxidable	38	30
	Bomba de transporte de fluidos de acero inoxidable	15,6	15
	Filtro acero inoxidable	8	15
	Tanque almacenaje de acero inoxidable (300L)	505,345	15

➤ **PASTEURIZACIÓN.**

Este proceso sirve para eliminar las bacterias patógenas presentes en la leche y hace que se aumente el tiempo de conservación del producto final, en este caso el queso. La leche filtrada entra en una tina de doble fondo de acero inoxidable con quemadores de gas y se calienta durante 15 segundos a 72°C.

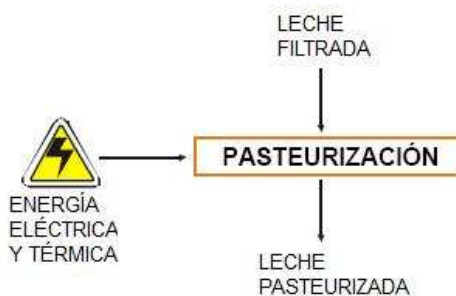


Figura 11. Proceso de pasteurización.

✓ **Flujos de energía.**

Consumo de gas: 0,0006552 kWh/kg de queso

Consumo de energía eléctrica: 0,0039 kWh/kg de queso

✓ **Equipos necesarios.**

PROCESO	EQUIPOS NECESARIOS	kg	Años vida útil
PASTEURIZACIÓN	Bomba de transporte de fluidos de acero inoxidable	15,6	15
	Tina de doble fondo con batidores de acero inoxidable (300L) con quemadores de gas	40,21	15

➤ **ADICIÓN DE INSUMOS.**

Se lleva la leche pasteurizada a otra tina de acero inoxidable para el cuajo. Cuando su temperatura descienda hasta los 35°C, se agrega cloruro de calcio y fermento láctico para mejorar y estabilizar la capacidad de la leche para formar un coágulo con el cuajo. Como último elemento debe ser adicionado el cuajo disuelto en agua pasteurizada fría y sal, para coagular la caseína de la leche.



Figura 12. Proceso de adición de insumos.

✓ **Flujos de energía.**

Consumo de energía eléctrica: 0,00156 kWh/kg de queso

✓ **Flujos de agua.**Agua para diluir el cuajo: 0,0004 m³/kg de queso✓ **Flujos de materia orgánica e inorgánica.**

Cuajo: 0,1 kg/kg de queso

Fermento láctico: 0,008 kg/kg de queso

Cloruro de calcio: 0,0008 kg/kg de queso

✓ **Equipos necesarios.**

PROCESO	EQUIPOS NECESARIOS	kg	Años vida útil
ADICION DE INSUMOS	1/8 Tina de cuajo de doble fondo (para llenado de agua) de acero inoxidable (300L)	16,25	15
	Bomba de transporte de fluidos de acero inoxidable	15,6	15
	Balde de plástico (polietileno)	0,0224	10
	Jarra de plástico (polietileno)	0,015	10

➤ **COAGULACIÓN.**

Es la solidificación de la leche tras haber añadido los insumos anteriores. Dependiendo del nivel de acidez, el tiempo de coagulación podrá variar hasta llegar a su punto óptimo (aproximadamente 45 minutos).

✓ **Equipos necesarios.**

PROCESO	EQUIPOS NECESARIOS	kg	Años vida útil
COAGULACIÓN	1/8 Tina de cuajo de doble fondo (para llenado de agua) de acero inoxidable (300L)	16,25	15

➤ **CORTE DE CUAJADA.**

El corte de la cuajada se realiza de modo homogéneo, primero con la lira horizontal de acero inoxidable y luego con la lira vertical, para evitar pérdidas por efecto de ruptura mecánica y deficiente sinéresis.

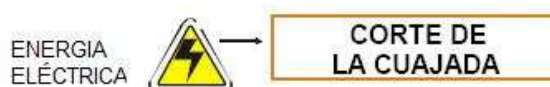


Figura 13. Proceso de corte de la cuajada.

✓ **Flujos de energía.**

Consumo de energía eléctrica: 0,00117 kWh/kg de queso

✓ **Equipos necesarios.**

PROCESO	EQUIPOS NECESARIOS	kg	Años vida útil
CORTE CUAJADA	Lira horizontal acero inoxidable	3,705	15
	Lira vertical acero inoxidable	3,705	15
	1/8 Tina de cuajo de doble fondo (para llenado de agua) de acero inoxidable (300L)	16,25	15

➤ **PRIMER BATIDO.**

El primer batido se efectuará de manera muy lenta para evitar la ruptura del grano con dos paletas de acero inoxidable.

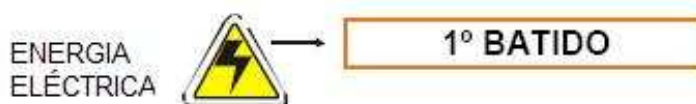


Figura 14. Proceso del primer batido.

✓ **Flujos energía.**

Consumo de energía eléctrica: 0,00234 kWh/kg de queso

✓ **Equipos necesarios.**

PROCESO	EQUIPOS NECESARIOS	kg	Años vida útil
PRIMER BATIDO	1/2 Paletas de acero inoxidable (2ud.)	6,4625	15
	1/8 Tina de cuajo de doble fondo (para llenado de agua) de acero inoxidable (300L)	16,25	15

➤ **PRIMER DESUERADO.**

Se extrae el 30 % aproximadamente, del volumen inicial de leche en suero con planchas perforadas de acero inoxidable (actúan como filtro), en la tina de cuajo.



Figura 15. Proceso del primer desuerado.

✓ **Equipos necesarios.**

PROCESO	EQUIPOS NECESARIOS	kg	Años vida útil
PRIMER DESUERADO	1/2 Planchas perforadas de acero inoxidable	4,68	15
	1/8 Tina de cuajo de doble fondo (para llenado de agua) de acero inoxidable (300L)	16,25	15

➤ **SEGUNDO BATIDO Y CALENTAMIENTO.**

Se calienta la cuajada a 38°C con agua a 75° C en el doble fondo de la tina de cuajo. El batido con las paletas de acero inoxidable se efectuará de forma más enérgica con el objetivo de secar el grano hasta llegar al punto adecuado de humedad para finalizar el trabajo de agitado. La medición de la temperatura de la cuajada se realiza con un termómetro de canastilla.



Figura 16. Proceso del segundo batido y calentamiento.

✓ **Flujos de energía.**

Consumo de energía eléctrica: 0,0039 kWh/kg de queso

Consumo de gas natural: 0,0004368 kWh/kg de queso

✓ **Flujos de agua.**

Agua para calentamiento tina: 0,0056 m³/kg de queso

✓ **Equipos necesarios.**

PROCESO	EQUIPOS NECESARIOS	kg	Años vida útil
SEGUNDO BATIDO Y CALENTAMIENTO	Tanque de agua (450L) con quemadores de gas	60,3	15
	Bomba hidráulica de agua de acero inoxidable	16	15
	1/2 Paletas de acero inoxidable (2ud.)	6,4625	15
	1/8 Tina de cuajo de doble fondo (para llenado de agua) de acero inoxidable (300L)	16,25	15

➤ **SEGUNDO DESUERADO.**

Se elimina todo el suero con las planchas perforadas de acero inoxidable, hasta dejar sólo los granos.



Figura 17. Proceso del segundo desuerado.

✓ **Equipos necesarios.**

PROCESO	EQUIPOS NECESARIOS	kg	Años vida útil
SEGUNDO DESUERADO	1/2 Planchas perforadas de acero inoxidable	4,6835	15
	1/8 Tina de cuajo de doble fondo (para llenado de agua) de acero inoxidable (300L)	16,25	15

➤ **SALADO.**

El salado debe realizarse para lograr el sabor adecuado del queso. Se agrega aproximadamente un 1,8% de sal del total de los litros de leche de entrada. De ese 1,8%, alrededor del 1,1% es absorbido por el queso, el otro restante 0,7% es vertido al exterior.



Figura 18. Proceso de salado.

✓ **Flujos de materia inorgánica.**

Sal añadida: 0,072 kg/kg de queso

✓ **Equipos necesarios.**

PROCESO	EQUIPOS NECESARIOS	kg	Años vida útil
SALADO	1/8 Tina de cuajo de doble fondo (para llenado de agua) de acero inoxidable (300L)	16,25	15

➤ **MOLDEADO Y AUTO PRENSADO.**

Se realiza de forma tal que el grano es colocado en los moldes, para que luego por simple presión del peso propio del queso, se realice el desuerado final (despreciable en comparación con el primer y segundo desuerado) y el auto prensado.



Figura 19. Proceso de moldeado y auto prensado.

✓ **Equipos necesarios.**

PROCESO	EQUIPOS NECESARIOS	kg	Años vida útil
MOLDEADO Y AUTO PRENSADO	Mesa de desuerado de acero inoxidable	15	15
	Moldes plástico de polietileno de 1kg de capacidad (75 Ud./300L leche)	7,14	10

➤ **REFRIGERACIÓN.**

Se lleva el queso a refrigeración para que logre su punto final de textura y presentación (12 horas aproximadamente).

Para este enfriamiento se ha escogido un refrigerador de tipo B, de la base de datos del software SimaPro 7.2, con un consumo de 2,3 Wh/litro de capacidad al día [25].



Figura 20. Proceso de refrigeración.

✓ **Flujos de energía.**

Consumo de refrigeración (energía eléctrica): Se deben refrigerar 1,06 litros/día por kg de queso

✓ **Equipos necesarios.**

PROCESO	EQUIPOS NECESARIOS	kg	Años vida útil
REFRIGERACIÓN	Cámara frigorífica de 1x1,5x2m (aluminio Y aislante)	214,515	15
		6,356	15
	Estanterías de acero inoxidable (2ud.)	10	15

➤ ENVASADO.

El queso se envasa al vacío en bolsas de polietileno y se etiqueta.

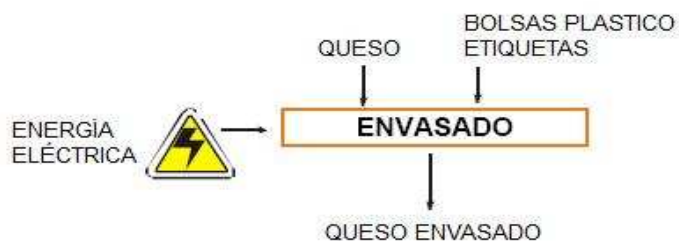


Figura 21. Proceso de envasado.

✓ Flujos de energía.

Consumo de energía eléctrica: 0,00312 kWh/kg de queso

✓ Flujos de materia inorgánica.

Bolsas de plástico: 0,0736 kg/kg queso

Etiquetas de papel: 0,00225 kg/kg queso

✓ Equipos necesarios.

PROCESO	EQUIPOS NECESARIOS	kg	Años vida útil
ENVASADO	Envasadora por succión interna de acero inoxidable	62	15
	Mesa de trabajo de acero inoxidable	15	15

➤ ALMACENAMIENTO.

Se realiza en refrigeración a 4°C.

Para este enfriamiento, como en la etapa de refrigeración, se ha escogido un refrigerador de tipo B, de la base de datos del software SimaPro 7.2, con un consumo de 2,3 Wh/litro de capacidad al día [25].

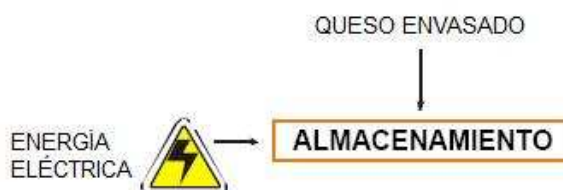


Figura 22. Proceso de almacenamiento.

✓ **Flujos de energía.**

Consumo de refrigeración (energía eléctrica): Se deben refrigerar 1,06 litros/día por kg de queso

✓ **Equipos necesarios.**

PROCESO	EQUIPOS NECESARIOS	kg	Años vida útil
ALMACENAMIENTO	Cámara frigorífica de 1x1,5x2m (aluminio Y aislante)	214,515	15
		6,356	15
	Estanterías de acero inoxidable (2ud.)	10	15

➤ **LIMPIEZA EQUIPOS.**

Tras todos estos procesos pertenecientes a la fabricación del queso fresco, se debe realizar un último. Este proceso es la limpieza y desinfección de los equipos utilizados. Los niveles de higiene en las instalaciones y equipos de las industrias lácteas deben ser elevados debido a las características de la materia prima utilizada y de los productos fabricados.

Por ello, las operaciones de limpieza de equipos e instalaciones deben ser minuciosas y frecuentes, debiendo asegurar los niveles de higiene mínimos exigibles [26]. Este proceso puede ser de dos tipos: limpieza manual o limpieza automática (CIP).

- **La limpieza manual** es un sistema casi obsoleto ya que es necesaria mano de obra para realizar este proceso. Solo se realiza en algunas industrias de pequeño tamaño o en partes de equipos de difícil acceso debido a que el consumo de agua y energía es elevado en comparación con los sistemas automáticos, además de que la concentración de detergentes y desinfectantes es mayor. El proceso consiste en un aclarado inicial, seguido de un enjuague con detergentes, después un aclarado intermedio para posteriormente realizar un enjuague con desinfectantes y finalmente un último aclarado.

- **La limpieza automática (CIP)** es más utilizada en este tipo de industrias en equipos que no sean de difícil acceso ya que es necesaria menos mano de obra (casi inexistente) y se realiza en menor tiempo. Además se ve reducido el consumo de agua, energía y concentración de detergentes, en comparación con el sistema anterior. El proceso consiste en un aclarado inicial, seguido de una aplicación de detergentes y desinfectantes para terminar con un aclarado final. Este sistema necesita menos aclarados y por tanto menos volumen de agua debido a que se realizan a altas presiones estos enjuagues.



Figura 23. Proceso de limpieza.

El agua utilizada en esta etapa proviene de la red de abastecimiento de agua más cercana, debido a que el consumo de agua no es elevado por la pequeña producción de esta instalación. Cabe destacar que para poder disminuir este consumo, muchas industrias lácteas de grandes dimensiones, reutilizan el agua que se ha usado en el proceso de elaboración para realizar la limpieza posterior de los equipos.

Para esta instalación se ha ponderado la limpieza, ya que hay equipos con zonas de difícil acceso en los que no se podría implantar una limpieza automática. Un 20% corresponde a una limpieza manual destinada a partes de difícil acceso de la tina de cuajo, del tanque de almacenamiento y de la tina de pasteurización, y por otra parte a las mesas de desuerado, moldes y estanterías. El restante 80% va destinado a la limpieza automática (CIP) de los siguientes equipos: tanque de almacenamiento de la leche, tina de pasteurización y tina de cuajo.

✓ Flujos de energía.

- **Limpieza manual (20%):**

Consumo de energía eléctrica: 0,00117 kWh/kg de queso

Consumo de gas: 0,00017472 kWh/kg de queso

- **Limpieza automática (CIP) (80%):**

Consumo de energía eléctrica: 0,002808 kWh/kg de queso

Consumo de gas: 0,00034944 kWh/kg de queso

✓ **Flujos de materia inorgánica.**▪ *Limpieza manual (20%):*

Detergentes y desinfectantes: 0,016 kg/kg de queso

▪ *Limpieza automática (CIP) (80%):*

Detergentes y desinfectantes: 0,032 kg/kg de queso

✓ **Flujos de agua.**▪ *Limpieza manual (20%):*Agua: 0,0024 m³/kg de queso▪ *Limpieza automática (CIP) (80%):*Agua: 0,0048 m³/kg de queso✓ **Equipos necesarios.**

PROCESO	EQUIPOS NECESARIOS	kg	Años vida útil
LIMPIEZA MANUAL	Bomba hidráulica de agua de acero inoxidable	9,6	15
	Tanque de agua (180L) con quemadores de gas	24,12	15

PROCESO	EQUIPOS NECESARIOS	kg	Años vida útil
LIMPIEZA AUTOMÁTICA (CIP)	Bomba hidráulica de agua de acero inoxidable	76,8	15
	3 Tanques de agua (120L) con quemadores de gas	48,24	15

4.2.2.2. *Obra civil*

Se contabilizan los kg de los materiales utilizados en la construcción de la nave de la instalación de 150m², así como la instalación de saneamiento y electricidad.

MATERIALES	kg	Años vida útil
Hormigón	188000	30
Aislante	323,92	30
Puerta aluminio	1080	30
Viga IPN 200 (8 Ud.)	1249	30
Viga HEB 200 (3 Ud.)	1319,43	30
Pilar HEA 300 (6 Ud.)	2649	30
Tejado fibrocemento	1049,4	30
Tubería PVC (46m)	137,777	30
Tubería espiral PVC (11m)	38,9	30
Sumideros PVC (6 Ud.)	1,56	30
Tubería cobre con aislante (25m) (cobre)	257,25	30
Tubería cobre con aislante (25m) (aislante)	0,075	30
Canalones PVC (40m)	59,616	30
Cables (200m)	140,12	30
Luminaria vapor de sodio (10ud.)	81,2	10

En la tabla anterior se observa que los materiales para hacer la estructura de la nave tienen más peso que la instalación de saneamiento y electricidad.

4.2.2.3. *Uso del suelo*

Dentro de la obra civil se ha considerado el uso del suelo que hace la instalación, es decir la ocupación de esa construcción en el entorno. Para ello se multiplica el área ocupada por la nave por un factor 1,5 y se divide por los años de vida útil de la instalación:

$$(1,5 * 150 \text{ m}^2) / 30 \text{ años de vida útil} = 7,5 \text{ m}^2/\text{año}$$

En este caso la localización de la nave se encuentra en el entorno rural debido a que es una instalación de pequeño tamaño semejante a las industrias lácteas de fabricación de queso artesanal.

4.2.3. Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida (EICV)

Tras introducir los datos de la fase de Inventario a través de la base de datos del programa SimaPro 7.2, se obtienen los resultados de impacto aplicando las siguientes metodologías:

4.2.3.1. IPCC 100 años

Con esta metodología se quiere localizar el proceso o procesos que contribuyan en la mayor medida a la categoría de impacto del cambio climático.

Se contabilizan los kg de CO₂ generados en cada proceso por unidad de producto terminado, el kg de queso. Este análisis se realiza para un plazo de 100 años.

El software SimaPro 7.2 realiza las categorías de clasificación y caracterización para dar como resultado final los impactos en los procesos con el indicador kg de CO₂ equivalentes.

4.2.3.2. Ecoindicador '99

Con esta metodología se contabiliza la carga de impacto que tiene cada proceso en las categorías de impacto siguientes:

- ✓ Las que perjudican a la salud (DALY): sustancias cancerígenas, orgánicos respirados, inorgánicos respirados, cambio climático, radiación y capa de ozono.
- ✓ Las que perjudican al ecosistema (PDF m² año): ecotoxicidad, uso del terreno y acidificación – eutrofización.
- ✓ Las que perjudican a los recursos (MJ): minerales y combustibles fósiles

En las fases de ponderación y caracterización se pueden comparar todas las categorías de impacto entre sí ya que se miden en la misma unidad: Pt o mPt.

4.2.4. Interpretación de resultados

4.2.4.1. Carga de impacto ambiental de las etapas

Para realizar una primera y rápida comprobación de la etapa o las etapas generan un mayor impacto ambiental, se contabilizan los kg de CO₂ equivalentes de cada una de ellas con la metodología IPCC en un plazo de 100 años.

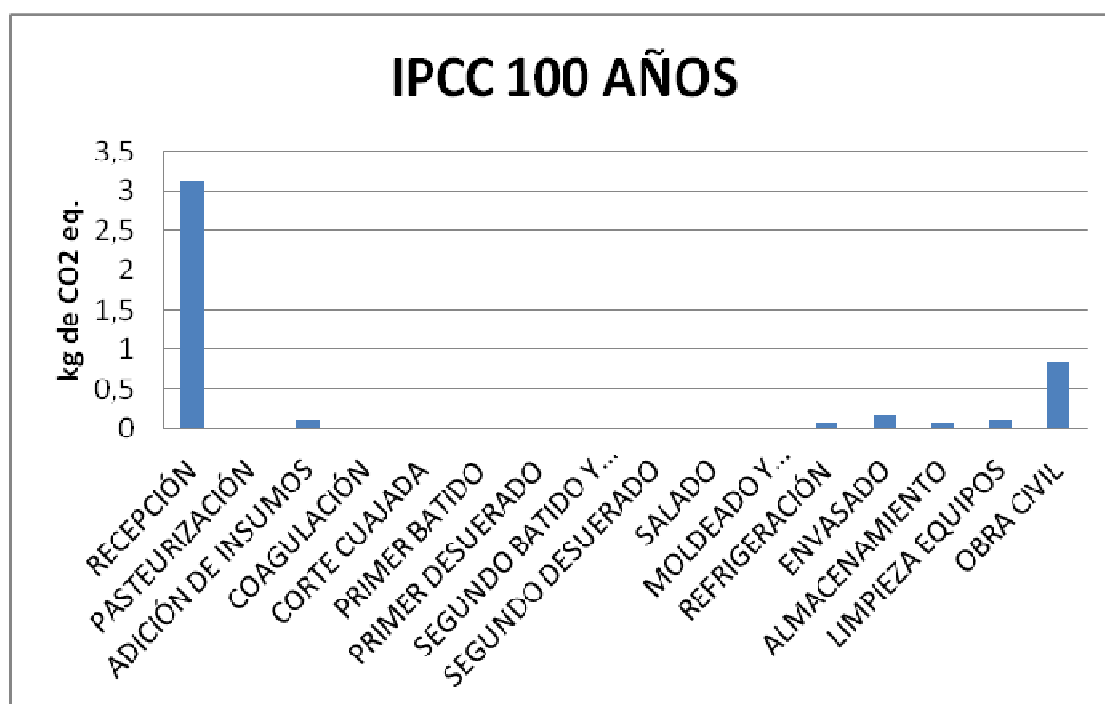


Figura 24. Aplicación metodología IPCC a los procesos del sistema y obra civil.

La mayor huella de CO₂ se genera por la recepción de la leche en la instalación, alrededor de 3 kg de CO₂ equivalentes. Esto se debe a que se considera, a parte del impacto que genera la leche en la entrada, el impacto que se produce por la cría de ganado de vacas lecheras y la manutención de la granja, es decir, los kg de CO₂ generados en todo el proceso de generación de la leche.

La obra civil también tiene una carga de impacto mayor respecto al resto de procesos exceptuando la recepción, en torno a 1 kg de CO₂ equivalentes. Se debe a la cantidad de materiales utilizados en la construcción de la instalación, que además de ser superior al resto de etapas, cada material utilizado incluye la cantidad de CO₂ que se genera en su proceso de fabricación.

El resto de etapas contribuyen en menor medida al cambio climático entre 0 y 0,2 kg de CO₂ equivalentes.

A continuación se detalla la cantidad de CO₂ generada por cada etapa:

ETAPAS	Kg CO ₂ eq.
RECEPCIÓN	3,127
PASTEURIZACIÓN	0,007
ADICIÓN DE INSUMOS	0,117
COAGULACIÓN	0,003
CORTE CUAJADA	0,004
PRIMER BATIDO	0,005
PRIMER DESUERADO	0,003
SEGUNDO BATIDO Y CALENTAMIENTO	0,018
SEGUNDO DESUERADO	0,003
SALADO	0,011
MOLDEADO Y AUTOPRENSADO	0,003
REFRIGERACIÓN	0,072
ENVASADO	0,171
ALMACENAMIENTO	0,072
LIMPIEZA EQUIPOS	0,121
OBRA CIVIL	0,838
Total	4,577

Figura 25. Carga de impacto sobre la categoría de cambio climático en kg de CO₂ equivalentes.

Alrededor de un 20% del impacto sobre la categoría de cambio climático procede de la obra civil y el restante 80% de los procesos del sistema, desde la recepción hasta la limpieza de los equipos.

Esta distribución de la carga de impacto se debe a que en la etapa de recepción de leche se cuentan los impactos de la leche producidos en su generación, en la granja lechera.

La contribución de estos impactos a la etapa de recepción es la siguiente:

	RECEPCIÓN SIN FLUJO DE LECHE	RECEPCION CON FLUJO DE LECHE	IMPACTO LECHE
kg de CO₂ eq.	0,010	3,127	3,117

Figura 26. Impacto que genera la leche de entrada en la instalación.

Los impactos que genera contabilizar la producción de la leche en la granja suponen 3,117 kg de CO₂ equivalentes respecto del total que son 4,557 kg de CO₂ equivalentes.

Casi un 70% del impacto total se debe a la producción de leche convencional de granja 6 escogida, sin cuotas.

Para poder comparar este resultado con el obtenido por otro proceso de elaboración de queso similar, se calcula el impacto del queso que aparece como producto en la base de datos del software SimaPro 7.2.

Para realizar esta comparación se van a despreciar los impactos generados por la producción de leche en las granjas ya que desvirtúan mucho los resultados.

El impacto generado por el proceso de la base de datos del programa, sin contabilizar el impacto de la leche para la producción de queso, es de 1,116 kg de CO₂ equivalentes.

Por otra parte, si se contabilizan solo los kg de CO₂ equivalentes del sistema de estudio, sin la carga de la leche de entrada ni la obra civil, para poder compararlos con los obtenidos por el proceso incluido en el programa, el impacto global que se genera en la producción es de 0,602 kg de CO₂ equivalentes.

El impacto del sistema estudiado resultante es aproximadamente la mitad del impacto generado por un proceso cualquiera de elaboración de queso. Se debe a que la producción de queso en este caso es pequeña en comparación con otras instalaciones.

Para visualizar la carga de impacto que generan las etapas en otras categorías de impacto es necesario comentar los resultados obtenidos con la metodología Ecoindicador '99.

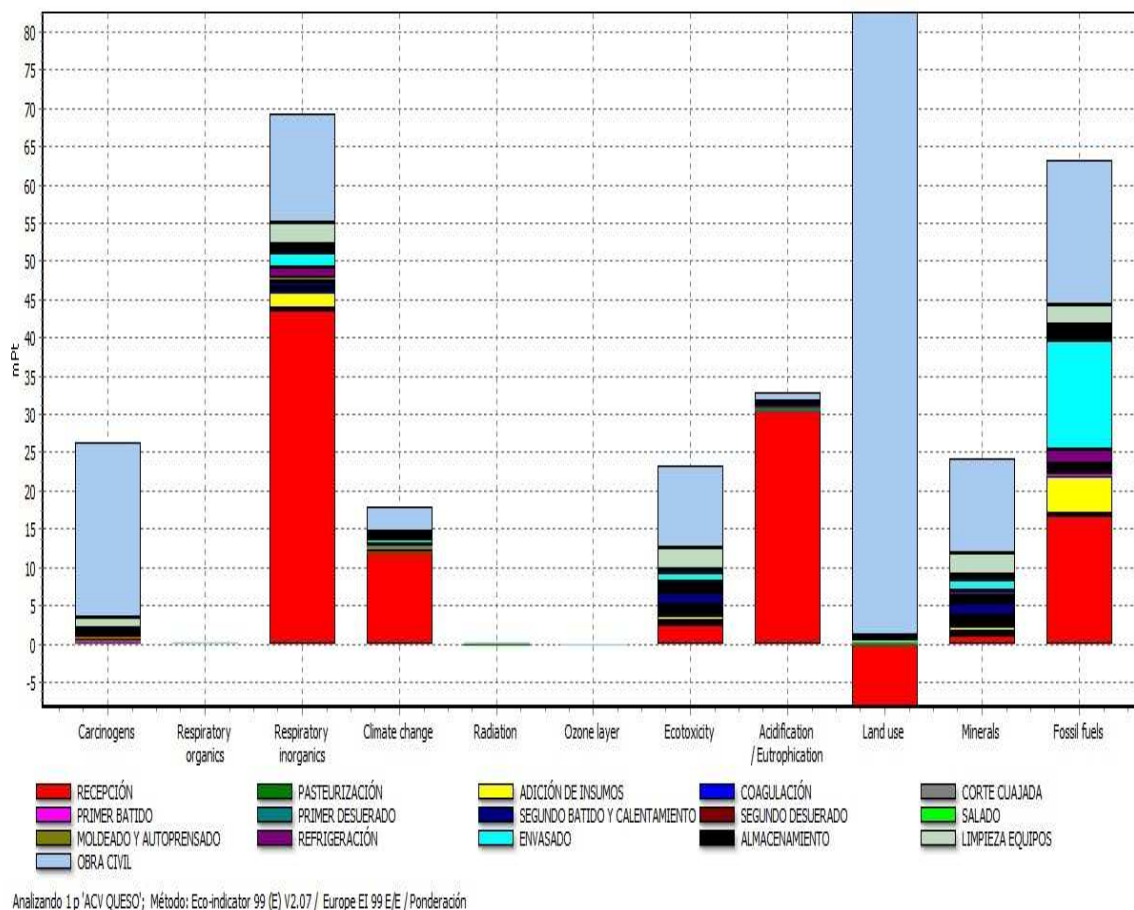


Figura 27. Fase de ponderación de la metodología Ecoindicador '99.

Las categorías que tienen mayor carga de impacto son: uso del terreno, inorgánicos respirados y combustibles fósiles.

- **Uso del terreno.**

Tiene una gran carga de impacto respecto al resto, sobrepasa los 80 mPt. Esto se debe a que la ubicación de la instalación se encuentra en un entorno rural y genera un impacto sobre la abundante diversidad de las especies en ese tipo de zonas.

Se observa también que alrededor de 10 mPt son de impacto negativo y corresponden a la producción de la leche en la granja. Al escoger la granja 6, no hay impacto sobre la categoría de uso del terreno ya que la alimentación del ganado procede de los pastos y praderas que se regeneran por si solos.

- **Inorgánicos respirados.**

Es la segunda categoría que se ve más afectada. El impacto proviene del ganado productor de la leche. Los excrementos que generan son muy tóxicos y al descomponerse producen otros gases como urea, amoníaco, ácido sulfhídrico y metano. Este tipo de gases aumentan la toxicidad del ambiente y pueden producir afecciones al aparato respiratorio.

- **Combustibles fósiles.**

Se debe principalmente a:

- ✓ Los procesos en los que se utilizan materiales en cuya fabricación y transporte ha sido necesaria la utilización de combustibles fósiles.
- ✓ Los procesos en los que se consume tanto energía térmica como eléctrica, ya que la energía térmica es producida con gas natural en este caso y parte de la energía eléctrica también procede de combustibles fósiles.
- ✓ Procesos de generación de energía térmica en las granjas lecheras para mantenimiento del ganado.

Otras categorías con un nivel de impacto semejante son: sustancias cancerígenas, cambio climático, ecotoxicidad, acidificación-eutrofización y minerales.

- **Sustancias cancerígenas.**

Se produce por materiales utilizados en la obra civil y en los equipos necesarios en los procesos, como el acero inoxidable por su contenido en cromo, el PVC de la instalación de saneamiento o el posible contenido de amianto del tejado de la nave.

- **Cambio climático.**

Se debe sobre todo a la instalación de la granja productora de leche, de las emisiones de metano, que es un gas de efecto invernadero, por parte del ganado.

- **Ecotoxicidad.**

Se produce por emisiones de materiales pesados como el cromo. En este caso proviene de la cantidad de cromo del acero utilizado en los equipos y obra civil.

El vertido de detergentes usados en la limpieza de los equipos también daña a la calidad del ecosistema del entorno.

- **Acidificación – Eutrofización.**

Los desechos del ganado son vertidos a la tierra y al agua provocando la acidificación y eutrofización de estas.

- **Minerales.**

El uso de gran cantidad de materiales provenientes de minerales para la construcción de la instalación y equipos, genera un descenso de las clases de minerales.

Los efectos de estas cargas en cada una de las etapas, los procesos del sistema y obra civil se observan en la siguiente gráfica.

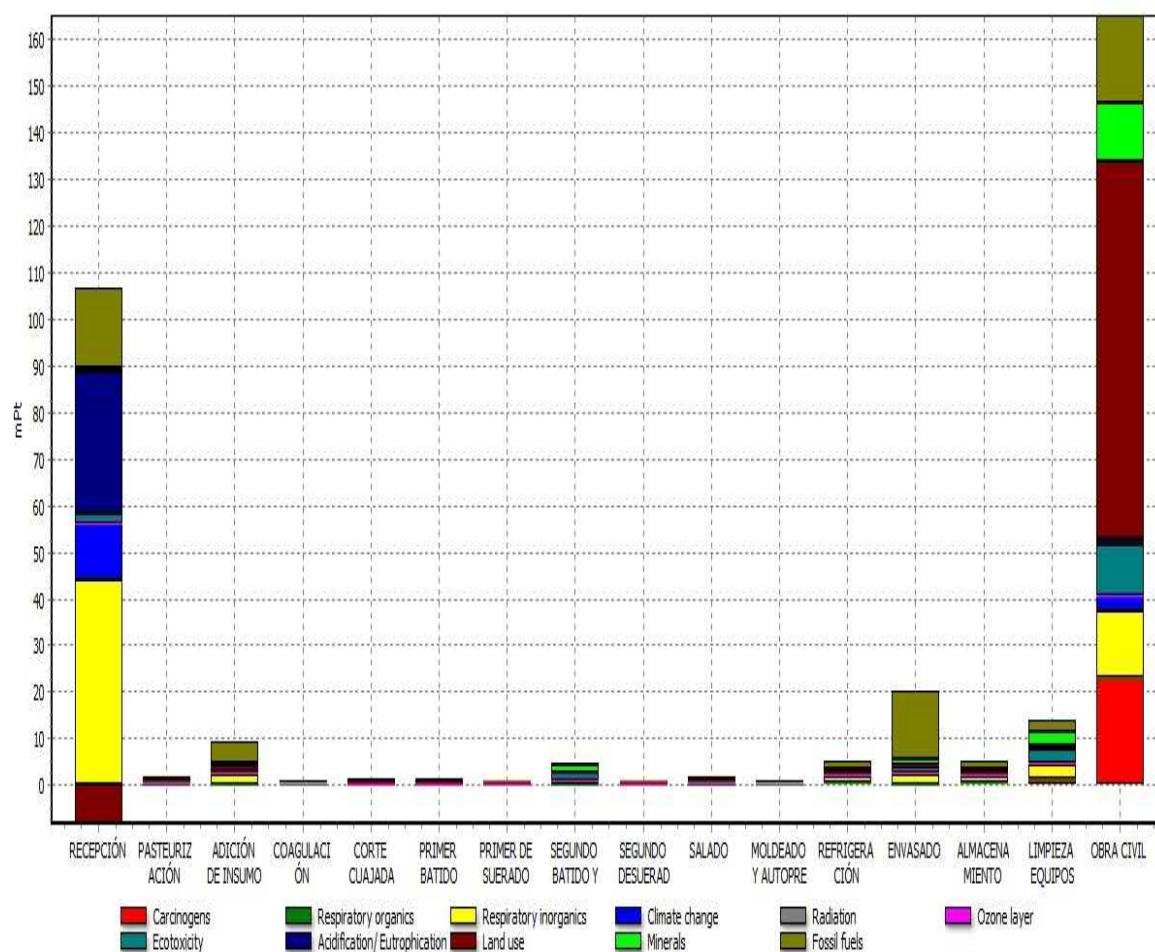


Figura 28. Fase de puntuación única para cada etapa con la metodología Ecoindicador '99.

Las causas de generación de los mayores impactos en cada etapa se citan a continuación:

- **Obra civil.**

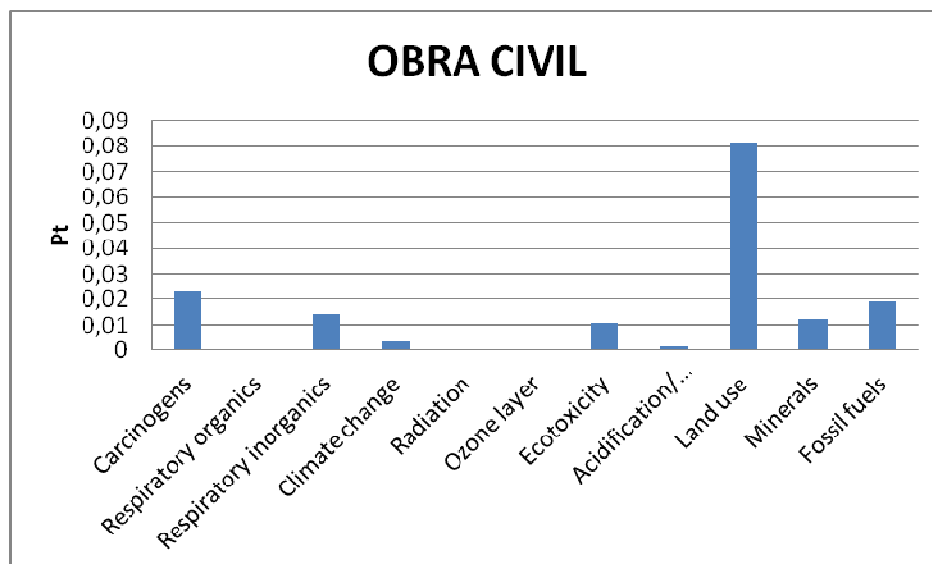


Figura 29. Evaluación por categorías de impacto de la obra civil.

En la obra civil el mayor peso se genera sobre la categoría uso del terreno ya que está incluido el uso del suelo dentro de la construcción de la instalación, que se realiza en un entorno rural.

Los impactos sobre las categorías de sustancias cancerígenas, respiratorios inorgánicos y ecotoxicidad son debidas a las composiciones de algunos materiales de la instalación como el acero inoxidable, el fibrocemento o el PVC.

La cantidad de materiales empleados en la estructura, como en la instalación de saneamiento y electricidad de la nave, es decir, las toneladas totales de materiales utilizadas, es muy superior a las cantidades de material de los equipos que son necesarios en cada proceso de la elaboración del queso fresco. Esto provoca:

- ✓ Agotamiento de minerales provocado por la gran cantidad de materiales que se tienen que usar para realizar la obra civil.
- ✓ Consumo de combustibles fósiles debido a la energía consumida utilizada para fabricar los materiales de la construcción.

La cantidad de impacto global en esta etapa alcanza los 160 mPt. Es la que más contribuye al impacto ambiental total.

- **Recepción.**

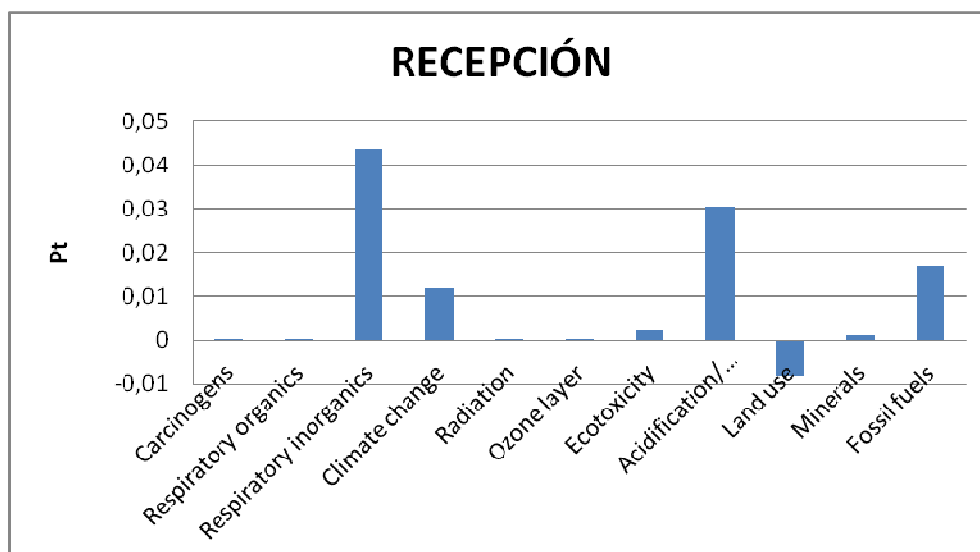


Figura 30. Evaluación por categorías de impacto de la recepción.

Es la segunda etapa que provoca más impacto, por encima de los 100 mPt. Se debe al tipo de leche utilizado para elaborar el queso fresco. Los impactos que se reflejan en la gráfica provienen de los generados en la granja:

- ✓ Emisiones de componentes tóxicos, generados por el ganado.
- ✓ Consumo de energía para la manutención del ganado y la granja.

Hay un impacto de 10 mPt que es negativo, es decir, no contribuye al impacto positivo total. Proviene del uso del terreno.

La ubicación de esta granja está en un tipo de suelo arcilloso que es bueno para albergar grandes praderas y pastos que sirven de alimento para las vacas lecheras. Este alimento se regenera por sí solo y por ello no crea impacto positivo.

El resto de etapas contribuyen en menor medida al impacto ambiental global. Todas ellas se encuentran por debajo de los 20 mPt.

- **Envasado.**

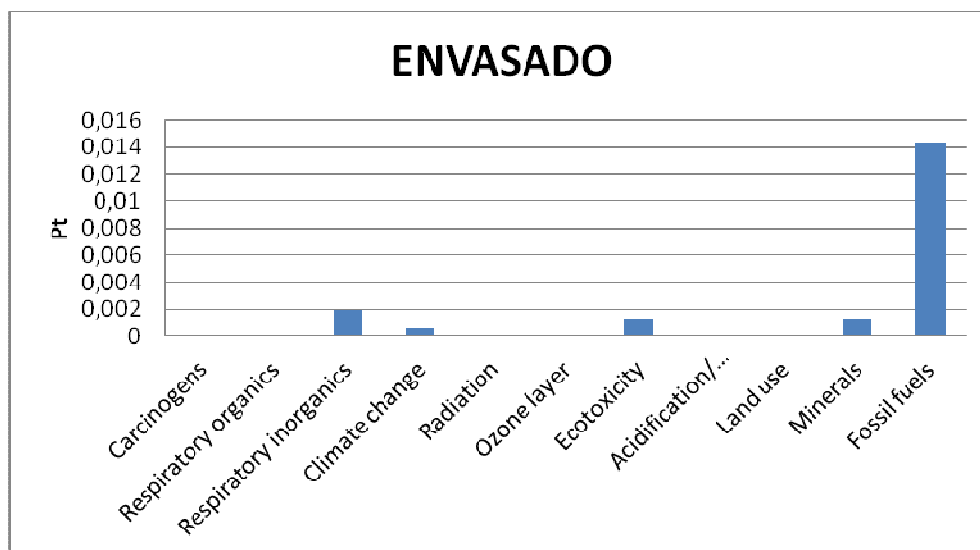


Figura 31. Evaluación por categorías de impacto del envasado.

El uso de plástico para las bolsas de envasado y de papel para las etiquetas hace que sea la tercera etapa del sistema que más contribuya al cambio climático. En este caso contribuye al impacto total con 20 mPt.

- **Limpieza equipos.**

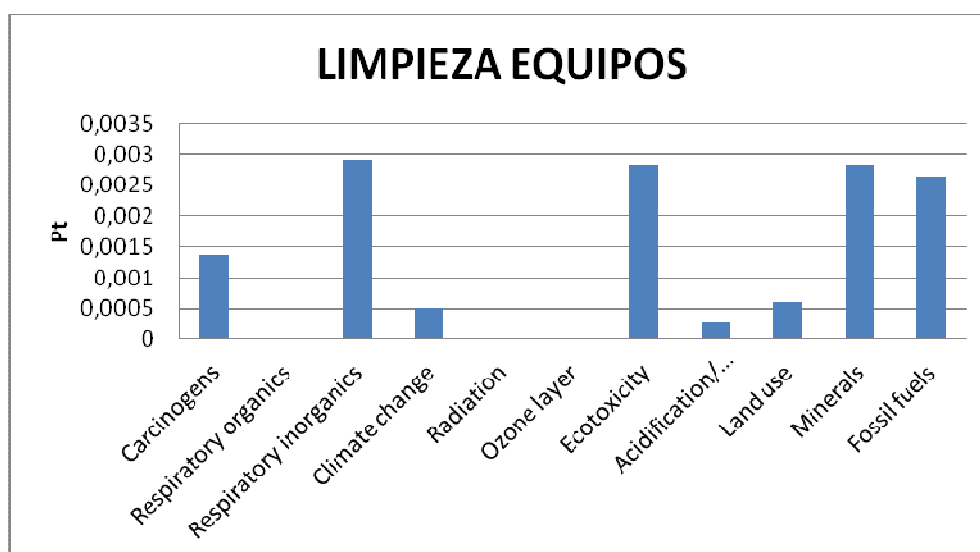


Figura 32. Evaluación por categorías de impacto de la limpieza de equipos.

Los detergentes y desinfectantes usados así como el gran volumen de agua utilizado (un 30% más que el volumen de leche de entrada) en la limpieza de los equipos tanto manual como automática, genera un impacto ambiental. Esta etapa contribuye con alrededor de 15 mPt al impacto global.

Las causas de las categorías más afectadas por este proceso son las siguientes:

- ✓ Las categorías de sustancias cancerígenas, inorgánicos respirados y ecotoxicidad se deben al uso de detergentes y desinfectantes en la limpieza de los equipos.
- ✓ La carga de minerales es producida por la cantidad de material de los equipos utilizados para la limpieza.
- ✓ Los combustibles fósiles se deben al consumo de energía térmica y eléctrica para calentar y llevar el agua a alta presión a los equipos que la soliciten, respectivamente.

- **Refrigeración y almacenamiento.**

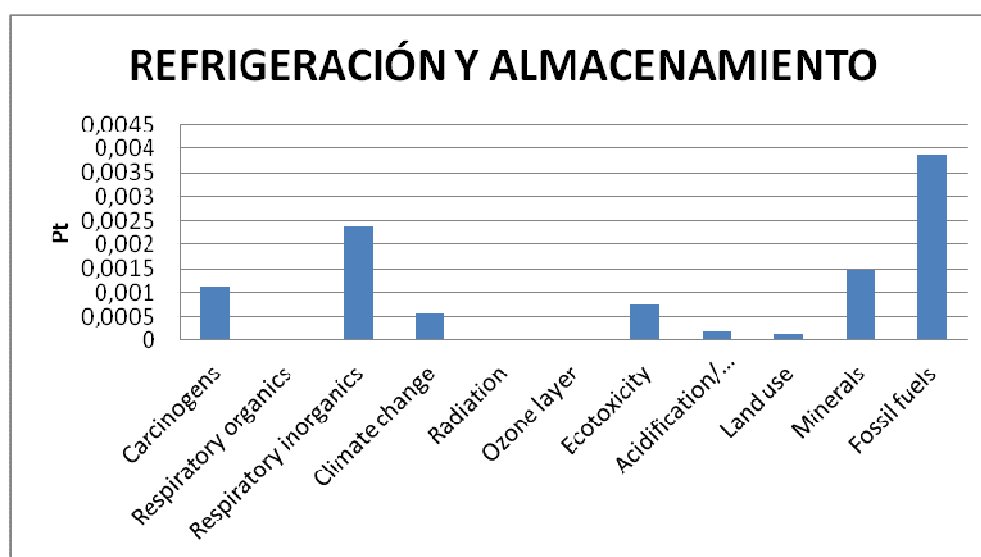


Figura 33. Evaluación por categorías de impacto de la refrigeración y almacenamiento.

Ambos procesos de generación de frío en conjunto contribuyen casi con 10 mPt al impacto total. Se debe a su consumo de energía eléctrica necesaria para producir ese frío que ronda el 40% de la energía total consumida en todo el proceso de elaboración.

Las categorías que se ven más afectadas son:

- ✓ La categoría de inorgánicos respirados y minerales, que se debe a los materiales del equipo refrigerador.
- ✓ La ecotoxicidad, que procede de los refrigerantes utilizados en el refrigerador.
- ✓ El uso de combustibles fósiles, procedente del consumo de energía eléctrica para la generación de frío.

- **Adición de insumos.**

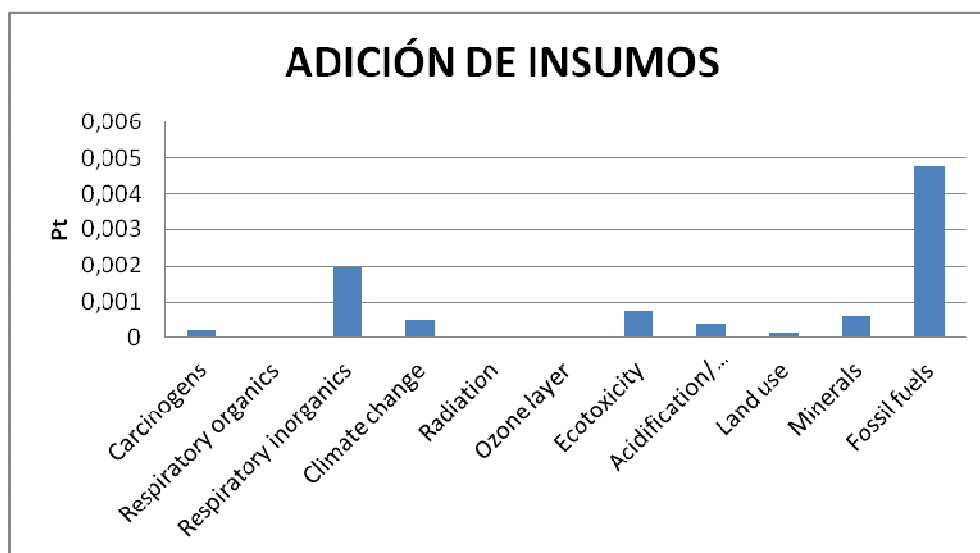


Figura 34. Evaluación por categorías de impacto de la adición de insumos.

El uso de recipientes de plástico, en este caso polietileno para diluir y añadir el cuajo, fermento láctico y cloruro de calcio hace que se incremente el impacto generado en este proceso y contribuya con alrededor de 10 mPt al impacto generado total.

El resto de etapas no contribuyen apenas al impacto ambiental total, en comparación a los procesos citados anteriormente. Todas ellas están por debajo de 5 mPt.

4.2.4.2. Comparativa limpieza manual y automática

La etapa de la limpieza de equipos se puede realizar manualmente o automáticamente. Para poder observar cual de las dos opciones contribuye mas al impacto ambiental se han comparado en la siguiente grafica, si se realizase por una parte todo el proceso manual o por otro lado todo el proceso automático.

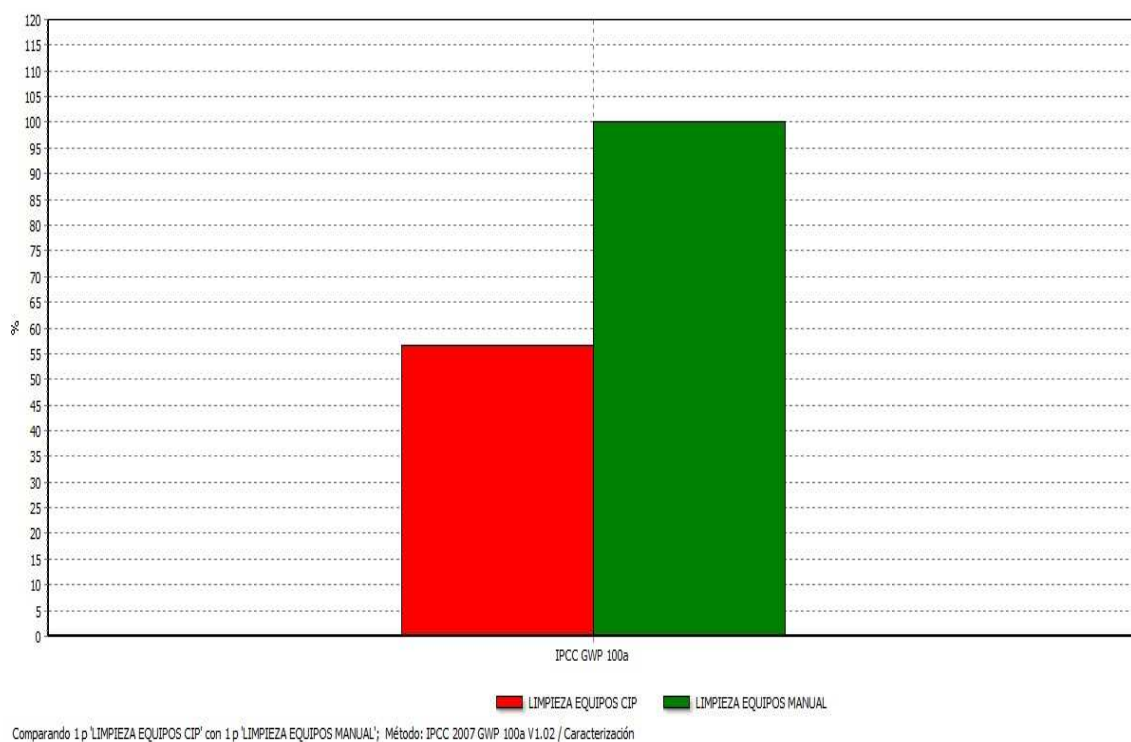


Figura 35. Comparativa limpieza manual vs. CIP.

La limpieza de equipos manual contribuye más al impacto ambiental que la automática (CIP), casi el doble. Esto se debe a que el consumo de energía en la manual es mayor que en la CIP.

La limpieza CIP aunque necesite generar mayor energía para aumentar la presión del agua, el tiempo de limpieza se reduce respecto a la manual. Además solo son necesarias tres etapas de limpieza: un primer enjuague con agua a alta presión, limpieza con agua a presión con concentración pequeña de detergentes y desinfectantes, y un último aclarado a alta presión.

En la limpieza manual son necesarios más aclarados y al no tener el agua con alta presión es necesario más caudal, lo que se traduce en aumento de tiempo de limpieza y de consumo de energía.

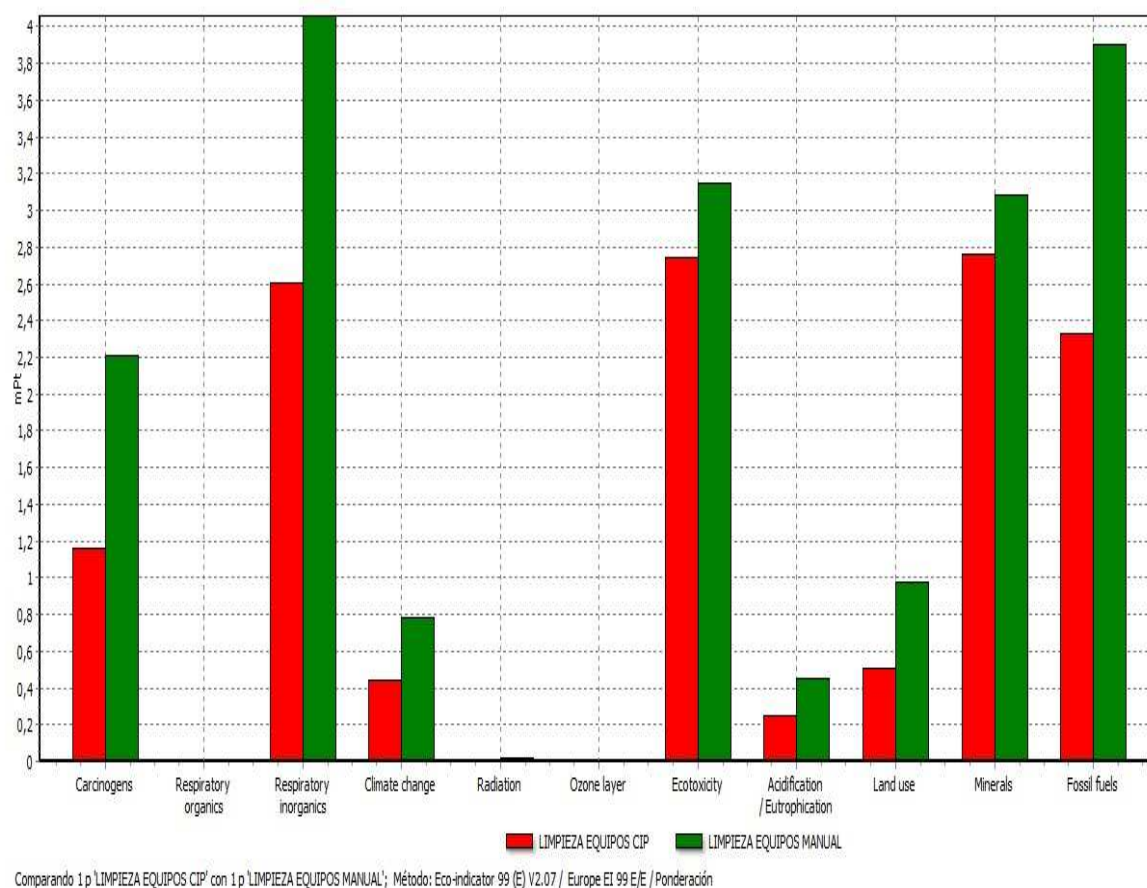


Figura 36. Comparativa categorías de impacto Ecoindicador '99 de la limpieza manual vs. CIP.

En las categorías de impacto del método de cálculo Ecoindicador '99 se observa que de nuevo la limpieza manual es la que más impacto genera en todas ellas.

La categoría de combustibles fósiles se debe al gasto de energía tanto térmica como eléctrica. Aunque sea necesaria mayor energía en la CIP como se ha comentado anteriormente, el tiempo de limpieza es mucho menor y esto hace que se reduzca el consumo.

La categoría de minerales se debe a los materiales utilizados en los equipos, que al ser necesaria más cantidad de agua para la manual se requiere mayor capacidad de los equipos de almacenamiento de agua.

El resto de categorías se ven afectadas por el uso de detergentes y desinfectantes. La concentración de estos es menor en la limpieza CIP.

Para esta instalación la limpieza no puede ser toda automática debido a que hay partes de equipos en los que solo se puede realizar limpieza manual por su forma, donde la limpieza CIP no puede llegar.

En este caso un 80% de la limpieza corresponde a la automática y el restante 20% a la manual.

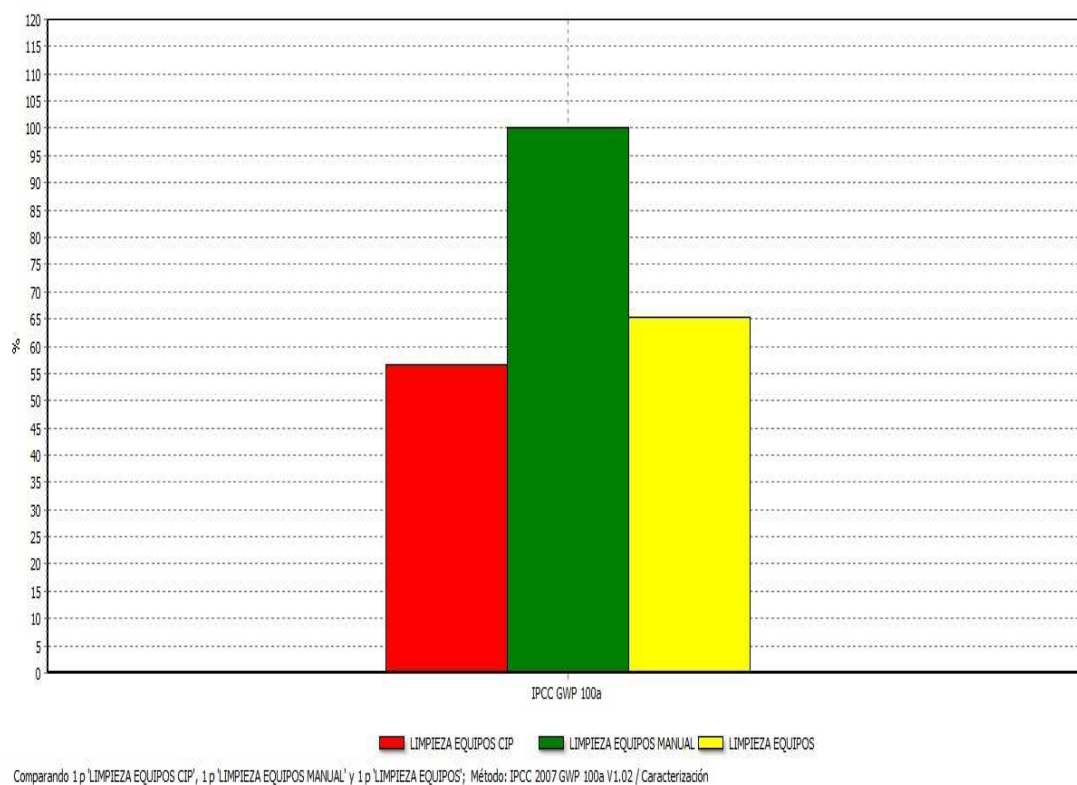


Figura 37. Comparativa limpieza manual, CIP y limpieza real.

La limpieza real de esta instalación genera algo más de impacto que la automática completa y mucho menos que la manual total.

Se debe a que el mayor porcentaje de limpieza pertenece a la automática.

4.2.4.3. Comparativa de los dos procesos de batido

El primer proceso de batido solo se realiza después de cortar la cuajada y no es necesario el calentamiento de la tina de cuajo.

En el segundo batido en el que se ha eliminado ya parte del suero que contenía la cuajada en el primer batido, es necesario un calentamiento de la tina de cuajo para separar más suero de la cuajada.

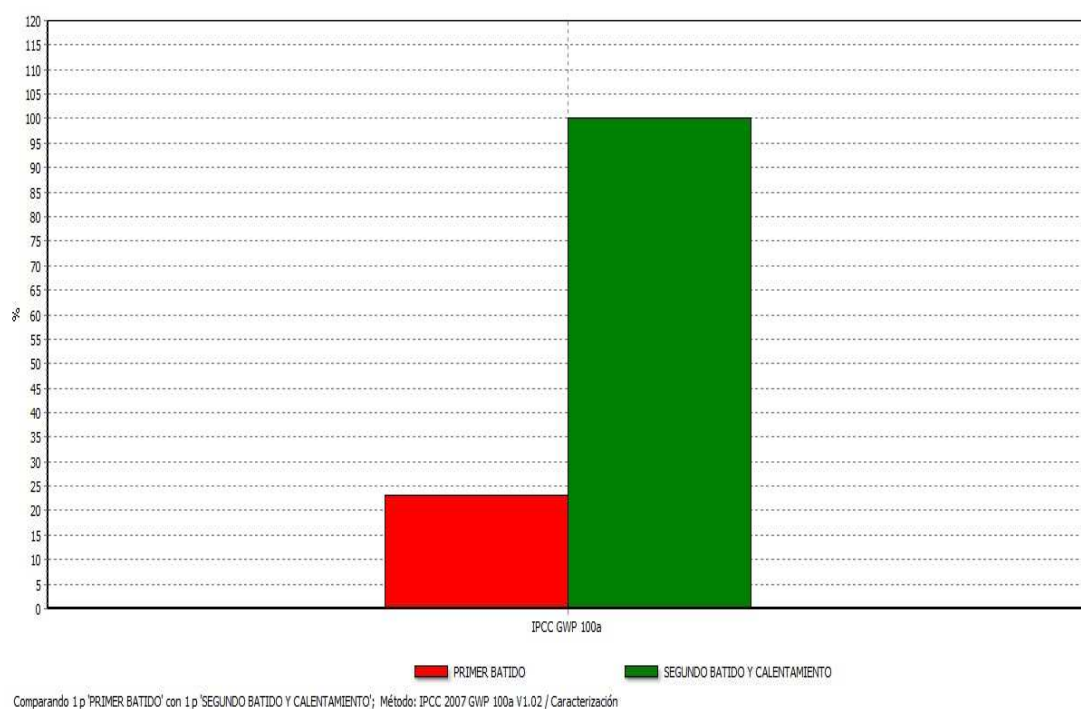


Figura 38. Comparativa procesos de batido.

El segundo batido genera mayor impacto, 4 veces más que el primer batido.

Esto se debe a que en el primer batido no se incrementa la temperatura de la cuajada porque solo se vierte al exterior un 30% del suero total posteriormente. En el segundo batido es necesario el calentamiento de la tina con agua a 75° C para separar la cuajada del suero y así evacuar en la siguiente etapa prácticamente todo el suero restante, un 70% del total.

4.2.4.4. Alternativas energéticas

En todos los procesos de la elaboración del queso fresco en los que se necesita energía eléctrica se ha considerado que se cogía de la red eléctrica proveniente de un mix de producción de 2011. Para los procesos que solicitan energía térmica, la generación de calor se ha asumido que se produce con un proceso de combustión, con una caldera de gas natural.

Como se considera que la instalación de la nave se ubica en un entorno rural, es decir, en un lugar aislado, es lógico suponer que la energía que se necesita se genere en la misma instalación a través de energías renovables.

- ✓ La solar fotovoltaica o la eólica para la generación de energía eléctrica
- ✓ La solar térmica de tubos de vacío para la generación de calor. En este caso se puede instalar este tipo de energía ya que en ningún proceso de que solicita energía térmica es necesaria una temperatura superior a los 75°C, y este tipo de energía solar puede generar calor hasta una temperatura de 90°C aproximadamente.

4.2.4.4.1. Eólica y solar térmica de tubos de vacío

En esta primera opción la energía eléctrica se obtiene con eólica y la térmica con solar de tubos de vacío.

	CON ENERGIA NO RENOVABLE	CON ENERGIA RENOVABLE	DIFERENCIA
kg CO2 eq	4,577	4,569	0,008

Figura 39. Comparativa del uso de eólica y solar térmica vs. no renovables en la instalación.

Si se produce la energía en la instalación, a través de solar térmica y eólica instaladas allí, se observa que el impacto emitido desciende ligeramente, alrededor de un 2%.

4.2.4.4.2. Solar fotovoltaica y solar térmica de tubos de vacío

En la segunda opción la energía eléctrica se obtiene con solar fotovoltaica y la térmica con solar de tubos de vacío.

	CON ENERGIA NO RENOVABLE	CON ENERGIA RENOVABLE	DIFERENCIA
kg CO ₂ eq	4,577	4,570	0,007

Figura 40. Comparativa del uso de solar fotovoltaica y solar térmica vs. no renovables en la instalación.

Si se produce la energía en la instalación, a través de solar térmica y solar fotovoltaica instaladas allí, se observa que el impacto emitido desciende ligeramente, alrededor de un 2%.

La diferencia en ambos casos no es mayor debido a que se trata de una pequeña producción de queso artesanal y los flujos de energía son mucho menores que en una instalación mediana o grande.

El impacto que se genera por los materiales de los equipos y obra civil es mayor que el de los flujos de energía.

Para realizar un posible cambio de la alimentación de la energía en la instalación, es decir, de producir la energía in situ, hay que tener en cuenta otros factores.

Si se contabilizase el impacto del transporte de gas natural y el de energía eléctrica hasta la instalación, ya que se encuentra en un entorno rural aislado, el impacto generado por el consumo de energía sería superior al impacto que supondría producir la energía en la instalación a través de energías renovables.

La diferencia de kg de CO₂ equivalentes entre la utilización de energías no renovables y renovables, aumentaría. Los kg de CO₂ equivalentes producidos por el consumo de gas y energía eléctrica proveniente de la red serían superiores.

De esta forma, desde el punto de vista del ACV, sería rentable construir la instalación de energías renovables en la nave para producir la energía que solicitan los procesos de elaboración de queso fresco.

4.3. APLICACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA AL PROCESO DE ELABORACIÓN DEL QUESO FRESCO

4.3.1. Definición del objetivo y alcance

El objeto de este estudio es determinar el consumo de agua en la elaboración de queso fresco, tanto agua azul como agua verde o gris.

El alcance viene determinado por el sistema de estudio, desde la entrada de leche en la recepción hasta el almacenamiento del queso fresco.

4.3.2. Cálculo de la huella hídrica

En la producción de queso fresco existen consumos de agua azul en los siguientes procesos:

➤ **Adición de insumos.**

Es necesaria una pequeña cantidad de agua para disolver el cuajo que se añade a la leche pasteurizada.

- ✓ Flujo de agua azul: $0,0004 \text{ m}^3/\text{kg}$ de queso.

➤ **Segundo batido y calentamiento.**

Se necesita agua a 75°C para calentar la cuajada y poder facilitar su batido y su posterior desuerado.

- ✓ Flujo de agua azul: $0,0056 \text{ m}^3/\text{kg}$ de queso.

➤ **Limpieza de los equipos.**

El consumo de agua azul representa un 30% más del volumen de leche de entrada.

- ✓ Flujo de agua azul: $0,0072 \text{ m}^3/\text{kg}$ de queso.

No hay flujos de agua verde en el proceso, ni se contabilizan los de agua gris.

4.3.3. Evaluación de la huella hídrica

Según estadísticas de la FAO [27], la huella hídrica media de la leche de vaca es de 940 litros/kg leche. El 50% de esa cantidad se asigna al queso fresco y el otro 50% al suero de leche.

Si de un litro de leche se consiguen 0,25 kg de queso fresco aproximadamente, la huella hídrica de la leche destinada al queso fresco, 470 litros/kg leche, se traduce a una huella de 1880 litros/kg de queso.

El 85% de esa huella hídrica corresponde a agua verde, el 8% a agua azul y el 7% a agua gris.

Como en el proceso de elaboración del queso fresco solo contabilizamos la huella hídrica azul, según el porcentaje anterior, la huella hídrica azul media del queso es de 150,4 litros/kg de queso.

En la instalación, la huella hídrica de la elaboración de queso fresco es de 13,2 litros/kg de queso.

Por lo tanto, el consumo de agua en la instalación de estudio está muy por debajo de esa media y la huella hídrica que genera es muy pequeña, es aproximadamente un 9% de la huella hídrica media mundial del queso.

Esto se debe a que en la media mundial se contabiliza la huella generada en la producción de la leche en las granjas más la huella generada en la elaboración del queso fresco.

4.3.4. Interpretación de resultados

El alcance de este estudio, solo se centra en la huella hídrica del proceso de elaboración de queso fresco.

En este caso, la huella producida es muy pequeña debido a que la producción es de tipo artesanal y los flujos de agua no son excesivos, solo se consumen 13,2 litros/kg de queso.

Esto se debe a que en este estudio no se tienen en cuenta los litros de agua necesarios para el proceso de producción de la leche en las granjas, como en las estadísticas de la FAO.



5. CONCLUSIONES

La instalación estudiada en este caso no ha podido ser real debido a la negativa de este tipo de empresas a facilitar datos.

Sin embargo, se ha podido encontrar información contrastada y válida con estimaciones de datos que se aproximan a la realidad para poder llevar a cabo este análisis.

Las conclusiones más relevantes sacadas como resultado de este estudio son las siguientes:

- Las etapas que más impacto ambiental generan son la recepción y la obra civil.
- La recepción tiene la carga de mayor impacto debido a la leche de entrada, casi un 70% del total. En el impacto de este tipo de leche, escogida de la base de datos del software SimaPro 7.2 tras valorar otras opciones, se contabilizan los impactos de la producción de leche en la granja producidos por el ganado, el alimento del ganado y los consumos energéticos.

La huella de impacto generada en la recepción de podría disminuir si se considerase la leche de entrada sin los impactos arrastrados de la producción en la granja. En este caso, en la base de datos del programa SimaPro 7.2 no aparece el impacto de la leche por sí sola, pero si un proceso de elaboración de queso.

Comparando ese proceso y el del estudio, sin contabilizar en ninguno de los dos casos el flujo de leche de entrada proveniente de granjas, el impacto producido por el sistema estudiado es aproximadamente la mitad que el generado por proceso planteado por el programa.

- La obra civil es la segunda etapa que más contribuye a las categorías de impacto evaluadas, aproximadamente un 20% del total, debido a la gran cantidad de materiales utilizados en la construcción de la instalación y al uso que hace la instalación del suelo, ubicada en entorno rural.

Para reducir el impacto de la obra civil se podrían cambiar algunos materiales por otros que generen un menor impacto. Por ejemplo, cambiar el tejado de fibrocemento por uno de panel sándwich, o partes de la instalación de PVC por cobre.

- El envasado es la tercera etapa que más impacto crea, alrededor de un 4% del total debido en gran medida a los flujos de materiales necesarios para el envasado: bolsas de plástico y etiquetas de papel. En este caso estos materiales pueden ser

sustituidos por otros que conserven de igual forma al queso fresco y generen menos impacto, como los bioplásticos provenientes de fibras vegetales que son biodegradables y el papel reciclado. Los bioplásticos son materiales nuevos en el mercado que acabaran sustituyendo a los plásticos, procedentes hoy en día de los combustibles fósiles.

- La limpieza de los equipos esta en cuarto lugar en cuanto a impacto ambiental, cerca de un 2,7% del total. Los equipos de la instalación se limpian 80% automáticamente y 20% manualmente. La huella de impacto que se genera en este caso es un 35% menor que el impacto que supondría limpiar manualmente todos los equipos y aproximadamente un 10% superior a la producida por la limpieza automática.
- La refrigeración y almacenamiento de los quesos en las cámaras frigoríficas produce un impacto por debajo del 1,6% del total, cada uno de los dos procesos. Para disminuir ese porcentaje se podría cambiar el refrigerador de ambos procesos, que es de la clase energética B, por uno de la clase energética A que es más eficiente.
- La etapa de adición de insumos genera un impacto en torno al 2,5% del total. Se debe al uso de recipientes de plástico para verter el cuajo, fermento láctico y cloruro de calcio. Son necesarios estos recipientes para este proceso de elaboración y no pueden ser eliminados. La solución sería cambiar los recipientes por materiales bioplásticos.
- El resto de etapas contribuyen con menos de un 1% del total cada una de ellas.
- En las etapas pertenecientes a la elaboración del queso, los materiales de los equipos, principalmente acero inoxidable, tienen mayor carga ambiental que los flujos de energía, agua y materia (exceptuando la etapa de recepción). Esto se debe a que el consumo de energía, agua y materia es muy pequeño en comparación con la cantidad de materiales de los equipos ya que se trata de una instalación de pequeña producción, se obtienen al día 75 kg de queso fresco.
- En las etapas de batido, el segundo crea un impacto 4 veces mayor que el primero debido a que es necesario calentar la cuajada para separarla del suero totalmente y así evacuar el 70% del suero total en el segundo desuerado.
- En las alternativas energéticas, solo sería rentable escoger una de las dos suposiciones de producción de energía en la misma instalación en el caso de que

se contabilizase el impacto del transporte de gas natural y el de energía eléctrica hasta la instalación para producción de energía a través de no renovables, debido a que se encuentra en un entorno aislado. Si fuese así, el impacto generado por el consumo de energía sería superior al impacto que supondría producir la energía en la instalación a través de energías renovables.

- La huella hídrica de la producción de queso de la instalación es mucho menor que la media global. Se debe a que no se contabiliza la huella hídrica proveniente de la producción de la leche en las granjas, solo la generada dentro de la instalación.
- Como comentario final, el impacto global de la instalación es elevado. Pero hay que tener en cuenta el tipo de leche de entrada utilizado, que aumenta ese impacto, y la obra civil, que podría reducirse su nivel de impacto si se sustituyen algunos materiales. En el resto de etapas no hay una elevada huella de impacto debido a que la elaboración del queso fresco es artesanal.

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Subsectores del sector agroalimentario en España, según el número de empresas dedicadas a dicha actividad.</i>	5
<i>Figura 2. Ciclo de procesos de la producción de queso fresco desde el ordeño de la leche en la granja hasta el consumo del producto terminado.</i>	5
<i>Figura 3. Análisis del ciclo de vida.</i>	9
<i>Figura 4. Fases del AVC, según norma ISO 14040.</i>	12
<i>Figura 5. Análisis de Inventario del Ciclo de Vida.</i>	15
<i>Figura 6. Bases de datos en programas informáticos para introducir datos del Inventario.</i>	18
<i>Figura 7. Algunos métodos de cálculo utilizados.</i>	19
<i>Figura 8. Distribución de la producción en el sector lácteo</i>	27
<i>Figura 9. Procesos de elaboración del queso fresco.</i>	31
<i>Figura 10. Proceso de recepción.</i>	35
<i>Figura 11. Proceso de pasteurización.</i>	35
<i>Figura 12. Proceso de adición de insumos.</i>	36
<i>Figura 13. Proceso de corte de la cuajada.</i>	37
<i>Figura 14. Proceso del primer batido.</i>	38
<i>Figura 15. Proceso del primer desuerado.</i>	39
<i>Figura 16. Proceso del segundo batido y calentamiento.</i>	39
<i>Figura 17. Proceso del segundo desuerado.</i>	40
<i>Figura 18. Proceso de salado.</i>	41
<i>Figura 19. Proceso de moldeado y auto prensado.</i>	41
<i>Figura 20. Proceso de refrigeración.</i>	42
<i>Figura 21. Proceso de envasado.</i>	43
<i>Figura 22. Proceso de almacenamiento.</i>	43
<i>Figura 23. Proceso de limpieza.</i>	45
<i>Figura 24. Aplicación metodología IPCC a los procesos del sistema y obra civil.</i>	49
<i>Figura 25. Carga de impacto sobre la categoría de cambio climático en kg de CO₂ equivalentes.</i>	50
<i>Figura 26. Impacto que genera la leche de entrada en la instalación.</i>	50
<i>Figura 27. Fase de ponderación de la metodología Ecoindicador '99.</i>	52
<i>Figura 28. Fase de puntuación única para cada etapa con la metodología Ecoindicador '99.</i>	54
<i>Figura 29. Evaluación por categorías de impacto de la obra civil.</i>	55
<i>Figura 30. Evaluación por categorías de impacto de la recepción.</i>	56
<i>Figura 31. Evaluación por categorías de impacto del envasado.</i>	57
<i>Figura 32. Evaluación por categorías de impacto de la limpieza de equipos.</i>	57
<i>Figura 33. Evaluación por categorías de impacto de la refrigeración y almacenamiento.</i>	58
<i>Figura 34. Evaluación por categorías de impacto de la adición de insumos.</i>	59
<i>Figura 35. Comparativa limpieza manual vs. CIP.</i>	60
<i>Figura 36. Comparativa categorías de impacto Ecoindicador '99 de la limpieza manual vs. CIP.</i>	61
<i>Figura 37. Comparativa limpieza manual, CIP y limpieza real.</i>	62
<i>Figura 38. Comparativa procesos de batido.</i>	63
<i>Figura 39. Comparativa del uso de eólica y solar térmica vs. no renovables en la instalación.</i>	64
<i>Figura 40. Comparativa del uso de solar fotovoltaica y solar térmica vs. no renovables en la instalación.</i>	65



REFERENCIAS

- [1] **La industria agroalimentaria aragonesa.**
"El sector agroalimentario. Evolución reciente."
- [2] **Software SimaPro.**
Disponible en: <http://www.pre-sustainability.com/simapro-lca-software>
- [3] **Christof Rühl, Junio de 2011.**
"BP Statistical Review of World Energy 2011."
- [4] **Cambio climático.**
Disponible en: <http://cambioclimaticoglobal.com/>
- [5] **Naciones Unidas, 1998.**
"Protocolo de Kyoto de la convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático."
- [6] **IDEA.**
"Plan de Ahorro de Energía: 31 medidas."
- [7] **Watergy.**
"The alliance to save energy."
- [8] **Cifras INE.**
"Estadísticas e indicadores del agua."
- [9] **Salvador Capuz Rizo y Tomas Gómez Navarro.**
"Eco-diseño: Ingeniería del ciclo de vida para el desarrollo de productos sostenibles."
- [10] **Alfonso Aranda, Ignacio Zabalza, Amaya Martínez, Alicia Valero, Sabina Scarpellini.**
"El Análisis del Ciclo de Vida, como herramienta de gestión empresarial."

- [11] **Ihobe, Sociedad Pública de Gestión Ambiental.**
"Análisis del Ciclo de Vida y Huella de Carbono: dos maneras de medir el impacto ambiental de un producto."
- [12] **UNE-EN ISO 14040, Diciembre 2006.**
"Gestión ambiental. Análisis del Ciclo de Vida. Principios y marco de referencia."
- [13] **Scientific Applications International Corporation.**
"Life Cycle Assessment: principles and practice."
- [14] **Instituto Tecnológico de Aragón.** *"Herramientas de ecodiseño. Análisis del Ciclo de Vida de Productos."*
- [15] **Página oficial del IPCC.**
Disponible en: <http://www.ipcc.ch/contact/contact.htm>
- [16] **Página oficial del Ecoindicador '99.**
Disponible en: <http://www.pre.nl/contact.htm>
- [17] **Ecodiseño: metodología de los ecoindicadores, Junio 2012.**
Disponible en: http://www.vidasostenible.org/observatorio/f2_final.asp?idinforme=64
- [18] **Arjen Y. Hoekstra, Ashok K. Chapagain, Maite M. Aldaya, Mesfin M. Mekonnen, 2011.**
"The water footprint assessment manual: Setting the global standard."
- [19] **La agroindustria y el desarrollo económico.**
Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/w5800s/w5800s12.htm>
- [20] **AINIA, Instituto tecnológico agroalimentario.**
"Mejores técnicas disponibles en la industria láctea."



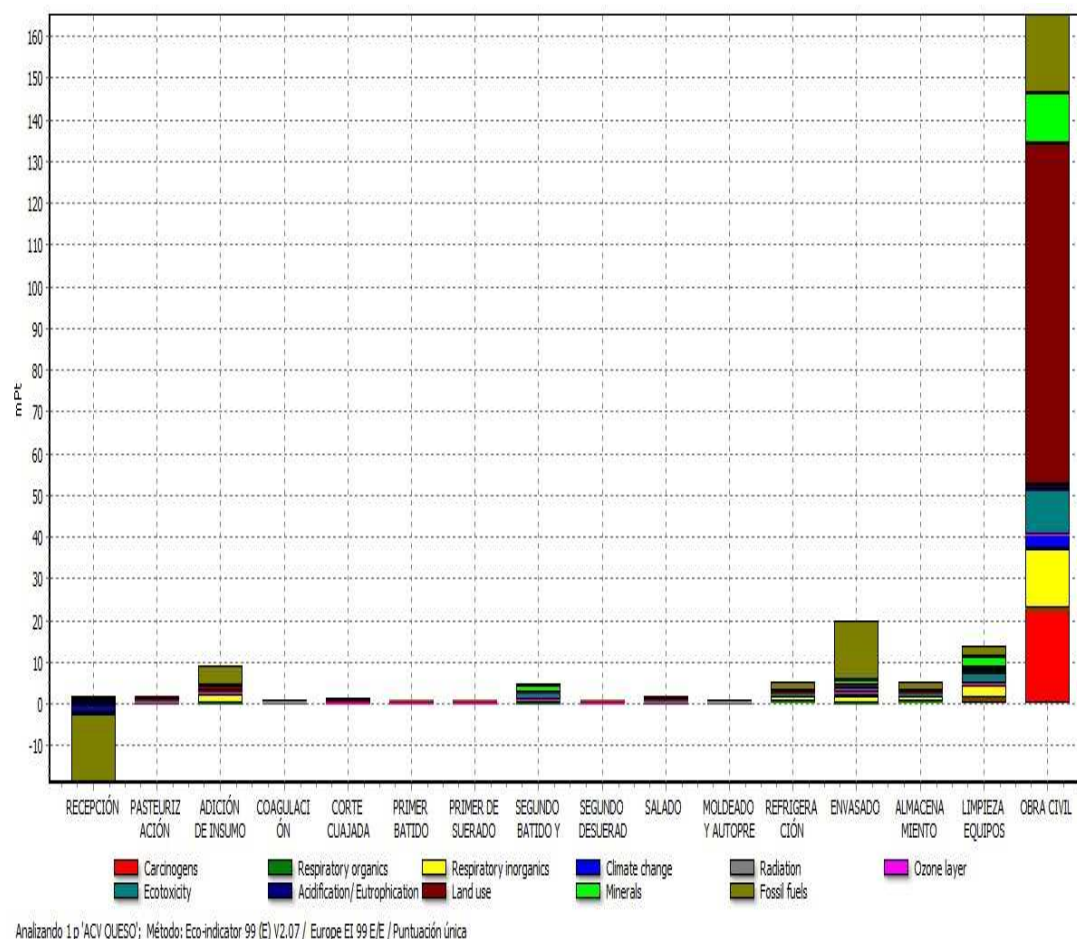
-
- [21] **Ministerio de agricultura, pesca y alimentación.**
“Diagnóstico y Análisis Estratégico del Sector Agroalimentario Español: Análisis de la cadena de producción y distribución del sector de lácteos.”
- [22] **La Composición Química de la Leche.**
Disponible en: <http://vvalenciaudc.tripod.com/Laco.htm>
- [23] **SENATI.**
“Forme su pequeña empresa de producción de queso fresco.”
- [24] **Milk ex – dairy. LCA food.**
Disponible en: <http://www.lcafood.dk/>
- [25] **Cool Storage. LCA food.**
Disponible en: <http://www.lcafood.dk/processes/cooking/coolstorageprivate.htm>
- [26] **Limpieza y desinfección en la industria láctea.**
Disponible en: <http://biblioteca.idict.villaclara.cu/UserFiles/File/CI%20ECIL/33.PDF>
- [27] **Huella Hídrica del queso.**
Disponible en: <http://www.waterfootprint.org/?page=files/productgallery>



ANEXO A

Impactos generados de los tipos de leche convencional provenientes de granjas de la base de datos del software SimaPro 7.2.

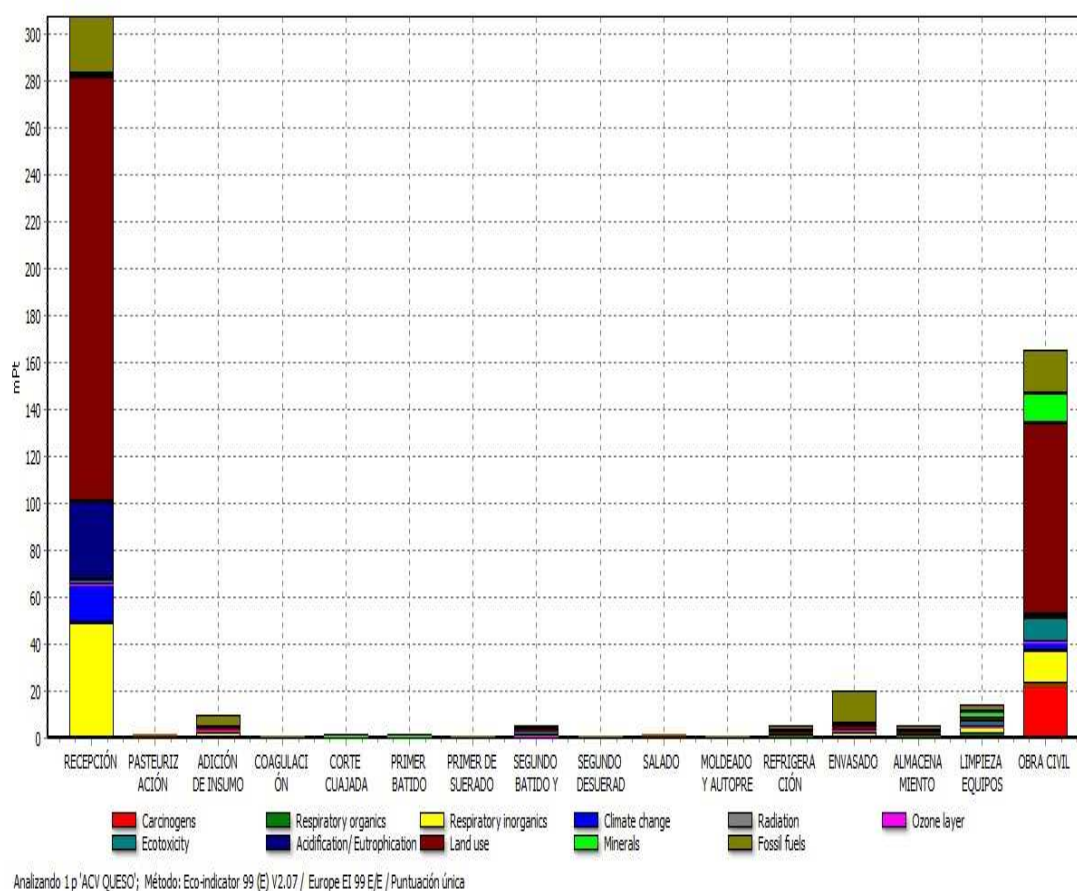
➤ **Leche convencional de granja con cuotas lácteas.**



Produce un impacto negativo, debido a que no se contabilizan los impactos de la producción de esa leche en la granja, solo se tiene en cuenta el exceso de leche en el mercado, debido a las cuotas lácteas, que es reutilizada para generar leche en polvo.

Si se utilizara esta leche como entrada en la recepción, supondría $-0,36 \text{ kg CO}_2$ equivalentes por kg de queso. Como no tiene en cuenta la leche producida en la granja ni el ganado, alimento y manutención de la granja, esta leche queda descartada.

➤ **Leche convencional de la granja tipo 18 sin cuotas lácteas.**



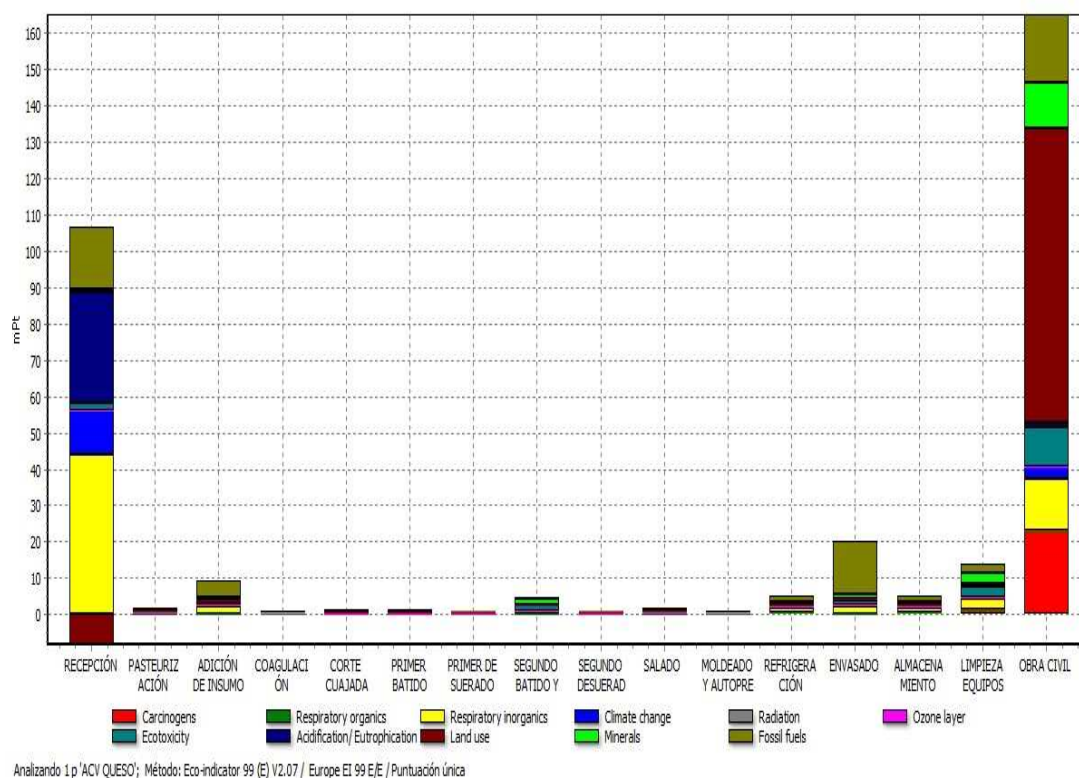
Este tipo de granja es de alta densidad de ganado. La ubicación de esta granja se da en un tipo de suelo arenoso y es necesario aporte de pienso como alimento para el ganado. En la leche procedente de este tipo de granjas se tiene en cuenta el impacto que genera el ganado, el alimento del ganado y la manutención de esa granja.

Como se observa en la gráfica, el impacto es muy elevado, superior al de la obra civil, debido sobre todo al impacto generado por el alimento de las vacas, ya que es necesario utilizar otros terrenos para la producción de pienso.

Si se utiliza este tipo de leche en la entrada, supone 4,23 kg CO₂ equivalentes por kg de queso.

Este tipo de granja queda descartada debido a ese plus de impacto proveniente de la producción de alimento para el ganado, ya que es muy elevado.

➤ **Leche convencional de la granja tipo 6 sin cuotas lácteas**



Este tipo de granja es de alta densidad de ganado. La ubicación de esta granja se da en un tipo de suelo arcilloso y no es necesario aporte de pienso como alimento para el ganado. El alimento son los pastos y praderas producidas en ese tipo de suelo y como se regenera solo ese alimento el uso del terreno no genera impacto. En la leche procedente de este tipo de granjas se tiene en cuenta el impacto que genera el ganado y la manutención de esa granja.

Como se observa en la gráfica, el impacto es grande pero por debajo del de la obra civil, debido sobre todo al impacto generado por el ganado, ya que sus excrementos son tóxicos para el entorno.

Si se utiliza este tipo de leche en la entrada, supone 3,12 kg CO₂ equivalentes por kg de queso.

Este tipo de granja es la elegida para la entrada de leche en la recepción, debido a que es la que menos huella produce incluyendo el impacto de producir la leche en la granja.

Además este tipo de granjas son ubicadas en entornos rurales como la instalación del estudio.