Universidad de Oviedo

ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA DE GIJÓN.

GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA INDUSTRIAL

ÁREA DE INGENIERÍA QUÍMICA Y TECNOLOGÍA DEL MEDIO AMBIENTE

ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE UN LLAGAR TRADICIONAL ASTURIANO

D.ª Sara Fernández Garrido

TUTORA: D.ª Yolanda Patiño Menéndez

FECHA: Noviembre 2021

ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN 5

1.1 MOTIVACIÓN 5

1.2 OBJETIVO 8

1.3 ESTRUCTURA DE LA MEMORIA 8

2 SECTOR INDUSTRIAL DE LA SIDRA 9

2.1 INTRODUCCIÓN 9

2.2 DENOMINACIÓN DE ORIGEN PROTEGIDA 9

2.3 VARIEDADES DE MANZANA ASTURIANA 10

2.4 PROCESO DE FABRICACIÓN 11

2.4.1 Cultivo 11

2.4.2 Recolección 12

2.4.3 Proceso industrial 12

2.5 TIPOS DE SIDRA 16

2.6 PRODUCCIÓN EN EL PRINCIPADO DE ASTURIAS 17

3 ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA 19

3.1 INTRODUCCIÓN 19

3.2 HISTORIA DEL ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DE UN PRODUCTO/PROCESO 21

3.2.1 Definición de objetivo y alcance 22

3.2.2 Análisis de inventario 23

3.2.3 Evaluación de los impactos medioambientales 24

3.2.4 Interpretación de resultados 27

4 ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DE UN LLAGAR TRADICIONAL ASTURIANO 28

4.1 INTRODUCCIÓN 28

4.2 CONTEXTUALIZACIÓN: PLANTA DE INDUSTRIA SIDRERA 28

4.2.1 Dimensiones y localización de la planta 28

4.3 DEFINICIÓN DE OBJETIVOS Y ALCANCE. 29

4.4 ANÁLISIS DE INVENTARIO 32

4.4.1 Introducción *32*
4.4.2 Entradas *32*
4.4.3 Salidas *39*
4.5 EVALUACIÓN DE IMPACTO 40
4.5.1 Introducción *40*
4.5.2 Midpoints *41*
4.5.3 Endpoints *49*
4.6 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS 54
5 CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS 59
5.1 CONCLUSIONES 59
5.2 TRABAJOS FUTUROS 59
6 BIBLIOGRAFÍA 61

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1.1 Distribución de emisiones de gases de efecto invernadero por tipo de sector [3] 6
Fig. 1.2 Las zonas de producción de la manzana en el Principado de Asturias [5]..... 7
Fig. 2.1 (a) Máquina de prensado de manzana industrial [13] (b) Máquina de prensado de manzana tradicional [14] 13
Fig. 2.2.Diagrama de bloques del proceso de elaboración de la sidra natural y achampanada [18]. 16
Fig. 2.3. Porcentajes en las ventas de las dos variedades de sidra en el año 2020 [20]. 18
Fig. 3.1 Etapas del Análisis del Ciclo de Vida 19
Fig. 3.2.Análisis del ciclo de vida [24]. 21
Fig. 3.3. Método de evaluación de impacto Recipe con los midpoints y endpoint. [27] 26
Fig. 4.1.Municipios pertenecientes a la Comarca de la Sidra [30]. 29
Fig. 4.2.Diagrama de entradas y salidas del proceso de elaboración. 31
Fig. 4.3. Caracterización, 1 botella sidra tradicional-Midpoints (H)-ReCipe Europe. ... 43
Fig. 4.4. Normalización, 1 botella sidra tradicional-Midpoints (H)-ReCipe Europe. 45
Fig. 4.5. Caracterización, 1 botella sidra achampanada-Midpoints (H)-ReCipe Europe. 47
Fig. 4.6. Normalización, 1 botella sidra achampanada-Midpoints (H)-ReCipe Europe. 48
Fig. 4.7. Caracterización 1 botella sidra natural tradicional-Endpoint (H)-ReCipe Europe..... 50
Fig. 4.8. Normalización, 1 botella sidra natural tradicional-Endpoints (H)-ReCipe Europe 51
Fig. 4.9.Caracterización 1 botella de sidra achampanada, Endpoint (H)-ReCipe Europe. 53
Fig. 4.10. Normalización 1 botella de sidra achampanada- Endpoint (H)-ReCipe Europe. 54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Variedades de manzana existentes en la región del Principado de Asturias .. 11
Tabla 4.1 Cantidades de aditivos para la elaboración de sidra achampanada. 35
Tabla 4.2 Inventario de las entradas al proceso 39
Tabla 4.3 Inventario de las salidas del proceso 40

1 INTRODUCCIÓN

1.1 MOTIVACIÓN

Uno de los problemas más importantes y destacados en nuestros días es la contaminación a nivel global, la cual se incrementa diariamente por causa de diferentes actividades desarrolladas por el hombre.

Según el último informe IPCC [1] publicado el 9 de agosto de 2021, se establece que la actividad del hombre en la Tierra ha provocado un aumento de las temperaturas afectando a la biosfera, a los océanos y a la atmósfera. Es posible ver este impacto en los cambios meteorológicos que se producen, como olas de calor extremas, sequías, fuertes precipitaciones… los cuales se producirán con más frecuencia y de manera más extremas ante el aumento de emisiones.

Dicho informe establece que, si no se producen reducciones de las emisiones de CO_2 y otros gases de efecto invernadero, el calentamiento global se situaría entre 1,5ºC - 2ºC y se llegará a superar en el siglo XXI. Lo cual da lugar a que los sumideros de CO_2 existentes no sean capaces de reducir la acumulación de CO_2 de la atmósfera. A su vez se encuentran daños irreversibles de solucionar como es el deshielo de los polos, el nivel del mar y cambios en el fondo de los océanos. No se descarta que se produzca un aumento mayor de 1,5ºC - 2ºC en las temperaturas globales, así como un colapso en la capa de hielo y fuertes cambios en la circulación oceánica.

Según establece la ONU [2], el uso de manera poco sostenible del suelo, tierra, agua y energía para la producción de alimentos genera un aumento en las emisiones de gases de efecto invernadero y, por ende, un aumento de las temperaturas, lo que reduce el rendimiento de los cultivos provocando también una pérdida de calidad del producto. Un tercio de las emisiones y el 80% de pérdida de la biodiversidad es causada por la producción, envasado y distribución de alimentos. Con el aumento de la población la demanda de alimentos es mayor, y por tanto se espera un aumento de emisiones superior, de hasta un 40% en 2050 [2].

Como se muestra en la Fig. 1.1 el sector de transporte cuenta con un 26% de emisiones de gases de efecto invernadero seguido de la industria, el sector dedicado a la agricultura tiene una emisión del 11%.

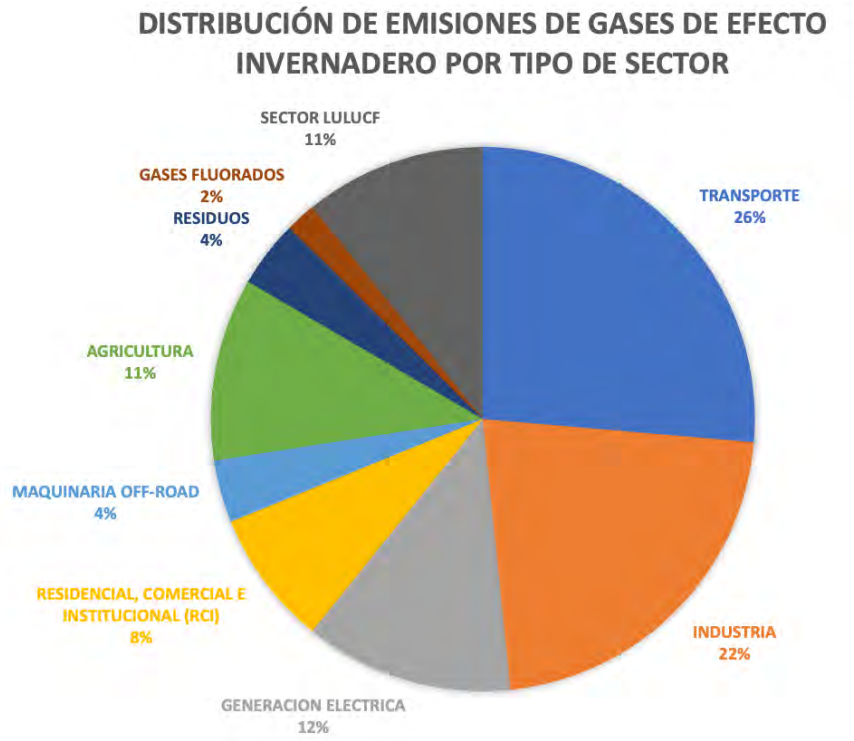

Fig. 1.1 Distribución de emisiones de gases de efecto invernadero por tipo de sector [3]

En cuanto a la toma de acciones para intentar reducir dicho impacto se establece la reducción de emisiones gaseosas, tanto de CO_2 netas, como de CH_4, ya que se disminuiría la contaminación por aerosoles [1]. En la industria alimentaria y de bebida también es importante que se tomen medidas contra el cambio climático, como puede ser reducir la huella de carbono de productos y actividades, aplicar planes de eficiencia energética y adaptarse a las energías renovables. Es muy importante la medida que establece una valorización energética de los residuos orgánicos. En cuanto al transporte es obvio que los productos que se elaboran posteriormente son distribuidos, por ello, es importante contar con combustibles limpios para los medios de transporte. Otro punto importante está enfocado en aprovechar de la manera más innovadora posible el CO_2. Por ello, hoy en día se están investigando tecnologías que permitan dicho aprovechamiento, destacando, por ejemplo, el uso de microalgas para absorber el CO_2. Otro uso que se le

da a este gas es el uso como sustrato en fermentaciones o como alternativa a los solventes orgánicos [4].

Por otro lado, en el ámbito de la región del Principado de Asturias, uno de los sectores económicos y agroalimentarios más importantes es el sector de la sidra. Dicho sector está dedicado principalmente a la agricultura, de donde se obtiene la materia prima principal para el producto, la manzana. Por ello, es importante analizar la contaminación que genera dicha producción, para tratar de poner medios que permitan reducirla o incluso eliminarla, consiguiendo por tanto ayudar al sector y entorno. La producción de la sidra en Asturias se supera año tras año, aumentando también las exportaciones de dichos productos. Esto conlleva un mayor consumo de transporte asociado a la distribución de los productos, y por consiguiente una mayor contaminación. Debido a ello, si se analiza la contaminación y se toman las medidas correspondientes, el aumento que se espera que tenga la producción de sidra en Asturias en el futuro se realizará de una manera mucho más sostenible con el medio ambiente. Tal y como muestra la Fig. 1.2 se puede apreciar la gran importancia del sector de la sidra en el Principado de Asturias ya que casi toda la región cuenta con zonas de producción de manzana asturiana para la elaboración de sidra.

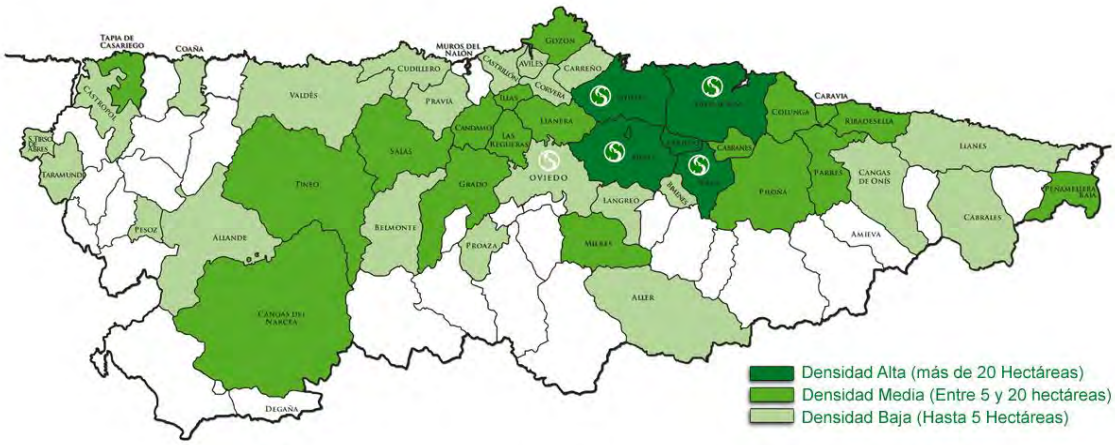

Fig. 1.2 Las zonas de producción de la manzana en el Principado de Asturias [5]

1.2 OBJETIVO

El objetivo del presente trabajo es el análisis del ciclo de vida de la elaboración de la sidra asturiana, con el objetivo de identificar los impactos ambientales más importantes y poder reducirlos, analizando, si las hubiera, las partes más dañinas para el medio ambiente. De este modo se contribuye a la lucha del cambio climático en uno de los sectores económicos más importantes de la región.

1.3 ESTRUCTURA DE LA MEMORIA

La memoria del presente trabajo está dividida en cinco capítulos. En primer lugar, el presente capítulo, como se ha apreciado, supone un capítulo de introducción, incluyendo la motivación sobre la temática escogida, el análisis del ciclo de vida de una botella de sidra, y los objetivos de éste.

En segundo lugar, el sector industrial de la sidra se divide en varias partes partiendo de la plantación, recolección de la manzana y el proceso industrial de la elaboración de la sidra. Además, también se muestran los tipos de sidra asturiana que se encuentran en el mercado, así como el estudio del análisis del ciclo de vida de un llagar tradicional asturiano con los datos que han sido facilitados.

A continuación, el tercer capítulo se dedica al análisis del ciclo de vida marcando objetivos, alcance e inventario.

Por otro lado, el cuarto capítulo aborda los cálculos y el desarrollo del ciclo de vida del presente trabajo.

Por último, en el quinto capítulo, se interpretan los resultados obtenidos de los análisis realizados en capítulos anteriores. Se realizan las conclusiones pertinentes del estudio realizado en el presente trabajo, cerrando el mismo con unas posibles líneas o mejoras sobre el mismo.

2 SECTOR INDUSTRIAL DE LA SIDRA

2.1 INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se abordan varios conceptos previos al análisis. Se comienza por la definición de la Denominación de Origen Protegida (D.O.P.), y los requisitos que debe cumplir el producto que lleva dicha distinción. Se continúa abordando las etapas de la elaboración de la sidra asturiana, atravesando desde cultivo de la manzana asturiana hasta el proceso industrial. Posteriormente, se muestran los diferentes tipos de sidra que se producen en la región asturiana para visualizar la importancia económica que dicho sector tiene, ya que hay una amplia gama de sidras que se producen hoy en día.

2.2 DENOMINACIÓN DE ORIGEN PROTEGIDA

La Denominación de Origen Protegida (D.O.P) [6] se vincula a una serie de productos que están bajo dicha denominación con el fin de ayudar a los productores de éstos. Para que un producto contenga dicha distinción debe cumplir con los siguientes requisitos:

1. Su origen debe estar situado en un lugar determinado como región o comarca.
2. Las fases de elaboración del producto deben ser realizadas íntegramente en la región definida.
3. La calidad y características se deben exclusivamente a un medio geográfico particular.

Dichos requisitos anteriormente citados son marcados según el artículo 4.2 del Reglamento (CEE) 2081/92 del Consejo [7], relativo a la protección de las indicaciones Geográficas y de las Denominaciones de Origen de los productos agrícolas y alimenticios.

En la región del Principado de Asturias, existen dos productos que se encuentran dentro de la distinción de la Denominación de Origen Protegida. Estos dos productos son:

- Sidra: es una bebida de color ambarino, que se obtiene después de la fermentación alcohólica, total o parcial, de la manzana o del mosto. Su graduación de alcohol mínima se sitúa en el 5% de su volumen. A su vez, la sidra se puede dividir principalmente en tres grandes grupos atendiendo a los niveles de azúcares que presentan:

1. Sidra seca: es aquella que posee menos de 30 g/L de azúcares.
2. Sidra semi-seca: aquella sidra cuyos azúcares se encuentran entre 30 y 50 g/L.
3. Sidra dulce: la sidra que posee más de 50 g/L de azúcares con un máximo de 80 g/L.

- Sidra natural: Elaborada mediante fermentación alcohólica, pero con la diferencia que no tiene adición de azúcares. Además, mantiene el mismo nivel de graduación alcohólica, siendo esta del 5% en volumen.

2.3 VARIEDADES DE MANZANA ASTURIANA

Como ya se ha mencionado anteriormente, la sidra se produce a partir de la fermentación de la manzana. Como es natural, existen diversas variedades de dicha fruta. Los diferentes tipos de manzana, los cuales cuentan con la distinción de D.O.P, se clasifican en nueve grupos [8], en función de la acidez, concentración de compuestos fenólicos, sensibilidad a los hongos, maduración, floración y producción. La clasificación de dicha fruta es llevada gracias al estudio desarrollado por SERIDA (Servicio Regional de Investigación del Principado de Asturias).

A continuación, se muestra en la tabla Tabla 2.1 las diferentes variedades de manzana que existen:

ÁCIDA	Arbeya, Blanquina, Carrandona, Collaína, Collaos, Durón encarnado, Fresnosa, Fuentes, Josefa, Limón montés, Peñarudes, Perracabiella, Perurico, Perurico precoz, Prieta, Raxao, Raxila ácida, Raxina ácida, Raxina marelo, Raxona ácida, Regona, Reineta Caravia, Reineta encarnada, Repinaldo de hueso, San Justo, San Roqueña, Sucu, Teórica, Xuanina.
ÁCIDA-AMARGA	Beldredo, Madiedo, Martina, Montoto, Picón
AMARGA	Amariega, Cladurina, Clarina.

AMARGA-ÁCIDA	Cladurina amargo-ácida, Lin, Meana, Rosadona.
AMARGA-SEMIÁCIDA	Colorá amarga, Durcolorá.
SEMIÁCIDA	Antonona, Carrió, Celso, Chata encarnada, De la Riega, Durón d'Arroes, Durona de Tresali, María Elena, Mariñana, Miyeres, Panquerina, Perezosa, Perico, Raxila Rayada, Reineta pinta, Repinaldo Caravia, Solarina.
SEMIÁCIDA-AMARGA	Corchu, Montés de La Llamera.
DULCE	Chata blanca, Cristalina, Dura, Ernestina, Montés de flor, Paraguas, Raxila dulce, Raxina dulce, Raxona dulce, Verdialona, Verdosa.
DULCE-AMARGA	Coloradona, Raxarega, Raxina amarga

Tabla 2.1 Variedades de manzana existentes en la región del Principado de Asturias

2.4 PROCESO DE FABRICACIÓN

2.4.1 CULTIVO

En primer lugar, el primer proceso para la obtención final de la sidra reside en el cultivo de la principal materia prima, la manzana asturiana. El Principado de Asturias cuenta con 516 variedades de manzana para la elaboración de dicha bebida, algunas de las cuales se han mostrado en el apartado anterior. En cuanto a las zonas de cultivo, éstas son normalmente llanas y con apenas inclinación. Tienden a contar con una orientación sur ya que es preferible que se eviten zonas donde se formen bolsas de aire frío. La extensión media de una plantación es de 4 hectáreas. No obstante, si el producto cuenta con el distintivo D.O.P la extensión suele ser aproximadamente de 2 hectáreas [9].

La mejor época para la plantación de la manzana es entre los meses de diciembre a marzo. Además, un aspecto clave en el cultivo del fruto es el abono del terreno. Para abonar el

terreno de cultivo de manera óptima se cuenta con varios métodos en función de las propiedades del suelo. Los métodos más generales son el abono fosfopotásico y dolomita para la parte inferior, y compost o estiércol para la parte superior del cultivo. Un aspecto indispensable es que los abonos no estén en contacto con las raíces de los árboles. Por último, el proceso de fertilización del suelo se suele realizar una vez al año en función de las necesidades del cultivo [10].

2.4.2 RECOLECCIÓN

El segundo de los procesos en la producción de la sidra es la extracción y recolección de la materia prima, la manzana asturiana, en los campos de cultivo. La recolección de la manzana asturiana pasa por varias etapas, siendo la última etapa en octubre, donde se finaliza la maduración del fruto. Este trabajo de recolección se hacía tradicionalmente de manera manual por parte de los recolectores. Cabe destacar que en la actualidad se sigue realizando de manera manual para conservar la esencia. Las etapas que atraviesa la manzana hasta llegar a la etapa final de maduración comienzan en primavera con la floración, que tiende a durar hasta finales de mayo. El proceso de floración cuenta con una pequeña variación temporal en función de las diferentes variedades de manzana, incluyendo aquellas que cuenten con el distintivo D.O.P. En el inicio del verano es donde se produce el mayor desarrollo del manzano, siendo además donde se realiza un proceso de selección de la manzana para asegurar posteriormente la calidad de éstas, además de evitar que se produzcan sobrecargas que dañen el árbol [10].

2.4.3 PROCESO INDUSTRIAL

Tras la etapa de recolección de la manzana, se procede a escoger las aquellas que son aptas para la elaboración de la sidra. Las manzanas aptas son transportadas mediante agua al lagar. Una vez allí, atraviesan una serie de etapas que permiten la obtención del producto final, la sidra. A continuación, se recogen las etapas del proceso industrial que sigue la manzana [11]:

1. Lavado: En primer lugar, con ayuda de agua a presión se lavan las manzanas para eliminar la suciedad que pudieran contener.

2. Escogedor: Tras el lavado, se eliminan aquellas manzanas que no son aptas para la elaboración de la sidra de manera manual.
3. Molienda/maceración del mosto: En Asturias esta etapa se denomina 'mayar manzana' en la cual se trituran las manzanas para poder extraerle el jugo. Se utilizan diferentes molinos, los cuales pueden realizar tareas diferentes como trocear, romper o cortar la manzana. Dichos molinos suelen ser de acero inoxidable ya que es un material apto para la manipulación de alimentación que está en contacto con la manzana.
4. Prensado: Como el propio nombre indica, se prensa la 'magaya' en donde se obtiene el primer mosto dulce. Hay dos tipos de prensado:
    4.1. Prensado industrial: En la Fig 2.1 (a) se muestra el prensado industrial el cual utiliza equipos hidráulicos, neumáticos y de bandas para realizar el proceso
    4.2. Prensado tradicional: En la Fig 2.1 (b) se muestra el prensado tradicional en donde el tiempo de prensado se establece entorno a los 2-4 días, y se utilizan cajas presas de cajón mecánicas/hidráulicas. Además, si las condiciones de temperatura no son óptimas para la manzana, es decir, que la temperatura sea elevada, el tiempo máximo de duración del pensado es de 2 días [12].

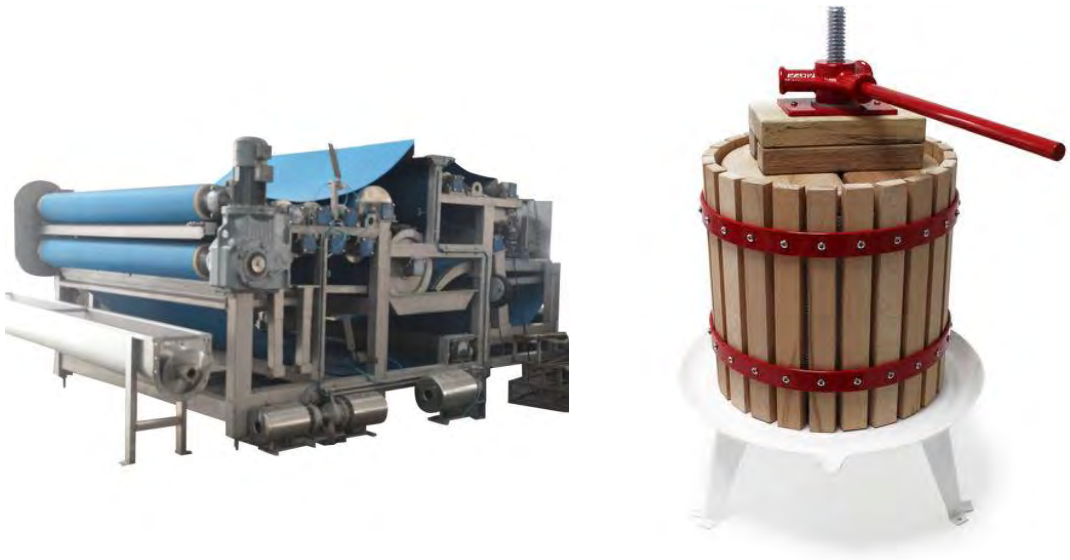

Fig. 2.1 (a) Máquina de prensado de manzana industrial [13] (b) Máquina de prensado de manzana tradicional [14]

5. Fermentación: Proceso que tras la acción de levaduras y bacterias transforman el mosto de manzana en sidra y se genera gas carbónico, tras finalizar la fermentación se produce una sedimentación natural es decir los sólidos se van depositando en el fondo de estos. La temperatura es una variable muy importante en todo el proceso fermentativo, para evitar que otro tipo de bacterias no intervengan en el proceso, la temperatura idónea es de 12ºC-14ºC. Se diferencia en tres etapas [15]:

   5.1. Tumultuosa: Este tipo de fermentación tiene una duración de 5-15 días. Comienza transcurridos dos días una vez que el mosto de manzana se introduce en el depósito. Su función principal es la misma que la fermentación alcohólica, pero a diferencia de la otra, este tipo de fermentación está desarrollada por levaduras oxidativas que adecúan el mosto para las fermentaciones posteriores. Se desarrolla en depósitos más pequeños como paso previo a las otras fermentaciones.

   5.2. Alcohólica: Tras la fermentación tumultuosa comienza la siguiente etapa de fermentación de la sidra. Ésta tiene una duración de entre 3-5 meses. Este proceso es llevado a cabo por levaduras del grupo Saccharamyces, las cuales realizan la transformación de los azúcares en alcohol etílico y CO_2. Es un proceso llevado a cabo sin la presencia oxígeno, esto es debido a que en la primera etapa de la fermentación se consume todo el oxígeno por las levaduras oxidativas.

$$C_6H_{12}0_6 \longrightarrow 2CH_3-CH_2OH + 2CO_2 \qquad (1)$$

   5.3. Fermentación maloláctica: Este tipo de fermentación comienza cuando se está finalizando la fermentación alcohólica, es más lenta que la etapa anterior. La fermentación maloláctica es llevada a cabo por las bacterias lácticas, cuya función es transformar el ácido málico en ácido láctico y CO_2. Tiene gran importancia ya que modifica las características organolépticas,

provoca la disminución de la acidez y un aumento de los compuestos volátiles [16].

$$HOOC-CHOH-CH_2-COOH \longrightarrow CH_3-CHOH-COOH + C0_2 \quad (2)$$

6. Maduración: También denominado trasiego, finaliza en los meses de primavera con el embotellado de la sidra. En esta etapa se traslada la sidra desde unos depósitos a otros para obtener mezclas diferentes de sidra de manera homogénea. También se elimina las borras la cual se forma en el fondo del depósito a modo de residuo [17].

7. Embotellado y etiquetado: Es el último de los procesos y se lleva a cabo cuando la densidad sea inferior a 1000 g/l y la turbidez sea la adecuada. Además, debe evitarse el contacto entre el aire y la sidra. Dado que este proceso normalmente se realiza con botellas reutilizadas se lavan con productos químicos en este caso NaOH, para poder reutilizarlas después. En esta etapa también se realiza el etiquetado de estas [18].

El proceso descrito anteriormente es para la elaboración de la sidra natural tradicional asturiana, en el caso de la producción de sidra achampanada se realiza una carbonatación, es decir, añadir CO_2 para la producción de burbujas. Este proceso se lleva a cabo tras el trasiego, la cual pasaría a un depósito de mezclado en el cual se añaden los aditivos (licor de expedición), los cuales son: azúcar, ácido nítrico y anhídrido sulfuroso, todos en estado sólido. Por tanto, el siguiente proceso se trata de una filtración cuya finalidad es reducir la turbidez del producto. Hay dos tipos de filtración:

1. Frontal: El medio filtrante (superficies poliméricas) se sitúa en posición perpendicular a la alimentación.
2. Tangencial: La alimentación se dirige de forma paralela al medio filtrante.

Como resumen del proceso de elaboración de la sidra, se muestra en la Fig. 2.2 un diagrama de bloques de dicha elaboración.

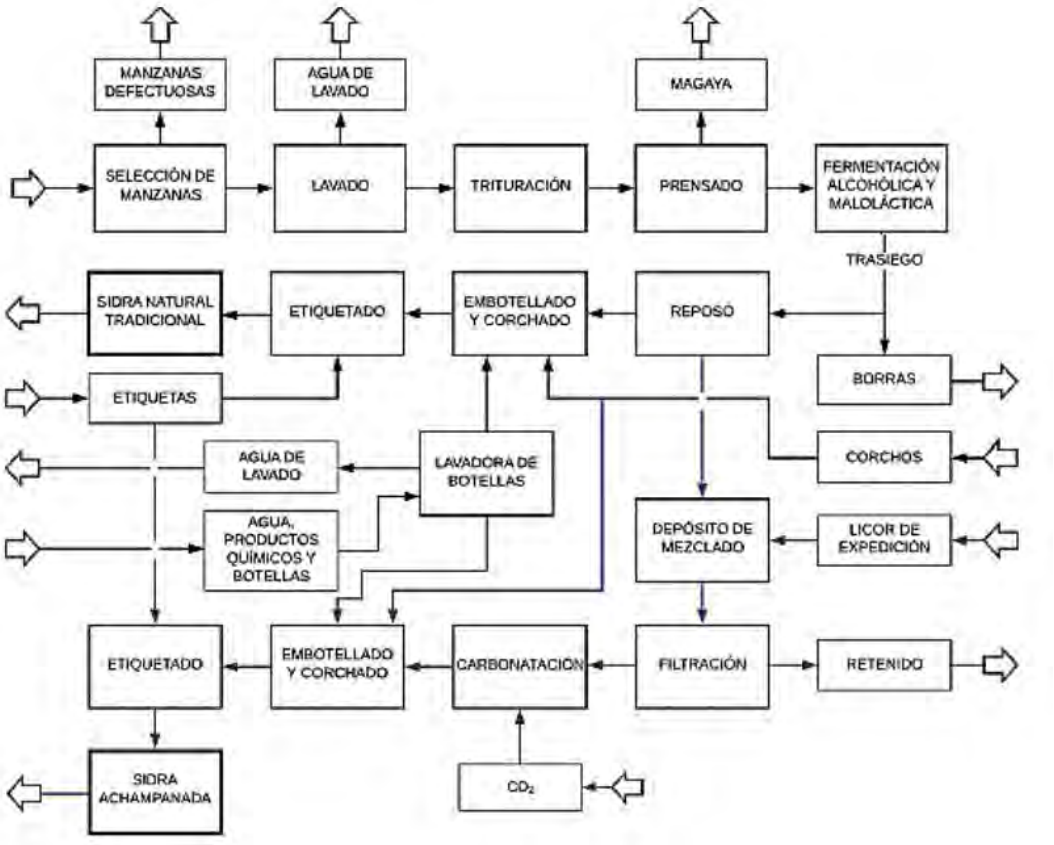

Fig. 2.2 Diagrama de bloques del proceso de elaboración de la sidra natural y achampanada [18]

2.5 TIPOS DE SIDRA

Existen diferentes tipos de sidra elaboradas en Asturias en función del proceso de elaboración que llevaron a cabo. Las más destacadas son [19]:

1. Sidra natural tradicional: Este tipo de sidra es la más conocida, no cuenta con un filtrado y necesita que se escancie. Está dentro del grupo de aquellas que cuentan con la denominación de origen protegida.
2. Sidra natural nueva expresión: Esta bebida, a diferencia de la anterior, si cuenta con un filtrado y no necesita que se escancie. Contiene microburbujas y se encuentra también bajo el sello de denominación de origen ya que está elaborada con 12 tipos de manzanas diferentes que se encuentran dentro de D.O.P.

3. Sidra espumosa: Se caracteriza por contener burbujas finas procedentes del gas carbónico que se obtiene de la fermentación de esta.
4. Sidra dulce: Este tipo de sidra no necesita ningún tipo de proceso más que exprimir la manzana y el jugo que se obtiene se embotella.
5. Sidra ecológica: Este tipo de bebida no requiere ningún uso de aditivos, se elabora con manzanas de cosecha ecológica.
6. Sidra de hielo: Tiene su origen en Canadá y su elaboración se caracteriza por utilizar manzanas congeladas. En la región asturiana se adapta la elaboración ya que no se alcanzan las temperaturas para que la manzana esté congelada, dado esto se congela el mosto de manzana obtenido. No necesita escanciado.
7. Sidra brut: Este tipo de bebida se caracteriza por dos cuestiones, la primera es la cantidad de azúcar por litro que debe ser inferior 15 g/l, y la siguiente es la segunda fermentación, ya que esta se puede realizar de dos formas distintas, en botella o en depósitos inoxidables.

2.6 PRODUCCIÓN EN EL PRINCIPADO DE ASTURIAS

La producción de sidra en el Principado de Asturias tiene lugar en 80 lagares diferentes situados la gran mayoría en la Comarca de la Sidra. Estos producen en torno a 45 millones de litros de sidra anualmente de los cuales alrededor del 95% se consume en Asturias. El 80% de la sidra producida en España se elabora en el Principado [19].

Por otro lado, en el 2020 se obtuvo un valor en el contraetiquetado de 3.083.000, el cual se divide en 3.009.000 de Sidra Natural Tradicional, 5000 Sidra Natural Filtrada y 69.000 Sidra Natural Espumosa. En segundo lugar, 2.917.279 kg han sido de la producción de manzana D.O.P. y en cuanto a los de litros de sidra D.O.P producidos 2.066.631 L [20].

Como se ha explicado anteriormente y como muestra la Fig. 2.3, el Principado de Asturias es donde predominan las compras de sidra. Cabe destacar la diferencia en cuanto al consumo de las distintas variedades de sidra, siendo la sidra natural tradicional predominante en la región del Principado de Asturias, mientras que, en caso contrario, se produce un mayor consumo de la sidra espumosa en el resto de España y países donde se exporta. En el primer caso, se cuenta con un consumo del 90% del total de sidra

tradicional para la región del Principado de Asturias, frente a menos de un 10% para el resto de España y países donde se exporta.

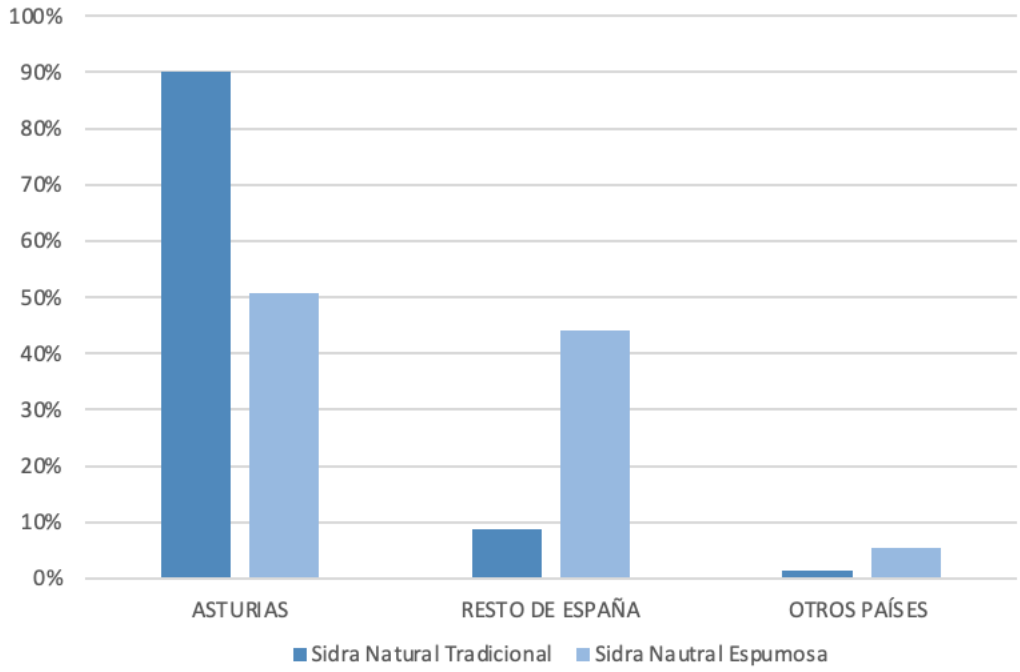

Fig. 2.3 Porcentajes en las ventas de las dos variedades de sidra en el año 2020 [20]

3 ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA

3.1 INTRODUCCIÓN

El Análisis del Ciclo de Vida (ACV) es una herramienta cuya finalidad es evaluar los diferentes impactos ambientales de un producto desde su origen hasta el final de su vida útil, lo que se conoce como "de la cuna a la tumba".

La norma UNE-EN ISO 14040 [21] establece que el ACV es una herramienta de evaluación de impacto ambiental la cual analiza y trata el impacto ambiental potencial, que un producto/proceso tiene a lo largo de su vida útil pasando por diferentes etapas desde la extracción de materias primas hasta su final, consta de (Fig. 3.1) [22]:

1. Definición de objetivos y alcance
2. Análisis del inventario
3. Evaluación de los impactos
4. Interpretación de los resultados

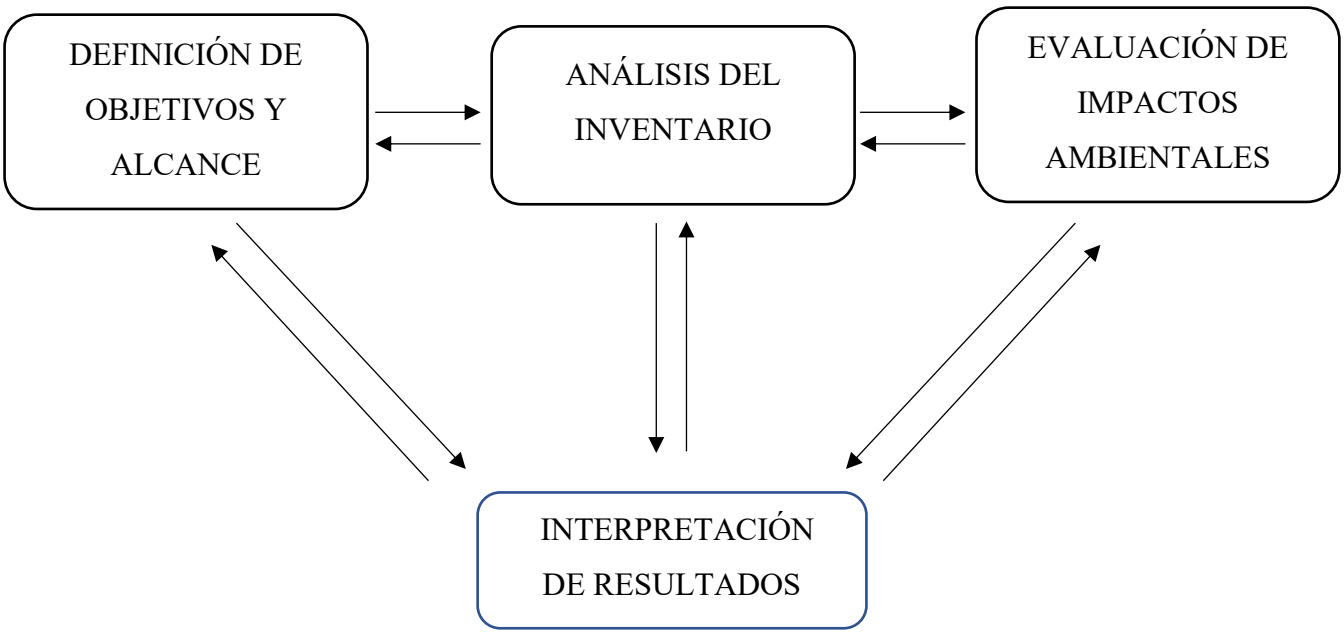

Fig. 3.1 Etapas del Análisis del Ciclo de Vida

Dentro del análisis del ciclo de vida se encuentran diferentes tipos de análisis en función de los límites del sistema que se definan al principio del análisis. Los diferentes tipos de análisis son [23]:

- De la cuna a la puerta: Abarca desde la extracción de la materia prima hasta el proceso de producción del producto.

- De la puerta a la tumba: El estudio se realiza considerando la producción de la empresa y abarcando como extremo final la gestión de residuos a la que da lugar el producto.

- De la puerta a la puerta: Abarca únicamente las actividades de la empresa.

- De la cuna a la tumba: El estudio abarca desde la extracción de la materia prima hasta la gestión de residuos.

- De la cuna a la cuna: Se realiza el mismo estudio que en el apartado anterior, pero abarca también la reintroducción del producto el cual está fuera de uso de nuevo al proceso productivo.

  En la Fig. 3.2 se muestra el ciclo de vida de un producto y las diferentes etapas que lo componen.

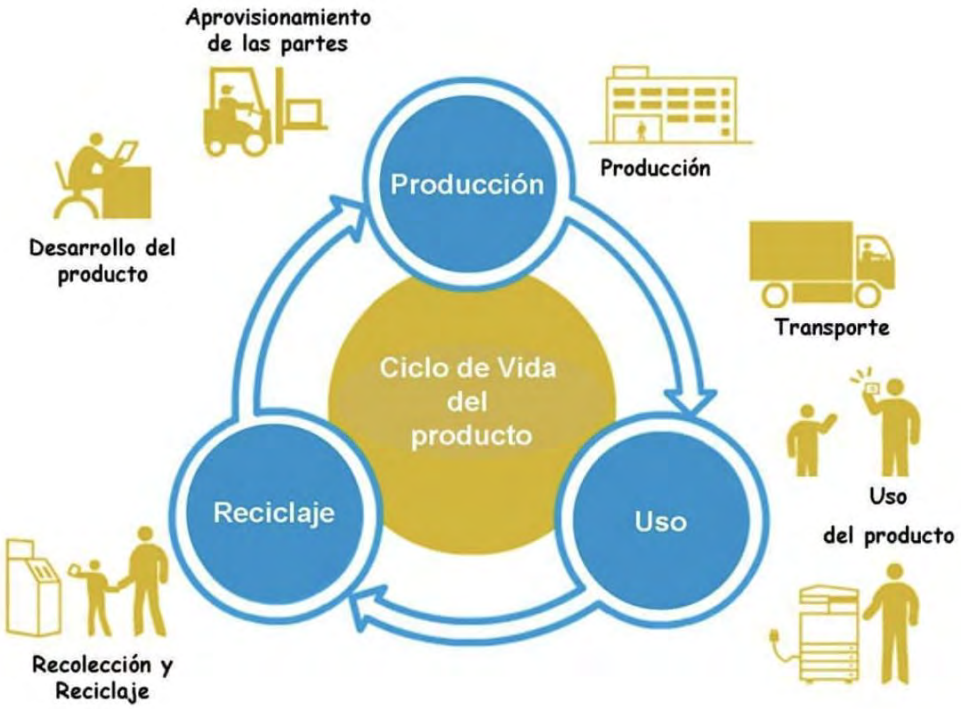

Fig. 3.2 Análisis del ciclo de vida [24]

3.2 HISTORIA DEL ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DE UN PRODUCTO/PROCESO

Este tipo de estudio comenzó en los setenta en Estados Unidos, la primera etapa finaliza en los ochenta y la segunda etapa se instauró en 1990 hasta el día de hoy. Es importante mencionar dos hitos importantes, en la primera etapa es la creación de la SETAC (Society for Enviromental Toxicology and Chemistry) [23] , la cual en 1979 desarrolló los criterios sobre los que se rige el análisis del ACV y su metodología a seguir. Otro hito importante para destacar es el aumento de la población; esto puso un mayor foco en el ACV ya que las industrias y empresas se apoyaron en este estudio para ser más respetuosos con el medio.

En la segunda etapa se caracteriza por un enfoque más internacional ya que se llevaron a cabo la realización de seminarios por todo el mundo. La aplicación de este tipo de estudios comenzó a llevarse a cabo en sectores industriales y en productos.

Por otro lado, y enfocando más en el ámbito del marco de la Unión Europea, Suiza fue el primer país en donde se comenzó a realizar este tipo de análisis, en los años setenta. No solo fue pionero, sino que también desarrolló metodologías y más tarde, en la década de los noventa, desarrolló la base de datos Ecoinvent.

Por último y con el fin de unificar la aplicación de dicho estudio, en el año 2012, se llevó a cabo la publicación de ILCD (International Reference Life Cycle Data System).

El objetivo del manual del Sistema Internacional de Datos de referencia sobre ciclos de vida (ILCD) es orientar sobre la realización de un Análisis del Ciclo de Vida para así poder cuantificar el consumo de los recursos, el impacto medioambiental y las emisiones.

Fue creado el 12 de marzo de 2010 por el Centro Común de Investigación de la Comisión Europea [25].

3.2.1 DEFINICIÓN DE OBJETIVO Y ALCANCE

En esta etapa se definen las motivaciones para realizar el estudio, los limites del mismo y la identificación de los elementos/procesos que intervienen el ciclo de vida del producto. Como ya se ha mencionado con anterioridad se deben definir los limites del estudio para poder acotarlo, siendo una de las partes mas importante de todo el estudio, siendo estos [26]:

- Unidad funcional: una de las piezas clave en el estudio, ya que es preciso escoger una adecuada unidad funcional, siendo ésta la base de cálculo que servirá para poder realizar los balances pertinentes en el estudio. Un caso de unidad funcional en el caso que concierne al presente trabajo podría ser desde una única botella de sidra, hasta una cantidad de litros de sidra producidos. En ambos casos el Análisis de Ciclo de Vida sería correcto, pero presentaría los datos con órdenes de magnitud diferentes. Es decir, como entrada para producir una botella de sidra únicamente se necesitan unos pocos kilogramos de manzana, mientras que tomando la producción anual de un lagar como unidad funcional se necesitan varias toneladas de manzana.

- Función del sistema: Abarca aquellas funciones que definen el sistema bajo estudio. Por consiguiente, es más importante en los casos donde un mismo producto puede realizar diversas funciones. Como ejemplo, se presenta el caso de un equipo electrónico, que puede realizar diversas funciones. Por ello, si el ACV tiene como objetivo la comparación ambiental de varios sistemas, debe ser garantizado que realicen la misma función.

- Límites del sistema: Para la definición de los límites es necesario establecer que procesos y subsistemas intervienen y que estos tengan concordancia con los objetivos del estudio. Entre los procesos se encuentran desde la obtención de las materias primas, transporte, producción...

3.2.2 ANÁLISIS DE INVENTARIO

Para realizar el análisis de inventario se debe definir las entradas y salidas del sistema, para posteriormente poder llevar a cabo los balances de materia y energía pertinentes. Se entiende por entrada todo aquello que aportas al sistema, materias primas, electricidad, agua... Por el contrario, se entiende por salida todo aquello que se "expulsa" del proceso, como emisiones al agua, suelo, aire... [26].

Se pueden distinguir una serie de etapas que ayudan a la realización del análisis del inventario como son:

- Realización de un diagrama de flujo general del sistema para poder realizar posteriormente la división en subsistemas
- Definir la precisión de los datos necesaria para establecer su calidad
- Definir los límites del sistema
- Realización de los balances tanto de materia como de energía
- Definición de objetivos y alcance tras la obtención de los resultados de los autobalances

En esta etapa también es importante establecer que para el cálculo del transporte se debe tener en cuenta combustible, la carga que transporta y la distancia que recorre.

Al comienzo del desarrollo de un análisis de ciclo de vida (ACV) se realiza un proceso de definición de los límites del sistema. Este proceso se realiza en el análisis de inventario. En cuanto a los límites anteriormente citados, se pueden definir empleando criterios geográficos, lo cual es remarcable pues si se aumenta el límite geográfico se incurre en una pérdida de precisión y un aumento en la incertidumbre que presentan los resultados. Ya que un ejemplo sería el consumo energético, pues puede venir derivado de diversas fuentes hidráulica, nuclear... y este consumo conviene que sea tratado de manera diferenciada para matizar cada una de las fuentes energéticas.

Por otro lado, se encuentran los límites temporales, ya que un ejemplo puede ser un residuo depositado en un vertedero, que no se degrada de la misma manera todos los residuos. Cada uno varia de manera distinta con el tiempo y emiten una cantidad distinta de gases durante la descomposición.

Por último, se destaca la controversia generada alrededor de la inclusión de emisiones y requerimientos, tanto materiales como energéticos, asociados a la construcción de la infraestructura de producción y a la fabricación de los equipos utilizados en todo el proceso. Típicamente, dichos aspectos tienden a ser excluidos del ACV de productos elaborados, exceptuando aquellos casos en los que se comparen alternativas que presenten cambios significativos en cuanto a la intensidad de recursos infraestructurales.

3.2.3 EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS MEDIOAMBIENTALES

En esta parte del estudio se evalúan de manera cualitativa/cuantitativa los datos obtenidos en la etapa anterior con el fin de interpretar los impactos que se originan. Existen tres etapas para la evaluación de dichos impactos según la SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) [26]:

- Clasificación: Con el fin de decidir que impactos medioambientales se llevan a estudio, esta etapa se basa en que las diferentes categorías ambientales existentes, se asocien a las entradas y salidas.
- Caracterización: Se basa en la evaluación de las entradas y salidas, ya asignadas a una categoría ambiental, y finalmente se suman las contribuciones en cada categoría. Es una etapa de análisis cuantitativa.
- Valoración: En esta etapa cabe destacar que no es necesario que sea un análisis científico únicamente, se puede basar en diferentes factores, en el se atribuye un valor según la importancia de los impactos.

Existen diferentes métodos para la evaluación de impactos ambientales algunos de esos métodos de evaluación de impactos son [23]:

1. *The Method of Ecological Scarcity*: Fue desarrollado en Suiza por la oficina de federal de medio ambiente, en donde se atribuyen diferentes puntos de

caracterización para las emisiones al aire, agua y suelo. También incluyen recursos energéticos y residuos.

2. *EDIP'03-Environmental Design of Industrial Products*: Este método ha sido desarrollado por la Universidad Técnica de Dinamarca, más concretamente por el Instituto para el Desarrollo de Productos (IPU) junto con otros colaboradores pertenecientes al sector de electromecánica. Este método establece categorías de impacto en escala, es decir global, regional o local.
3. *Environmental Priority Strategy in Product Design*: Desarrollado por la Universidad de Chalmers junto con apoyo del Panel Sueco para el Desarrollo Técnico e Industrial. Este método pretende que cada empresa sea capaz de valorar los impactos ambientales del diseño de sus propios productos.
4. *IPCC 2014*: El Grupo Intergubernamental de Expertos han sido los encargados de desarrollar este método enfocándose en las emisiones de gases efecto invernadero a la hora de la realización de inventarios.
5. *Eco-Indicator 99*: Este método ha sido desarrollado en Holanda por la consultora PRé para el Ministerio de Vivienda, Planteamiento Urbanístico y Medio Ambiente junto con él, la metodología CML 2001 es el método más utilizado. Incluye categorías de daño, siendo este método el que introduce este concepto al ACV ya que no se encontraba incluido en las normas ISO. Consta de 11 categorías de impacto y se basa en analizar los efectos finales orientándose al daño.
6. *Metodología CML 2001*: Este método esta basado en una metodología intermedia, utiliza diez categorías de impacto y está enfocado en el problema ambiental. Por tanto, cabe destacar que lo que diferencia unos métodos de otros es en analizar los efectos intermedios denominados midpoints o analizar los efectos ambientales finales denominado endpoints Los midpoints de estudio recomendados por el manual ILCD Handbook son [27]:
    - Cambio climático
    - Agotamiento de la capa de ozono
    - Ecotoxicidad para los ecosistemas de agua dulce
    - Toxicidad humana
    - Partículas/sustancias inorgánicas con efectos respiratorios

- Radiaciones ionizantes, efectos sobre la salud humana
- Acidificación
- Eutrofización terrestre y acuática
- Agotamiento de los recursos minerales y fósiles
- Agotamiento de los recursos de agua
- Transformación de la tierra

7. *Recipe*: Es una mezcla de la metodología CML y Eco-Indicator 99, ya que se basa en el estudio del daño (endpoint) en donde cuenta con 3 categorías [27]: salud humana, ecosistemas y aumento del coste de recursos. Y también se basa en el estudio del problema ambiental (midpoint) con 18 categorías de impacto como se muestra en la Fig. 3.3. Algunas de ellas son: formación de oxidantes fotoquímicos, formación de materia particulada, ecotoxidad marina, ocupación del terreno agrícola, ocupación del terreno urbano, disminución de combustibles fósiles…

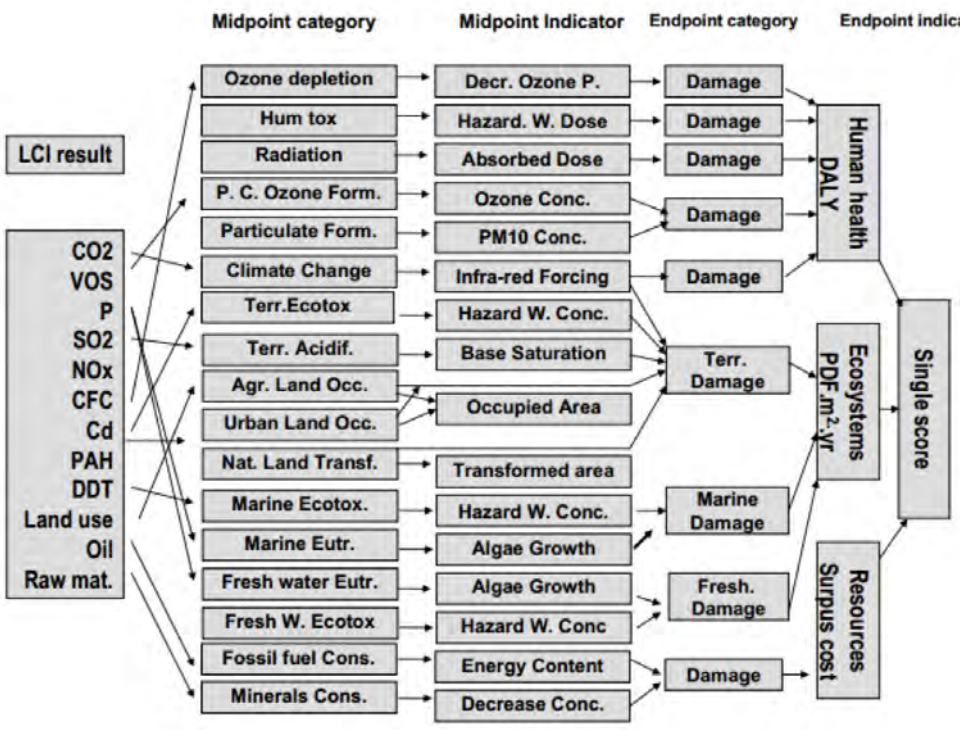

Fig. 3.3 Método de evaluación de impacto Recipe con los midpoints y endpoint [27]

3.2.4 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

La última de las etapas a abordar en la realización de un Análisis de Ciclo de Vida es la interpretación de resultados. En esta etapa, tras los resultados obtenidos en las etapas anteriores, se combinan dichos resultados de la evaluación de impacto ambiental con los resultados del análisis de inventario. Durante dicha comparativa, se estudian y se evalúan para poder establecer que genera un mayor impacto. Como resultado de esta combinación de los resultados de las etapas anteriores, se obtienen medidas para minimizar el impacto o tomar medidas de mejora teniendo en cuenta los objetivos y el alcance del estudio [26]. Es importante destacar que la interpretación de resultados debe tener en consideración la adecuación de las definiciones, de las funciones y limites del sistema y la unidad funcional.

Como ejemplo, en el caso de realizar un Análisis de Ciclo de Vida sobre el cultivo y producción de tomate, tras observar los resultados obtenidos en las etapas de análisis de inventario y evaluación de impacto ambiental, se podrían proponer nuevas medidas para minimizar el impacto global de la actividad como por ejemplo aproximación entre lugares de cultivo, producción y consumo para disminuir el transporte, o reciclaje de los residuos generados teniendo como posible vía de residuo el compostaje [28].

4 ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DE UN LLAGAR TRADICIONAL ASTURIANO

4.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se procede a la realización del Análisis del Ciclo de Vida de la industria sidrera. Como punto de partida, se contextualiza el caso real de planta de industria sidrera, de la cual han sido facilitados los datos para los análisis. Además, a lo largo del presente capítulo se presentará el análisis para dos variedades del producto: sidra natural y sidra achampanada. En primer lugar, se abordará el análisis dedicado a la sidra natural tradicional, para posteriormente comentar el relativo a la sidra achampanada. Por último, se finalizará analizando mediante comparativa ambas variedades del producto.

4.2 CONTEXTUALIZACIÓN: PLANTA DE INDUSTRIA SIDRERA

En este apartado se pretende contextualizar el Análisis de Ciclo de Vida que se va a desarrollar sobre una planta de industria sidrera real. Los datos que serán empleados han sido facilitados por parte de la empresa MACRILE S.L. [29]. La empresa MACRILE S.L. es la empresa encargada de la producción de sidra Extra Manuel Norniella. Esta empresa comenzó su producción en el año 1878 en Colloto, y de manera ininterrumpida ha continuado dicha producción hasta la actualidad. Cuenta con unas modernas instalaciones, en San Martín de Huerces (Gijón), capaces de producir cantidades suficientes para abastecer la demanda local, nacional e internacional de sidra. Por otro lado, dada su experiencia, han sido galardonados en el año 2019 con el primer puesto para su sidra espumosa en el XLII Festival de la Sidra en la localidad de Navia [30].

4.2.1 DIMENSIONES Y LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA

La planta esta situada en el concejo de Gijón, más concretamente en Deva en la provincia del Principado de Asturias. Dicha región cuenta con una comarca denominada la Comarca de la Sidra, como se muestra en la Fig. 4.1, la cual está integrada por seis municipios: Bimenes, Cabranes, Colunga, Nava, Sariego y Villaviciosa [31] .

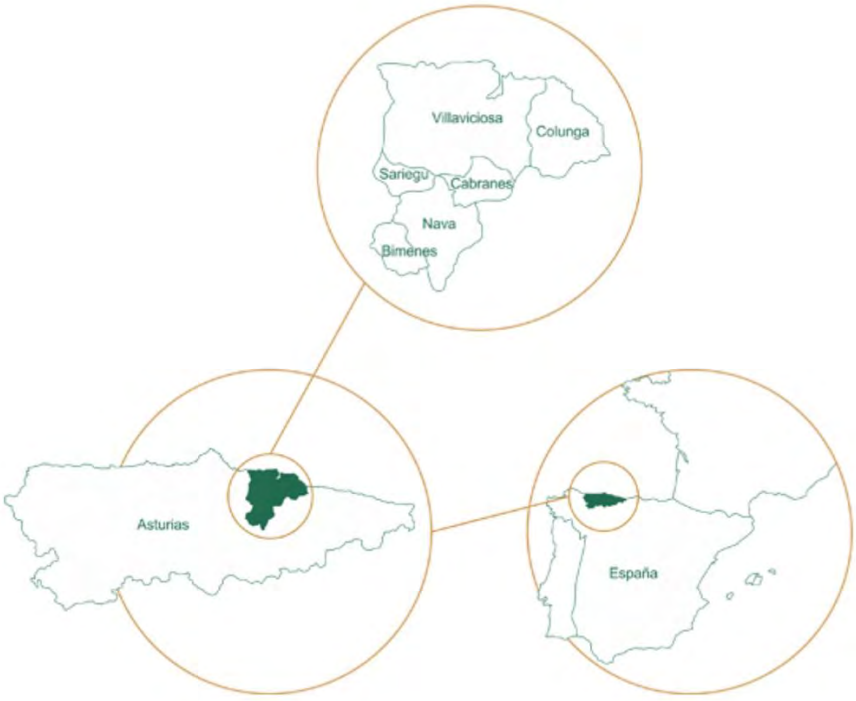

Fig. 4.1 Municipios pertenecientes a la Comarca de la Sidra [31]

La ubicación del lagar como ya se ha mencionado se encuentra en Deva, en la localidad de Gijón. Este nuevo lagar consta de una superficie edificable de 2018 m^2, distribuidos en dos plantas. El área cuenta con zona de producción, aparcamientos y carga y descarga. Las pumaradas se encuentran en el mismo lugar que el lagar, lo que evita costes de transporte [18]. Es importante destacar que las pumaradas con las que cuenta dan para la producción de la sidra que se elabora.

4.3 DEFINICIÓN DE OBJETIVOS Y ALCANCE.

El objetivo del presente trabajo es el Análisis del Ciclo de Vida de la sidra asturiana, más concretamente de las dos variedades principales de sidra que se producen en la región: sidra natural tradicional y sidra achampanada. Con ello, se pretende analizar los impactos ambientales generados por el proceso de producción y establecer métodos de mejora para reducir dichos impactos.

1. Función del sistema: La función del sistema en la cual se va a basar dicho estudio es la elaboración de dos tipos de sidra: achampanada y natural tradicional, partiendo de la manzana como materia prima y distribuyendo dichos productos por los diferentes puntos de la región asturiana.

2. Unidad funcional: La unidad funcional empleada para la realización del presente estudio ha sido la producción de una botella de sidra de cada tipo, natural tradicional y achampanada.

3. Límites del sistema: En cuanto a los límites del sistema, cabe destacar que en este análisis se procede al estudio de la elaboración de la sidra incluyendo, la materia prima principal (la sidra) la cual es la base en ambas elaboraciones de sidra, pero en la sidra achampanada se deberá tener en cuenta los aditivos y el CO_2, pues son elementos necesarios únicamente para la elaboración de esta última. También se tendrán en cuenta los consumos de transporte y energía eléctrica. En cuanto a los residuos, no se han considerado los residuos posteriores a la venta del producto, es decir, una vez que el cliente tenga dicho producto. No obstante, cabe destacar que las botellas de sidra son reutilizables. Previo a su utilización deberán someterse a un proceso de limpieza, donde se emplea NaOH, que sí se ha tenido en cuenta en el estudio. A su vez se tiene en cuenta la magaya como subproducto principal. Y finalmente cabe destacar que, aunque la sidra al igual que otros productos alimenticios se exportan y se envía al resto de España, en el transporte de estos solo se ha tenido en cuenta la región del Principado de Asturias como consumidora pues cuenta con la mayor tasa de consumo.

Como ya se ha mencionado a lo largo del trabajo se va a proceder al análisis de dos tipos de sidra: achampanada y natural tradicional. En la Fig. 4.2 se muestra el esquema de entradas y salidas del sistema para ambas variedades de sidra. Existe una diferencia de entradas en cuanto a la adición del CO_2 y aditivos al proceso, dado que son necesarios para la correcta elaboración de la sidra achampanada, pero no se tiene en cuenta en la elaboración de sidra tradicional. Sin embargo, tal y como se observa, las salidas son las mismas para ambas variedades. Puede resultar llamativo en cuanto a las entradas, pues

no se cuenta como entrada el uso de fertilizantes en el cultivo de la manzana asturiana. La explicación que se notifica para este aspecto, corroborada por expertos del sector de producción de la sidra, es que el uso de fertilizantes y productos fitosanitarios no se utilizan en las pomaradas tradicionales asturianas como es la del caso bajo estudio. No obstante, en las nuevas plantaciones de mayor extensión y profesionalización sí se abona y se emplean tratamientos para contener las plagas.

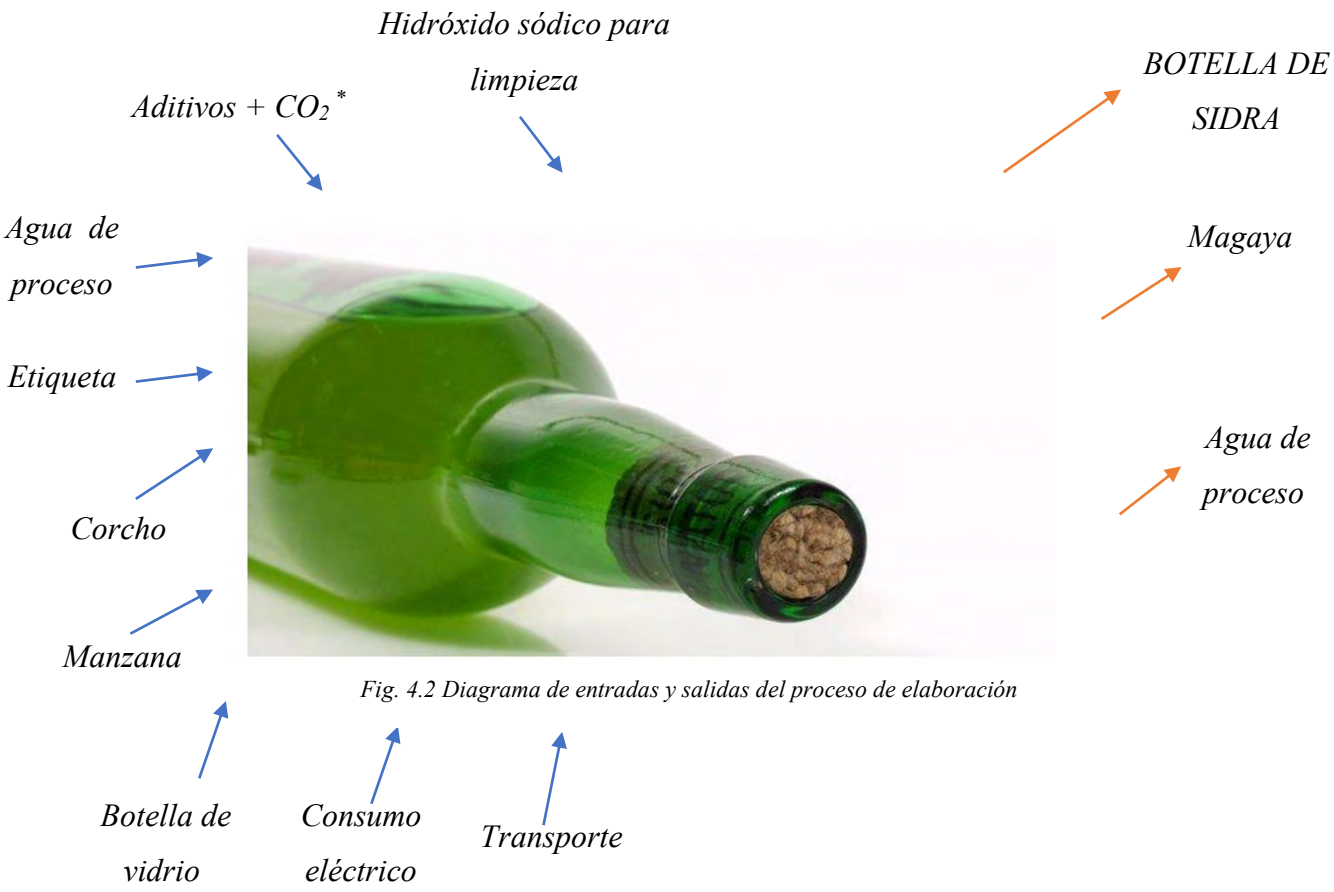

Fig. 4.2 Diagrama de entradas y salidas del proceso de elaboración

4.4 ANÁLISIS DE INVENTARIO

4.4.1 INTRODUCCIÓN

En este presente subcapítulo se realiza el análisis de inventario de las entradas y salidas del sistema del año 2020. Para la realización de los análisis que posteriormente se presentan se ha empleado el software SimaPRO [32]. Este software es una herramienta para ejecutar estudios de ACV y Environmental Product Declarations (EPDs) de una manera conveniente, costo-efectiva, ahorrando tiempo y cumpliendo con las normas ISO. Además, este software fue configurado para su uso con EcoInvent y Agri-footprint como bases de datos de referencia.

4.4.2 ENTRADAS

- ***MANZANA***

  El consumo de manzana empleado para la producción de 214.284 botellas de sidra natural tradicional, y 38.666 de sidra achampanada es de 243.000 kg. Con esto se deduce que se necesitan 203.631 kg para sidra natural tradicional y 39.369 kg para sidra achampanada. Por tanto, para la unidad funcional escogida se necesitan 0,950 kg y 1,018 kg respectivamente. Se utilizó la variable "Apple" de la base de datos EcoInvent.

- ***AGUA DE PROCESO***

  El agua del proceso de elaboración de la sidra cuenta con el agua empleada para la limpieza de las manzanas, limpieza de botellas y una balsa donde junto con el hidróxido sódico (NaOH) se emplea para la limpieza de las botellas reutilizadas. Por tanto, para las 214.284 botellas de sidra natural tradicional se necesitan 274.215 L de agua de proceso y, por otro lado, 49.575 L para 38.666 botellas para la sidra achampanada. Por último, y dado que la unidad funcional es una botella, para una botella de sidra tradicional se necesitan 1,279 L de agua de proceso y, 1,282 L de agua de proceso para la botella de sidra achampanada.

- ***HIDRÓXIDO SÓDICO PARA LIMPIEZA (NaOH)***

  El hidróxido sódico (NaOH) se utiliza como limpieza de las botellas reutilizadas, se estima que se reutilizan 1/3 de las botellas totales. Se aportan 50 kg de NaOH para el número total de botellas. Por tanto, para 214.284 botellas de sidra tradicional se necesitan 41,9 kg de NaOH, mientras que se necesitan 8,10 kg para la sidra achampanada. Finalmente, extrapolado para la unidad funcional, una botella de cada tipo, se necesitan $1{,}95 \cdot 10^{-4}$ kg para la botella de sidra tradicional y $2{,}09 \cdot 10^{-4}$ kg para la botella de achampanada respectivamente.

- ***TRANSPORTE***

  Para el transporte se ha tenido la cuenta el transporte desde la planta hasta los diez municipios más grandes del Principado de Asturias (Gijón, Oviedo, Avilés, Siero, Langreo, Mieres, Castrillón, San Martín del Rey Aurelio, Corvera y Villaviciosa).

  Realizando el cálculo de la distancia media a dichos municipios, se obtiene como resultado un total de 66,64 kilómetros de media desde la planta de producción hasta los distintos municipios. Como ya se ha mencionado anteriormente, no se tiene en cuenta el transporte de manzana desde la pomarada hasta la planta, ya que se encuentra en el mismo lugar de elaboración de la sidra. Para el transporte de las cajas de sidra se toma una furgoneta de transporte de mercancías de dimensiones:

  $$Alto: 2.522\ mm\ ;\ Largo: 4.070\ mm\ ;\ Ancho: 1.870\ mm$$

  Por tanto, el volumen de la furgoneta será:

  $$Volumen = Alto\ x\ Largo\ x\ Ancho = 1.919.690.800\ mm^3 = 19.194{,}69\ L$$

  En cuanto a las cajas de sidra se toman las siguientes dimensiones:

  $$Alto: 365\ mm\ ;\ Largo: 280mm\ ;\ Ancho: 300mm$$

  El volumen de la caja de sidra para el transporte:

  $$Volumen = Alto\ x\ Largo\ x\ Ancho = 30.660.000\ mm^3 = 30{,}66\ L$$

  Por otro lado, el número de cajas de 12 botellas de sidra que transporta la furgoneta es de 626, equivalente a 5.258,4 litros y 7.512 botellas. En esta parte se diferencian las dos sidras:

- *Sidra natural tradicional*

  En donde 214.284 botellas al año son de este tipo de sidra, por tanto, se obtiene:

$$Viajes\ al\ año = \frac{214.284\ botellas}{7.512\ botellas\ por\ furgoneta} \cong 29\ viajes\ al\ año$$

$$Distancia\ total\ al\ año = 29\ viajes\ x\ 66{,}64\ km = 1.932{,}56\ km$$

  Dado que en el cálculo del transporte se debe calcular el peso que transporta dicha furgoneta, para ello se tiene en tiene en cuenta que el peso de la caja más las doce botellas de 0,7 cl es de 15 kg [33].

$$Peso\ furgoneta\ al\ año = 626\ cajas\ x\ 15\ kg\ x\ 29\ viajes\ = 272.310\ kg$$
$$= 272{,}31\ toneladas$$

  Finalmente se multiplica la distancia total al año por las toneladas al año que se transportan entre el número de viajes:

$$\frac{1932{,}56\ km\ \ x\ 272{,}31\ toneladas}{29\ viajes} = \mathbf{18.146{,}74\ tkm}$$

  Para la unidad funcional escogida se aplican **0,0846 tkm.**

- *Sidra achampanada*

  Se obtienen 38.666 botellas de dicha sidra, la distancia media de transporte como en el caso anterior es de 66,64 km

$$Viajes\ al\ año = \frac{38.666\ botellas}{7.512\ botellas\ por\ furgoneta} \cong 6\ viajes$$

$$Distancia\ total\ al\ año = 66{,}64\ km\ x\ 6\ viajes\ = 399{,}84\ km$$

  El volumen de la furgoneta, como en el apartado anterior es de 19.194,69 L, con un volumen por caja de 30,66 L. Se transportan 626 cajas, de 12 botellas por caja que equivale a 7.512 botellas por furgoneta. En este caso la botella es de 0,75 cl y por tanto se obtienen 5.634 litros por furgoneta. Para el cálculo del peso que transporta la furgoneta se tiene en cuenta que la caja con las botellas tiene un peso de 17 kg [34]. Se obtiene a continuación:

$$Peso\ furgoneta\ al\ año = 626\ cajas\ x\ 17\ kg\ x\ 6\ viajes\ = 63.852\ kg =$$
$$63{,}85\ toneladas$$

Para finalizar se calcula el transporte como en el apartado anterior multiplicando la distancia por el peso:

$$\frac{399{,}84\ km\ x\ 63{,}85\ toneladas}{6\ viajes} = \mathbf{4.255{,}1\ tkm}$$

Para la unidad funcional escogida se necesitan **0,11 tkm.**

- ***ADITIVOS***

Este componente se añade únicamente a la sidra achampanada, en donde se añaden tres tipos diferentes de aditivos que son: Sacarosa, Ácido cítrico y Anhídrido sulfuroso junto con agua. Se producen 29.000 L de dicha sidra siendo 9.000 L de licor de expedición, este compuesto formado por agua más los aditivos citados anteriormente son mezclados en un mezclador. Se producen 9.000 L de dicho licor donde de agua son 8.055 L, el resto corresponden a los aditivos.

Para la elaboración de la sidra achampanada se parte de un 69% aproximadamente de sidra natural tradicional y un 31% de licor de expedición. Según los datos proporcionados por el enólogo a quién se tuvo acceso, se necesitan las siguientes cantidades de aditivos que se muestran en la Tabla 4.1:

Compuesto	Cantidad
Ácido cítrico	$3\left[\frac{g}{L_{licor\ añadido}}\right]$
Anhídrido sulfuroso	$40\left[\frac{mg}{L_{producto\ final}}\right]$
Sacarosa	$50\left[\frac{g}{L_{producto\ final}}\right]$

Tabla 4.1 Cantidades de aditivos para la elaboración de sidra achampanada.

Para obtener el valor real de cada aditivo se multiplica por 29.000 L si es de producto final o por 9.000 L si es de licor añadido.

- Ácido cítrico:

$$3\frac{g}{L_{licor\ añadido}}\ x\ 9000\ L \cong 27\ kg$$

- Anhídrido sulfuroso:

$$40\,\frac{mg}{L_{producto\ final}}\,x\ 29.000\ L = 1.159.420\ mg \cong 1{,}2\ kg$$

- Sacarosa:

$$50\,\frac{g}{L_{producto\ final}}\,x\ 29.000\ L = 1.449.275\ g \cong 1.450\ kg$$

Por tanto, para una botella de sidra achampanada se necesitan las siguientes cantidades.

- Ácido cítrico: $69{,}8 \cdot 10^{-5}$ kg
- Anhídrido sulfuroso: $3{,}1 \cdot 10^{-5}$ kg
- Sacarosa: $0{,}0375$ kg

También es importante destacar la adición de CO_2, la cuál es única y exclusivamente de la sidra achampanada para que se produzca las burbujas propias de dicha sidra. Se necesitan $8\,\frac{g}{L_{\ sidra\ achampanada}}$ la cual se producen 29.000 L por tanto se obtiene 232 kg de CO_2 necesarios. Se aproxima a 300 kg por posibles pérdidas del dispositivo utilizado. Por tanto, se necesitan $7{,}8 \cdot 10^{-3}$ kg de CO_2 por botella.

- ***VIDRIO***

En esta parte también se aprecia una diferencia entre los dos tipos de sidra, ya que la botella de vidrio utilizado en el embotellado no es igual para ambas clases de sidra.

- *Sidra natural tradicional*

  El vidrio utilizado para una botella de sidra natural tradicional de 0,7 cl es de 550 g [35].

- *Sidra achampanada*

  Para este tipo de botella se ha escogido una botella de cava debido a la similitud entre ambas. La cantidad de vidrio necesario para una botella de 0,75 cl es de 800 g [35].

- ***CORCHO***
  - *Sidra natural tradicional*

    En cuanto al tapón se tiene un corcho de peso 5,63 g [35] por cada uno.

  - *Sidra achampanada*

    El tapón correspondiente para este tipo de botella contiene 8,30 g de corcho [35].

- ***ETIQUETA***
  - *Sidra natural tradicional*

    En el etiquetado de este tipo de sidra consta de una etiqueta de papel de peso 1,5 g [35].

  - *Sidra achampanada*

    El peso de la etiqueta es el mismo que en el caso anterior es decir de 1,5 g [35].

- ***PRECINTO DE SEGURIDAD Y GARANTÍA***

  Este tipo de embalaje es exclusivo solo de la sidra achampanada, consta de un precinto de seguridad de acero con un peso de 5,1 g [35]. Por otro lado, para el precinto de garantía propio solamente de la sidra achampanada, está elaborado de aluminio con un peso de 2,17 g [35].

- ***CONSUMO ELÉCTRICO***

  En el consumo eléctrico cabe destacar que no se trabajan todos los días, ya que la elaboración de la sidra va en temporada, puesto que se elabora tras la recolección de la manzana. Por esto, se trabaja por máquina 203,95 h, el equivalente a 8,5 días para la producción de 38.666 botellas y 214.284 botellas de sidra natural tradicional. Con ello se establece:

  - *Sidra natural tradicional*

    Se obtiene por tanto un consumo eléctrico de 8.363,98 kWh para las 214.284 botellas de sidra natural tradicional. Las máquinas que generan ese consumo eléctrico son: cinta de selección de manzanas, lavador de manzanas, cinta

transportadora, trituradora, prensa neumática, etiquetadora, embotelladora y corchadora y finalmente el lavador de botellas.

Como resultado, para la unidad funcional de una botella se obtiene un consumo eléctrico de **0,039 kWh**.

- *Sidra achampanada*

  Por el contrario, para la elaboración de sidra achampanada se realiza un consumo eléctrico de 8.873,86 kWh para 38.666 botellas. El consumo eléctrico es un tanto superior al de sidra natural tradicional ya que hay que sumarle la carbonatadora.

  Siendo necesarios para una botella un consumo eléctrico de **0,229 kWh.**

A modo de resumen, se muestra en la Tabla 4.2 las entradas del sistema para la unidad funcional escogida:

	Sidra natural tradicional	Sidra achampanada
Manzana [kg]	0,905	1,018
Agua proceso [L]	1,279	1,282
Hidróxido sódico para limpieza [kg]	$1{,}955 \cdot 10^{-4}$	$2{,}095 \cdot 10^{-4}$
Transporte [tkm]	0,0846	0,110
Ácido cítrico [kg]	-	$69{,}828 \cdot 10^{-5}$
Anhídrido sulfuroso [kg]	-	$3{,}103 \cdot 10^{-5}$
Sacarosa [kg]	-	0,0375
Agua licor expedición [L]	-	0,208
CO_2 [kg]	-	$7{,}758 \cdot 10^{-3}$
Vidrio [kg]	0,55	0,8
Corcho [kg]	$5{,}629 \cdot 10^{-3}$	$8{,}299 \cdot 10^{-3}$
Etiqueta [kg]	$1{,}499 \cdot 10^{-3}$	$1{,}499 \cdot 10^{-3}$

Precinto de calidad [kg]	-	$5{,}099 \cdot 10^{-3}$
Precinto de garantía [kg]	-	$2{,}17 \cdot 10^{-3}$

Tabla 4.2 Inventario de las entradas al proceso

4.4.3 SALIDAS

- *Sidra*

La principal salida es el producto final, la sidra (embotellada). Para el análisis de la sidra tradicional se obtiene una botella de sidra tradicional embotellada y etiquetada, y para el caso de la sidra achampanada se obtiene una botella de sidra achampanada, embotellada con etiqueta y precintos de seguridad.

- *Magaya*

El subproducto originado de la elaboración de la sidra es la magaya, siendo este el resultante de la manzana tras el prensado. Para un consumo de manzana de 243.000 kg se originan 72.900 kg de magaya. Se debe destacar que la obtención de mosto es de un 20% - 25% del total de kilos de manzana, el resto es magaya. El porcentaje varia en función del tipo de prensado que se ha llevado a cabo en el proceso. La prensa hidráulica genera menos magaya y más mosto, mientras que la prensa neumática se produce lo contrario. Por tanto, se establece un rendimiento del prensado del 70%, con ello se obtienen 72.900 kg de magaya para toda la producción de botellas de sidra. Extrapolando estos datos para una botella de sidra natural se producen 0,285 kg de magaya, mientras que se producen 0,305 kg por una botella de sidra achampanada. Por último, es destacable apuntar que dicha magaya se utiliza para alimentar ganado. Por tanto, se considera un producto evitado del proceso.

- *Agua residual*

El agua residual obtenida es la misma que entra en el proceso ya que no forma parte de la sidra, solo interviene para operaciones de lavado como ya se ha mencionado en las entradas del sistema. En cuanto al tratamiento del agua de proceso en los lagares, dentro

de su sistema de autocontrol, tienen que reflejar que hacen con el agua residual procedentes del proceso de fabricación. Aquellos que están cerca de las grandes ciudades lo normal es tengan una fosa de decantación cuya salida conecta con el colector general.

En la Tabla 4.3 se muestran a modo de resumen las salidas del proceso:

	Sidra natural tradicional	Sidra achampanada
Sidra embotellada [botellas]	1	1
Magaya [kg]	0,285	0,305
Agua proceso [L]	1,279	1,282

Tabla 4.3 Inventario de las salidas del proceso

4.5 EVALUACIÓN DE IMPACTO

4.5.1 INTRODUCCIÓN

En este presente subcapítulo se realiza la evaluación de impactos ambientales con el método *Recipe Europe* partiendo de los datos de inventario del subcapítulo anterior. Las categorías de impacto que aparecen son:

- Agotamiento de la capa de ozono: Se mide en kg eq. de CFC-11, donde examina la reducción de la capa de ozono con la consiguiente disminución en la protección contra las radiaciones ultravioleta.
- Cambio climático: La unidad utilizada es kg eq. CO_2. Mide el calentamiento terrestre y de los océanos producido por las emisiones de gases efecto invernadero.
- Acidificación: Se mide en kg eq. SO_2. Se basa en la variación de acidez que experimentan el suelo, agua y atmósfera debido a la acción de los óxidos de nitrógeno y sulfuro.
- Eutrofización: Se origina por el empleo de fertilizantes y detergentes, esto provoca un aumento de algas que conlleva a un elevado consumo de oxígeno. Se distinguen varias categorías:
  - Eutrofización agua dulce: Se mide en kg eq. de P.
  - Eutrofización agua de mar: Se mide en kg eq. de N.
- Toxicidad humana: Se mide en kg 1,4-diclorobenceno eq. y, estima la toxicidad que ocasiona un compuesto químico sobre la salud humana.

- Formación de oxidantes fotoquímicos: La unidad utilizada es kg eq. de compuestos orgánicos volátiles. Estima la variación de emisión de compuestos químicos en Europa que originan oxidantes fotoquímicos.
- Materia particulada: Se mide en kg eq. de materia particulada. Estima la cantidad de materia particulada inferior a 10 PM que se genera.
- Ecotoxicidad: Se mide en kg 1,4-diclorobenceno eq. Se distinguen tres categorías aplicadas al medio terrestre, al marino y agua dulce. No obstante, utilizan la misma unidad. Estima la toxicidad que ocasiona un compuesto químico a dichos entornos.
- Radiaciones ionizantes: Se mide en kg eq. de uranio 235. Estima los efectos negativos debido a radiaciones en la salud humana.
- Agotamiento de minerales: Se mide en kg eq. Fe. Estima el consumo de recursos minerales de la naturaleza.
- Agotamiento del agua: Se mide en m^3. Estima el consumo de agua del proceso.
- Agotamiento de combustibles fósiles: Se mide en kg eq de petróleo. Estima la cantidad de combustibles fósiles que han sido consumidos en el proceso.
- Transformación del suelo natural: La unidad utilizada es el m^2. Estima la cantidad de suelo dedicado a la ocupación de éste, así como la ocupación del suelo debido a la realización de actividades teniendo la cuenta la duración de éstas.
- Ocupación del suelo urbano: Se mide en m^2/año. Estima la cantidad de suelo ocupado durante un período de tiempo.
- Ocupación del suelo agrícola: Se mide en m^2/año. Estima la cantidad de suelo agrícola ocupado durante un período de tiempo.

4.5.2 MIDPOINTS

- ***SIDRA NATURAL TRADICIONAL***

A continuación, se exponen las gráficas obtenidas del estudio primeramente los midpoints. Se empleó el método *ReCipe Europe*, con versión 1.13. La elección de este método de evaluación, como ya se ha explicado anteriormente, es debido a que cuenta con gran facilidad de interpretación de resultados debido a la adaptación del método *Eco-Indicator 99*. Por otro lado, cuenta con 18 categorías de impacto, siendo el método con

mayor cantidad. Y, por último, permite calcular los impactos generados en Europa o a nivel global [27].

En dicha gráfica se hace referencia a la sidra natural tradicional con la unidad funcional elegida para la realización del estudio. En primer lugar, se observa la caracterización de una botella de sidra natural tradicional. En color naranja, se encuentra la magaya, al ser un producto evitado toma valores negativos debido al impacto beneficioso que tiene al ser utilizado como alimento del ganado. La manzana, junto con la botella de cristal, son los que mayor impacto dañino tienen en la mayoría de las categorías de impacto. En la categoría de *agotamiento de agua potable*, el impacto de la manzana para elaboración de la sidra es casi total con un valor de 97,79 %. Por otro lado, en la categoría de impacto de *eutrofización marina* el valor se reduce, pero sigue siendo mayoritario con un 91,39 %. Tal y como se puede apreciar en la Fig. 4.3, el siguiente subsistema que tiene mayor impacto es el transporte de la sidra, siendo la reducción de la capa de ozono donde se presenta mayor impacto (33,26 %). En cuanto a la electricidad apenas hay relevancias debido al poco uso que se hace de la misma. Con un 17,16 % la categoría de radiación ionizante es donde más impacto se aprecia. Esto puede ser debido al uso de energía nuclear en España [36].

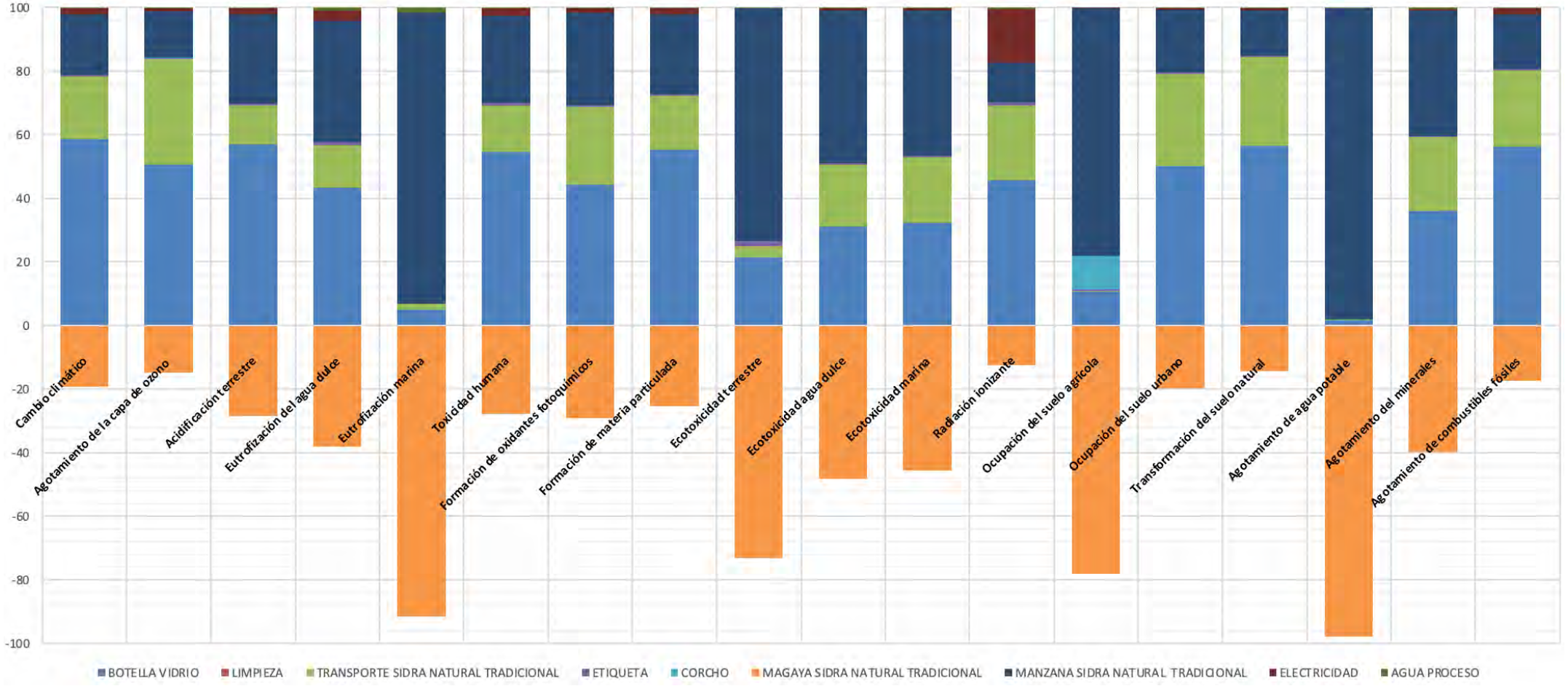

Fig. 4.3 Caracterización, 1 botella sidra tradicional-Midpoints (H)-ReCipe Europe

En la

Fig. 4.4, se muestra la normalización de 1 botella de sidra natural tradicional con el método ReCipe, en este método se relaciona la magnitud cuantificada para una categoría con un valor de referencia [37]. En la normalización, se puede observar que categoría ambiental presenta un mayor impacto al medio, pero no se representa en porcentaje como la caracterización. Por tanto, en la

Fig. 4.4 se puede observar que la categoría con mayor impacto es la *ecotoxicidad marina* siendo los subsistemas con mayor impacto la manzana, la botella y el transporte. La *ecotoxicidad de agua dulce* también tiene un impacto importante, y finalmente la *transformación del suelo natural*. En cuanto al producto evitado, la magaya tiene un impacto beneficioso como se aprecia en todas las gráficas. El resto de las categorías de impacto apenas presentan variaciones, por tanto, es probable que no se vean impactos o éstos sean muy pequeños.

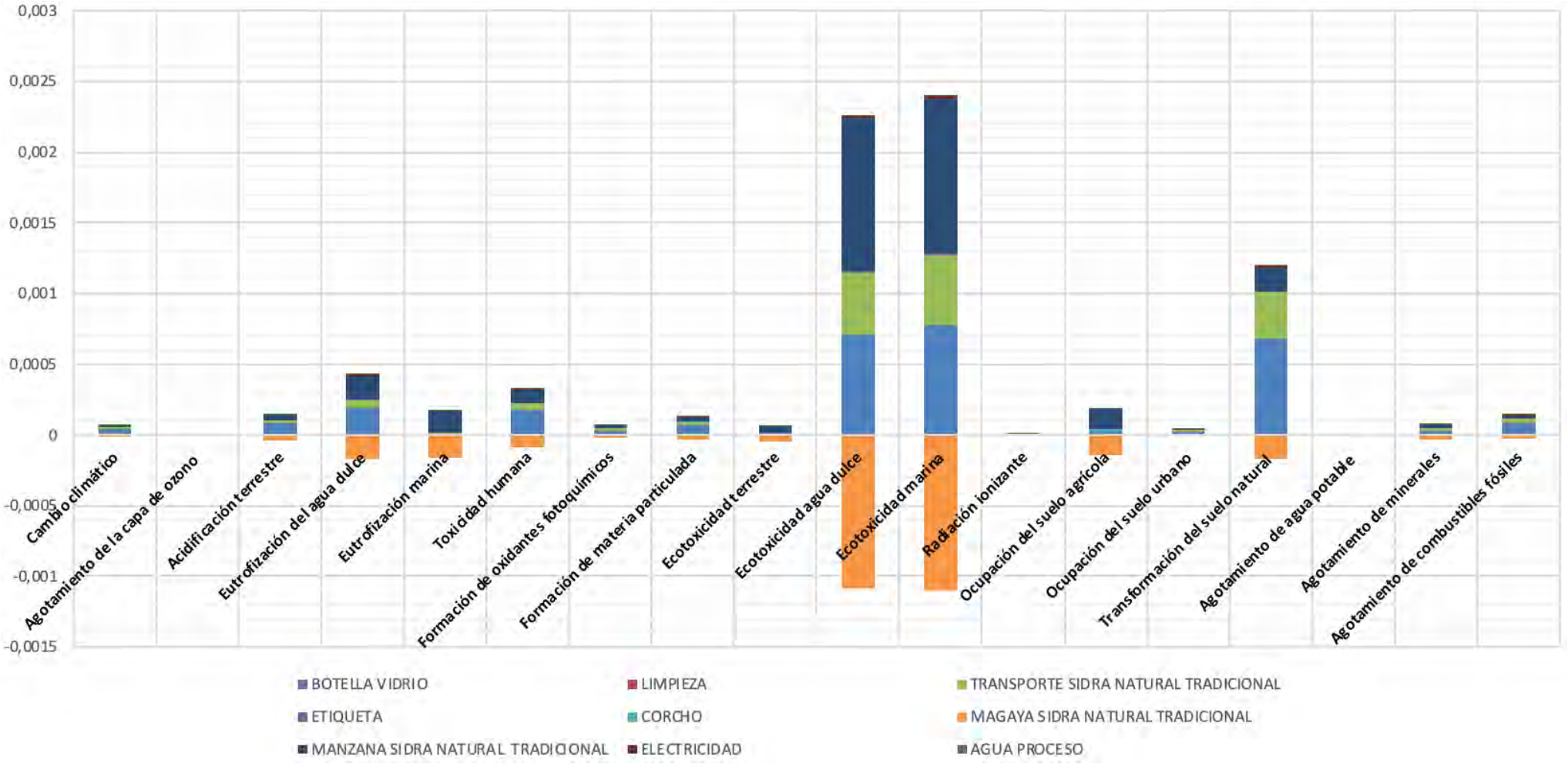

Fig. 4.4 Normalización, 1 botella sidra tradicional-Midpoints (H)-ReCipe Europe

- Sidra achampanada

En cuanto a la sidra achampanada, se obtuvieron dos gráficas: una de caracterización y otra de normalización, al igual que en caso anterior. En este tipo de elaboración de sidra se cuenta con dos nuevas variables como son los aditivos y los precintos, en comparación con la sidra natural tradicional. En la caracterización, tal y como muestra la Fig. 4.5, la materia prima para dicha elaboración sigue siendo la más destacada con un valor de 79,84 % en la categoría de *eutrofización marina*. En la categoría de *agotamiento de agua potable,* se puede apreciar que casi la totalidad es de manzana con un valor de 93,11 %. En cuanto al resto de subsistemas, el siguiente más destacable es la botella de cristal siendo la categoría con mayor impacto la de *cambio climático* con un valor de 54,60 %. Dicho valor tiene lógica, pues se generan grandes cantidades de emisión de CO_2 en la producción de vidrio. En cuanto a la electricidad, como en el caso anterior, la categoría de *radiación ionizante* es la que tiene mayor porcentaje, con un valor de 45,57 %. Este tipo de sidra cuenta con precintos de calidad-garantía y ambos tienen una representación en las categorías de impacto, aunque no muy grande, siendo el mayor en *agotamiento de metales* con un valor de 27,73 %. Cabe destacar que, aunque el valor no es muy grande, en relación con las cantidades de dichos materiales que se utilizan el impacto es importante. En *ecotoxicidad terrestre,* destaca el valor de los aditivos con un valor de 77,3 %. Por tanto, la cantidad de este subsistema en la categoría de impacto es destacable y, además, siendo una de las principales diferencias con la sidra natural tradicional. Como ya se ha mencionado con anterioridad, la magaya sigue teniendo un impacto beneficioso en la elaboración de ambas sidras.

En cuanto a la normalización, tal y como se muestra en la Fig. 4.6, se puede observar que las categorías con mayor impacto son primeramente *ecotoxicidad marina*, *ecotoxicidad de agua dulce* y finalmente *transformación del suelo natural*. El resto de las categorías tienen un impacto menor. Los subsistemas más destacados en dichas categorías son: la manzana, la botella, el transporte y los precintos. Los aditivos también tienen un impacto, pero mucho menor. En cuanto a la magaya, considerado producto evitado se puede apreciar el impacto beneficioso que genera en el proceso al igual que en el resto.

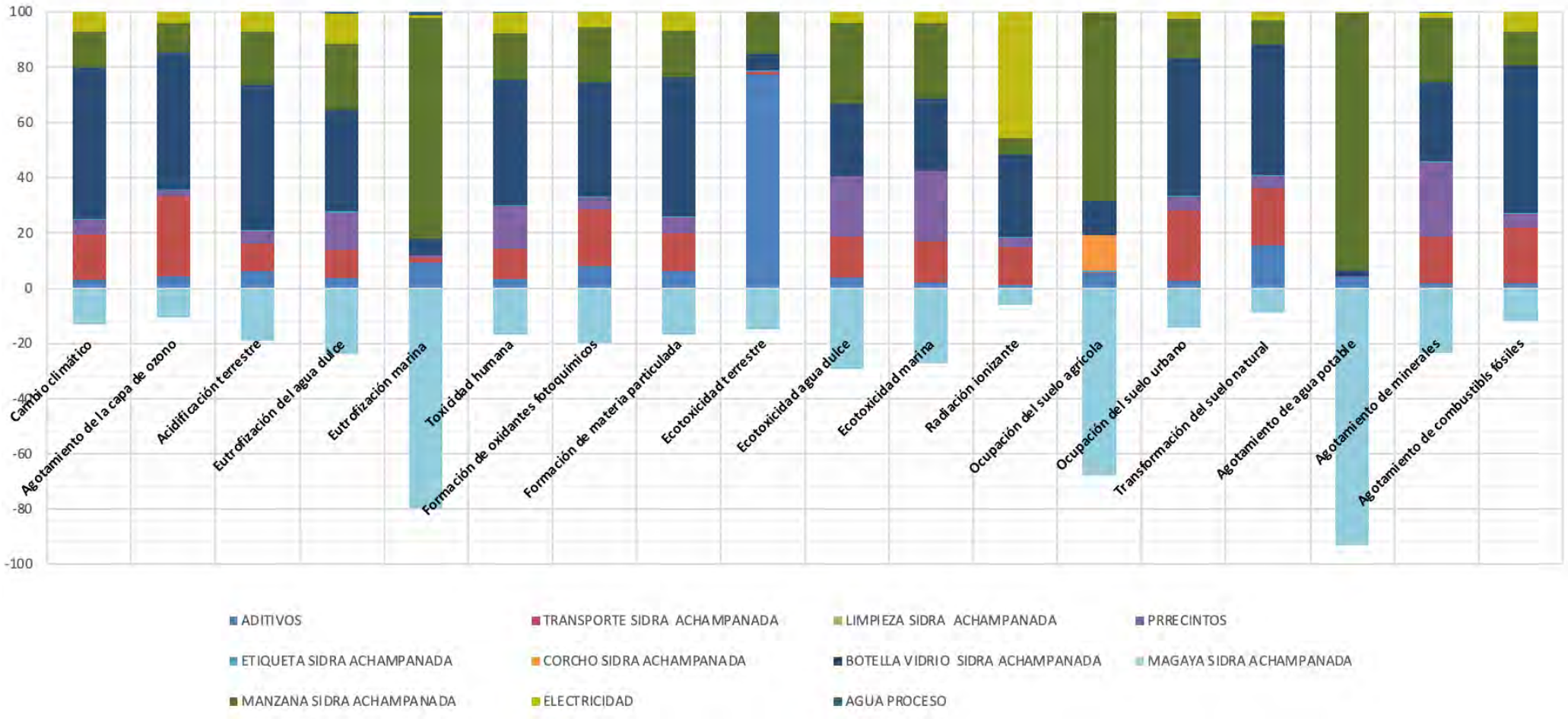

Fig. 4.5 Caracterización, 1 botella sidra achampanada-Midpoints (H)-ReCipe Europe

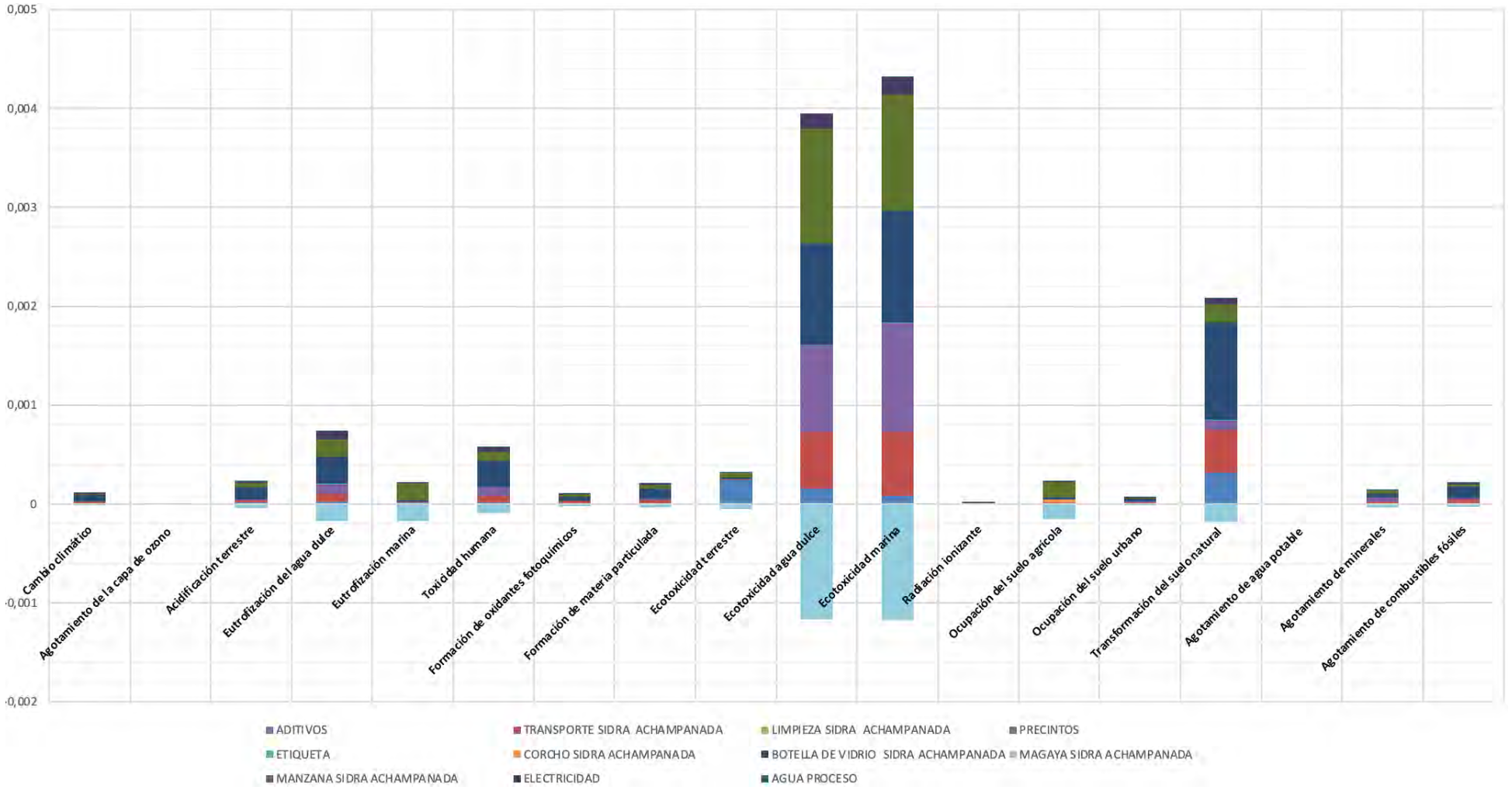

Fig. 4.6 Normalización, 1 botella sidra achampanada-Midpoints (H)-ReCipe Europe

4.5.3 ENDPOINTS

Los endpoints son menos utilizados que los midpoints. Se distinguen tres categorías de impacto en la parte de normalización como son: ecosistemas, salud humana y recursos. Este método considera el efecto último del impacto, afectando en mayor medida a la sociedad.

- ***SIDRA NATURAL TRADICIONAL***

Primeramente, en la caracterización endpoint de la sidra natural tradicional, como muestra la Fig. 4.7, se puede observar que la materia prima, la manzana, es el subsistema que esta más representado en las diferentes categorías de impacto, siendo mayor en la *ecotoxicidad terrestre* con un valor 73,17 %. Seguidamente, la botella de cristal es lo que más impacto genera en la mayoría de las categorías. El resto de los subsistemas tienen un impacto mínimo. Es importante destacar que el corcho de la botella de sidra se ve reflejado el impacto en *ocupación del suelo agrícola* con un valor de 6,79 %. Esto es debido a que la extracción del corcho se produce de la extracción de la corteza de los alcornoques. En la

Fig. 4.8 se refleja la normalización endpoint que, como se explica anteriormente, se divide en tres categorías. La más afectada por la elaboración de la sidra natural tradicional es la categoría de recursos, debido principalmente a la botella de cristal que tiene un impacto muy destacado.

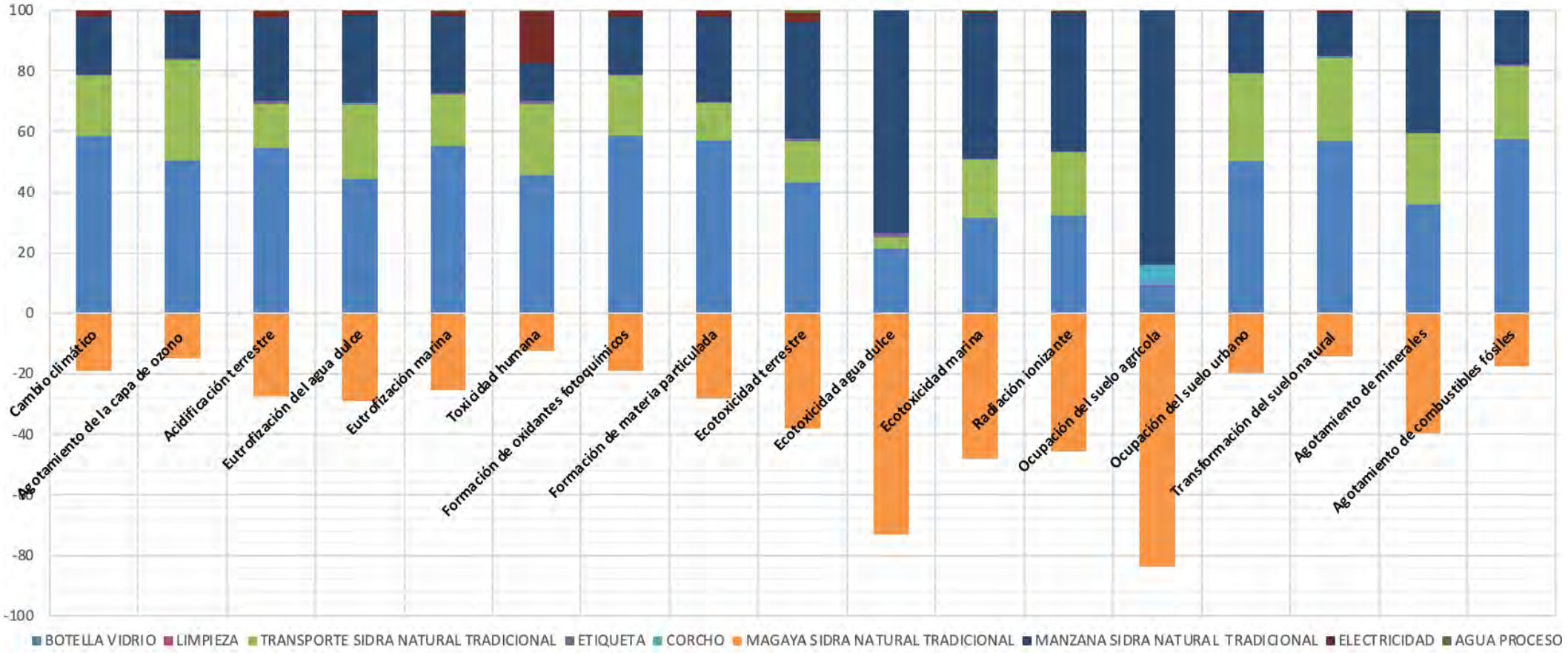

Fig. 4.7 Caracterización 1 botella sidra natural tradicional-Endpoint (H)-ReCipe Europe

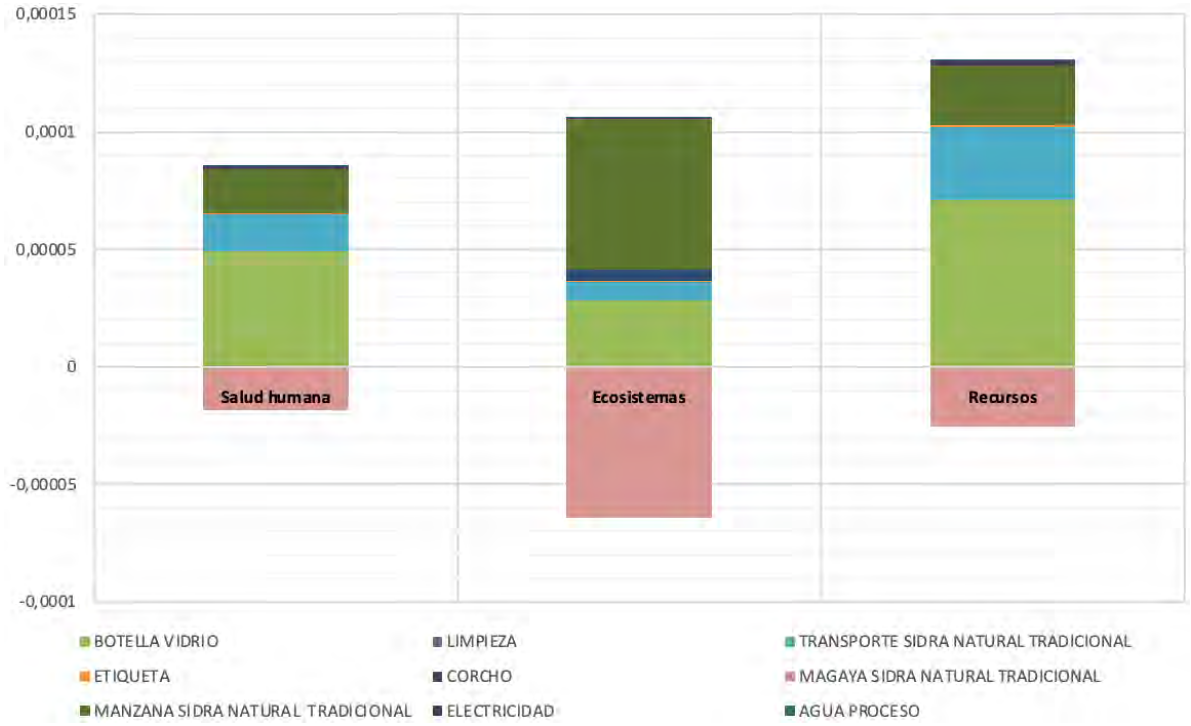

Fig. 4.8 Normalización, 1 botella sidra natural tradicional-Endpoints (H)-ReCipe Europe

- ***SIDRA ACHAMPANADA***

En la

Fig. 4.9, se muestra la caracterización de una botella de sidra achampanada con el método de endpoint. En relación con el corcho, no se nota una variación muy grande respecto a midpoint, ya que la categoría de impacto más afectada es la misma, la cual es *ocupación del suelo agrícola* pero el valor es distinto, siendo este 8,23 %. Por tanto, se aprecia un cierto aumento. En esta misma categoría de impacto, la manzana como subsistema es el predominante con un valor de 73,72 %. En cuanto a la electricidad, la categoría más destacada sigue siendo *radiación ionizante.* Como ya se ha explicado, puede ser debido al uso en España de la energía nuclear. En cuanto a los precintos utilizados, la categoría de impacto con mayor porcentaje es *ecotoxicidad marina* con un valor 25,52 %. En cuanto a los impactos positivos, se vuelve a encontrar la magaya, siendo la categoría con mayor porcentaje *ocupación del suelo agrícola*.

En la Fig. 4.10, se puede apreciar el método de normalización, en donde recursos es la categoría mayor, siendo el subsistema botella de cristal el que presenta mayor impacto seguido de la manzana. En cuanto al transporte y la electricidad tienen un impacto menor, pero tiene representación en las tres categorías de impacto que aparecen en la Fig. 4.10. La magaya como producto evitado sigue teniendo un impacto positivo en las tres categorías de impacto siendo mayor en ecosistemas.

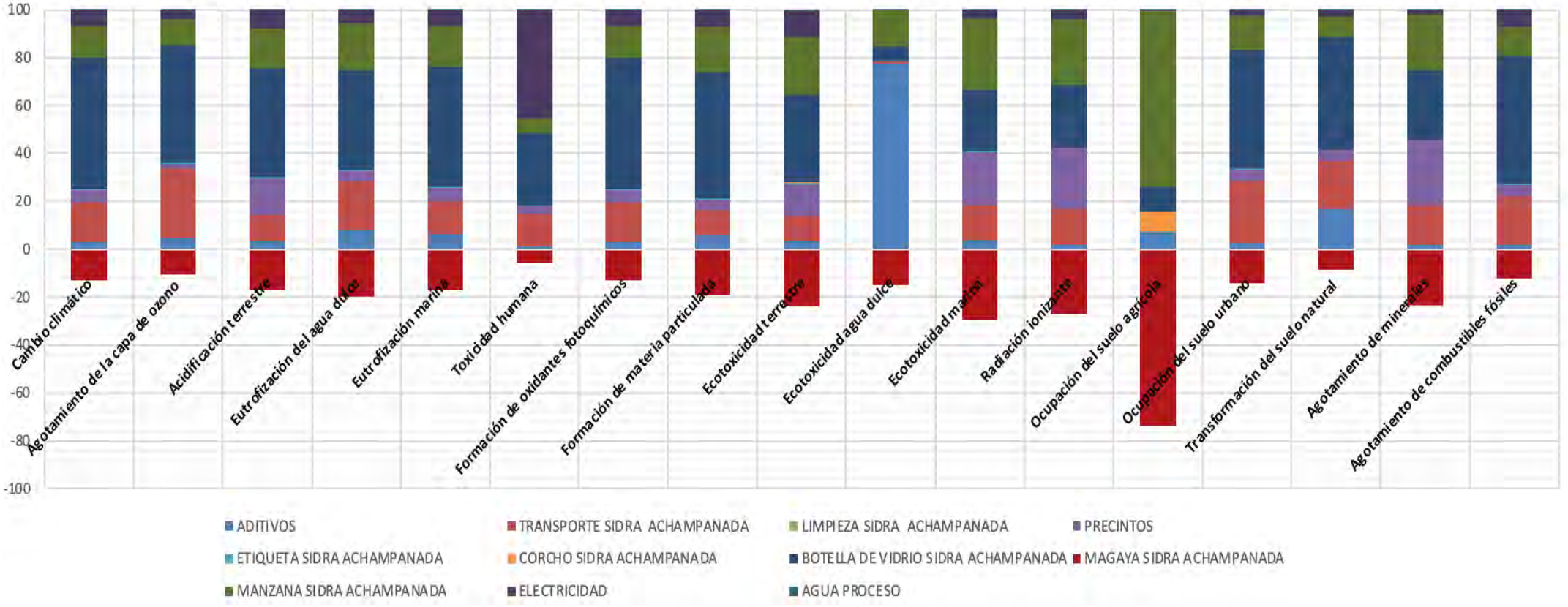

Fig. 4.9 Caracterización 1 botella de sidra achampanada, Endpoint (H)-ReCipe Europe

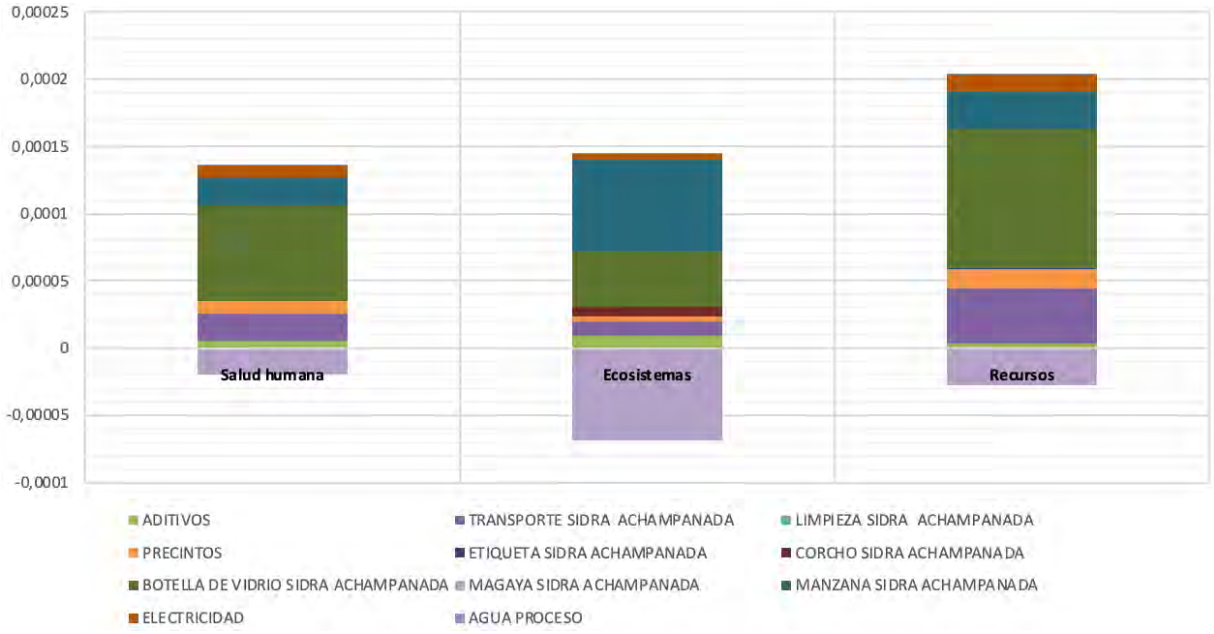

Fig. 4.10 Normalización 1 botella de sidra achampanada- Endpoint (H)-ReCipe Europe

4.6 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En este último subcapítulo, se realiza la interpretación de los resultados obtenidos en el estudio que se ha llevado a cabo. Además, se proponen técnicas y vías de mejora para intentar reducir los impactos ambientales que tienen lugar.

En estos tipos de sidra el impacto más importante lo genera la materia prima principal que es la manzana. Este resultado tiene sentido ya que este tipo de sidra está formada únicamente por esta fruta. En cuanto a las medidas que se pueden abordar en este tema, son escasas debido a que se realiza un buen aprovechamiento del producto, pero si es posible que en la parte de escoger las manzanas se hiciera una selección un tanto más exacto y poder aprovechar más la cosecha. Tras la información facilitada por la empresa, la sidra de estudio no emplea ningún producto químico en la cosecha de la manzana asturiana. Por tanto, el impacto generado es debido a la cantidad empleada por botella.

Por otro lado, la botella de vidrio se puede observar que tiene un impacto muy importante en casi todas las categorías, y es bastante relevante ya que se emplea bastante cantidad en

peso por botella de vidrio. Cabe destacar que sí se realiza la reutilización de un porcentaje de botellas, pero no es suficiente el porcentaje, ya que se siguen elaborando bastantes botellas. Por tanto, una de las medidas podría ser intentar llegar a un mayor porcentaje de botellas reutilizadas en el sector de la sidra. Otra medida para tener en cuenta es redefinir el diseño de la botella de sidra, ya que se utiliza gran cantidad de vidrio por botella. El impacto que se ha obtenido en el estudio realizado tiene concordancia con la bibliografía consultada, dado que un estudio realizado sobre el vino y el cava, productos similares a la sidra, resuelve que las botellas de vidrio son uno de los elementos que mayor impacto producen [38].

En cuanto al etiquetado no hay un gran impacto, dado que no se aprecia en las categorías de impacto, pero sí que afectan en cierta medida. En cuanto a este apartado, se podría realizar un grabado en las botellas para evitar la etiqueta y reducir residuos. Otra alternativa puede ser el uso de etiquetas que puedan lavarse sin estropearse con ello conllevaría a una reutilización de las mismas [39]. También es importante destacar que se están realizando estudios ambientales del impacto de bebidas similares a la sidra y en todas las alternativas muestran lo que se ha explicado anteriormente en el etiquetado [40].

Por otro lado, la electricidad podría implantar un mayor uso de utilización de energías renovables para así reducir la utilización de energía nuclear y, por tanto, disminuir el impacto. Por ejemplo, en el caso del prensado, se tienen dos tipos de prensas industrial y tradicional, la cual no necesita estar conectada a la red. Es por tanto que se podría emplear el uso de esta y así reducir consumos.

Por último, con respecto al empleo de agua en el proceso, no se aprecia en ninguna categoría de impacto un gran uso del agua, dado que se utiliza para el lavado de manzanas y botellas, es decir, el consumo no es excesivo. Pero, como una posible técnica de mejora, se podrían instaurar métodos de reutilización del agua, dado que al utilizarse en operaciones de lavado es más sencillo. Además, se podría llegar a la instalación de decantadores para después poder reutilizarla.

En cuanto al tapón de corcho empleado en ambos tipos de sidra, es el tapón que menor impacto genera, ya que un tapón de plástico provocaría seis veces más emisiones de CO_2, y si estuviese fabricado de aluminio 15 veces más [41]. Según la bibliografía consultada los tapones de corcho permiten que productos como el vino, que como se ha explicado con anterioridad tiene similitud con la sidra, maduren y evolucionen de manera natural [42].

En cuanto al transporte una de las posibles técnicas que se pueden llevar a cabo es la conducción eficiente, la cual según IDEA (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía de España) conllevaría a una reducción del 10 % del consumo de carburantes [43]. Como ya se ha explicado con anterioridad, la sustitución de los vehículos de combustión es otra mejora importante y, cada vez más en auge, ya que el aumento de gasolineras que cuenta con gas natural como combustible es destacable. Por último, como otra medida, sería el empleo de los denominados megacamiones los cuales aumentan el llenado de un 54 % a un 57,5 % y, por tanto, el número de viajes es menor, reduciendo las emisiones. Con el empleo de este tipo de vehículos se puede llegar a una reducción del 20 % de emisiones de CO_2 [43]. Otra medida que se puede llevar a cabo sería instalar puntos de distribución más cercanos.

Los precintos empleados tienen un impacto pequeño en las categorías de impacto del proceso. Como alternativa o técnica de mejora la reducción de la cantidad de material por precinto.

En cuanto al empleo de aditivos como principal diferencia con la sidra natural tradicional tiene cierta relevancia en alguna de las categorías de impacto. El CO_2 que se emplea para la formación de burbujas podría ser sustituido por técnicas de elaboración tradicional. En donde el CO_2 no es añadido, sino que se genera tras la segunda fermentación lo que también daría lugar a una mayor duración en la elaboración de la sidra.

- ***COMPARATIVA***

Para la comparativa de los dos tipos de sidra se utilizan las Fig. 4.4 y Fig. 4.6. Primeramente, la manzana es uno de los subsistemas más destacados en todas las categorías de impacto ya que es el producto principal para la elaboración de la sidra. Su impacto es superior en la sidra achampanada con un valor de 0,0012 kg 1,4-diclorobenceno eq. en la categoría de *ecotoxicidad marina* frente al valor de 0,0010 kg 1,4-diclorobenceno eq., ya que para la elaboración de este tipo se sidra se utiliza mayor cantidad de manzana por botella. Otro subsistema muy destacado es el de botella de vidrio dado que su impacto es importante en ambos tipos de sidra, pero es ligeramente superior en la sidra achampanada ya que se utiliza mayor cantidad de vidrio por botella. Se obtiene un valor de 0,0011 kg 1,4-diclorobenceno eq. en el caso de la sidra achampanada frente a 0,0008 kg 1,4-diclorobenceno eq. para la sidra natural. En ambos casos la categoría *ecotoxicidad marina* es la que mayor impacto presenta.

Por otro lado, en cuanto al subsistema de electricidad, la categoría de mayor impacto es *ecotoxicidad marina* con un valor de 0,00017 kg 1,4-diclorobenceno eq. en la sidra achampanada y 0,00002 kg 1,4-diclorobenceno eq. en el caso de la sidra natural. Por tanto, y dado que la diferencia es de un 90,13 %, se puede apreciar una significativa diferencia entre ambas variedades de sidra en esa categoría. Esto es debido al uso de una carbonatadora para la sidra achampanada, lo cual incurre en tener un mayor consumo eléctrico que deriva en un mayor impacto.

En cuanto al subsistema de transporte, el mayor impacto se aprecia en la categoría de *ecotoxicidad marina*. En dicha categoría la sidra achampanada tiene un impacto de 0,0006 kg 1,4-diclorobenceno eq. frente a 0,0004 kg 1,4-diclorobenceno eq. para la sidra natural. Esta diferencia es debido a que la botella de sidra achampanada tiene mayor volumen y, por tanto, deben realizarse mayor número de viajes para el transporte de una misma cantidad de botellas de dicha sidra frente a la sidra natural.

Otro de los subsistemas a destacar es el corcho, donde existe una clara diferencia. En ambos casos la categoría de mayor impacto es la *ocupación del suelo agrícola*, pues el corcho viene derivado de la corteza del alcornoque. En el caso de la sidra achampanada se presenta un impacto de 0,00003 m^2/año frente a 0,00002 m^2/año para la sidra natural.

Uno de los subsistemas donde no se produce diferencia entre las dos variedades de sidra es la etiqueta. Dicho subsistema tiene un mayor impacto nuevamente en la categoría de *ecotoxicidad marina*. No obstante, y dado que la etiqueta que presentan ambas variedades de sidra es idéntica, tienen un mismo impacto de 0,000008 kg 1,4-diclorobenceno eq. Por otro lado, al igual que para el subsistema anterior, en el caso del subsistema agua de proceso, donde se presenta un mayor impacto en la categoría de *ecotoxicidad marina*, ambos tipos de sidra presentan un valor similar de 0,000004 kg 1,4-diclorobenceno eq.

Por último, en el subsistema de limpieza de las botellas, ambas variedades presentan un mayor impacto en la categoría de *toxicidad humana*. Siendo mayor el impacto de la limpieza de la botella de sidra achampanada con un valor de $6{,}57 \cdot 10^{-9}$ kg 1,4-diclorobenceno eq. frente a $7{,}03 \cdot 10^{-9}$ kg 1,4-diclorobenceno eq. para la limpieza de la botella de sidra natural.

Finalmente, se puede concluir que genera un mayor impacto ambiental la elaboración de la sidra achampanada frente a la elaboración de la otra variedad de sidra, la sidra natural tradicional. Esta diferencia es debido a diversos factores. El primero de ellos es que la botella de sidra achampanada es mayor en cuanto a volumen y peso. Además, incluye el precinto de calidad y garantía, y su corcho es de mayor tamaño. Por otro lado, se debe destacar otro factor relevante como es el uso de aditivos en la elaboración de la misma.

5 CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

5.1 CONCLUSIONES

El Análisis de Ciclo de Vida desarrollado a lo largo del presente trabajo comenzó con el análisis de inventario de las entradas y salidas del proceso de elaboración de la sidra. Tras la realización de éste, se realiza con la ayuda del programa SimaPro el Análisis del Ciclo de Vida con diferentes bases de datos.

El método de evaluación utilizado es el más común en el sector de la alimentación, siendo este *ReCipe Europe.* Con los resultados obtenidos tras el estudio, se puede observar que los subsistemas que mayor impacto generan en las diferentes categorías por orden descendente son: la manzana, la botella, el transporte y la electricidad.

Tras la interpretación de resultados, se procedió a la comparativa de ambos tipos de sidra, para finalizar el estudio realizado para ambas variedades. En dicha comparativa se observó como ambas variedades tiene un mayor impacto en la categoría de *ecotoxicidad marina*. Además, se observó que la sidra achampanada tiene un mayor impacto frente a la sidra tradicional. La diferencia de impacto entre ambas variedades de sidra viene dada por un mayor volumen y peso de la botella de sidra achampanada, así como por la inclusión del precinto de calidad y garantía. Además de necesitar un proceso adicional como es la carbonatación de la sidra achampanada.

Por último, se puede concluir que la elaboración de la sidra natural y achampanada en el llagar, al que se tuvo acceso de la sidra extra Norniella, no tiene un gran impacto ambiental para la unidad funcional escogida, es decir, una botella. Esto es debido a que continúan con la elaboración de ambas variedades de sidra mediante un proceso tradicional, evitando así generar un gran impacto.

5.2 TRABAJOS FUTUROS

Una posible e interesante manera de continuar con el estudio presentado en este trabajo sería añadir el cálculo de la huella de carbono para complementar el Análisis del Ciclo de Vida realizado en el presente trabajo. El motivo por el cuál sería interesante dicho análisis complementario es la cuantificación de emisiones de gases efecto invernadero que se

emiten medido en CO_2 equivalente. Dichas emisiones pueden ser emitidas de manera directa o indirecta, cuenta con tres tipos de alcance [44]:

- Alcance 1: Emisiones directas que tienen origen de fuentes de propiedad o controladas por la empresa.
- Alcance 2: Emisiones indirectas por uso y distribución de energía
- Alcance 3: Emisiones indirectas las cuáles no son controladas por la empresa.

Por último, sería también interesante volver a realizar el Análisis de Ciclo de Vida desarrollado durante el presente trabajo una vez han sido implementadas las medidas de mejora propuestas en el mismo.

6 BIBLIOGRAFÍA

[1] «Último informe IPCC (Agosto 2021),» [En línea]. Available: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Headline_Statements.pdf. [Último acceso: 2021].

[2] «Acción por el clima (ONU),» [En línea]. Available: https://www.un.org/es/climatechange/science/key-findings. [Último acceso: 2021].

[3] I. N. D. E. A. L. ATMÓSFERA, «Secretaria de Estado de Medio Ambiente,» [En línea]. Available: https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei-/documentoresumeninventariogei-ed2021_tcm30-524841.pdf. [Último acceso: 2021].

[4] R.-R. t. d. m. ambiente, «RETEMA-Revista técnics de medio ambiente,» [En línea]. Available: https://www.retema.es/noticia/10-medidas-de-la-industria-de-alimentacion-y-bebidas-contra-el-cambio-climatico-8KrW. [Último acceso: 2021].

[5] Z. D. P. E. ASTURIAS, «Museo de la Sidra de Navia,» [En línea]. Available: http://roble.pntic.mec.es/mmum0054/museosidra/7zonasproduccion.htm. [Último acceso: 2021].

[6] «Denominacion de origen,» [En línea]. Available: https://www.mapa.gob.es/es/alimentacion/temas/calidad-diferenciada/faqagroalim_tcm30-426478.pdf. [Último acceso: 2021].

[7] «Denominacion de origen protegida,» [En línea]. Available: https://www.asturias.es/Asturias/descargas/PDF_TEMAS/Agricultura/Alimentación/sidra_de_asturias_modificado.pdf. [Último acceso: 2021].

[8] «Variedades de manzan asturiana,» [En línea]. Available: https://sidradeasturias.es/variedades/. [Último acceso: 2021].

[9] F. d. M. d. N. -. C. d. M. d. Sidra, «Cultivo de Manzana de Sidra - Adicap,» [En línea]. Available: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiolbL0lvnyAhWRlhQKHeLyABsQFnoECAUQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.adicap.com%2Fdocuments%2Fdownload%2F169&usg=AOvVaw0sMxolR9LZQjOXethgUjA5. [Último acceso: 2021].

[10] «Cultivo y recolección de la sidra asturiana,» [En línea]. Available: https://sidradeasturias.es/elementor-1573/. [Último acceso: 2021].

[11] «Metodo de produccion y elbaoracion de la sidra asturiana,» [En línea]. Available: http://www.cerespain.com/elaboracion-sidra-de-asturias.html. [Último acceso: 2021].

[12] «sidra historia,» [En línea]. Available: https://www.conalcohol.com/sidra-historia-y-elaboracion/. [Último acceso: 2021].

[13] L. Shanghai Nancheng Machinery Co.. [En línea]. Available: https://es.made-in-china.com/co_chinanc/. [Último acceso: 2021].

[14] «Prensa Tradicional de Manzana,» [En línea]. Available: https://www.expondo.es/royal-catering-prensa-de-frutas-manual-madera-18-l-incluye-2-panos-de-prensa-10011502?gclid=Cj0KCQjwv5uKBhD6ARIsAGv9a-zvstskEWwzsCHv5bsbJlim0W3ulVSXQPqHzaF0ZtrpLmr7DooBiwwaAisqEALw_wcB. [Último acceso: 2021].

[15] «Fermentación sidra,» [En línea]. Available: https://www.haciendosidra.com/el-proceso-de-fermentacion-en-la-elaboracion-de-la-sidra/. [Último acceso: 2021].

[16] «Fermentación de la sidra,» [En línea]. Available: https://locaporlasidra.com/la-fermentacion. [Último acceso: 2021].

[17] «Sidra asturiana,» [En línea]. Available: https://www.sidraturismoasturias.es/la-sidra/. [Último acceso: 2021].

[18] P. S. N. A. N. C. M. S. S. Alejandra Vega Rodríguez, «DISEÑO Y MODELIZACIÓN DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN BIOTECNOLÓGICA DE SIDRA NATURAL TRADICIONAL Y DE SIDRA ACHAMPANADA,» Universidad de Oviedo, Oviedo, Julio de 2020.

[19] «Tipos de sidra,» [En línea]. Available: https://www.turismoasturias.es/descubre/gastronomia/productos/sidra. [Último acceso: 2021].

[20] «Sidra de Asturias denominación de origen protegida,» [En línea]. Available: https://sidradeasturias.es/wp-content/uploads/2021/03/Memoria-Anual-de-Actividades-2020.pdf. [Último acceso: 2021].

[21] «Gestión ambiental-Análisis del ciclo de vida-Principios y marco de referencia ISO14040:2006,» [En línea]. Available: https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14040:ed-2:v1:es. [Último acceso: 2021].

[22] «Analisis del ciclo de vida,» [En línea]. Available: https://portal.camins.upc.edu/materials_guia/250504/2013/Analisis%20del%20Ciclo%20de%20Vida.pdf. [Último acceso: 2021].

[23] A. d. C. d. Vida, «Escuela de Organización Industrial (EOI),» [En línea]. Available: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjaxd72lvLyAhVVi1wKHSNgBTYQFnoECAMQAQ&url=https%3A%2F%2Fstatic.eoi.es%2Fsavia%2Fdocuments%2Fteoria_acv_migma1.pdf&usg=AOvVaw0YNZxgc_J95miCVaDPTNCt. [Último acceso: 2021].

[24] «Análisis del ciclo de vida ISO14040,» [En línea]. Available: https://geoinnova.org/blog-territorio/analisis-del-ciclo-de-vida-iso-14040/.

[25] M. I.-M. Ambiente-UE, «Manual ILCD-Medio Ambiente-UE,» [En línea]. Available: https://ec.europa.eu/environment/ecoap/about-eco-innovation/policies-matters/eu/501_es. [Último acceso: 2021].

[26] «Deficnición de Análisis del Ciclo de Vida,» [En línea]. Available: https://portal.camins.upc.edu/materials_guia/250504/2013/Analisis%20del%20Ciclo%20de%20Vida.pdf. [Último acceso: 2021].

[27] I. r. d. A. d. proceso, «Informe resultados del ACV del proceso,» [En línea]. Available: http://www.life-ecoraee.eu/es/files/B1InformeResultadosACVProcesoCompleto.pdf. [Último acceso: 2021].

[28] A. d. C. d. V. d. i. d. tomate. [En línea]. Available: https://www.recercat.cat/bitstream/handle/2072/43635/ACV%20y%20tomates-%20A%20%20Anton.pdf?sequence=6. [Último acceso: 2021].

[29] «MACRILE S.L.,» [En línea]. Available: https://www.macrile.com. [Último acceso: 2021].

[30] M. S.A., «Macrile S.A.,» [En línea]. Available: https://www.macrile.com/premio-festival-de-la-sidra-2019. [Último acceso: 2021].

[31] C. d. l. sidra, «Comarca de la sidra,» [En línea]. Available: https://www.lacomarcadelasidra.com. [Último acceso: 2021].

[32] «SimaPro,» [En línea]. Available: https://simapro.com. [Último acceso: 2021].

[33] P, «Peso caja de sidra de 12 botellas,» [En línea]. Available: https://www.amazon.es/Caja-botellas-sidra-Asturias-Menéndez/dp/B07HQH9TWG. [Último acceso: 2021].

[34] F. S. Fanjul, «Sidra Fanjul,» [En línea]. Available: https://www.sidrafanjul.com/pdf/ficha-sidra-fanjul.pdf. [Último acceso: 2021].

[35] E. ecoembes. [En línea]. Available: https://www.ecoembes.com/sites/default/files/bebidas_.pdf. [Último acceso: 2021].

[36] E. nuclear, «Energía nuclear,» [En línea]. Available: https://www.foronuclear.org/descubre-la-energia-nuclear/energia-nuclear-en-espana/. [Último acceso: 2021].

[37] M. d. a. d. c. d. vida, «Metodología del análisis del ciclo de vida,» [En línea]. Available: https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6827/04CAPITOL3.pdf. [Último acceso: 2021].

[38] H. a. c. y. vino, «Huella ambiental cava y vino,» [En línea]. Available: https://www.interempresas.net/Vitivinicola/Articulos/220528-La-huella-ambiental-del-vino-y-del-cava.html. [Último acceso: 2021].

[39] Ecovidrio, «Ecovidrio,» [En línea]. Available: https://www.ecovidrio.es/sites/default/files/2020-06/ECOVIDRIO_PEP_2020_2022_SECTOR_SIDRA.pdf. [Último acceso: 2021].

[40] s. botellas, «serigrafiar botellas,» [En línea]. Available: https://www.tecnovino.com/adios-a-las-etiquetas-la-serigrafia-en-vidrio/. [Último acceso: 2021].

[41] p. y. a. Tapones de corcho, «Tapones de corcho,plástico y aluminio,» [En línea]. Available: https://blogs.elpais.com/eco-lab/2010/07/tapon-de-corcho-plastico-o-rosca.html. [Último acceso: 2021].

[42] C. y. s. beneficios, «Corchos y sus beneficios,» [En línea]. Available: https://www.ecoticias.com/sostenibilidad/72158/corcho-multiples-beneficios. [Último acceso: 2021].

[43] «Conducción eficiente,» [En línea]. Available: https://www.aecoc.es/articulos/6-medidas-para-reducir-las-emisiones-del-transporte/. [Último acceso: 2021].

[44] H. carbono, «Huella carbono,» [En línea]. Available: https://mma.gob.cl/cambio-climatico/cc-02-7-huella-de-carbono/. [Último acceso: 2021].