

upna

Universidad Pública de Navarra
Nafarroako Unibertsitate Publikoa



Universidad de Oviedo



UNIVERSIDAD
DE LA RIOJA

MÁSTER INTERUNIVERSITARIO EN DIRECCIÓN DE PROYECTOS

Proyecto de Fin de Máster

Análisis de ciclo de vida de la sidra natural asturiana

Alumno: Miguel Rodríguez Mateos

Tutor: Miguel Ángel Vigil Berrocal

Fecha: Julio de 2024

Índice

ABSTRACT	2
1. INTRODUCCIÓN	3
1.1. MOTIVACIÓN	3
1.2 OBJETIVO	10
1.3 ESTRUCTURA DE LA MEMORIA	10
2. SECTOR INDUSTRIAL DE LA SIDRA	12
2.1 INTRODUCCIÓN	12
2.2 VARIEDADES DE LA SIDRA	13
2.3 D.O.P. Y PRODUCCIÓN EN EL PRINCIPADO DE ASTURIAS	15
2.4 CICLO DE VIDA DE LA SIDRA NATURAL	19
2.4.1 CULTIVO Y RECOLECCIÓN	19
2.4.2 PROCESO INDUSTRIAL.....	21
2.4.3 DISTRIBUCIÓN Y CONSUMO.....	28
2.4.4 CIERRE DEL CICLO Y FIN DE VIDA	29
3. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA	30
3.1 INTRODUCCIÓN	30
3.2 DEFINICIÓN DE OBJETIVO Y ALCANCE	34
3.3. ANÁLISIS DE INVENTARIO	35
3.4 EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES.....	37
3.5 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	42
3.6 <i>SOFTWARES</i> DE ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA	43
3.7 BASES DE DATOS PARA ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA	45
4. ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DE LA SIDRA NATURAL ASTURIANA.....	47
4.1 INTRODUCCIÓN	47
4.2 CONTEXTUALIZACIÓN: FUENTE DE LOS DATOS UTILIZADA.....	47
4.3 DEFINICIÓN DE OBJETIVOS Y ALCANCE	48
4.4 ANÁLISIS DE INVENTARIO	49
4.4.1 INTRODUCCIÓN	49
4.4.2 ENTRADAS (<i>INPUTS</i>)	49
4.4.3 SALIDAS (<i>OUTPUTS</i>)	54

4.5 EVALUACIÓN DE IMPACTOS MEDIOAMBIENTALES	56
4.5.1 PRODUCCIÓN DE MANZANA EN FINCA	59
4.5.2 TRANSPORTE A LAGAR.....	61
4.5.3 PRODUCCIÓN DE SIDRA EN LAGAR	62
4.5.4 IMPACTOS DE LA ALTERNATIVA DE SUPERMERCADO	65
4.5.5 IMPACTOS DE LA ALTERNATIVA DE SIDRERIA	68
5. COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS	71
5.1 COMPARATIVA DE IMPACTOS RELATIVOS	71
5.2 COMPARATIVA DE IMPACTOS TOTALES	72
5.3 ANÁLISIS COMPLEMENTARIOS.....	73
6. CONCLUSIONES.....	76
7. REFERENCIAS	78

Abstract

La creciente preocupación por el control de los impactos medioambientales debidos a la actividad humana supone un atractivo para la búsqueda de nuevas estrategias que permitan el desempeño de procesos más sostenibles y respetuosos con nuestro entorno.

Dada la gran relevancia del sector de la sidra en el Principado de Asturias este se muestra como un candidato interesante para realizar estudios que permitan una producción y consumo más ecosostenibles reduciendo los impactos de esta actividad.

Así pues, nos servimos de la metodología de Análisis del Ciclo de Vida para comparar los diferentes impactos ambientales que surgen de dos alternativas de consumo: venta a través de hostelería y venta en supermercados/tiendas propias.

De acuerdo a los resultados del estudio, para las condiciones evaluadas, se establece que el consumo a través de hostelería supone en torno a un 9% menos de impactos respecto a la otra alternativa estudiada.

Desde el punto de vista medioambiental, estos hallazgos invitan a establecer propuestas e iniciativas que encaminen el desarrollo del sector hacia este hábito de consumo con horizontes más sostenibles.

1. Introducción

1.1 Motivación

En los últimos años, temas como el cambio climático, el control de la contaminación y el desarrollo sostenible han cobrado gran relevancia en las políticas europeas y globales. El aumento de las temperaturas, el daño a la capa de ozono, la acidificación de los mares o la pérdida de terrenos fértiles para el cultivo son solo algunos de los impactos medioambientales originados por actividades humanas que no siguen un control adecuado de su sostenibilidad.

El cambio climático es la más mencionada de estas consecuencias a las que se enfrentan las generaciones actuales con el aumento de las temperaturas atmosféricas y de los océanos, lo que conlleva daños irreversibles en la biosfera a través del deshielo de los polos, subida del nivel del mar, cambios en las corrientes marinas, olas de calor extremas y diferentes variaciones en los patrones atmosféricos. La aparición de sequías, fuertes precipitaciones, inundaciones, etc. más frecuentes y extremas implica la destrucción de ecosistemas y la disminución de la calidad de vida humana incluso en comunidades vulnerables que históricamente han contribuido menos al cambio climático[1].

Una de las herramientas más habituales para medir la contaminación es el cálculo de la Huella de Carbono. Esta es un indicador ambiental que expresa la cantidad de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) que están asociadas al ciclo de vida de un producto, de un servicio o de la actividad de una empresa, y que contribuyen al calentamiento global como categoría de impacto ambiental[2]. Cuando hablamos de GEI nos referimos al concepto CO₂ equivalente (CO₂eq), que engloba a los seis gases de efecto invernadero recogidos en el Protocolo de Kioto: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido de nitrógeno (N₂O), hidrofluorocarburos (HFC), perfluorocarburos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF₆). La determinación de la huella de carbono permite identificar oportunidades de ahorro energético y económico, consecuencia de un mejor conocimiento de las fuentes emisoras y las posibilidades de reducción de emisiones.

En recientes informes del IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) como su Sexto Informe de Evaluación (AR6) publicado el 9 de agosto de 2021 y su Informe de Síntesis publicado el 20 de marzo de 2023[1] se establece que: Las actividades humanas, principalmente a través de las emisiones de gases de efecto invernadero, han causado inequívocamente el calentamiento global, con la temperatura superficial global alcanzando 1.1°C por encima de los niveles de 1850-1900 en el período 2011-2020.

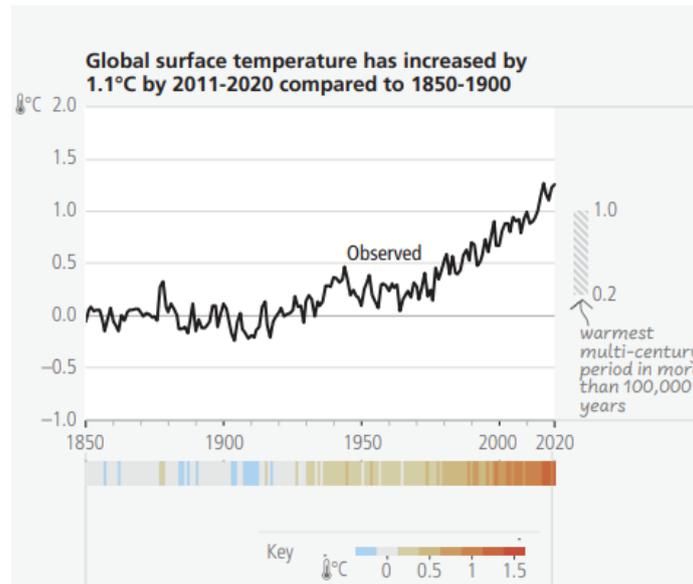


Figura 1. Mediciones de la temperatura superficial global a partir del año 1850. [1]

Las emisiones globales de gases de efecto invernadero han continuado aumentando entre 2010 y 2019 (Figura 2), derivadas del uso insostenible de la energía, el uso irresponsable de la tierra, los cambios en la utilización de la misma, los estilos de vida y los patrones de consumo y producción. El cambio climático causado por el ser humano ya está afectando muchos extremos meteorológicos y climáticos en todas las regiones del mundo. Esto ha llevado a impactos adversos generalizados en la seguridad alimentaria y del agua, la salud humana, las economías y la sociedad, así como a pérdidas y daños relacionados para la naturaleza y las personas.

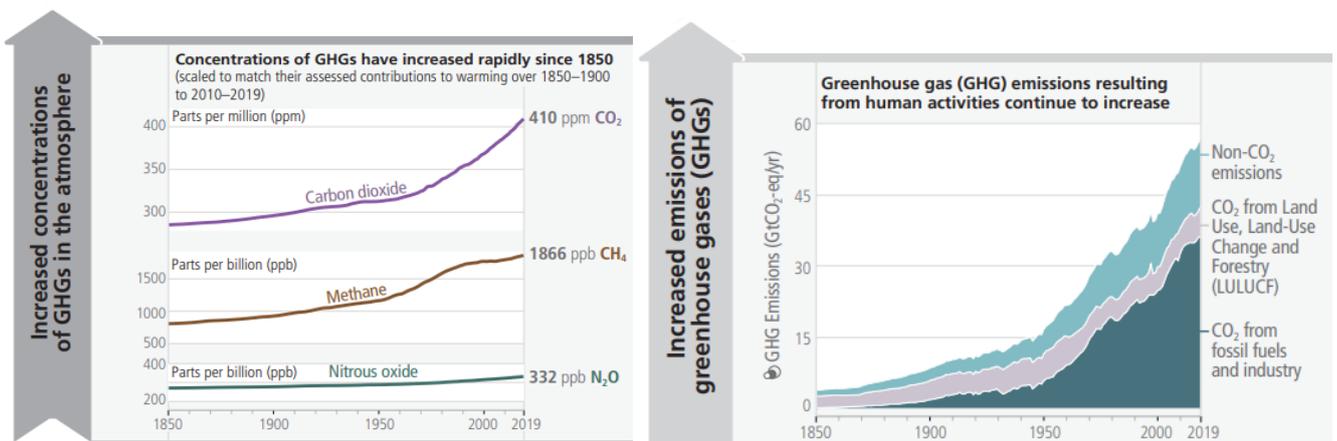


Figura 2. Cambios en la concentración de contaminantes y aumento de las emisiones de GEIs a partir de 1850. [1]

Según los informes mencionados, los sumideros de CO₂ existentes no son capaces actualmente de reducir la acumulación de CO₂ de la atmósfera y de no reducirse las emisiones de CO₂ y otros gases de efecto invernadero, el calentamiento global se situaría entre 1,5°C - 2°C durante el siglo XXI. En la figura 3 podemos ver la distribución de la emisión de GEIs dependiendo de cada sector.

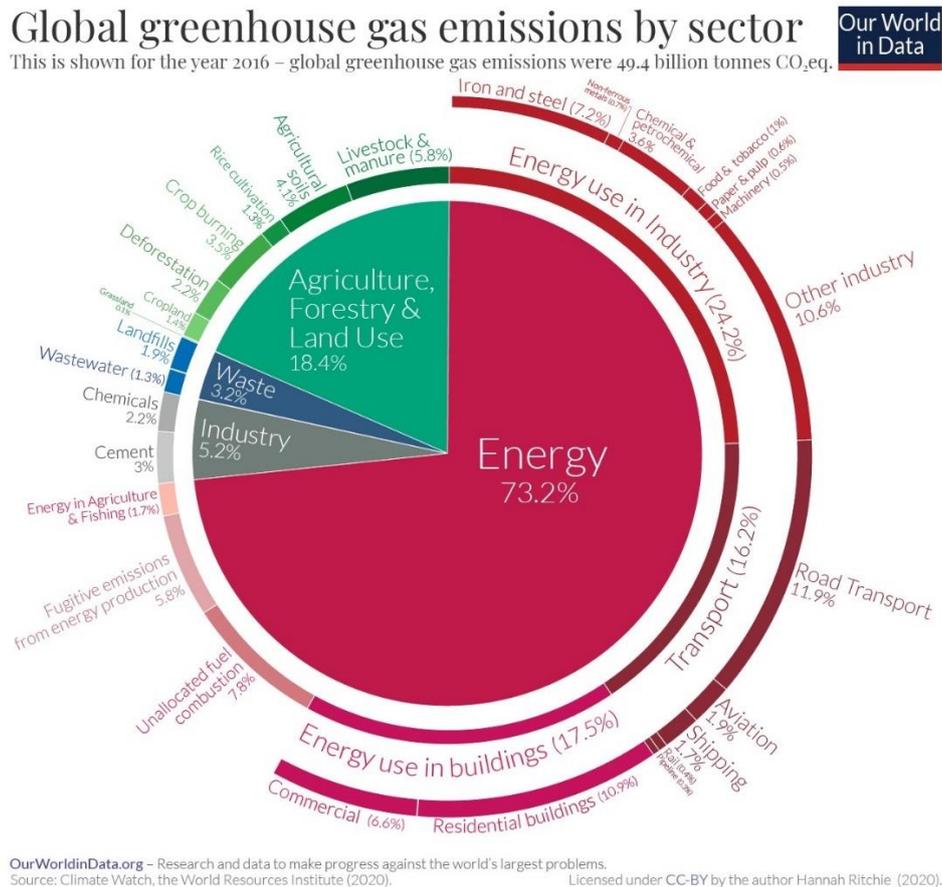


Figura 3. Distribución de emisiones de efecto invernadero por sectores.[3]

Cada día son más las empresas y organismos públicos a nivel nacional e internacional que miden su huella de carbono, es decir que cuantifican las emisiones de GEIs que se generan a lo largo del ciclo de vida de sus productos. El cálculo de la huella de carbono permite a las empresas identificar y reducir sus costes energéticos y diferenciar sus productos para acceder a mercados que exigen con cada vez más frecuencia información de huella de carbono. Las grandes cadenas de distribución de todo el mundo son cada vez más activas en estos requisitos

Pero no todos los impactos medioambientales producidos por la actividad humana consisten en gases de efecto invernadero. Y la huella de carbono no es el único indicador utilizado para la identificación de esos impactos, su valoración e interpretación.

Además de los GEIs producidos durante el ciclo de vida de los procesos hay muchos otros efectos y alteraciones medioambientales que se muestran relevantes para ser analizados. La contaminación de las aguas, el agotamiento de recursos naturales (agua, metales y combustibles fósiles) y la alteración de los ecosistemas pueden sufrir efectos que van más allá de los causados por los seis tipos de gases de efecto invernadero y por el calentamiento global.

Es por ello que la identificación de la huella de carbono no es la única herramienta empleada por las empresas y entidades preocupadas por la sostenibilidad. Una de estas metodologías es el Análisis de Ciclo de Vida (ACV o *LCA* en inglés). El ACV se utiliza para evaluar los impactos ambientales asociados con todas las etapas de la vida de un producto, desde la extracción de materias primas, pasando por la producción y uso, hasta su disposición final[4]. Este análisis considera aspectos como el consumo de energía, la emisión de contaminantes y la generación de residuos. Durante la aplicación de este método se identifican oportunidades para mejorar el desempeño ambiental y apoyar la toma de decisiones informadas. En el desarrollo de esta memoria (apartado 3) se explica más en profundidad en que consiste esta metodología, cómo desarrollarla y cuáles son las instituciones que la regulan, certifican y promueven.

Así pues, el esfuerzo internacional de la última década se ve representado a través de cumbres como el reciente COP28 en Dubái o el COP21, que llevó a la consecución del Acuerdo de París en 2015. También el establecimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible por parte de los estados miembros de la ONU son algunas de las iniciativas actuales para disminuir el impacto del desarrollo de las actividades humanas en el planeta y guiar la industria y el progreso de los países hacia horizontes más sostenibles y respetuosos con el medio ambiente [5][6].

Un concepto interesante que surge de estos estudios e iniciativas es el de "límites planetarios" (*planetary boundaries*). Estos límites son un concepto desarrollado por un grupo de científicos liderado por Johan Rockström en 2009 para identificar los umbrales críticos dentro de los cuales la humanidad puede operar de manera segura sin causar cambios ambientales peligrosos que amenacen la estabilidad del sistema terrestre[7]. Estos límites representan los niveles dentro de los cuales el sistema climático de la Tierra, la biodiversidad y otros procesos clave pueden mantenerse en un estado estable y predecible y superarlos podría llevar a cambios ambientales drásticos y potencialmente irreversibles. Los nueve límites planetarios son el cambio climático, la pérdida de biodiversidad, la alteración de los ciclos biogeoquímicos (nitrógeno y fósforo), el uso de agua dulce, el cambio en el uso de la tierra, la acidificación de los océanos, los aerosoles atmosféricos, la contaminación química y los flujos de aerosoles y nubes. En la figura 4 se ven representados estos límites y su evolución a lo largo de los últimos años.

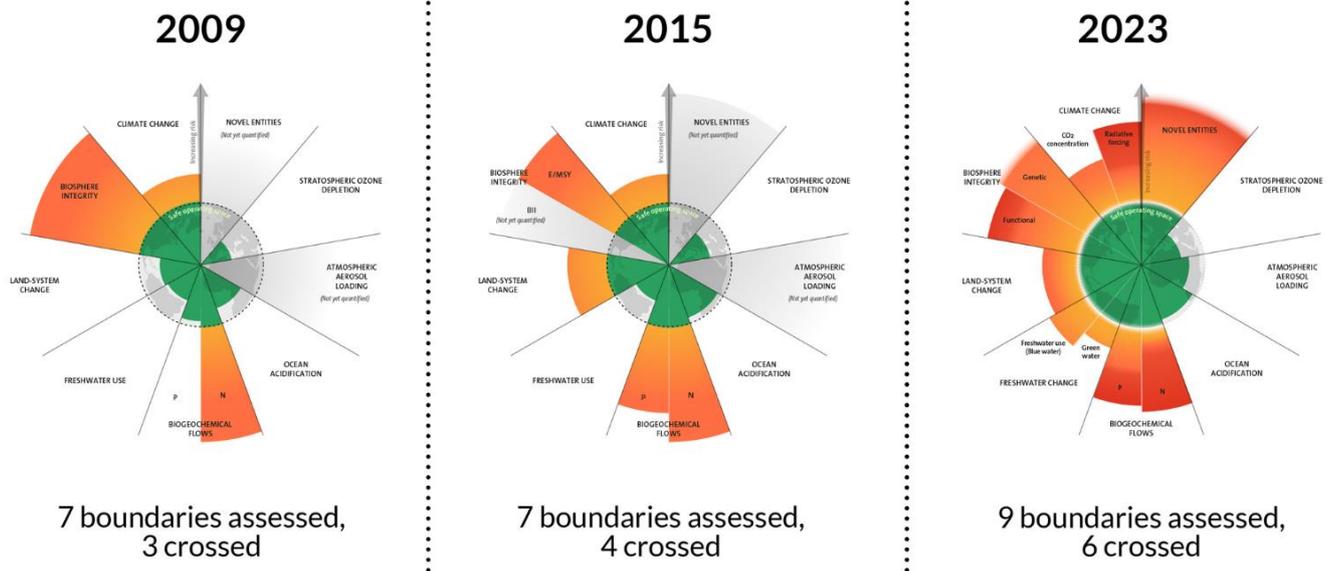


Figura 4. Límites planetarios y su evolución desde 2009 hasta la actualidad.[8]

En materia nacional y para ajustarse a las directrices propuestas desde la Unión Europea el Gobierno de España desarrolla el marco de la política energética y climática para dar una respuesta internacional y coordinada al reto de la crisis climática. Estas iniciativas se recogen en el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030 [9] cuyo objetivo es facilitar y actualizar el cumplimiento de los principales objetivos vinculantes para la UE en 2030 y que se resumen en:

- 40% de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) respecto a 1990.
- 32% de renovables sobre el consumo total de energía final bruta.
- 32,5% de mejora de la eficiencia energética.
- 15% interconexión eléctrica de los Estados miembros.

El objetivo a largo plazo que guía la preparación del Plan es convertir a España en un país neutro en carbono en 2050 y llevar a cabo iniciativas que promuevan un desarrollo sostenible del país.

El PNIEC se sirve de diferentes instrumentos de planificación más específicos como el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC), el Plan Nacional de Acción de Eficiencia Energética (PNAEE) o el Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos (PEMAR). Estos desarrollan un amplio rango de acciones para intentar reducir el impacto medioambiental de los proyectos llevados a cabo por las instituciones públicas y por todos los sectores productivos del país.

Por ejemplo, en la industria alimentaria y de bebida también se establecen medidas contra el cambio climático y otros impactos, como puede ser reducir la huella de carbono de productos y actividades, aplicar planes de eficiencia energética y adaptarse a las energías renovables.

Según establece la ONU [10], los sistemas de producción, envasado y distribución de alimentos generan un tercio de las emisiones de gases de efecto invernadero y causan hasta el 80 % de la pérdida de biodiversidad. Si no se interviene, es probable que las emisiones del sistema alimentario aumenten hasta un 40 % para 2050, dada la creciente demanda de la población, los mayores ingresos y los cambios en la dieta. El sistema alimentario representa actualmente alrededor del 30 % del consumo total de energía en el mundo, la mayor parte de la cual se produce con combustibles fósiles que generan emisiones. Estas iniciativas se exponen en el punto 12 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible y tienen como finalidad garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles. Dentro de este objetivo, uno de los aspectos clave es la reducción de los residuos y el fomento de la gestión sostenible de los recursos, lo cual incluye el manejo de envases y empaques.

Para promover la utilización sostenible de envases, alimentos y otros productos empresas como la Fundación Ellen MacArthur trabajan concienciando a la población a través de propuestas como la utilización del diagrama mariposa que se muestra en la figura 5. La Fundación Ellen MacArthur es una organización que promueve la transición hacia una economía circular, donde se prioriza la reducción de residuos y la optimización del uso de los recursos. La mariposa visualiza cómo los materiales y productos pueden ser mantenidos en uso y valor durante el mayor tiempo posible, en contraste con el modelo lineal de "tomar, hacer, desechar".

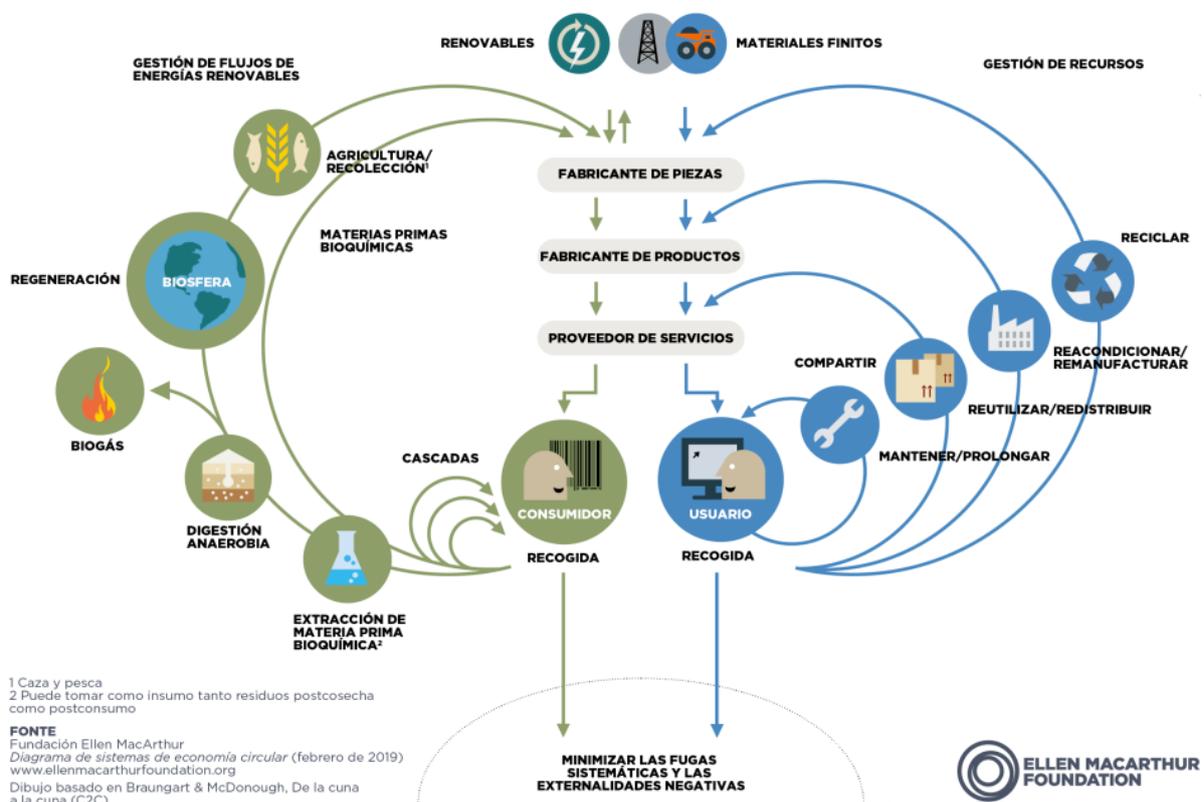


Figura 5. Diagrama de mariposa para la visualización de una economía circular.[11]

En la región del Principado de Asturias, uno de los sectores económicos y agroalimentarios más importantes es el sector de la sidra. Es por ello que los esfuerzos dedicados a implementar estrategias de sostenibilidad en este campo conllevan una gran relevancia en la región. En la figura 6 se muestra como el cultivo de la manzana se extiende por prácticamente toda la comunidad siendo más destacado en concejos como los de Villaviciosa, Gijón, Siero y Mieres.

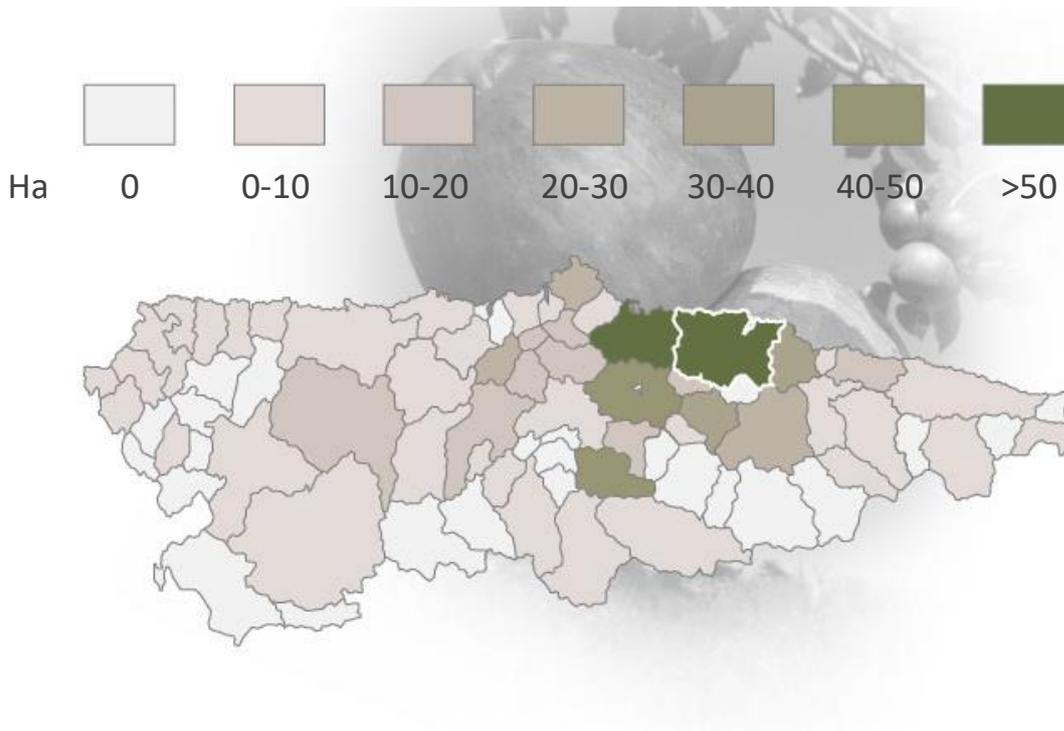


Figura 6. Distribución por concejo de superficie (Ha) de manzano adscrita a la DOP Sidra de Asturias.[12]

Este sector en la región no sólo está enfocado a la producción de manzana si no al ciclo de vida completo de la producción de sidra, partiendo del cultivo, pero continuando con otros procesos como la propia elaboración de la bebida, su distribución y venta, e incluso la gestión de los residuos y subproductos provenientes de las diferentes fases del ciclo. Es por todo ello que el análisis de los impactos ambientales que genera dicho sector cobra gran trascendencia, para así tratar de poner medios y elaborar iniciativas que permitan reducirlos o incluso eliminarlos. De esta manera se consigue por tanto ayudar al medioambiente, los recursos y a la población de la región.

1.2 Objetivo

El objetivo del presente trabajo es el análisis del ciclo de vida (ACV) completo de la elaboración de la sidra natural asturiana, identificando, evaluando e interpretando el origen de los impactos ambientales más relevantes del mismo.

El análisis se realiza para dos alternativas diferentes de consumo de la sidra natural en Asturias. Por un lado, se elabora el ACV para la alternativa de venta y consumo a través de supermercados, tiendas propias y otros establecimientos de venta minorista. Por el otro, se efectúa este análisis desde el punto de vista del consumo de sidra natural en sidrerías y otros establecimientos hosteleros. Aunque ambos ciclos de vida comparten muchas fases y procesos, se diferencian principalmente en la gestión final de los residuos tras el consumo y en su manera de cerrar el ciclo de elementos como la botella de vidrio.

Así pues, el proyecto sirve para analizar la distribución final de los impactos medioambientales para ambos ciclos de vida y así poder establecer cuál de ellos es más sostenible y cuáles son los procesos y factores que le llevan a serlo.

Además, la elaboración del análisis sirve para evaluar todas las fases de producción de sidra. Desde el cultivo de la manzana, el transporte de esta a los centros de producción, la elaboración de la bebida, su distribución, consumo y finalmente, la gestión del fin de vida del producto. Esto permite identificar que elementos tienen una mayor relevancia en los impactos, los compuestos químicos que generan mayores emisiones o las fases de la producción con mayor peso medioambiental relativo del ciclo de vida.

Por último, el trabajo también busca encontrar los puntos clave que permitan proponer iniciativas y actuaciones eficaces en la región asturiana que permitan desarrollar este sector de la manera más óptima y sostenible posible.

1.3 Estructura de la memoria

La presente memoria se dividirá en 6 apartados diferentes. Comenzando por la introducción de este capítulo, en la cual se destaca la relevancia del control de la contaminación, la sostenibilidad en el desarrollo de procesos productivos y la reducción de los impactos medioambientales en el mundo actual. Así como la importancia de la producción y consumo de sidra en el entorno socio-económico asturiano y la motivación para centrar en esta temática los esfuerzos del presente trabajo identificando los diferentes elementos presentes a lo largo de todo el ciclo de vida de esta elaboración.

A continuación, el segundo capítulo detallará las diferentes fases del ciclo de vida de la sidra, desde el cultivo de la manzana, su transporte a los lagares, producción de las botellas de sidra, su distribución a los puntos de consumo y finalmente el cierre de este ciclo con la reutilización de las botellas de vidrio (si la sidra se consume en sidrería) o su reciclaje a través de los contenedores habituales si la sidra llega al consumidor a través de la venta directa en supermercados y tiendas minoristas.

También se mencionará el valor que tiene un lagar o lllagar tradicional asturiano no solo en la producción de la propia bebida sino cómo un elemento clave en el enriquecimiento de la experiencia del consumo de sidra y su valor como elemento dinamizador de la economía y cultura asturianas.

Además, se detallará la función y el peso de la Denominación de Origen Protegida (D.O.P.) “Sidra de Asturias” en el tejido empresarial y agroalimentario en la región, el alcance del Consejo Regulador como organismo oficial autorizado para certificar la pertenencia de una sidra a esta D.O.P. y cuáles son las características y las variedades más destacadas de manzanas y la distribución de las diferentes “versiones” de sidra que se pueden elaborar.

El tercer apartado servirá para introducir el concepto completo de Análisis de Ciclo de Vida (ACV), cuál es su estructura y finalidad. También se comentará cómo se determina su alcance, el concepto de unidad funcional, el inventario y cuáles son los diferentes *softwares* y elementos utilizados para desarrollar el mismo.

Una vez establecido el cometido de un ACV estándar, en el cuarto capítulo se procede a presentar los cálculos y tablas obtenidos para la elaboración propiamente dicha del presente trabajo. Como se ha mencionado, por un lado, se muestra el ACV de la sidra consumida en sidrerías, con la correspondiente reutilización de las botellas de vidrio, mientras que por otro veremos el ACV de la sidra distribuida a supermercados donde el vidrio termina en su mayoría reciclándose.

En el quinto capítulo se interpretan los datos obtenidos a través de la comparación directa entre ambos ACVs, las ventajas y desventajas que presentan uno frente al otro y cómo los impactos en el medioambiente varían de forma significativa al elegir entre ambas alternativas.

Finalmente, en el sexto y último apartado se presentan las conclusiones de este trabajo, la relevancia de los datos obtenidos y se proponen las alternativas de consumo más favorables para una disminución de los impactos medioambientales en el ciclo de producción y consumo de la sidra natural asturiana.

2. Sector Industrial de la Sidra

2.1 Introducción

La sidra es una bebida alcohólica fabricada con el jugo fermentado de la manzana o de la pera de baja graduación que varía entre el 2 % y el 8 % en volumen. En la región de Asturias, y también en otras del norte de España como Galicia y el País Vasco, la sidra ocupa un lugar central en la cultura y la tradición. Se cree que la producción de sidra en Asturias se remonta a tiempos incluso anteriores al imperio romano, aunque la documentación escrita sobre este aspecto de la historia es limitada antes del siglo XVIII.

El proceso de producción de la sidra es desarrollado en el llagar o lagar. Este lugar suele estar equipado con maquinaria especializada para la trituración y prensado de las manzanas, así como con tanques de fermentación y equipo de embotellado. Además, los llagares suelen tener una tradición cultural y social importante, ya que la sidra es una bebida muy arraigada en ciertas regiones y suele asociarse con celebraciones y eventos sociales. Muchos llagares ofrecen también visitas guiadas donde se explica el proceso de elaboración de la sidra y se ofrecen degustaciones de diferentes variedades. Esta circunstancia es clave para el desarrollo del presente trabajo porque establece una diferencia marcada con respecto a otras bebidas fermentadas como el vino o la cerveza. Un alto porcentaje (en torno al 82%)[13] de la sidra en Asturias se consume en los lagares, sidrerías o en establecimientos donde se sirve la propia sidra y se guarda la botella para su reutilización, mientras que en general el vino y la cerveza se venden en su mayoría en supermercados o en bares donde la reutilización de los envases se torna más complicada, llegando en el mejor de los casos a reciclarse la mayoría de este vidrio pero, debiendo nuevamente pasar por todo el proceso de producción de la botella.



Figura 7. Fotografía de un llagar tradicional asturiano.[14]

2.2 Variedades de sidra

En el mercado podemos encontrar diversos tipos de sidra:

Sidra natural

Este tipo de sidra es la más conocida, no cuenta con filtrado, principalmente se consume en sidrerías y necesita ser escanciada[15]. El escanciado es una técnica que consiste en adoptar una postura recta sosteniendo la botella alta sobre la cabeza y el vaso inclinado debajo de la cintura, en el centro del cuerpo, de forma que el chorro de sidra debe ser recto y caer en el borde del vaso, este proceso sirve para despertar el carbónico, alcanzar la frescura de su sabor y elevar al máximo exponente las cualidades organolépticas de esta bebida[16]. En la elaboración de este trabajo nos centraremos únicamente en esta variedad de sidra cuyo proceso productivo se detalla en el apartado 2.4.

Sidra gasificada, espumosa o achampanada

Se elabora a partir de mosto fresco. Normalmente es carbonatada y al final de la carbonatación se le pueden añadir azúcares. A diferencia de ésta, la sidra natural sólo se elabora con mosto fresco de manzana y en ningún momento del proceso se le puede añadir carbónico ni azúcares. Comparte todos los procesos de producción de la sidra natural y además posee algunos adicionales en los que se realiza una segunda fermentación utilizando lo que se denomina licor de expedición o de tiraje: una solución con levaduras y azúcares que se introduce para proporcionar a la sidra gasificada las cualidades organolépticas típicas de cada bodega elaboradora[17]. Antes de proceder a la carbonatación es necesaria la refrigeración de la sidra, para conseguir una adecuada absorción del carbónico. El cristal con que están fabricadas las botellas de sidra gasificada es mucho más grueso que el empleado para sidra natural debido a la presión que tienen que resistir. Una de las versiones más habituales de sidra espumosa es la "brut nature" o "brut", que quiere decir que tienen nada o poco azúcar añadido.

Sidra natural filtrada

También llamada "de mesa" o "de nueva expresión", es una variedad de sidra que se elabora mediante métodos más modernos y controlados en comparación con la sidra tradicional[15]. Al no tener "madre" (poso), y poseer un sabor más fresco y afrutado que la tradicional, se acerca a lo que se puede entender como una versión de consumo de la sidra más similar al vino, antes o durante las comidas. Más accesible al público en general, incluidos aquellos que no están acostumbrados a la sidra tradicional más seca y ácida.

Sidra de hielo

Originaria de la región de Quebec en Canadá es una variedad de sidra cada vez más relevante que se puede elaborar a partir de la fermentación del jugo de manzanas que han sido sometidas a un proceso de congelación. Este proceso concentra los azúcares y sabores de la fruta, resultando en una sidra dulce y de alta graduación alcohólica[18]. Se suele utilizar como una bebida de postre al final de las comidas debido al punto de equilibrio entre el dulzor del azúcar y la acidez de la sidra.

2.3 D.O.P. y producción en el Principado de Asturias[19]

La Denominación de Origen Protegida (D.O.P.) es una certificación otorgada a productos agroalimentarios y vitivinícolas que se producen, elaboran y procesan en una región geográfica específica, utilizando conocimientos técnicos y métodos tradicionales propios de esa área. Esta certificación asegura la calidad y autenticidad del producto, garantizando que sus características y reputación se deben esencialmente al medio geográfico en el que se produce, incluyendo factores naturales y humanos.

En el Reglamento (CE) 1151/2012 del Parlamento Europeo y del Consejo [20], de 21 de noviembre de 2012, sobre los regímenes de calidad de los productos agrícolas y alimenticios, se define como: Un nombre que identifica un producto:

- Originario de un lugar determinado, una región o, excepcionalmente, un país.
- Cuya calidad o características se deben fundamental o exclusivamente a un medio geográfico particular, con los factores naturales y humanos inherentes a él.
- Cuyas fases de producción tengan lugar en su totalidad en la zona geográfica definida.

El Consejo Regulador es el organismo oficial autorizado para certificar que una sidra se califique como Denominación de Origen Protegida «Sidra de Asturias»[21]. Las funciones que cumple el Consejo Regulador se pueden resumir en tres áreas fundamentales:

- Control y Certificación.
- Defensa de la marca.
- Promoción.

La zona de producción de manzana y elaboración de los productos amparados por la D.O.P. Sidra de Asturias corresponde a la totalidad de los municipios del Principado de Asturias. Las plantaciones de manzano y los lagares se encuentran distribuidos en distintas zonas de la región amparada, abarcando la totalidad del territorio. La superficie de cultivo, el número de parcelas y de productores ha ido aumentando gradualmente durante la última década (Figura 8) teniendo adscritas a la DOP Sidra de Asturias a fecha de 31 de diciembre de 2023 unas 970,5 Hectáreas que se distribuyen en un total de 853 parcelas registradas por 380 productores.[13]

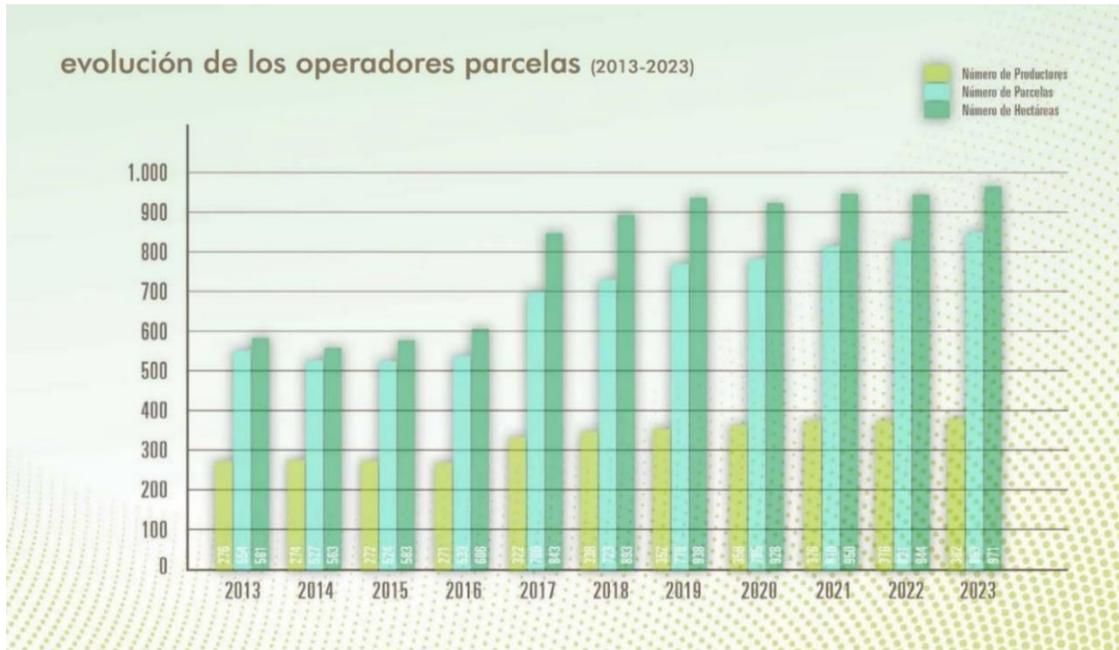


Figura 8. Evolución de productores, parcelas y hectáreas de la D.O.P sidra de Asturias en la última década.[13]

Para esa misma fecha de finales de 2023 se encontraban inscritos en el Registro de Lagares un total de 31 operadores que elaboran alguno de los productos que se amparan a través de la DOP Sidra de Asturias, Sidra Natural y Sidra Natural Espumosa.

La distribución geográfica de los lagares inscritos en los registros de la DOP coincide con el de la mayoría de las industrias productoras de Sidra Natural y Sidra en Asturias, situándose en las denominadas "comarcas sidreras" (Figura 9).

Además, como se muestra en la figura 10 estos centros productivos se encuentran también formando parte o muy cercanos a las zonas de mayor densidad de población en el territorio asturiano.

Asturias sigue siendo el principal productor de sidra, copando el 80% de la producción nacional. La producción de sidra D.O.P oscila cada año entre los 2,5 millones de litros y los 6 millones. En concreto en el año 2023 la producción de manzana fue de 7.122.309 Kg lo que terminó generando unos 5.198.309 litros de sidra[13]. La figura 11 muestra la diferencia en ventas que existe entre la sidra natural que se consume preferiblemente en Asturias (95%) y la espumosa que tiene un mayor índice de exportación tanto al resto de España como a los más de 50 países donde se consume.

En la figura 12 se recogen las variedades de sidra producidas bajo la etiqueta de D.O.P. en el año 2023, que suman un total de 60.



Figura 9. Mapa de distribución de los lagares adscritos a la D.O.P. Sidra de Asturias.[13]

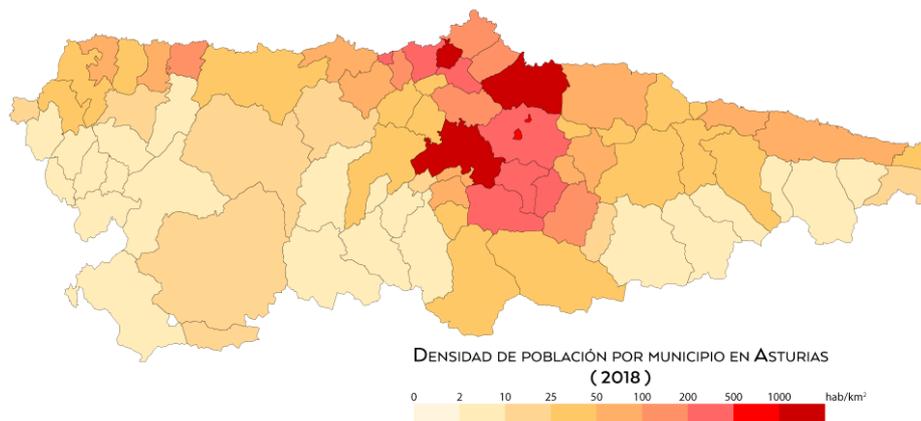


Figura 10. Mapa de densidad de población del Principado de Asturias en 2018.[22]

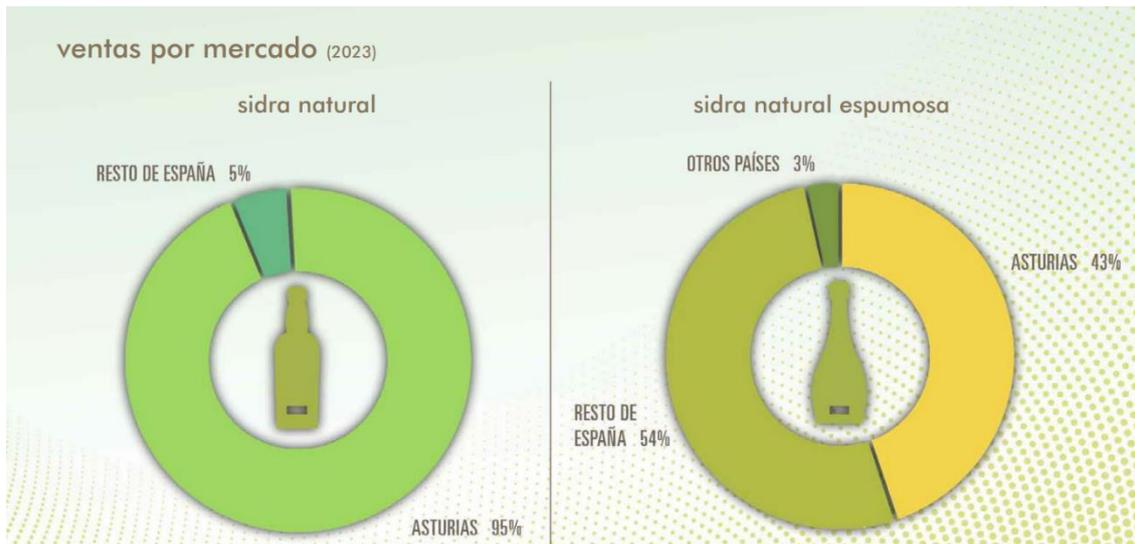


Figura 11. Diagrama de distribución de ventas por mercado para la D.O.P. Sidra de Asturias en 2023. [13]



VARIETADES DE SIDRA DE LA DOP

SIDRA DE ASTURIAS
DENOMINACIÓN DE ORIGEN PROTEGIDA

SIDRA D'ASTURIÉS
DENOMINACIÓN DE ORIGEN PROTEGIDA

Dentro de la D.O.P. Sidra de Asturias nos encontramos con tres productos: Sidra Natural Tradicional, Sidra Natural Filtrada y Sidra Natural Espumosa. Todas ellas elaboradas a partir del mosto fermentado de las variedades de manzana asturiana reconocidas por el Consejo Regulador de la D.O.P. Sidra de Asturias.

SIDRA NATURAL TRADICIONAL
Regulatore escudado y genera un sedimento natural conocido como "mosa".
COLOR: amarillo pálido con ligeros tonos verdosos y dorados.
AROMA: limpio y con débiles notas de manzana.
SABOR: intenso y refrescante, estruendo que llena a sabores amargos persistentes y equilibrados.
MARIDAJE: quesos grasos, stau, embucos, pollo.

SIDRA NATURAL FILTRADA
Filtrada y estabilizada.
COLOR: amarillo alineado con un tono verdeado y brillante con micro burbujas.
AROMA: de mediana intensidad frutal, vegetal y floral, notas a manzana y albaricoque.
SABOR: suave y fresca sidra con un persistente retrogusto amargo.
MARIDAJE: carnes, embucos, pescados frescos y carnes curadas.

SIDRA NATURAL ESPUMOSA
Su gas endógeno proviene de la fermentación natural del mosto, en botella mediante el método tradicional a base de depósito inmaturo garrapi. En el método tradicional, más artesanal, se considera a cada botella como un depósito individual.
COLOR: amarillo pálido con lenta formación de fines burbujas de entada y finas.
AROMA: medio intensidad, delicado fruta, leve notas de manzana.
SABOR: seco y refrescante, excelente equilibrio entre acidez, alcohol y cuerpo.
MARIDAJE: todo tipo de aperitivos y postres.

TIENDA ONLINE
<https://sidraasturias.es/>
compra-sidra-asturiana

Figura 12. Variedades de sidra asturiana bajo D.O.P en el año 2023.[13]

2.4 Ciclo de vida de la sidra natural

A continuación, se detalla el ciclo de vida de la sidra natural asturiana, desde el cultivo de la principal materia prima (la manzana) hasta el cierre de ciclo con la gestión de sus residuos tras el consumo, el lavado de reutilización de las botellas o en su defecto el reciclado del vidrio utilizado.

2.4.1 Cultivo y recolección

El primer paso del proceso es el cultivo de las variedades de manzana utilizadas en la elaboración de la sidra. El Consejo Regulador DOP «Sidra de Asturias» tiene establecido un acuerdo de colaboración con el SERIDA (Servicio Regional de Investigación y Desarrollo Agroalimentario) que es el organismo de investigación del Principado de Asturias que se encarga de llevar a cabo los trabajos de investigación sobre caracterización, evaluación, selección y mejora de variedades locales de manzana de sidra, y ha llevado a cabo la solicitud del registro de variedades tradicionales y mejoradas de manzana de sidra[23]. Se calcula que hay más de 500 variedades de manzana cultivadas en Asturias de las cuales actualmente la D.O.P. tiene listadas más de 50 variedades según su clasificación tecnológica y que se ordenan en función de la acidez y de la concentración en compuestos fenólicos en nueve bloques tecnológicos: dulce, dulce-amargo, amargo, semiácido, semiácido-amargo, amargo-semiácido, ácido, ácido-amargo y amargo-ácido. En las figuras 13 y 14 podemos ver el porcentaje de las principales variedades destinadas a la elaboración de “Sidra de Asturias” y como se distribuyen las mismas según su acidez y propiedades.

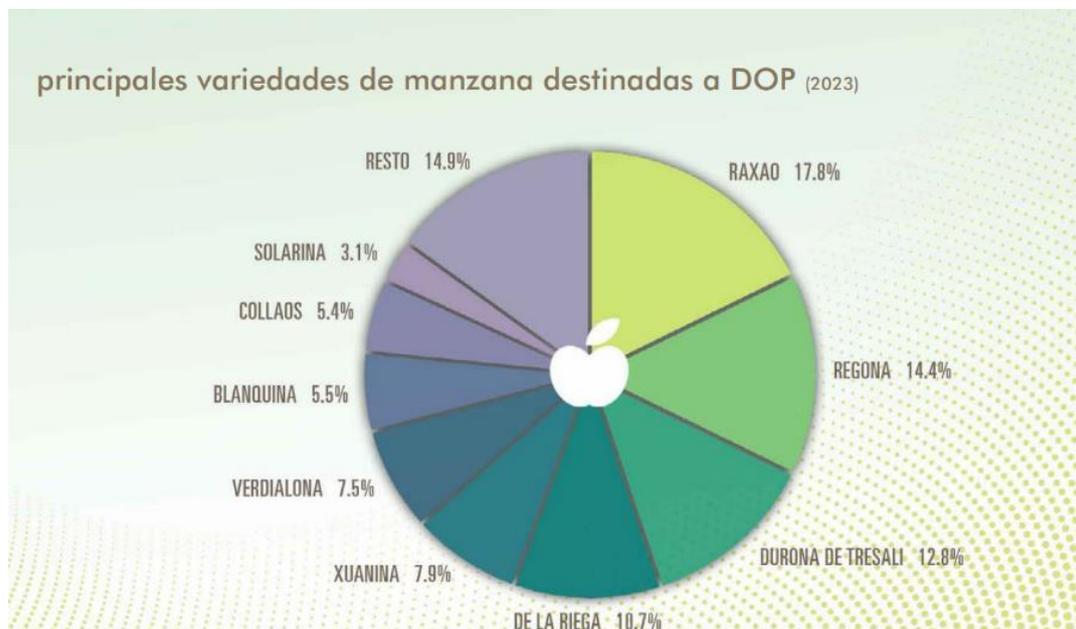


Figura 13. Diagrama de distribución del cultivo de las principales variedades de manzana asturiana.[13]

Variedades de manzana recomendadas por el SERIDA y acogidas a la DOP “Sidra de Asturias”, según grupo tecnológico y época de maduración

Grupo Tecnológico	Épocas de maduración		
	Octubre (2ª quincena)	Noviembre (1ª quincena)	Noviembre (2ª quincena)
Ácido	San Roqueña Blanquina Xuanina ¹	Raxao	Durona de Tresali Regona Limón Montés
Semiácido	Solariega De la Riega	Perico ²	Collaos
Dulce	Ernestina	Verdialona	
Amargo	Coloradona		
Amargo - ácido	Meana		

Figura 14. Variedades de manzana D.O.P. en Asturias según su clasificación tecnológica.[24]

El manzano de sidra se cultiva preferentemente en terrenos llanos o con una ligera pendiente orientada hacia el sur, protegiendo los árboles de los fríos vientos del norte. Además, se deben evitar las áreas donde se formen bolsas de aire frío, ya que estas pueden dificultar la polinización y la proliferación de nieblas que favorecen el aumento de hongos y dificultan el desarrollo adecuado del cultivo. La extensión media de una plantación es de 4 hectáreas. Sin embargo, para la D.O.P. la extensión más habitual suele ser de 2 hectáreas.

En cuanto al suelo, los más adecuados son los profundos y fértiles, con poco “riesgo de fatiga”. Es importante evitar tanto los suelos muy arenosos, que pueden causar mala nutrición y sequía, como los suelos muy compactos, que pueden retener exceso de humedad, provocando asfixia radicular y podredumbre en el cuello del árbol[25].

Para asegurar buenos crecimientos y producciones los árboles deben ser abonados todos los años. En el caso del estiércol, la aplicación debe realizarse en diciembre o enero, el compost entre enero y febrero, mientras otros abonos orgánicos más ricos en nitrógeno se aplicarán entre febrero y marzo. Los abonos químicos que contengan nitrógeno se aplicarán entre mayo y junio. La protección fitosanitaria de los mismos se suele realizar utilizando insecticidas en los meses de mayo y junio que evitan el agusanado de la manzana. Por último, el proceso de fertilización del suelo se suele realizar una vez al año en función de las necesidades del cultivo.

El desarrollo del manzano y sus frutos durante el año se distribuye de la siguiente manera: En primavera, a partir de mediados de abril, las variedades de manzano asturianas comienzan a florecer. Algunas variedades estarán en plena floración a finales de abril, extendiéndose hasta finales de mayo.

Durante este tiempo y a principios de verano, el manzano experimenta su desarrollo vegetativo, y se realiza el aclareo de flores y frutos para asegurar la calidad y regular las variedades con alternancia de cosechas. Asturias por su clima suave con lluvias suaves y regulares posee unas condiciones naturales ideales para el cultivo de manzanos de sidra de alta calidad, aunque las heladas y el clima inestable en primavera pueden afectar la fructificación.

Las manzanas se desarrollan en verano y maduran en otoño. La cosecha se lleva a cabo desde finales de septiembre hasta principios de diciembre, dependiendo de la variedad y el clima, recolectándose en un estado cercano a la maduración óptima para minimizar daños durante la manipulación. El trabajo de recolección se realiza en la gran mayoría de parcelas de forma manual para asegurar al máximo la calidad de la manzana y de la sidra elaborada a partir de estos frutos. Finalmente en invierno, se realiza una poda anual y se fertiliza si es requerido, proporcionando los nutrientes necesarios a los árboles[26].

Una vez se recolectan las manzanas, proceso al que también se le denomina apañar o pañar en asturiano, estas son transportadas hasta los lagares para su procesamiento y para el desarrollo del proceso propiamente dicho de producción de sidra.

2.4.2 Proceso Industrial[17][27][28][29]

Las etapas que se llevan a cabo en el proceso industrial son las siguientes:

2.4.2.1 Lavado, escogido y selección

A través de un lavado con agua a presión se eliminan los restos de tierra o suciedad de las manzanas y se desechan de manera manual aquellas que puedan contener impurezas o que no sean aptas para la producción de sidra. En este paso también se separan otros elementos del cultivo que se hayan podido recoger durante la cosecha pero que no sirvan para la producción de sidra (destrío). Las manzanas seleccionadas pasan a la siguiente fase del proceso mientras que el resto de material orgánico puede ser utilizado para otros fines como abono, alimentación animal o ser enviado a un vertedero para su incineración.

2.4.2.2 Triturado o molienda

Antes de someter a las manzanas a un prensado que extraiga todo el jugo o mosto las manzanas deben ser troceadas para optimizar el siguiente proceso. A esta etapa se le denomina “mayar la manzana” en Asturias y el origen de este nombre viene del “mayu”, un mazo de madera que era el que antiguamente se utilizaba para este propósito de romper y trocear las manzanas previamente a su prensado (Figura 15). Actualmente lo más común es utilizar molinos de acero inoxidable, aunque en algunos lagares más tradicionales este proceso se sigue realizando con instrumental de madera.



Figura 15. Molienda manual de manzana con mazos de madera.[30]

2.4.2.3 Prensado

A través de este procedimiento se extrae el primer mosto dulce de la manzana triturada en la etapa anterior, denominada “magaya”. El prensado se puede realizar con prensas muy diversas y de diferentes materiales como madera, hierro o acero inoxidable, en las figuras 16 y 17 podemos ver dos ejemplos. Estas prensas reciben el nombre de lagar y son las que aportan su denominación a todo el recinto donde se desarrolla la producción de sidra, de manera similar a como ocurre en el sector del aceite donde los trujales y almazaras, instrumentos donde se prensa la aceituna, dan el nombre al lugar completo donde se desarrolla la producción



Figura 16. Lagar tradicional asturiano (madera y hierro).[31]



Figura 17. Lagar moderno de acero inoxidable.[32]

2.4.2.4 Filtrado

A medida que el mosto se va extrayendo de las manzanas este se filtra para separarlo completamente de los restos sólidos de manzana que pudieran quedar en el líquido. Esto, además, permite que se pueda aprovechar todos los restos de magaya que normalmente son utilizados como fertilizante o para alimentación animal en las propias parcelas de ganaderos de la región, fomentando así la circularidad de los subproductos y aprovechando al máximo todo el material producido en los cultivos.

2.4.2.5 Fermentación

El mosto pasa a ser almacenado en bodega donde, a través de la acción de bacterias y levaduras, se produce gas carbónico y se transforma el mosto en sidra. Durante la fermentación se va produciendo una sedimentación natural de diferentes sólidos que se van depositando en el fondo del tanque, barril o barrica y que recibe el nombre de borra, la espuma que se solidifica junto a otros sólidos menos densos que flotan en la sidra forma el “sombrero” en la parte superior del recipiente. 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 12-14°C. Se diferencia en tres etapas[33]:

a. Tumultuosa

Comienza aproximadamente 2 días después de echar el mosto en el depósito y dura de 15 a 35 días. En este proceso la reacción consiste en que el azúcar se transforma en Alcohol y Carbónico. Existen tres fases en esta fermentación:

- Aceleración: Duración aproximada 5 días.
- Latencia: Duración aproximada 15 días.
- Decrecimiento: Surge después de 15 días.

En la fase de aceleración el mosto de los toneles empieza a borbotear de abajo a arriba, apreciándose un silbido característico con creación de burbujas de anhídrido carbónico que llegan hasta la superficie.

Durante esta fase y la de latencia, estas burbujas arrastran consigo las impurezas menos pesadas que contiene el mosto, así como alguno de sus componentes como son las materias pécticas o nitrogenadas, formando el mencionado sombrero en la superficie. Si la fermentación se está realizando correctamente el sombrero será de color pardo achocolatado, de bastante consistencia. Si el sombrero es de color blanco y sin consistencia, significará que está habiendo una deficiente fermentación y que el mosto está quedando sin clarificar, por lo que la sidra resultante será turbia y de mala conservación.

b. 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 *Saccharomyces*, 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. Maloláctica

Este tipo de fermentación comienza cuando se está finalizando la fermentación alcohólica y 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[34].

En la siguiente figura (Figura 18) se muestra de manera visual los cambios en la concentración de azúcares y alcoholes a lo largo las fermentaciones alcohólica y maloláctica.

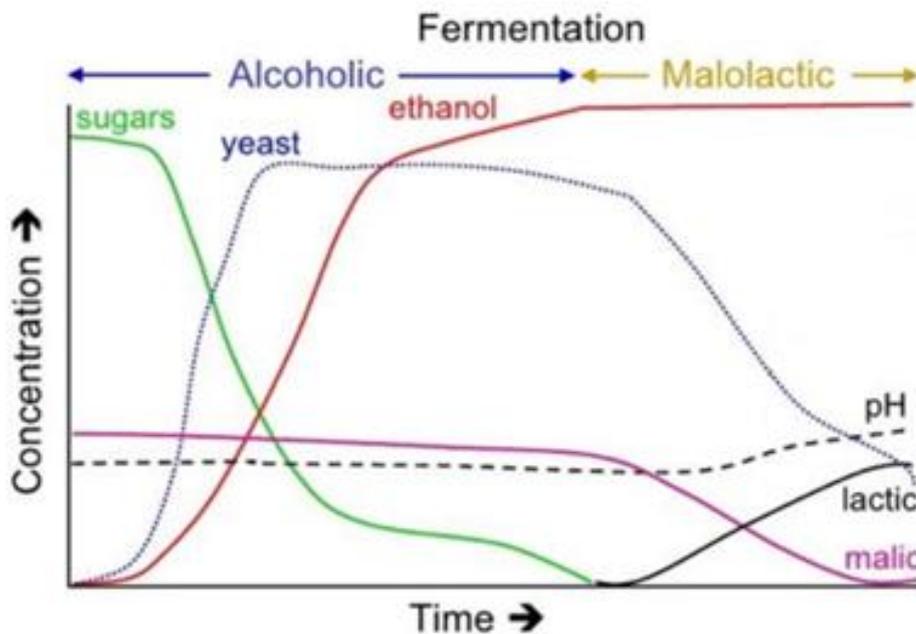


Figura 18. Variación de concentraciones de compuestos químicos durante la fermentación de sidra.[35]

2.4.2.6 Filtración y trasiego

Normalmente durante finales de enero o el mes de febrero se transfiere la sidra de unos recipientes a otros para uniformizarla, eliminar impurezas y deshacerse de las borras. Periódicamente se van controlando distintos parámetros, como la concentración de azúcares o el ácido málico, a fin de conocer la evolución de la fermentación.

2.4.2.7 Embotellado y etiquetado

Este es el último de los procesos propiamente dichos de producción de sidra y suele realizarse a partir de la primavera. Normalmente se inicia cuando la turbidez es la correcta y la bebida tiene una densidad inferior a 1000 g/L. En este punto termina la producción de sidra natural, en el caso de la producción de sidra achampanada se realizaría una carbonatación, es decir, añadir CO₂ para la producción de burbujas. Y un trasiego en el cual se añadirían aditivos (licor de expedición) para llevar a cabo una nueva fermentación.

Tras terminar todos los procesos de fermentación, asegurando que todos los parámetros de la sidra son los correctos y evitando el contacto del líquido con el aire se procede a embotellar la sidra y etiquetarla. Normalmente durante el embotellado se añade ácido ascórbico y/o metabisulfito potásico que sirven como conservantes, antioxidantes y evitan que la sidra se pueda contaminar de bacterias y hongos.

Una vez embotellada la sidra se almacena o se empaqueta para su distribución hasta los puntos de venta y consumo.

Como resumen del proceso de elaboración de la sidra, se muestra en la figura 19.

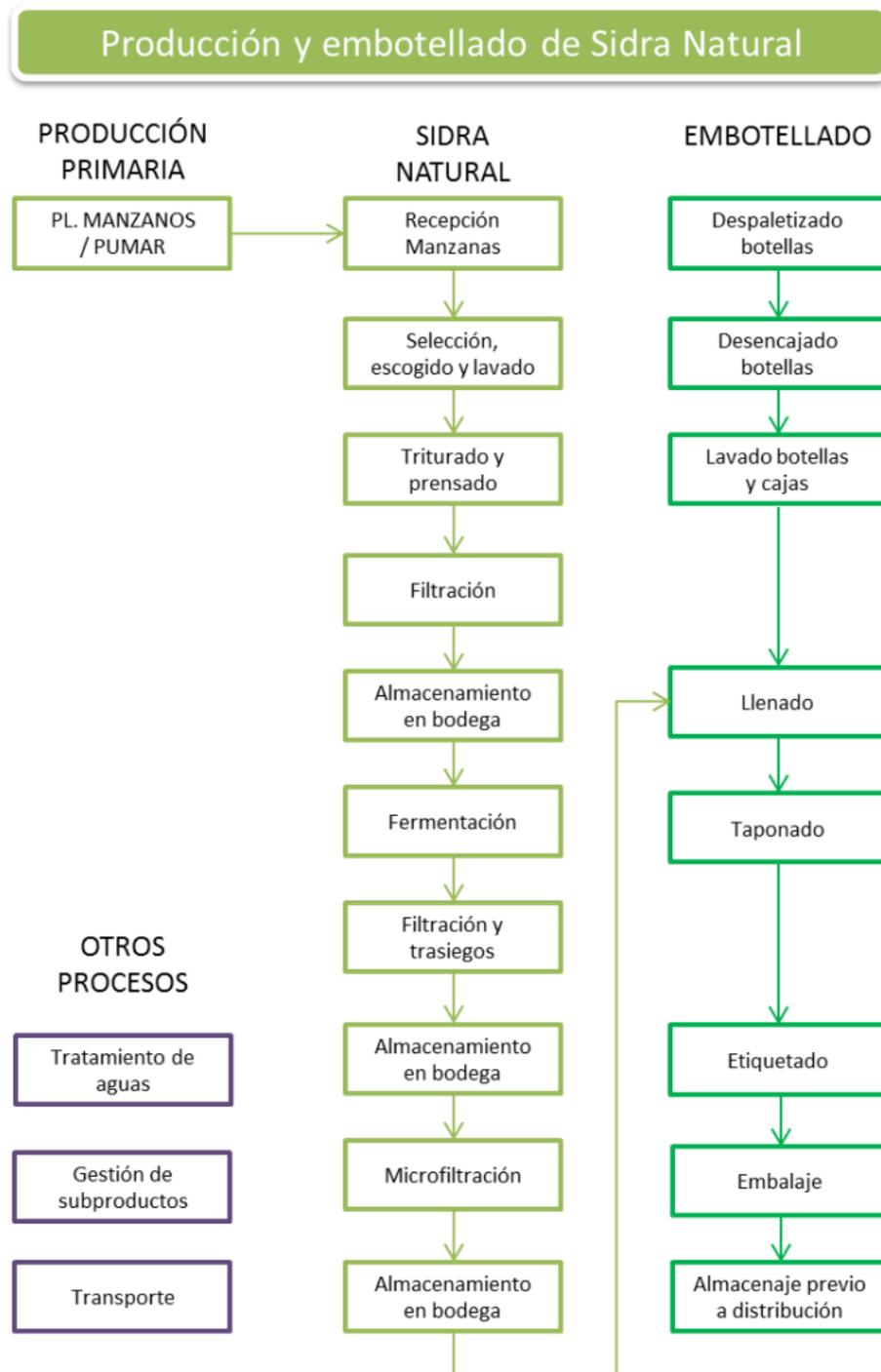


Figura 19. Proceso de obtención, elaboración y embotellado de la Sidra Natural.[17]

2.4.3 Distribución y Consumo

Tal y como se ha mencionado en la introducción de este apartado (punto 2.1) la mayor parte de la sidra natural se consume en sidrería y hostelería de la región (un 82% según los datos de la D.O.P. Sidra de Asturias para el año 2022).

La mayor parte de estos establecimientos se encuentran en la zona de mayor densidad poblacional de la región que aglutina las localidades de Gijón, Oviedo, Avilés y municipios cercanos. El 18% restante se vende a través de establecimientos minoristas en tiendas propias o supermercados que están diseminados por toda la región pero que, igualmente, suelen concentrarse en los municipios mencionados.

En el apartado 5 del análisis de ciclo de vida se profundizará en mayor medida en las diferencias de consumo entre ambos canales. Sin embargo, si es remarcable el diferente tratamiento que sufre el vidrio de las botellas tras el consumo y este será uno de los puntos a destacar en este trabajo cuando se comparen ambos análisis de ciclo de vida.



Figura 20. Distribución de las ventas por canal para la D.O.P. Sidra de Asturias en 2022.[36]

2.4.4 Cierre del ciclo y fin de vida

Una vez se ha consumido la sidra se procede a gestionar el procesamiento de los residuos generados que, básicamente, son el corcho de la botella y la propia botella de vidrio. El corcho generalmente se lleva a vertederos para su incineración aunque en los últimos años se están llevando a cabo nuevas iniciativas como el proyecto “Recorchu” realizada por la D.O.P. para transformar estos corchos en nuevos objetos y fomentar la economía circular[37].

Por otro lado, las botellas de vidrio que han sido utilizadas en hostelería son lavadas con agua a presión y se reutilizan de nuevo en el ciclo de producción de la sidra mientras que aquellas que se utilizan en la venta minorista en supermercados y otras tiendas suelen acabar siendo recicladas en el contenedor verde para productos de vidrio. Como se ha mencionado esta diferencia en el cierre del ciclo de vida será analizada y comparada en los apartados 4 y 5 del presente trabajo.

3. Metodología de Análisis de Ciclo de Vida

3.1 Introducción

La Organización Internacional de Normalización (ISO, por sus siglas en inglés, *International Organization for Standardization*) es una entidad independiente y no gubernamental que desarrolla y publica normas internacionales. Estas normas abordan una amplia variedad de temas, desde la tecnología y la seguridad de los productos hasta la gestión de calidad y la eficiencia de los procesos. Las normas ISO son diseñadas para asegurar que productos, servicios y sistemas sean seguros, fiables y de buena calidad.

Entre las funciones y beneficios de las normas ISO se incluye:

- Establecimiento de estándares internacionales: que promueven la interoperabilidad y compatibilidad de productos y servicios a nivel global.
- Mejora de la calidad: asegurando que los productos y servicios cumplan consistentemente con los requisitos del cliente y la reglamentación aplicable.
- Aumento de la eficiencia operativa: reduciendo desperdicios y riesgos
- Facilitación del comercio internacional: permitiendo a las empresas acceder a nuevos mercados y competir en igualdad de condiciones
- Protección del consumidor y del medio ambiente estableciendo requisitos para la seguridad de los productos y la sostenibilidad.

La norma que ISO que regula los Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es la ISO 14040. La metodología seguida en este trabajo, el orden de los apartados y su elaboración sigue el marco determinado por esta norma. La serie ISO 14040 se compone de varias partes que establecen los principios y el marco para realizar un análisis de ciclo de vida de productos y servicios. Las normas más relevantes en esta serie son:

- ISO 14040:2006 – Gestión ambiental - Análisis de ciclo de vida - Principios y marco.
- ISO 14044:2006 – Gestión ambiental - Análisis de ciclo de vida - Requisitos y directrices.

Según la norma ISO 14040 [38] el Análisis de Ciclo de Vida o ACV, es una herramienta o metodología para evaluar los impactos ambientales potenciales asociados con todas las etapas de la vida de un producto, proceso o servicio. Normalmente este análisis abarca desde la extracción de materias primas hasta su disposición final, pasando por la fabricación, distribución, uso y fin de vida. El ACV consta de las siguientes etapas (Figura 21):

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



Figura 21. Etapas del Análisis del Ciclo de Vida.[39]

Los objetivos más habituales del análisis de ciclo de vida abarcan los siguientes puntos:

- Desarrollo y mejora de producto (ecodiseño)
- Planificación estratégica
- Políticas públicas
- Marketing (ecoetiquetas)
- Otros

En el caso de este trabajo se pueden incluir varias de ellas ya que como se ha comentado el objetivo es entender las ventajas y desventajas de dos alternativas de consumo de la sidra natural para, con esta información, poder establecer cuál es la mejor estrategia a la hora de promover iniciativas de consumo, publicitar y gestionar el ciclo de vida de esta bebida.

Dependiendo de los límites del sistema que se apliquen al comienzo, el análisis de ciclo de vida se puede dividir en diferentes tipos:

De la cuna a la puerta

Se extiende desde la extracción de las materias primas hasta que termina el proceso de producción del producto.

De la puerta a la tumba

En este caso el ACV es aplicado a las fases que corresponden al producto desde que sale de la fábrica (termina su fase de producción) hasta el extremo final donde se gestionan los residuos originados al final de su uso.

De la puerta a la puerta

Abarca únicamente las actividades de la empresa, como el procesamiento de las materias primas, ensamblaje o fase de producción del producto a analizar.

De la cuna a la tumba

El estudio abarca desde la extracción de la materia prima hasta la gestión de residuos, como se ha mencionado este es uno de los límites más habituales aplicados en el ACV y es el que se realiza en el presente trabajo.

De la cuna a la cuna

Similar al análisis de cuna a tumba, pero en él se analiza también la reintroducción de nuevo al inicio del ciclo de materiales, residuos o subproductos que han sido reciclados/reutilizados al final del ciclo de vida del producto.

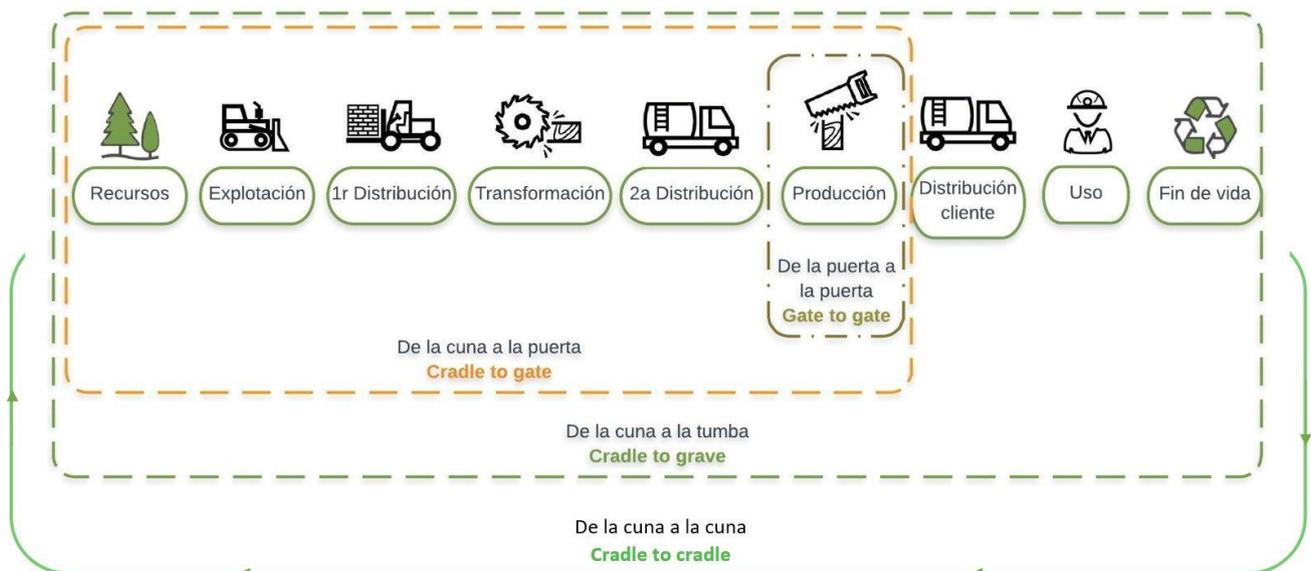


Figura 22. Esquema de los diferentes tipos de ACV.[40]

Historia del Análisis del Ciclo de Vida

Los orígenes del ACV se remontan a la década de 1960, en un contexto de creciente preocupación por el medio ambiente y la sostenibilidad[41].

Los primeros indicios de lo que hoy conocemos como ACV surgieron a raíz de estudios realizados por Coca-Cola en los Estados Unidos durante los años 60. La empresa buscaba entender y comparar los impactos ambientales de diferentes tipos de envases de bebidas. Estos estudios iniciales se centraron en la cuantificación del uso de energía y materiales, así como en la producción de residuos[42].

En la década de 1970, la crisis del petróleo impulsó un interés renovado en la eficiencia energética y la reducción de residuos, lo que llevó a una mayor adopción y desarrollo del ACV. Durante estos años, se comenzaron a elaborar estudios más detallados y sistemáticos, aunque la metodología aún no estaba completamente estandarizada.

El verdadero punto de inflexión para el ACV llegó en los años 90, cuando las preocupaciones ambientales globales, como el cambio climático y la sostenibilidad, empezaron a ganar prominencia. En 1992, la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, también conocida como la Cumbre de la Tierra de Río de Janeiro, subrayó la importancia de las evaluaciones ambientales integradas. Esto condujo a una mayor formalización del ACV y a la creación de normas y guías internacionales[43].

En los años 2000 la Organización Internacional de Normalización (ISO) publicó la primera serie de normas para el ACV. La ISO 14040, proporcionan un marco estandarizado para llevar a cabo estos estudios. Estas normas fueron revisadas y ampliadas en los años siguientes, consolidando el ACV como una herramienta esencial para la gestión ambiental y la toma de decisiones sostenibles en diversos sectores industriales[38].

Hoy en día, el ACV se utiliza ampliamente en todo el mundo para evaluar y mejorar el desempeño ambiental de productos y procesos, guiando tanto a empresas como a formuladores de políticas en la transición hacia una economía más sostenible y circular.

Uno de los referentes más importantes en el ACV es la Sociedad de Análisis de Ciclo de Vida (*Society of Environmental Toxicology and Chemistry* - SETAC). Una organización científica global que promueve el desarrollo y uso de métodos de análisis de ciclo de vida para evaluar el impacto ambiental de productos y procesos. La organización facilita la colaboración entre científicos, ingenieros, reguladores y otras partes interesadas a través de conferencias, publicaciones y redes de trabajo[44].

Además de la SETAC, otra entidad relevante es la Red Internacional de Análisis de Ciclo de Vida (*International Life Cycle Academy* - ILCA), que también trabaja en la promoción y desarrollo de metodologías de ACV a nivel global.

3.2 Definición de objetivo y alcance[45]

Este apartado sirve para definir las motivaciones para la realización del ACV, cuáles son los límites del sistema e identificar los elementos y procesos que se van a analizar para llevar a cabo el estudio.

Ser capaces de definir el alcance del ACV es una tarea vital del proceso ya que éste es el que marca hasta qué punto se investiga para elaborar el inventario del mismo, la cantidad de información que se va a requerir de las bases de datos y el esfuerzo empleado en la realización del trabajo. La función del alcance no es establecer unos límites lo más amplios y complejos posibles ya que esto puede dar lugar a un exceso de recursos invertidos que quizás no aporten el valor buscado. Su función es ajustarse a los objetivos perseguidos para, de manera fiable, ser capaz de aportar información relevante que cumpla los propósitos del estudio.

A la hora de definir el alcance se deben establecer los siguientes elementos:

3.2.1 Unidad funcional

Uno de los elementos más importantes en un estudio de ciclo de vida es una definición clara de la unidad funcional del sistema. Este es un paso clave para evitar ambigüedades en la comparación entre análisis y el establecimiento de la base para los cálculos realizados.

La unidad funcional es la medida del desempeño que el sistema entrega. Esto debe estar claramente definido, ser medible y relevante para los datos de entrada y salida. Ejemplos de unidades funcionales son "unidad de superficie cubierta por pintura durante un período de tiempo definido", "el embalaje utilizado para entregar un volumen dado de bebida" o "la cantidad de detergentes necesarios para un lavado estándar de hogar".

En estudios comparativos, es esencial que los sistemas se comparen en base a una función equivalente. En el desarrollo de este estudio se utiliza como unidad funcional la botella de sidra de 0,70L. A partir de este elemento se calcularán los elementos necesarios para producir una unidad (*inputs* del sistema) y los elementos que se producen a partir de ella una vez termina el ciclo de vida (*outputs*).

La unidad funcional se escoge arbitrariamente buscando que tenga sentido a la hora de comparar alternativas o realizar el ACV, en este caso, por ejemplo, también podrían seleccionarse otras unidades funcionales como "Tonelada de manzana cultivada" o "producción anual de sidra natural del lagar analizado".

En todas las situaciones el Análisis de Ciclo de Vida es adecuado, si bien se presentarían los datos con órdenes de magnitudes diferentes. Es decir, como entrada para producir una botella de sidra únicamente se necesita aproximadamente un kilo de manzana, sin embargo, para la producción anual de un lagar se necesitan varias toneladas de manzana.

3.2.2 Límites del sistema

Para definir los límites, es fundamental identificar qué procesos y subsistemas están involucrados, asegurando que estos sean coherentes con los objetivos del análisis. Esto también implica controlar elementos que no se van a incluir en el estudio como los impactos medioambientales producidos en la construcción de infraestructuras de producción de la sidra, la contaminación asociada a producir los recipientes de fertilizantes e insecticidas etc.

También se hacen ciertas suposiciones de manera razonada como, por ejemplo, al calcular las distancias medias que un camión de manzanas recorre desde la parcela donde se recolectan hasta el lagar donde se produce la sidra, y lo mismo ocurre con las distancias a la hora de calcular la distribución de sidra desde el lagar hasta los puntos de consumo.

3.3 Análisis de Inventario[45][46]

El análisis de inventario (LCI en inglés) es una fase clave dentro del Análisis de Ciclo de Vida (ACV). Consiste en la recopilación y cuantificación de todos los flujos de entrada y salida asociados con un sistema durante todo su ciclo de vida. Estos flujos incluyen materias primas, energía, emisiones y residuos, desde la extracción de recursos naturales hasta la disposición final del producto.

El propósito del LCI es crear una base de datos detallada que describa todos los aspectos materiales y energéticos del sistema, proporcionando la información necesaria para evaluar los impactos ambientales en fases posteriores del ACV. Este análisis se realiza siguiendo estos pasos:

Recopilación de datos

Analizar los flujos de materia y energía, construyendo diagramas que nos permitan conocer todos los elementos y subsistemas que participan en el ciclo de vida del producto. Los datos pueden ser específicos del sitio, de empresas, áreas o países concretos, pero también más generales, por ejemplo, datos de organizaciones comerciales, encuestas públicas, etc. Los datos deben recopilarse de todos los procesos individuales en el ciclo de vida y pueden ser cuantitativos o cualitativos.

Refinamiento de los límites del sistema

Como se ha mencionado las fronteras del sistema se definen inicialmente como parte del procedimiento de definición del alcance. Después de la recopilación inicial de datos, estas fronteras pueden ajustarse mediante decisiones como la exclusión de etapas de vida o subsistemas, la eliminación de flujos de materiales no significativos, o la inclusión de nuevos procesos unitarios que se revelen importantes según el análisis de sensibilidad. Este proceso iterativo refleja la naturaleza dinámica del ACV. Las decisiones sobre qué datos incluir se basan en un análisis de sensibilidad para evaluar su importancia en relación con los objetivos del estudio. Los resultados de este refinamiento y análisis se documentan para guiar el manejo posterior de datos, asegurando que solo se consideren aquellos significativos para los objetivos del ACV.

Procedimientos de cálculo

Establecer la manera en la que se van a calcular y expresar en unidades las materias primas, emisiones e impactos del proceso. El software o base de datos adecuado puede elegirse según el tipo y la cantidad de datos que se deban manejar.

Validación de datos

Durante la recopilación de datos en la evaluación del ciclo de vida, es crucial validar continuamente la calidad de los datos para mejorar su precisión. Esto implica verificar de manera sistemática los balances de masa, energía y factores de emisión, identificando posibles anomalías que requieren corrección. Cuando faltan datos, se deben proporcionar valores aceptables, valores "cero" si es justificado, o calcularlos basándose en datos de procesos similares. La calidad de los datos puede variar entre diferentes procesos, lo cual se refleja en el índice de calidad del conjunto de datos específico.

Relación de datos

En la evaluación del ciclo de vida, los datos fundamentales de entrada y salida suelen ser proporcionados por la industria en unidades arbitrarias, como consumo de energía por semana por máquina en MJ o emisiones a sistemas de aguas residuales en mg de metales por litro de aguas residuales. Estos flujos están conectados no solo con la producción del producto específico considerado, sino también con otros productos similares o con la actividad de producción completa.

Cada proceso unitario debe tener un flujo de referencia definido, como un kilogramo de material o un megajulio de energía. Los datos cuantitativos de entrada y salida de cada proceso se calculan en relación con este flujo de referencia.

3.4 Evaluación de los impactos ambientales[44][45]

La evaluación de impactos en el ACV es un proceso técnico, cuantitativo y/o cualitativo para caracterizar y evaluar los efectos de las cargas ambientales identificadas en el inventario.

El componente de evaluación de impactos consta de los siguientes tres pasos: clasificación, caracterización y valoración. En 1992 y 1993 la SETAC ya establece el marco conceptual para estas metodologías y enfoques aportando una estructura y terminología recomendada para la evaluación de impactos. En la actualidad ya se ha asentado como el procedimiento a seguir a la hora de identificar y valorar los impactos que se producen durante el ciclo de vida de los productos y procesos.

3.4.1 Clasificación

La clasificación es el paso en el cual los datos del análisis de inventario se agrupan en una serie de categorías de impacto. Es decir, es el proceso de asociar las entradas y salidas (*inputs* y *outputs*) del apartado anterior a cada una de las categorías ambientales existentes. Este agrupamiento se realiza de tal manera que una entrada de la tabla de inventario puede estar incluida en más de una categoría (por ejemplo, los NO_x tienen tanto un efecto acidificante como eutrofizante).

En el paso de clasificación, los impactos deben incluirse en las áreas generales de protección de agotamiento de recursos, salud humana y salud ecológica. Al definir las categorías de impacto específicas, el enfoque debe estar en los procesos ambientales involucrados, ya que esto permitirá basar la evaluación de impactos tanto como sea posible en el conocimiento científico sobre estos procesos. Además, en cada categoría de impacto específica pueden ocurrir tanto efectos directos como indirectos.

Los resultados de la clasificación pueden presentarse en una matriz que ilustre la relación de las categorías de impacto específicas con las áreas generales de protección.

3.4.2 Caracterización

La caracterización es el paso en el cual se lleva a cabo el análisis/cuantificación y, cuando es posible, la agregación de los impactos dentro de las categorías de impacto dadas. Este paso debe basarse en el conocimiento científico sobre los procesos ambientales.

Existen varios enfoques para la caracterización que se explicarán más adelante. Algunos de ellos relacionan los datos del inventario de manera genérica con diferentes estándares ambientales. Por otro lado, hay enfoques que intentan modelar (de manera genérica) tanto la exposición como los efectos y aplicar estos modelos de manera específica para cada sitio. Actualmente, se presta mucha atención al desarrollo y uso de factores de equivalencia para las diferentes categorías de impacto, como el Potencial de Calentamiento Global (GWP) y el Potencial de Agotamiento del Ozono (ODP).

Un desarrollo adicional del paso de caracterización es normalizar los datos agregados por categoría de impacto en relación con la magnitud real de los impactos dentro de esta categoría en un área dada. La razón para hacer esto es aumentar la comparabilidad de los datos de las diferentes categorías de impacto y, por lo tanto, proporcionar una base para el siguiente paso, la valoración.

El resultado del paso de caracterización puede denominarse perfil de impacto, que consiste en una serie de medidas o descripciones de los mismos. A menudo se pueden necesitar otros tipos de información sobre impactos que no se pueden cuantificar.

3.4.3 Valoración

La valoración es el paso en el cual las contribuciones de las diferentes categorías de impacto específicas se ponderan para que puedan compararse entre sí. El objetivo de este paso es llegar a una interpretación y agregación adicional de los datos de la evaluación de impactos. Por ejemplo, si se comparan dos o más sistemas alternativos y se busca un resultado inequívoco, en general, los diferentes impactos tendrán que ser valorados de alguna manera. Por ejemplo, no se puede determinar qué sistema tiene mayor o menor impacto en la salud humana sin evaluar la importancia relativa de las categorías de impacto.

La importancia de las categorías de impacto en relación entre sí es un procedimiento basado en valores que depende de una evaluación del daño ambiental relativo. Por lo tanto, esta evaluación reflejará valores y preferencias sociales.

Se precisa de herramientas de decisión como juicios de expertos u opinión de partes interesadas para que la valoración desarrolle un contenido lo más racional y explícito posible. Además, se puede hacer una distinción entre procedimientos cuantitativos y cualitativos siempre declarando los motivos que conducen a una decisión sobre determinadas categorías ambientales y su ponderación.

En el ACV normalmente existen tres perspectivas utilizadas para la ponderación basadas en el juicio de expertos:

- E (Igualitaria): perspectiva a largo plazo que justifica la inclusión de efectos, incluso si no están probados.
- I (Individualista): perspectiva a corto plazo que solo incluye efectos probados.
- H (Jerárquica): perspectiva a medio plazo donde un consenso científico determina la inclusión de efectos.

En el desarrollo del presente trabajo se emplea una ponderación jerárquica (H) que es la más habitual.

3.4.4 Metodologías de evaluación de impactos medioambientales[47]

Existen diferentes métodos para la evaluación de impactos ambientales. Algunos de esos métodos de evaluación de impactos son:

Eco-Indicator 99

Desarrollado en Holanda por la consultora PRé para el Ministerio de Vivienda, Planteamiento Urbanístico y Medio Ambiente. Este método introduce el concepto de categorías de daño al ACV, incluye 11 categorías de impacto y se enfoca en analizar los efectos finales orientándose al daño. Evalúa los diferentes daños causados por estas categorías de impacto, agrupándolos en tres niveles de daño: Daños a la salud Humana, daños a la calidad del Ecosistema y daños a los recursos.

CML 2001

Elaborado en Holanda por la Universidad de Leiden. Basado en una metodología intermedia, este método utiliza diez categorías de impacto y está enfocado en los problemas ambientales. Se centra en la caracterización de impactos en categorías específicas.

ReCiPe

Creado a través de una colaboración internacional entre varias instituciones. Este método integra las metodologías de Eco-Indicator 99 y CML 2001, estableciendo categorías de impacto tanto a nivel de punto final como a nivel de *midpoint*. La ventaja del método CML es su solidez científica, mientras que la ventaja del Eco-indicator 99 es su facilidad de interpretación. Proporciona una visión detallada de los impactos ambientales.

IPCC

El Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático desarrolló este método a partir de 1988 que se enfoca en las emisiones de gases de efecto invernadero y su contribución al cambio climático, proporcionando una base científica para los inventarios de emisiones.

EDIP/UMIP 96

Creado en Dinamarca en 1996 por el Instituto para el Desarrollo de Productos (IPU) en la Universidad Técnica de Dinamarca. Los factores de normalización están basados en equivalentes - persona en el año 1990. Para la categoría de uso de recursos, la normalización y ponderación están incluidas dentro de la fase de caracterización, ya que esta categoría se evalúa de manera distinta en este método. Se establecen categorías de impacto en escalas global, regional y local, y se enfoca en el diseño ambiental de productos industriales.

EPS 2000

Desarrollado en Suecia por la Universidad de Chalmers con apoyo del Panel Sueco para el Desarrollo Técnico e Industrial. Este método pretende que cada empresa valore los impactos ambientales del diseño de sus propios productos, proporcionando un marco para la toma de decisiones. En él se tiene en cuenta la voluntad de pagar para restaurar los cambios causados. Por ello la unidad del indicador final es el ELU (*Environmental Load Unit*).

ECOPOINTS 97

Metodología del Ministerio de Medio Ambiente de Suiza diseñada en 1990. Asigna puntos ecológicos a diferentes emisiones y recursos, proporcionando una métrica unificada para evaluar el impacto ambiental. Fue uno de los primeros métodos con método de ponderación final.

TRACI

Diseñado en 1995 en Estados Unidos por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA). La Herramienta para la Reducción y Evaluación de Impactos Ambientales se enfoca en categorías de impacto relevantes para las políticas ambientales de los Estados Unidos.

IMPACT 2002+

Desarrollado en Suiza por la Escuela Politécnica Federal de Lausana (EPFL). Este método integra varias metodologías anteriores y proporciona una evaluación de impactos a nivel de *midpoint* y *endpoint*, cubriendo una amplia gama de categorías de impacto ambiental. Resulta de una combinación entre las metodologías IMPACT2002, Ec99, CML2001 e IPCC.

En este trabajo se utilizará la metodología ReCiPe la cual resume los impactos en tres categorías finales (*endpoints*): salud humana, ecosistemas y aumento del coste de recursos. Y que también agrupa los problemas ambientales en 18 categorías de impacto (*midpoints*) como se muestra en la Figura 23. Los *midpoints* y *endpoints* de este método se explican de manera más detallada en el apartado 4 de esta memoria.

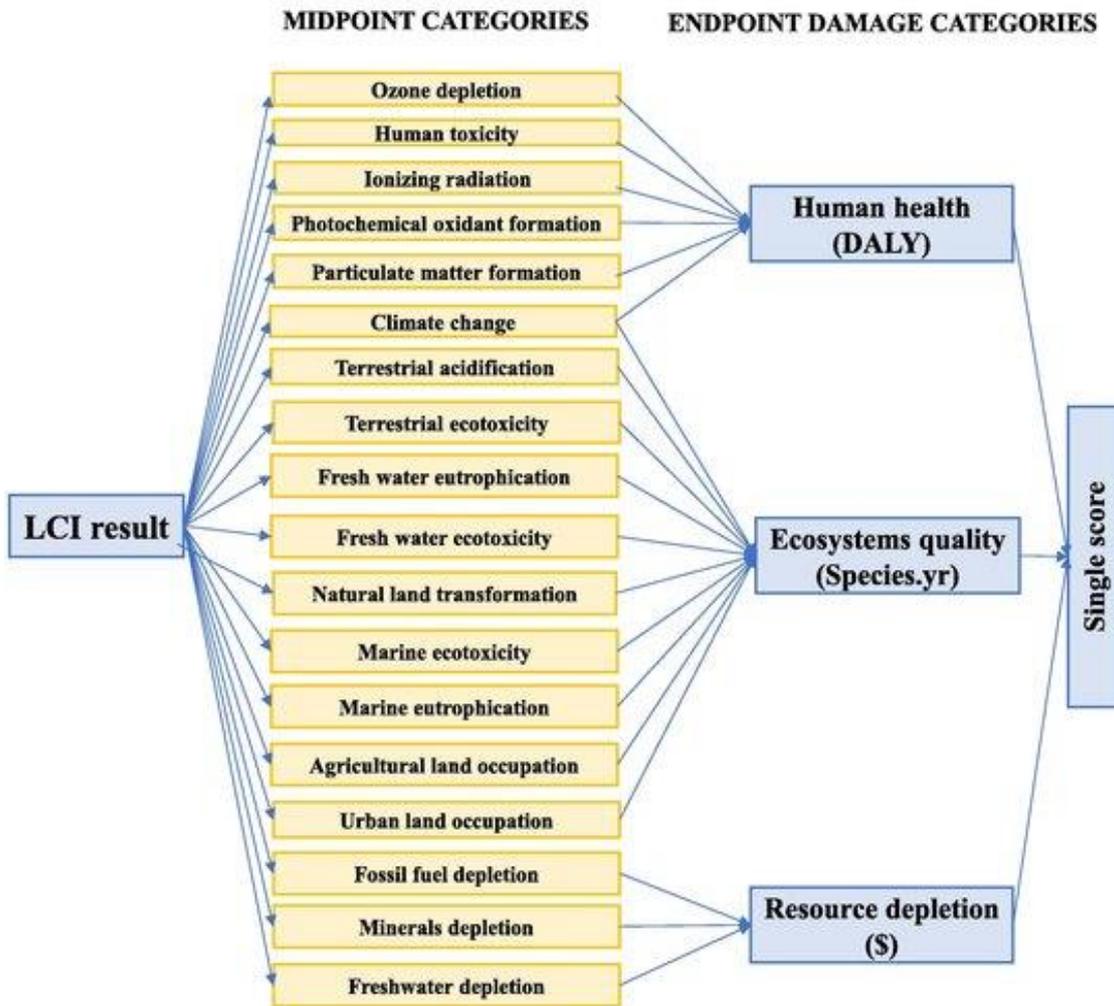


Figura 23. Diagrama de categorías de impactos para el método ReCiPe. [48]

3.5 Interpretación de resultados[45]

Se debe recordar, como se ha mostrado en la introducción de este apartado (Figura 21), que la interpretación de los resultados en el análisis de ciclo de vida es un proceso iterativo que se desarrolla a lo largo de todo el estudio. Por tanto, la fase de interpretación en un ACV tiene dos objetivos principales:

1. Durante los pasos iterativos del ACV, la interpretación se centra en mejorar el modelo del Inventario del Ciclo de Vida (LCI) para satisfacer las necesidades derivadas del objetivo del estudio.
2. Una vez completados los pasos iterativos y elaborado el modelo final del LCI junto con los resultados, especialmente en estudios comparativos de ACV, la interpretación busca derivar conclusiones robustas y establecer recomendaciones a raíz de los datos obtenidos.

En la interpretación del ciclo de vida, los resultados del ACV se evalúan para responder a las preguntas planteadas en la definición de objetivos. Esto incluye considerar la aplicación prevista del estudio LCI/ACV y desarrollar recomendaciones basándose en las categorías de impacto más destacadas en el estudio. Si se trata de una comparativa entre diferentes alternativas de productos o procesos se establecen las conclusiones de acuerdo a las diferentes puntuaciones que obtengan en cada una de las categorías ambientales.

La interpretación también analiza los resultados en función de la precisión, completitud y precisión de los datos aplicados, así como las suposiciones realizadas durante el estudio.

Finalmente, la interpretación culmina en la formulación de conclusiones y recomendaciones del estudio de ACV, que deben estar alineadas con los objetivos y restricciones definidos inicialmente en el alcance. Este proceso también ayuda a presentar los resultados de manera comprensible, proponer medidas a mejorar e indicar las posibles limitaciones del Análisis de Ciclo de Vida elaborado.

3.6 Softwares de Análisis de Ciclo de Vida[47]

Algunos de los softwares más habituales utilizados en el análisis de ciclo de vida (ACV) son:

SimaPro

Desarrollado por PRé Consultants, Simapro es uno de los *softwares* líderes en ACV. Ofrece protocolos guiados para realizar evaluaciones detalladas, permitiendo la modificación flexible de todos los parámetros del ciclo de vida del producto en cualquier momento. Cumple con las normativas ISO para la redacción de informes de ACV. Además, proporciona herramientas para analizar la incertidumbre de los datos, escenarios de fin de vida, análisis de sensibilidad y Monte Carlo, y permite exportar la información en formatos estándar como Ecospold y Excel para una comunicación efectiva de los resultados.

GaBi

Creado por PE International en colaboración con la Universidad de Stuttgart, es otro *software* ampliamente utilizado en ACV que proporciona una descripción gráfica detallada del ciclo de vida del producto mediante una estructura jerárquica. Permite gestionar las entradas y salidas asociadas a cada proceso y sus flujos. Posee la flexibilidad de modificar en cualquier momento todos los parámetros del ciclo de vida del producto y reutilizar procesos y planes entre proyectos. Además, ofrece diversas opciones de representación de datos, incluyendo el balance del sistema y el impacto en el ciclo de vida ambiental (EICV). Cumple con las exigencias ISO para la redacción de informes de ACV, permite la asignación de cargas, y ofrece herramientas para análisis de escenarios de fin de vida, sensibilidad y Monte Carlo. GaBi es conocido por su base de datos extensa y la capacidad de realizar análisis detallados y complejos.

Umberto

Desarrollado por IFU Hamburg GmbH, Umberto se centra en la evaluación del flujo de materiales y energía en procesos industriales. Con una interfaz muy intuitiva es utilizado para modelar y optimizar procesos industriales desde una perspectiva de sostenibilidad, integrando análisis de ciclo de vida con la gestión de procesos. Posee una gran variedad de representación de los datos del análisis, una organización en fichas para la alimentación de estos datos similar a Simapro y distintas interfaces para la conexión del programa a otras aplicaciones.

OpenLCA

Es un *software* de código abierto ampliamente utilizado en la comunidad de ACV. OpenLCA permite realizar análisis de ciclo de vida completos, desde la compilación del inventario hasta la evaluación de impacto y la interpretación de resultados. Es conocido por su accesibilidad y la capacidad de extender y personalizar su funcionalidad a través de *plugins* y bases de datos adicionales.

TEAM (Tool for Environmental Assessment and Management)

Creado por el *Joint Research Centre* (JRC) de la Unión Europea, es una herramienta muy intuitiva con un menú principal dividido en cuatro submenús con el que es fácil interactuar. Permite introducir datos de manera estructurada, similar a Gabi, facilitando la definición individual de límites del sistema. Además, ofrece protocolos guiados para la realización de evaluaciones ambientales detalladas, asegurando una ejecución sistemática y coherente de los ACVs. Al ser desarrollado por la Unión Europea tiene un enfoque en la estandarización y la compatibilidad con las directrices y normativas de la misma.

AIST-LCA 4

Utilizado por el Instituto Nacional de Ciencias Industriales Avanzadas (AIST) de Japón, es un *software* ampliamente utilizado en el país nipón y que también tiene una presencia significativa a nivel internacional. Posee una base de datos propia con sustancias químicas, productos de hierro y acero y gestión de residuos. Utiliza el concepto TPI (*Total Performance Indicator*) en el que se valoran tanto aspectos ambientales como parámetros de coste.

Estos *softwares* ofrecen herramientas y funcionalidades diversas que permiten a los usuarios llevar a cabo análisis detallados y robustos del ciclo de vida, contribuyendo así a la evaluación y mejora del desempeño ambiental de productos y procesos industriales. En la elaboración del presente trabajo el *software* utilizado es SimaPro.

3.7 Bases de datos para Análisis de Ciclo de Vida[47][49]

A continuación, en la figura 24 se muestran algunas de las bases de datos de uso habitual en los ACVs. Aunque de manera genérica se llamen BBDD, la realidad es que estas suelen integrar tanto datos de inventario de Ciclo de Vida como de metodologías, son por lo tanto bases de datos integradas.

Las BBDD pueden contener datos de múltiples sectores o ser específicas para la aplicación concreta en un sector. En muchas ocasiones, se crean o modifican BBDD ya existentes para poder disponer de BBDD sectoriales y permitir trabajar de manera más sencilla y detallada para el proyecto o aplicación en cuestión en el sector deseado.

Nombre BBDD	Formato	Nº de datos de ICV	Sector
Ecoinvent	Ecospold	4000	Genérico
Boustead	Modelo propio	13000	Genérico
IVAM LCA	Ecospold	1300	Genérico
ProBas	Ecospold	7000	Genérico
GaBi databases 2006	Ecospold	2300	Genérico
DEAM	Ecospold	1200	Genérico
ETH – ESU 96	Ecospold	1181	Genérico
GEMIS 4.4.	Excel	1000	Genérico
Option data pack	Excel	967	Genérico
Umberto library 5.5.	Ecospold	600	Genérico
IDEMAT 2001	Ecospold	507	Genérico
CPM LCA Database	Spine	500	Genérico
Japanese Input Output Database	Tablas Input – Output	400 sectores	Multi sectorial

Figura 24. Bases de datos habituales en el uso de ACVs.[47]

En la elaboración de este trabajo se han utilizado las bases de datos tanto de Ecoinvent, que es una de las más habituales, como Agri-footprint. Ambas son utilizadas de forma complementaria por el software SimaPro.

Ecoinvent

Ecoinvent es una de las bases de datos más reconocidas y ampliamente utilizadas en el campo del análisis de ciclo de vida (ACV). Desarrollada y mantenida por el Centro Ecoinvent, una organización sin fines de lucro con sede en Suiza, Ecoinvent proporciona datos de alta calidad, consistentes y transparentes sobre los impactos ambientales de una amplia gama de productos y procesos.

Agri-footprint

Contiene aproximadamente 4,800 productos y procesos específicos para el ACV agrícola: cultivos, productos, compuestos de alimentación, productos alimenticios, sistemas de producción animal y procesos de fondo como transporte, insumos auxiliares para procesamiento, pesticidas y fertilizantes. La base de datos de Ecoinvent se utiliza también para algunos de los conjuntos de datos de fondo de energía y combustible.

4. Análisis del Ciclo de Vida de la sidra natural asturiana

4.1 Introducción

En este capítulo se procede a la realización del Análisis de Ciclo de Vida de la producción de sidra natural en Asturias en dos escenarios diferentes. En líneas generales ambos escenarios comparten los *inputs*, *outputs* y procesos desarrollados desde el cultivo de la manzana hasta el final de la producción de la sidra natural y su almacenamiento para distribución, es decir, comparte el mismo ciclo de vida “de la cuna a la puerta”.

A la hora de su comercialización, consumo y fin de vida se establecen dos escenarios diferentes para el fin de vida (llamados en el trabajo “supermercado” y “sidrería”) con lo que ello implica principalmente para el tratamiento del vidrio de las botellas utilizadas y los diversos impactos medioambientales que este cierre de ciclo supone.

En primer lugar, se mostrarán los resultados del Ciclo de Vida de la sidra cuando se destina su venta y consumo a través de supermercados, tiendas propias y otros puntos de venta minorista, en este escenario las botellas de vidrio en su gran mayoría terminan en el contenedor verde de reciclaje, siendo transportadas a vertederos o centros de tratamiento de residuos donde el vidrio se prepara para ser reciclado.

Por otro lado, se muestra también la alternativa (ampliamente utilizada en Asturias) donde más de un 80% del consumo de sidra natural[36] se realiza en lagares o establecimientos hosteleros que guardan las botellas de vidrio tras su uso para su limpieza con agua a presión y su reutilización nuevamente para el siguiente ciclo de producción de sidra.

4.2 Contextualización: Fuente de los datos utilizada

En la realización del presente trabajo se ha utilizado como fuente de producción de manzana la información correspondiente a las cosechas de los últimos 3 años de la Cooperativa Campoastur y datos de producción de sidra natural presentes en los informes anuales de la D.O.P “Sidra de Asturias” ya mencionada en el apartado 2.3.

La Cooperativa Campoastur Productos y Servicios [50] es una entidad agropecuaria localizada en el occidente asturiano y de ámbito de actuación regional que surgió el 1 de enero de 2013 a partir de la fusión de varias cooperativas. Actualmente, agrupa a más de 7000 socios, de los cuales 2800 son productores agrícolas y ganaderos. Estos productores se dedican principalmente a la producción de vacuno de leche y carne, manzana de sidra y faba asturiana.

Además, entre los socios también hay productores con actividades minoritarias. El resto de los socios se clasifica como colaboradores o consumidores que utilizan las tiendas de la cooperativa y los suministros de gasóleo.

Las actividades principales de Campoastur incluyen:

1. Fabricación de piensos: Producción de piensos tanto convencionales como ecológicos para la alimentación del ganado.
2. Aprovisionamiento de suministros: Provisión de insumos necesarios para la ganadería y la agricultura.
3. Prestación de servicios: Ofrecimiento de servicios a las explotaciones agropecuarias.
4. Comercialización de producciones: Venta y distribución de los productos de los socios.
5. Desarrollo de tiendas agrícolas: Establecimiento de tiendas agrícolas en el medio rural.
6. Tiendas de consumo: Operación de tiendas destinadas al consumo general de los socios.
7. Comercialización de carburantes: Venta de combustibles, especialmente gasóleo, para los socios.

Campoastur, a través de estas actividades, no solo apoya a los productores en sus operaciones diarias, sino que también facilita el acceso a mercados y suministros, contribuyendo al desarrollo del sector agropecuario en Asturias.

4.3 Definición de objetivos y alcance

El objetivo del trabajo es analizar el ciclo de vida de la sidra natural asturiana desde la perspectiva de su consumo en sidrería (y otros establecimientos de hostelería con un ciclo de vida similar) y el ACV de la sidra natural para su venta y consumo en supermercados y tiendas propias.

A través de este análisis se pretende estimar los impactos que cada “estilo de consumo” supone para la sidra y establecer conclusiones que nos permitan valorar los pros y contras de cada alternativa. Con todo ello se pueden proponer métodos para la reducción de dichos impactos y promover el tipo de consumo que más favorezca la sostenibilidad y la reducción de la contaminación en este sector agroalimentario tan presente en la región de Asturias.

Para ello, y como se ha mencionado, se establece el modelo de análisis “de la cuna a la tumba” de las dos alternativas, desde el cultivo de la manzana hasta el cierre de ciclo con el tratamiento de los residuos producidos en el ciclo, pasando por todo el proceso de elaboración y distribución de la sidra natural.

Unidad funcional

La unidad funcional escogida para el desarrollo del Análisis de Ciclo de Vida en el presente estudio es la producción y consumo de una botella estándar de sidra natural de 0,70 Litros.

Límites del sistema

Dado que el objetivo principal del trabajo es la comparación entre alternativas se considera que no es relevante extender los límites del sistema al análisis de emisiones de contaminantes asociadas a la extracción de otras materias primas que no sean la manzana utilizada en la producción. Debido a ello no se tendrán en cuenta la fabricación y construcción de las herramientas e infraestructuras utilizadas en el cultivo y producción de la sidra o la extracción o transporte hasta Asturias de otras materias primas utilizadas en el ciclo.

Por otro lado, si se valorarán los impactos del uso energía eléctrica, los combustibles utilizados en la distribución, la producción de la botella de vidrio y los materiales necesarios para el cultivo de la manzana.

4.4 Análisis de Inventario

4.4.1 Introducción

Como se ha mencionado, el *software* utilizado para el ACV ha sido SimaPro, herramienta de análisis del ciclo de vida (ACV) ampliamente reconocida y utilizada en el campo de la sostenibilidad y la gestión ambiental. Desarrollado por PRé Sustainability. En este caso se emplea la metodología ReCiPe y las bases de datos de referencia EcolInvent y Agri-footprint para llevar a cabo el estudio de ambas alternativas.

4.4.2 Entradas (*inputs*)

PRODUCCIÓN DE MANZANA

Según los datos utilizados en el estudio para la producción de una botella de sidra de 0,70L se precisan 1,0181 kilogramos de manzana, así pues, los *inputs* que se muestran a continuación son los necesarios para producir esta cantidad de fruta:

Fertilizante

Como fertilizante se utilizan 0,0405Kg de abono natural. En SimaPro la entrada se identifica como *Horn Meal*, fertilizante orgánico que se obtiene a partir de cuernos de animales y que se utiliza principalmente en jardinería y agricultura orgánica debido a su lenta liberación de nutrientes, proporcionando una fuente constante de nitrógeno durante un período prolongado

Estacas de acero

Son tutores que permiten el crecimiento regular del manzano y su estabilización para un desarrollo adecuado de la planta en la producción de fruta. Se utilizan $2,76 \cdot 10^{-3}$ Kg de acero por cada unidad funcional. En SimaPro la entrada se identifica simplemente como *Steel* (Acero)

Herbicida

Por cada UF se precisa de $4,50 \cdot 10^{-4}$ Kg de herbicida y fungicida. Este fitosanitario se identifica como Glifosato en SimaPro un herbicida de amplio espectro que se utiliza para eliminar hierbas y malezas no deseadas.

Insecticida

Este fitosanitario es utilizado para evitar el crecimiento de la principal amenaza de la fruta que es el gusano de la manzana. Se emplean $3,92 \cdot 10^{-4}$ Kg de fitosanitario por UF y en SimaPro aparece como **Piretroide**, un tipo de insecticida sintético diseñado para imitar las propiedades de los piretros, que son compuestos naturales encontrados en las flores del crisantemo.

Gasóleo

Finalmente, en el cultivo de la manzana se utilizan herramientas para sembrar, podar, desbrozar y mantener correctamente el desarrollo de los árboles frutales siendo necesarios $9,68 \cdot 10^{-4}$ Kg de Diesel por cada unidad funcional.

En la siguiente tabla 1 aparecen de manera sintetizada los *inputs* necesarios para la producción de manzana referidos a la UF.

Entradas	Cantidad	Unidad
Fertilizante	0,0405	Kg
Estacas (tutores de acero)	$2,76E^{-03}$	kg
Herbicida	$4,50E^{-04}$	kg
Insecticida	$3,92E^{-04}$	kg
Gasóleo	$9,68E^{-04}$	kg

Tabla 1. Resumen de los *inputs* de producción de manzana

TRANSPORTE A LAGAR

Para el transporte de las manzanas hasta el lugar de producción de la sidra se hacen diversas suposiciones basándose en la disposición del tejido socioeconómico del sector de la sidra. En primer lugar, se toma como medio de transporte camiones medianos de entre 7 y 15 toneladas. Además, se estimará como trayecto habitual unos 25 kilómetros porque, como se ha mencionado, la mayoría de fincas de producción de manzana y lagares de Asturias se encuentran en las comarcas sidreras cercanas a Gijón y Villaviciosa. Se establece un rango de entre 3 y 168 kilómetros para los análisis de Montecarlo posteriores donde se evalúan todo el rango de emisiones desde las mínimas a las máximas que pueden producirse durante el ciclo de vida.

Por otro lado, hay que tener en cuenta que, además de la manzana transportada hasta el lagar, en el camión también se transportan otros componentes orgánicos que finalmente no llegarán a formar parte de la producción de sidra y que reciben el nombre de destrío.

Por lo tanto, por cada UF de sidra, hasta el lagar se transportan 1,0181 kg de manzana y 0,0102kg de destrío.

Así pues, se establece que para una unidad funcional se utilizan $2,096^{*10^{-3}}$ kg de gasoil en transporte al lagar.

PRODUCCIÓN DE SIDRA

Manzana

Como ya se ha mencionado con anterioridad para producir una botella de sidra se precisa de 1,0181kg de manzana

Corcho

El corcho utilizado en cada una de las botellas pesa aproximadamente 5,7 gramos, es decir 0,0057 kg.

Cristal

Durante la producción de la sidra por unidad funcional se utiliza la botella de sidra estándar de aproximadamente 550 gramos es decir 0,55 kg.

Se asume que algunas botellas de vidrio se rompen y no pueden ser utilizadas por lo que en este caso se deben incluir como parte del material extra necesario para producir la unidad funcional. Se toma como valor basándonos en los datos utilizados una cantidad de 0,0057kg de vidrio por UF.

Etiqueta

En la producción de cada unidad funcional se emite una etiqueta de papel de aproximadamente 1 gramo, es decir, 0,001 Kg

Palets

Para el almacenamiento de las botellas hasta su transporte se utilizan palets de madera de hasta 500 botellas, siendo estos reutilizados en varias campañas y con una renovación de los mismos de unos 50 por temporada. Según los datos aportados en el estudio se utilizan aproximadamente 0,05kg de palet por cada botella de sidra.

Agua de proceso

Al llegar al lagar las manzanas son lavadas para limpiarlas de suciedad o restos de componentes que se hayan podido adherir a su superficie durante el transporte. Además, se precisa de agua para limpiar otras herramientas, máquinas y superficies del lagar con lo que en total se considera que por cada UF se utilizan 2,5kg de agua.

Gasóleo

El funcionamiento de maquinaria, calderas y otras herramientas dentro del propio lagar suma un total de 0,0174kg de diésel por botella de sidra.

Calor

En el proceso de producción de la sidra natural se emplean calentadores eléctricos en el lagar que suman un total de 0,251MJ por UF

Electricidad

Por último, por cada botella de sidra en el lagar se calcula que se utiliza un total de 0,1073 Kwh de electricidad en la planta de producción.

En la tabla 2 se agrupan los *inputs* necesarios para la producción de sidra en los lagares:

Entradas	Cantidad	Unidad
Manzana	1,0181	Kg
Corcho	0,0057	Kg
Cristal	0,55	Kg
Cristal desechado	0,0057	Kg
Etiqueta	0,001	Kg
Palets	0,05	Kg
Agua de proceso	2,5	Kg
Gasóleo	0,0174	Kg
Calor	0,251	MJ
Electricidad	0,1073	Kwh

Tabla 2. Resumen de los *inputs* de producción de sidra natural en el lagar

TRANSPORTE A CONSUMO

Para este apartado, se ha supuesto que gran parte de la sidra que se consume en sidrería apenas tiene transporte o este se realiza a zonas cercanas al propio lagar situado en las cercanías de las comarcas sidreras por lo que se le aplica unas entradas similares al obtenido en el transporte de las manzanas al lagar. Para el consumo en supermercado y tiendas propias se presupone que el transporte se realiza en camiones más pequeños y a tiendas que pueden encontrarse más alejadas de las comarcas sidreras por lo que se multiplica por 2,5 las entradas de gasoil del apartado de transporte a finca. Igualmente, como se verá en el apartado de impactos ambientales la distribución de la sidra al lugar de consumo no supone un alto número de impactos relativos con respecto a otras fases del ciclo de vida.

FIN DE CICLO

Por último, en el final de ciclo de vida (*End of life*, EOL en inglés) es donde principalmente se diferencian las dos alternativas utilizadas.

Para la sidra consumida en sidrería (hostelería) se utilizan 0,75 litros de agua para la reutilización del vidrio.

En el caso de la sidra vendida a través de supermercados como *input* hay que valorar el vidrio que se transporta hasta vertederos y lugares de reciclado del vidrio (se estima que se recicla en torno al 85%). Se realiza una aproximación de que el vertedero se encuentra de media a unos 25km ya que habitualmente en Asturias estos materiales se envían al Centro de Tratamiento de Residuos de Asturias localizado a las afueras de Oviedo. Para el análisis de Montecarlo se toman distancias mínimas y máximas que oscilan de 10 a 60 kilómetros. Se estima que el camión de transporte lleva unas 10 toneladas, lo que serían aproximadamente 18.000 botellas de vidrio. Esto resulta en que en el trayecto de 25 kilómetros se consumen por unidad funcional $2,36 \cdot 10^{-4}$ kg de gasoil.

4.4.3 Salidas (*outputs*)

PRODUCCIÓN DE MANZANA

De las fincas de cultivo de la manzana como se ha mencionado anteriormente salen 1,0181 kg de manzana y 0,0102kg de destrío por cada botella de sidra. El acero de las estacas se recicla como se observará en la evaluación de impactos. También se cuentan las emisiones contaminantes de los químicos utilizados.

TRANSPORTE A LAGAR

Los *outputs* de este proceso serán las emisiones correspondientes al transporte de la manzana y el destrío hasta el lugar de producción de la sidra

PRODUCCIÓN DE SIDRA

Las salidas de esta fase incluyen la propia botella de sidra natural lista para ser distribuida hacia los lugares de consumo y la magaya (aproximadamente 0,285 kg por UF) que surge tras el prensado de la manzana y que se ha incluido en las propias gráficas de impactos con valor negativo ya que se utiliza como abono en otros procesos.

También se incluye agua de proceso que se reutiliza para el tratamiento de cultivos de patata.

Se ha de mencionar que hay parte de material de envasado, cartón y papel que forma parte de las salidas de este proceso ya que se recicla al final de su vida útil pero sus valores contaminantes son mínimos con respecto a cada unidad funcional.

En este proceso se incluyen las emisiones contaminantes producidas a raíz de la utilización de los inputs mencionados para este proceso. Además, se incluyen ciertas emisiones producidas por contaminantes presentes en refrigerantes del instrumental utilizado en el lagar que incluyen:

- $4,275 \cdot 10^{-7}$ kg de difluoruro de metano, HFC-32 (CH_2F_2) por unidad funcional
- $4,65 \cdot 10^{-7}$ kg de pentafluoruro de etano HFC-125 (C_2HF_5) por UF
- $9,67 \cdot 10^{-7}$ kg de tetrafluoruro de etano HFC-134a ($\text{C}_2\text{H}_2\text{F}_4$ (CH_2FCF_3)) por UF

TRANSPORTE A CONSUMO

Las emisiones contaminantes asociadas a esta fase serán las producidas por el consumo de gasóleo utilizado en el transporte.

FIN DE CICLO

Como *outputs* de este proceso para la alternativa de consumo en sidrería se debe incluir la salida del agua sucia que se utiliza en el lavado a presión de las botellas.

Por otro lado, para la alternativa de ventas en supermercados se incluyen en las salidas las emisiones del transporte de las botellas de vidrio al centro de tratamiento de residuos para su reciclado (85%) o disposición en vertedero (15%) y las emisiones que surgen de estos procesos de fin de vida del producto.

También hay que mencionar en este punto la salida del ciclo del corcho de la botella que normalmente termina en vertederos para ambas alternativas.

4.5. Evaluación de Impactos Medioambientales

En el presente apartado se presentan los resultados obtenidos de SimaPro tanto a nivel de *midpoints* como *endpoints* para los procesos más relevantes de ambas alternativas. En primer lugar, se expone cada alternativa de manera independiente para en el siguiente apartado realizar estudios comparativos y valorar las ventajas y desventajas de cada estilo de consumo.

Recordemos que es la metodología *ReCipe Europe* la empleada y que este método representa las categorías de impacto en 18 **midpoints** que son los que vemos a continuación[38][45]:

1. Cambio Climático (*Climate Change*)

Describe el impacto causado por las emisiones de gases de efecto invernadero que contribuyen al calentamiento global y se mide en unidades de kg de CO₂-equivalente.

2. Degradación del Ozono Estratosférico (*Stratospheric Ozone Depletion*)

Mide la reducción de la capa de ozono debido a sustancias que destruyen el ozono, como los clorofluorocarbonos (CFCs), se mide en kg eq. de CFC-11.

3. Acidificación Terrestre y Acuática (*Terrestrial and Freshwater Acidification*)

Sirve para valorar el impacto causado por la deposición de ácidos en suelos y cuerpos de agua, principalmente debido a la emisión de SO₂ y NO_x y su unidad son los kg SO₂-equivalente.

4. Eutrofización de Agua Dulce (*Freshwater Eutrophication*)

Mide el enriquecimiento de cuerpos de agua dulce con nutrientes, principalmente fósforo, que causa proliferación de algas y deterioro de la calidad del agua y se calcula en kg de P-eq.

5. Eutrofización Marina (*Marine Eutrophication*)

Similar a la eutrofización de agua dulce mide el enriquecimiento de cuerpos de agua y el deterioro de la calidad del agua por proliferación de algas pero en este caso la unidad son kg de N-equivalente.

6. Toxicidad humana (*Human Toxicity*)

Estima la toxicidad que generan diferentes compuestos químicos sobre la salud humana y su unidad son los kg de 1,4-diclorobenceno eq.

7. Formación de Oxidantes fotoquímicos (*Photochemical oxidation*)

Mide la creación de ozono a nivel del suelo debido a la reacción de compuestos orgánicos volátiles no metánicos (NMVOC) con óxidos de nitrógeno (NOx) en presencia de luz solar. Se mide en kg NMVOC-equivalente.

8. Particulado (*Particulate Matter Formation*)

Sirve para valorar la formación de partículas finas que afectan la calidad del aire y la salud humana y se expresa en kg PM10-equivalente.

9. Ecotoxicidad Terrestre (*Terrestrial Ecotoxicity*)

Estima la toxicidad en suelos terrestres causada por sustancias químicas y se expresa en equivalentes de diclorobenceno (1,4-DCB).

10. Ecotoxicidad de Agua Dulce (*Freshwater Ecotoxicity*)

Valora la toxicidad en cuerpos de agua dulce causada por sustancias químicas, medida en equivalentes de diclorobenceno (1,4-DCB).

11. Ecotoxicidad Marina (*Marine Ecotoxicity*)

Similar a la anterior mide la toxicidad en cuerpos de agua (marina en este caso) causada por sustancias químicas, medida en equivalentes de diclorobenceno (1,4-DCB).

12. Radiación Ionizante (*Ionising Radiation*)

Evalúa el impacto de la radiación ionizante liberada al ambiente, proveniente de fuentes naturales y humanas y su unidad es el kBq Co-60-equivalente.

13. Degradación de la Calidad del Suelo (*Agricultural Land Occupation*)

Mide el uso de tierras agrícolas y su impacto en la pérdida de biodiversidad y la calidad del suelo y se expresa en m²*a (metros cuadrados-año).

14. Transformación de la Tierra (*Urban Land Occupation*)

Estima el uso de tierras para urbanización y su impacto en la pérdida de biodiversidad y la calidad del suelo y se expresa igual que la ocupación de tierra agrícola en m²*a.

15. Transformación del suelo natural (*Natural Land transformation*)

Estima la cantidad de suelo transformado para la utilización en campos de cultivo o en el procedimiento evaluado. Su unidad utilizada es el m².

16. Escasez de Agua (*Water Depletion*)

Mide el uso y agotamiento de recursos hídricos y se expresa en metros cúbicos (m³) de este líquido.

17. Degradación de Recursos Minerales (*Metal Depletion*)

Evalúa el agotamiento de recursos minerales, medido en kg Fe-equivalente.

18. Degradación de Recursos Fósiles (*Fossil Depletion*)

Mide el agotamiento de recursos fósiles, medido en kg de petróleo crudo equivalentes.

Estos *midpoints* permiten una evaluación detallada y cuantitativa de los diversos impactos ambientales que pueden ser causados por actividades humanas y productos a lo largo de su ciclo de vida, el *software* también los agrupa en los mencionados *endpoints*. Que son tres y se muestran a continuación:

1. Daños a la Salud Humana (*Human Health*)

Este *endpoint* mide la carga de enfermedad en términos de años de vida ajustados por discapacidad (DALY). Los DALY combinan tanto los años de vida perdidos debido a mortalidad prematura como los años vividos con discapacidad debido a enfermedades. Incluye los impactos de la contaminación del aire, la toxicidad humana, la radiación ionizante, la formación de ozono troposférico, el cambio climático, y la depleción de la capa de ozono. Unidades: Disability-Adjusted Life Years (DALY)

2. Daños a la Calidad del Ecosistema (*Ecosystems*)

Este *endpoint* mide el impacto sobre la biodiversidad en términos de la pérdida de especies a lo largo del tiempo. Expresa los daños en términos de "especies por año", lo que representa la extinción de especies a lo largo de un año. Incluye los impactos de la acidificación, eutrofización, toxicidad ecológica, cambio climático, y la transformación y ocupación del uso del suelo. Unidades: Species.yr (Especies por año)

3. Agotamiento de Recursos (*Resources*)

Este *endpoint* mide el impacto económico debido al agotamiento de recursos naturales. Se expresa en términos de dólares estadounidenses (USD) ajustados a valores del año 2013. Considera el costo adicional de extraer recursos menos accesibles en el futuro debido al agotamiento de los recursos actuales. Incluye la pérdida de recursos minerales, fósiles e hídricos. Se mide en USD2013 (dólares estadounidenses de 2013)

Evaluación de impactos

En primer lugar, se analizan los procesos del ciclo que comparten las dos alternativas. Estos son la producción de manzana en finca, su transporte a llagar y el proceso de producción de la sidra en el llagar.

4.5.1 Producción de manzana en finca

El análisis de la producción de manzana se muestra en la figura 25.

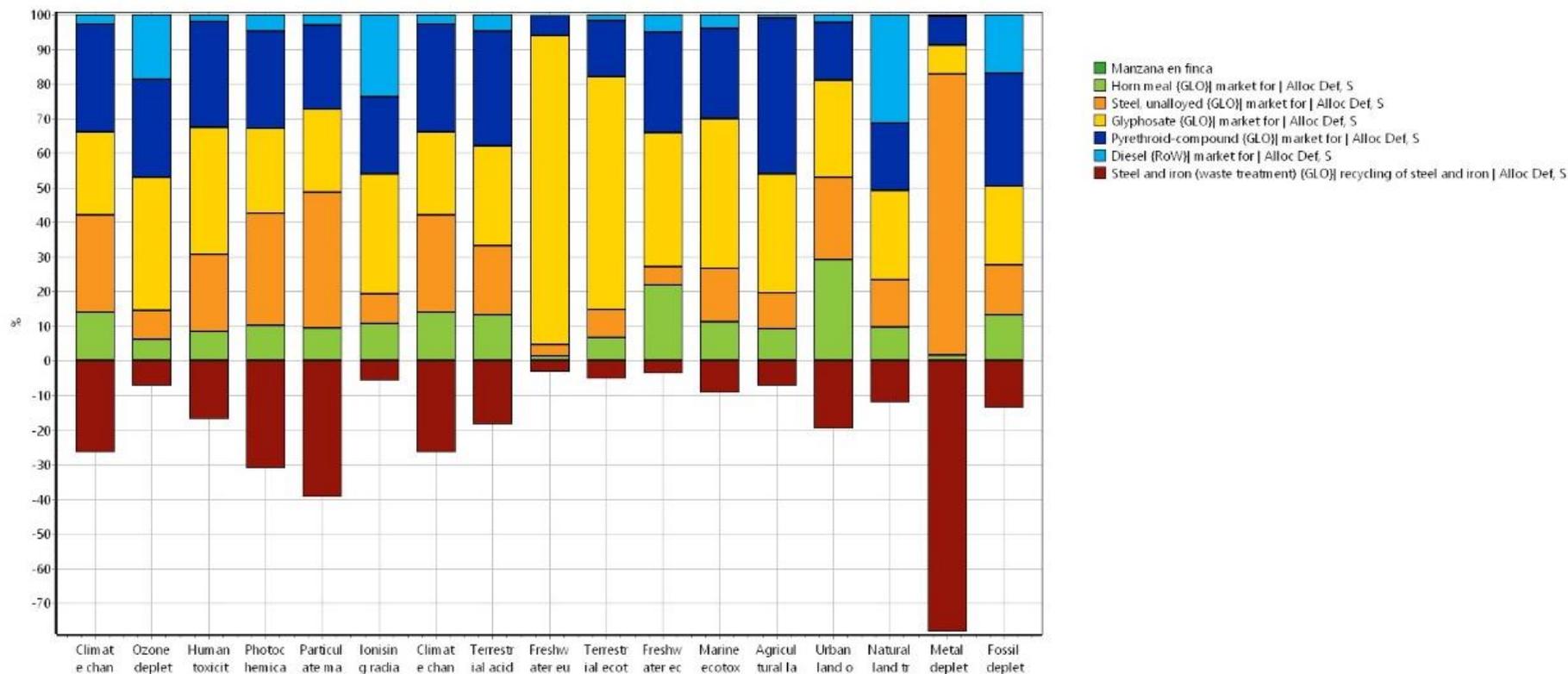


Figura 25. Caracterización de impactos medioambientales asociados a la producción de manzana en finca. ReCiPe Endpoints H/H

Como puede observarse el reciclado del acero de las estacas utilizadas como guía para los árboles compensa en un amplio porcentaje (en torno a un 90%) los impactos de su utilización.

Además, destaca la gran relevancia que tiene el herbicida en la eutrofización de las aguas (un 92%) y en la ecotoxicidad terrestre (70,8%).

Por otro lado, el insecticida mantiene unos impactos relativos constantes (35-40%) en la mayoría de categorías, destacando su poca relevancia en la eutrofización hídrica y su alta relevancia en ocupación de tierras con un 48,8% de los impactos.

Por último, el fertilizante y el gasóleo utilizados en esta fase no son relativamente importantes en cuanto a impactos, pero si destacan los impactos del fertilizante en Transformación de tierra urbana (36,2%) y el diésel en las categorías de Transformación de suelo natural (34,8%) y radiación ionizante (25,3%).

4.5.2 Transporte a lagar

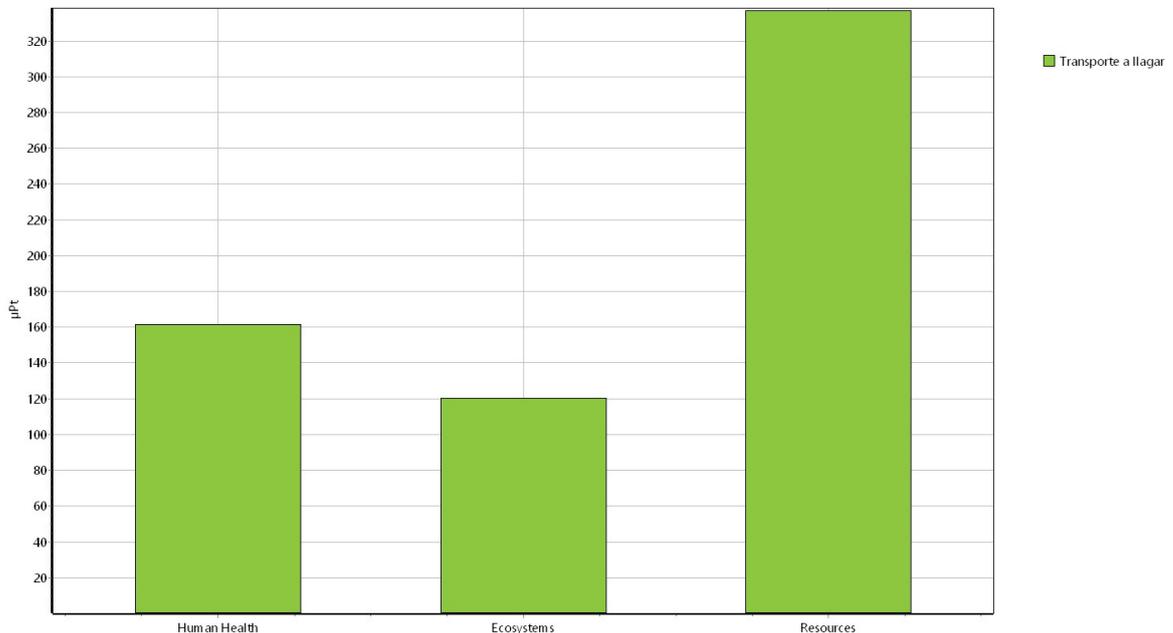


Figura 26. Ponderación de impactos medioambientales asociados al transporte a lagar.
ReCiPe *Endpoints* H/H

En este apartado es importante resaltar (como se verá más adelante) que los impactos del transporte de las manzanas al lagar y de la sidra a los puntos de venta y fin de ciclo no es demasiado relevante en el total de impactos medioambientales que produce el ciclo de vida completo de la sidra.

Sin embargo, si se debe mencionar que este es el perfil habitual que muestra el impacto de la utilización de gasóleo en los procesos siendo principalmente relevante en el agotamiento de recursos (lógicamente al tratarse de extracción de un combustible fósil como el petróleo).

En la categoría de impacto en la salud humana destaca su influencia en el cambio climático y en la emisión de partículas a la atmósfera.

Y finalmente en la categoría de ecosistemas el impacto más importante es el que estos sufren debido a su alteración por las variaciones del clima debidos a la subida de la temperatura.

4.5.3 Producción de sidra en lagar

En la figura 27 del proceso de producción de sidra aparecen varios aspectos a destacar. El primer punto a mencionar es que esta gráfica incluye los impactos de la producción de manzana en finca para que de esta manera se puedan valorar los impactos del apartado anterior con respecto a este. Como vemos la producción de manzana no representa un alto porcentaje de los impactos en la mayoría de categorías (aproximadamente del 10%) con la excepción de dos de ellos, la eutrofización de agua donde supone un 37,6% y ecotoxicidad terrestre con un 25,8% de los impactos (debido principalmente a los impactos producidos por el herbicida como se ha mostrado anteriormente).

La utilización del corcho apenas produce impactos exceptuando los que implican las plantaciones de alcornoque de donde se extrae, que suman hasta un 61,9% de los impactos medioambientales de ocupación de tierra agrícola.

Junto con la electricidad, que se comenta a continuación, el uso de vidrio es el elemento que más impacto conlleva en la producción de sidra en el lagar (esta es una de las premisas más relevantes para el desarrollo de este estudio ya que su correcta reutilización o reciclaje supone una gran eliminación de estos impactos producidos por la fabricación y uso de las botellas). Sus impactos más relevantes se producen en la categoría de eutrofización de agua dulce (47,8%), toxicidad humana (63,6%), ecotoxicidad de ambos tipos de agua (53,7 y 69,1%) y pérdida de metales (70%). Estos impactos tan acusados son debidos al proceso de extracción y producción de vidrio que emite diversos contaminantes que repercuten en el medio ambiente de manera notoria.

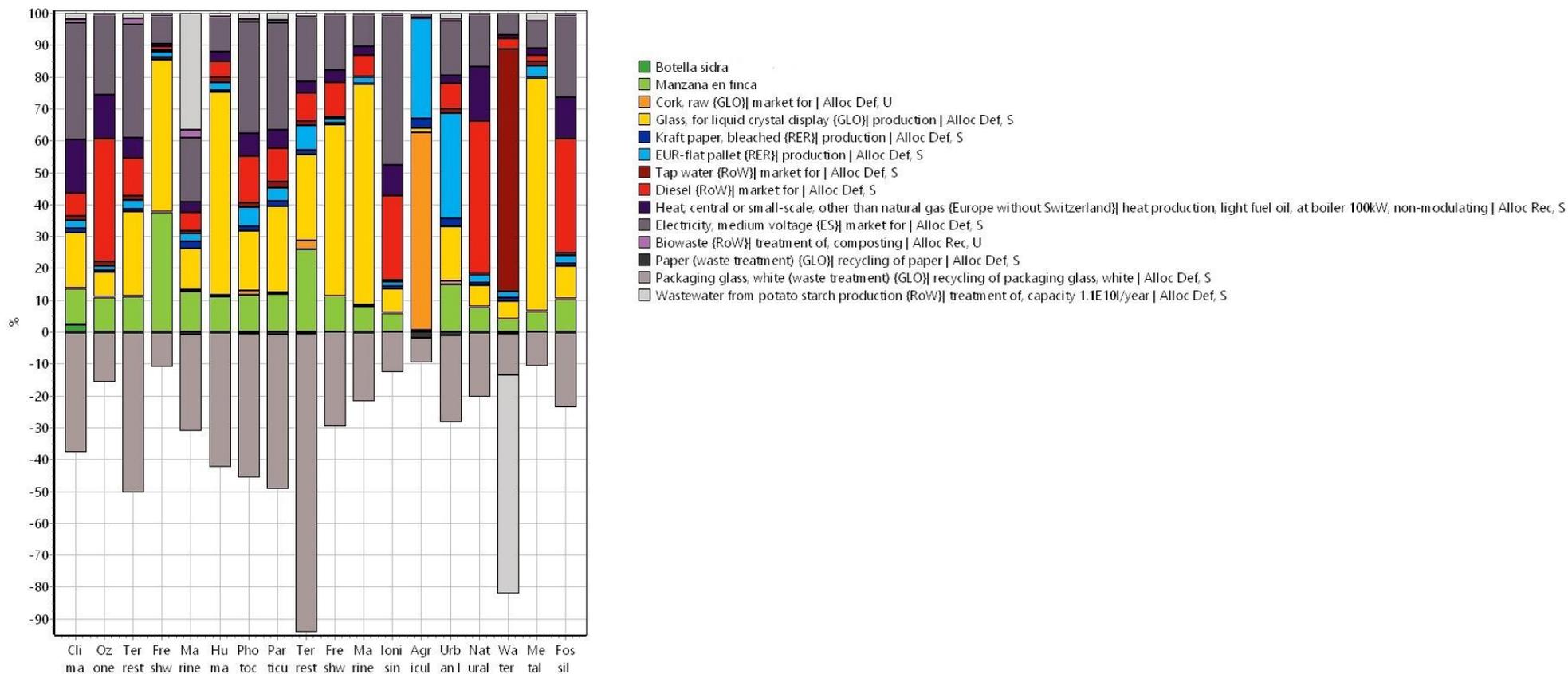


Figura 27. Caracterización de impactos medioambientales asociados a la producción de sidra natural en lagar. ReCiPe *Midpoints* H/H

Por otro lado, el gráfico muestra que el reciclado de este vidrio evita gran parte de estos impactos (aquellos que están relacionados con la extracción de la materia prima: arena de sílice, carbonato de sodio y piedra caliza).

La etiqueta de papel suma impactos muy poco relevantes donde solo destaca levemente su participación en un 3,3% de los impactos de utilización de suelo agrícola y un 2,3% de utilización de suelo urbano.

Los palets al ser de madera participan en las mismas categorías de impacto (utilización de suelo agrícola y urbano) pero con mayor relevancia siendo esta de un 31,4 y 33,2% respectivamente.

El agua utilizada en el proceso tiene relevancia como es lógico en la categoría de *water depletion* con un 75,8% de los impactos, pero estos son compensados por su reutilización que evita el 69,7% de los impactos totales en esta categoría.

De la misma manera que veíamos en el subapartado anterior el uso de gasoil afecta a los *midpoints* de utilización de combustibles fósiles, transformación de espacios naturales, emisión de radiación ionizante, capa de ozono y cambio climático con porcentajes que oscilan entre el 26 y el 48%

La producción de calor afecta los parámetros relacionados con el cambio climático: la propia categoría de cambio climático, transformación de ecosistemas y pérdida de ozono en porcentajes de entre el 11 y el 14%.

Y finalmente, el último elemento a destacar es la utilización de electricidad que implica un porcentaje importante de los impactos medioambientales de la mayoría de categorías, acumulando porcentajes de entre el 10 y el 47% siendo los impactos más notorios los producidos en emisión de radiación ionizante (46,8%) y en cambio climático, acidificación terrestre, oxidación fotoquímica y formación de partículas (33-37%).

4.5.4 Impactos de la alternativa de supermercado

En la figura 28 se muestran los impactos relativos en el ciclo de todas las fases del ciclo para la alternativa de consumo minorista.

Se puede observar que la producción de manzana es responsable de impactos destacables en ecotoxicidad terrestre y eutrofización de agua, 25,6 y 28,7% (recordando lo mencionado anteriormente, este impacto es principalmente debido al uso de herbicidas).

Los impactos correspondientes al transporte no son demasiado destacados, si cabe mencionar la relevancia del transporte a supermercado en ecotoxicidad terrestre debido al uso de combustibles fósiles.

La compensación de más del 70% de los impactos de transformación de espacios naturales es debida al reciclado de vidrio al final del ciclo.

Finalmente, destacar que la mayoría de impactos corresponden a la producción de la botella de sidra en el lagar, destacando que casi el 100% de impactos sobre la tierra agrícola vienen de la utilización del corcho y los palets de madera.

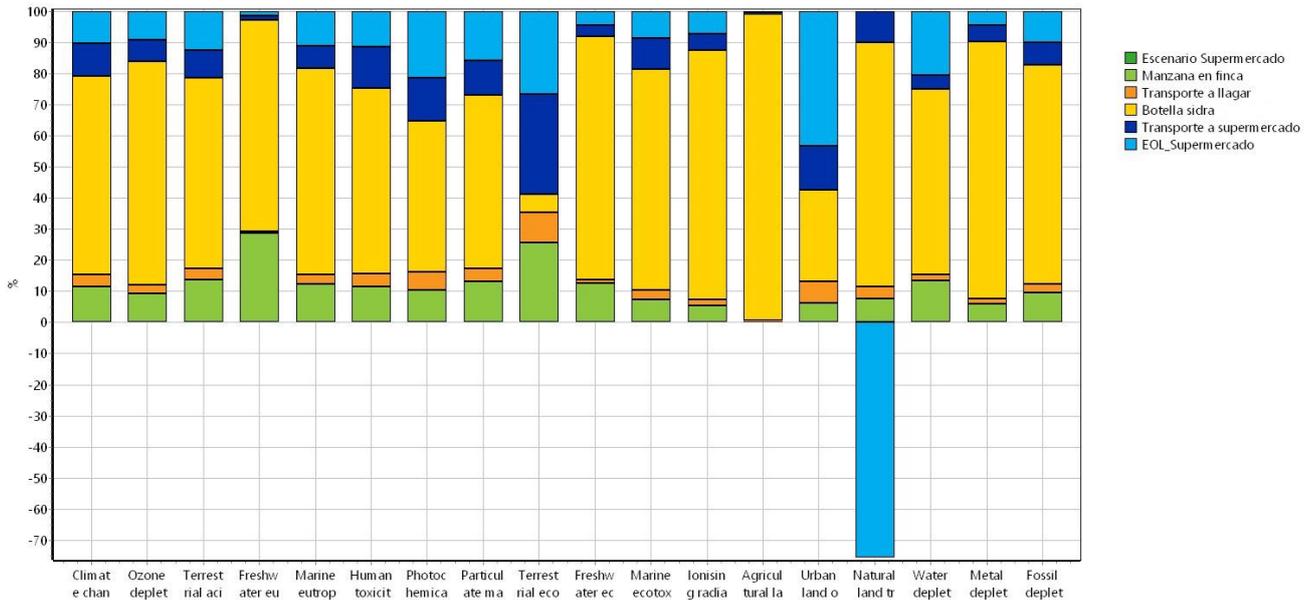


Figura 28. Caracterización de impactos medioambientales asociados a la alternativa de consumo en supermercado. ReCiPe *midpoints* H/H

En las figuras 29 y 30 se puede observar una normalización de estos mismos impactos. En la primera de ellas destaca que el impacto medioambiental sobre los ecosistemas naturales es mucho más alto que los demás pero este se ve compensado por el reciclado del vidrio.

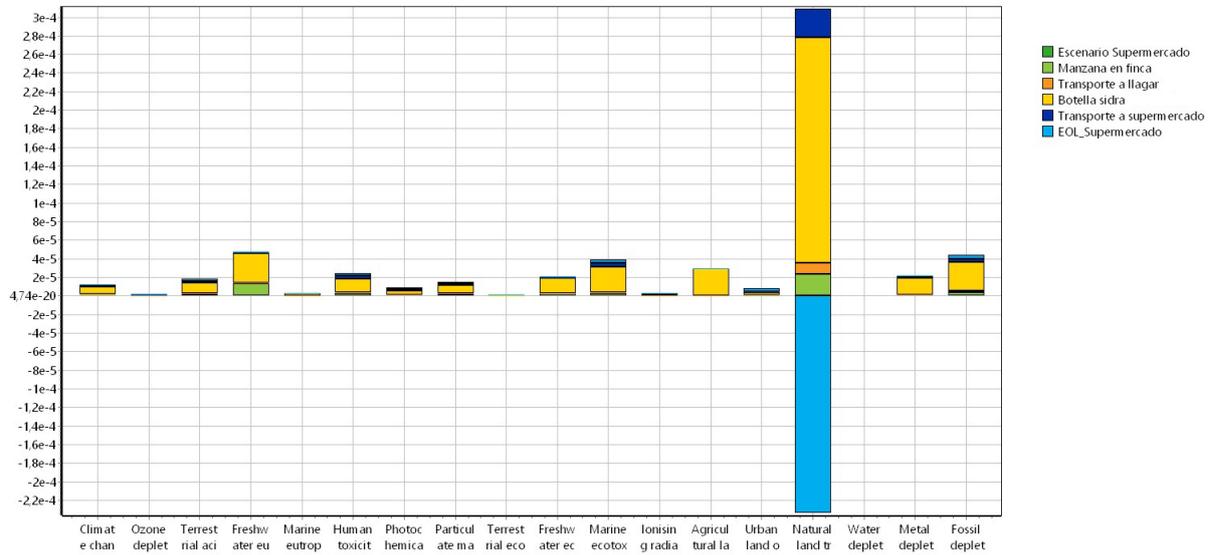


Figura 29. Normalización de impactos medioambientales asociados a la alternativa de consumo en supermercado. ReCiPe *midpoints* H/H

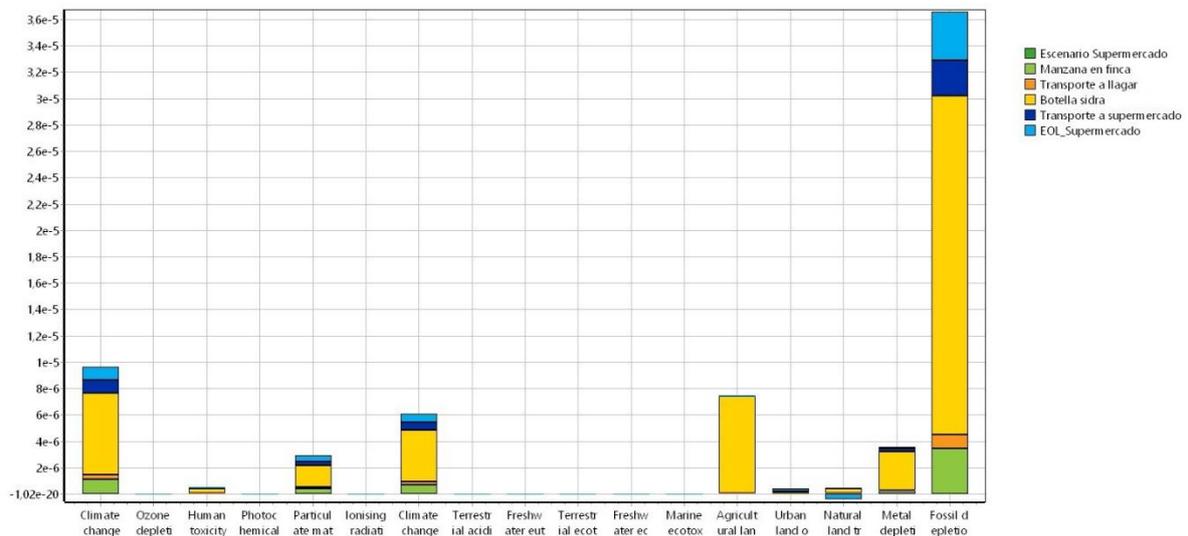


Figura 30. Normalización de impactos medioambientales asociados a la alternativa de consumo en supermercado tras el balance del reciclado de vidrio. ReCiPe *endpoints* H/H

La figura 30 expresa categorías similares, pero ya expresadas en unidades de *endpoints*, DALYs, Species.yr y dólares (\$). Como podemos observar, una vez compensada la transformación del medio natural, es la utilización de combustibles fósiles la categoría que más impactos tiene con una importancia de más de 3,5 con respecto a la que se encuentra en segunda posición. La siguen las categorías de cambio climático, utilización de tierra agrícola y formación de partículas. Estos resultados son consecuentes con lo visto anteriormente donde la utilización de energía, combustibles fósiles etc. tenían una relevancia alta en los procesos, por lo que aquellas categorías de impacto a las que más afectan se ven destacadas.

La figura 31 agrupa estos *endpoints* en las tres categorías mencionadas y como ya se podía intuir en figuras anteriores es el proceso de elaboración de la sidra el responsable de la mayoría de los impactos acumulando un 72,8% de estos.

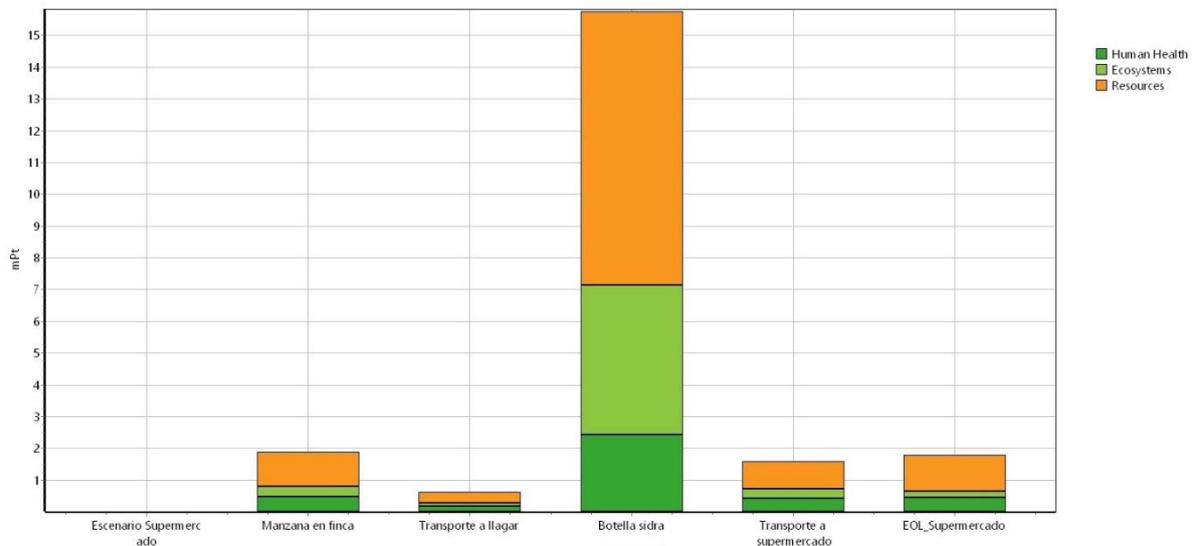


Figura 31. Acumulado de impactos medioambientales asociados a la alternativa de consumo en supermercado. ReCiPe *endpoints* H/H

4.5.5 Impactos de la alternativa de sidrería

En cuanto a la alternativa de consumo en sidrería, en la figura 32 destaca principalmente el impacto del uso de agua en la reutilización de las botellas que se emplea en este proceso, siendo por tanto clave en la pérdida de agua (57,6%). Más adelante, en el apartado de comparación entre alternativas se estudia si este mayor uso de agua y reutilización de la botella beneficia o perjudica a la generación de impactos en el total del ciclo.

El resto de fases del ciclo sigue una distribución similar a lo visto para la alternativa en supermercado. Teniendo la producción de manzana impactos relevantes en Ecotoxicidad terrestre y Eutrofización de las aguas debido a los fitosanitarios.

De igual manera, se constata que la producción de la sidra lleva asociada la mayoría de impactos (sobre todo en ocupación de tierra agrícola por los mencionados corchos y palets).

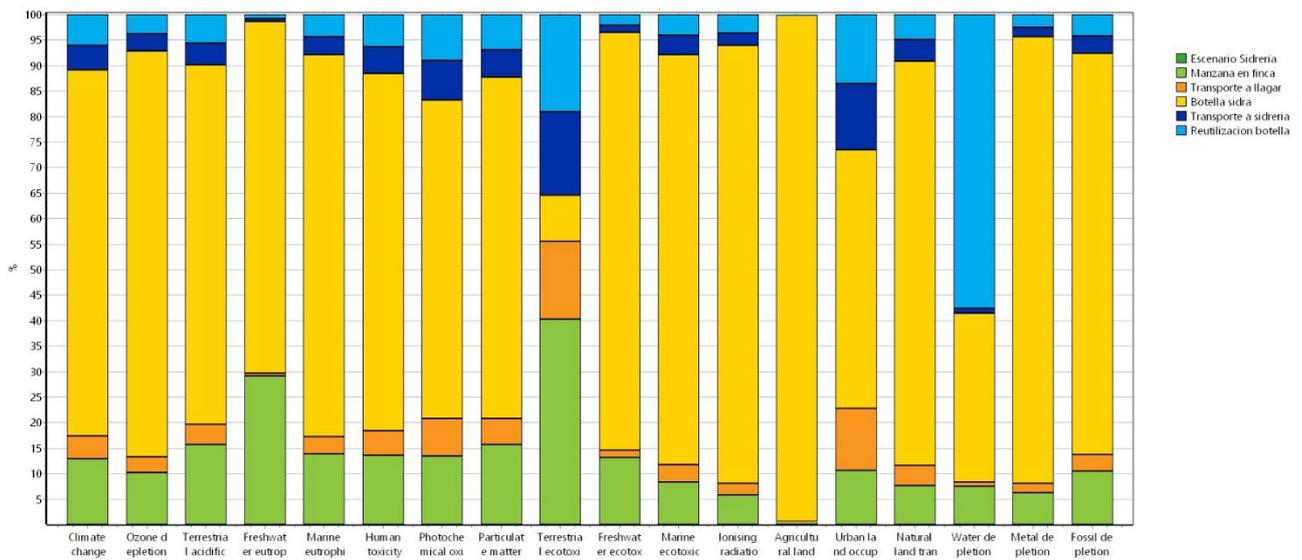


Figura 32. Caracterización de impactos medioambientales asociados a la alternativa de consumo en sidrería. ReCiPe midpoints H/H

Tras la normalización de los datos en esta alternativa (figura 33) y su agregado en las tres categorías de *endpoints* (figura 34) se muestra una distribución de los impactos en sidrería similar a la observada en la alternativa de supermercado. Siendo la producción de la sidra en lagar el responsable del 79,8% de los impactos, ligeramente más alta debido a la asunción ya comentada de que el transporte de la sidra a los lagares y establecimientos hosteleros es más sencilla e impacta menos que la distribución a tiendas propias. Y siendo estos impactos de la producción debidos en su mayoría a la utilización de electricidad y combustibles fósiles como se ha mencionado anteriormente. Además, se debe mencionar que nuevamente la categoría de recursos tiene mayor peso debido principalmente a los impactos relacionados con la depleción o pérdida de combustibles fósiles que son agrupados en este *endpoint*.

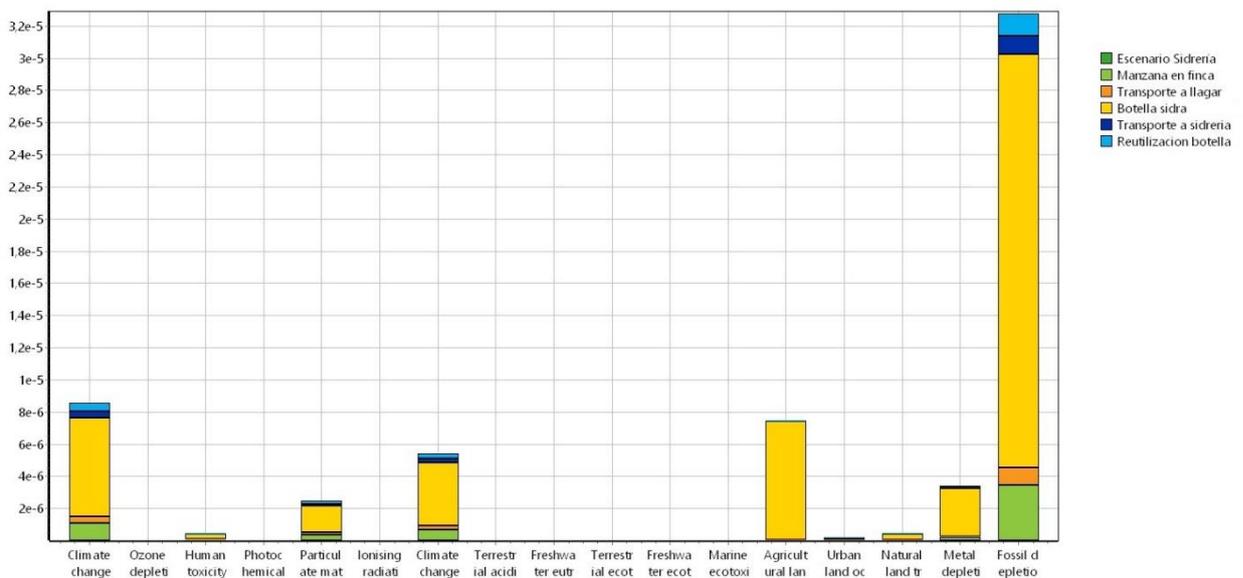
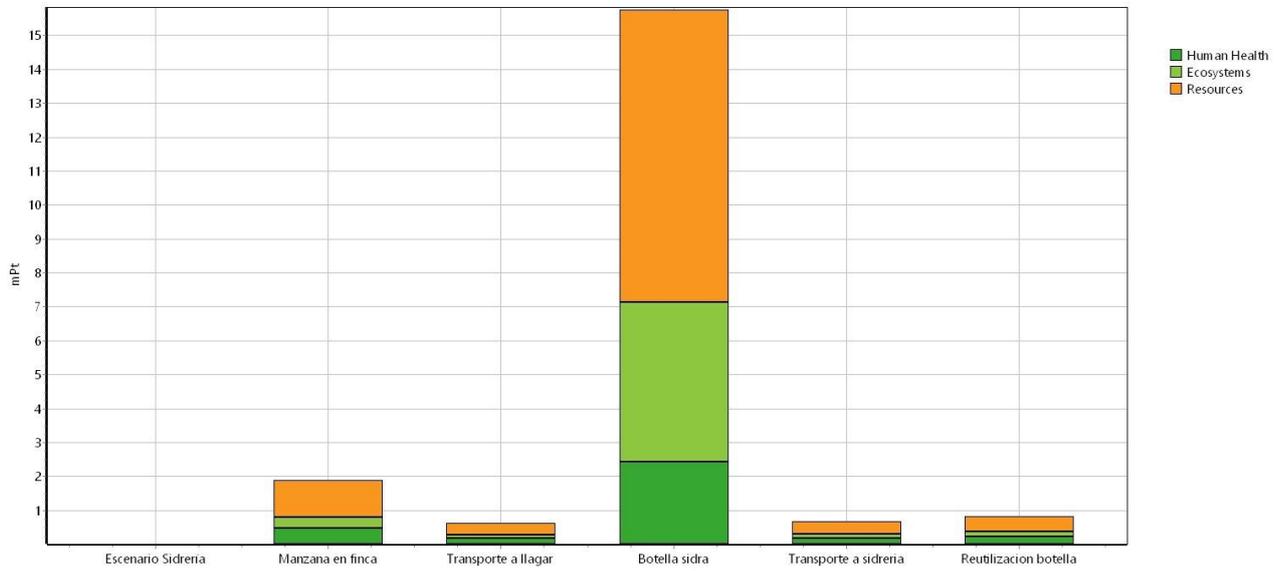


Figura 33. Normalización de impactos medioambientales asociados a la alternativa de consumo en sidrería. ReCiPe *endpoints* H/H



Analizando 1 p 'Escenario Sidreria'; Método: ReCiPe Endpoint (H) V1.12 / Europe ReCiPe H/H / Puntuación única / Excluyendo emisiones a largo plazo

Figura 34. Acumulado de impactos medioambientales asociados a la alternativa de consumo en sidrería.
ReCiPe endpoints H/H

5. Comparación de Alternativas

5.1 Comparativa de impactos relativos

Una vez evaluado y comentado cada uno de los ciclos de vida por separado se procede a realizar una de los objetivos principales de este trabajo que es la comparación entre las dos alternativas analizadas.

La figura 35 muestra la comparativa de ambos ciclos de vida respecto al impacto medioambiental en los 18 *midpoints* evaluados.

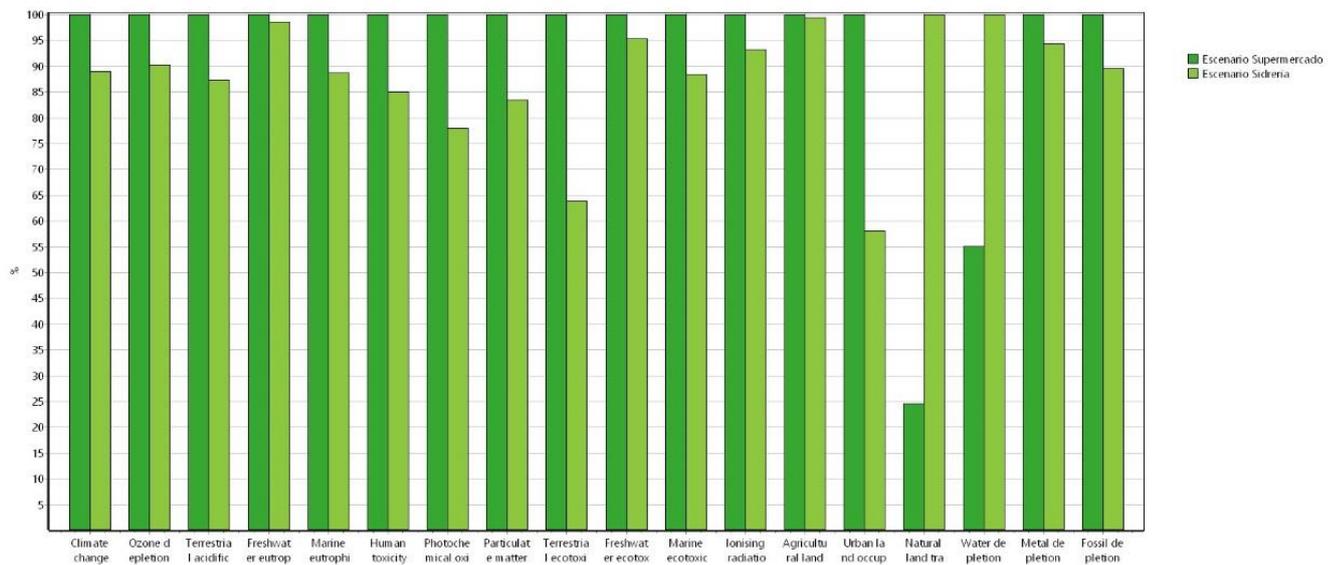


Figura 35. Comparación de impactos relativos para ambas alternativas. ReCiPe *Midpoints H/H*

Antes de comparar los impactos debemos establecer las diferencias entre los procesos que nos llevan a la obtención de estos datos. Cabe recordar que en líneas generales ambos procesos son idénticos en las fases de cultivo, transporte de la manzana a lagar y producción de la sidra exceptuando que el escenario de supermercado conlleva algo más de gasto de gasóleo en el transporte (aunque se ha comprobado que no tiene gran relevancia en el cómputo total del proceso) y principalmente que el escenario de sidrería utiliza más agua para reutilizar las botellas directamente mientras que el escenario de supermercado solamente recicla (no reutiliza) el vidrio en un 85% por lo que se deben sumar impactos de fabricación de nuevas botellas y de extracción de ese 15% de vidrio que no es reciclado.

Con estos conceptos ya aclarados en la figura 35 vemos que para 16 de las 18 categorías la alternativa de venta en supermercado acumula más impactos que la de sidrería, siendo estos de media un 10-15% superiores. Destacan la ecotoxicidad terrestre donde la alternativa de sidrería solo produce un 63,8% de los impactos y la ocupación de terreno urbano con un 58,1%. Esto es explicado principalmente por los contaminantes y terreno ocupado para la extracción y producción de nuevas botellas, procesos que se evitan a través de la reutilización de las botellas en sidrería.

Cabe mencionar las similitudes en los impactos de las categorías relacionadas con ocupación de tierra agrícola y eutrofización de las aguas. Esto es debido a que la amplia mayoría de los impactos de estas categorías son producidos en fases del ciclo de vida que comparten ambas alternativas como el cultivo de la manzana y la producción en lagar.

Por último, se debe resaltar que la mayor utilización de agua en la alternativa de sidrería y hostelería conlleva la generación de mayores impactos ambientales en 2 de las 18 categorías, siendo estas “transformación de suelo natural” (con impactos 4 veces superiores en sidrería) y, como es lógico, la “pérdida de recursos hídricos” (acumulando 1,81 veces más impactos).

5.2 Comparativa de impactos totales

Ahora bien, la figura 35 solo mide los impactos relativos entre procesos, pero como hemos visto en las tablas de normalización hay categorías con mucho mayor peso en los impactos finales que otras, siendo estas las relacionadas con el uso de energía y combustibles fósiles como, cambio climático, pérdida de combustibles fósiles y emisión de partículas a la atmósfera. Así pues, en la figura 36, con las categorías ya “traducidas” a *endpoints* y evaluando “impactos totales” y no relativos, se observa que **la alternativa de consumo en sidrería produce solamente un 91,2% de impactos** en comparación al escenario de venta en supermercados. Es decir, el ciclo de vida del consumo en hostelería en este trabajo se muestra un 8,8% más sostenible medioambientalmente que el de venta minorista.

Recordemos que la categoría de *midpoint* de utilización de recursos hídricos forma parte del *endpoint* de recursos y a pesar de que esta contaba con más impactos en la alternativa de sidrería se ve superada por los impactos con respecto al uso de combustibles fósiles y metales que es superior en la alternativa de supermercado. Así pues, el ciclo de vida de la sidra en hostelería produce solo un 90% de impactos sobre los recursos con respecto a la venta minorista y un 87,6% de los impactos sobre la salud humana (impactos provenientes principalmente, como se ha mencionado, del cambio climático y la emisión de partículas a la atmósfera). Por último, en cuanto al *endpoint* de afectación a los ecosistemas ambos procesos si producen impactos más similares, resultando la alternativa de sidrería en un 96,5% de los impactos que produce la de supermercado.

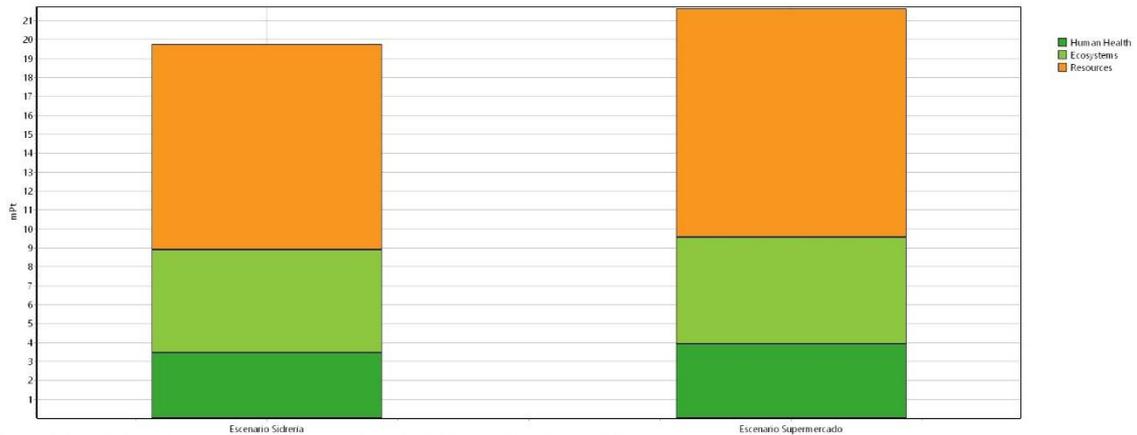


Figura 36. Comparación de impactos totales para ambas alternativas. ReCiPe Endpoints H/H

5.3 Análisis Complementarios

Finalmente, una vez realizada la comparación de impactos se procede a realizar un par de análisis adicionales. Por un lado, se muestra un estudio con el método de Montecarlo para evaluar estadísticamente si, en todos los casos posibles de impactos en el ciclo de vida, se mantiene estos resultados más positivos para la alternativa de sidrería. Y, por otro lado, se ejecuta un análisis de sensibilidad que mide como afectaría a los impactos totales un cambio en los hábitos de consumo hacia la compra de la sidra natural a través de supermercados y tiendas propias.

Método de Montecarlo

El método de Montecarlo es una técnica matemática y estadística utilizada para resolver problemas complejos a través de simulaciones aleatorias[51].

Este método se basa en la generación de un gran número de valores aleatorios para las variables de interés y en la observación de los resultados obtenidos. La idea principal es que, al considerar muchas posibles soluciones y analizar su comportamiento, se puede aproximar la solución óptima de un problema dado.

El nombre "Montecarlo" proviene del famoso distrito de casinos en Mónaco, reflejando la naturaleza aleatoria y probabilística del método, similar a los juegos de azar. Este enfoque se utiliza ampliamente en diversas áreas, como la física, la ingeniería, la economía, la informática y la investigación operativa, debido a su capacidad para abordar problemas que son difíciles de resolver mediante métodos deterministas tradicionales.

Para el caso de nuestro estudio, tras aplicar este método a las alternativas a evaluar, la figura 37 muestra que estadísticamente es muy probable que la alternativa de sidrería (alternativa B) siga estableciéndose como la que menos impactos genera en 16 de las 18 categorías de *midpoints*, mientras que en más de un 95% de las iteraciones la alternativa de supermercado (alternativa A) sigue siendo más favorable en las dos categorías de impactos relacionados con la utilización de recursos hídricos.

Como detalle, mencionar que solo en las categorías relacionadas con la ecotoxicidad (que si recordamos eran en las que ambas alternativas tenían impactos similares por depender del cultivo de manzana y la producción de sidra) es donde un porcentaje relevante (25%) de las iteraciones daría como resultado impactos más favorables para la alternativa de ventas en supermercado.

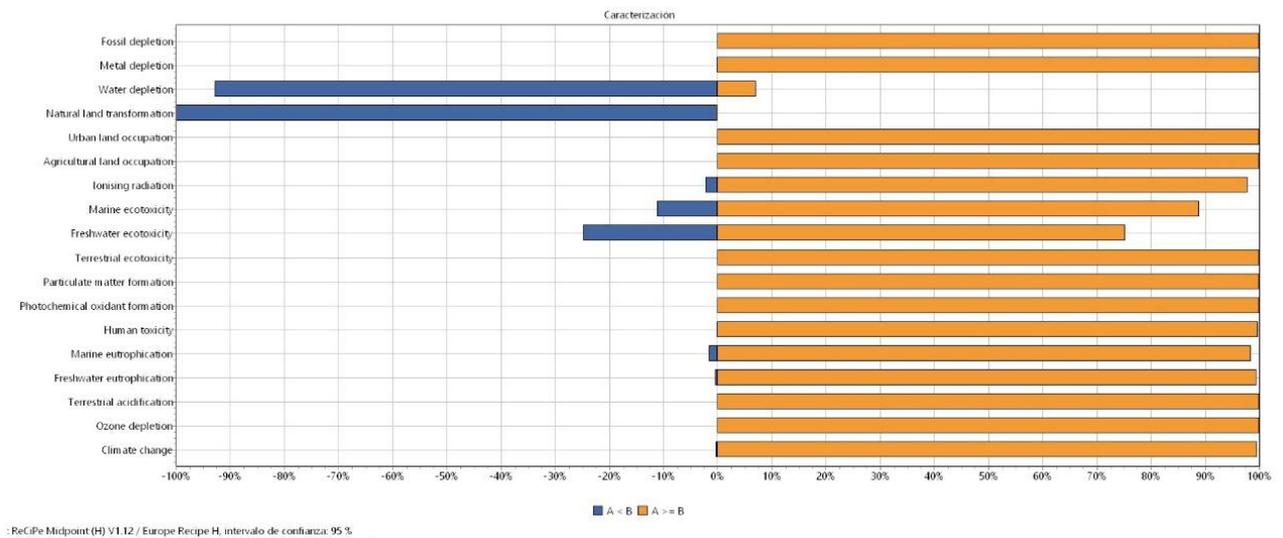


Figura 37. Análisis de incertidumbre con Método de Montecarlo para los *midpoints* de ambas alternativas.

Análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad en el Análisis del Ciclo de Vida (ACV) es una herramienta fundamental para evaluar cómo las variaciones en los parámetros de entrada pueden afectar los resultados del ACV. En el caso de la figura 38 se ha evaluado como afectaría un cambio en los hábitos de consumo si se pasase a consumir más sidra a través de la venta en supermercados en lugar de disfrutarla en hostelería y sidrerías. Esta situación es, por ejemplo, la que se dio debido a la pandemia sufrida por el COVID-19, donde a lo largo de los años 2020 y 2021 descendieron de manera muy marcada las reuniones en restaurantes y lugares públicos conllevando un cambio muy relevante en los patrones de consumo de todo tipo de bebidas.

Y no solamente se debe analizar la repercusión de estos cambios de hábitos por depender de eventos tan relevantes si no evaluarlo para establecer políticas locales, regionales y empresariales que fomenten los estilos de vida más beneficiosos para la región desde el punto de vista socioeconómico y, en el caso de este estudio, medioambiental.

Según la figura 38, como es lógico, cuanto más aumenta el consumo a través de supermercado y desciende el de sidrería más aumentan los impactos medioambientales. Concretamente, partiendo del caso del estudio donde la proporción de sidrería/supermercado es de 82%/18%, si esta pasa a ser de 70/30 los impactos aumentan en un 1,13%. A partir de ahí, y de manera prácticamente exacta cada 10 puntos de variación en el porcentaje, los impactos aumentan en un 1%.

A pesar de pueda parecer un porcentaje no muy elevado, recordemos que la venta y el consumo de sidra es uno de los principales motores socioeconómicos de Asturias por lo que cualquier variación en los impactos producidos por este sector afecta de manera muy notable al perfil de impactos y emisiones contaminantes de la región.

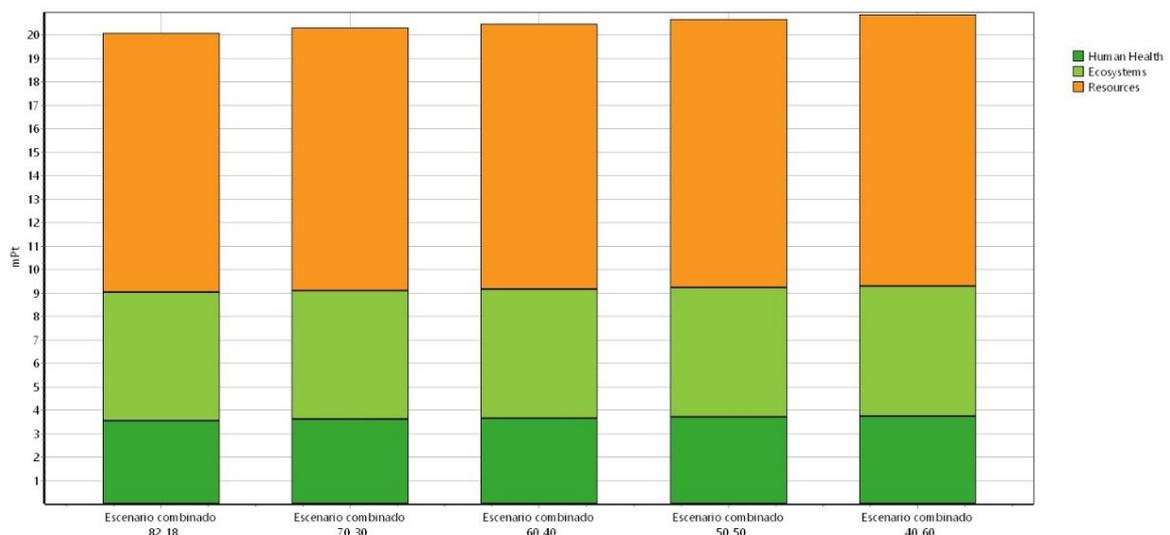


Figura 38. Análisis de sensibilidad para comparación de ambas alternativas de consumo

6. Conclusiones

El presente trabajo se ha desarrollado con la utilización del *software* SimaPro, apoyado en las bases de datos de Ecoinvent y Agri-footprint, y mediante la aplicación de la metodología ReCiPe. Esto ha permitido el análisis de ciclo de vida de la sidra natural a lo largo de todas las etapas del mismo. Se han evaluado los procesos de cultivo de la manzana, su transporte a los lagares o centros de producción de la sidra, la elaboración de esta bebida fermentada, su preparación y almacenamiento, el transporte a los lugares de venta y consumo y, finalmente, la gestión de los residuos producidos al final del ciclo.

Una vez realizado el análisis de ciclo de vida de las alternativas de consumo de sidra natural en Asturias los resultados del estudio muestran de manera notoria que el consumo en sidrería y otros establecimientos de hostelería implica en torno a un 9% menos de impactos medioambientales que su consumo a través de la venta en supermercados y tiendas propias.

Tras la evaluación de todo el ciclo de vida de la producción de sidra natural para sidrería se puede establecer que esta mejor actuación desde el punto de vista medioambiental viene derivada de la reutilización de las botellas de vidrio de la sidra que se produce tras su consumo.

Por otro lado, aunque es un proceso beneficioso en sí mismo, el reciclado de un 85% del vidrio proveniente de la venta en supermercados y tiendas propias no es suficiente para compensar el 15% de vidrio que se pierde y la necesidad de tener que producir nuevamente las botellas para su reintroducción en el ciclo de vida de la sidra.

Asimismo, es importante recordar que las conclusiones de este trabajo están centradas en la región y alcance concretos que se han analizado. Si se evalúan estos procesos de diferente manera o para otra región, los cambios en la ponderación de los impactos y su interpretación pueden variar notablemente. Por ejemplo, el consumo de agua en una región como Asturias no es demasiado relevante (de manera relativa) ya que este no es un bien escaso. Pero, a manera de ilustración, si estos mismos datos se obtienen o se deben interpretar en regiones donde el agua es un recurso clave y evitar su escasez es vital, las conclusiones pueden variar. Quizás, en esta situación, habría que valorar la menor utilización hídrica que tiene la alternativa de supermercado respecto a la de sidrería por encima de otras categorías como la ocupación de suelos urbanos o la alteración de tierras de cultivo.

En cuanto a la valoración de cada subproceso del ciclo, también es importante destacar que la fase de elaboración de la sidra en el lagar es, de manera notoria, el proceso que más relevancia tiene en la emisión de contaminantes y en la producción de impactos medioambientales con más de un 70% de los mismos.

Por último, se debe mencionar que, de los subprocesos desarrollados de manera similar en ambas alternativas son la utilización del corcho, fertilizantes y fitosanitarios, el empleo de combustibles fósiles y el uso de energía eléctrica los que conllevan la gran mayoría de impactos relevantes en las categorías intermedias (*midpoints*) y finales (*endpoints*).

Propuestas de estudios e iniciativas a futuro

Este tipo de estudios se puede complementar ampliando el alcance realizado, por ejemplo, con análisis de ciclos de vida donde también se incluya el consumo de sidra directamente de los barriles utilizando espichas o incluyendo otras variedades de sidra como la sidra achampanada.

De igual manera, se pueden elaborar estudios que comparen el ACV de la sidra en Asturias y sus hábitos de consumo con otras bebidas fermentadas como el vino y la cerveza. O ampliar el presente trabajo para que incluya todas las regiones donde se produce sidra en España.

También se pueden confeccionar trabajos donde se analice de manera cuantitativa, con un mayor índice de precisión, todos los procesos implicados que contribuyen a la huella de carbono de la sidra. Incluyendo, por ejemplo, los costes medioambientales de todos los elementos que participan en la extracción de materias primas, la construcción de infraestructuras o los impactos que provienen de la logística de elementos del ciclo que no se hayan incluido en este trabajo.

A la hora de promover iniciativas o propuestas para reducir los impactos en la producción de sidra asturiana se invita a centrarse en aquellos elementos que más contribuyen a los mismos. Estos son la utilización del corcho, de fitosanitarios y el uso de energía. Optimizar procesos energéticos, llevar a cabo propuestas para promover prácticas agrícolas que requieran menor uso de herbicidas y fomentar el reciclado de los corchos son algunas de las ideas que pueden ser valoradas.

Dentro de estas iniciativas también cabría incluir propuestas para aumentar el porcentaje de vidrio que es reciclado ya que, sólo con mejorar la proporción de este que llega hasta los centros de gestión de residuos ya se reducen de manera notable los impactos del consumo de sidra a través de supermercados y tiendas propias.

Ya para finalizar, en sintonía con las conclusiones de este estudio, y desde la perspectiva medioambiental, el fomento del consumo en sidrería y establecimientos hosteleros similares puede resultar beneficioso para la región, no solo como actividad a promover por su riqueza a nivel sociocultural y de entretenimiento, sino también desde el punto de vista medioambiental.

7. Referencias

- [1] IPCC. (2023). *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 184 pp., doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.
- [2] Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2020). *Guía práctica para el cálculo de la huella de carbono y para la elaboración de un plan de mejora de una organización*. Obtenido de: https://www.miteco.gob.es/content/dam/mitesco/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/guia_huella_carbono_tcm30-479093.pdf
- [3] Hannah Ritchie. (2020). *Sector by sector: where do global greenhouse gas emissions come from?* Obtenido de: OurWorldInData.org
- [4] Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC). (1993). *Guidelines for life-cycle assessment: A "code of practice"*.
- [5] Naciones Unidas. (2015). *Acuerdo de París*. Obtenido de: https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf
- [6] Departamento de Industria, Energía, Medio Ambiente y Clima. (2023). *COP28 informe final: resultados y conclusiones*.
- [7] Steffen, Will; Richardson, Katherine et al. (2015). *Planetary Boundaries: Guiding Human Development on a Changing Planet*. Science. 10.1126/science.1259855.
- [8] Azote; Stockholm Resilience Centre, Stockholm University. (2023). *The evolution of the planetary boundaries framework*. Licenced under CC BY-NC-ND 3.0
- [9] Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2020). *Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2021-2030*. Obtenido de: [miteco.gob.es](https://www.miteco.gob.es)
- [10] Naciones Unidas. (n.d.). *Objetivo 12: Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles*. Obtenido de: <https://sdgs.un.org/es/goals/goal12>
- [11] Fundación Ellen MacArthur. (n.d.). *The butterfly diagram*. Obtenido de: https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/The_Butterfly_Diagram.pdf
- [12] La Nueva España de Villaviciosa; Sidra de Asturias. (2022). *La sidra de calidad espalma en Villaviciosa*. Obtenido de: <https://www.lne.es/villaviciosa/2022/12/02/sidra-calidad-espalma-villaviciosa-record-79453005.html>
- [13] Consejo Regulador de la DOP Sidra de Asturias. (2023). *Memoria anual de actividades 2023*. Obtenido de: <https://sidradeasturias.es/memoria-anual/>
- [14] Sidra Castañón. (n.d.) *Llagar tradicional asturiano*. Obtenido de: <https://sidracastanon.com/>
- [15] Consejo Regulador de la DOP Sidra de Asturias.(n.d.). *Sidra natural*. Obtenido de: <https://sidradeasturias.es/sidra-natural/>
- [16] Consejo Regulador de la DOP Sidra de Asturias. (n.d.) *El escanciado*. Obtenido de: <https://sidradeasturias.es/el-escanciado/>

- [17] Club Asturiano de Calidad; CITAGRO; CETIEX (2013). *Proyecto AGROEVAL: Promoción de la Cultura de la Evaluación y Compensación de la Huella de Carbono en el Sector Agroalimentario*
- [18] Sidra Cortina. (n.d.). *¿Qué es la sidra de hielo?* Obtenido de: <https://www.sidracortina.com/que-es-la-sidra-de-hielo/>
- [19] Consejo Regulador de la DOP Sidra de Asturias. (n.d.). *Sidra de Asturias, Denominación de Origen Protegida*. Obtenido de: <https://sidradeasturias.es/>
- [20] Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea. (2012). *Reglamento (CE) 1151/2012 sobre los regímenes de calidad de los productos agrícolas y alimenticios*. Diario Oficial de la Unión Europea, L 343, 1-29.
- [21] Consejo Regulador de la DOP Sidra de Asturias. (n.d.). *El consejo regulador*. Obtenido de: <https://sidradeasturias.es/quienes-somos/>
- [22] Lanoyta; Fundación Wikimedia. (2019). *Español: Densidad de población por municipio en Asturias en 2018*. Obtenido de: https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:Asturias_Densidad-2018.png
- [23] Consejo Regulador de la DOP Sidra de Asturias. (n.d.). *Variedades*. Obtenido de: <https://sidradeasturias.es/variedades/>
- [24] Dapena de la Fuente, E., & Blázquez Noguero, M. D.; SERIDA. (2009). *Descripción de las variedades de manzana de la D.O.P. Sidra de Asturias*. Obtenido de: <http://www.serida.org/pdfs/4071.pdf>
- [25] ADICAP. (2015). *Cultivo de manzana de sidra*. Obtenido de: <https://www.adicap.com/sites/default/files/adicap/cooperaci%C3%B3n/Periurbanos/Ficha%20Manzana%20Sidra%2002.pdf>
- [26] Consejo Regulador de la DOP Sidra de Asturias. (n.d.). *Ciclo vital del manzano*. Obtenido de: <https://sidradeasturias.es/elementor-1573/>
- [27] Consejo Regulador de la DOP Sidra de Asturias. (n.d.). *Elaboración*. Obtenido de: <https://sidradeasturias.es/elaboracion/>
- [28] Cerespain; Merayo, P.; KOINECOMMERCE. (2024). *Elaboración de la Sidra*. Obtenido de: <https://koinecommerce.com/blog-cerespain/elaboracion-de-la-sidra/>
- [29] Fernández Garrido, S.; Patiño Menéndez, Y. (2021). *Análisis de ciclo de vida de un llagar tradicional asturiano*
- [30] ARGIA; Wikipedia. (2008). *Sagardo Garaia*. Obtenido de: <https://es.wikipedia.org/wiki/Sidra>
- [31] ADOBE STOCK. (n.d.). *Antiguo y tradicional lagar de producción de sidra en Asturias*. Obtenido de: <https://stock.adobe.com/es/images/antiguo-y-tradicional-lagar-de-produccion-de-sidra-en-asturias/443129740>
- [32] Lagares Moriyon (n.d.). *Lagar hidráulico con columna abatible de acero inoxidable (vista frontal)*. Obtenido de: <https://lagaresmoriyon.es/hidraulicos-acero.html>
- [33] Haciendo Sidra. (2019). *El proceso de fermentación en la elaboración de la sidra*. Obtenido de: <https://www.haciendosidra.com/el-proceso-de-fermentacion-en-la-elaboracion-de-la-sidra/>
- [34] Martínez Argüelles, E.; Sidra Trabanco; (2005). *Elaboración de sidra*. Obtenido de: <https://frutales.wordpress.com/wp-content/uploads/2011/01/si-02-elaboracion3b3n-artesanal-de-sidra-natural.pdf>

- [35] Oddone, S.; Capacitaciones El Molino (2022). *Elaboración de sidra artesanal*. Modificado y obtenido de: <https://capacitacioneselmolino.com/wp-content/uploads/2022/04/Elaboracion-Artesanal-de-Sidra.pdf>
- [36] Consejo Regulador de la DOP Sidra de Asturias. (2022). *Presentación de datos 2022*. Obtenido de: <https://sidradeasturias.es/presentacion-de-datos-2022/>
- [37] Consejo Regulador de la DOP Sidra de Asturias. (2022). *Economía Circular – Recorchu*. Obtenido de: <https://sidradeasturias.es/economia-circular-recorchu/>
- [38] Organización Internacional de Normalización (ISO). (2006). *ISO 14040:2006 Gestión ambiental - Análisis de ciclo de vida - Principios y marco*.
- [39] ECOLAN. (n.d.). *Análisis del Ciclo de Vida*. Obtenido de: <https://www.ecolaningenieria.com/es/servicios-y-proyectos-ambientales/servicios-ingenieria-ambiental/analisis-del-ciclo-de-vida.html>
- [40] GISCI-UPM. (2022). *Análisis del ciclo de vida (ACV)*. Obtenido de: <https://blogs.upm.es/gisci/2022/05/19/analisis-del-ciclo-de-vida-acv-una-guia-completa-de-los-acv/>
- [41] Bjørn, Anders & Owsianiak, Mikołaj & Molin, Christine & Hauschild, Michael. (2018). *LCA history*. 10.1007/978-3-319-56475-3_3.
- [42] Frankl, Dr & Rubik, Frieder. (2000). *Application of LCA in general*. 10.1007/978-3-662-04127-7_3.
- [43] UNFCCC. (2000). *Climate Change Information Sheet 17. The international response to climate change: A history*. Obtenido de: <https://unfccc.int/cop3/fccc/climate/fact17.htm>
- [44] SETAC. (1993). *Guidelines for Life-Cycle Assessment: A 'Code of Practice' from the workshop held at Sesimbra, Portugal, 31 March Jan 1*. PMID: 24234150
- [45] Wolf, M., Chomkhamsri, K., Brandao, M. et al.; Life Cycle Data System (ILCD). (2010). *Handbook - General guide for Life Cycle Assessment - Detailed guidance*. EUR 24708 EN. JRC48157
- [46] Jensen, Allan & J, Elkington & Christiansen, Kim & L, Hoffmann & BT, Møller & Schmidt, Anders & F, van. (1998). *Life cycle assessment (LCA) - a guide to approaches, experiences and information sources*.
- [47] Ihobe; Gobierno del País Vasco. (2009). *Análisis de ciclo de vida y huella de carbono. Dos maneras de medir el impacto ambiental de un producto*.
- [48] Kalita, Nayanita & Shaik, Sofia Rani & Muthukumar, P. (2022). *Comparative study of Mixed-Mode Type and Direct Mode Type Solar Dryers using Life Cycle Assessment*. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. 53. 102680. 10.1016/j.seta.2022.102680
- [49] SimaPro (n.d.). *Agri-footprint database*. Obtenido de: <https://simapro.com/products/agri-footprint-database/>
- [50] Campoastur (n.d.). *Información de la cooperativa*. Obtenido de: <https://campoastur.es/>
- [51] Vázquez, Patricia & Ciocci Brazzano, L. & Veiras, Francisco & Sorichetti, Patricio. (2024). *Optimisation of photodetectors design: comparison between Montecarlo and Genetic Algorithms*. 10.48550/arXiv.2403.14913.