Universidad de Oviedo

Universidad de Oviedo EPI GIJÓN

ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA DE GIJÓN.

GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA INDUSTRIAL

ÁREA DE TECNOLOGÍAS DEL MEDIOAMBIENTE

Impactos medioambientales derivados de la producción de IGP "Faba Asturiana". Huella de Carbono

Dña. FERNÁNDEZ RODRÍGUEZ, CECILIA
TUTORA: Dña. LACA PÉREZ, AMANDA

FECHA: JULIO, 2022

Índice

RESUMEN 3

ABSTRACT 4

LISTA DE FIGURAS 5

LISTA DE TABLAS 8

LISTA DE ABREVIATURAS 10

1. Introducción 13

2. El sector agrícola en Europa, en España y en Asturias 16

2.1. Denominaciones de Origen e Indicaciones Geográficas Protegidas 23

2.1.1. IGP "Faba Asturiana" 25

3. Herramientas de gestión medioambiental 31

3.1. Análisis de Ciclo de Vida 32

3.2. Normativa del ACV 40

3.3. Indicadores ambientales: Huella de Carbono 41

4. El ACV y la Huella de Carbono en el sector alimentario 45

5. Caso de estudio: plantación "Finca El Ribeiro" 48

5.1. Descripción de la plantación objeto de estudio 48

5.2. Metodología de ACV 51

5.2.1. Definición de objetivos y alcance 51

5.2.2. Análisis de inventario 52

5.3. Resultados 67

5.3.1. Impactos ambientales 67

5.3.2. Huella de Carbono 73

5.3.3. Alternativa de mejora 76

6. Conclusiones 86

7. Bibliografía 87

8. Anexos..... 94

8.1. Valoración económica 94

8.2. Cuestionarios 95

RESUMEN

El incremento de la producción de alimentos debido al crecimiento que está experimentando la población a nivel mundial trae consigo importantes consecuencias ambientales, como el calentamiento global y el agotamiento de los recursos naturales. El sector agrícola es uno de los sectores que mayores impactos ambientales genera. Por ello, en el contexto actual, el empleo de herramientas de gestión ambiental, tales como el Análisis de Ciclo de Vida (ACV), que permitan la cuantificación de dichos impactos resulta un aspecto clave. El ACV permite evaluar los impactos ambientales asociados a un proceso o producto con el fin de proponer alternativas de mejora para reducir dichos impactos.

En el presente trabajo se ha llevado a cabo una evaluación de los impactos ambientales derivados de la producción de IGP "Faba Asturiana". Para ello se ha empleado la metodología del ACV tomando como caso de estudio la plantación "Finca El Ribeiro". El alcance del estudio sigue la perspectiva "de la cuna a la puerta", incluyendo desde la extracción y el acondicionamiento de las materias primas hasta el proceso productivo de la fabas en la plantación. Para llevar a cabo el análisis se ha utilizado el software SimaPro V.8. El método seleccionado para cuantificar los impactos ambientales fue ReCiPe 2016 Midpoint (H) V1.01, mientras que la metodología Greenhouse Gas Protocol V1.02 se empleó para calcular la Huella de Carbono (HC).

Los resultados del análisis revelaron que el consumo de electricidad es el subsistema más impactante en 10 de las 18 categorías consideradas (responsable de más del 50% de los impactos ambientales), seguido del consumo de fertilizantes y de combustible fósil. Por otra parte, se obtuvo una HC de 1,35 kg de CO_2eq/kg de faba, siendo mayoritariamente originada por las emisiones derivadas de la incineración de los residuos del cultivo y el suministro de electricidad. Finalmente, se planteó una alternativa de mejora donde se propuso la instalación de placas solares para abastecer a la plantación en sustitución de la energía eléctrica de red, con lo que se lograría una reducción considerable en las categorías de impacto de radiación ionizante, ecotoxicidad de agua dulce y ecotoxicidad marina (96%, 87% y 86% de reducción de los impactos, respectivamente, en comparación con el caso real). En el escenario alternativo, se obtuvo una HC de 0,85 kg de CO_2eq/kg de faba, lo que supone una reducción del 37% en el valor de este indicador ambiental.

ABSTRACT

The increase in food production due to the growth that population is experiencing worldwide implies significant environmental consequences, such as global warming and natural resource depletion. The agricultural is one of the most impacting sectors. In this context, the use of environmental management tools, such as Life Cycle Assessment (LCA), which allow to quantify environmental impacts is a key aspect. The LCA enables evaluating the environmental impacts associated with a process or product with the aim to suggest improvement alternatives to reduce these impacts.

In this work, the environmental impacts derived from the production of the IGP "Faba Asturiana" have been evaluated. For this purpose, the LCA methodology has been employed to asseess "Finca El Ribeiro" plantation as case study. The analysis has been conducted from a "cradle to gate" perspective, including from the extraction and preparation of raw materials to the bean production in the plantation. SimaPro V.8. software has been used to carry out the analysis. The method chosen to quantify the environmental impacts was ReCiPe 2016 Midpoint (H) V1.01, whereas the Greenhouse Gas Protocol V1.02 methodology was used to calculate the Carbon Footprint (CF).

The results of the analysis revealed that electricity consumption is the most impacting subsystem in 10 of the 18 categories considered (responsible for more than 50% of environmental impacts), followed by the consumption of fertilizers and fossil fuel. Additionally, a value of 1.35 kg of CO_2eq/kg of beans was obtained for the CF, being mainly originated by the emissions derived from the incineration of crop residues and the supply of electricity. Finally, the installation of solar panels was proposed as an improvement alternative to substitute the electrical grid supply to the plantation. This alternative scenario would entail a considerable reduction in the categories of impact of ionizing radiation, freshwater ecotoxicity and marine ecotoxicity (96%, 87% and 86% impact reduction compared to the real case, respectively). In the alternative scenario, a CF of 0.85 kg of CO_2eq/kg of beans was obtained, which represents a 37% reduction in the value of this environmental indicator.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Usos del suelo en la UE en 2018 (Eurostat, 2021b)..... 18

Figura 2.2. Superficie agrícola utilizada en función de los tipos de cobertura de suelo en la UE en 2016 (Eurostat, 2019). 19

Figura 2.3. Producción de leguminosas grano en España (miles de t) (MAPA, 2022).. 20

Figura 2.4. Evolución de la producción agrícola en Asturias (año 2010=100) (SADEI, 2022)..... 22

Figura 2.5. Sistema de Ocupación del Suelo (SIOSE) en el Principado de Asturias en 2014 (SITPA, 2014). 23

Figura 2.6. Logotipos DOP e IGP de la UE (Comisión Europea, 2022)..... 25

Figura 2.7. Logotipo IGP "Faba Asturiana" (Faba Asturiana, 2022)..... 26

Figura 2.8. Imagen Faba Granja (Fuente: Google fotos)..... 26

Figura 2.9. Evolución por temporadas de las hectáreas sembradas de la "Faba Asturiana" IGP (Faba Asturiana, 2022)..... 28

Figura 3.1. Esquema del ACV (Díez, 2017). 32

Figura 3.2. Etapas del ACV (Norma UNE-EN ISO 14040:2006)..... 33

Figura 3.3. Etapas del ciclo de vida incluidas en los alcances más comunes en el ACV (TECPA, 2022)..... 34

Figura 3.4. Descripción general de las categorías de impacto consideradas en la metodología ReCiPe 2016 y su relación con las áreas de protección (Huijbregts et al., 2017). 37

Figura 3.5. Esquema de los elementos que componen cada alcance (Fuente: Ranganathan et al., 2006). 43

Figura 4.1. Huella de Carbono (kg de CO_2eq/kg de producto expresado en materia fresca) y emisiones netas de gases efecto invernadero por hectárea (toneladas de CO_2eq/ha) de los productos vegetales producidos en España en 2016 (Aguilera et al., 2020)..... 46

Figura 5.1. Ubicación de la plantación "Finca El Ribeiro", concejo de Cudillero, Principado de Asturias (Fuente: elaboración propia). 48

Figura 5.2. Ortofoto de la plantación "Finca El Ribeiro" (Fuente: Google Maps). 49

Figura 5.3. Imagen de la plantación "Finca El Ribeiro" (septiembre 2021). 50

Figura 5.4. Esquema de las entradas y salidas al sistema (Fuente: elaboración propia). 52

Figura 5.5. Resultados de caracterización de impactos ambientales asociados a la producción de 1 kg de faba mediante el método ReCiPe 2016, Midpoint (H) V1.01.... 68

Figura 5.6. Huella de Carbono asociada a la producción de 1 kg de faba obtenida mediante el análisis Greenhouse Gas Protocol V1.02..... 74

Figura 5.7. Resultados de caracterización de impactos ambientales asociados a la producción de 1 kg de faba en el escenario alternativo mediante el método ReCiPe 2016, Midpoint (H) V1.01. 77

Figura 5.8. Huella de Carbono asociada a la producción de 1 kg de faba en el escenario alternativo obtenida mediante el análisis Greenhouse Gas Protocol V1.02. 82

Figura 5.9. Comparación de caracterización de los impactos ambientales asociados a la producción de 1 kg de faba en el escenario real y alternativo mediante el método ReCiPe 2016, Midpoint (H) V1.01. 84

Figura 5.10. Comparación de caracterización de la Huella de Carbono asociada a la producción de 1 kg de faba en el escenario real y alternativo mediante el análisis Greenhouse Gas Protocol V1.02. 85

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1. Composición característica de la Faba Granja (MAPA, 1994). 27

Tabla 5.1. Características de la plantación "Finca El Ribeiro" durante el periodo de estudio (2021). 49

Tabla 5.2. Principales datos de la plantación "Finca El Ribeiro" en el año 2021. 53

Tabla 5.3. Datos de tres plantaciones para el cálculo de los kilogramos de malas hierbas (Pérez et al., 2022). 57

Tabla 5.4. Factores de emisión para emisiones de CH_4, N_2O y NH_3 procedentes del compostaje (Inventario Nacional de Emisiones de Gases Efecto Invernadero, 1990-2015; EEA, 2016). 57

Tabla 5.5. Datos del inventario del sistema estudiado (UF=1 kg de faba). 65

Tabla 5.6. Contribuciones más significativas de los subsistemas estudiados en las categorías de impacto ambiental consideradas mediante el análisis ReCiPe 2016, Midpoint (H) V1.01. 69

Tabla 5.7. Contribuciones más significativas de los subsistemas en el análisis de la Huella de Carbono llevado a cabo mediante el método Greenhouse Gas Protocol V1.02. 75

Tabla 5.8. Contribuciones más significativas de los subsistemas estudiados en las categorías de impacto ambiental consideradas, en el escenario alternativo mediante el análisis ReCiPe 2016, Midpoint (H) V1.01. 78

Tabla 5.9. Contribuciones más significativas de los subsistemas en el análisis de la Huella de Carbono en el escenario alternativo mediante el método Greenhouse Gas Protocol V1.02 83

Tabla 8.1. Costes derivados de la elaboración del proyecto. 94

Tabla 8.2. Cuestionario instalaciones. 95

Tabla 8.3. Cuestionario plantación. 97

LISTA DE ABREVIATURAS

ACV: Análisis de Ciclo de Vida

CFC: Clorofluorocarburo

CMNUCC: Convención Marco de la Naciones Unidas sobre el Cambio Climático

CNAE: Clasificación Nacional de Actividades Económicas

COV: Compuesto orgánico volátil

COVMN: Compuesto orgánico volátil no metánico

DGIA: Dirección General de la Industria Alimentaria

DOP: Denominación de Origen Protegida

EN: Norma Europea

EOFP: *Photochemical Oxidant Formation Potential: Ecosystems*

ETG: Especialidades Tradicionales Garantizadas

FAO: *Food and Agricultural Organization*

FEP: *Freshwater Eutrophication Potential*

FETP: *Freshwater Ecotoxicity Potential*

FFP: *Fossil Fuel Potential*

GEI: Gases Efecto Invernadero

GHG: *Greenhouse Gas*

GRI: *Global Reporting Initiative*

GWP: *Global Warming Potential*

HC: Huella de Carbono

HFC: Hidrofluorocarburo

HOFP: *Photochemical Oxidant Formation Potential: Humans*

HTPc: *Human Toxicity Potential: cancer*

HTPnc: *Human Toxicity Potential: non-cancer*

IG: Indicación Geográfica

IGP: Indicación Geográfica Protegida

INSST: Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo

IPCC: *Intergovernmental Panel on Climate Change*

IRP: *Ionizing Radiation Potential*

ISO: *International Organization for Standardization*

LCA: *Life Cycle Assessment*

LOP: *Agricultural Land Occupation* Potential

MAPA: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación

MEP: *Marine Eutrophication Potential*

METP: *Marine Ecotoxicity Potential*

MITECO: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico

ODP: *Ozone Depletion Potential*

OEPM: Oficina Española de Patentes y Marcas

ONU: Organización de las Naciones Unidas

PAC: Política Agrícola Común

PFC: Perfluorocarburo

PMFP: *Particulate Matter Formation Potential*

PNUMA: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente

SADEI: Sociedad Asturiana de Estudios Económicos e Industriales

SAU: Superficie agrícola utilizada

SETAC: *Society of Environmental Toxicology and Chemistry*

SERIDA: Servicio Regional De Investigación Y Desarrollo Agroalimentario

SIOSE: Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo de España

SITPA: Sistema de Información Territorial del Principado de Asturias

SOP: *Surplus Ore Potential*

TAP: *Terrestrial Acidification Potential*

TETP: *Terrestrial Ecotoxicity Potential*

TFG: Trabajo Fin de Grado

UE: Unión Europea

UNE: Una Norma Española

WCP: *Water Consumption Potential*

1.Introducción

Se denomina “Faba Asturiana” a la judía seca de la especie *Phaseolus vulgaris, L.* y, en concreto, el tipo varietal de Faba Granja es el más ampliamente cultivado en Asturias. Además de suponer un importante recurso para esta región, siendo la principal leguminosa grano cultivada en el Principado, también está amparada por la marca de calidad IGP “Faba Asturiana” que la diferencia del resto de judías secas foráneas (Blanco et al., 2010; Ferreira et al., 2013).

Las leguminosas grano tienen gran valor en la historia de la agricultura española. Además de constituir una importante fuente de proteína vegetal, tanto para la alimentación humana como animal, juegan un papel fundamental en la fertilidad de los suelos debido a su capacidad fijadora de nitrógeno atmosférico. Pese a los beneficios de las leguminosas grano y su larga tradición, su cultivo ha sufrido una considerable disminución, tanto en superficie como en producción, en la segunda mitad del siglo XX. Este descenso está vinculado a un aumento del consumo de carne, lo que conlleva un incremento de las necesidades de leguminosas para pienso pero no de su cultivo, ya que se importa el 95% de las mismas. Esta dependencia de la proteína vegetal importada, unida a las necesidades de producción de fertilizantes nitrogenados y los requerimientos de energía para su producción, agravan los impactos en el medioambiente, la seguridad alimentaria y los costes económicos (Casquero et al., 2009; González-Bernal & Rubiales, 2016).

No es hasta principios del siglo XXI cuando, gracias al apoyo de la Política Agrícola Común (PAC), se consigue atenuar esta tendencia, ayudando a los agricultores a aumentar su producción, teniendo siempre en cuenta la protección del medioambiente. La reactivación del interés por las leguminosas en España se ha visto reflejada en un incremento de las superficies cultivadas y del comercio en la UE (Torres et al., 2015).

El sector agrícola tiene un gran impacto en el medioambiente, contribuyendo significativamente a la pérdida de biodiversidad y al cambio climático. Los alimentos durante su ciclo de vida emplean una importante cantidad de recursos, emiten sustancias al medio y generan residuos que provocan impactos nocivos en el medioambiente. El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) constituye una herramienta precisa para evaluar el

desempeño ambiental de la producción de alimentos con el objetivo de reducir los impactos asociados a la misma (Armengot et al., 2021; Ramos, 2015).

La metodología de ACV permite identificar, cuantificar y caracterizar los distintos impactos ambientales asociados a un producto. Esto se consigue a través de la recopilación en un inventario de las entradas y salidas del sistema objeto de estudio, la evaluación de los impactos ambientales vinculados a dichas entradas y salidas y, por último, la interpretación de los resultados obtenidos en las etapas de inventario y evaluación de impactos, que han de estar en buen acuerdo con el objetivo definido en el estudio. El ACV tiene su origen simultáneamente en Estados Unidos y Europa. El primer estudio de ACV se llevó a cabo en 1969, pero no es hasta una década después cuando la aplicación de esta metodología comienza a incrementarse y tienen lugar dos cambios significativos: el establecimiento de categorías de impacto y el acceso público a estudios realizados. En 1993, la SETAC (*Society of Environmental Toxicology and Chemistry*) formula el primer código internacional de prácticas para el ACV con la finalidad de homogeneizar la metodología de los estudios llevados a cabo. Seguidamente, la ISO (*International Organization for Standardization*) se une a este progreso y crea en 1993 el Comité Técnico 207 (ISO/TC 207) de desarrollo de normativa internacional para la gestión ambiental y el Subcomité SC 5 encargado de redactar la serie de normas ISO 14040 referentes a la metodología de ACV. La primera norma de la serie ISO 14040 se publica en 1997 y, junto con el resto de las normas publicadas posteriormente, se consigue estandarizar la metodología de ACV (Haya, 2016; Romero, 2003).

Los estudios de Análisis de Ciclo de Vida se pueden complementar con el uso de indicadores ambientales que permiten simplificar los resultados obtenidos y así facilitar la comunicación de los mismos a la sociedad. Uno de los indicadores más empleados es la Huella de Carbono, que se define como la totalidad de gases efecto invernadero (GEI) emitidos a la atmósfera por acción directa o indirecta de un individuo, organización, evento o producto y se expresa en unidades de masa de CO_2 equivalente (Fariña et al., 2011).

El objetivo de este trabajo consiste en evaluar los impactos ambientales asociados a la producción de IGP “Faba Asturiana”, tomando como caso de estudio la plantación “Finca El Ribeiro” ubicada en San Martín de Luíña (Asturias). Para llevarlo a cabo se utiliza la

metodología de ACV, incluyendo además el cálculo de la Huella de Carbono como indicador ambiental, con el fin de identificar las etapas responsables de los mayores impactos y poder así proponer alternativas de mejora que puedan implementarse como prácticas sostenibles.

2.El sector agrícola en Europa, en España y en Asturias

La Unión Europea es uno de los principales productores y exportadores mundiales de productos agrícolas. Esto es debido a su variado clima, fertilidad de sus suelos, la calidad de sus productos y la capacidad técnica de sus agricultores (Unión Europea, 2022). Por otra parte, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) ha estimado que para hacer frente al incremento de la población y la evolución de los hábitos alimentarios será necesario que la producción de los alimentos a escala mundial se duplique de aquí a 2050 (FAO, 2009). Como consecuencia, en las últimas décadas, la política agrícola de la UE ha evolucionado notablemente a fin de afrontar los retos futuros en cuanto a producción de alimentos se refiere (Unión Europea, 2022).

Por tanto, los sistemas de producción alimentaria y agrícola de todo el mundo se enfrentan a desafíos sin precedentes a causa de la creciente demanda de alimentos por una población en auge, el aumento del hambre y la malnutrición, los efectos adversos del cambio climático, la sobreexplotación de los recursos naturales, la merma de la biodiversidad y la pérdida y el desperdicio de alimentos (FAO, 2009). La Organización de las Naciones Unidas (ONU) estima que la industria alimentaria es responsable del 30% del consumo energético mundial y de un 22% de la emisión de los gases que provocan el calentamiento global (ONU, 2022). La actividad agrícola contribuye en gran medida a las emisiones de gases de efecto invernadero, en concreto, en 2019, las emisiones totales derivadas del uso de suelo agrícola a nivel mundial supusieron 10.700 millones de toneladas de CO_2 equivalente liberadas a la atmósfera, siendo Europa responsable del 9% de estas emisiones (FAO, 2021).

Para ser sostenible, la agricultura debe ser capaz de satisfacer las necesidades de las generaciones presentes y futuras, y al mismo tiempo garantizar la rentabilidad, la salud ambiental, y la equidad social y económica. Asimismo, la alimentación y la agricultura sostenibles deben contribuir a mantener los cuatro pilares de la seguridad alimentaria (la disponibilidad, el acceso, la utilización y la estabilidad) y las tres dimensiones de la sostenibilidad (ambiental, social y económica) (FAO, 2009).

Un reflejo importante de la forma en que se explota el medio ambiente es el estado ecológico de las masas de agua. El fosfato presente en los ríos puede provenir de la agricultura, aguas residuales urbanas o vertidos de las industrias. Entre el año 2000 y el año 2019, las concentraciones de fosfato en Europa han disminuido un 27,7% (Eurostat, 2022). Las superficies forestales también son un factor importante. Aunque la revolución industrial en Europa condujo a la deforestación, durante las dos últimas décadas, debido a los compromisos internacionales, la cobertura forestal en la UE está aumentando. Europa se caracteriza por la variedad de sus paisajes. En el norte se encuentran grandes masas densas de árboles con escasa vegetación bajo la cubierta forestal. Sin embargo, en el sur los árboles son menos densos y con mayor vegetación bajo la cubierta forestal. En 2018, los bosques representaron un 41,1% de la superficie total de la UE (Eurostat, 2021a). Los beneficios que aportan los bosques europeos son la conservación de la humedad y fertilidad del suelo, creación de hábitats y actúan como sumideros de carbono, ayudando a la mitigación del cambio climático. Entre 2015 y 2018 la superficie ocupada por bosques en Europa se incrementó en un 0,9% (Eurostat, 2022).

Otra de las amenazas más notables para los suelos de la UE es la erosión del suelo por la acción del agua. En este contexto, debe señalarse que las mejoras que derivan de la aplicación de las normas agroambientales que exige la Política Agrícola Común (PAC) han contribuido a disminuir en un 0,1% de media anual la pérdida de suelo debido a la acción del agua (Eurostat, 2022).

Se pueden evaluar los sistemas medioambientales a través de los datos sobre el uso y ocupación del suelo y los cambios se ven reflejados en la biodiversidad y los ecosistemas. El suelo influye considerablemente en el equilibrio de los ecosistemas, suministra agua y nutrientes a los seres vivos y transforma los compuestos orgánicos descomponiéndolos y/o modificando su estructura, consiguiendo su mineralización, emitiendo CO_2 a la atmósfera y aportando nutrientes de nuevo a la vegetación. Los cambios en el uso del suelo modifican este ciclo provocando un empobrecimiento en materia orgánica del mismo. El incremento de las zonas urbanas, el descenso en el uso de las tierras agrícolas y el crecimiento de las superficies forestales han sido los cambios más importantes en los últimos años en Europa.

El uso de suelo para fines agrícolas es el uso de suelo predominante en la UE. En 2018, el 39,1% de la superficie total de la UE se destinó a la producción agrícola, el 35,9% a la silvicultura, el 5,7% a servicios y fines residenciales, el 14,8% de la superficie se encontraba en condiciones inutilizadas o abandonadas y, por último, un 0,5% se destinó a la pesca, mientras que los usos del suelo con un gran impacto medioambiental representaron un 3,9%. En este último grupo se incluyen la producción de energía, el tratamiento de aguas y residuos, las industrias extractivas y la construcción (*Figura 2.1.*).

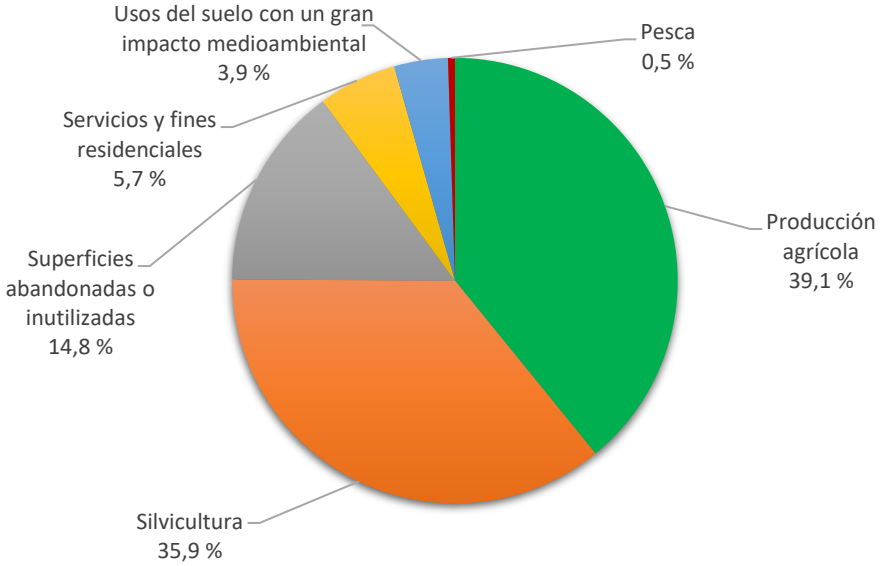


Figura 2.1. Usos del suelo en la UE en 2018 (Eurostat, 2021b).

El uso del suelo agrícola está dedicado a tierras de cultivo, pastos permanentes, cultivos permanentes y cultivos familiares. En 2018, 12 países de la UE destinaron más del 50% de su superficie total a fines agrícolas (Eurostat, 2021b).

En 2016, la superficie agrícola total utilizada (SAU) en la UE supuso la ocupación de 173 millones de hectáreas. Las tierras de cultivo representaron algo más de 103 millones de hectáreas, los pastos permanentes y prados cubrieron 59 millones de hectáreas y los cultivos permanentes ocuparon 11 millones de hectáreas (*Figura 2.2.*) (Eurostat, 2019).

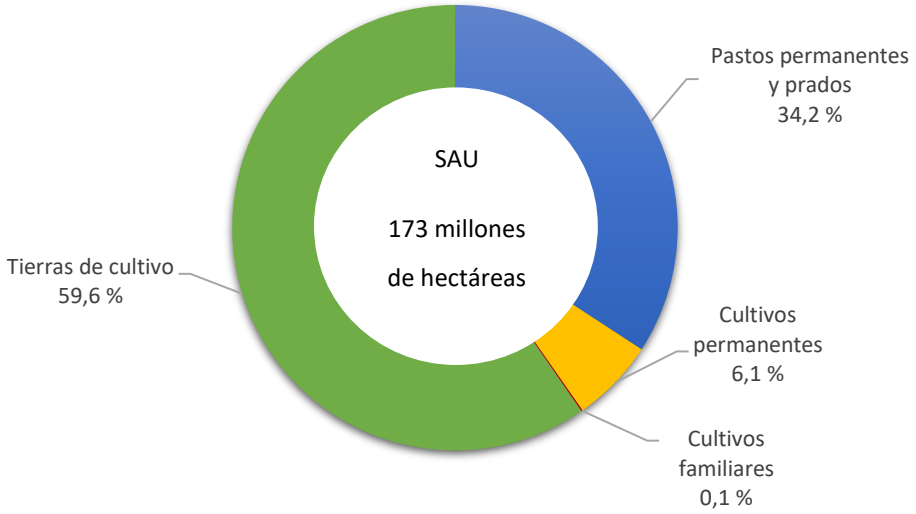


Figura 2.2. Superficie agrícola utilizada en función de los tipos de cobertura de suelo en la UE en 2016 (Eurostat, 2019).

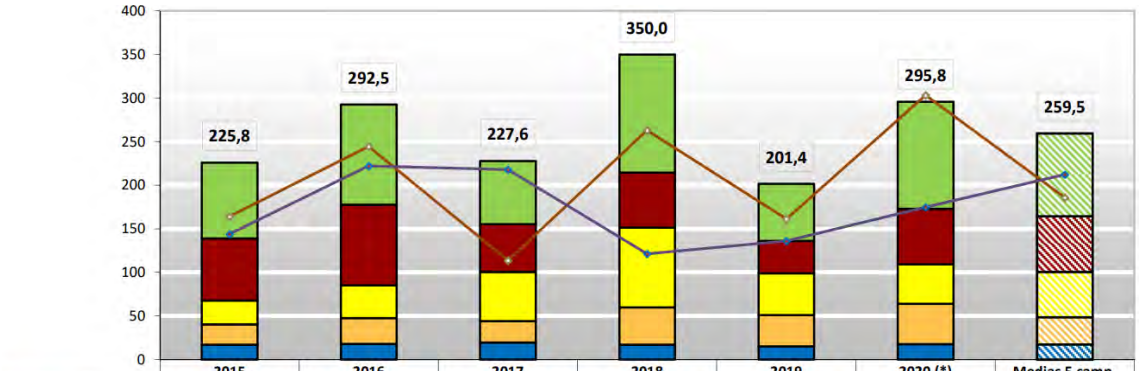
Las actividades que incluye el sector agrario en España son aquellas recogidas en la división 01 del Grupo A de la Clasificación Nacional de Actividades Económicas (CNAE): "Agricultura, ganadería, caza y servicios relacionados con las mismas" y la división 02 "Silvicultura y otras actividades forestales". Las principales actividades que incluye la división 01 son la producción agrícola y la producción animal. Respecto a la división 02, las actividades esenciales son la silvicultura y las actividades forestales (INSST, 2018).

Dentro de la Unión Europea, España ocupa el cuarto lugar como productor agrario, con un 12 % del total. En España se cultiva el 14% del total de la superficie cultivable de la UE, lo que equivale a 23,2 millones de hectáreas. De estos 23,2 millones de hectáreas, que suponen casi la mitad de la superficie del país, el 33% están dedicadas a tierras de cultivo y el 16% a prados y pastos.

La producción vegetal en 2018 supuso dentro de la rama agraria un 60% del total, alcanzando los 32.000 millones de euros. España se encuentra en el segundo lugar de la UE en lo que se refiere a producción vegetal, destacando en los sectores de frutas y hortalizas, aceite de oliva y aceituna de mesa, viñedos, cereales, oleaginosas y, especialmente, en agricultura ecológica. Por tanto, la agricultura en España constituye un sector importante desde el punto de vista social, territorial, medioambiental y económico.

Los recursos climáticos y genéticos, el elevado nivel de los sistemas de protección de la sanidad vegetal y animal y la alta tecnificación de las explotaciones agrícolas y ganaderas, hacen que las producciones agrarias de este país sean de una gran diversidad y calidad (MAPA, 2019).

En relación con el sector de las leguminosas grano, estos cultivos tienen un alto contenido en proteína y son una de las fuentes más importantes de aminoácidos en la alimentación. Además, tienen mucha importancia desde el punto de vista medioambiental, ya que, su capacidad de fijación de nitrógeno atmosférico hace que la necesidad de aporte de nitrógeno durante el crecimiento vegetativo sea escasa. Los garbanzos, lentejas, judías secas, guisantes secos, habas secas, altramuces dulces, vezas y yeros constituyen las leguminosas grano más conocidas y cultivadas en España. En menor medida se encuentran las algarrobas, titarros o almortas, alholva y alberjón. Debido a la normativa comunitaria, se consideran como un grupo apartado de las otras leguminosas grano a los guisantes secos, los altramuces dulces y las habas y haboncillos. A las especies pertenecientes a este grupo se las denominan proteaginosas. Dentro del sector de las oleaginosas, el girasol y la colza son las principales especies cultivadas en España. En menor medida se encuentran la soja, la camelina, el cártamo y el cacahuete. En la *Figura 2.3.* se muestra la evolución de la producción de leguminosas grano en España entre 2015 y 2020 (MAPA, 2022).



	2015	2016	2017	2018	2019	2020 (*)	Medias 5 camp.
Vezas	87,0	114,9	72,2	135,6	65,3	122,9	95,0
Yeros	71,2	92,6	54,9	63,1	37,1	63,7	63,8
Garbanzos	27,3	37,4	56,5	91,5	48,1	45,1	52,1
Lentejas	23,2	29,8	24,4	42,8	35,7	46,4	31,2
Judias secas	17,1	17,8	19,7	17,1	15,1	17,6	17,4
Totales	225,8	292,5	227,6	350,0	201,4	295,8	259,5
Rdto. vezas	0,82	1,22	0,57	1,31	0,81	1,52	0,93
Rto. garbanzos	0,72	1,11	1,09	0,61	0,68	0,87	1,06

Figura 2.3. Producción de leguminosas grano en España (miles de t) (MAPA, 2022).

Las oleaginosas, proteaginosas y otras leguminosas grano constituyen la mayor parte de los cultivos proteicos. Todas estas especies contribuyen a aumentar la sostenibilidad del sector agroalimentario, por lo que están en buen acuerdo con los objetivos del Pacto Verde Europeo y con el Plan Estratégico sobre Proteínas en la UE, cuya finalidad es disminuir la dependencia proteica en la alimentación humana y animal que tiene la Unión Europea. La ganadería industrial genera un impacto significativo en el medio ambiente, se requiere de una gran cantidad de recursos tanto para la producción como para el transporte. Para la alimentación del ganado se cultivan grandes extensiones de tierra provocando la sobreexplotación de acuíferos y la deforestación debido a la gran cantidad de agua y suelo necesarios para su producción. Además, se generan importantes emisiones de GEI como el metano o el óxido nitroso. También existe un plan de proteína nacional que pretende mejorar el nivel de autoabastecimiento, por ello estos cultivos presentan grandes oportunidades de futuro (MAPA, 2022).

La agricultura en Asturias se caracteriza por una orografía con pronunciadas pendientes, un clima de abundantes precipitaciones que permite el mantenimiento de prados y praderas naturales y una estructura productiva en la que predominan las explotaciones de pequeño tamaño. Esta región posee una extensión de 10.604 km^2, lo que constituye el 2% de la superficie total a nivel nacional. Por debajo de los 400 m de altitud se encuentra el 38% de la superficie asturiana y por encima de los 1.200 m se sitúa casi el 12% del territorio regional. El 58% de la superficie de Asturias está formada por pendientes que superan el 30%, mientras que las pendientes por debajo del 10% representan solo el 11% del territorio. Este rasgo característico de la región limita las alternativas de producción de la actividad agraria (Arango, 2001).

Con respecto a los usos agrícolas, Asturias tiene rasgos específicos que la diferencian del conjunto de la agricultura a nivel nacional. En la *Figura 2.4.* se observa la evolución de la producción agrícola en Asturias entre 2010 y 2018 (SADEI, 2022).

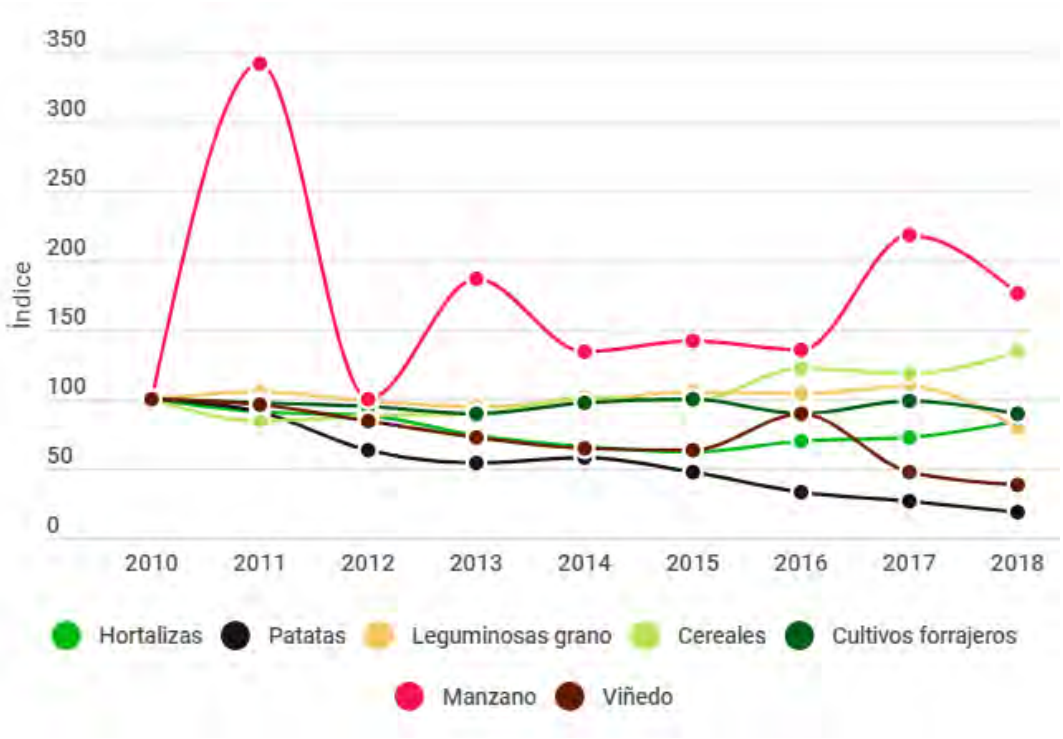


Figura 2.4. Evolución de la producción agrícola en Asturias (año 2010=100) (SADEI, 2022).

El cultivo de hortalizas ha experimentado una reducción desde 16.364 toneladas producidas en 2010 hasta 13.878 toneladas en 2018. La principal producción la constituía en 2010 la lechuga, col, berza y repollo, seguido por el tomate, pimiento, ajo y cebolla. El cultivo de tomate y pimiento pasó a ser el cultivo predominante en 2018. La producción de patata sufrió la disminución más importante, siendo en 2010 de 38.500 toneladas y llegando a 6.894 toneladas en 2018. En relación con las leguminosas grano, constituidas en el caso de Asturias en su totalidad por judía seca, experimentaron una reducción desde 658 hasta 521 toneladas entre 2010 y 2018. Los cultivos forrajeros, aunque se redujeron de 838.836 toneladas en 2010 hasta 746.790 toneladas en 2018, tienen gran importancia en Asturias y reflejan la orientación ganadera, especialmente lechera, de la región. El cultivo de manzana, casi exclusivamente dedicado a la producción de sidra, sufrió un aumento desde 9.128 hasta 16.072 toneladas entre 2010 y 2018. Por último, se observa un ligero aumento en el cultivo de cereales desde 900 toneladas hasta 1.207 toneladas, y una disminución en las uvas desde 250 toneladas hasta 96 toneladas entre 2010 y 2018 (Arango, 2001; SADEI, 2022).

En la *Figura 2.5.*, se muestra un mapa en el que se refleja la ocupación del suelo en Asturias en 2014 (SITPA, 2014).

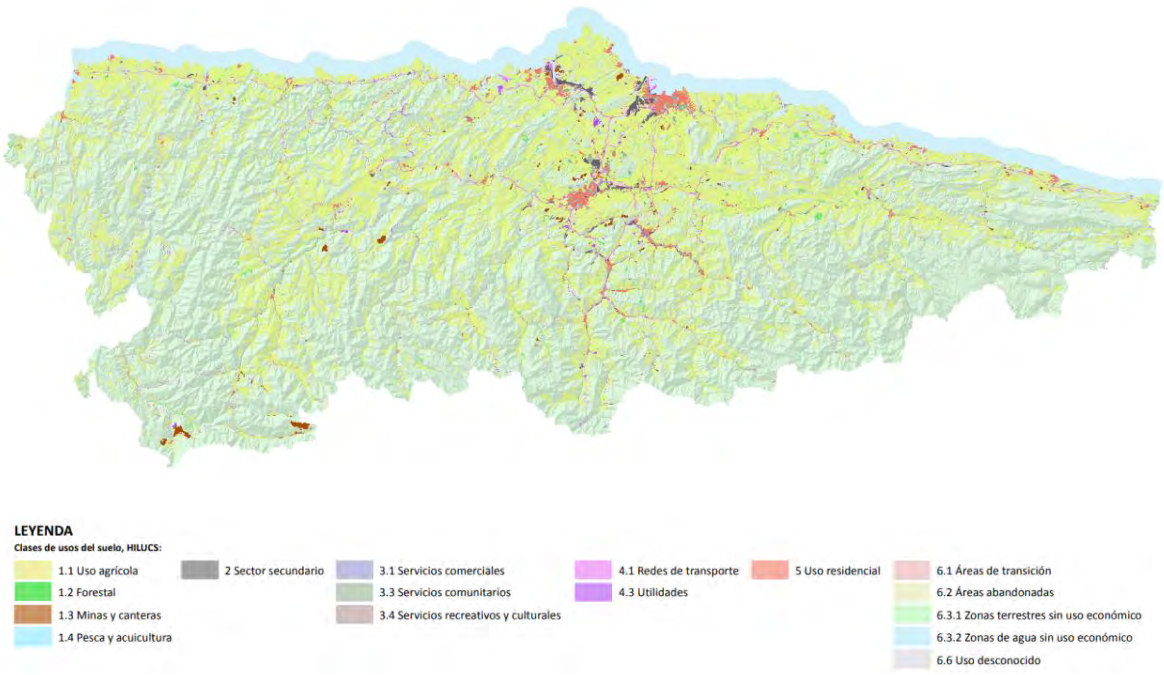


Figura 2.5. Sistema de Ocupación del Suelo (SIOSE) en el Principado de Asturias en 2014 (SITPA, 2014).

2.1. Denominaciones de Origen e Indicaciones Geográficas Protegidas

El objetivo de la política de calidad de la UE es la protección de las denominaciones de productos específicos con el fin de fomentar sus cualidades representativas, relacionadas con su origen geográfico y su tradición. El reconocimiento de "indicación geográfica" (IG) permite a los productores mejorar la comercialización de sus productos y ayuda a los consumidores a identificar los productos. En la UE existen registros que recogen los productos que poseen este reconocimiento y también los que están en fase de estudio. Además, estos registros incluyen los pliegos de condiciones de cada producto e información acerca de las especificaciones geográficas. Las IG establecen derechos de propiedad intelectual para los productos reconocidos y están alcanzando cada vez mayor importancia en las negociaciones comerciales entre la UE y otros países (Comisión Europea, 2022).

Una vez que las IG están inscritas en el registro de la UE, además de derechos de propiedad intelectual, también gozan de protección frente a cualquier uso indebido o imitación, cualquier tipo de indicación falsa en lo que se refiere a la procedencia, la naturaleza o las características fundamentales del producto o cualquier otro uso que pueda inducir a error al consumidor acerca del verdadero origen del producto (Administración General del Estado, 2022).

Con respecto a los productos agrícolas y alimenticios, las indicaciones geográficas incluyen las siguientes:

- Denominación de Origen Protegida (DOP)
- Indicación Geográfica Protegida (IGP)

La DOP y la IGP se diferencian principalmente por la cantidad de materias primas que provienen de la región a la que se vincula el producto y también por las fases del proceso productivo que han de desarrollarse en la zona en cuestión.

Los productores que registran como DOP un determinado producto deben cumplir el requisito de llevar a cabo todas las fases de su proceso de producción, transformación y preparación en la zona geográfica específica. Los productos así reconocidos son los que tienen el vínculo más fuerte con la región en la que tiene lugar su producción.

Para tener el reconocimiento de IGP, es necesario que al menos una de las etapas del proceso productivo, de transformación o de elaboración se desarrollen en la región específica. La IGP pone de manifiesto la relación entre un producto y una región cuando la reputación, calidad u otras cualidades del producto son características de dicha zona geográfica (Comisión Europea, 2022).

Para poder reconocer el producto en el mercado, deberá aparecer en la etiqueta de dicho producto el símbolo de la UE que le corresponda. En el mismo campo de visión debe figurar el nombre registrado del producto. En la *Figura 2.6.*, se muestran los logotipos de la UE para el etiquetado de los productos agroalimentarios con DOP o IGP. Estos logotipos son obligatorios en el etiquetado de productos agrícolas y alimenticios. Solo pueden hacer referencia al nombre o hacer uso de los símbolos aquellos operadores que comercialicen los productos de acuerdo con el pliego de condiciones que le sea de aplicación. Para asegurar el cumplimiento de la normativa de la UE, tanto los productos

como sus productores se encuentran bajo un sistema de control oficial (Administración General del Estado, 2022).

Figura 2.6. Logotipos DOP e IGP de la UE (Comisión Europea, 2022).

En España hay varias IGP y DOP de diferentes productos alimentarios entre los que se encuentran productos lácteos como el queso o la mantequilla, productos cárnicos, aceites de oliva virgen, arroces, frutas, hortalizas, legumbres, sidra, vinagres y vino, entre otros. El número de productos agroalimentarios amparados por DOP e IGP en España se ha incrementado en los últimos 30 años desde 15 denominaciones existentes en 1988 hasta 202 en 2020. En concreto, Asturias cuenta con Indicación Geográfica Protegida de Faba Asturiana, Chosco de Tineo y Ternera Asturiana. En lo referente a las DOP, poseen Denominación de Origen protegida la Sidra de Asturias y los quesos Afuega´l Pitu, Cabrales, Gamonéu y Queso Casín (DGIA, 2021).

2.1.1. IGP "Faba Asturiana"

Se conoce como "Faba Asturiana" a la semilla seca de la especie *Phaseolus vulgaris, L.* y es equivalente al término judía seca. Se trata de uno de los productos más característicos, emblemáticos y con futuro de la gastronomía de esta región. La primera referencia del cultivo de judía común en Asturias se remonta al año 1711, en el concejo de Colunga. Esta legumbre se cultivaba tradicionalmente asociada al maíz o en cultivos pequeños. Desde mediados de los años 80 del siglo XX hasta la actualidad este cultivo sufre importantes cambios (García et al., 2016).

En Asturias, en la década de los 80, la Consejería de Medio Rural y Pesca propone una estrategia para fomentar el desarrollo del cultivo de fabas. Con el objetivo de mejorar las técnicas de cultivo y proteger a las plantas de las plagas y enfermedades, comienza a

aumentar el monocultivo de fabas. Por otro lado, con el fin de proporcionar las mejores semillas a los productores nace la variedad "Andecha", considerada la variedad estándar de faba Granja. Esta variedad se logra a partir de la mejora genética de las variedades tradicionales asturianas (E. Pérez et al., 2010).

En 1989, la Consejería de Agricultura crea un Consejo Regulador provisional de la Denominación Específica Faba Asturiana, el cual es aprobado según el Decreto 29/1990, de 8 de Marzo, del Consejo de Gobierno del Principado de Asturias y se ratifica por la Orden de 6 de Julio de 1990, del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Seis años después, el 21 de Junio de 1996, la Denominación Específica Faba Asturiana se inscribe como IGP "Faba Asturiana" en la lista de denominaciones registradas DOP-IGP según el Reglamento (CE) 1107/96 de la Comisión (Faba Asturiana, 2022). En la *Figura 2.7.* se muestra el logotipo correspondiente a la IGP "Faba Asturiana".

Figura 2.7. Logotipo IGP "Faba Asturiana" (Faba Asturiana, 2022).

Las variedades de Faba Granja amparadas por la IGP "Faba Asturiana" son de crecimiento indeterminado, de enrame. Con respecto a las características morfológicas tienen un color blanco cremoso, una forma arriñonada, larga y aplanada y un tamaño que supone aproximadamente 100-110 granos/100 gramos de semillas (*Figura 2.8.*).

Figura 2.8. Imagen Faba Granja (Fuente: Google fotos).

Se trata de judías secas destinadas al consumo humano, separadas de la vaina, sanas, enteras y limpias. El Consejo Regulador controla los rendimientos de las plantaciones y cataloga las judías con el objetivo de asignarles la categoría correspondiente dependiendo de su calidad. Las judías secas protegidas pertenecen a las categorías comerciales "Extra" y "Primera" y no deben superar el 15% de humedad. Las fabas de categoría extra son de una calidad superior a las de primera categoría. Además de no presentar defectos, tienen la forma, el desarrollo y el color característicos de esta variedad. Las fabas de segunda categoría (que no están amparadas por la IGP) se caracterizan por ser de menor tamaño que las de categoría extra y primera (MAPA, 1994). En la *Tabla 2.1.* se recogen las características de la variedad de Faba Granja desde el punto de vista de su composición.

Tabla 2.1. Composición característica de la Faba Granja (MAPA, 1994).

	Contenido en 100 g
Humedad (g)	11,63
Hidratos de carbono (g)	58,34
Proteínas (g)	20,75
Grasa (g)	1,39
Fibra bruta (g)	4,17
Cenizas (g)	3,90
Calcio (g)	0,04
Magnesio (g)	0,09
Hierro*	66,44

*Expresado en mg/kg

Además de las características propias del producto, otros elementos que avalan que esta legumbre es originaria de la zona son los controles y la certificación. Las prácticas de cultivo son autorizadas por el Consejo Regulador. Las judías se manipulan y envasan en las industrias inscritas bajo el control de los inspectores autorizados por el Consejo. Cuando el Consejo considere oportuno, las judías se someterán a los análisis pertinentes con el objetivo de garantizar su calidad. Únicamente las judías que superen estos controles a lo largo del proceso pueden salir al mercado con la contraetiqueta numerada del Consejo Regulador (MAPA, 1994).

En los últimos años la producción de "Faba Asturiana" IGP ha aumentado desde 157 toneladas producidas en la temporada 2014/2015 hasta 242 toneladas en la temporada 2021/2022. Este crecimiento de la producción trae consigo un incremento en las hectáreas

destinadas al cultivo de la "Faba Asturiana" IGP, tal y cómo se observa en la *Figura 2.9.* (Faba Asturiana, 2022).

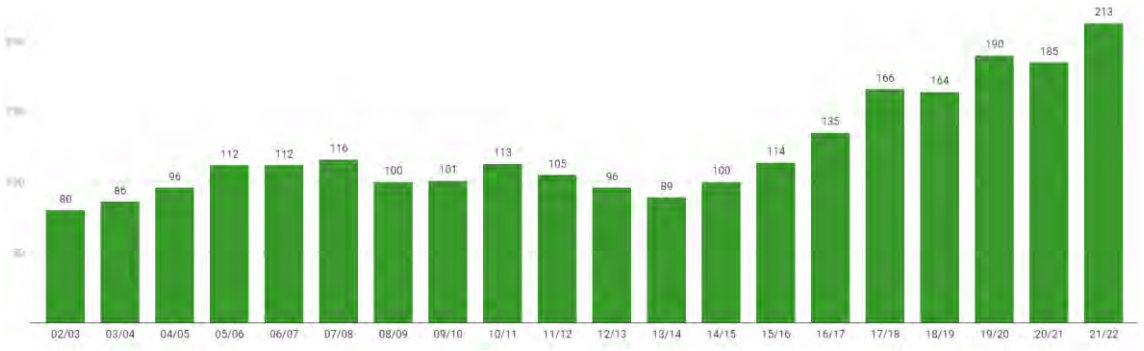


Figura 2.9. Evolución por temporadas de las hectáreas sembradas de la "Faba Asturiana" IGP (Faba Asturiana, 2022).

A continuación, se exponen las fases que incluye el cultivo de la faba (García et al., 2016):

1. Preparación del suelo

Los suelos profundos, permeables y poco ácidos son los más adecuados para el cultivo de Faba Granja. Una labor fundamental es la preparación del terreno antes de la siembra con el objetivo de conseguir un lecho de siembra óptimo en el que la semilla se pueda distribuir de forma adecuada, favoreciendo la germinación y el crecimiento homogéneo de la planta. Para ello, es conveniente realizar en otoño un drenaje para eliminar el exceso de agua. Seguidamente, entre otoño e invierno se prepara la tierra empleando generalmente un arado de vertedera para enterrar los restos de la cosecha anterior. Por último, poco antes de la siembra, se completará la preparación del lecho de siembra mediante una labor de desterronado.

2. Fertilización

Dependiendo del tipo de suelo, las necesidades de fertilizante serán distintas, por lo que es imprescindible realizar un análisis de suelo cada tres años. Con la finalidad de corregir la acidez de los suelos se aportan enmiendas cálcico-magnésicas entre otoño e invierno mediante arado y con un mes de antelación a la aplicación del resto de fertilizantes. Puede ser preciso incorporar una fuente de materia orgánica en los suelos en los que el nivel de materia orgánica sea inferior al 2,5%. En cuanto a los fertilizantes químicos, se aportan en la labor de otoño-invierno y el potasio en primavera.

3. Siembra

La técnica más utilizada en el cultivo de la faba es la siembra directa. La temperatura no debe ser inferior a 15-18ºC para la germinación y el ciclo del cultivo dura aproximadamente 150 días. La fecha de siembra está condicionada por la temperatura y la duración del ciclo, siendo la época más habitual el mes de mayo.

4. Tutorado

El cultivo tutorado con estructuras de apoyo es el sistema más utilizado. La estructura de apoyo la constituyen generalmente postes de madera sobre los que se coloca un alambre a dos metros del suelo. Sobre este alambre se colocan los tutores, para los que existen tres alternativas: malla de nylon o plástico, cuerda o varilla de tetracero corrugado.

5. Riego

El periodo en el que el cultivo necesita mayor aportación de agua comprende desde la floración hasta el hinchado de vainas. Cubrir las necesidades hídricas en este periodo es fundamental para conseguir el mejor rendimiento posible. El sistema más recomendable es el riego por goteo, aunque otra posible opción es el riego por surcos.

6. Control de malezas

Las malas hierbas pueden incrementar la propagación de plagas y enfermedades, además afectan al rendimiento del cultivo, disminuyendo la producción. Se pueden llevar a cabo las siguientes medidas para el control de malezas: rotaciones de cultivo o cubierta vegetal.

7. Recolección

Cuando se alcanza el estado de madurez completo se procede a la recolección. Las plantas se deben cortar por la parte inferior y se colocan dejando las raíces en el suelo para impedir que durante la operación de desgranado la tierra pueda manchar el grano.

8. Oreo o secado de vainas

Tras la recolección se dejan secar las vainas al aire permitiendo que ventilen correctamente sin amontonamientos, favoreciendo así la pérdida de humedad.

9. Desgranado

Una vez llevado a cabo el oreo, estando las vainas en el estado óptimo de secado, se realiza la operación de desgranado manual o mecánicamente. Si se realiza de forma mecánica debe ser a revoluciones bajas para evitar la rotura del grano.

10. Limpieza y congelado del grano

Antes de llevar el grano a congelación, se limpia de impurezas y se le da un tiempo de secado al aire. Seguidamente, se lleva el grano a la cámara de congelación en la que permanece durante aproximadamente 48 horas a una temperatura de -20ºC con el objetivo de impedir el agorgojado de las semillas.

11. Almacenamiento

Los granos se almacenan en envases apropiados, en lugares frescos con las condiciones de humedad y temperatura adecuadas, evitando cambios bruscos de estos parámetros.

Recientemente, la verdina, judía seca de la especie *Phaseolus vulgaris, L.* cuyo origen en Asturias se vincula al concejo de Llanes, ha ganado protagonismo debido a su marca de garantía (OEPM, 2022). La producción desde 2018 de esta legumbre alcanza una media de 55 toneladas al año en el Principado. Se trata de una judía seca de color verde esmeralda brillante, cuya cosecha se realiza en estado de inmadurez. La creación de la marca de garantía de esta legumbre supone un primer paso para que la verdina pueda llegar a adquirir la IGP (Faba Asturiana, 2022).

3. Herramientas de gestión medioambiental

La gestión ambiental es el conjunto de acciones orientadas a conseguir la máxima racionalidad en la toma de decisiones acerca de la conservación, defensa, protección y mejora del medioambiente, logrando satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer las suyas (ONU, 1987; Pousa, 2007).

Los principios en los que se apoya la gestión ambiental son los siguientes (Pousa, 2007):

- Prevención

El control ambiental integrado es fundamental para poder identificar las situaciones potencialmente nocivas con la antelación suficiente para impedir su evolución.

- Precaución

El principio de precaución pretende evitar riesgos cuando existe la duda sobre los mismos. Llevar a cabo una actividad con un impacto ambiental desconocido puede ocasionar efectos perjudiciales irreversibles.

- "Quien contamina, paga"

El responsable de la contaminación debe sufragar el total de los costes a los que ascienden las correspondientes acciones preventivas o reparadoras.

- Cooperación

Todas las personas y los organismos afectados deben cooperar en la protección del medioambiente para evitar su degradación, prevenir su contaminación, y favorecer el desarrollo sostenible.

- Trabajo dentro de un ecosistema

Este principio consiste en tener en consideración la capacidad de carga de un ecosistema con el fin de impedir los efectos negativos sobre el medioambiente y la población que tendrían lugar si se sobrepasara dicha capacidad.

En la actualidad, la gestión ambiental es un factor clave a la hora de mejorar el desempeño ambiental de las empresas, para ello existen distintas herramientas, entre las cuales se pueden nombrar las siguientes (A. A. López et al., 2017):

- Sistemas de Gestión Ambiental
- Certificaciones Ambientales
- Etiquetado ecológico
- Auditorías Ambientales
- Análisis de Ciclo de Vida

3.1. Análisis de Ciclo de Vida

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es una herramienta que gestión medioambiental que permite evaluar los impactos ambientales potenciales asociados a un producto a lo largo de su ciclo de vida. Mediante esta herramienta se estudian las cargas ambientales que acompañan a un producto, proceso o actividad, identificando los recursos consumidos por unidad de producto y los residuos generados, con el fin de proponer alternativas de mejora para minimizar dichos impactos (Aranda & Zabalza, 2010) (*Figura 3.1.*).

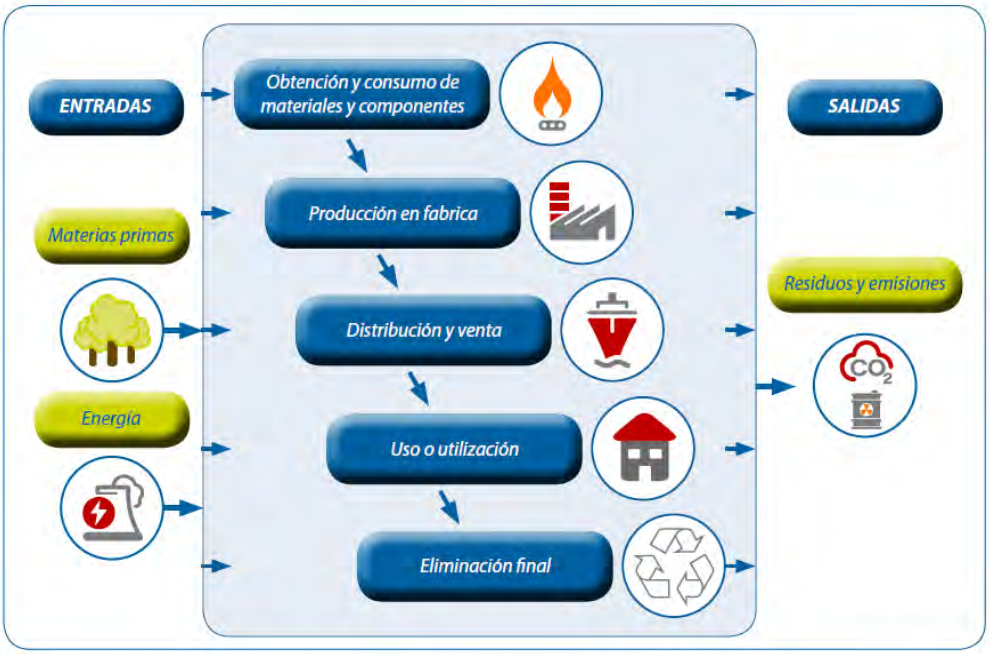


Figura 3.1. Esquema del ACV (Díez, 2017).

Entre las aplicaciones del ACV destacan las siguientes (Aranda & Zabalza, 2010):

- Determinar las oportunidades de mejora en las diferentes etapas del ciclo de vida de un producto.
- Proporcionar información para el diseño de un producto o proceso.
- Seleccionar los indicadores de desempeño ambiental relevantes.

La norma UNE-EN ISO 14040:2006 regula la metodología del Análisis de Ciclo de Vida y establece cuatro etapas que debe incluir todo estudio de ACV, dichas etapas se muestran en la *Figura 3.2.*

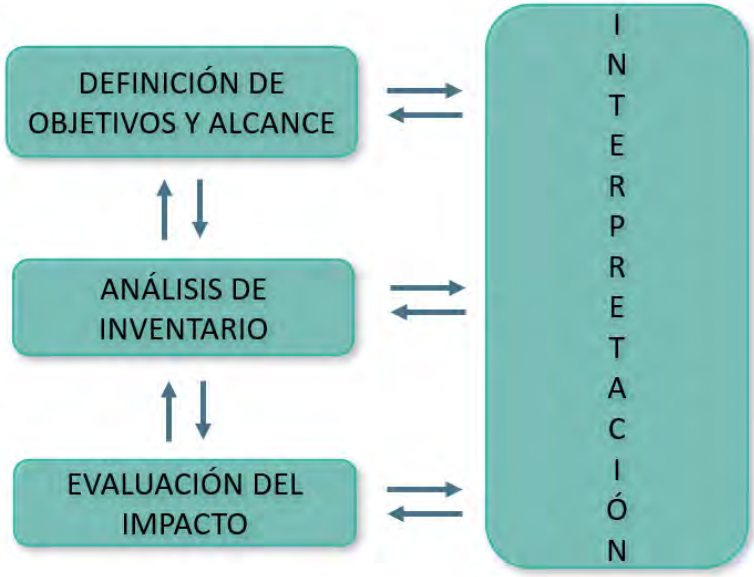


Figura 3.2. Etapas del ACV (Norma UNE-EN ISO 14040:2006).

Etapa 1: Definición de objetivos y alcance

El objetivo de un ACV indica de manera clara los motivos para llevar a cabo el estudio, su aplicación y el destinatario al que se pretende comunicar los resultados de dicho estudio.

El alcance debe estar correctamente definido de forma que asegure que la amplitud, la profundidad y el nivel de detalle previstos permitan alcanzar el objetivo que se persigue. Entre las principales acciones a realizar destacan el establecimiento de los límites del sistema y la definición de la unidad funcional a la cual se vinculan las entradas y salidas del sistema y sirve de referencia para la comparación de los resultados del ACV.

Existen distintos alcances que se pueden aplicar para llevar a cabo el ACV, los más comunes se detallan a continuación (Haya, 2016):

- De la puerta a la puerta (*Gate to gate*): solo tiene en cuenta las actividades del proceso productivo de la empresa en la que se realiza el estudio.
- De la cuna a la puerta (*Cradle to gate*): incluye desde el acondicionamiento de las materias primas hasta el proceso productivo de la empresa.
- De la cuna a la tumba (*Cradle to grave*): comprende desde el acondicionamiento de las materias primas hasta la gestión de los residuos procedentes del fin de vida del producto.
- De la cuna a la cuna (*Cradle to cradle*): estudia el ciclo de vida completo del producto desde el acondicionamiento de las materias primas hasta que el producto llega a su fin de vida y se introduce de nuevo como entrada en el mismo proceso productivo o en otro.

Figura 3.3. Etapas del ciclo de vida incluidas en los alcances más comunes en el ACV (TECPA, 2022).

Etapa 2: Análisis de inventario

En esta etapa se recogen los datos y los cálculos necesarios para la identificación y cuantificación de las entradas y salidas del sistema a estudiar, incluyendo el uso de materias primas y energía, los residuos generados y las emisiones a la atmósfera, al agua y al suelo que deben vincularse a la unidad funcional definida (Massolo, 2015).

Los datos del inventario se extraen del sistema de estudio mediante balances de materia y energía, medidas "in situ", entrevistas y fuentes bibliográficas. Además, el inventario debe incluir (Haya, 2016):

- Diagramas de flujo que esclarezcan el alcance del estudio.
- Definición de los diferentes subsistemas y los recursos asociados a cada uno de ellos.
- Descripción de las unidades de medida de cada parámetro.
- Documentación de las técnicas de cálculo empleadas para la obtención de datos.
- Información referente a las fuentes bibliográficas utilizadas en la recogida de datos.

El software SimaPro dispone de diferentes bases de datos integradas dentro del propio programa como son EcoInvent, Agri-footprint o LCA Food. Estas bases de datos permiten desarrollar una parte del inventario del sistema objeto de estudio, pero siempre es necesaria la recopilación de datos específicos de los proveedores mediante cuestionarios que facilitan la recogida de información.

Etapa 3: Evaluación del impacto

De acuerdo con la norma UNE-EN ISO 14044:2006 en la estructura de esta etapa se puede distinguir entre elementos obligatorios y elementos opcionales.

Los elementos obligatorios son:

- Selección de las categorías de impacto, indicadores de categoría y modelos.
- Clasificación: se asignan los datos del inventario a cada categoría en función del impacto ambiental que generan.
- Caracterización: modelización de los datos del inventario para cada una de las categorías de impacto mediante los llamados factores de caracterización o factores equivalentes.

En función del objetivo y el alcance del estudio se puede hacer uso de los siguientes elementos opcionales:

- Normalización: relación de los resultados obtenidos para una categoría de impacto respecto a un valor de referencia.
- Agrupación: organización de las categorías de impacto.
- Ponderación: convertir y agregar, si es posible, los resultados del indicador en las categorías de impacto usando factores numéricos basados en valores elegidos.
- Análisis de la calidad de los datos: ayuda a determinar si los resultados son fiables, este elemento es obligatorio en análisis comparativos.

En este TFG se utiliza como método de evaluación de impactos ambientales el método ReCiPe 2016, Midpoint (H) V1.01. En la evaluación de impactos existe la opción de estudiar el efecto último del impacto ambiental, "endpoint" o analizar los efectos intermedios, "midpoint". Las categorías de impacto ambiental finales son variables que afectan directamente a la sociedad y son relevantes a escala global, mientras que las categorías intermedias ofrecen información detallada de la forma y el punto en el que el medioambiente se ve afectado, por lo que se encuentran más próximas a la intervención ambiental y son las más utilizadas (Antón, 2004). En la *Figura 3.4.* se muestra un esquema de la relación entre las categorías de impacto correspondientes a la metodología "midpoint" y "endpoint" (Huijbregts et al., 2017).

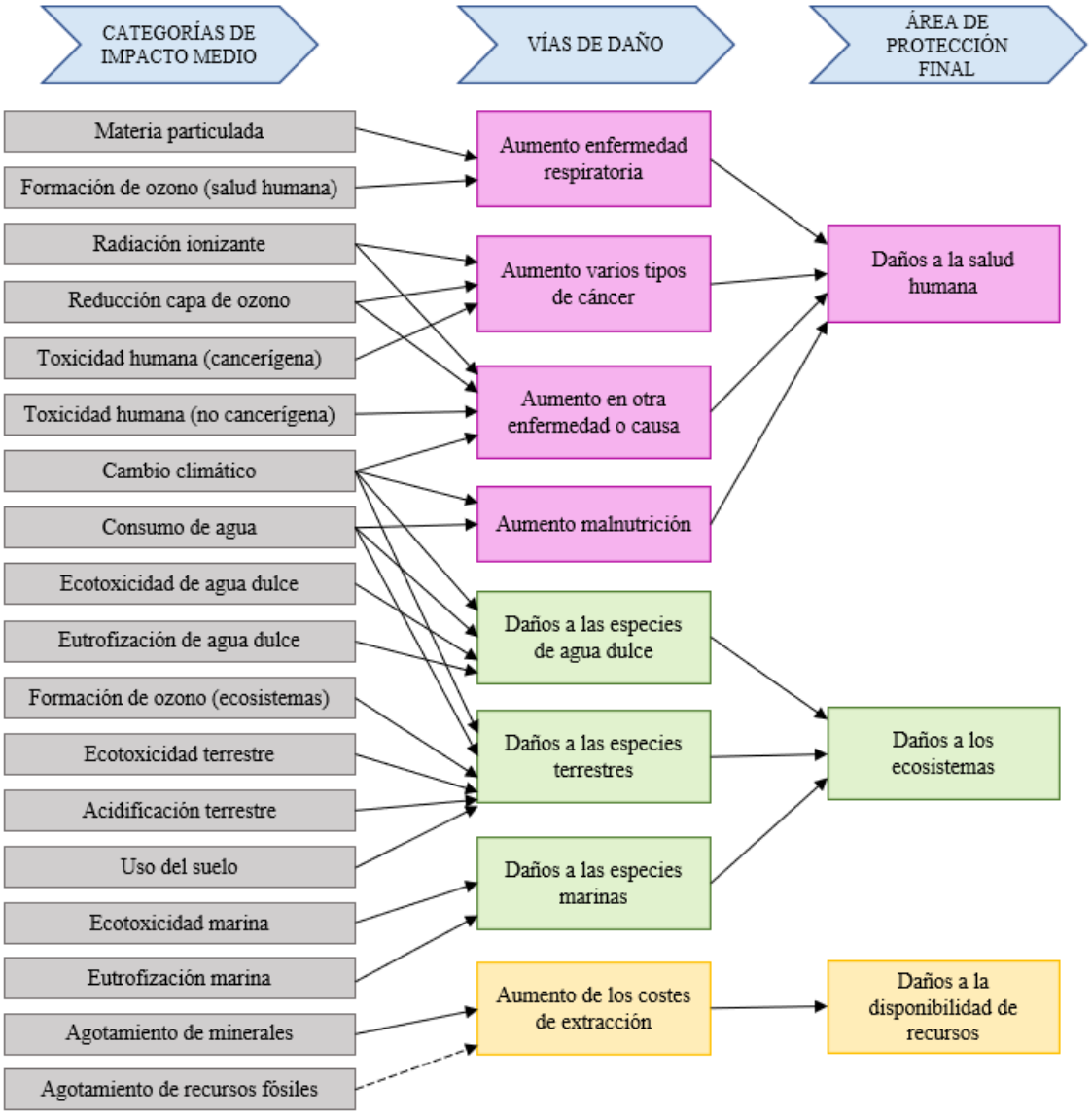


Figura 3.4. Descripción general de las categorías de impacto consideradas en la metodología ReCiPe 2016 y su relación con las áreas de protección (Huijbregts et al., 2017).

A continuación, se resumen las 18 categorías de impacto de la metodología ReCiPe 2016 en el análisis de los efectos intermedios "midpoints" (Antón, 2004; Huijbregts et al., 2017):

- **Cambio climático:** esta categoría afecta a la salud humana, a los ecosistemas y a la disponibilidad de recursos. El factor de caracterización utilizado para comparar las emisiones de los distintos gases efecto invernadero (GEI) es el potencial de calentamiento global, GWP (*Global Warming Potential*). En él se mide la

contribución a la absorción de calor que resulta de la emisión de un GEI y se expresa en kg de CO_2eq.

- **Reducción de la capa de ozono:** el potencial de agotamiento de ozono, ODP (*Ozone Depletion Potential*) se refiere a la capacidad de las sustancias que controla el Protocolo de Montreal, en su mayoría hidrocarburos clorados, bromados y fluorados, de provocar la descomposición del ozono estratosférico. Se expresa en kg de CFC-11eq.
- **Formación de oxidantes fotoquímicos:** se evalúa la producción de ozono troposférico resultante de la reacción de los óxidos de nitrógeno (NO_x) con los compuestos orgánicos volátiles (COVs) bajo la acción de la radiación solar. Se utilizan como factores de caracterización los denominados EOFP (*Photochemical Oxidant Formation Potential: Ecosystems*) y HOFP (*Photochemical Oxidant Formation Potential: Humans*) y se expresa en kg de NO_xeq.
- **Acidificación terrestre:** se refiere a la modificación de la acidez del suelo debido a la emisión de óxidos de nitrógeno y sulfuro en la atmósfera que, en forma de ácido, se depositan provocando la deforestación y afectando a la flora y fauna. El factor de caracterización TAP (*Terrestrial Acidification Potential*) se expresa en kg de SO_2eq.
- **Eutrofización:** se contemplan los impactos ocasionados por un elevado nivel de macronutrientes, nitrógeno y fósforo, que originan un incremento de la producción de biomasa y una disminución del contenido de oxígeno en los ecosistemas acuáticos. El potencial FEP (*Freshwater Eutrophication Potential*) se expresa en kg de P equivalentes a agua dulce y el potencial MEP (*Marine Eutrophication Potential*) en kg de N equivalentes a agua marina.
- **Toxicidad humana:** se consideran los efectos que tienen las sustancias tóxicas sobre los seres humanos. Se incluyen los siguientes potenciales: HTPnc (*Human Toxicity Potential: non-cancer*) y HTPc (*Human Toxicity Potential: cancer*). Se expresa en kg de 1,4-diclorobenceno equivalentes.
- **Ecotoxicidad terrestre, de agua dulce y marina:** se evalúan los efectos de las sustancias tóxicas sobre los ecosistemas acuáticos y terrestres. Se incluyen los potenciales: TETP (*Terrestrial Ecotoxicity Potential*), FETP (*Freshwater*

Ecotoxicity Potential) y METP (*Marine Ecotoxicity Potential*). Se expresa en kg de 1,4-diclorobenceno equivalentes.

- **Radiación ionizante:** se trata de la energía liberada en forma de ondas electromagnéticas o partículas y puede encontrarse en el ámbito médico, el de la investigación y el industrial. El factor de caracterización IRP (*Ionizing Radiation Potential*) se expresa en kBq Co-60.
- **Materia particulada:** el factor de caracterización PMFP (*Particulate Matter Formation Potential*) se expresa en kg de $PM_{2,5}$ equivalente.
- **Agotamiento de recursos minerales:** hace referencia a la disminución de la disponibilidad de los recursos naturales. Los recursos minerales no son renovables y su periodo de explotación es limitado. El potencial SOP (*Surplus Ore Potential*) se expresa en kg de Cu equivalente.
- **Agotamiento de recursos fósiles:** se refiere a la reducción de la disponibilidad de los recursos energéticos fósiles. El factor de caracterización FFP (*Fossil Fuel Potential*) se expresa en kg de petróleo equivalentes.
- **Consumo de agua**: el potencial de consumo de recursos hídricos WCP (*Water Consumption Potential*) se mide en m^3 de agua consumida.
- **Uso del suelo:** el factor de caracterización LOP (*Agricultural Land Occupation* Potential) está relacionado con la extinción de las especies debida a la expansión de las áreas urbanas e industriales y también a la conversión de hábitats naturales para la práctica agrícola y forestal. Se expresa en m^2 anuales.

Etapa 4: Interpretación

Esta etapa se considera como una combinación de las dos últimas etapas previamente descritas (análisis de inventario y evaluación de impacto). En esta fase del estudio se evalúa la coherencia de los resultados obtenidos con el alcance y el objetivo definidos, se identifican los aspectos significativos y también se pueden incluir propuestas de mejora tanto cualitativas como cuantitativas, como cambios en el diseño, en el proceso y en el producto (Haya, 2016).

3.2. Normativa del ACV

Se conoce como ISO a la Organización Internacional de Normalización. Se trata de una federación mundial de organismos nacionales de normalización cuya actividad esencial es el desarrollo de normas técnicas internacionales.

Actualmente, existen dos normas vigentes que estandarizan la metodología de ACV:

- **UNE-EN ISO 14040:2006. Gestión medioambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Principios y marco de referencia**: se especifican los principios generales, el marco de referencia y las limitaciones del ACV, pero no expone la técnica de la metodología en detalle.
- **UNE-EN ISO 14044:2006. Gestión medioambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Requisitos y directrices:** esta norma incluye además de los requisitos generales, la descripción del análisis de inventario, la evaluación de impacto y la interpretación de los resultados.

La norma UNE-EN ISO 14040:2006, junto con la norma UNE-EN ISO 14044:2006 anulan y reemplazan las normas que se describen a continuación (Aranda y Zabalza, 2010):

- **UNE-EN ISO 14040:1997. Gestión medioambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Principios y estructura**: se detalla la estructura del estudio, los principios y los requisitos que se debe tener en cuenta en un análisis de ACV. También se indican los aspectos que deben estar presentes en el informe final.
- **UNE-EN ISO 14041:1998. Gestión medioambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Definición del objetivo y alcance y el análisis de inventario**: marca los principios a contemplar en la definición del objetivo, el alcance y el análisis de inventario, así como la forma de incluir en el informe final estos aspectos.
- **UNE-EN ISO 14042:2000. Gestión medioambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Evaluación de impacto del ciclo de vida**: especifica el objetivo y los requisitos para elaborar le evaluación de impacto, incluyendo las fases y los aspectos que es necesario incluir para su desarrollo.

- **UNE-EN ISO 14043:2000. Gestión medioambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Interpretación del ciclo de vida**: expone la etapa de interpretación de un estudio de ACV donde se toman en consideración los resultados del análisis de inventario y la evaluación de impacto.

3.3. Indicadores ambientales: Huella de Carbono

La norma internacional ISO 14031 define **'indicador ambiental'** como *"expresiones específicas que proporcionan información medioambiental"*. El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, añade que los indicadores *"cuantifican y simplifican información sobre aspectos complejos que a menudo derivan de investigaciones técnicas, son dependientes de un propósito, y están abiertos a interpretación"*.

Los indicadores ambientales permiten condensar la información, simplificar la aproximación a los problemas medioambientales, y sirven de herramienta de gestión ambiental muy útil para la comunicación del desempeño ambiental de diferentes productos y procesos a la sociedad. Entre los más ampliamente utilizados se encuentran la Huella Hídrica, la Huella Ecológica y la Huella de Carbono. En 1996 surge el concepto de Huella Ecológica de la mano de William Rees y Mathis Wackernagel. Esta huella calcula la superficie de tierra y agua que se requiere para producir los recursos que consume y asimilar los residuos que genera una población con un estilo de vida determinado. En 2002, Arjen Hoekstra introduce el concepto de Huella de Hídrica, que se define como el volumen total de agua dulce que se emplea de manera directa o indirecta en la producción de bienes y servicios (E. M. López & Cattaneo, 2013).

Con el fin de reducir las emisiones contaminantes surge en 1997 el Protocolo de Kioto (Japón), protocolo de la Convención Marco de la Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). Los gases efecto invernadero que incluye este acuerdo internacional son los siguientes: dióxido de carbono (CO_2), gas metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), hidrofluorocarburos (HFCs), perfluorocarburos (PFCs) y hexafluoruro de azufre (SF_6).

Se entiende como Huella de Carbono (HC) al indicador empleado para la cuantificación de emisiones de gases efecto de invernadero (GEI). Este indicador deriva de la Huella

Ecológica definida por Rees y Wackernagel. El objetivo de la medición de la Huella de Carbono reside en conocer las emisiones de GEI generadas para poder implementar alternativas de mejora para la mitigación del cambio climático (Chacón et al., 2016). El CO_2 es el GEI que contribuye en mayor medida al calentamiento global, por lo que las emisiones de gases efecto invernadero se cuantifican en función de este gas. La unidad de medida universal que indica el potencial de calentamiento global (PCG) es la tonelada de CO_2 equivalente (MITECO, 2019).

Las emisiones vinculadas a las actividades de una empresa se pueden clasificar como emisiones directas o indirectas (MITECO, 2019):

- Emisiones directas de GEI: se incluyen las emisiones provenientes de fuentes de las cuales la organización es propietaria o están controladas por dicha organización. Se pueden definir como las emisiones liberadas "in situ" en el lugar donde se desarrolla la actividad.
- Emisiones indirectas de GEI: se contemplan las emisiones que resultan de las actividades de la empresa, pero que tienen lugar en fuentes pertenecientes a una organización externa o están controladas por otra empresa.

Para ayudar a delimitar las fuentes de emisiones directas e indirectas y hacer útiles las políticas de cambio climático y las metas de las empresas, se definen tres alcances para cuantificar las emisiones de gases efecto invernadero (Ranganathan et al., 2006) (*Figura 3.5.*):

- Alcance 1: se tienen en cuenta las emisiones directas de GEI de fuentes que son propiedad de la empresa o están controladas por la misma.
- Alcance 2: este alcance incluye aquellas emisiones generadas como consecuencia de la electricidad adquirida y consumida por la organización. Estas emisiones tienen lugar en la planta donde se genera la electricidad.
- Alcance 3: abarca las emisiones indirectas debidas a las actividades de la organización que se liberan en fuentes que no son propiedad de la empresa ni están controladas por ella.

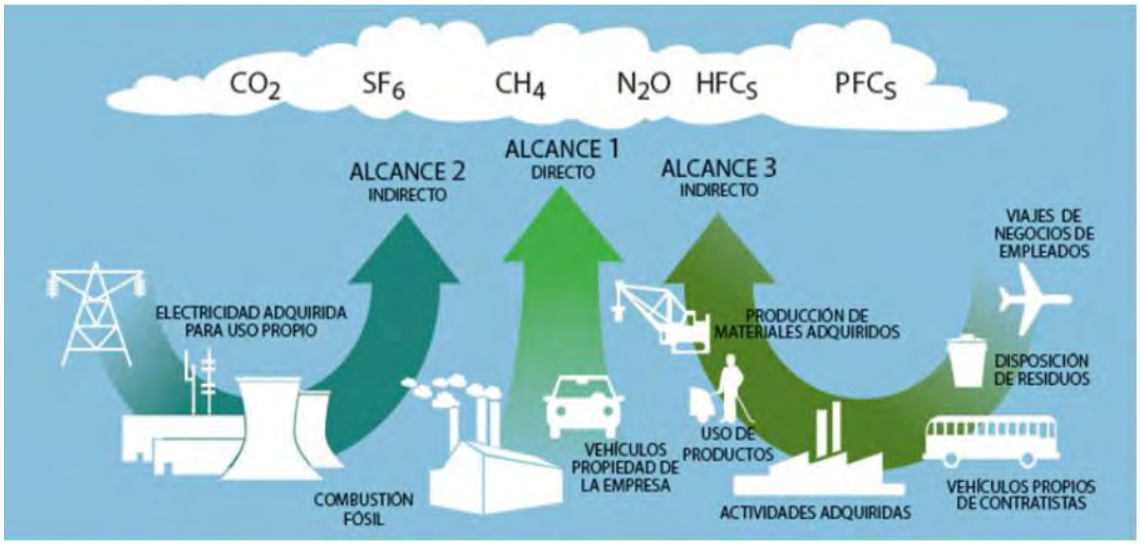


Figura 3.5. Esquema de los elementos que componen cada alcance (Fuente: Ranganathan et al., 2006).

Para el cálculo de las emisiones de los gases efecto invernadero (GEI) vinculadas a cada actividad, es preciso transformar los datos recogidos haciendo uso de factores de emisión, aplicando la siguiente fórmula (Frohmann et al., 2019):

$$Huella\ de\ Carbono = Nivel\ de\ actividad\ de\ la\ fuente\ estimada \times Factor\ de\ emisión$$

El nivel de actividad de la fuente estimada se refiere al parámetro que indica el grado de actividad que genera los GEI. Se define como factor de emisión a la tasa media de emisiones de un determinado GEI correspondientes a una determinada fuente, por unidad de actividad.

Las principales normas y metodologías empleadas para el cálculo de la Huella de Carbono de organizaciones se muestran a continuación. Cabe destacar que estas metodologías están basadas en los principios de relevancia, integridad, consistencia, exactitud y transparencia (Ranganathan et al., 2006):

- **Greenhouse Gas Protocol Corporate Standard (GHG Protocol)**: elaborado por el Instituto de Recursos Mundiales y el Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible. Se trata de uno de los protocolos más empleados internacionalmente para la gestión de las emisiones de GEI. Esta ha sido la metodología utilizada para el cálculo de la Huella de Carbono en este TFG.
- **UNE-ISO 14064:2006**: se desarrolla en base al GHG Protocol y se articula en tres partes. La norma ISO 14064-1detalla los principios y requisitos relativos a la

cuantificación de GEI. La norma ISO 14064-2 especifica los proyectos relacionados con la reducción de las emisiones de GEI y la norma ISO 14064-3 a la validación y verificación de los GEI declarados.

- **UNE-ISO 14065:2012**: contempla los requisitos para los organismos que validan y verifican los gases efecto invernadero, para su uso en acreditación.
- **UNE-ISO 14069:2013**: sirve de guía para la aplicación de la norma ISO 14064-1 y especifica el informe y la cuantificación de GEI para organizaciones.
- **IPCC 2006 GHG Workbook**: guía para el cálculo de GEI que incluye una lista de factores de emisión que resulta de gran utilidad si no se dispone de factores de emisión para la determinación de la Huella de Carbono de una organización.
- **Indicadores GRI (*Global Reporting Initiative*)**: tiene como objetivo establecer a escala mundial un marco de trabajo común para tratar las cuestiones relativas a la sostenibilidad mediante las Memorias de Sostenibilidad.

4. El ACV y la Huella de Carbono en el sector alimentario

La alimentación constituye una de las actividades del ser humano generadoras de mayores impactos ambientales. Tomando en consideración las fases del sistema agroalimentario de producción, procesado, distribución y consumo de alimentos, el IPCC, en el informe "*Climate Change and Land*", estima que dicho sistema es el responsable de entre el 21 y el 37% de las emisiones de gases efecto invernadero a nivel mundial. Este hecho pone de manifiesto la importancia de desarrollar alternativas sostenibles en el sector de la alimentación en el contexto de la lucha contra el cambio climático (Aguilera et al., 2020).

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) surge como una herramienta para la evaluación de los impactos ambientales a lo largo de todo el ciclo de vida de un producto, proceso o actividad. Identificar los impactos asociados a diferentes procesos es el primer paso para poder afrontar diversos problemas medioambientales como el calentamiento global, la desaparición de ozono estratosférico, la acidificación y la eutrofización. El ACV tiene su origen sincrónicamente en Estados Unidos y Europa en la década de 1960. Sin embargo, no es hasta la década de 1970 cuando se comienzan a realizar estudios centrados inicialmente en la industria de los envases, los plásticos, la química y la construcción (Rodríguez et al., 2005; Viglizzo, 2010).

Los impactos ambientales generados varían en función del sector o producto sobre el que se lleve a cabo el estudio. Durante el siglo XX, el crecimiento de la población, unido a la transición nutricional que experimenta la dieta de la población española hacia un elevado consumo de proteína animal, la intensificación agrícola, la importación de piensos y el aumento de las exportaciones como consecuencia de la creciente demanda internacional, traen consigo un incremento de las emisiones de GEI generadas por los sectores ganadero y agrícola. En España, la Huella de Carbono de los productos ganaderos en 2010 varió en un rango que entre 1,4 kg de CO_2eq/kg de leche de vaca hasta 32,5 kg de CO_2eq/kg de carne de vacuno. Por otro lado, en la *Figura 4.1.* se muestra un gráfico comparativo de la Huella de Carbono generada por tipo de cultivo agrícola en España en 2016. Cabe señalar que no solo se tienen en cuenta las emisiones derivadas del proceso productivo de la

plantación, sino también las emisiones indirectas debidas a la fabricación de insumos agrícolas, la distribución, el consumo de alimentos y la gestión de residuos (Aguilera et al., 2020).

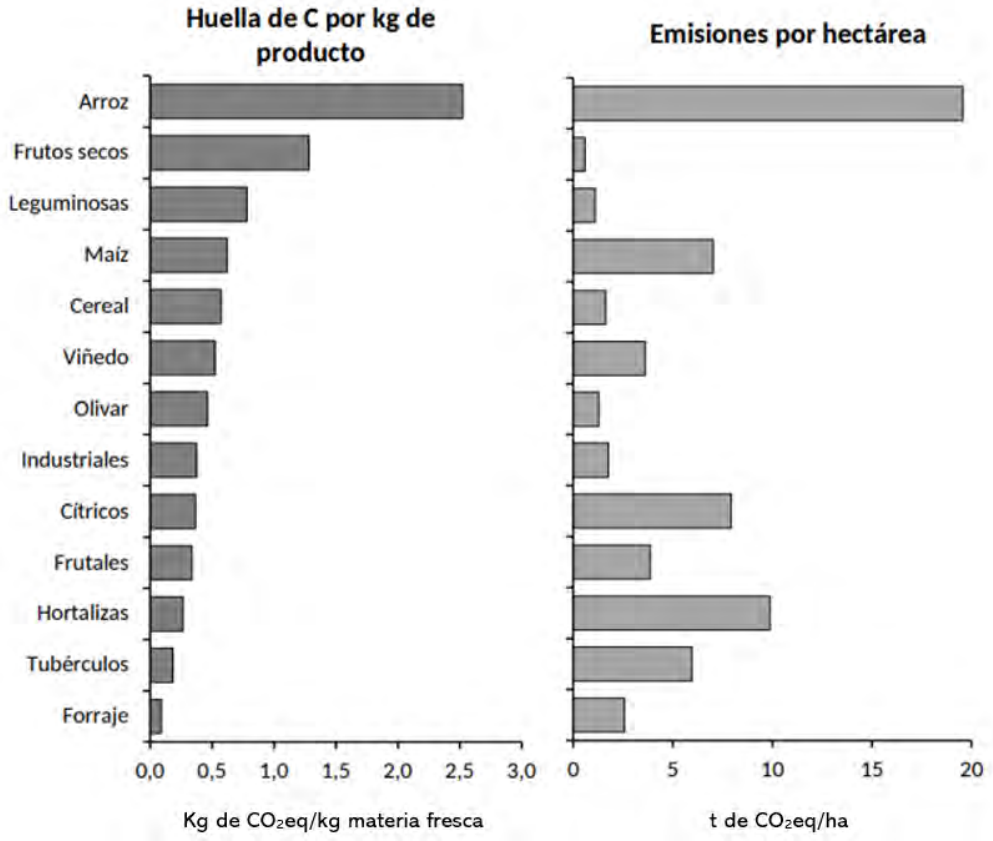


Figura 4.1. Huella de Carbono (kg de CO_2eq/kg de producto expresado en materia fresca) y emisiones netas de gases efecto invernadero por hectárea (toneladas de CO_2eq/ha) de los productos vegetales producidos en España en 2016 (Aguilera et al., 2020).

Se observa que el arroz es el responsable de las mayores emisiones. En segundo lugar se encuentran los frutos secos, cuya Huella de Carbono también es alta debido a su baja productividad. Las leguminosas y los cereales presentan una HC entre 0,6 y 0,8 kg de CO_2 equivalente por kilogramo de producto. Las emisiones por hectárea de las leguminosas son bajas en relación con los cultivos estudiados debido a su capacidad fijadora de nitrógeno, que reduce la necesidad de aportación de fertilizantes nitrogenados. Con una Huella de Carbono de aproximadamente 0,5 kg de CO_2eq/kg de producto se hallan los viñedos y olivares. Las emisiones generadas por el resto de las categorías analizadas son inferiores a 0,5 kg de CO_2eq/kg de producto y en todas ellas las emisiones

por hectárea y la productividad son elevadas como consecuencia de la presencia de cultivo de regadío (Aguilera et al., 2020).

Actualmente, existen numerosos estudios acerca de diversos productos alimentarios y su impacto en el medioambiente. Un estudio realizado con el objetivo de conocer las emisiones de gases efecto invernadero de los siguientes productos agroalimentarios: melocotón, naranja, pepino, pimiento, maíz, queso y vino, producidos en diferentes regiones de España (Navarra, Comunidad Valenciana, Murcia, Galicia, Castilla La Mancha, Extremadura y Andalucía), reveló que las actividades del proceso productivo de la plantación o granja son las generadoras de mayores impactos ambientales perjudiciales. En concreto, el subsistema que contribuye en mayor medida a la Huella de Carbono es el consumo de fertilizantes. Por otro lado, las emisiones asociadas a la distribución de los productos al punto de venta tienen menor impacto nocivo cuando se trata de productos destinados al mercado nacional. Sin embargo, este impacto perjudicial se incrementa en un 10% en los alimentos cuyo destino es la exportación. El alcance de este análisis comprende desde el acondicionamiento de las materias primas hasta la distribución del producto obtenido hasta el punto de comercialización (Sagarna & Polo, 2012).

Los estudios de Análisis de Ciclo de Vida se utilizan cada vez más para comparar y evaluar los impactos ambientales de los productos agrícolas procedentes de la agricultura convencional y orgánica (Meier et al., 2015). En este contexto, Liu et al. (2010) pone de manifiesto la importante contribución del uso de fertilizantes sintéticos y de la energía proveniente de la combustión de combustibles fósiles a la Huella de Carbono en la producción convencional de peras frente a la producción orgánica de las mismas.

Con el objetivo de reducir la emisiones de GEI del sector agrario se pueden llevar a cabo las siguientes actuaciones (MITECO, 2022):

- Análisis del suelo agrícola para conocer las necesidades de los cultivos.
- Rotación de cultivos con el fin de optimizar el uso de recursos.
- Correcta gestión de los estiércoles y purines en la ganadería.
- Sustitución de combustibles fósiles por el empleo de energías renovables.
- Eliminación de la quema de residuos de la agricultura.

5. Caso de estudio: plantación "Finca El Ribeiro"

5.1. Descripción de la plantación objeto de estudio

La plantación ("Finca El Ribeiro") en la que se ha llevado a cabo el estudio de ACV está ubicada en San Martín de Luíña (concejo de Cudillero), en el occidente del Principado de Asturias (*Figura 5.1.*) y se encuentra situada a 42 metros sobre el nivel del mar.

La zona soleada del valle en la que se localiza la plantación posee un clima que se caracteriza por vientos de 6 km/h de media (este, sudeste y sursudeste) predominantemente sudeste, una temperatura que oscila entre los 15 y 19ºC y una humedad que varía entre el 80 y el 90% a lo largo del año.

Figura 5.1. Ubicación de la plantación "Finca El Ribeiro", concejo de Cudillero, Principado de Asturias (Fuente: elaboración propia).

Esta plantación familiar se establece en el invierno de 2007 con el objetivo de fomentar el crecimiento del cultivo de productos autóctonos representativos del Principado. En 2009 da comienzo su actividad con 0,2 hectáreas dedicadas al cultivo de "Faba Asturiana", que han ido incrementándose hasta alcanzar en la actualidad una superficie de 1,04 hectáreas con una densidad de plantación de 2.900 plantas y una producción en el año de estudio (2021) de 919 kg de faba "Andecha". En la *Figura 5.2.*, se muestra una ortofoto de la plantación. En la *Tabla 5.1.* se muestran los datos recogidos de la variedad cultivada durante el periodo de estudio (enero a diciembre de 2021).

Figura 5.2. Ortofoto de la plantación "Finca El Ribeiro" (Fuente: Google Maps).

Tabla 5.1. Características de la plantación "Finca El Ribeiro" durante el periodo de estudio (2021).

Variedad cultivada	**"Andecha"**
Nº total de plantas	2.900
Fecha de siembra	01 al 30/05/2021
Época de floración	julio
Época de maduración	septiembre
Época de recogida	octubre
Época de secado	noviembre-diciembre
Fecha de congelación	29/12/2021
Fecha de almacenamiento	09/02/2022
Producción categoría extra (kg)	600
Producción primera categoría (kg)	23
Producción segunda categoría (kg)	296
Producción total faba (kg)	919
Producción faba destrío (kg)	210
Residuo vegetal tras recolección (kg)	40

En la *Figura 5.3.* se puede observar la plantación "Finca El Ribeiro" en una imagen tomada en septiembre de 2021. El tipo de terreno sobre el que se sitúa la parcela se

corresponde con un suelo de pradera arenoso. La plantación tiene las siguientes características:

- Existen 2 metros de distancia entre la planta y el cierre de plantación.
- Los postes están fabricados de hierro, bambú y madera, tienen una altura de 2 metros, están enterrados 40 cm y existe un distancia entre ellos de 74 metros.
- Los tutores para la faba son de hierro de 12 mm y bambú. La distancia entre ellos es de 40 cm.
- La distancia entre líneas es de 2,4 metros. Debido a que la recolección se lleva cabo manualmente, no es necesaria una separación mayor entre calles.
- La distancia entre plantas es de 20 cm.
- Las mallas de plástico para el entutorado de las plantas son de 74 metros de largo y 2 metros de ancho.
- Instalación fija de riego por goteo con agua blanda procedente de río. El riego se realiza durante 7 semanas (mayo-septiembre).

Figura 5.3. Imagen de la plantación "Finca El Ribeiro" (septiembre 2021).

Las instalaciones están formadas por un servicio higiénico de 10,5 m^2 que utiliza agua procedente de la red pública, una balsa prefabricada para el almacenamiento de agua de riego de 30 m^3 y un almacén de enseres. También consta de un secadero compuesto por

2 paneras de 40 m^2 cada una que mantienen una temperatura media de 13ºC y una humedad relativa del 85% y una tercera panera de 40 m^2 que mantiene una temperatura media de 11ºC y una humedad relativa del 70%, que se emplea para el almacenamiento de la faba. El desgranado, la separación y la congelación se realizan en instalaciones pertenecientes a una empresa externa, especializada en este tipo de tareas. Como estas tres etapas pertenecen a las fases del cultivo, se ha tenido en cuenta en el análisis el consumo de materiales y recursos en las tres fases. En cuanto a la electricidad, la empresa es abastecida por la red pública. Por último, cabe señalar que para la gestión de los residuos existen contenedores habilitados para la recogida de materiales de reciclaje en la zona.

5.2. Metodología de ACV

5.2.1. Definición de objetivos y alcance

La finalidad de este estudio es determinar los diferentes impactos ambientales derivados de la producción de la IGP "Faba Asturiana" en la plantación "Finca El Ribeiro" empleando la metodología del Análisis de Ciclo de Vida y, en base a los resultados obtenidos, proponer alternativas de mejora que puedan implementarse como prácticas sostenibles.

La unidad funcional que se ha tenido en cuenta en este análisis es 1 kg de faba. El alcance del estudio sigue la perspectiva "de la cuna a la puerta". Es decir, los límites del sistema se consideran desde la preparación del suelo hasta el almacenamiento de las fabas, sin tener en cuenta el empaquetado, etiquetado y la distribución a los puntos de venta. El sistema incluye tanto las fases del proceso productivo como el combustible y electricidad consumidos durante las operaciones necesarias en el proceso de desgranado, separación y congelación, que se realizan en instalaciones externas. También se tienen en cuenta como entradas el consumo de fertilizantes, los recursos hídricos, la electricidad, el uso del suelo y los materiales consumidos (plásticos y la cuerda). En las salidas se incluyen la producción de fabas, los residuos sólidos generados, el agua residual y las emisiones contaminantes a la atmósfera que derivan del compostaje de las malas hierbas y la faba de destrío, de la incineración de residuos vegetales procedentes del desgranado y la recolección, de los fertilizantes empleados y del combustible consumido. Los fertilizantes

son los responsables de las emisiones al suelo. Cabe señalar que no se ha tenido en cuenta la captación de CO_2 neta en el sistema ya que el CO_2 no queda retenido en la planta a lo largo de los años, la planta crece y se degrada dentro del propio ciclo y los restos de desgranado y porte de la planta se incineran o compostan como se ha indicado previamente. En la *Figura 5.4.* se muestra un esquema de las entradas y salidas al sistema estudiado.

Figura 5.4. Esquema de las entradas y salidas al sistema (Fuente: elaboración propia).

Para realizar el análisis se utiliza el software SimaPro V.8. El método seleccionado para la cuantificación de impactos ambientales es ReCiPe 2016 Midpoint (H) V1.01 y la Huella de Carbono se obtiene haciendo uso de la metodología Greenhouse Gas Protocol V1.02, donde se tiene en cuenta únicamente el CO_2eq fósil (de la combustión de recursos fósiles) y el CO_2eq biogénico (de fuentes biológicas), de acuerdo con la norma ISO 14067.

5.2.2. Análisis de inventario

Esta fase del ACV incluye la recopilación de datos para la posterior identificación y cuantificación de las entradas y salidas del sistema durante el periodo de estudio. Dichas entradas y salidas han de vincularse a la unidad funcional definida (1 kg de faba). En la *Tabla 5.2.* se recogen los datos principales en relación con la plantación en el año 2021.

Tabla 5.2. Principales datos de la plantación "Finca El Ribeiro" en el año 2021.

Mantenimiento del suelo	
Limpieza de calles	
Herramienta utilizada	Desbrozadora, rotovator
Frecuencia de uso	1 vez/mes
Sistema de energía	Gasóleo
Consumo de energía (litros gasolina)	40
Tipo de residuos generados	Malas hierbas
Volumen de residuos generados (kg)	340
Gestión de los residuos	Compostaje
Sistema de riego	
Volumen balsa almacenaje (m^3)	30
Sistema de riego	Por goteo
Consumo de agua de riego (m^3/año)	270
Nº semanas riego	7
Volumen de agua (L/planta/semana)	13,4
Procedencia del agua de riego	Río Panizales
Calidad del agua	Blanda
Gestión de residuos	Planta de tratamiento
Recolección	
Sistema de recolección	Manual
Estado del producto	Seco
Recipientes recogida del producto	Contenedor de PE y cajas de cartón
Características del recipiente	Contenedor PE de 50 L y calderos de 15 L
Gestión del recipiente	Reutilización
Gestión faba no viable	Compostaje
Oreo o secado de vainas	
Lugar de oreo o secado	Paneras
Distancia desde la plantación al lugar de secado (m)	500 y 1.000
Sistema de transporte empleado	Tractor
Tipo de combustible empleado por el sistema de transporte	Gasóleo

Cantidad de combustible empleado por el sistema de transporte (L)	4
Sistema de oreo empleado	Aireación natural
Desgranado	
Lugar de desgranado	Empresa externa
Distancia desde la plantación al lugar de desgranado (km)	35
Sistema de transporte empleado	Camión con caja
Tipo de combustible empleado por el camión	Gasóleo
Cantidad de combustible empleado por el camión (L)	11,2
Tipo de desgranado	Mecánico
Tipo de máquina	Trilladora de fabas accionada por el tractor
Tipo de combustible empleado por la trilladora	Gasóleo
Cantidad de combustible empelado por la trilladora (L)	6
Tipo de residuos generados	Vainas
Volumen de residuos generados (kg)	162,5
Gestión de los residuos	Incineración
Limpieza y congelado del grano	
Lugar de limpieza y congelación	Empresa externa
Distancia desde la plantación al lugar de congelación (km)	5
Sistema de transporte empleado	Camión con caja
Tipo de combustible empleado por el camión	Gasóleo
Cantidad de combustible empleado por el camión (L)	Incluido en el transporte a desgranado
Dimensiones cámara de congelación (m^2)	9
Temperatura de congelación (ºC)	-18
Tiempo de congelación	48 h a -18 ºC
Potencia consumida (kW·h)	61
Tipo de residuos generados	Sacos de rafia de 25 kg que se reemplazan cada año
Volumen de residuos generados (g)	15

Comercialización y distribución	
Sistema de venta	Directa y online
Faba con denominación IGP (kg)	623
Faba no IGP (kg)	296
Sistema de transporte venta directa	Vehículo propio

A continuación, se exponen las suposiciones y los cálculos realizados para la obtención de los datos del inventario que se recogen en la *Tabla* 5.5.

- **Consumo de combustible**

El consumo de combustible incluye el gasóleo empleado por la desbrozadora y el rotovator durante la limpieza de calles, el combustible que consume el tractor en el transporte hasta el lugar de secado de las vainas, el gasóleo consumido por el camión en el traslado al lugar de desgranado y, por último, el combustible que emplea la trilladora durante la operación de desgranado. Conocido el consumo total de diésel (61,2 L) y siendo la densidad media del mismo 832 kg/m^3, la masa de combustible consumido asciende a 50.918, 4 g.

- **Cuerda para empacar**

Se consumen 1.000 metros al año de cuerda de cáñamo. Un rollo de 100 m de dicha cuerda pesa 100 g, por lo que se necesitan diez rollos, que expresado en unidades de masa representa 1.000 g de cuerda para empacar.

- **Sacos de rafia de 25 kg**

Se reúsan los sacos de rafia de polipropileno existentes de 25 kg para el traslado y recogida de fabas. Conociendo los kilogramos de faba totales producidos, se calcula el número de sacos empleados:

$$N° \; de \; sacos \; empleados = \frac{1.129 \; kg \; faba}{25 \; kg/saco} = 45 \quad (5.1)$$

A partir del número total de sacos y sabiendo que la vida media de cada uno es de 10 años, se obtienen los sacos reemplazados al año:

$$\frac{N°\ de\ sacos\ reemplazados}{año} = \frac{45\ sacos}{10\ años} = 4{,}5 \quad (5.2)$$

Se estima que se reemplazan 5 sacos al año, sabiendo que el peso de cada uno es 3 g, por lo que expresado en términos de masa, representan un total de 15 g.

- **Consumo de nevera de congelación**

El congelado del grano se lleva a cabo en una cámara de frío. El tiempo de congelación es de 48 h y la potencia media consumida por la cámara es 30,5 kW·h al día. La potencia total consumida se calcula de la siguiente forma:

$$Potencia\ total\ consumida = \frac{30{,}5\ \text{kW} \cdot \text{h}}{día} \times \frac{1\ día}{24\ h} \times 48\ h = 61\ \text{kW} \cdot \text{h} \quad (5.3)$$

- **Malla para entutorar**

Se emplean cada año 38 redes de 148 m^2 cada una en el entutorado y se sabe que el peso de la malla es de 9 g/m^2. Se obtiene el peso total de la red de plástico como se muestra a continuación:

$$38\ redes \times \frac{148\ m^2}{red} \times \frac{9\ g}{m^2} = 50.616\ g \quad (5.4)$$

- **Emisiones del compostaje a la atmósfera**

Para el cálculo de las emisiones de compostaje es preciso conocer los kilogramos de residuo vegetal a compostar. Las fabas de destrío y las malas hierbas constituyen dichos residuos en este caso de estudio.

Ya que se desconocen los kilogramos de malas hierbas producidos, se calculan a partir de datos de investigaciones previas de frutos asturianos, tomando los datos mostrados en la *Tabla 5.3.*

Tabla 5.3. Datos de tres plantaciones para el cálculo de los kilogramos de malas hierbas (Pérez et al., 2022).

Plantación	Dimensiones (ha)	Malas hierbas (kg)	kg/ha
Uchuva	0,5	100	200
Arándano 1	0,8	400	500
Arándano 2	1,8	585	325

Se realiza la media de los kg/ha obtenidos de las tres plantaciones:

$$\frac{200\frac{kg}{ha} + 500\frac{kg}{ha} + 325\frac{kg}{ha}}{3} = 341{,}67\frac{kg}{ha} \quad (5.5)$$

La plantación "Finca El Ribeiro" posee 1,02 ha dedicadas al cultivo de faba, por lo que se supone que la plantación genera aproximadamente 340 kg de malas hierbas al año. Conocidos los kilogramos de malas hierbas producidos y sabiendo que se obtienen 210 kg de faba de destrío al año, se calculan los kilogramos de residuo vegetal a compostar:

$$kg\ a\ compostar = 210\ kg\ faba\ de\ destrío + 340\ kg\ malas\ hierbas = 550\ kg \quad (5.6)$$

A continuación, se calculan las emisiones del compostaje a partir de los factores de emisión que se recogen en la *Tabla 5.4*.

Tabla 5.4. Factores de emisión para emisiones de CH_4, N_2O y NH_3 procedentes del compostaje (Inventario Nacional de Emisiones de Gases Efecto Invernadero, 1990-2015; EEA, 2016).

Factor de emisión CH_4 (g de CH_4/kg de desechos tratado)	Factor de emisión N_2O (g de N_2O/kg de desechos tratado)	Factor de emisión NH_3 (g de NH_3/kg de desechos tratado)
4	0,24	0,24

$$550\ kg\ de\ residuo\ tratado \times \frac{4\ g\ CH_4}{kg\ de\ residuo\ tratado} = 2.200\ g\ CH_4 \quad (5.7)$$

$$550\ kg\ de\ residuo\ tratado \times \frac{0{,}24\ g\ N_2O}{kg\ de\ residuo\ tratado} = 132\ g\ N_2O \quad (5.8)$$

$$550\ kg\ de\ residuo\ tratado \times \frac{0{,}24\ g\ NH_3}{kg\ de\ residuo\ tratado} = 132\ g\ NH_3 \quad (5.9)$$

- **Emisiones de la incineración a la atmósfera**

Para la determinación de las emisiones procedentes de la quema de residuos vegetales se sigue el método propuesto por el IPCC. Se considera que las emisiones de CO_2 no representan una fuente neta de CO_2, ya que las plantas absorben este gas durante su crecimiento (Junta de Andalucía, 2009). El método a seguir consta de las siguientes etapas:

1. Cálculo de la cantidad de residuos generada.

En la plantación se queman los residuos vegetales generados durante la recolección y las vainas procedentes del desgranado. Los kilogramos de vaina seca en vacío a incinerar son 162,5 kg.

Conocidos los kilogramos de vainas generados y sabiendo que se producen 40 kg de residuo vegetal durante la recolección, se calculan los kilogramos de residuo a incinerar:

$$kg\ a\ incinerar = 162,5\ kg\ de\ vainas + 40\ kg\ residuo\ vegetal\ tras\ recolección = 202{,}5 \quad (5.10)$$

2. Estimación de la cantidad de residuos secos.

Sabiendo que la fracción de materia seca es 0,85 (Junta de Andalucía, 2009):

$$202{,}5\ kg\ residuo\ húmedo \times \frac{0{,}85\ kg\ de\ residuo\ seco}{1\ kg\ de\ residuo\ húmedo} = 172{,}125\ kg\ de\ residuo\ seco \quad (5.11)$$

3. Estimación de la biomasa quemada total.

Se considera 0,9 la fracción oxidada y se aplica dicha fracción a la cantidad de residuo seco generada para conocer la biomasa quemada total (Junta de Andalucía, 2009):

$$172{,}125\ kg\ de\ residuo\ seco \times 0{,}9 = 154{,}913\ kg \quad (5.12)$$

4. Cálculo del carbono y del nitrógeno total liberado.

Las fracciones de carbono y nitrógeno son 0,46 y 0,0075, respectivamente (Mendívil et al., 2013). Conocidas estas fracciones y a partir de la biomasa quemada total calculada anteriormente, se obtiene el carbono y nitrógeno total liberado:

$$154{,}913\ kg \times 0{,}46 = 71{,}26\ kg\ C \quad (5.13)$$

$$154{,}913\ kg \times 0{,}0075 = 1{,}162\ kg\ N \quad (5.14)$$

5. Estimación de las emisiones de CH_4 y CO.

Las emisiones de cada gas se calculan multiplicando el carbono total liberado por su relación de emisión (0,005 para el CH_4 y 0,06 para el CO) y su relación de conversión (Junta de Andalucía, 2009):

$$71{,}26\ kg\ C \times 0{,}005 \times \frac{16}{12} \times \frac{1.000\ g}{1\ kg} = 475{,}065\ g\ CH_4 \quad (5.15)$$

$$71{,}26\ kg\ C \times 0{,}06 \times \frac{28}{12} \times \frac{1.000\ g}{1\ kg} = 9.976{,}365\ g\ CO \quad (5.16)$$

6. Estimación de las emisiones de N_2O y NO_x.

Las emisiones de ambos gases se calculan de igual forma que en el apartado anterior. Sabiendo que las relaciones de emisión para el N_2O y NO_x son 0,007 y 0,121, respectivamente y partiendo, en este caso, del nitrógeno total liberado (Junta de Andalucía, 2009):

$$1{,}162\ kg\ N \times 0{,}007 \times \frac{44}{28} \times \frac{1.000\ g}{1\ kg} = 12{,}780\ g\ N_2O \quad (5.17)$$

$$1{,}162\ kg\ N \times 0{,}121 \times \frac{46}{14} \times \frac{1.000\ g}{1\ kg} = 458{,}098\ g\ NO_x \quad (5.18)$$

7. Cálculo de las emisiones de SO_x, COVNM y NH_3

Las emisiones del resto de gases (SO_x, COVNM y NH_3) se obtienen a partir del carbono total liberado y aplicando el factor de conversión que recoge el método CORINAIR (Junta de Andalucía, 2009):

$$71{,}26\ kg\ C \times \frac{1{,}6\ g\ SO_x}{kg\ C} = 114{,}016\ g\ SO_x \quad (5.19)$$

$$71{,}26\ kg\ C \times \frac{21\ g\ COVNM}{kg\ C} = 1.496{,}46\ g\ COVNM \quad (5.20)$$

$$71{,}26\ kg\ C \times \frac{1{,}8\ g\ NH_3}{kg\ C} = 128{,}268\ g\ NH_3 \quad (5.21)$$

Los compuestos orgánicos volátiles no metánicos (COVNM) están formados mayoritariamente por butano, propano y etano. Las emisiones de cada gas se calculan suponiendo que cada uno de los compuestos representa 1/3 de los COVNM totales liberados:

$$Emisión\ butano = 1.496{,}46\ g\ COVNM \times \frac{1}{3} = 498{,}818\ g\ C_4H_{10} \quad (5.22)$$

$$Emisión\ propano = 1.496{,}46\ g\ COVNM \times \frac{1}{3} = 498{,}818\ g\ C_3H_8 \quad (5.23)$$

$$Emisión\ etano = 1.496{,}46\ g\ COVNM \times \frac{1}{3} = 498{,}818\ g\ C_2H_6 \quad (5.24)$$

8. Estimación de las emisiones de CO_2

$$71{,}26\ kg \times 0{,}974 \times \frac{44}{12} \times \frac{1.000\ g}{1\ kg} = 254.492{,}321\ g\ CO_2 \quad (5.25)$$

- **Emisiones de combustible fósil a la atmósfera**

Las emisiones a la atmósfera derivadas del consumo de diésel se calculan siguiendo las directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.

Emisiones de CO_2:

Los factores de emisión de CO_2 están basados en el contenido de carbono del diésel, representando el 100% de oxidación del carbono combustible. Sabiendo que el poder calorífico del diésel es $3{,}594 \cdot 10^{-5}\ \frac{TJ}{L}$ y el factor de emisión del CO_2 $74.100\ \frac{kg}{TJ}$, se pueden determinar las emisiones de CO_2 a la atmósfera a partir del volumen de combustible consumido (IPCC, 2006a).

$$61{,}2\ L \times (3{,}594 \times 10^{-5})\frac{TJ}{L} \times 74.100\frac{kg}{TJ} \times \frac{1.000\ g}{1\ kg} = 162.985{,}025\ g\ CO_2 \quad (5.26)$$

Emisiones de CH_4 y N_2O:

Para el cálculo de las emisiones a la atmósfera se utilizan los factores de emisión de CH_4 y N_2O por defecto que se corresponden con el valor de 3,9 $\frac{kg}{TJ}$ en ambos gases (IPCC, 2006a).

$$61{,}2\ L \times (3{,}594 \times 10^{-5})\frac{TJ}{L} \times 3{,}9\frac{kg}{TJ} \times \frac{1.000\ g}{1\ kg} = 8{,}578\ g\ CH_4 \quad (5.27)$$

$$61{,}2\ L \times (3{,}594 \times 10^{-5})\frac{TJ}{L} \times 3{,}9\frac{kg}{TJ} \times \frac{1.000\ g}{1\ kg} = 8{,}578\ g\ N_2O \quad (5.28)$$

Se considera que las emisiones de CO_2 calculadas anteriormente representan el 12% de las emisiones totales a la atmósfera debidas al consumo de diésel, por lo que se pueden calcular los moles totales emitidos (Audi, 2000).

$$162.985{,}025\ g\ CO_2 \times \frac{1mol}{44\ g} = 3.704{,}2\ mol\ CO_2 \quad (5.29)$$

$$\frac{3.704{,}2\ mol\ CO_2 \times 100}{12} = 30.868{,}371\ moles\ totales\ emitidos \quad (5.30)$$

Se conoce la proporción de cada uno de los gases generados por la combustión de diésel, de modo que se pueden obtener sus emisiones a la atmósfera a partir de los moles totales emitidos (Audi, 2000).

$$30.868{,}371\ mol\ total \times \frac{0{,}67\ mol\ N_2}{1\ mol} \times \frac{28\ g}{1\ mol} = 579.090{,}64\ g\ N_2 \quad (5.31)$$

$$30.868{,}371\ mol\ total \times \frac{0{,}11\ mol\ H_2O}{1\ mol} \times \frac{18\ g}{1\ mol} = 61.119{,}375\ g\ H_2O \quad (5.32)$$

$$30.868{,}371\ mol\ total \times \frac{0{,}1\ mol\ O_2}{1\ mol} \times \frac{32\ g}{1\ mol} = 98.778{,}787\ g\ O_2 \quad (5.33)$$

$$30.868{,}371\ mol\ total \times \frac{0{,}0015\ mol\ NO_x}{1\ mol} \times \frac{46\ g}{1\ mol} = 2.129{,}918\ g\ NO_x \quad (5.34)$$

$$30.868{,}371\ mol\ total \times \frac{0{,}00045\ mol\ CO}{1\ mol} \times \frac{28\ g}{1\ mol} = 388{,}941\ g\ CO \quad (5.35)$$

$$30.868{,}371\ mol\ total \times \frac{0{,}0003\ mol\ SO_2}{1\ mol} \times \frac{64\ g}{1\ mol} = 592{,}673\ g\ SO_2 \quad (5.36)$$

$$30.868{,}371\ mol\ total \times \frac{0{,}0003\ mol\ HC}{1\ mol} \times \frac{78\ g}{1\ mol} = 722{,}320\ g\ HC \quad (5.37)$$

- **Nutrientes de los fertilizantes**

Se conoce la cantidad anual aportada de los diferentes fertilizantes que se utilizan en la plantación. A partir del porcentaje peso/peso de cada uno de los componentes de los fertilizantes sólidos, así como del porcentaje peso/volumen y la densidad de los componentes en el caso de los fertilizantes líquidos, se determina la cantidad de cada uno de los nutrientes aportados. Cabe destacar que no se tienen en cuenta los componentes que suponen una aportación inferior al 1%. Tomando en consideración lo descrito anteriormente, se calcula la cantidad de nutrientes aportada de acuerdo a la composición de los siguientes fertilizantes empleados en el cultivo: 125 kg de MAGNICALPLUS, 10 L de Bombardier y 80 L de leche desnatada.

$$Carbono\ orgánico = 10\ L\ Bombardier \times \frac{10^3\ cm^3}{1\ L} \times \frac{1{,}27\ g}{1\ cm^3} \times \frac{30\ g}{100\ g} = 3.810\ g \quad (5.38)$$

$$Materia\ orgánica\ total = 10\ L\ Bombardier \times \frac{10^3\ cm^3}{1\ L} \times \frac{1{,}27\ g}{1\ cm^3} \times \frac{60{,}4\ g}{100\ g} = 7.670{,}8\ g \quad (5.39)$$

$$Óxido\ de\ calcio = 125\ kg\ MAGNICALPLUS \times \frac{10^3\ g}{1kg} \times \frac{37g}{100\ g} = 46.250\ g \quad (5.40)$$

$$Óxido\ de\ magnesio = 125\ kg\ MAGNICALPLUS \times \frac{10^3\ g}{1kg} \times \frac{14\ g}{100\ g} = 17.500\ g \quad (5.41)$$

$$Leche\ desnatada = 80\ L\ leche\ desnatada \times \frac{10^3\ mL}{1\ L} \times \frac{1g}{1\ mL} = 80.000\ g \quad (5.42)$$

- **Emisiones de los fertilizantes al suelo**

Las plantas no asimilan todos los nutrientes aportados, la eficiencia de los fertilizantes varía entre el 70 y el 90%. Se considera que el 20% del óxido de magnesio y óxido de calcio aportados por los fertilizantes se pierde por fertirrigación (Jequier, 2019). Por lo tanto, se pueden obtener las emisiones de los fertilizantes al suelo como se muestra a continuación:

$$Óxido\ de\ calcio = 125\ kg\ MAGNICALPLUS \times \frac{10^3\ g}{1kg} \times \frac{37g}{100\ g} \times 0{,}2$$
$$= 9.250\ g \quad (5.43)$$

$$Óxido\ de\ magnesio = 125\ kg\ MAGNICALPLUS \times \frac{10^3\ g}{1kg} \times \frac{14\ g}{100\ g} \times 0{,}2$$
$$= 3.500\ g \quad (5.44)$$

- **Emisiones de los fertilizantes a la atmósfera**

En este cultivo agrícola se hace uso de fertilizantes nitrogenados de tipo mineral. Se pueden calcular las emisiones a la atmósfera de amoniaco a partir del nitrógeno aportado por los fertilizantes y el factor de emisión correspondiente (0,09 g NH_3/g N). El 0,3% del nitrógeno aportado por los fertilizantes al suelo se emite a la atmósfera en forma de NO_2, por ello se emplea el factor 46/14 para convertir el nitrógeno en dióxido de nitrógeno. Por último, se utiliza la *Ecuación* (5.47) para calcular las emisiones de óxido nitroso (Inventarios Nacionales de Emisiones a la Atmósfera, 1990-2012).

$$Emisiones\ de\ amoniaco\ (NH_3) = 1.066{,}8\ g\ N \times 0{,}09 \frac{g\ NH_3}{g\ N} = 96{,}012\ g \quad (5.45)$$

$$Emisiones\ de\ dióxido\ de\ nitrógeno\ (NO_2) = 1.066{,}8\ g\ N \times \frac{46\ g\ NO_2}{14\ g\ N} \times 0{,}003$$
$$= 10{,}516\ g \quad (5.46)$$

Los cálculos de las emisiones de óxido nitroso se detallan a continuación:

$$N_2O_{DIRECTAS} = [(F_{SN} + F_{AW} + F_{BN} + F_{CR} + F_{LC}) \times EF_1] + F_{OS} \times EF_2 \quad (5.47)$$

Donde,

$N_2O_{DIRECTAS}$ = Emisiones de N_2O provenientes directamente de los suelos agrícolas (kg N/año)

F_{SN} =Cantidad de nitrógeno incorporada en los fertilizantes inorgánicos, descontando el nitrógeno emitido como NH_3 y NO_x (kg N/año)

$$F_{SN} = N_{FERT} \times (1 - Frac_{GASF}) \quad (5.48)$$

Siendo,

N_{FERT} = Cantidad consumida de fertilizante inorgánico (kg N/año)

$Frac_{GASF}$ = Fracción de nitrógeno en el fertilizante inorgánico aplicado a los suelos que se volatiliza como NH_3 y NO_x (kg NH_3-N y NO_x-N/kg de N aplicado)

F_{AW} = Cantidad de nitrógeno incorporada en los fertilizantes inorgánicos (estiércoles), descontando el nitrógeno emitido como NH_3 y NO_x y excluyendo el abono incorporado durante el pastoreo de los animales (kg N/año)

F_{BN} = Fijación biológica de nitrógeno (kg N/año)

F_{CR} = Nitrógeno contenido en los residuos de los cultivos (kg N/año)

F_{LC} = Nitrógeno contenido en el compost y los lodos de depuradora aplicados en la agricultura (kg N/año)

EF_1 = Factor de emisión para las emisiones provenientes directamente de los suelos agrícolas (kg N_2O-N/ kg N aplicado)

F_{OS} = Área cultivada de suelos orgánicos (ha de histosoles)

EF_2 = Factor de emisión para el cultivo de suelos orgánicos (histosoles) (kg N_2O-N/ ha y año)

Los parámetros F_{AW}, F_{BN}, F_{CR}, F_{OS} y EF_2 se consideran despreciables, por lo que la *Ecuación* (5.50) se simplificaría de la siguiente forma:

$$N_2O_{DIRECTAS} = [N_{FERT} \times (1 - Frac_{GASF}) + F_{LC}] \times EF_1 \quad (5.49)$$

El valor por defecto correspondiente al parámetro $Frac_{GASF}$ propuesto por el IPCC es 0,1 kg (NH_3-N+NO_x-N)/kg de N en los fertilizantes inorgánicos aplicados.

Para el factor de emisión (EF_1) se usa el valor de 0,01 kg N-N_2O/kg de nitrógeno proveniente de fertilizantes minerales (IPCC, 2006b).

Se conoce la cantidad de nitrógeno aportada por los fertilizantes (N_{FERT} = 1.066,8 g) y el nitrógeno contenido en el compost (F_{LC} = 132 g), por lo que aplicando la *Ecuación* (5.49) se obtienen las emisiones de N_2O directas.

$$N_2O_{DIRECTAS} = [1.066{,}8 \times (1 - 0{,}1) + 132] \times 0{,}01 = 10{,}921\ g \quad (5.50)$$

En la *Tabla 5.5.* se recogen los datos globales del inventario de la plantación organizados según los diferentes subsistemas estudiados y expresados de acuerdo con la UF.

Tabla 5.5. Datos del inventario del sistema estudiado (UF=1 kg de faba).

ENTRADAS				
Subsistema	**Recurso**	**Cantidad**	**Cantidad/ UF**	**Unidad**
Recursos hídricos	Agua potable	11,66	0,013	m^3
	Agua de riego	270	0,294	m^3
Uso del suelo	Superficie de plantación	1,04	0,001	ha
Recursos eléctricos	Consumo de electricidad	3.285	3,575	kW·h
	Consumo eléctrico de nevera de congelación	61	0,066	kW·h
Consumo de plásticos	Sacos de rafia 25 kg	15	0,016	g
	Red de entutorar PP	50.616	55,077	g
Consumo de cuerda	Cuerda para empacar	1.000	1,088	g
Consumo de combustible (diésel)	Combustible (diésel)	50.918,4	55,406	g
Consumo de fertilizantes	Carbono orgánico	3.810	4,146	g
	Óxido de calcio	46.250	50,362	g
	Óxido de magnesio	17.500	19,042	g
	Leche	80.000	87,051	g
	Materia orgánica	117.670,8	128,042	g

SALIDAS				
Subsistema	**Recurso**	**Cantidad**	**Cantidad/ UF**	**Unidad**
Residuos de plástico	Plástico de red tutores	50.616	55,077	g
	Saco de rafia 25 kg	15	0,016	g
	Envases plástico PP	712	0,775	g
	Envases plástico PET	2.080	2,263	g
Residuos de cartón	Cartón	10	0,011	g
Residuos urbanos	Cuerda para empacar	1.000	1,088	g
Recursos hídricos	Agua residual	160	0,174	m^3
Emisiones del compostaje a la atmósfera	Metano (CH_4)	2.200	2,394	g
	Óxido nitroso (N_2O)	132	0,144	g
	Amoniaco (NH_3)	132	0,144	g
Emisiones de la incineración a la atmósfera	Monóxido de carbono (CO)	9.976,365	10,856	g
	Óxido nitroso (N_2O)	12,780	0,014	g
	Óxidos de nitrógeno (NO_x)	458,098	0,498	g
	Óxidos de azufre (SO_x)	114,016	0,124	g
	Amoniaco (NH_3)	128,268	0,140	g
	Butano (C_4H_{10})	498,818	0,543	g
	Propano (C_3H_8)	498,818	0,543	g
	Etano (C_2H_6)	498,818	0,543	g
	Metano (CH_4)	475,065	0,517	g
	Dióxido de carbono (CO_2)	254.492,321	276,923	g
Emisiones del combustible fósil a la atmósfera	Dióxido de carbono (CO_2)	162.985	177,350	g
	Metano (CH_4)	8,578	0,009	g
	Óxido nitroso (N_2O)	8,578	0,009	g
	Nitrógeno (N_2)	579.090,64	630,131	g
	Agua (H_2O)	61.119,375	66,506	g
	Oxígeno (O_2)	98.778,787	107,485	g
	Óxidos de nitrógeno (NO_x)	2.129,918	2,318	g

	Monóxido de carbono (CO)	388,941	0,423	g
	Partículas PM	0	0,000	g
	Dióxido de azufre (SO_2)	592,673	0,645	g
	Hidrocarburos (HC)	722,32	0,786	g
Emisiones de los fertilizantes a la atmósfera	Amonio (NH_4^+)	96,012	0,104	g
	Dióxido de nitrógeno (NO_2)	10,5156	0,011	g
	Óxido nitroso (N_2O)	10,9212	0,012	g
Emisiones de los fertilizantes al suelo	Óxido de magnesio (MgO)	3.500	3,808	g
	Óxido de calcio (CaO)	9.250	10,065	g

5.3. Resultados

5.3.1. Impactos ambientales

A partir de los datos obtenidos en el inventario, se lleva a cabo el análisis del impacto ambiental de los subsistemas estudiados mediante el método ReCiPe 2016, Midpoint (H) V1.01. Se evalúan cada una de las categorías de impacto ambiental consideradas con el fin de establecer la influencia que tienen los subsistemas estudiados sobre cada una de ellas. Esta caracterización se expresa en términos de porcentaje respecto al 100%. Cabe destacar que los valores positivos reflejan impactos ambientales perjudiciales, mientras que los valores negativos indican impactos ambientales beneficiosos. Esta etapa permite diferenciar las actividades que presentan un impacto ambiental más significativo con el objetivo de encontrar alternativas de mejora para reducirlo. En la *Figura 5.5.* se muestran los resultados de este análisis, incluyendo tanto las categorías consideradas como los subsistemas estudiados.

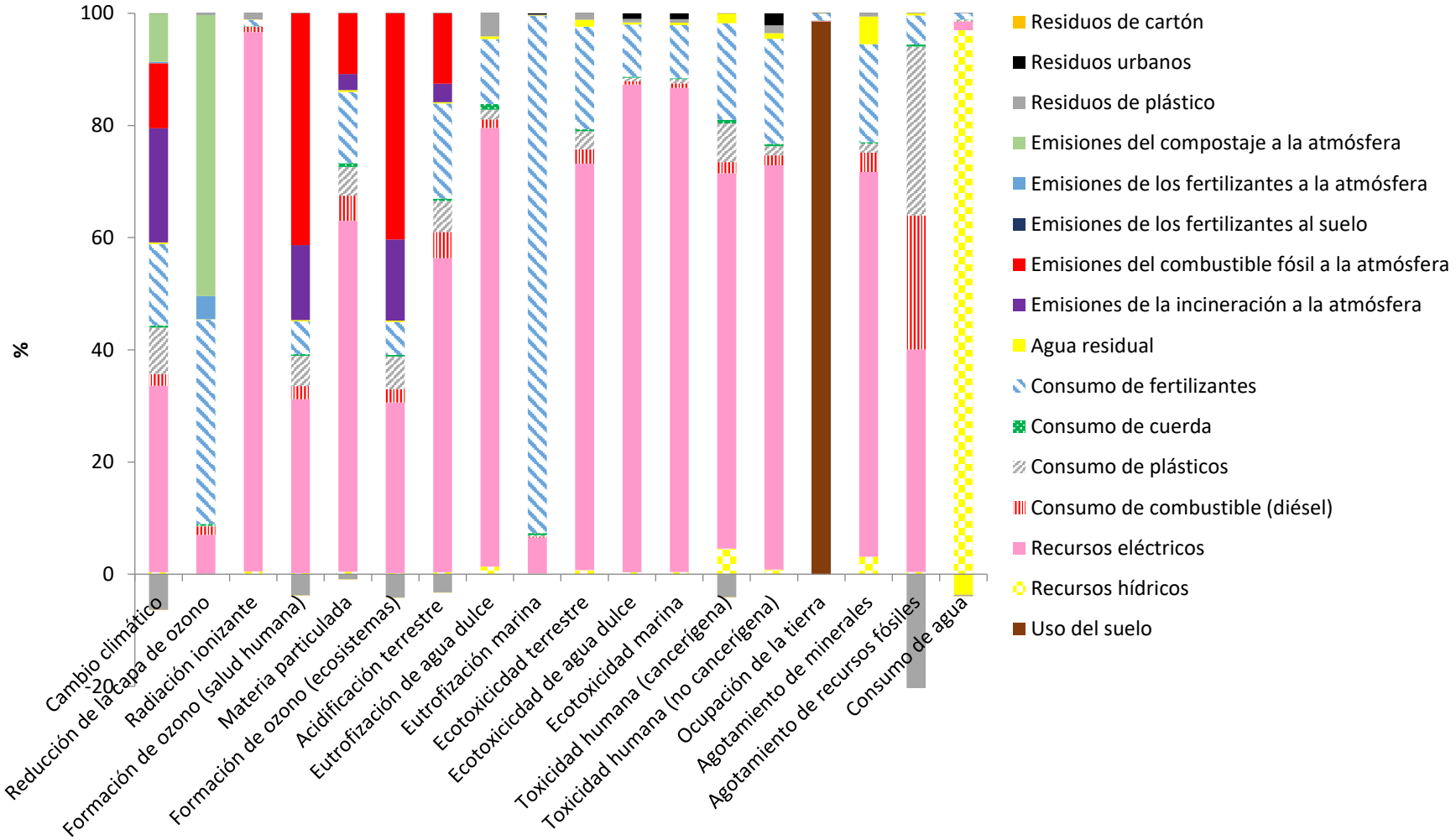


Figura 5.5. Resultados de caracterización de impactos ambientales asociados a la producción de 1 kg de faba mediante el método ReCiPe 2016, Midpoint (H) V1.01.

A modo de resumen, se muestran en la *Tabla 5.6.* las contribuciones más importantes de los subsistemas a las categorías de impacto ambiental consideradas.

Tabla 5.6. Contribuciones más significativas de los subsistemas estudiados en las categorías de impacto ambiental consideradas mediante el análisis ReCiPe 2016, Midpoint (H) V1.01.

Cambio climático	Reducción capa de ozono	Radiación ionizante
33% Recursos eléctricos 20% Emisiones de la incineración a la atmósfera 15% Consumo de fertilizantes 12% Emisiones del combustible fósil a la atmósfera 9% Emisiones del compostaje a la atmósfera 8% Consumo de plásticos 2% Consumo de combustible (diésel)	50% Emisiones del compostaje a la atmósfera 36 % Consumo de fertilizantes 7% Recursos eléctricos 4% Emisiones de los fertilizantes a la atmósfera 2% Consumo de combustible (diésel)	96% Recursos eléctricos 1% Consumo de fertilizantes 1% Residuos de plástico
Formación de ozono (salud humana)	**Formación de ozono (ecosistemas)**	**Materia particulada**
41% Emisiones del combustible fósil a la atmósfera 31% Recursos eléctricos 13% Emisiones de la incineración a la atmósfera 6% Consumo de fertilizantes 5% Consumo de plásticos 2% Consumo de combustible (diésel)	42% Emisiones del combustible fósil a la atmósfera 32% Recursos eléctricos 15% Emisiones de la incineración a la atmósfera 6% Consumo de fertilizantes 6% Consumo de plásticos 3% Consumo de combustible (diésel)	63% Recursos eléctricos 13% Consumo de fertilizantes 11% Emisiones del combustible fósil a la atmósfera 5% Consumo de plásticos 4% Consumo de combustible (diésel) 3% Emisiones de la incineración a la atmósfera
Acidificación terrestre	**Eutrofización del agua dulce**	**Eutrofización marina**
56% Recursos eléctricos 17% Consumo de fertilizantes	78% Recursos eléctricos 12 % Consumo de fertilizantes 4% Residuos de plástico	92% Consumo de fertilizantes 6% Recursos eléctricos

13% Emisiones del combustible fósil a la atmósfera 6% Consumo de plásticos 5% Consumo de combustible (diésel) 3% Emisiones de la incineración a la atmósfera	2% Consumo de combustible fósil 2% Consumo de plásticos 1% Recursos hídricos	
Ecotoxicidad terrestre	**Ecotoxicidad del agua dulce**	**Ecotoxicidad marina**
72% Recursos eléctricos 18% Consumo de fertilizantes 3% Consumo de combustible (diésel) 3% Consumo de plásticos 1% Agua residual 1% Residuos de plástico	87% Recursos eléctricos 9% Consumo de fertilizantes	86% Recursos eléctricos 9% Consumo de fertilizantes 1% Residuos urbanos
Toxicidad humana (cancerígena)	**Toxicidad humana (no cancerígena)**	**Ocupación de la tierra**
67% Recursos eléctricos 17% Consumo de fertilizantes 7% Consumo de plásticos 5% Recursos hídricos 2% Consumo de combustible (diésel)	72% Recursos eléctricos 19% Consumo de fertilizantes 2% Consumo de combustible fósil 2% Consumo de plásticos 1% Agua residual 1% Residuos de plástico	99% Uso del suelo 1% Consumo de fertilizantes
Agotamiento de minerales	**Agotamiento de recursos fósiles**	**Consumo de agua**
69% Recursos eléctricos 18% Consumo de fertilizantes 5% Agua residual 3% Recursos hídricos 3% Consumo de combustible (diésel) 2% Consumo de plásticos	40% Recursos eléctricos 30% Consumo de plásticos 24% Consumo de combustible (diésel) 5% Consumo de fertilizantes	97% Recursos hídricos 1% Recursos eléctricos 1% Consumo de fertilizantes

A la vista de los resultados se concluye que los subsistemas que presentan un impacto ambiental más significativo son los siguientes:

- **Recursos eléctricos**

La plantación es abastecida por la red pública. El consumo de electricidad es el subsistema más impactante en las categorías consideradas, estando presente en todas ellas y contribuyendo en mayor medida en la categoría de radiación ionizante (96%), seguida de las siguientes categorías: ecotoxicidad del agua dulce y marina (87% y 86%, respectivamente), eutrofización de agua dulce (78%), ecotoxicidad terrestre (72%), toxicidad humana no cancerígena (72%), agotamiento de minerales (69%), toxicidad humana cancerígena (67%), materia particulada (63%) y acidificación terrestre (56%). Con respecto a las categorías en las que el impacto es inferior al 50 %, destacan el agotamiento de recursos fósiles (40%), el cambio climático (33%) y formación de ozono (salud humana y ecosistemas) (31% y 30%, respectivamente).

- **Consumo de fertilizantes**

El consumo de fertilizante es el segundo subsistema que genera mayores impactos perjudiciales, afectando a las 18 categorías en un rango de contribución que varía entre el 1% y el 92%. Las categorías sobre las que más influye este subsistema son: eutrofización marina (92%), reducción de la capa de ozono (36%) y toxicidad humana (no cancerígena y cancerígena) (19% y 17%, respectivamente).

- **Consumo de combustible fósil y emisiones a la atmósfera derivadas del combustible**

El consumo de combustible incluye el diésel empleado por la desbrozadora y el rotovator durante la limpieza de calles, el gasóleo consumido por el tractor en el secado de las vainas, el combustible que consume el camión en el traslado al lugar de desgranado y el combustible que emplea el tractor durante el desgranado. Los impactos derivados del consumo de combustible contribuyen en las 18 las categorías, siendo la más destacada el agotamiento de recursos fósiles (24%).

En lo referente a las emisiones del combustible fósil a la atmósfera, este subsistema influye en 5 de las 18 categorías, en un rango que varía entre el 11% y el 41% y contribuye

más notablemente a las categorías de formación de ozono (salud humana y ecosistemas) (41% y 40%, respectivamente).

- **Emisiones del compostaje a la atmósfera**

Las fabas de destrío y las malas hierbas constituyen los residuos vegetales a compostar. Este subsistema genera el impacto perjudicial más significativos en la categoría de reducción de la capa de ozono (50%), seguida de la categoría de cambio climático (9%).

Un nuevo informe del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), advierte que el óxido nitroso (N_2O) es ahora la emisión más importante de una sustancia que agota el ozono. La emisión de óxido nitroso en la actualidad llega a niveles tales que permanecerá como la sustancia reductora del ozono más abundante por todo el siglo XXI (Kanter et al., 2021).

- **Emisiones de la incineración a la atmósfera**

Las emisiones procedentes de la quema de residuos vegetales contribuyen como impacto nocivo en 5 de las 18 categorías, siendo la más afectada por este subsistema la categoría de cambio climático (20%).

- **Consumo de plásticos y residuos de plástico**

El consumo de plásticos influye en 16 de las 18 categorías estudiadas, contribuyendo más significativamente en la categoría de agotamiento de recursos fósiles (30%). Los residuos de plástico generan impactos beneficiosos en 8 de las 18 categorías como consecuencia del reciclaje de los envases de los fertilizantes empleados.

- **Recursos hídricos**

Los recursos hídricos, en su mayoría agua de riego procedente de río, constituyen el subsistema más impactante en la categoría de consumo de agua (97%).

- **Uso del suelo**

Los recursos del suelo contribuyen únicamente a la categoría de ocupación de la tierra, representando un impacto del 99%.

5.3.2. Huella de Carbono

Para el análisis de la Huella de Carbono del sistema se emplea el método Greenhouse Gas Protocol V1.02. Se consideran solamente las emisiones de CO_2 fósil que proceden de los combustibles fósiles y las emisiones de CO_2 biogénico que provienen de fuentes biológicas, de acuerdo con la norma ISO 14067. Estas emisiones se expresan en unidades de kg de CO_2eq/kg de faba producida. En la *Figura 5.6.* se muestran los resultados del análisis de la Huella de Carbono asociados a la producción de 1 kg de faba.

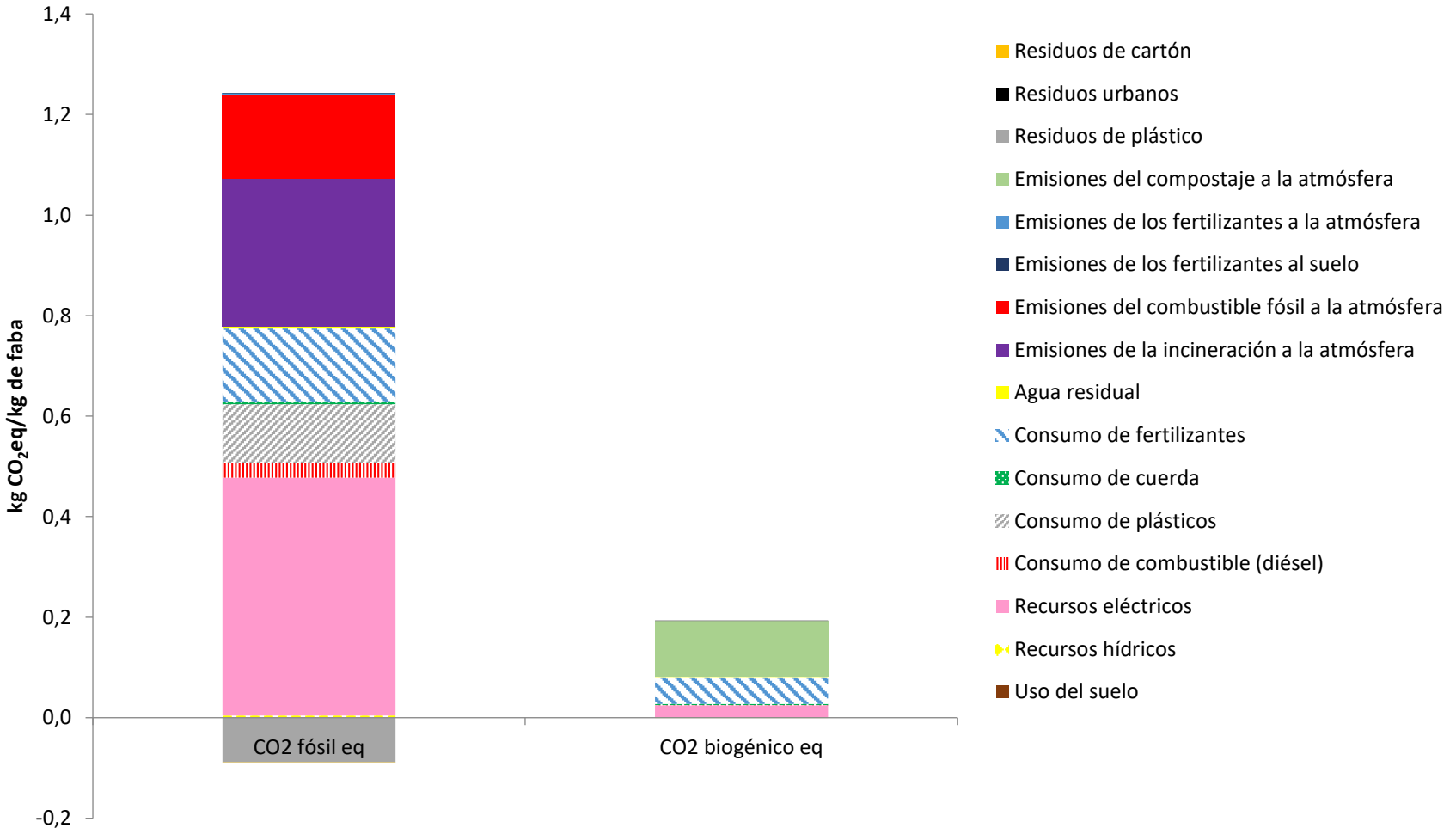


Figura 5.6. Huella de Carbono asociada a la producción de 1 kg de faba obtenida mediante el análisis Greenhouse Gas Protocol V1.02.

En la *Tabla 5.7.* se recogen los subsistemas que contribuyen más significativamente a la Huella de Carbono del sistema analizado.

Tabla 5.7. Contribuciones más significativas de los subsistemas en el análisis de la Huella de Carbono llevado a cabo mediante el método Greenhouse Gas Protocol V1.02.

CO_2 fósil eq	CO_2 biogénico eq
38% Recursos eléctricos 24% Emisiones de la incineración a la atmósfera 14% Emisiones del combustible fósil a la atmósfera 12% Consumo de fertilizantes 9% Consumo de plásticos	58% Emisiones del compostaje a la atmósfera 27% Consumo de fertilizantes 13% Recursos eléctricos

Se obtiene tras el análisis una Huella de Carbono de 1,35 kg de CO_2eq/kg de faba. En lo referente al CO_2 fósil, los subsistemas que presentan mayor impacto perjudicial son los recursos eléctricos (38%), seguido de las emisiones de la incineración a la atmósfera (24%), las emisiones de combustible fósil a la atmósfera (14%) y el consumo de fertilizantes (12%). Cabe señalar que el impacto beneficioso es debido al reciclaje de residuos de plástico y cartón. Con respecto al CO_2 biogénico, se observa que los subsistemas que contribuyen de forma más importante a la Huella de Carbono son las emisiones del compostaje a la atmósfera (58%), seguido del consumo de fertilizantes (27%) y los recursos eléctricos (13 %).

A continuación, se compara la Huella de Carbono obtenida en este trabajo con la de diferentes estudios de ACV llevados a cabo en plantaciones de leguminosas. En un estudio realizado siguiendo la perspectiva “de la cuna a la puerta” en cinco zonas agroclimáticas de Europa (Suecia, Escocia, Alemania, Rumanía e Italia) para evaluar el impacto climático de la producción de leguminosas grano, se obtuvieron valores de HC para el haba en el intervalo 0,071-0,165 kg de CO_2eq/kg de grano (Knudsen et al., 2014). En la misma línea, dos estudios realizados en Dinamarca e Italia en cultivos de haba dieron como resultado una HC de 0,385 y 0,223 kg de CO_2eq/kg de grano respectivamente (Alhajj Ali et al., 2017). Heusala (2020) analizó las emisiones de gases efecto invernadero en cultivos de haba situados en Europa (Francia, Alemania, España e

Italia), obteniendo una Huella de Carbono entre 0,23 y 0,58 kg de CO_2eq por kilogramo de haba. Los valores encontrados en la bibliografía consultada son considerablemente inferiores a los obtenidos en el presente trabajo. Esto puede ser debido a diferentes causas, en el estudio realizado por Knudsen, todos los cultivos son de secano, a diferencia del cultivo analizado en este TFG, que es de regadío. Asimismo, cabe destacar que en los estudios citados no se evalúa la misma especie de leguminosa. En el caso de la bibliografía consultada la legumbre pertenece al género *Vicia faba L.*, mientras que la semilla cultivada en plantación "Finca El Ribeiro" pertenece al género *Phaseolus vulgaris L.* Por último, debe señalarse que, en este TFG, siguiendo las indicaciones de la norma ISO 14067, en el cálculo de la HC no se ha tenido en cuenta el CO_2 captado por los cultivos, mientras que en la bibliografía consultada no se indica si la captación de carbono ha sido considerada o no.

5.3.3. Alternativa de mejora

En base a los resultados obtenidos en el análisis del caso de estudio real, se puede concluir qué subsistema genera un impacto ambiental más significativo y comprobar de qué manera afectaría una modificación en dicho subsistema. Tomando en consideración que el subsistema más impactante es el consumo de electricidad procedente de la red pública, se propone la alternativa de instalar placas solares para el autoabastecimiento de energía eléctrica con el objetivo de reducir los impactos perjudiciales y la Huella de Carbono. La energía solar fotovoltaica es una fuente de energía renovable, no genera emisiones de gases efecto invernadero. Otro de los aspectos que se debe señalar de la energía solar es que es silenciosa y el mantenimiento de las instalaciones necesarias resulta asequible.

En la *Figura 5.7.* se recogen los resultados del análisis en el escenario alternativo, incluyendo tanto los subsistemas estudiados como las categorías estudiadas.

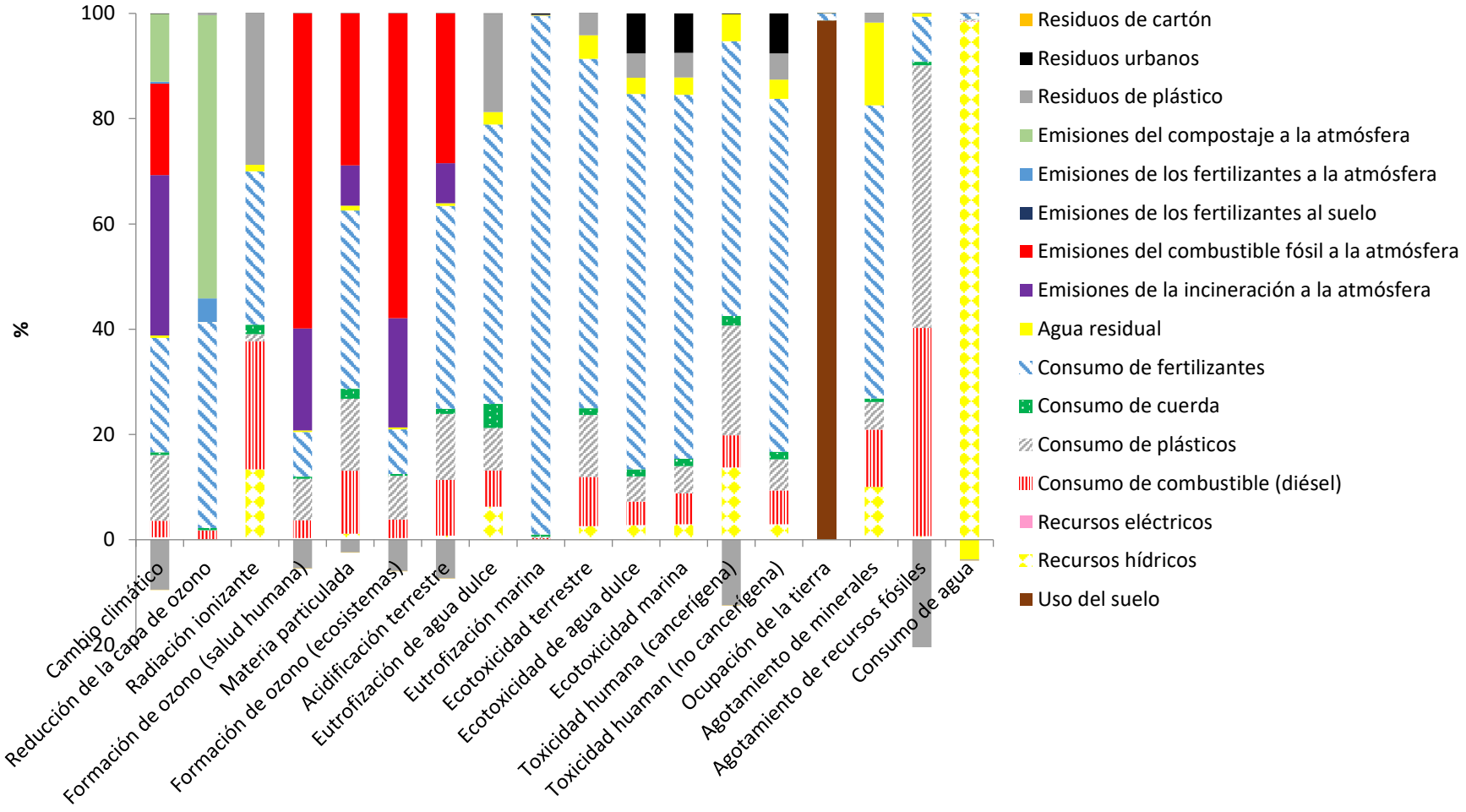


Figura 5.7. Resultados de caracterización de impactos ambientales asociados a la producción de 1 kg de faba en el escenario alternativo mediante el método ReCiPe 2016, Midpoint (H) V1.01.

En la *Tabla 5.8.* se recogen las contribuciones más importantes de los subsistemas a las categorías de impacto ambiental consideradas en el escenario alternativo.

Tabla 5.8. Contribuciones más significativas de los subsistemas estudiados en las categorías de impacto ambiental consideradas, en el escenario alternativo mediante el análisis ReCiPe 2016, Midpoint (H) V1.01.

Cambio climático	Reducción capa de ozono	Radiación ionizante
31% Emisiones de la incineración a la atmósfera 22% Consumo de fertilizantes 17% Emisiones del combustible fósil a la atmósfera 13% Emisiones del compostaje a la atmósfera 12% Consumo de plásticos 3% Consumo de combustible (diésel)	54% Emisiones del compostaje a la atmósfera 39% Consumo de fertilizantes 4% Emisiones de los fertilizantes a la atmósfera	29% Consumo de fertilizantes 29% Residuos de plástico 24% Consumo de combustible (diésel) 13% Recursos hídricos
Formación de ozono (salud humana)	**Formación de ozono (ecosistemas)**	**Materia particulada**
60% Emisiones del combustible fósil a la atmósfera 19% Emisiones de la incineración a la atmósfera 8% Consumo de fertilizantes 8% Consumo de plásticos 3% Consumo de combustible (diésel)	58% Emisiones del combustible fósil a la atmósfera 21% Emisiones de la incineración a la atmósfera 8% Consumo de fertilizantes 8% Consumo de plásticos 3% Consumo de combustible (diésel)	34% Consumo de fertilizantes 29% Emisiones del combustible fósil a la atmósfera 14% Consumo de plásticos 12% Consumo de combustible (diésel) 8% Emisiones de la incineración a la atmósfera
Acidificación terrestre	**Eutrofización del agua dulce**	**Eutrofización marina**
39% Consumo de fertilizantes 28% Emisiones del combustible fósil a la atmósfera 13% Consumo de plásticos	53% Consumo de fertilizantes 19% Residuos de plástico 8% Consumo de plásticos 7% Consumo de combustible (diésel)	99% Fertilizantes

11% Consumo de combustible (diésel) 8% Emisiones de la incineración a la atmósfera	6% Recursos hídricos 5% Consumo de cuerda	
Ecotoxicidad terrestre	**Ecotoxicidad del agua dulce**	**Ecotoxicidad marina**
66% Consumo de fertilizantes 12% Consumo de plásticos 9% Consumo de combustible (diésel) 4% Agua residual 4% Residuos de plástico	78% Consumo de fertilizantes 8% Residuos urbanos 5% Residuos de plástico 4% Consumo de plásticos 4% Consumo de combustible (diésel)	69% Consumo de fertilizantes 7% Residuos urbanos 6% Consumo de combustible (diésel) 5% Consumo de plásticos 5% Residuos de plástico
Toxicidad humana (cancerígena)	**Toxicidad humana (no cancerígena)**	**Ocupación de la tierra**
52% Consumo de fertilizantes 21% Consumo de plásticos 14% Agua residual 11% Recursos hídricos 6% Consumo de combustible (diésel)	67% Consumo de fertilizantes 5% Residuos de plástico 7% Residuos urbanos 6% Consumo de plásticos 64% Consumo de combustible (diésel) 3% Agua residual	99% Uso del suelo
Agotamiento de minerales	**Agotamiento de recursos fósiles**	**Consumo de agua**
56% Consumo de fertilizantes 16% Agua residual 11% Consumo de combustible (diésel) 10% Recursos hídricos 5% Consumo de plásticos	50% Consumo de plásticos 40% Consumo de combustible (diésel) 9% Consumo de fertilizantes	98% Recursos hídricos

Se puede concluir que los subsistemas que generan mayor impacto ambiental en el escenario alternativo, donde se sustituye la energía eléctrica procedente de la red pública por energía solar fotovoltaica, son los siguientes:

- **Consumo de fertilizantes**

El consumo de fertilizantes es ahora el subsistema más impactante, afectando a las 18 categorías en un rango que varía entre el 1% y el 99%. Las categorías sobre las que este subsistema influye de manera más significativa son: eutrofización marina (99%), ecotoxicidad del agua dulce (71%), toxicidad humana (no cancerígena) (67%), ecotoxicidad marina (69%), agotamiento de minerales (56%), eutrofización del agua dulce (53%) y toxicidad humana (cancerígena) (52%). Entre las categorías en las que el consumo de fertilizantes presenta un impacto inferior al 50%, las más destacadas son: acidificación terrestre (39%), materia particulada (34%), radiación ionizante (29%) y cambio climático (22%).

- **Consumo de combustible fósil y emisiones a la atmósfera derivadas del combustible**

El consumo de combustible fósil está presente en las 18 categorías, contribuyendo en mayor medida en las categorías de agotamiento de recursos fósiles (40%) y radiación ionizante (24%).

Con respecto a las emisiones derivadas del uso de combustible a la atmósfera, destaca su contribución en las categorías de formación de ozono (salud humana) (60%) y formación de ozono (ecosistemas) (58%).

- **Emisiones del compostaje a la atmósfera**

Este subsistema influye en dos de las categorías consideradas, generando el mayor impacto ambiental en la categoría de reducción de la capa de ozono (54%) y contribuyendo en un 13% al cambio climático.

- **Emisiones de la incineración a la atmósfera**

Las emisiones a la atmósfera derivadas de la incineración de residuos vegetales afectan de manera perjudicial a la categoría de cambio climático (31%), seguido de las categorías formación de ozono (ecosistemas y salud humana) (21% y 19%, respectivamente).

- **Consumo de plásticos y residuos de plástico**

En lo referente al consumo de plásticos, destaca su contribución en la categoría de agotamiento de recursos fósiles (50%), influyendo en menor medida en el resto de las categorías analizadas.

Los residuos de plástico destacan por su impacto perjudicial en las categorías de radiación ionizante (29%) y eutrofización del agua dulce (19%). Es importante señalar el impacto beneficioso de este subsistema en 8 de las 18 categorías consideradas debido al reciclaje de los residuos de plástico, presentando el mayor impacto favorable en la categoría de agotamiento de recursos fósiles.

- **Uso del suelo**

El uso del suelo es el subsistema responsable del impacto en la categoría de ocupación de la tierra, influyendo en un 99%.

- **Recursos hídricos**

Este subsistema presenta su contribución más importante en la categoría de consumo de agua, con un impacto perjudicial del 98%

En la *Figura 5.8.* se recogen los resultados del análisis de la Huella de Carbono asociados a la producción de 1 kg de faba en el escenario alternativo.

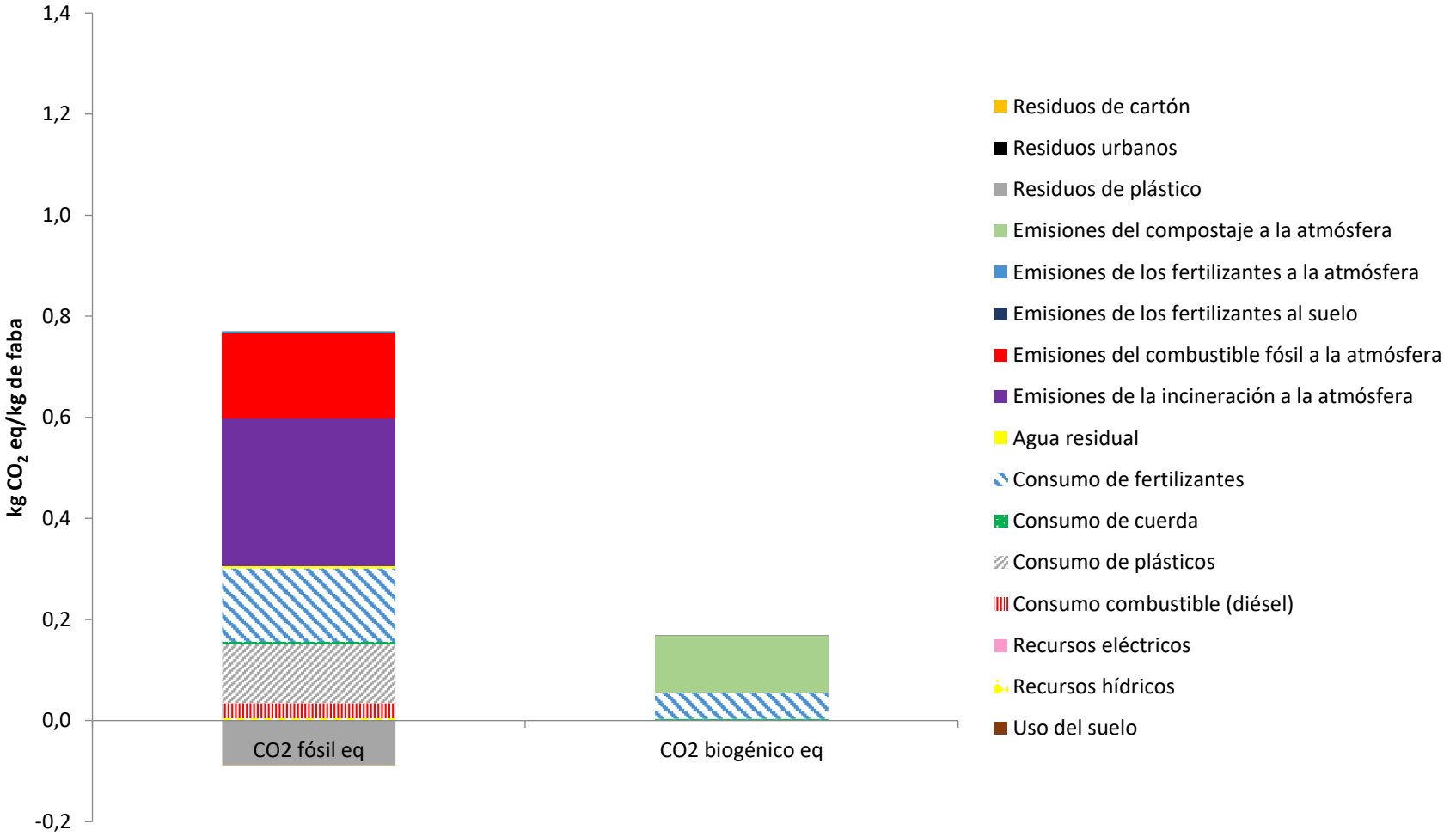


Figura 5.8. Huella de Carbono asociada a la producción de 1 kg de faba en el escenario alternativo obtenida mediante el análisis Greenhouse Gas Protocol V1.02.

En la *Tabla 5.9.* se muestran los subsistemas que contribuyen más significativamente a la Huella de Carbono del sistema analizado.

Tabla 5.9. Contribuciones más significativas de los subsistemas en el análisis de la Huella de Carbono en el escenario alternativo mediante el método Greenhouse Gas Protocol V1.02

CO_2 fósil eq	CO_2 biogénico eq
38% Emisiones de la incineración a la atmósfera 22% Emisiones de combustible fósil a la atmósfera 19% Consumo de fertilizantes 15% Consumo de plásticos 4% Consumo de combustible (diésel)	66% Emisiones del compostaje a la atmósfera 31% Consumo de fertilizantes

Tras el análisis del escenario alternativo, donde se propone la instalación de placas solares para abastecer a la plantación en sustitución de la energía eléctrica de red, se obtiene una Huella de Carbono de 0,85 kg de CO_2eq/kg de faba. Si se compara la Huella de Carbono de la alternativa de mejora con la del caso real (1,35 kg de CO_2eq/kg de faba), se observa una disminución de 0,5 kg de CO_2eq/kg de faba. Con relación al CO_2 fósil, los subsistemas que presentan mayor impacto nocivo son las emisiones de la incineración a la atmósfera (38%), las emisiones de combustible fósil a la atmósfera (24%), el consumo de fertilizantes (19%) y el consumo de plásticos (15%). Con respecto al CO_2 biogénico, las emisiones del compostaje a la atmósfera constituyen el principal subsistema generador de impactos perjudiciales (66%), seguido del consumo de fertilizantes (31%).

A continuación, en la *Figura 5.9.* se muestra una gráfica comparativa de los resultados de caracterización de los impactos ambientales del caso real y la propuesta de mejora.

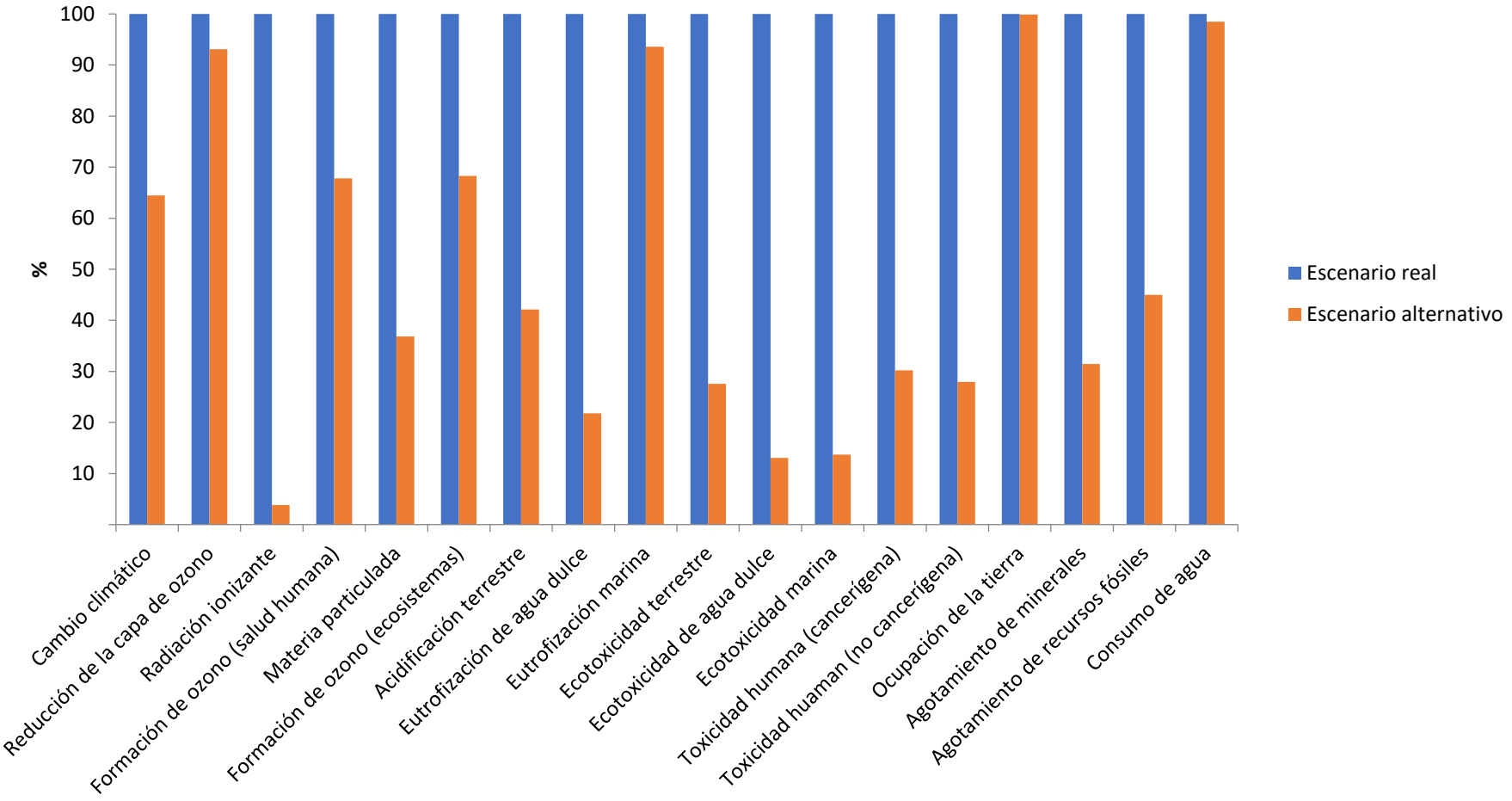


Figura 5.9. Comparación de caracterización de los impactos ambientales asociados a la producción de 1 kg de faba en el escenario real y alternativo mediante el método ReCiPe 2016, Midpoint (H) V1.01.

Como consecuencia de la instalación de placas fotovoltaicas en sustitución de la energía eléctrica proveniente de la red pública se puede observar en el gráfico comparativo del escenario real y el escenario alternativo una reducción del impacto perjudicial en un rango que varía entre el 0,1% y el 96%. La categoría de impacto en la que se produce una reducción más significativa es la radiación ionizante (96%), seguida de la ecotoxicidad de agua dulce (87%) y la ecotoxicidad marina (86%). Las categorías en las que la implantación de la propuesta de mejora influye en menor medida son: la ocupación de la tierra (0,1%), el consumo de agua (2%), la eutrofización marina (6%) y la reducción de la capa de ozono (7%).

En la *Figura 5.10.* se muestra la gráfica de comparación de los resultados de caracterización de la Huella de Carbono del caso real y la alternativa de mejora.

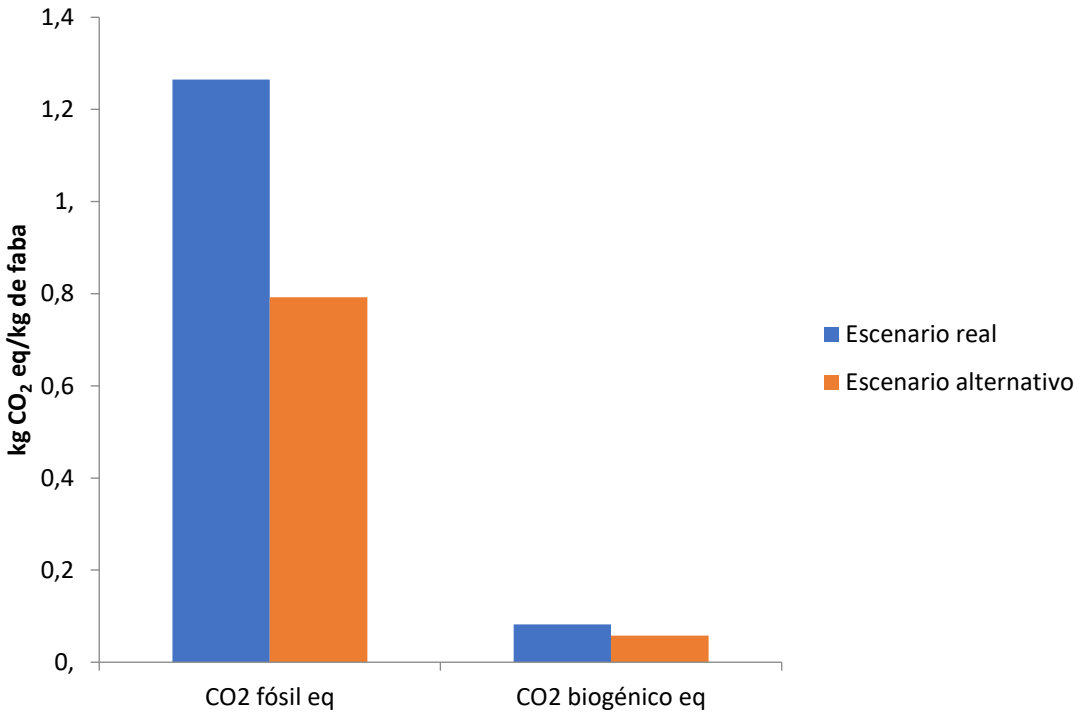


Figura 5.10. Comparación de caracterización de la Huella de Carbono asociada a la producción de 1 kg de faba en el escenario real y alternativo mediante el análisis Greenhouse Gas Protocol V1.02.

La implantación del escenario alternativo conlleva una reducción de la Huella de Carbono del 37%, desde 1,35 kg de CO_2eq/kg de faba en el escenario real hasta 0,85 kg de CO_2eq/kg de faba en el escenario alternativo. Con relación al CO_2 fósil y CO_2 biogénico se observa una reducción del 37% y 30%, respectivamente.

6.Conclusiones

A la vista de los resultados obtenidos en el Análisis de Ciclo de Vida llevado a cabo para determinar los impactos ambientales derivados de la producción de IGP "Faba Asturiana" en la plantación "Finca El Ribeiro", se puede concluir que el subsistema que genera mayores impactos ambientales perjudiciales es el consumo de electricidad procedente de la red pública. Este subsistema está presente en todas las categorías consideradas, siendo la radiación ionizante la categoría más afectada con un 96%. El consumo de fertilizantes constituye el segundo subsistema generador de mayores impactos ambientales, seguido del consumo de combustible fósil.

Gracias a la metodología de ACV se han conseguido detectar los puntos críticos sobre los que poder actuar. Los resultados del análisis ponen de relieve la necesidad de reducir los impactos asociados al consumo de electricidad. Es por ello por lo que se propuso como alternativa de mejora la instalación de placas fotovoltaicas para abastecer a la plantación en sustitución de la energía eléctrica de red. La implementación de esta práctica sostenible supondría una reducción de los impactos perjudiciales en todas las categorías analizadas, especialmente en la radiación ionizante (96%), seguida de la ecotoxicidad de agua dulce (87%) y la ecotoxicidad marina (86%). Respecto a la HC, el escenario alternativo implicaría una reducción del 37%.

7.Bibliografía

Administración General del Estado. (2022). *Denominaciones de Origen, Indicaciones Geográficas Protegidas y Especialidades Tradicionales Garantizadas*. Recuperado el 20 de abril de 2022 de https://administracion.gob.es/pag_Home/Tu-espacio-europeo/derechos-obligaciones/empresas/inicio-gestion-cierre/derechos/denominaciones-origen.html

Aguilera, E., Piñero, P., Infante Amate, J., González de Molina, M., Lassaletta, L., & Sanz Cobeña, A. (2020). Emisiones de gases de efecto invernadero en el sistema agroalimentario y huella de carbono de la alimentación en España. *Real Academia de Ingeniería* , 43–80.

Alhajj Ali, S., Tedone, L., Verdini, L., & de Mastro, G. (2017). Effect of different crop management systems on rainfed durum wheat greenhouse gas emissions and carbon footprint under Mediterranean conditions. *Journal of Cleaner Production*, *140*, 608–621. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.04.135

Antón, M. A. (2004). *Utilización del Análisis de Ciclo de Vida en la Evaluación de Impacto Ambiental del Cultivo bajo Invernadero Mediterráneo*. Universitat Politècnica de Catalunya.

Aranda, A., & Zabalza, I. (2010). *Ecodiseño y análisis de ciclo de vida* (1st ed., Vol. 178, pp. 51–83).

Arango, J. (2001). Agricultura y espacio rural en Asturias. In *RAE: Revista Asturiana de Economía* (Vol. 1, pp. 69–107).

Armengot, L., Beltrán, M. J., Schneider, M., Simón, X., & Pérez-Neira, D. (2021). Food-energy-water nexus of different cacao production systems from a LCA approach. *Journal of Cleaner Production*, *304*, 126941. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126941

Audi. (2000). *Motor Vehicle Exhaust Emissions* (pp. 6–10).

Blanco, D., Suárez, C., Ferreira, J. J., Martínez, A., & García, G. (2010). Estudio de sistemas mecánicos de desgranado de la faba fresca de tipo granja. *Tecnología Agroalimentaria. Boletín Informativo Del SERIDA*, *7*, 14–21.

Casquero, P. A., Oláiz, I., Marcos, M. F., Campelo, M. P., & Reinoso, B. (2009). Leguminosas grano tradicionales cultivadas en España. *Vida Rural*, *300*, 42–46.

Comisión Europea. *Objetivos de los regímenes de calidad de la UE*. Recuperado el 13 de febrero de 2022 de https://ec.europa.eu/info/food-farming-fisheries/food-safety-and-quality/certification/quality-labels/quality-schemes-explained_es

Díez Sanz, D. (2017). *Huella de Carbono de la bicicleta eléctrica. Modelización del ciclo de vida con datos primarios y adaptación a BiciMAD*. ETSI Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Madrid.

Dirección General de la Industria Alimentaria. (2021). *Datos de las Denominaciones de Origen Protegidas (D.O.P.), Indicaciones Geográficas Protegidas (I.G.P.) y Especialidades Tradicionales Garantizadas (E.T.G.) de Productos Agroalimentarios*.

European Environment Agency. (2016). *Biological treatment of waste - composting* (pp. 1–7).

Eurostat. (2019). *Agri-environmental indicator - cropping patterns*. Recuperado el 14 de febrero de 2022 de https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Agri-environmental_indicator_-_cropping_patterns

Eurostat. (2021a). *Land cover statistics*. Recuperado el 14 de febrero de 2022 de https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Land_cover_statistics

Eurostat. (2021b). *Land use statistics*. Recuperado el 13 de febrero de 2022 de https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Land_use_statistics

Eurostat. (2022). *SDG 15 - Life on land*. Recuperado el 20 de abril de 2022 de https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=SDG_15_-_Life_on_land

Faba Asturiana. *La faba de Asturias*. Recuperado el 20 de abril de 2022 de https://faba-asturiana.org/

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2009). La agricultura mundial en la perspectiva del año 2050. *Cómo Alimentar al Mundo 2050*, 1–4.

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2021). *World Food and Agriculture – Statistical Yearbook 2021* (pp. 35–41). https://doi.org/10.4060/cb4477en

Fariña, C., Guarás, M. D., Huykman, N., Panizza, N., & Pascale, C. (2011). Huella de carbono: un tema insoslayable. *Revista Alimentos Argentinos*, *52*, 13–15.

Ferreira, J. J., Campa, A., & Perez-Vega, E. (2013). Maruxa, una nueva variedad de faba granja para un cultivo más rentable y sostenible. *Tecnología Agroalimentaria. Boletín Informativo Del SERIDA*, *12*, 2–4.

Frohmann, A., Herreros, S., Mulder, N., & Olmos, X. (2019). *Huella de carbono y exportaciones de alimentos, guía práctica*.

García, G., Campa, A., Fernández de Sousa, M. M., González, A. J., & Ferreira, J. J. (2016). *Orientaciones para el cultivo de la faba*. : Servicio Regional de Investigación y Desarrollo Agroalimentario, Consejería de Desarrollo Rural y Recursos Naturales del Principado de Asturias.

González-Bernal, M. J., & Rubiales, D. (2016). Las leguminosas grano en la agricultura española y europea. *Arbor: Ciencia, Pensamiento y Cultura*, *192*(779).

Haya, E. (2016). *Análisis de Ciclo de Vida*. Escuela de Organización Industrial.

Heusala, H., Sinkko, T., Sözer, N., Hytönen, E., Mogensen, L., & Knudsen, M. T. (2020). Carbon footprint and land use of oat and faba bean protein concentrates using a life cycle assessment approach. *Journal of Cleaner Production*, *242*, 118376. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118376

Huijbregts, M. A. J., Steinmann, Z. J. N., Elshout, P. M. F., Stam, G., Verones, F., Vieira, M. D. M., Hollander, A., Zijp, M., & van Zelm, R. (2017). *ReCiPe 2016 v1.1: a harmonized life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level* (pp. 127–132).

Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo. (2018). *Actividades que se incluyen en el sector agrario*. Recuperado el 28 de marzo de 2022 de https://www.insst.es/materias/que-actividades-se-incluyen-en-el-sector-agrario

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2006a). Emisiones de N_2O de los suelos gestionados y emisiones de CO_2 derivadas de la aplicación de cal y urea. *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases efecto invernadero* (Vol. 4, pp. 11.1-11.56).

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2006b). Mobile Combustion. *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases efecto invernadero* (Vol. 2, pp. 3.1-3.78).

Inventario Nacional de Emisiones de Gases Efecto Invernadero. Serie 1990-2015. *Tratamiento biológico de los desechos sólidos* (Vol. 5, pp. 4.1-4.9).

Inventarios Nacionales de Emisiones a la Atmósfera. Serie 1990-2012. *Análisis por Actividades SNAP* (Vol. 2, pp. 10.1-10.147).

Jequier, J. (2019). *Nutrición en arándanos*.

Junta de Andalucía. (2009). *Análisis de la incidencia de la supresión de la quema de residuos agrícolas sobre la reducción de emisiones de gases contaminantes en Andalucía* (pp. 22–34).

Kanter, D. R., Wagner-Riddle, C., Groffman, P. M., Davidson, E. A., Galloway, J. N., Gourevitch, J. D., van Grinsven, H. J. M., Houlton, B. Z., Keeler, B. L., Ogle, S. M., Pearen, H., Rennert, K. J., Saifuddin, M., Sobota, D. J., & Wagner, G. (2021). Improving the social cost of nitrous oxide. *Nature Climate Change*, *11*(12), 1008–1010. https://doi.org/10.1038/s41558-021-01226-z

Knudsen, T., Hermansen, J. E., Olesen, J. E., Topp, C. F. E., Schelde, K., Angelopoulos, N., & Reckling, M. (2014). Climate impact of producing more grain legumes in Europe. *Proceedings of the 9th International Conference on Life Cycle Assessment in the Agri-Food Sector*, 641–646.

Liu, Y., Langer, V., Høgh-Jensen, H., & Egelyng, H. (2010). Life Cycle Assessment of fossil energy use and greenhouse gas emissions in Chinese pear production. *Journal of Cleaner Production*, *18*(14), 1423–1430. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.05.025

López, A. A., Calle, D. B., & Molina, A. M. (2017). Análisis del uso de las herramientas de gestión ambiental en las empresas comerciales del cantón Morona. *Revista Killkana Sociales*, *1*(3), 45–52.

López, E. M., & Cattaneo, M. P. (2013). Los indicadores ambientales como herramientas de la economía. *Ciencia y Tecnología*, *13*, 279–292.

Massolo, L. (2015). *Introducción a las herramientas de gestión ambiental* (Universidad de la Plata, Ed.).

Meier, M. S., Stoessel, F., Jungbluth, N., Juraske, R., Schader, C., & Stolze, M. (2015). Environmental impacts of organic and conventional agricultural products – Are the differences captured by life cycle assessment? *Journal of Environmental Management*, *149*, 193–208. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.10.006

Mendívil, M. A., Muñoz, P., Morales, M. P., Juárez, M. C., & García-Escudero, E. (2013). Chemical characterization of pruned vine shoots from La Rioja (Spain) for obtaining solid bio-fuels. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, *5*(3), 033113. https://doi.org/10.1063/1.4808043

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. *Otras Leguminosas grano (garbanzos, lentejas, judías secas, vezas y yeros)*. Recuperado el 23 de marzo de 2022 de https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/producciones-agricolas/cultivos-herbaceos/leguminosas-y-oleaginosas/otras_leguminosas_grano.aspx

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. (1994). *Denominación Específica "Faba Asturiana."*

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimetación (2019). *Agricultura, Pesca y Alimentación*.

Ministerio para la Transición Ecológica. (2019). *Guía para el cálculo de la Huella de Carbono y para la elaboración de un plan de mejora de una organización*.

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. *Actuaciones para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero*. Recuperado el 20 de mayo de 2022 de https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/agricola.aspx

Oficina Española de Patentes y Marcas. *Marcas nacionales*. Recuperado el 1 de mayo de 2022 de https://www.oepm.es/es/index.html

Organización de las Naciones Unidas. *Objetivo 12: Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles*. Recuperado el 27 de febrero de 2022 de https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-consumption-production/

Organización de las Naciones Unidas. (1987). *Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo*.

Pérez, E., Ferreira, J. J., García, G., Martínez, A., & Baranda, A. (2010). Maximina y Sinara: nuevas variedades de judía obtenidas por el SERIDA. *Tecnología Agroalimentaria. Boletín Informativo Del SERIDA*, *8*, 49–56.

Pérez, R., Laca, A., Laca, A., & Díaz, M. (2022). Environmental behaviour of blueberry production at small-scale in Northern Spain and improvement opportunities. *Journal of Cleaner Production*, *339*, 130594. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130594

Pousa, X. M. (2007). *La gestión medioambiental: un objetivo común* (Ideas Propias, Ed.; Vol. 1, pp. 33–43).

Ramos, S. (2015). *Ecodiseño de alimentos mediante análisis de ciclo de vida*. Universidad del País Vasco.

Ranganathan, J., Moorcroft, D., Koch, J., & Bhatia, P. (2006). *Protocolo de Gases Efecto Invernadero, Estandar Corporativo de Contabilidad y Reporte*.

Rodríguez, M., Díaz Fernández, E., Ordóñez García, S., Vega Granda, A. B., & Coca Prados, J. (2005). Análisis del ciclo de vida: II. Desarrollo y aplicaciones. *Ingeniería Química*. http://hdl.handle.net/10651/17782

Romero, B. I. (2003). El Análisis del Ciclo de Vida y la Gestión Ambiental Gestión Ambiental. *Boletín IIE*, 91–97.

Sagarna, J., & Polo, J. A. (2012). *Análisis de Ciclo de Vida de GEIs en producto agroalimentario sobre casos prácticos en cooperativas agroalimentarias españolas*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

Sistema de Información Territorial del Principado de Asturias. (2014). *Sistema de Información de Ocupación del Suelo en el Principado de Asturias*.

Sociedad Asturiana de Estudios Económicos e Industriales. *Evolución de la producción agrícola en Asturias*. Recuperado el 15 de abril de 2022 de https://www.sadei.es/sadei/agricultura-y-ganaderia/agricultura_190_1_ap.html

TECPA Ingeniería y Medioambiente. Recuperado el 10 de junio de 2022 de https://www.tecpa.es/

Torres, A. M., Rubio, J., Millán, T., Eraso, E., & Solís, I. (2015). El papel de las leguminosas en la PAC: realidad y perspectivas. *Ambienta: La Revista Del Ministerio de Medio Ambiente*, *112*, 94–109.

Unión Europea. *Zonas rurales dinámicas y productos agrícolas de calidad*. Agricultura. Recuperado el 20 de febrero de 2022 de https://european-union.europa.eu/priorities-and-actions/actions-topic/agriculture_es

Viglizzo, E. (2010). *Huella de carbono, ambiente y agricultura en el Cono Sur de Sudamérica* (R. Díaz Rossello, Ed.; pp. 11–14). IICA.

8. Anexos

8.1. Valoración económica

En el análisis económico que se muestra a continuación, se desglosan los costes asociados a la realización de este proyecto. Para llevar a cabo el estudio de Análisis de Ciclo de Vida se necesita el trabajo de un Ingeniero Químico Industrial especializado en Ingeniería Ambiental, considerando una tarifa de 60 €/h. Además, se tienen en cuenta los costes de material fungible y la renovación de la licencia del software SimaPro que asciende a 1.149 €/año. Por último, se determinan los costes indirectos derivados del desplazamiento a la plantación "Finca el Ribeiro" ubicada en San Martín de Luíña (Cudillero).

En la *Tabla 8.1.* se recoge el desglose de los costes vinculados a la elaboración del presente proyecto, incluyendo los costes de personal, los costes de material fungible/inventariable y los costes indirectos.

Tabla 8.1. Costes derivados de la elaboración del proyecto.

Tipo de coste	Descripción	Precio	Uds.	Cantidad	Uds.	Total
Coste de personal	Salario	60	€/h	250	h	15.000
Coste de material fungible/inventariable	Licencia SimaPro	95,75	€/mes	3	mes	287,25
	Impresión	0,05	€/copia	103	copia	5,15
	Encuadernación	3	€/libro	1	libro	3
Costes indirectos	Desplazamiento a la plantación	0,21	€/km	69	km	14,49
					TOTAL (€)	**15.309,89**

8.2. Cuestionarios

En las tablas *8.2.* y *8.3.* se recogen los cuestionarios enviados al responsable de la plantación "Finca el Ribeiro" para la recopilación de información necesaria para la elaboración del inventario.

Tabla 8.2. Cuestionario instalaciones.

Oficina
Si/No
Dimensiones (m)
Tipo de residuos generados
Volumen de residuos generados (kg)
Gestión de los residuos
Servicio higiénico
Si/No
Dimensiones (m)
Tipo de inodoro (convencional, fosa, seco, etc.)
Tipo de agua (red pública, tanque, etc.)
Volumen de agua potable consumido (m^3/ año)
Fosa séptica (si/no)
Frecuencia vaciado fosa séptica
Volumen agua residuales (m^3/año)
Volumen de residuos generados limpieza servicios (kg, L)
Gestión de los residuos
Electricidad
Si/No
Procedencia de la electricidad (red eléctrica, generador, placas solares, etc.)
Tipo de generador
Potencia del generador
Consumo del generador (gasoil u otros)

Consumo anual de electricidad
Almacenamiento de agua de riego
Si/No
Dimensiones (m)
Volumen almacenado (m^3)
Volumen de agua consumido para riego (m^3)
Material de construcción
Tipo de agua (río, lluvia, pozo, etc.)
Frecuencia de renovación del agua
Almacén de enseres
Si/No
Dimensiones (m)
Tipo de residuos generados (limpieza habitual, no fertilizantes)
Volumen de residuos generados (kg)
Gestión de los residuos
Secadero
Si/No
Dimensiones (m)
Temperatura
% Humedad relativa
Tipo de residuos generados (limpieza habitual, no peligrosos)
Volumen de residuos generados (kg)
Gestión de los residuos
Cámaras de congelación
Si/No
Modelo
Dimensiones (m)
Temperatura de congelación
% Humedad relativa
Sistema de refrigeración
Potencia consumida (kW·h)

Tipo de residuos generados
Volumen de residuos generados (kg)
Gestión de los residuos
Almacén de productos (faba)
Si/No
Dimensiones (m)
Temperatura
% Humedad relativa
Tipo de residuos generados (limpieza habitual, no peligrosos)
Volumen de residuos generados (kg)
Gestión de los residuos

Tabla 8.3. Cuestionario plantación.

Características generales
Edad de la plantación
Situación geográfica de la plantación (oriente, occidente, concejo...)
Dimensiones de la plantación (hectáreas)
Número de plantas
Altitud de la plantación
Temperatura media de la zona
Humedad relativa media de la zona (%)
Horas de luz (zona sombría, soleada, etc.)
Viento (zona de corrientes, remanso, etc.)
Condiciones particulares del entorno (cerca de bosque, planicie...)
Suelo
Tipo de terreno (pradera, otros frutales, etc.)
Tipo de suelo (arenoso, calizo, etc.)
pH del suelo

Textura
Conductividad eléctrica
Plantación
Distancia de la planta al cierre de la plantación (m)
Altura de los postes (m)
Distancia entre postes (m)
Enterrado de los postes (m)
Distancia entre líneas (m)
Distancia entre plantas (m)
Material de fabricación de los postes (hierro, cobre, madera…)
Frecuencia de renovación de las postes
Cantidad renovada de material para postes (kg)
Gestión del residuo
Material de fabricación de las tutores para la faba (plástico, bambú …)
Frecuencia de renovación de las tutores
Cantidad renovada de material para tutores (kg)
Gestión del residuo
Mantenimiento del suelo
Limpieza de calles
Herramienta utilizada (desbrozadora, recortadora, etc.)
Frecuencia de uso
Sistema de energía (eléctrica, gasoil, gasolina, etc.)
Consumo de energía (litros gasolina)
Tipo de residuos generados (hierbas, raíces, hojas, etc.)
Volumen de residuos generados (hierbas, maleza…) (kg)
Gestión de los residuos (hierbas, malas hierbas, raíces, etc.)
Sistema de riego
Sistema de riego (por goteo o aspersión, manual)

Material del sistema de riego
Volumen de agua riego (L o m^3)
Nº semanas de riego
Volumen de agua (L/planta/semana)
Tipo de agua (lluvia, pozo, río, regato, etc.)
Calidad del agua (blanda, dura, etc.)
Frecuencia de renovación del sistema de riego
m/kg reemplazados
Gestión del residuo
Enfermedades/control de plagas
Enfermedades encontradas
Tratamiento empleado (químico, orgánico, biológico)
Nombre comercial
Uso principal
Cantidad anual suministrada (L, kg, etc.)
Condiciones de suministro (garrafa, saco, etc.)
Material del envase (PET, PP, PS, PVS, etc.)
Peso del envase (en vacío)
Gestión del residuo (plantas muertas, hoja, poda, producto...)
Gestión del residuo (envase)
Recolección
Faba recogido (total=extra, 1ª, 2ª) (kg)
Faba no viable o de destrío (basura, total) (kg)
Sistema de recolección del producto
¿Cuándo se recoge el producto? (mes, momento del día)
¿Cómo se recoge el producto?
Estado del producto (seco, húmedo, rocío...)
Recipientes de recogida del producto (cajas plástico, madera...)

Características del recipiente (tipo de plástico, peso, etc.)
Gestión del recipiente de recogida
Oreo o secado de vainas
Lugar de oreo o secado
Distancia desde la plantación al lugar de secado
Sistema de transporte empleado
Tipo de combustible empleado por el sistema de transporte
Cantidad de combustible empleado por el sistema de transporte-origen (L)
Sistema de oreo o secado
Tipo de residuos generados (limpieza habitual, no peligrosos)
Volumen de residuos generados (kg)
Gestión de los residuos
Desgranado
Lugar de desgranado
Distancia desde la plantación al lugar de desgranado (km)
Sistema de transporte empleado
Tipo de combustible empleado por el sistema de transporte
Cantidad de combustible empleado por el sistema de transporte-origen (L)
Tipo de desgranado (manual o mecánico)
Desgranado manual
Tipo de residuos generados (limpieza habitual, no peligrosos)
Volumen de residuos generados (kg)
Gestión de los residuos
Desgranado mecánico
Tipo de máquina
Marca comercial de la desgranadora
Tipo de combustible empleado por el sistema de transporte
Cantidad de combustible empleado por el sistema de transporte-origen (L)

Tipo de residuos generados (limpieza habitual, no peligrosos)
Volumen de residuos generados (kg)
Gestión de los residuos
Limpieza y congelado del grano
Lugar de limpieza y congelación
Distancia desde la plantación al lugar de descongelación
Sistema de transporte empleado
Tipo de combustible empleado por el sistema de transporte
Cantidad de combustible empleado por el sistema de transporte-origen(litros)
Dimensiones del congelador
Temperatura de congelación
Modelo de congelador
Tiempo de congelación
Sistema de refrigeración
Potencia consumida (kW·h)
Tipo de residuos generados
Volumen de residuos generados (kg)
Gestión de los residuos
Almacenamiento
Lugar de almacenamiento de producto
Tiempo de almacenamiento (días, semanas)
Temperatura media del lugar de almacenamiento
Humedad relativa del lugar de almacenamiento
Sistema de aireación forzada, para regular la temperatura
Tipo de residuos generados
Volumen de residuos generados (kg)
Gestión de los residuos
Comercialización y distribución
Sistema de venta

Faba con denominación IGP (kg)
Faba no IGP (kg)
Sistema de transporte venta directa