



POLITÉCNICA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIEROS AGRÓNOMOS  
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS AGRÓNOMOS**

**GRADO EN INGENIERÍA Y CIENCIA AGRONÓMICA**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGROFORESTAL**

***DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN INFORMÁTICA PARA  
EL CÁLCULO DE INDICADORES AMBIENTALES (HUELLA  
DE CARBONO) EN ACTIVIDADES AGRÍCOLAS A PARTIR  
DE LOS CUADERNOS DIGITALES DE EXPLOTACIÓN (CDE)***

**TRABAJO FIN DE GRADO**

**Autor: Lucía Arrúe Gonzalo**

**Tutor: Pilar Barreiro Elorza  
Diego Ruiz Amador**

**Diciembre de 2015**

## **AGRADECIMIENTOS**

Debo dedicar unas palabras de agradecimiento a ciertas personas, ya que sin ellas este proyecto no sería lo mismo, de todas ellas he sacado la motivación y dedicación que he necesitado para terminarlo.

En primer lugar agradecer a mis compis de despacho, las horas se pasan más amenas con vosotros. A mis amigos de la escuela, por estar siempre ahí, ya sea para montar una obra de teatro en dos meses o para unas cañas en la cafe, vosotros sabéis perfectamente lo que significa terminar el proyecto, a Elena, Clara, María, Luisao, Solete, Bator, Sonia, Bea, Layon, Axel... A mis amigas de toda la vida por conocerme más que nadie y apoyarme en todo, Marta, Rocy, Ana, Stefanny. A Dani, por enseñarme cosas en todos los aspectos de la vida y por creer en mí.

Por supuesto le doy las gracias a mis tutores, Diego, Pilar y Guillermo (que es como si lo hubiese sido), por hacer que este proyecto haya salido adelante y por ayudarme en todo lo que estaba en vuestra mano. Tengo que hacer una mención especial a Pilar, gracias por transmitirme ilusión y por hacerme sentir preparada; no sólo he aprendido de ti académicamente sino también personalmente.

Por último, he de darle las gracias a mi familia, a toda (que es mucha) en general. Pero en particular a mis padres y a mi hermana; simplemente por ser y estar siempre; este proyecto va dedicado a vosotros.

## RESUMEN

Este proyecto pretende resolver una necesidad del promotor, CROPTI, cuyos requisitos básicos son el diseño de un algoritmo que sea capaz de calcular automáticamente la huella de carbono de un cultivo teniendo en cuenta las operaciones agrícolas llevadas a cabo para producirlo, y la creación de una herramienta software que no entorpezca el resto de servicios que ofrece la empresa, con la finalidad de aumentar el valor añadido de sus servicios. Para ello se ha elaborado un procedimiento lógico que consta de dos pasos, en primer lugar se realiza un pre-análisis de los datos brutos, proporcionados por la herramienta informática, para filtrarlos y depurarlos con el fin de utilizar datos consistentes. Seguidamente se han implementado las rutinas software que calculan la huella de carbono producida por el cultivo objetivo, en el caso de este proyecto ha sido la cebada (*Hordeum vulgare* L.). Desglosando el impacto generado por cada insumo utilizado (gasóleo, fertilizante o productos fitosanitarios) en cada etapa del ciclo de vida.

Se ha estimado que la inversión total del proyecto, que deberá desembolsar el promotor durante el primer año es de 29.405,33 €, habiéndose cuantificado como criterios de evaluación financiera: la Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Rendimiento (TIR), la relación Beneficio/Inversión (Q) y el plazo de recuperación (Pay back), en todos los casos satisfactorios.

## ABSTRACT

This Project aims at solving the need of CROPTI, as promotor, who demands the following requirements: design of an algorithm that will compute the carbon footprint of a crop according to the particular field operations, and the generation of a software tool which shall not harm or slow the remaining software of the mentioned enterprise. The final aim of the project is to increase the added value of the mother software application: CROPTI.

To achieve this goal, a computing method has been developed in two phases, the first one consists of a pre-analysis of the raw data provided by the software tool, in order to filter and clean them up, making sure that consistent data are further used. Then the

software calculates the carbon footprint produced by the target crop; in the case of this project it has been estimated the barley's footprint (*Hordeum vulgare L.*). Breaking down the impact generated by each input used (fuel, fertilizer or agrochemicals) at each stage of the life cycle.

The total investment of the project reaches 29.405,33 €, is to be faced by the promotor during the first year. The project is also analyzed according to several financial criteria: net present value or worth (NPV), internal rate of return (IRR), benefit to investment rate (Q), and the payback, all of them with positive results.

# **DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN INFORMÁTICA PARA EL CÁLCULO DE INDICADORES AMBIENTALES EN ACTIVIDADES AGRÍCOLAS A PARTIR DE LOS CUADERNOS DIGITALES DE EXPLOTACIÓN**

## **ÍNDICE DEL PROYECTO**

### **DOCUMENTO I. MEMORIA**

ANEJO I. ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN DE PARTIDA

ANEJO II. OBJETIVOS Y METAS. ALTERNATIVAS ESTRATÉGICAS

ANEJO III. PROCESO PRODUCTIVO: GESTIÓN DE LOS CUADERNOS  
DIGITALES DE EXPLOTACIÓN

ANEJO IV. PRE-ANÁLISIS DE DATOS

ANEJO V. ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA. DIAGRAMA DE FLUJO

ANEJO VI. EVALUACIÓN FINANCIERA

### **DOCUMENTO II. PLIEGO DE CONDICIONES**

### **DOCUMENTO III. PRESUPUESTO**



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS AGRÓNOMOS



**DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN INFORMÁTICA  
PARA EL CÁLCULO DE INDICADORES AMBIENTALES  
(HUELLA DE CARBONO) EN ACTIVIDADES  
AGRÍCOLAS A PARTIR DE LOS CUADERNOS  
DIGITALES DE EXPLOTACIÓN (CDE)**

**DOCUMENTO I  
MEMORIA**

Lucía Arrúe Gonzalo  
Diciembre de 2015

Tutora: Pilar Barreiro Elorza  
Cotutor: Diego Ruiz Amador  
Promotor: Cropti

# MEMORIA

---

## CONTENIDO

1	OBJETO DEL PROYECTO .....	8
1.1	Naturaleza de la transformación .....	8
1.2	Localización .....	8
2	MOTIVACIÓN Y DIRETRICES DEL PROYECTO.....	8
2.1	Motivación y finalidad del proyecto .....	8
2.2	Condicionantes impuestos por el promotor del proyecto .....	9
2.3	Criterios de valor .....	9
3	ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN DE PARTIDA.....	9
3.1	Antecedentes .....	9
3.2	Área del proyecto: condicionantes.....	10
3.2.1	Política Agrícola Común (PAC).....	10
3.2.2	Uso de la tecnología en la agricultura .....	11
3.2.3	Cambio climático.....	11
3.3	Situación actual.....	12
3.4	Situación futura “Sin proyecto” .....	13
3.5	Análisis de problemas, oportunidades y condicionantes: Diagnóstico .....	13
4	OBJETIVOS Y METAS. ALTERNATIVAS ESTRATÉGICAS .....	14
4.1	Objetivos del proyecto .....	14
4.2	Alternativas estratégicas .....	14
4.2.1	Generación de alternativas.....	14
4.2.2	Selección de alternativas .....	15
4.3	Alternativas tácticas .....	15
4.3.1	Generación de alternativas.....	15

4.3.2	Selección de alternativas .....	15
4.4	Metas del proyecto.....	17
5	PROCESO PRODUCTIVO: GESTIÓN DE LOS CUADERNOS DIGITALES DE EXPLOTACIÓN .....	17
5.1	Cuadernos de explotación .....	17
5.2	Herramientas digitales .....	19
5.3	Cropti .....	19
5.3.1	Origen de la herramienta .....	19
5.3.2	Tipología del usuario .....	20
5.3.3	Manual de uso.....	20
5.3.4	Informes de actividad .....	21
5.3.5	Cuaderno de explotación digital .....	21
5.4	Datos de una explotación relevantes para el cómputo de emisiones .....	21
5.4.1	Actividades agrícolas.....	21
5.4.2	Itinerarios de labranza .....	21
5.4.3	Tipos de producción .....	22
5.4.4	Maquinaria.....	24
5.5	Ensayos de campo.....	29
6	PRE-ANÁLISIS DE LOS DATOS.....	31
6.1	Datos en bruto .....	31
6.2	Resumen de procedimiento.....	31
6.3	Caracterización de la explotación .....	33
6.4	Caracterización por municipios .....	33
6.5	Caracterización de las actividades .....	34
6.6	Caracterización de las parcelas .....	34
6.7	Caracterización de la fertilización .....	36

6.8	Caracterización de los tratamientos fitosanitarios .....	37
6.9	Caracterización de la siembra .....	38
6.10	Calendario .....	39
6.11	Conclusión .....	40
7	ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA Y DIAGRAMA DE FLUJO.....	40
7.1	Cultivo patrón: cebada .....	40
7.2	Análisis de ciclo de vida .....	41
7.2.1	Objetivos.....	41
7.2.2	Alcance .....	42
7.2.3	Análisis de inventario de ciclo de vida.....	45
7.2.4	Evaluación del impacto de ciclo de vida .....	46
7.2.5	Método de cálculo .....	49
7.2.6	Interpretación de los resultados .....	51
7.2.7	Propuestas.....	56
7.2.8	Discusión de resultados .....	57
7.3	DIAGRAMA DE FLUJO .....	58
8	PROGRAMACIÓN DE LA EJECUCIÓN Y PUESTA EN MARCHA DEL PROYECTO .....	61
9	EVALUACIÓN FINANCIERA .....	62
9.1	Cuadro de flujos de caja.....	62
9.2	Análisis de rentabilidad .....	62
10	PRESUPUESTO.....	63
11	BIBLIOGRAFÍA .....	64

**FIGURAS**

Figura 1. Distribución del consumo de energía final por subsectores, años 2001-2012. Tep: toneladas equivalentes de petróleo (IDAE, 2012).....	11
Figura 2. Fuentes de emisión según sectores (IPCC, 2014) .....	12
Figura 3. Esquema explicativo de cuadernos de explotación exigido por el ministerio. (Elaboración propia).....	18
Figura 4. Evolución de los sistemas de producción agrícola ( <a href="http://www.globalagriculture.com">www.globalagriculture.com</a> ) .....	23
Figura 5. Sistema de inyección. Izquierda lineal, derecha rotativo (directindustry, s.f.)	24
Figura 6. Componentes del "Common rail". Fuente: modificado de (aficionadosalamecanica.blogspot.es, s.f.). 1-depósito de combustible, 2-filtro, 3-bomba de alta presión, 4-common rail, 5-inyector, 6-unidad de control electrónico.....	25
Figura 7. Producción de NOx y de materia particulada (PM) en función del ratio combustible-aire, de la concentración de oxígeno en la admisión y de la temperatura. (Leon Ortiz, Moya Gonzalez, & Barreiro Elorza, 2012).....	26
Figura 8. Tipos de variador continuo. A. Mecánico de correas. B. Mecánico de rodillos. C. Hidrostático. D. Hidrodinámico (convertidor de par).....	28
Figura 9. Resumen del procedimiento seguido y las variables generadas (Elaboración propia).....	32
Figura 10. Gráficos resumen por municipios. Azul Chinchilla de Monte-Aragón, verde- turquesa Valdeganga y amarillo Albacete. (Elaboración propia) .....	33
Figura 11. Distribución de actividades totales y por municipio. Tipos de actividades: l=laboreo, t=tratamientos fitosanitarios, f=fertilización y s=siembra. (Elaboración propia) .....	34
Figura 12. Número de parcelas que realiza cada actividad una o más veces. (Elaboración propia).....	35
Figura 13. Dosis de fertilización (kg/ha) según la formulación. (Elaboración propia)..	36
Figura 14. Izquierda: dosis según el estado físico del producto. Siendo el 1 productos líquidos y el 2 productos sólidos. Derecha: tipologías de los productos fitosanitarios utilizados. (Elaboración propia) .....	37

Figura 15. Dosis según el método de siembra. (Elaboración propia).....	38
Figura 16. Mes de realización de cada actividad. (Elaboración propia).....	39
Figura 17. Sistema del producto. (Elaboración propia).....	42
Figura 18. Etapas consideradas para el cálculo ACV. (Elaboración propia) .....	43
Figura 19. Método de cálculo de ACV (Elaboración propia).....	49
Figura 20. Emisiones del gasóleo por unidad de superficie y totales en cada actividad, según el tipo de operación realizada. l:laboreo, t:tratamientos fitosanitarios, f:fertilización, s:siembra. (Elaboración propia) .....	52
Figura 21. Emisiones del fertilizante debidas a la fabricación, a la aplicación de fertilizantes nitrogenados y al transporte. (Elaboración propia).....	52
Figura 22. Emisiones del fertilizante por unidad de superficie y totales por actividad. Izquierda: según la formulación del fertilizante, derecha: según la dosis (kg/ha). (Elaboración propia) .....	53
Figura 23. Emisiones del producto fitosanitario por unidad superficial y total según el producto comercial. (Elaboración propia) .....	54
Figura 24. Comparación de emisiones según actividad. Superior: emisiones por unidad superficial, inferior: por unidad de producción. (Elaboración propia) .....	54
Figura 25. Emisión por ha y total según el número de actividades. Izquierda: fertilizante, derecha producto fitosanitario (Elaboración propia) .....	55
Figura 26. Comparación de emisiones de los insumos por kg producido y por hectárea (Elaboración propia) .....	56
Figura 27. Diagrama de flujo del cálculo de ACV (Elaboración propia).....	60

**TABLAS**

Tabla 1. Matriz DAFO. (Elaboración propia) .....	13
Tabla 2. Resumen de alternativas. (Elaboración propia).....	16
Tabla 3. Objetivos y metas del proyecto. (Elaboración propia) .....	17
Tabla 4. Consumos en el laboreo y el transporte. Todos los tractores presentan un sistema de inyección de combustible tipo common rail. (Elaboración propia).....	30
Tabla 5. Formulaciones de los fertilizantes. (Elaboración propia).....	36
Tabla 6. Recomendaciones de abonado para el trigo y la cebada (ANFFE, 2010).....	40
Tabla 7. Inventario de análisis de ciclo de vida. (Elaboración propia) .....	46
Tabla 8. Evaluación de ciclo de vida (Elaboración propia).....	48
Tabla 9. Resumen de las emisiones totales de toda la explotación con sus respectivas variables y sus valores (Elaboración propia). ....	56
Tabla 10. Emisiones generadas en una parcela por los diferentes insumos. Blanco: datos correspondientes al artículo (Maraseni & Cockfield, 2011), azul: datos correspondientes al proyecto (Elaboración propia). .....	58
Tabla 11. Cronograma del plan de ejecución del proyecto. (Elaboración propia) .....	61
Tabla 12. Tabla de análisis de flujo de caja. (Elaboración propia) .....	62
Tabla 13. Resultados de los criterios de evaluación financiera para el caso 1 y 2. (Elaboración propia) .....	62

# MEMORIA

---

Este documento contiene los aspectos esenciales que describen el proyecto. La información completa se encuentra en los anejos, donde se explican detalladamente todos los cálculos y los procedimientos seguidos.

## 1 OBJETO DEL PROYECTO

### 1.1 Naturaleza de la transformación

En el presente proyecto se ha realizado una ampliación de la aplicación web Cropti, creando un módulo complementario nuevo capaz de calcular automáticamente la huella de carbono de un cultivo en una parcela a partir de los datos recogidos en los cuadernos digitales de explotación (CDE) proporcionados por módulos ya existentes de la herramienta. Para ello se ha hecho un proyecto piloto con el cultivo de la cebada para comprobar que el método funciona.

En primer lugar se ha realizado un análisis previo de los datos introducidos por el usuario en el CDE y seguidamente se han diseñado las rutinas necesarias para calcular el análisis de ciclo de vida (ACV). Todo el procedimiento, tanto del pre-análisis como del cálculo ACV, se ha automatizado en el entorno de cálculo científico Matlab (MathWorks, Inc).

### 1.2 Localización

El actual proyecto no posee una localización específica ya que se trata de desarrollar una aplicación informática, pero los datos de las parcelas utilizadas pertenecen todas al territorio español, más concretamente a la provincia de Albacete. Las parcelas de la explotación estudiada se distribuyen en tres municipios Chinchilla de Monte-Aragón, Valdeganga y Albacete. Debido a la confidencialidad de la información no se revelará la ubicación exacta de las parcelas del cliente.

## 2 MOTIVACIÓN Y DIRETRICES DEL PROYECTO

### 2.1 Motivación y finalidad del proyecto

El presente proyecto ha sido promovido por la empresa Cropti. Es una empresa emprendedora cuyo principal servicio es la cumplimentación de forma automatizada del CDE, desde el ordenador o el móvil, quedando todos los datos registrados para la posible

consulta de los mismos en el futuro o bien para su uso por parte de un asesor autorizado. Cropti pone en marcha el presente proyecto para aumentar el valor añadido de su producto.

## 2.2 Condicionantes impuestos por el promotor del proyecto

Los requisitos que exige Cropti son los siguientes:

- ✓ Diseño de un algoritmo que sea capaz de calcular automáticamente la huella de carbono de un cultivo teniendo en cuenta las operaciones agrícolas llevadas a cabo para producirlo.
- ✓ Creación de una herramienta que no entorpezca el resto de servicios que ofrece la empresa.
- ✓ Finalizar el desarrollo del software dentro del plazo acordado (6 meses).
- ✓ Optimizar al máximo la utilización de recursos materiales y de personal para reducir al mínimo el coste de la aplicación.
- ✓ Hacer la herramienta de tal manera que el cálculo sea posible para diferentes cultivos, diferentes localizaciones de parcelas y diferentes manejos (riego, mecanización, insumos).

## 2.3 Criterios de valor

El promotor requiere que la herramienta:

- ✓ Sea fácil de usar.
- ✓ Requiera un mínimo de espacio virtual y capacidad de procesado para no disminuir la velocidad de la aplicación.
- ✓ Se ajuste al diseño del resto de la aplicación.

# 3 ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN DE PARTIDA

## 3.1 Antecedentes

Se pueden consultar los antecedentes del proyecto en el Anejo I (apartado 1.1.) donde se encuentran descritos todos de forma detallada.

En términos legislativos, es necesario tener en cuenta todas aquellas leyes y normas que establezcan aspectos referentes a los pagos de la subvención ofrecida por la PAC (Real Decreto 486/2009, Real Decreto 1612/2008, ORDEN APA/326/2007, Real Decreto

2352/2004), a la normativa que regula la metodología del cálculo de análisis de ciclo de vida (ACV) (Conjunto de normas preparado por el Comité Técnico ISO/TC 207, Gestión ambiental, Subcomité SC 5, Análisis de Ciclo de Vida que regula la aplicación de la metodología del ACV) y a las medidas contra la contaminación en el ámbito agrícola (Real Decreto 1311/2012, Directiva 2009/128/CE, Real Decreto 261/1996, entre otros).

También existen otros tipos de antecedentes importantes como son los agronómicos, socioeconómicos, edafológicos, climáticos, e incluso, ambientales.

Entre los antecedentes agronómicos se encuentran estadísticas de datos influyentes en el presente proyecto, como consumos en operaciones agrícolas o rendimientos de cultivos, uso de la tecnología o mapas cartográficos y geológicos. En los socioeconómicos están la Política Agrícola Común de la Unión Europea, datos salariales, demográficos y de desempleo. Los mapas edafológicos, tanto europeos como españoles, y la información climatológica forman los antecedentes edafológicos y climáticos, respectivamente. Por último, los antecedentes ambientales recogen estadísticas de residuos, emisiones y protocolos (de Kioto o de gases de efecto invernadero) entre otros.

### **3.2 Área del proyecto: condicionantes**

Existen tres aspectos fundamentales que influyen en el desarrollo del proyecto.

#### **3.2.1 Política Agrícola Común (PAC)**

Las ayudas previstas en la PAC compensan económicamente las rentas de los agricultores y ganaderos por practicar formas de producción que permitirán mantener nuestro patrimonio natural y traspasárselo a las futuras generaciones y consumir alimentos seguros (Página web del Fondo Español de la Garantía Agraria).

Estos pagos están condicionados al cumplimiento de requisitos que tienen por objeto fomentar la calidad y mejorar la comercialización de la producción. (Real Decreto 1612/2008, de 3 de octubre, sobre aplicación de los pagos directos a la agricultura y ganadería).

Entre algunos de los requisitos que se imponen para obtener esta ayuda económica consta la entrega de un cuaderno de explotación (CDE) que esté al día y que aparezcan detalladamente las operaciones agrícolas llevadas a cabo, así como las dosis, fechas y superficies, entre otros datos.

### 3.2.2 Uso de la tecnología en la agricultura

La evolución que ha vivido la agricultura en los últimos 70 años es exponencial, desde la utilización de animales de tiro hasta los tractores de última generación con autoguiado.

Actualmente parece imposible plantearse la agricultura sin el uso de las nuevas tecnologías, cada año podemos ver numerosas novedades tecnológicas referentes a este sector (Feria Internacional de la Maquinaria Agrícola o Feria de tecnología Agrícola, fame Innowa, etc.).

### 3.2.3 Cambio climático

Los consumos de energía del sector agrario suponen del orden del 4,5% sobre el total de los consumos de energía final. Dentro del sector agrario la maquinaria junto con los regadíos suponen cerca del 70 % del consumo energético. Teniendo en cuenta que en España el uso de tractores antiguos es muy frecuente, una vía para el ahorro puede ser la modernización de las flotas agrícolas y también por la transformación de los sistemas de riego por aspersión a riego localizado. (IDAE, 2012)

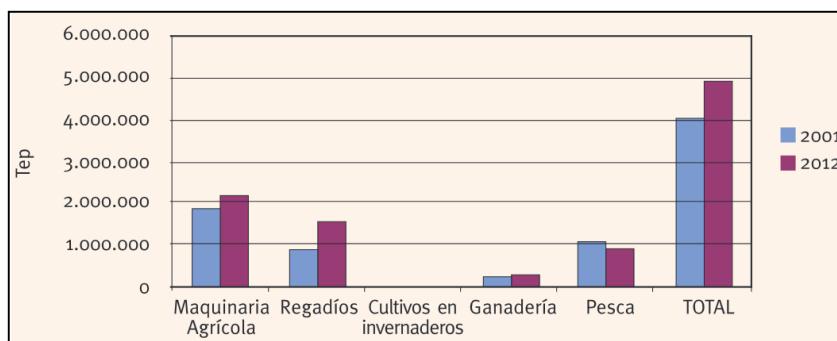


Figura 1. Distribución del consumo de energía final por subsectores, años 2001-2012. Tep: toneladas equivalentes de petróleo (IDAE, 2012).

La agricultura es el segundo sector que más emisiones de gases de efecto invernadero produce con un 24 % del total, estando tan sólo por detrás del sector energético (IPCC, 2014).

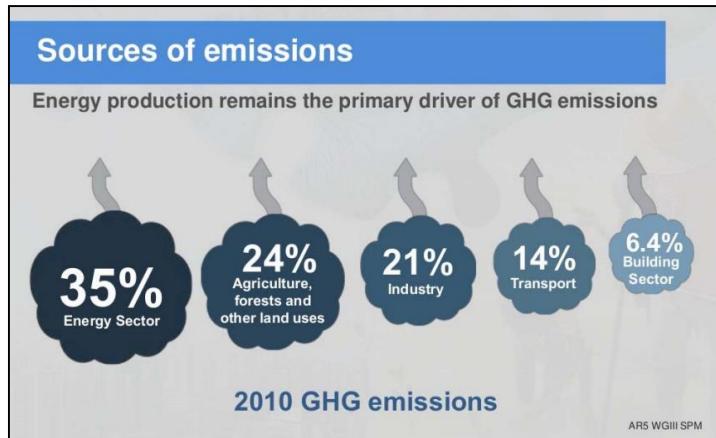


Figura 2. Fuentes de emisión según sectores (IPCC, 2014)

Afortunadamente la sociedad está cada vez más sensibilizada con los problemas medioambientales existentes y en particular con el cambio climático. En el caso de la agricultura se están planteando medidas para mejorar la eficiencia energética e hídrica y reducir el consumo de combustibles a través de la integración de tecnologías y a la vez que se están llevando a cabo medidas para restringir la utilización de fitosanitarios y fertilizantes dañinos para el suelo.

Un indicador ambiental que se está utilizando mucho en la actualidad es la huella de carbono, definida como una ecoetiqueta utilizada para describir el cálculo de las emisiones de todos los gases de efecto invernadero asociados directa o indirectamente, a una organización, evento, servicio o producto con el fin de determinar su contribución al cambio climático. Es un indicador de impacto ambiental obtenido a partir de un estudio de análisis de ciclo de vida centrando por entero la atención en la contribución al calentamiento global. (Ruiz-Amador & Zúñiga-López, 2012).

### 3.3 Situación actual

La empresa Cropti surgió en enero de 2014 con el lanzamiento de una aplicación web y móvil que permite a los agricultores y a sus asesores cumplimentar el CDE. Además de este servicio, incluye información sobre la predicción meteorológica de la zona donde se encuentra la explotación del cliente, sobre los productos fitosanitarios permitidos por la legislación (Vademécum); alerta contra plagas e indica el momento adecuado para aplicar un tratamiento basado en las condiciones meteorológicas y ambientales.

En el año 2013, el proyecto fue ganador del concurso “Proyecto empresarial ICADE” del Club Empresarial ICADE de la Universidad Pontificia de Comillas. Además obtuvo también el cuarto premio de la XI Competición de creación de empresas ActúaUPM.

Gracias a ello y a la aportación de los socios fundadores la empresa está en fase de consolidación.

Actualmente la empresa da servicios tanto a asesores agrícolas como a distribuidoras de casas de fitosanitarios, cooperativas y usuarios individuales, en un número superior al millar con más de 800.000 ha supervisadas.

### **3.4 Situación futura “Sin proyecto”**

La ausencia de este proyecto afianzaría la falta de concienciación de los agricultores de la contribución al cambio climático que genera su labor y más concretamente las emisiones que producen sus actividades a la atmósfera. Pero lo más importante es que el desconocimiento de esta información provocaría la falta de medidas para mejorar la eficiencia eléctrica, hídrica y de trabajo al igual que para ralentizar la optimización del uso de insumos.

Este hecho es un problema para el cambio climático pero además perjudicaría al agricultor debido a que la ineficiencia desemboca en un aumento del coste y por lo tanto en un decrecimiento del margen de beneficios.

Por otro lado es imprescindible seguir actualizando la aplicación y brindar servicios innovadores para poder continuar en el mercado de una manera competitiva ya que de lo contrario las demás empresas competitivas podrían acabar absorbiendo el abanico de clientes propio de Cropti.

### **3.5 Análisis de problemas, oportunidades y condicionantes: Diagnóstico**

Tabla 1. Matriz DAFO. (Elaboración propia)

		Internas	Externas
		Fortalezas	Oportunidades
Positivas	✓ Posibilidad de utilizar datos reales ✓ ACVs cercanos a la realidad	✓ Inversión en I+D+i ✓ Concienciación por el cambio climático ✓ Legislación cada vez más exigente con las emisiones de gases de efecto invernadero	
	Debilidades	Amenazas	
Negativas	✓ Empresa muy nueva ✓ Poca experiencia	✓ Oferta de servicios similares por parte de otras empresas	

## 4 OBJETIVOS Y METAS. ALTERNATIVAS ESTRATÉGICAS

### 4.1 Objetivos del proyecto

El presente proyecto no tiene un único fin, sino que tiene múltiples, debido a ello se han jerarquizado para que la toma de decisiones sea lo más fácil posible.

El objetivo principal del proyecto es el incremento del valor añadido del producto ofrecido por la empresa Cropti por medio del desarrollo de un servicio software capaz de calcular indicadores ambientales. Esto provocará un aumento de la competitividad de la empresa en el mercado. Pero además existen objetivos específicos tales como:

- Concienciación del sector agrario en relación con los problemas medioambientales
- Cuantificación de las emisiones producidas por cada cultivo
- Satisfacción de los usuarios que utilizan la herramienta

### 4.2 Alternativas estratégicas

#### 4.2.1 Generación de alternativas

La aplicación informática a desarrollar debe cumplir con los requisitos impuestos por el promotor redactados en el Anejo I (apartado 3.1 y 3.2).

Según estos requerimientos se han barajado diferentes opciones. Las alternativas que han surgido según la relación de dependencia con la herramienta original en funcionamiento son las siguientes:

- En primer lugar se ha planteado el desarrollo de un módulo software totalmente independiente de la herramienta ya existente.
- Por otro lado se ha tanteado la posibilidad de realizar una herramienta integrada en la propia aplicación de Cropti, a modo de un servicio adicional.

En cuanto al modo de cálculo de los indicadores ambientales se han propuesto las siguientes opciones: cálculo manual (el usuario introduce todos los datos manualmente) y cálculo automático (el servicio informático reproduciría los resultados de manera automática con los datos que el agricultor vaya insertando en el cuaderno de explotación).

#### 4.2.2 Selección de alternativas

En relación con el objetivo principal del proyecto, para aumentar la competitividad de Cropti es necesario dar a conocer la marca y proporcionar la máxima difusión y publicidad posible ya que es una empresa muy reciente. Es por eso que se ha decidido escoger la alternativa en la que los indicadores ambientales son una función integrada dentro de la aplicación ya existente.

En cuanto al cálculo, se ha seleccionado la alternativa en la que los resultados aparecen automáticamente basándose esta decisión en uno de los criterios de valor del promotor: la facilidad de uso de la herramienta. Tan solo el 5% de la población dedicada al sector agrario es menor de 40 años, esto, aparte de ser un problema para el relevo generacional supone una dificultad en cuanto al uso de la tecnología, es por eso que cuanto más sencilla y fácil de usar sea la herramienta mucho más práctica será.

Todos los criterios utilizados respetan los condicionantes impuestos por el promotor y los criterios de valor establecidos por el mismo.

### 4.3 Alternativas tácticas

#### 4.3.1 Generación de alternativas

Las alternativas tácticas elegidas definirán la metodología que se deberá seguir para llevar a cabo el proyecto.

La primera cuestión que se plantea es el número de indicadores ambientales que se van a definir y a desarrollar para la función. Se proponen los siguientes: huella de carbono, huella hídrica, demanda energética acumulada, toxicidad (suelo, agua, aire, humana), acidificación y eutrofización

Por otra parte existen cuatro posibilidades a la hora de elegir los límites de sistema para realizar un análisis de ciclo de vida: de la cuna a la tumba, de la cuna a la puerta, de la puerta a la puerta y de la cuna a la cuna.

#### 4.3.2 Selección de alternativas

En primer lugar, para determinar los indicadores ambientales que se calcularán con la herramienta informática se han tenido en cuenta los siguientes criterios:

- Que los indicadores sean relevantes para el conocimiento de la situación del medio ambiente en España y que contribuyan al incremento de la conciencia ambiental de la sociedad española.
- Que los datos para elaborarlos estén disponibles ya sea en fuentes oficiales como bases de datos, como en CDE elaborados por los usuarios.
- Que sean fácilmente interpretables y susceptibles de ser comprendidos por los usuarios.
- Que el tiempo para la elaboración de la herramienta con los diferentes indicadores se ajuste al tiempo impuesto por el promotor (6 meses).

Tabla 2. Resumen de alternativas. (Elaboración propia)

	Decisión a tomar	Alternativas	Criterios	Resultado de la selección
Alternativas estratégicas	Relación de dependencia con la herramienta existente	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Módulo independiente</li> <li>- Módulo integrado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Publicidad y difusión de la marca</li> </ul>	Módulo integrado
	Modo de cálculo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Manual</li> <li>- Automático</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Facilidad de uso de la herramienta</li> </ul>	Automático
Alternativas tácticas	Indicadores ambientales a calcular	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Huella de carbono</li> <li>- Huella hídrica</li> <li>- Demanda energética acumulada</li> <li>- Toxicidad</li> <li>- Acidificación terrestre</li> <li>- Eutrofización</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Relevancia del indicador</li> <li>- Disponibilidad de datos</li> <li>- Facilidad de interpretación</li> <li>- Complejidad de elaboración</li> </ul>	Huella de carbono
	Límites del sistema del producto	<ul style="list-style-type: none"> <li>- De la cuna a la tumba</li> <li>- De la cuna a la puerta</li> <li>- De la puerta a la puerta</li> <li>- De la cuna a la cuna</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Disponibilidad de datos</li> <li>- Interés del usuario</li> </ul>	De la cuna a la puerta

Finalmente se ha optado por desarrollar un solo indicador ambiental: la huella de carbono, dado que cumple con todos los criterios ya citados y es un concepto que tiene mucha relevancia en la actualidad.

Seguidamente se escogió la alternativa conveniente en cuanto a los límites del sistema del producto: de la cuna a la puerta. Decisión basada fundamentalmente en los datos registrados por los usuarios, que se ajustan a la realidad, y al interés de acotar el impacto de cada actividad. También se han incluido la fabricación y transporte de insumos. No obstante, no se han incluido los procesos aguas abajo del proceso productivo del cultivo (venta y consumo del producto).

#### **4.4 Metas del proyecto**

Tabla 3. Objetivos y metas del proyecto. (Elaboración propia)

Objetivos	Metas
Aumento de la competitividad de la empresa en el mercado.	Incremento del valor añadido del producto.
Concienciación del sector agrario de los problemas medioambientales.	Concienciación de los usuarios de la herramienta de su contribución al problema medioambiental.
Cuantificación las emisiones producidas por un cultivo.	Cuantificación de las emisiones de CO <sub>2</sub> equivalente por cultivo.
Satisfacción de los usuarios que utilizan la herramienta.	Satisfacción de los usuarios con el nuevo módulo software.

### **5 PROCESO PRODUCTIVO: GESTIÓN DE LOS CUADERNOS DIGITALES DE EXPLOTACIÓN**

#### **5.1 Cuadernos de explotación**

Los estragos que pueden causar las diferentes plagas pueden llegar a ser tales que afecten a la recolección en el mejor de los casos, o provoquen pérdidas de cosecha irreparables.

Por ello que actualmente los productos fitosanitarios se han convertido en medios imprescindibles para los agricultores ya que aminoran las consecuencias de las plagas.

Sin embargo, los efectos producidos por la utilización de los productos agroquímicos a altas dosis pueden ser poco deseables tanto para la salud humana como para los ecosistemas y el medio ambiente.

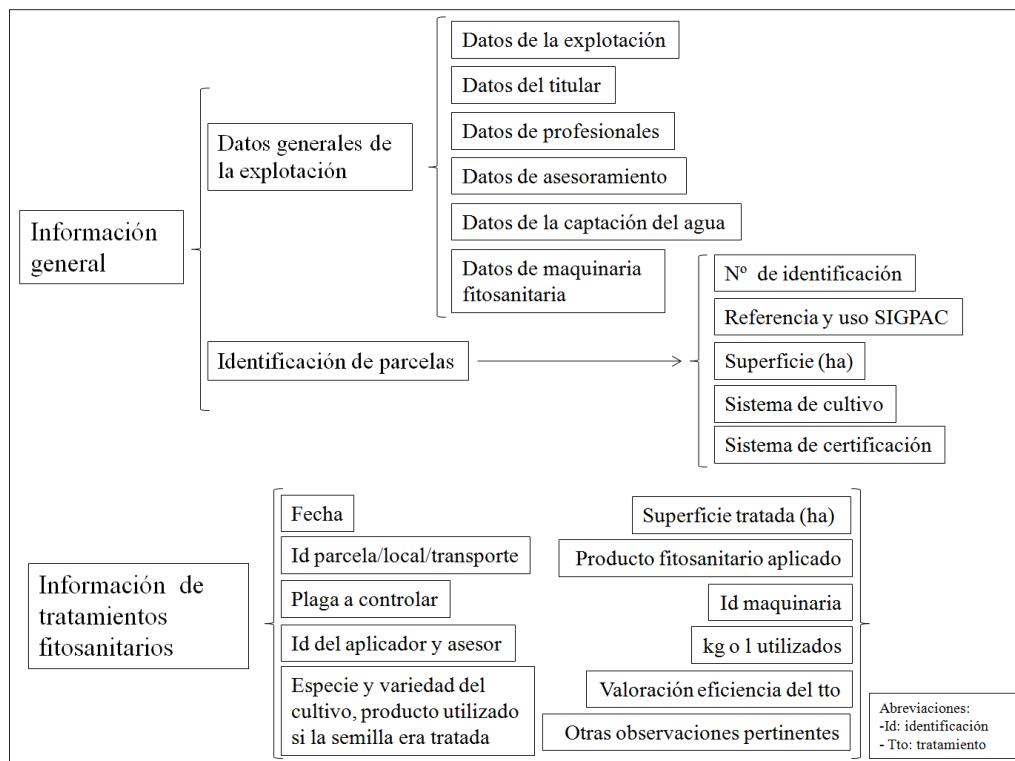


Figura 3. Esquema explicativo de cuadernos de explotación exigido por el ministerio. (Elaboración propia).

Debido a esto, el Estado Español, junto con la Unión Europea, ha desarrollado diferentes medidas para regular la utilización de estos productos. El 14 de septiembre de 2012 se aprobó el Real Decreto 1311/2012, por el que se establece el marco de actuación para conseguir un uso sostenible de los productos fitosanitarios. En esta normativa se indica que cada explotación agraria deberá cumplimentar un CDE o cuaderno de campo, el cual englobe de manera ordenada y detallada todos los elementos necesarios a llenar para mantener actualizado un registro de todos los tratamientos fitosanitarios.

El cuaderno se divide en dos conjuntos, “Información general” e “Información de tratamientos fitosanitarios”. En la Figura 3 se puede observar un esquema de los registros requeridos por la normativa. Dentro de la información general se exige que se especifiquen tanto datos generales de la explotación como datos de identificación de las parcelas. El segundo bloque lo forma la información sobre los tratamientos realizados en las diferentes parcelas, almacenes o vehículos de transporte. Es necesario detallar la fecha,

la dosis, la valoración de la eficiencia del tratamiento, la plaga a controlar y la superficie tratada, entre otros datos.

## 5.2 Herramientas digitales

Llevar a cabo un registro día a día de las actividades realizadas en el campo para la producción de un cultivo es una tarea laboriosa, ya que ello implica registrar la información después o durante una jornada completa de trabajo. Por ello, varias empresas han apostado por desarrollar un método con el que se pueda completar el CDE de manera digital, así el agricultor podrá registrar sus actividades desde su ordenador, tablet o móvil.

NUT cFruit ([www.nutsl.com](http://www.nutsl.com)), [micuadernodecampo.es](http://micuadernodecampo.es), aGROSLab y Cropti son empresas que ofrecen un servicio para generar un cuaderno de explotación propio sujeto a la normativa actual utilizadas también para informatizar y controlar las diferentes labores realizadas. Se desarrollará extensamente en otro apartado diferente aquélla que para este proyecto es más interesante (Cropti), por ser el promotor.

## 5.3 Cropti

Cropti es un software para la gestión y seguimiento de las acciones que se realizan sobre cualquier explotación agraria y cualquier cultivo, permitiendo cumplimentar la documentación oficial exigida por el RD1311/2012 (cuaderno de explotación) en el formato aprobado por el Ministerio de Agricultura. Es un recurso para la toma de datos de forma sencilla que permite obtener informes por parcela, cultivo y explotación facilitando la toma de decisiones.

### 5.3.1 Origen de la herramienta

Como ya se comentó anteriormente la herramienta de Cropti se llevó a cabo porque los fundadores de la empresa identificaron una necesidad clara por parte de los agricultores; la laboriosidad de completar los cuadernos de explotación y llevar una contabilidad de las operaciones realizadas manualmente es una tarea costosa. Por ello, idearon una aplicación en la que poder hacer un seguimiento de la trazabilidad de las explotaciones agrarias. Así se embarcaron en diseñar estos documentos de forma digital; en enero de 2014 se constituyó la empresa y en abril del año siguiente (2015) ya estaban activos comercialmente respaldados por ActúaUPM y el club empresarial ICADE en principio, y posteriormente por Telefónica.

### 5.3.2 Tipología del usuario

Actualmente cuentan con un abanico variado de clientes. Ofrecen su servicio tanto a usuarios particulares como a cooperativas, asesores y distribuidores de casas de fitosanitarios. En total gestionan alrededor de 800.000 hectáreas de territorio.

### 5.3.3 Manual de uso

#### 5.3.3.1 *Requisitos del sistema*

Para poder utilizar esta herramienta se necesitan ciertas condiciones mínimas en cuanto a la conexión y los navegadores web además del sistema operativo, el procesador, el espacio en el disco y en la memoria RAM (requisitos especificados en el documento II Pliego de condiciones).

#### 5.3.3.2 *Acceso a la aplicación y puesta en marcha*

La herramienta se encuentra en la página web [www.cropti.com](http://www.cropti.com) para entrar en ella es necesario registrarse como cliente introduciendo el correo electrónico, nombre de usuario y contraseña.

Una vez dentro de la aplicación se deben introducir los datos generales de la explotación y del cultivo, datos de la maquinaria, de los trabajadores, de los asesores y de los clientes.

#### 5.3.3.3 *Añadir una parcela y una actividad*

Existen dos métodos para la incorporación de parcelas: incorporación automática o introducción manual una por una (habrá que especificar el nombre de la parcela, la localización con el código SIGPAC, la superficie y otros datos relevantes).

Para crear una nueva actividad es necesario seleccionar la parcela donde se realiza dicha tarea y seguidamente elegir el tipo de acción (siembra, cosecha, laboreo...). Después aparecerán los campos estrictamente necesarios para llenar el cuaderno.

#### 5.3.3.4 *Consultar las acciones realizadas*

Al seleccionar cualquier parcela se tiene la posibilidad de verla o borrarla, si se escoge la primera se mostrará el CDE de esa parcela en una tabla ordenada por fechas.

#### 5.3.3.5 *Imprimir el cuaderno*

En el menú *Cuaderno* se encuentra la opción de *Exportar cuadernos*, pulsándolo aparecerá un cuadro de diálogo en el que se puede escoger el formato del documento que

se quiere exportar (Excel o PDF). Una vez descargado solo se debe clicar en el menú desplegable *Archivo* y a continuación *Imprimir*.

#### 5.3.4 Informes de actividad

Cropti ofrece una función en la que el cliente puede ver informes resumen de los gastos producidos según el concepto (gasoil, reparaciones, compra de semillas...), la actividad, la campaña y la parcela.

#### 5.3.5 Cuaderno de explotación digital

El cuaderno de explotación que exporta Cropti posee exactamente el mismo formato que el aplicado por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

### 5.4 Datos de una explotación relevantes para el cómputo de emisiones

Un agricultor tiene el poder de decisión absoluto sobre su explotación, en cuanto al tipo de manejo que realiza, la maquinaria que utiliza, la cantidad de insumos que aplica (ajustados a preinscripción por parte de un asesor) etc. Todas estas decisiones afectan en gran medida a la cantidad de emisiones que se generarán a lo largo del proceso productivo. En este apartado se desarrollarán ciertos aspectos que influyen en el cálculo de la huella de carbono.

#### 5.4.1 Actividades agrícolas

Las operaciones que se estudiarán son el laboreo o la preparación de la tierra; la siembra que es la práctica en la que se depositan las semillas de las plantas en el lecho preparado o no (siembra directa) para su posterior desarrollo; la fertilización, actividad en la que se incorporan abonos o fertilizantes en la tierra para el enriquecimiento de la misma en nutrientes necesarios para el correcto crecimiento de las plantas; los tratamientos fitosanitarios que se llevan a cabo para la protección de los cultivos contra plagas, enfermedades o malas hierbas; y por último, la cosecha, operación en la que se recolectan los productos agrícolas cuando ya están preparados para su comercialización.

#### 5.4.2 Itinerarios de labranza

Los sistemas de laboreo son un conjunto de operaciones mecánicas de labranza que intervienen en el manejo del suelo y se clasifican según la profundidad de la labor, el número de pasadas y los residuos sobre el suelo. El sistema de laboreo que se adopta

condiciona otras operaciones agrícolas para el manejo del cultivo como son la fertilización y la protección contra plagas, enfermedades o malas hierbas. Se pueden distinguir tres tipos:

- Laboreo tradicional. Se desarrollan labores primarias a profundidades de 20 a 25 cm para fragmentar el suelo, enterrar los rastrojos del cultivo anterior y las malas hierbas con aperos como el arado de vertedera o disco para voltear la tierra o con chisel para una fragmentación vertical. Posteriormente se hacen necesarios uno o varios pases de labores secundarias (menos de 15 cm) para desmenuzar los agregados y preparar el lecho de siembra. A continuación se realiza la siembra. En este tipo de sistema se conserva menos del 10 % de los residuos en superficie.
- Mínimo laboreo. Se realizan únicamente labores superficiales entre los 10 y 15 primeros centímetros de suelo. No se realiza volteo y se hace una labor vertical con chisel o cultivador y al igual que en el laboreo tradicional se puede proceder seguidamente a la preparación del lecho y después a la siembra. En este sistema si se deja en el terreno al menos el 30 % de los residuos se denomina laboreo de conservación.
- No laboreo o siembra directa. Se fundamenta en la utilización de sembradoras específicas capaces de sembrar directamente sin hacer laboreo del suelo previo. Este último sistema mantiene sobre el terreno al menos el 70 % de los residuos.

Tanto el no laboreo como el mínimo laboreo están dando lugar a un nuevo modelo de manejo de sistemas agrarios, conocido como la Agricultura de Conservación, la cual permite reducir los consumos de combustible, reducir la erosión de los suelos y aumentar la materia orgánica de los suelos.

#### 5.4.3 Tipos de producción

Actualmente se pueden establecer tres tipos de agricultura respecto al tipo de producción: agricultura convencional, integrada y ecológica; la Figura 4 muestra la evolución de los sistemas de producción revelando la productividad y la sostenibilidad que presenta cada uno.

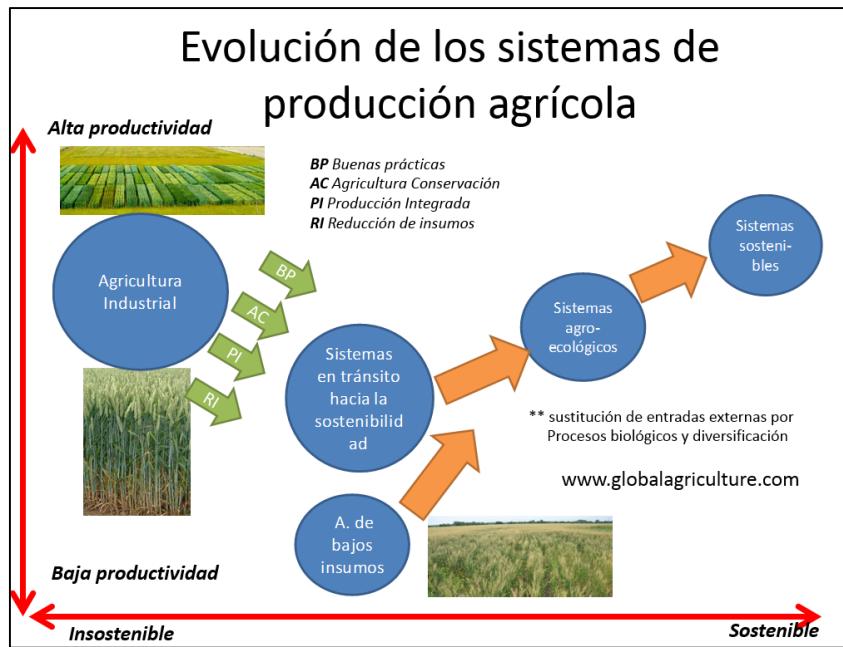


Figura 4. Evolución de los sistemas de producción agrícola ([www.globalagriculture.com](http://www.globalagriculture.com))

La agricultura convencional o industrial tiene como objetivo la producción de alimentos en grandes cantidades para la obtención del mayor beneficio, utilizando para ello productos químicos sin restricciones en cuanto a dosis y número de aplicaciones, siempre y cuando se verifiquen los límites máximos de residuos superficiales, y realizando las labores mecanizadas necesarias para evitar la aparición de plagas o malas hierbas.

La producción integrada se basa en obtención de cultivos que utilizan al máximo los recursos y los mecanismos de producción naturales y aseguran a largo plazo una agricultura sostenible, introduciendo en ella métodos biológicos y químicos de control, y otras técnicas que compatibilicen las exigencias de la sociedad, la protección del medio ambiente y la productividad agrícola. En este tipo de práctica el límite máximo de residuos debe ser inferior al 50 %.

Por último la agricultura ecológica u orgánica se puede definir como un compendio de técnicas agrarias que excluye normalmente el uso de productos químicos de síntesis como fertilizantes, plaguicidas etc., con el objetivo de preservar el medio ambiente, mantener o aumentar la fertilidad del suelo y proporcionar alimentos con todas sus propiedades naturales. Este tipo de agricultura está basada en la rotación de cultivos y en el uso de los enemigos naturales para combatir las plagas y enfermedades.

#### 5.4.4 Maquinaria

En este apartado se expondrá la tecnología de la maquinaria agrícola que afecta a un incremento de emisiones de gases de efecto invernadero. Existen numerosos aspectos y muy extensos, pero se hará una síntesis en lo que se considera esencial en este proyecto: tecnología de inyección de combustible, transmisiones y tratamiento de los gases de escape.

##### 5.4.4.1 Sistemas de inyección

El sistema de inyección del combustible es el conjunto de dispositivos que se encargan de introducir en el interior de los cilindros del motor la cantidad necesaria de combustible para que se queme.

La bomba de inyección es la responsable de dosificar la cantidad de combustible que, en cada momento, debe entrar en el motor y dar presión al combustible, enviándolo a cada uno de los inyectores. Los tractores pueden ir equipados con bomba de inyección lineal, con bomba de inyección rotativa o sistema de common rail.

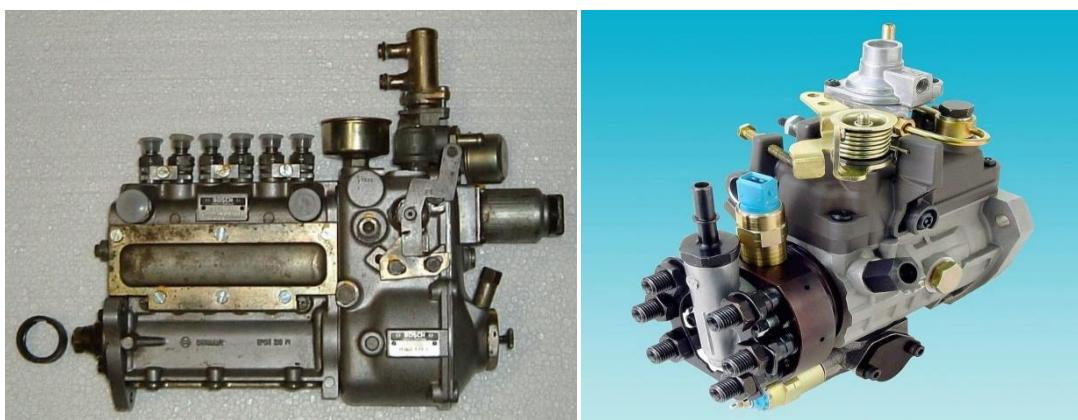


Figura 5. Sistema de inyección. Izquierda lineal, derecha rotativo (directindustry, s.f.)

La bomba de inyección lineal (Figura 5) es la más antigua y menos precisa, posee tantos elementos de inyección como cilindros tiene el motor y cada uno de ellos distribuye el combustible a un cilindro; y estos elementos están dispuestos linealmente, como su propio nombre indica. Puede aún encontrarse en tractores en uso en las explotaciones agrarias españolas.

La bomba de inyección rotativa (Figura 5), que supuso un avance exhaustivo respecto a la anterior, tiene los distribuidores colocados en círculo y también alimenta a un inyector por cada cilindro, la dosis que aplica es más precisa que la bomba lineal pero aún y así muy burda en comparación con los sistemas actuales, de control electrónico, cuyo

desarrollo fue imprescindible para mejorar la combustión de los motores. Al igual que en el caso anterior y con más frecuencia puede encontrarse bombas rotativas en tractores en uso, especialmente en los de menor potencia.

Los sistemas de inyección de raíl común o “common rail” (Figura 6) han terminado por sustituir a los sistemas de inyección mecánicos, gracias a que permite regular la dosis de manera muy precisa en los inyectores según la carga del motor.

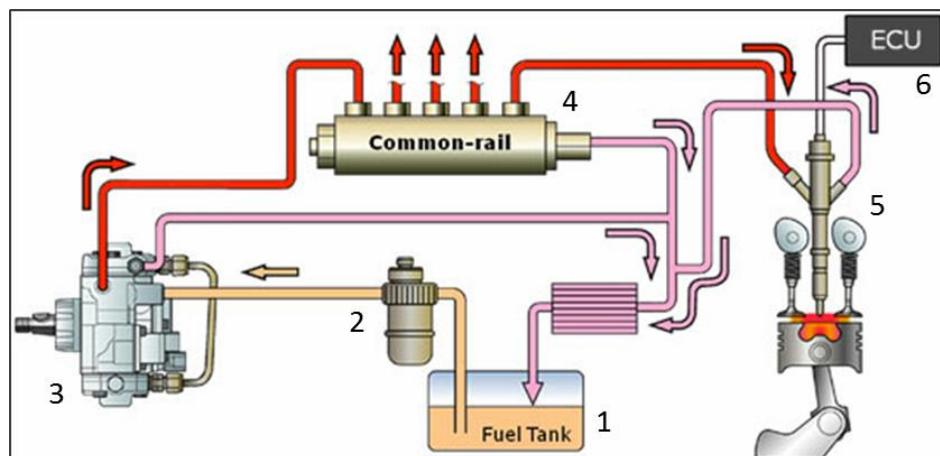


Figura 6. Componentes del "Common rail". Fuente: modificado de ([aficionadosalamecanica.blogspot.es](http://aficionadosalamecanica.blogspot.es), s.f.). 1-depósito de combustible, 2-filtro, 3-bomba de alta presión, 4-common rail, 5-inyector, 6-unidad de control electrónico

#### 5.4.4.2 Tratamiento de gases de escape

La normativa que establece los máximos permitidos de emisiones generadas por vehículos de fuera de carretera son las TIER (EE.UU) o Stage (UE) y lo hacen en función de la potencia de los tractores. Estas restricciones están provocando una evolución forzosa en los motores de los tractores para adaptarse a ellas.

Hasta la década de los 90 se demandaban altas prestaciones de potencia, bajo consumo y bajas emisiones de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) pero en la actualidad estas solicitudes se extienden también al control riguroso de los niveles de emisión de otras sustancias contaminantes. Estas sustancias son los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), la materia particulada (PM), los hidrocarburos (HC) y el monóxido de carbono (CO) aparte del  $\text{CO}_2$ .

Los  $\text{NO}_x$  provienen del nitrógeno ( $\text{N}_2$ ) atmosférico el cual se oxida al estar bajo las condiciones de presión y temperatura que se producen en la combustión. La PM comprende un amplio abanico de contaminantes en forma de aerosol y entre los que se encuentran distintas formas orgánicas y minerales de carbono procedentes de la

combustión que no han sido totalmente oxidadas durante la combustión. Por último los HC y el CO provienen de la combustión incompleta del combustible.

En la Figura 7 se puede apreciar la producción en partes por millón (ppm) de PM y NO<sub>x</sub> según la temperatura de combustión y el ratio combustible-aire para diferentes concentraciones de oxígeno (curvas de colores).

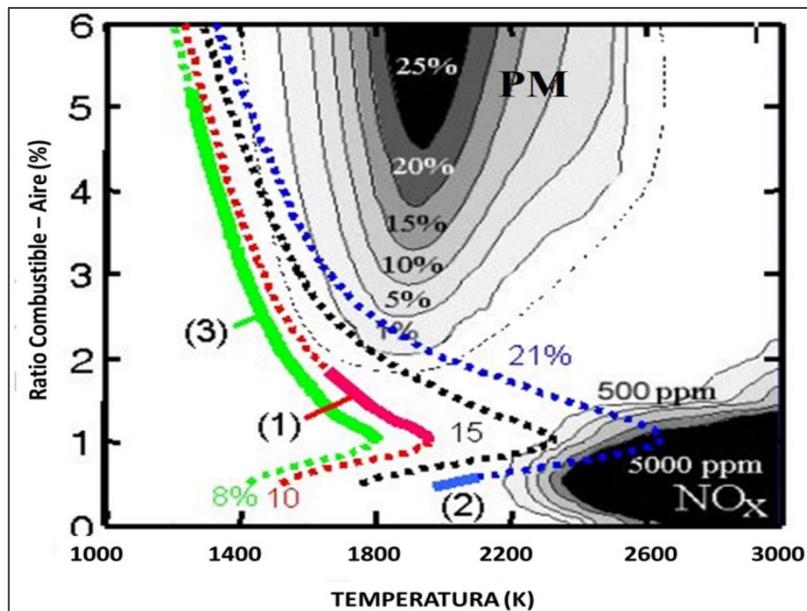


Figura 7. Producción de NO<sub>x</sub> y de materia particulada (PM) en función del ratio combustible-aire, de la concentración de oxígeno en la admisión y de la temperatura. (Leon Ortiz, Moya Gonzalez, & Barreiro Elorza, 2012).

Para combatir y conseguir todas las exigencias demandadas por las normativas se contemplan dos vertientes diferentes:

- Método de recirculación de gases de escape (EGR) combinado con un filtro de partículas (DPF) que apuesta por optimizar al máximo la combustión. Se basa en la reducción de las concentraciones de oxígeno durante la combustión por medio de la recirculación de gases de escape (a mayor recirculación menor concentración de oxígeno) y por lo tanto menores temperaturas y menores emisiones de NO<sub>x</sub> y PM, como se puede observar en la figura 6. Además la regeneración del filtro de partículas (DPF) consiste en quemar posteriormente las sustancias sólidas que se almacenan en el filtro.



- La segunda técnica consiste en la reducción catalítica selectiva (SCR) empleando una solución de urea (conocida como AdBlue). Los motores equipados con estas tecnologías alcanzan mayores temperaturas de combustión, lo que supone una mejora en el rendimiento energético respecto a las anteriores pero, según la Figura 7, una producción mayor de emisiones de NO<sub>x</sub> y PM. Este método se fundamenta en el post-tratamiento de los gases de escape con amoniaco para transformar los óxidos de nitrógeno en nitrógeno gaseoso y agua.

#### 5.4.4.3 *Transmisión*

Se consideran “transmisiones” el conjunto de elementos que aseguran la transferencia del par motor desde el cigüeñal a los diferentes puntos en los que se tiene que utilizar (ruedas motrices y toma de fuerza). Esta transmisión del movimiento se realiza modificando simultáneamente los dos factores que componen la potencia: par motor y régimen de giro, de manera que a las ruedas llegue el movimiento en las condiciones más favorables para el funcionamiento del tractor (Márquez, Tractores agrícolas: tecnología y utilización, 2012).

La transmisión no genera potencia, sólo sirve para transportarla. Su principal misión es variar la relación de transmisión, que es el cociente entre la relación de giro del cigüeñal del motor (régimen de funcionamiento) y el régimen del eje accionado. Los elementos que forman este sistema son el embrague, la caja de cambios, el diferencial y las reducciones finales. De ellos en esta memoria se describen por su interés la caja de cambios.

La caja de cambios permite seleccionar las diferentes relaciones en función de la carga que demandan las labores y de la velocidad a la que se quiere avanzar; aumentando, manteniendo o disminuyendo la relación de transmisión con la finalidad de aprovechar al máximo la potencia del motor. En ella también se puede escoger el sentido del desplazamiento (retroceso o avance).

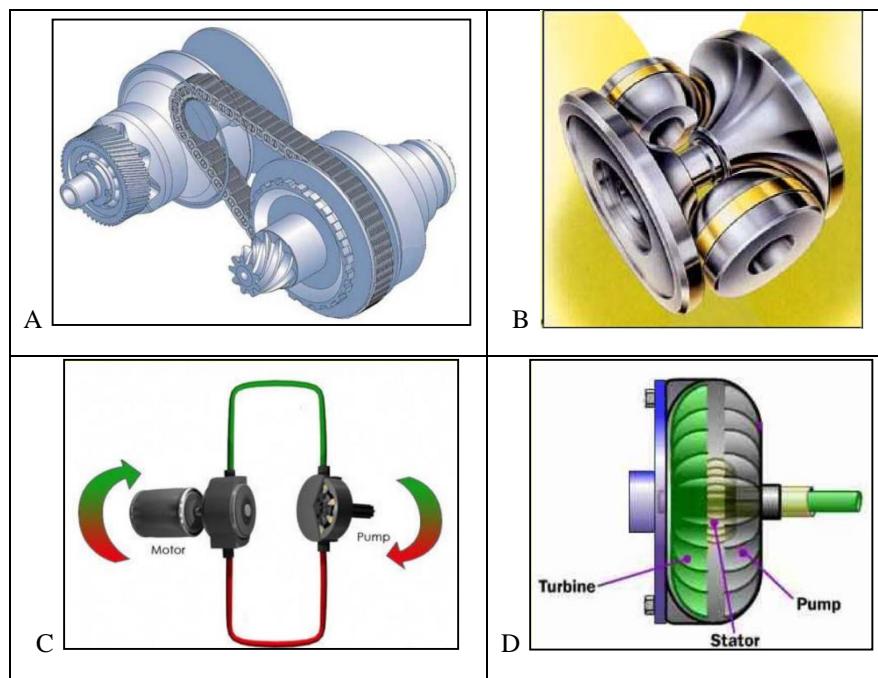


Figura 8. Tipos de variador continuo. A. Mecánico de correas. B. Mecánico de rodillos. C. Hidrostático. D. Hidrodinámico (convertidor de par)

Las transmisiones se podrían clasificar en dos grandes grupos, las transmisiones continuas y las discretas. Éstas últimas a su vez se pueden distinguir entre las mecánicas, que poseen un embrague mecánico, y las electrohidráulicas, que incorporan uno o varios embragues electro-hidráulico de discos. La principal diferencia entre ellas es el tiempo que tardan en realizar el cambio, mientras que las mecánicas necesitan segundos, las electrohidráulicas precisan de milisegundos para llevar a cabo el cambio de marcha (aspecto fundamental en velocidades de avance muy reducidas).

En la última década, la incorporación de las cajas continuas ha revolucionado el mercado de los tractores: las transmisiones infinitamente variables, también conocidas como CVT (Continuously Variable Transmission). Este sistema de transmisión posee un número infinito de velocidades bajo carga, esto se consigue incorporando un variador continuo en el camino de la transmisión de la potencia del motor a las ruedas, este variador puede ser mecánico (correas, cadenas o rodillos) o hidráulico (hidrostático o hidrodinámico) y permite variar de manera continua la relación de transmisión entre dos ejes (Figura 8). Existen distinciones en la eficiencia energética de ambos tipos de cajas de cambios (discretas y continuas) y asimismo el manejo del tractor es significativamente diferente. Diferencias de consumos y emisiones se evidencian en la Tabla 4.

## 5.5 Ensayos de campo

Se ha hecho una recopilación de ciertos artículos de investigación del equipo de la Universidad Politécnica de Madrid, LPF-Tagralia, que comparan ciertos parámetros según las particularidades de la operación realizada y de las características de los tractores.

Se han seleccionado aquéllos que comparan las emisiones de los gases de escape y los consumos de combustible en el laboreo y en el transporte. En cualquiera de las pruebas llevadas a cabo se tiene en cuenta el tipo de conducción que se hace: manual o automática (anexo III, tablas 1, 2 y 3).

Se puede concluir por los datos recabados de estos artículos que existe una gran diferencia entre los consumos (coeficiente de variación 32,4%) y las emisiones producidas (con un coeficiente de variación del 79 % para EGR y 3,4 % para SCR) según el tipo de tecnología del tractor, según el tipo de conducción (CV 29 % para una conducción manual y 35 % para una conducción automática) y según los ajustes de operación y de cada actividad. Por lo tanto es importante tener en cuenta todos estos datos que podrían eventualmente complementar, como punto de partida en las emisiones unitarias (apartado 7.2), el cálculo del análisis de ciclo de vida.

Así pues, contar con los datos incorporados directamente por el agricultor a la herramienta Cropti, hará que se puedan saber muchos parámetros relevantes sin necesidad de realizar una toma de datos en el campo.

En el apartado siguiente se discutirán los datos incorporados en la aplicación y se analizarán aquéllos que son trascendentales para realizar el ACV.

Tabla 4. Consumos en el laboreo y el transporte. Todos los tractores presentan un sistema de inyección de combustible tipo common rail. (Elaboración propia)

Artículo	Tecnología	Apero	Descripción	a <sub>u</sub> (m)	Vt (km/h)	Prof teo (cm)	Laboreo				Transporte		
							Consumo (l/ha)		Consumo (ml/m <sup>3</sup> )		Descripción	Consumo (l/km)	
							Manual	Auto	Manual	Auto		Manual	Auto
1	SCR/D	Vertedera	Discontinua 4 cuerpos reversible Pottinger Servo 45 NP 43 cm ancho de corte/cuerpo	1,72	6,8	14,033	14,45	-	-	9,3	5 km, 6% de desnivel	0,26	-
	EGR/D				6,6	17,667	25,157	-	-	12,9		0,52	-
2	EGR/D	Cultivador	Kverneland CLC Evo 9 brazos amortiguados con ballestas, rejas rectas	2,4	5	-	16,135		-	-	3,5 km remolque 8720 kg	0,576	-
3	SCR/C	Chisel	Ovlac 25 brazos	5,74	8	15		7,2	-	-	Remolque 14860 kg	1	0,92
					7	23	16,23	9,47	-	-			
4	SCR/C	Vertedera	kverneland EG85, 5 cuerpos	?	7	25	16,6	16	6,63	6,24	5 km, 2,4% pendiente	0,499	-
					8,5	25	17,6	17,4	7,38	6,9			
					8,5	20	15,7	14,4	7,88	7,63			
5	EGR/D	Grada rotativa	Arterra MS 400 16 rotores	4	10	-	14,85	10,25	-	-	Remolque 17940 kg	1,71	0,88
6	SCR/C	Grada rotativa	Pöttinger Lion 302 con 10 rotores doble púa accionados por tdf	2,9	3,8	4	21,28	21,47	-	-	Remolque pacas 4100kg 7km	0,421	0,389
7	EGR/D	Cultivador	27 brazos en tres líneas	6	10	8	7,58	7,67	9,85	8,2	Remolque 19680 kg 11,45 km	0,83	0,73
8		Chisel	7 brazos	2,6	7	15,8	-	16	-	10,1	-	-	-
		Rotovator	540 rpm tdf	3,3	5,7	12,4	-	11,4	-	9,2	-	-	-

## 6 PRE-ANÁLISIS DE LOS DATOS

Para realizar el análisis de ciclo de vida de un cultivo cualquiera es necesario disponer de ciertos parámetros y datos de la parcela en la que se va a hacer el estudio. Para ver con qué datos cuenta la herramienta web Cropti, cuáles son necesarios estimar y cuáles hay que obtener de una base de datos externa, es preciso hacer un reconocimiento previo de los datos que incorpora el usuario a la aplicación y así homogeneizar, en primer lugar, y seleccionar, en segundo, los que hagan falta para el cálculo de los indicadores ambientales.

Este ACV se realizará para el cultivo de la cebada (*Hordeum vulgare*) como estudio piloto para desarrollar el diagrama de flujo y si se comprueba que funciona el método ideado, la empresa lo ampliaría a los demás cultivos.

### 6.1 Datos en bruto

La empresa Cropti proporcionó datos de una determinada explotación en los que especificaba diferentes campos (consultar Anejo IV, tabla 1).

Con un total de 683 actividades realizadas en diferentes fechas y para diferentes parcelas se aprecia a simple vista que muchos de los datos están sin rellenar por el cliente, esto va a provocar que el análisis sea menos preciso, que haya que presuponer ciertos parámetros y que se obtengan conclusiones sacadas a partir de las deducciones más probables.

### 6.2 Resumen de procedimiento

En la Figura 9 se puede ver de manera simplificada el método seguido para analizar los datos aportados por la empresa. En primer lugar se hizo una selección de los datos relevantes, como son las actividades y las superficies de las parcelas entre otros, y a continuación se procedió a caracterizarlos según el municipio al que correspondían, según las actividades realizadas (laboreo, siembra, fertilización, tratamientos fitosanitarios o cosecha) y según las parcelas. A continuación se trató de estudiar más en profundidad cada actividad y por último se realizó un calendario de actividades.

El objetivo principal es el de generar el procedimiento de análisis de los datos brutos que aporte la información imprescindible al inventario del ACV y determinar qué variables han de ser estimadas mediante funciones algebraicas a partir de los datos extraídos.

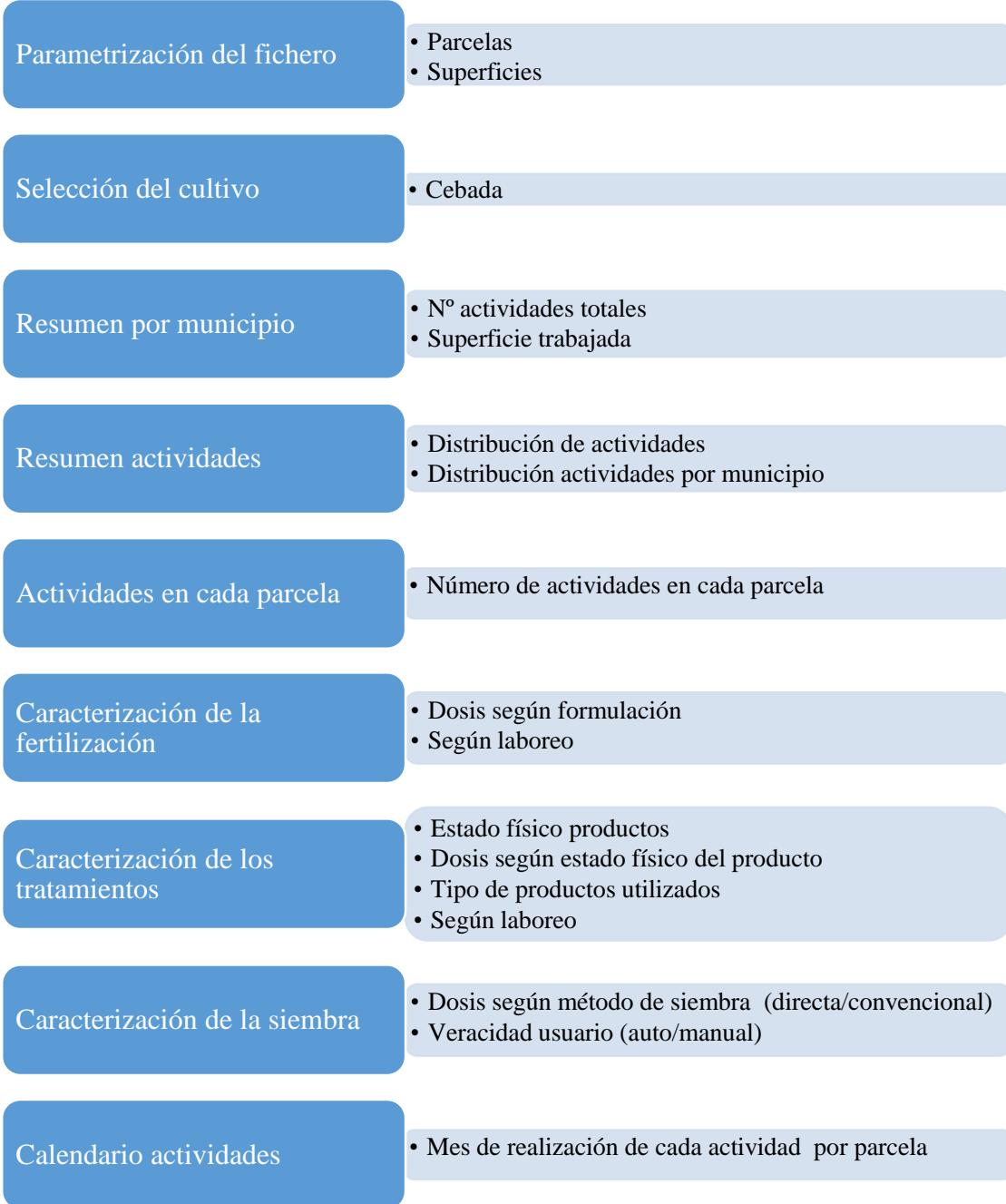


Figura 9. Resumen del procedimiento seguido y las variables generadas (Elaboración propia).

Se estimó conveniente automatizar todo el procedimiento mediante rutinas de programación para que así cualquier fichero de datos de un usuario de la aplicación pueda ser leído y analizado de la misma manera. Para ello se utilizó el entorno de programación matemático Matlab (2015b). Todas las rutinas de programación utilizadas para realizar el pre-análisis de datos se muestran en el anexo IV.

Con los resultados de este pre-análisis se pudieron sacar conclusiones relevantes tanto para la empresa como para realizar el análisis de ciclo de vida.

### 6.3 Caracterización de la explotación

Para empezar, se hizo un análisis general de la explotación, tanto de las superficies trabajadas y las actividades que se han llevado a cabo en toda la explotación como las que se han realizado en las parcelas que cultivan el cultivo de cebada.

De 683 actividades realizadas (766,1 ha), 486 actividades corresponden a cebada (488,3 ha), es decir el 71,2 %. De la superficie trabajada total (7.637,7 ha) el 44,25 % son del cultivo de cebada (3.379,5 ha). En adelante, los datos relativos a este cultivo serán los de referencia.

El concepto de superficie trabajada se refiere a la superficie trabajada en cada actividad (laboreo, siembra, cosecha...) una parcela con un área determinada es trabajada habitualmente más de una vez, por lo tanto su superficie trabajada será el área de la parcela por el número de actividades que se hayan realizado en dicha parcela.

Se observó que la mayoría de las parcelas tienen una superficie menor de 5 ha y que existen parcelas con tamaños muy diferentes, desde menos de 1 ha hasta 45 ha.

### 6.4 Caracterización por municipios

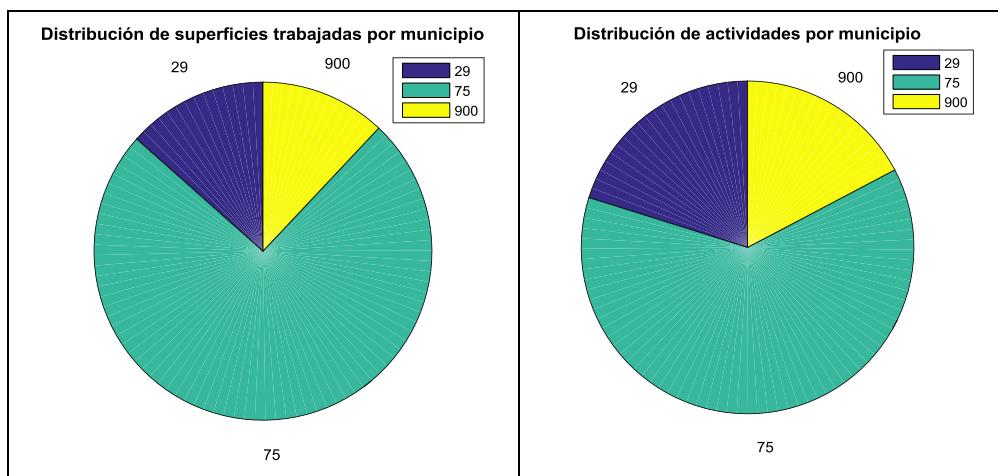


Figura 10. Gráficos resumen por municipios. Azul Chinchilla de Monte-Aragón, verde-turquesa Valdeganga y amarillo Albacete. (Elaboración propia)

Los municipios en los que se encuentran las parcelas de cebada de la explotación estudiada son Chinchilla de Monte-Aragón, Valdeganga y Albacete con código SIGPAC 29, 75 y 900 respectivamente.

Se puede deducir (Figura 10) que la mayoría de las parcelas están en el municipio de Valdeganga o que en él se encuentran las parcelas de mayor tamaño, ya que es donde se realizan mayor número de actividades.

## 6.5 Caracterización de las actividades

La operación agrícola que más se repite en esta explotación, con diferencia, es la de aplicación de tratamientos fitosanitarios (Figura 11).

La segunda conclusión a la que se llega es que en gran parte de las parcelas se lleva a cabo la siembra directa ya que en todos los municipios el número de actividades de laboreo es siempre inferior al de siembra, resaltando el caso del municipio 900 en el que se lleva una práctica exclusiva de no laboreo (sólo siembra).

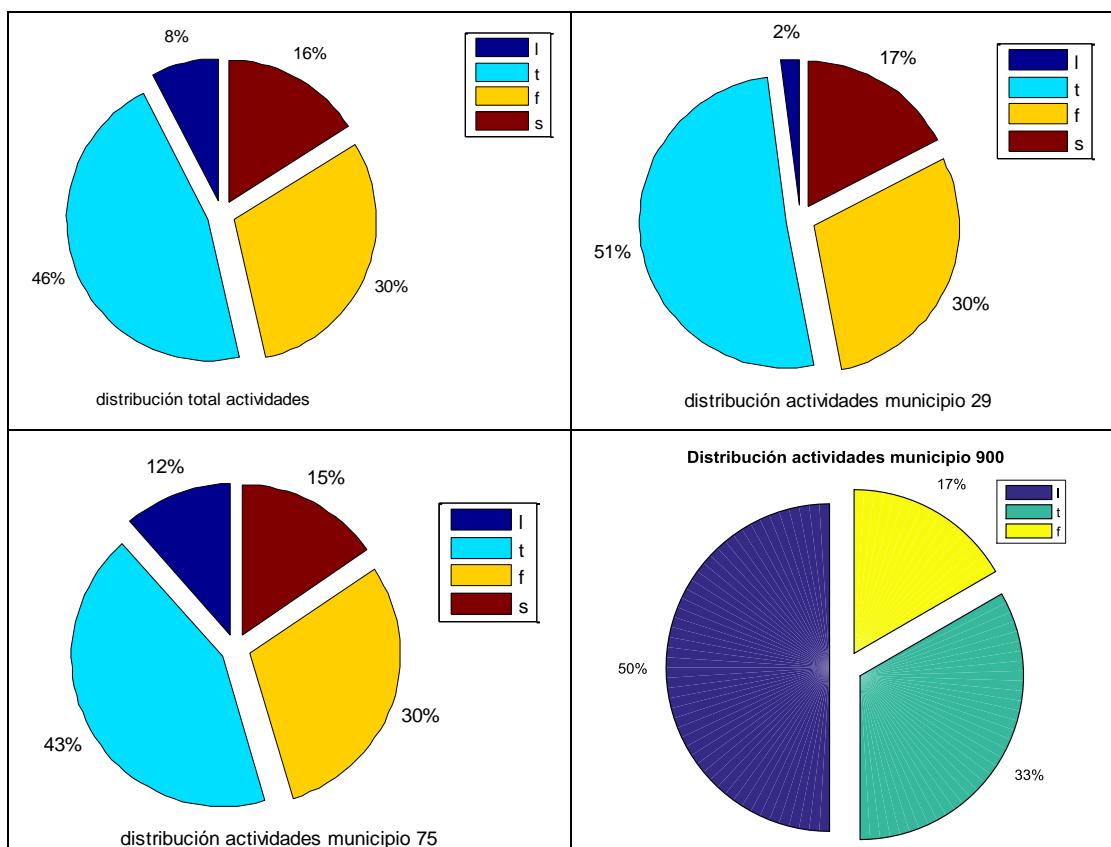


Figura 11. Distribución de actividades totales y por municipio. Tipos de actividades: l=laboreo, t=tratamientos fitosanitarios, f=fertilización y s=siembra. (Elaboración propia)

## 6.6 Caracterización de las parcelas

En el fichero que proporcionó la empresa no estaban identificadas las diferentes parcelas por lo que para poder llevar a cabo un estudio de cada una, se buscó el número identificativo de la superficie SIGPAC, que tiene cuatro números decimales, es decir existe una probabilidad muy baja de que dos parcelas tengan exactamente el mismo área. De este modo se pudieron identificar 76 parcelas.

Con los gráficos de la Figura 12 se comprueba que hay 78 siembras (en 76 parcelas), en dos parcelas se han realizado dos siembras; en un caso, la parcela tiene una superficie de

44 ha (que puede suponer dos días de trabajo), y en el otro, es un agricultor que hace el doble de actividades que los demás (12 respecto a 6, se piensa que podría tratarse de un trabajador a tiempo parcial). En el resto de los casos siempre es 1 siembra por parcela, luego los datos son consistentes.

Según este esquema también es posible identificar los sistemas de laboreo. Detectamos dos comportamientos principalmente: no laboreo (0 pasos) y laboreo convencional (3 a 5 pasos), siendo la práctica más utilizada el no laboreo (87 % de las parcelas).

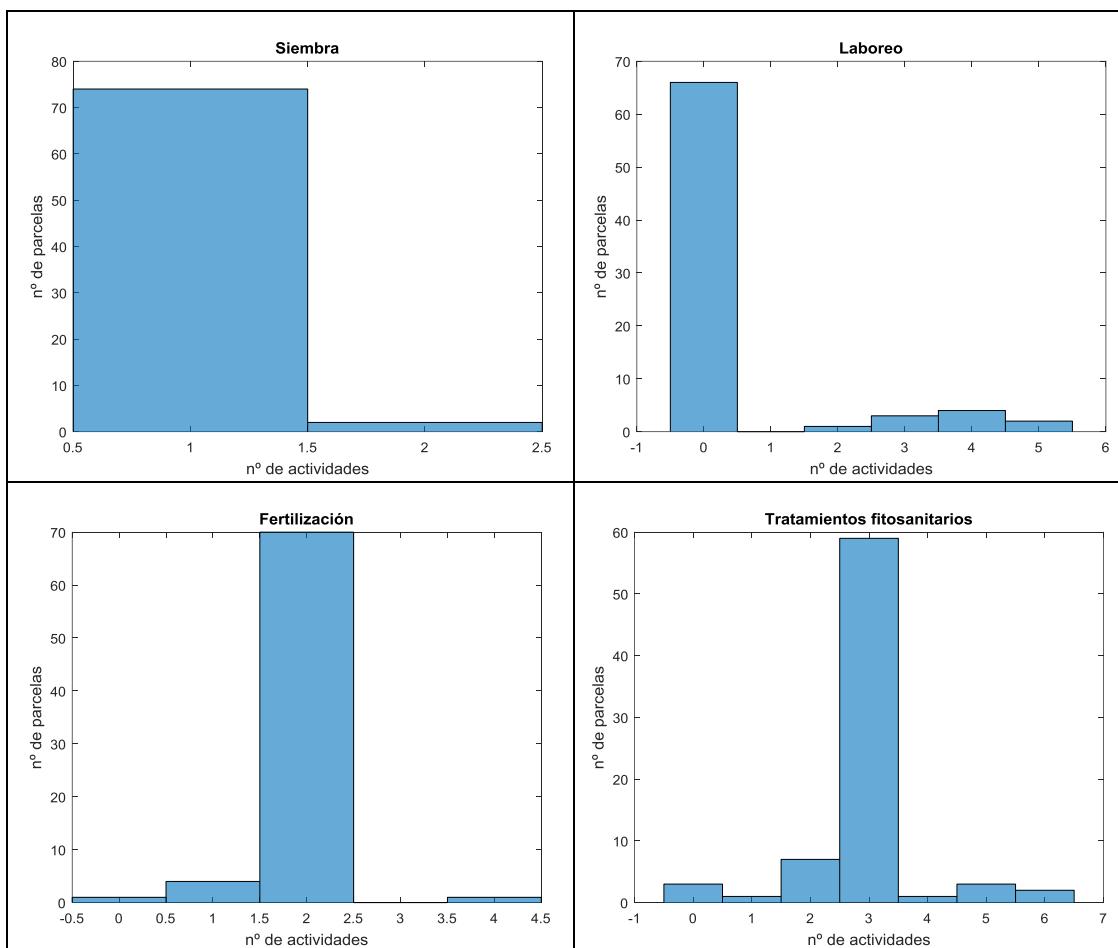


Figura 12. Número de parcelas que realiza cada actividad una o más veces. (Elaboración propia).

Se puede observar que la mayoría de las parcelas reciben dos actividades de fertilización, las cuales podrían corresponder a un abonado de fondo y otro de cobertura.

Son tres el número de tratamientos fitosanitarios que más se aplican por parcela, surge la duda de si se trata de un mismo tratamiento llevado a cabo en varios días o si realmente son diferentes tratamientos (herbicida, plaguicida o fungicida).

## 6.7 Caracterización de la fertilización

Se advierte que la mayoría de las dosis aplicadas se sitúan en torno 120 kg/ha, existe una gran cantidad de actividades que aplican dosis entre 100 y 200 kg/ha, además se aprecian datos extremos, habiendo desde 80 hasta 260 kg/ha.

En los datos brutos se distinguen cuatro fertilizantes diferentes (Tabla 5) con sus respectivas formulaciones NPK (nitrógeno, fósforo y potasio).

Tabla 5. Formulaciones de los fertilizantes. (Elaboración propia)

	N	P	K
1	40	0	0
2	10	26	0
3	45	0	0
4	18	46	0

Estos fertilizantes tienen diferentes características. El primero y el tercero de ellos son abonos nitrogenados y los otros dos tienen fósforo, además del nitrógeno; no poseyendo ninguno de ellos potasio.

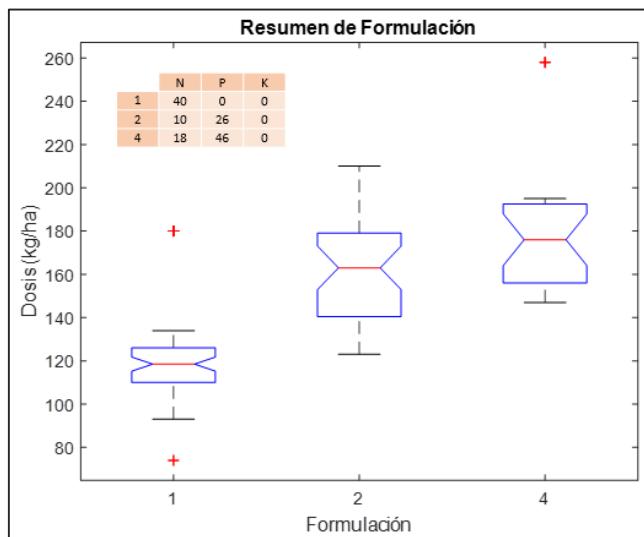


Figura 13. Dosis de fertilización (kg/ha) según la formulación. (Elaboración propia)

En la Figura 13 se puede apreciar dos tendencias claras. La primera de ellas equivale a un abonado de cobertura, se realiza cuando el cultivo está establecido, usando el fertilizante número 1, el cual no posee fósforo y tiene dosis de aproximadamente 120 kg/ha, inferior al resto. En segundo lugar se encuentra el abonado de fondo, que se realiza generalmente antes de la siembra, utilizando los fertilizantes 2 y 4, los cuales poseen fósforo y tienen dosis mucho mayores 160 kg/ha.

Se puede apreciar fácilmente que existen valores que son extremos (representados por cruces rojas en la Figura 13). Éstos son los casos en los que cabría preguntarse si el agricultor está llevando a cabo un buen manejo o incluso comparar los rendimientos de las parcelas que han utilizado dosis más bajas con los rendimientos obtenidos por las parcelas que han recibido el abonado mayoritario.

## 6.8 Caracterización de los tratamientos fitosanitarios

Los datos de los tratamientos fitosanitarios son muy heterogéneos, hay unidades muy diversas (lt/ha, lts/ha, l/Ha, grs/ha, kgrs/ha...), dosis que no poseen unidades y datos erróneos.

Se distinguen dos tipos de productos según el estado físico (sólido y líquido), los más utilizados son de tipo líquido, 64%, frente a un 34% de productos sólidos.

Seguidamente se estudiaron las dosis utilizadas en este tipo de operación. Según el tipo de producto utilizado (líquido o sólido) la dosis de aplicación varía. En los productos líquidos la dosis es muy uniforme y es en torno a 1 l/ha y en los productos sólidos el 50% de las dosis suministradas son de 30 g/ha el resto es superior a este valor (Figura 14, izquierda).

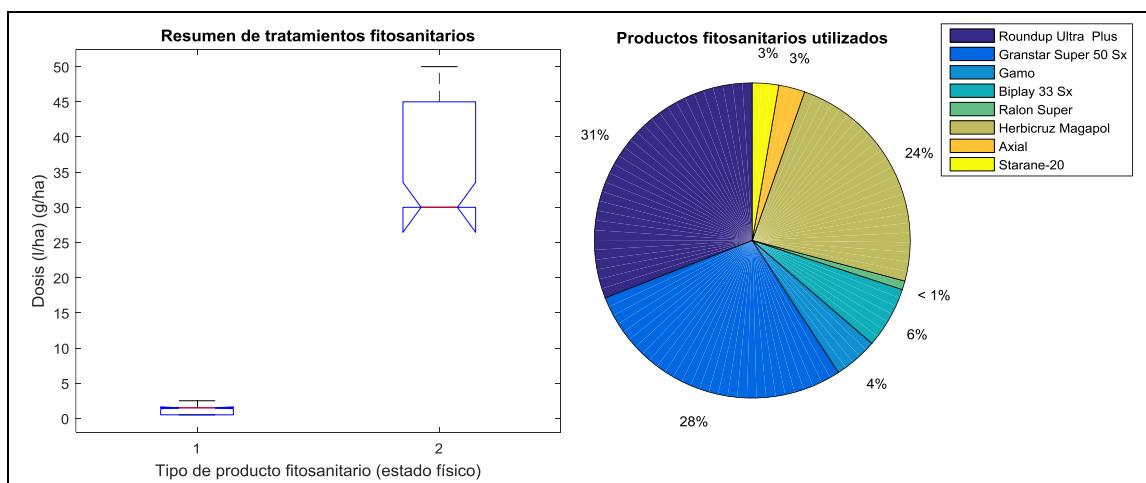


Figura 14. Izquierda: dosis según el estado físico del producto. Siendo el 1 productos líquidos y el 2 productos sólidos. Derecha: tipologías de los productos fitosanitarios utilizados. (Elaboración propia)

A continuación se estudiaron los tipos de productos comerciales empleados en los 223 tratamientos fitosanitarios realizados en las 76 parcelas que cultivan cebada. Todos los productos usados son herbicidas y los más utilizados son el *Roundup Ultra Plus* (31%) y el *Granstar Super 50 Sx* (28%).

Por último, se examinó si había alguna correlación entre el número de tratamientos fitosanitarios y el número de pasos de laboreo. Según el tipo de laboreo llevado a cabo se dan tratamientos muy uniformes. Para el no laboreo (0 pasos) la mayoría de las parcelas son tratadas tres veces, habiendo datos excepcionales (1, 4, 5 e incluso 6 pasos). Mientras que cuando hay 2, 3 y 5 pasos de laboreo sólo se realizan 2 tratamientos. Y por último, cuando se realizan 4 pasos, en la mayoría de los casos no se realiza ningún tratamiento. Recordando que la mayoría de las parcelas tenían un comportamiento de no laboreo (66/76 parcelas, 87 %).

## 6.9 Caracterización de la siembra

Para la operación de la siembra se analizan el método utilizado (siembra directa y siembra convencional) y la dosis aplicada.

Se ha verificado la veracidad del usuario comparando los datos insertados por el mismo en la opción del tipo de siembra y el tipo de laboreo realizado (número de pasos). El resultado obtenido ha sido 68 parcelas con siembra directa (según datos introducidos por el usuario) frente a 66 parcelas, datos obtenidos automáticamente (según la contabilización de las parcelas que han realizado no laboreo). Las parcelas que difieren entre datos manuales y automáticos son dos, en ellas se afirma haber hecho siembra directa pero a la vez se observan cinco pasos de laboreo. Todos los demás datos parecen congruentes.

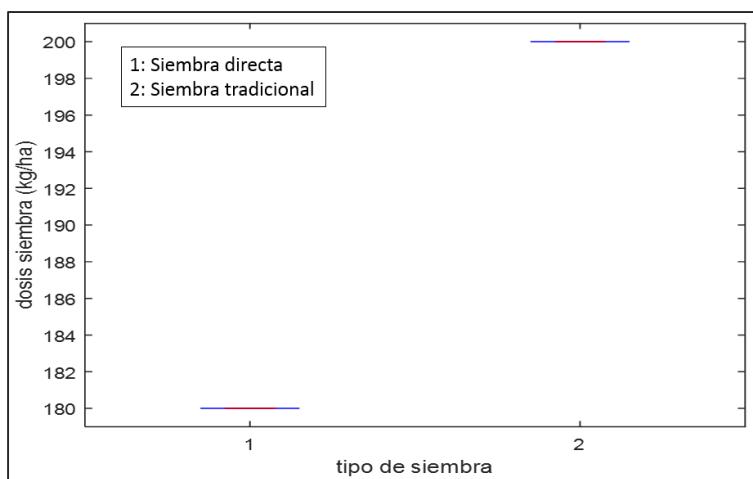


Figura 15. Dosis según el método de siembra. (Elaboración propia)

Se comprueba que según el tipo de siembra realizada, se dan diferentes dosis. Para siembras directas (no laboreo) se suministran 180 kg/ha mientras que para siembras

convencionales (mínimo laboreo o laboreo tradicional) se aplican dosis de 200 kg/ha. Es desconcertante, ya que normalmente para las siembras directas se suelen utilizar dosis más altas para asegurar la germinación en condiciones restrictivas, pero puede ser debido a que las parcelas donde se ha realizado la siembra convencional sean en las que se espera mayores rendimientos.

De este gráfico (Figura 15) también sorprende la poca variabilidad en cuanto a cantidades de semillas sembradas, el 100 % de las parcelas aplica la misma dosis dependiendo de si son siembras directas o convencionales, no existe ninguna variación dependiendo la edafología o la textura del suelo, la pendiente o la presencia de piedras. Éste podría ser un aspecto en el que cabría un margen amplio de mejora.

## 6.10 Calendario

Para terminar este pre-análisis se estudiaron las fechas de realización de cada operación agrícola en cada parcela. Para ello se hizo un calendario de actividades (Figura 16).

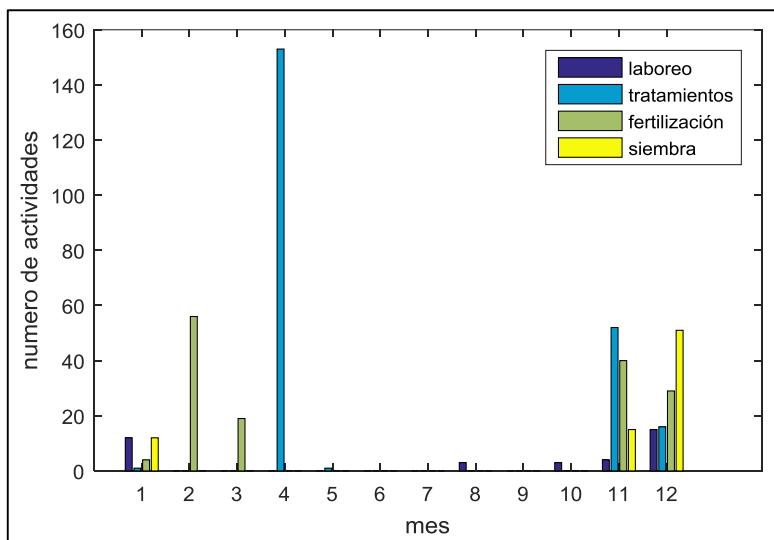


Figura 16. Mes de realización de cada actividad. (Elaboración propia)

La siembra se realiza en los meses de noviembre, diciembre y enero, sobre todo en el segundo. Se aplican abonados presiembra o de fondo (en los mismos meses que la siembra) y abonados postsiembra o de cobertura en los meses de febrero y marzo. Los pasos de laboreo se realizan en los meses previos a la siembra, como es lógico, ya que esta operación se hace para preparar el terreno. Y por último, se puede apreciar que los tratamientos fitosanitarios se aplican también en los meses de noviembre y diciembre; mas la mayoría de estas actividades se hacen en el mes de abril, en el cual se realizan más de 140 operaciones, es decir, aproximadamente 2 operaciones por parcela en este mes.

## 6.11 Conclusión

Después de realizar este pre-análisis se concluye que es necesario realizar una depuración de datos para eliminar datos erróneos. La información proporcionada por los cuadernos de campo es suficiente como punto de partida para el cálculo ACV siempre y cuando se ejecuten las rutinas automáticas de depuración, filtrado y auto-informe de datos que se han elaborado.

# 7 ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA Y DIAGRAMA DE FLUJO

## 7.1 Cultivo patrón: cebada

La cebada (*Hordeum vulgare L.*) es un cereal y como todos ellos cumple una serie de características; es una planta herbácea, monocotiledónea, de ciclo vegetativo anual y perteneciente a la familia de las gramíneas. La superficie que ocupó este cultivo fue casi 2.800.000 ha y tuvo una producción de casi 7.000.000 de toneladas en el año 2014, fue la mayor superficie y producción de los cereales cultivados en España, según datos del MAGRAMA.

Este cultivo se emplea en la alimentación del ganado, tanto en grano como en verde para forraje, pero no se queda ahí su uso, también tiene aplicaciones en la industria, para la fabricación de cerveza, en destilería para la obtención de alcohol, como sustitutivo del café en la preparación de maltas, para la elaboración de azúcares, para preparados de productos alimenticios y la elaboración de harinas para panificación. Además se utiliza para la obtención de biocombustibles.

Tabla 6. Recomendaciones de abonado para el trigo y la cebada (ANFFE, 2010)

Producción (kg/ha)	Abonado de fondo (kg/ha)			Cobertera (kg N/ha)
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	
Hasta 2.000	15-20	30-50	20-30	30-40
2.000-3.000	20-25	45-70	25-45	40-65
3.000-4.000	25-35	60-90	40-65	65-85
Más de 4.000	35-40	80-130	60-90	85-110

En la Tabla 6 se muestran las recomendaciones que hace la Asociación Nacional de Fabricantes de Fertilizantes, comparándola con los datos obtenidos de la explotación en el apartado anterior se observa que los fertilizantes utilizados se encuentran dentro de los rangos recomendados excepto en el caso del potasio, que tienen un contenido nulo de esta unidad fertilizante (Tabla 5).

Los accidentes que pueden presentarse en el cultivo de la cebada son el encamado, el asurado y daños por bajas temperaturas. Entre las plagas destacan los pulgones (*Thopalosiphum padi*, *Sitobion avenae*, *Schizaphis graminum...*), *Lema melanopa*, minador del tallo (*Cephus pygmaeus*), nefasia (*Cnephia plumicana*)... En cuanto a enfermedades de origen fúngico destacan la rincosporiosis, oídio y helminthosporiosis; mientras que de origen vírico destacan el amarilleo enanizante de la cebada y el mosaico estriado de la cebada (Lluch Osca, 2001).

De las malas hierbas que afectan a la cebada destacan el ballico (*Lolium sp.*) y la avena loca o ballueca (*Avena sp.*) las cuales aparecen desde las primeras fases del cultivo; y los cardos, manzanillas y amapolas entre otras, cuya proliferación tiene lugar a la salida del invierno (Lluch Osca, 2001). Por lo que los tratamientos herbicidas son muy frecuentes para tratar estas amenazas.

Esta información bibliográfica se corresponde con los comportamientos seguidos en la explotación, según el pre-análisis de datos realizado.

La cebada se puede emplear como prototipo de cultivo extensivo de secano, y de ahí su empleo en este proyecto, sin menoscabo de extrapolar los procedimientos a otros cultivos.

## 7.2 Análisis de ciclo de vida

### 7.2.1 Objetivos

Se pretende realizar un estudio de ACV para determinar la huella de carbono de la cebada en una explotación que posee 76 parcelas con este cultivo distribuidas en tres municipios (Chinchilla de Monte-Aragón, Valdeganga y Albacete).

La información que se obtenga de este estudio será utilizada con dos propósitos fundamentalmente. Con los resultados de este proyecto la empresa Cropti pretende crear un nuevo módulo en su aplicación web, capaz de calcular automáticamente indicadores ambientales, el primer objetivo viene definido así, por el aumento del valor añadido de sus servicios.

El segundo objetivo de este estudio es que los usuarios de la herramienta tengan más conciencia de los efectos ambientales que tiene el tipo de prácticas que realizan los agricultores en el campo dotando a los usuarios de las herramientas necesarias para poder

tomar decisiones y optimizar su proceso productivo, realizando prácticas agrícolas más sostenibles y económicas y reducir las emisiones innecesarias.

Los resultados de este estudio servirán para realizar un diagrama de flujo y así automatizar el cálculo para obtener el ACV de cualquier cultivo en cualquier parcela y para cualquier manejo que haya realizado el agricultor.

Tendrá acceso a dichos resultados toda la comunidad de la Universidad Politécnica de Madrid y los propietarios de la herramienta de Cropti, quienes podrán utilizar los análisis y resultados aquí expuestos para desarrollar una nueva función para su plataforma digital.

### 7.2.2 Alcance

En el alcance se definen y establecen los siguientes aspectos fundamentales.

#### 7.2.2.1 Sistema del producto

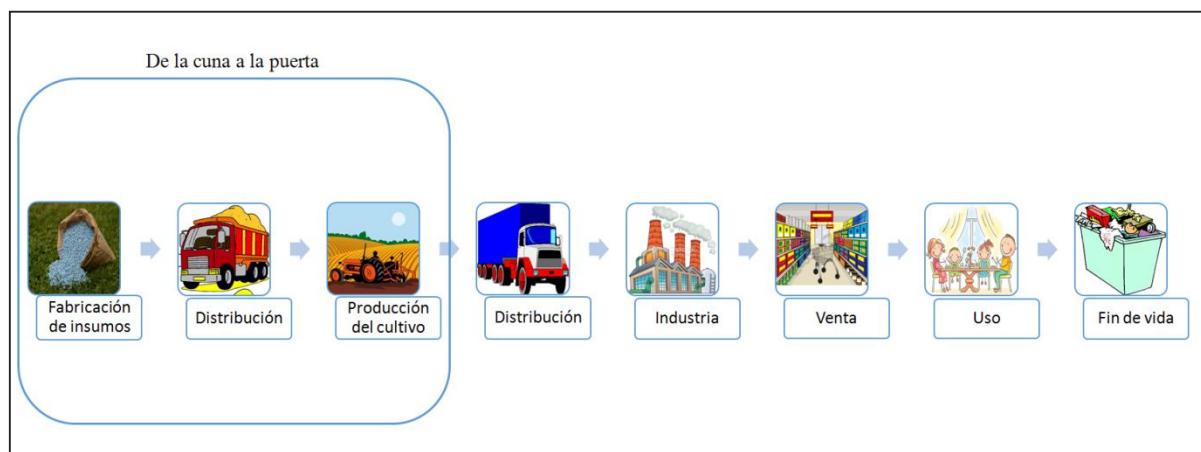


Figura 17. Sistema del producto. (Elaboración propia)

El producto que se va a estudiar es el cultivo de la cebada. El sistema de este producto se ha dividido en ocho etapas teniendo en cuenta la cronología que lleva éste a lo largo de su ciclo de vida (Figura 17).

#### 7.2.2.2 Límites del sistema

El alcance del sistema del producto de este estudio será *de la cuna a la puerta*, es decir, se incluirán tanto los procesos del sistema referentes a la producción del cultivo como los incluidos aguas arriba de ésta, es decir, la fabricación de los insumos (gasóleo, fertilizantes, productos fitosanitarios) y de la maquinaria utilizada y el transporte. En la Figura 18 se representan los procesos que se han considerado para el cálculo de la huella de carbono en cada operación agrícola.

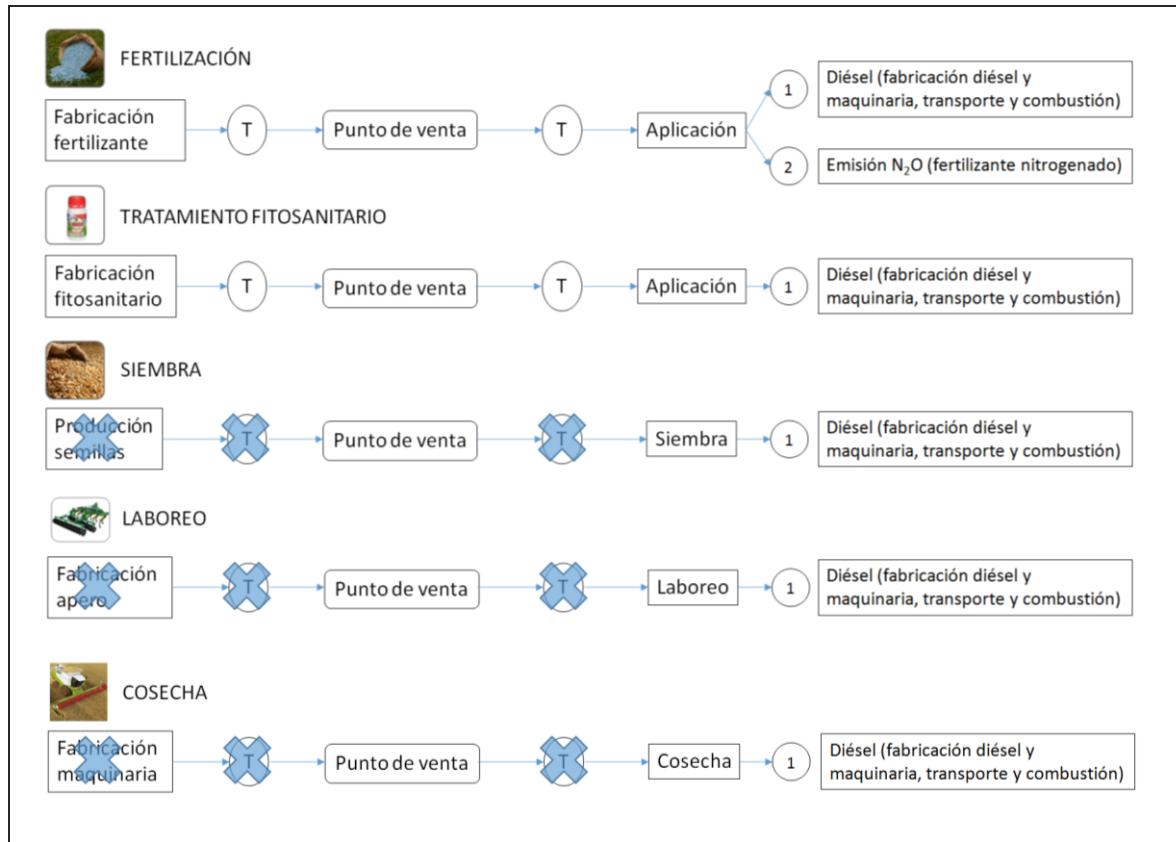


Figura 18. Etapas consideradas para el cálculo ACV. (Elaboración propia)

En la actividad de fertilización están incluidas tanto las emisiones derivadas de la fabricación del insumo, el transporte (desde la fábrica hasta el punto de venta y desde el punto de venta hasta la parcela donde se utilizará) y de la aplicación del fertilizante, ésta última tiene dos fuentes. Por un lado la producción de óxido nitroso por la utilización de fertilizantes nitrogenados y por otro, la utilización del gasóleo para dotar de movimiento a la máquina. En esta última fuente se tienen en cuenta la fabricación del gasóleo, el tractor y las herramientas necesarias para realizar la aplicación, el transporte del combustible y la combustión del mismo para dar potencia al tractor.

En el cálculo del impacto generado por la actividad de aplicación de tratamientos fitosanitarios incluye la fabricación del producto, el transporte (desde la fábrica hasta el punto de venta y desde aquí hasta la parcela donde se utilizará) y el gasóleo, el cual incluye la fabricación del gasóleo, el tractor y las herramientas necesarias para realizar la aplicación, el transporte del combustible y su la combustión.

En el cálculo de la huella de carbono asociadas a las actividades de siembra, cosecha y laboreo tan sólo se tienen en cuenta las emisiones producidas por el gasóleo (que incluye

los mismos procesos que se han definido para la actividad de fertilización y aplicación de fitosanitarios).

#### *7.2.2.3 Función del sistema, unidad funcional y flujo de referencia*

La función principal de la cebada es satisfacer las necesidades alimentarias de las personas y/o animales aportando nutrientes básicos para el desarrollo de un ser vivo.

La unidad funcional que se ha tomado para cuantificar la función identificada del sistema del producto es 1 kilogramo de cultivo recolectado por el agricultor. Es decir 1 kg de granos de cebada.

Y el flujo de referencia por lo tanto, en este caso, coincidirá con la unidad funcional, que es la cantidad necesaria de producto para satisfacer la unidad funcional (1 kg de grano).

#### *7.2.2.4 Procedimiento de asignación*

En el proceso productivo de la cebada se obtienen los granos como producto final; pero también se produce un subproducto que es la paja. Prestando atención al precio de estos dos productos, se ha decidido no realizar asignación ya que, en general, no se recibe remuneración económica a cambio de la paja y no tiene precio de mercado, atribuyendo todas las cargas ambientales del proceso de producción a los granos; podría reconsiderarse en otros estudios.

#### *7.2.2.5 Categorías de impacto y metodología de evaluación de impacto*

El estudio dará como resultado la huella de carbono (potencial de calentamiento global) calculada según la metodología del IPCC 2013 a 100 años. En la tabla 1 del anexo V se enumeran los gases con potencial de calentamiento global y sus factores emisión.

#### *7.2.2.6 Requisitos de calidad de los datos*

Los datos utilizados para realizar este estudio provendrán siempre de dos fuentes: una fuente oficial (bases de datos nacionales, MAGRAMA o similar; o internacionales, Ecoinvent o equivalentes); o datos recogidos de primera mano (datos incorporados por los usuarios de la herramienta). Se exigirá que todos ellos sean procedentes del territorio español y con una antigüedad máxima de 5 años.

Al realizar el pre-análisis de datos (apartado 6 de la Memoria y anexo IV) se ha conseguido descubrir datos erróneos a través de la elaboración de rutinas con filtros para detección de errores, dando así lugar a etiquetados como dato no disponible, por lo que los datos

que se utilizarán para los cálculos sin contar con los datos erróneos, parecen ser consistentes.

La base de datos para recabar valores de huellas de carbono es Ecoinvent. Esta plataforma posee más de 10.300 series de datos de ACV en diferentes sectores. Ecoinvent es una base de datos amplia, transparente e internacional, y por ello se ha elegido como fuente de información (web <http://www.ecoinvent.org/>).

#### 7.2.2.7 *Suposiciones y limitaciones*

Debido a la limitación de tiempo (6 meses para todo el desarrollo de la herramienta software) se ha decidido realizar los cálculos de las emisiones generadas por los productos fitosanitarios considerando un valor genérico de materia activa de un pesticida no específico. Este valor podrá ser sustituido en cualquier momento por otro más adecuado a la materia activa empleada. De hecho se ha elaborado una base de datos que relaciona las materias activas de los productos fitosanitarios con los procesos correspondientes a éstas según Ecoinvent.

La distancia media de transporte para la distribución de insumos desde el punto de venta hasta la parcela donde se utilizan los mismos se ha supuesto un valor arbitrario de 50 km.

En los casos en los que el usuario no haya insertado los datos de productividad alcanzada en cada parcela se le ha atribuido el dato recogido del anuario de estadística del MAGRAMA para el año 2012: un valor medio de 1.130 kg/ha, en el caso de cebada en Albacete (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2012); está previsto que se proceda de manera análoga para cualquier cultivo y zona de producción.

#### 7.2.3 Análisis de inventario de ciclo de vida

En este punto se recogerán los datos de actividad para todas las fases del sistema del producto incluidas en los límites definidos en el alcance con el fin de identificar y cuantificar todos los efectos ambientales adversos asociados a la unidad funcional.

Los datos de actividad detallados en la Tabla 7 están referidos a los productos que se utilizan en el proceso productivo, es decir, el fertilizante para enriquecer de nutrientes el terreno, los productos fitosanitarios para la protección del cultivo contra enfermedades, malas hierbas e insectos y por último, el combustible, utilizado para dotar de movimiento y potencia a las máquinas agrícolas.

Las unidades que se han especificado en la Tabla 7 son las que se han utilizado para realizar los cálculos, es decir, en los casos en los que los datos brutos estaban en otras unidades se ha procedido a realizar un cambio de unidades para homogeneizar todos los datos.

En la etapa en la que se desarrolla la producción del cultivo se han especificado los datos mínimos y máximos que se han localizado en el fichero proporcionado por Cropti de la explotación estudiada, tanto en dosis como en las formulaciones de los fertilizantes. En el caso de los consumos de gasóleo se han fijado los valores adquiridos de la base de datos Ecoinvent. Está previsto que puedan ser sustituidos por datos más apropiados a la explotación en versiones sucesivas, tal y como se refleja en el anexo V.

Tabla 7. Inventario de análisis de ciclo de vida. (Elaboración propia)

Datos de actividad					
Flujo	Transporte		Proceso productivo del cultivo		Unidad
	Cantidad	Unidad	Min	Max	
<b>Fertilizante</b>			74	258	kg/ha
N, como N	50	km	10	45	%
P, como P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>			0	46	
K, como K <sub>2</sub> O			0	0	
<b>Producto fitosanitario</b>					
Sólido	50	km	30	50	g/ha
Líquido			0,5	2,5	l/ha
<b>Gasóleo</b>					
Siembra	50	km	3,82		kg/ha
Laboreo			26,1		
Fertilización			5,29		
Tratamientos fitosanitarios			1,76		
Cosecha			33,3		

#### 7.2.4 Evaluación del impacto de ciclo de vida

En este apartado se realiza la evaluación de los impactos a partir de los datos de inventario recopilados en el punto anterior. En la Tabla 8 se presentan los factores de emisión de los datos de actividad mostrados en la Tabla 7. Estos factores de emisión son el resultado de la clasificación y caracterización de todas las emisiones con efecto sobre el calentamiento global generadas por cada uno de los flujos enumerados durante una determinada etapa. Los factores de emisión se obtienen a partir de procesos genéricos extraídos de Ecoinvent (Ruiz Amador & Zúñiga López, 2012).

Los valores mostrados en la Tabla 8. Evaluación de ciclo de vida han sido recuperados de los archivos de datos de la explotación facilitados por Cropti y de los procesos generados con Ecoinvent, por lo que los números que poseen una alta cantidad de decimales son los estipulados por esta plataforma de ACV.

Tabla 8. Evaluación de ciclo de vida (Elaboración propia)

Datos de actividad					Factores de emisión							
Transporte		Proceso productivo del cultivo			Obtención o fabricación del insumo	Transporte insumo		Proceso productivo del cultivo				
		Cantidad	Unidad	Cantidad		Cantidad	Unidad	Cantidad	Unidad	Flujo	Cantidad	Unidad
Fertilizante				74	kg/ha							
N, como N	50	km	10	45	%	9,9313949	kg CO <sub>2</sub> eq/kg	6,59E-005	kg CO <sub>2</sub> eq/km·kg	Aplicación de fertilizantes nitrogenados	kg N <sub>2</sub> O*265	kg CO <sub>2</sub> eq/ha
P, como P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>			0	46		1,7352733				No aplica		
K, como K <sub>2</sub> O			0	0		0,68188445						
Producto fitosanitario												
Sólido	50	km	30	50	g/ha	10,286448	kg CO <sub>2</sub> eq/kg	6,59E-005	kg CO <sub>2</sub> eq/km·kg	No aplica		
Líquido			0,5	2,5	l/ha							
Gasóleo												
Siembra	50	km	3,82	kg/ha	0,5836786	kg CO <sub>2</sub> eq/kg	6,59E-005	kg CO <sub>2</sub> eq/km·kg	Gases de combustión del gasóleo en maquinaria agrícola	25,027516	kg CO <sub>2</sub> eq/ha	
Laboreo			26,1							73,574135		
Fertilización			5,29							26,412803		
Tratamientos fitosanitarios			1,76							12,37613		
Cosecha			33,3							162,73005		

### 7.2.5 Método de cálculo

El procedimiento de cálculo que se utilizó fue el que está representado en la Figura 19. Se explica en los siguientes apartados, pudiendo consultar cualquier cálculo o descripción en el anexo V.



Figura 19. Método de cálculo de ACV (Elaboración propia)

#### 7.2.5.1 Parámetros

Se definen los parámetros en los que se basarán los cálculos del ACV para los diferentes insumos. Del gasóleo se fijaron los consumos (kg de gasóleo/ha) producidos en cada operación agrícola, estos datos fueron obtenidos generando los procesos a partir de la base de datos Ecoinvent. Se concretan también los productos fitosanitarios utilizados en la explotación estudiada por las parcelas que cultivan la cebada. En este caso son 8 productos diferentes, 2 de ellos son sólidos y los otros 6 son líquidos, y todos ellos son herbicidas. En cuanto al fertilizante se precisa el tipo de unidad fertilizante (N-P-K) que se utilizará para los cálculos. En este caso, se escogieron tres: uno nitrogenado genérico, otro fosfatado cuya unidad fertilizante es el óxido fosfórico ( $P_2O_5$ ) y otro potásico siendo la unidad fertilizante el óxido de potasio ( $K_2O$ ).

Otro parámetro que se recoge en esta sección es la producción de las parcelas. Por un lado se fija la productividad superficial, dato que se utilizará en el caso de que el usuario no haya introducido en la herramienta la cosecha obtenida en cada parcela. En estos casos se

ha considerado una productividad de 1.130 kg/ha, dato medio de la productividad (kg/ha) de la cebada en la provincia de Albacete recogido del anuario de estadística del MAGRAMA para el año 2012. No obstante, si el cliente sí que los ha incluido entonces se hace una lectura de estos datos y se ordenan para cada actividad.

Por último también se define el dato de la tolerancia (indispensable en la identificación de parcelas), referido a la diferencia máxima que se permite entre dos datos que se consideran iguales.

#### 7.2.5.2 *Emisiones unitarias*

En este apartado simplemente se introdujeron las tablas de emisiones unitarias (kg CO<sub>2</sub> eq/kg de flujo) que incluyen todas las posibilidades a utilizar.

En el fertilizante se enumeran las diferentes fuentes de nutrientes que se pueden elegir con sus respectivas emisiones debidas a su fabricación y su transporte desde la fábrica hasta el punto de venta (en los parámetros se especifican cuáles han sido escogidos). Por último en los productos fitosanitarios se precisan las emisiones debidas a la fabricación de las materias activas que forman los diferentes componentes de los productos fitosanitarios. Todos estos datos han sido recogidos de la plataforma Ecoinvent.

También se establece la huella de carbono asociada al transporte en kg de dióxido de carbono por unidad de kg de producto transportado y por km recorrido.

#### 7.2.5.3 *Cálculo de emisiones por actividad*

Para determinar las emisiones por actividad se han realizado diferentes cálculos con los datos primarios (consumo de combustible, productos comerciales y fertilizantes tipo), las emisiones unitarias y las variables generadas en el pre-análisis de datos (Anejo IV). Los diferentes procesos y etapas que se han considerado en el cálculo se muestran en la Figura 18.

Se ha atribuido a cada actividad realizada (486 actividades) el dato de emisiones de gasóleo correspondiente a esa actividad, (incluyen la combustión del gasóleo, su fabricación y su distribución desde la fábrica hasta el lugar de venta junto con las emisiones correspondientes a la utilización y desgaste del tractor, apero e infraestructuras para guardar la maquinaria agrícola), sumándole el impacto generado por el transporte desde el punto de venta del producto hasta la parcela donde se ha utilizado.

Para el fertilizante se ha seguido un procedimiento similar al anterior. Aquí se distinguen tres fuentes de emisión: 1) la fabricación del fertilizante y la distribución hasta el punto de venta; 2) el transporte desde el punto de venta hasta el lugar de utilización y 3) la aplicación de abonos nitrogenados (un incremento del N disponible aumenta las tasas de nitrificación y desnitrificación que, a su vez, incrementan la producción de óxido de nitrógeno ( $N_2O$ ), gas con efecto invernadero).

En cuanto a los productos fitosanitarios se realizó el mismo cálculo para obtener la emisión debida a la fabricación y la distribución del mismo (dosis x emisión unitaria). Para ello se homogeneizaron todas las dosis para tenerlas en las mismas unidades (kg/ha), teniendo en cuenta su magnitud y su estado físico. Como en los casos anteriores se ha calculado también el impacto generado por el transporte desde el punto de venta hasta la parcela donde se utiliza el producto fitosanitario.

Todos los resultados han sido expresados en tres unidades emisiones por unidad superficial, emisiones por unidad de producción, emisiones totales. Y además para cada etapa del proceso productivo (fabricación, utilización, en su caso, y transporte).

#### 7.2.5.4 *Emisiones por parcela*

Para calcular las emisiones que se han generado en cada parcela se han sumado las emisiones producidas en todas y cada una de las actividades realizadas en esa parcela. Así se ha obtenido una variable por cada insumo (gasóleo, fertilizante y producto fitosanitario) con 76 valores que representan las emisiones en esa parcela. De la misma manera que en las emisiones por actividad se han calculado las emisiones por cada kg producido en la parcela.

A continuación se han calculado las emisiones totales en cada parcela sumando las emisiones generadas por cada insumo en una determinada parcela. Por último se han obtenido las emisiones producidas en la explotación entera sumando las emisiones generadas en las 76 parcelas.

#### 7.2.6 Interpretación de los resultados

En este apartado se discuten los resultados más relevantes.

### 7.2.6.1 Emisiones por actividad

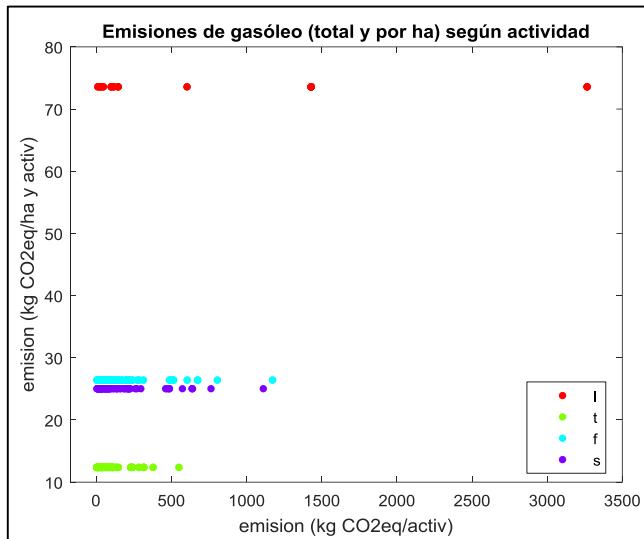


Figura 20. Emisiones del gasóleo por unidad de superficie y totales en cada actividad, según el tipo de operación realizada. I:laboreo, t:tratamientos fitosanitarios, f:fertilización, s:siembra. (Elaboración propia)

El principal factor que influye en las emisiones producidas por el gasóleo es el tipo de actividad realizada, siendo el laboreo la que mayor impacto genera (Figura 20).

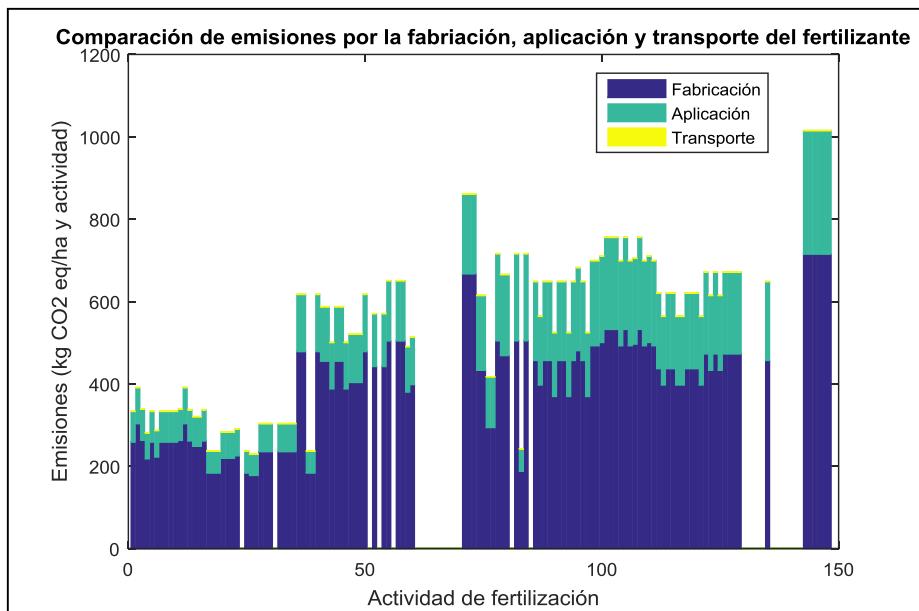


Figura 21. Emisiones del fertilizante debidas a la fabricación, a la aplicación de fertilizantes nitrogenados y al transporte. (Elaboración propia)

En cuanto a los fertilizantes se ha observado que la fabricación es el proceso en el que se producen más emisiones (70-77%), seguida de la producción de óxido nitroso por la degradación en campo de los fertilizantes nitrogenados (22-27%), y por último el transporte, que supone una parte muy pequeña del impacto generado (Figura 21).

Para comentar los factores que afectan al nivel de emisión del fertilizante es recomendable mirar la Figura 22. Del primer gráfico (izquierda) se puede deducir que cuanto menos nitrógeno contiene el fertilizante utilizado, menos emisiones produce la actividad de fertilización, por lo que el fertilizante que menos impacto genera es el 10-26-0 y el que más el 40-0-0, reparando así, en que el fertilizante 45-0-0 no ha sido utilizado ya que tiene un impacto nulo, y debería ser el que más tuviese.

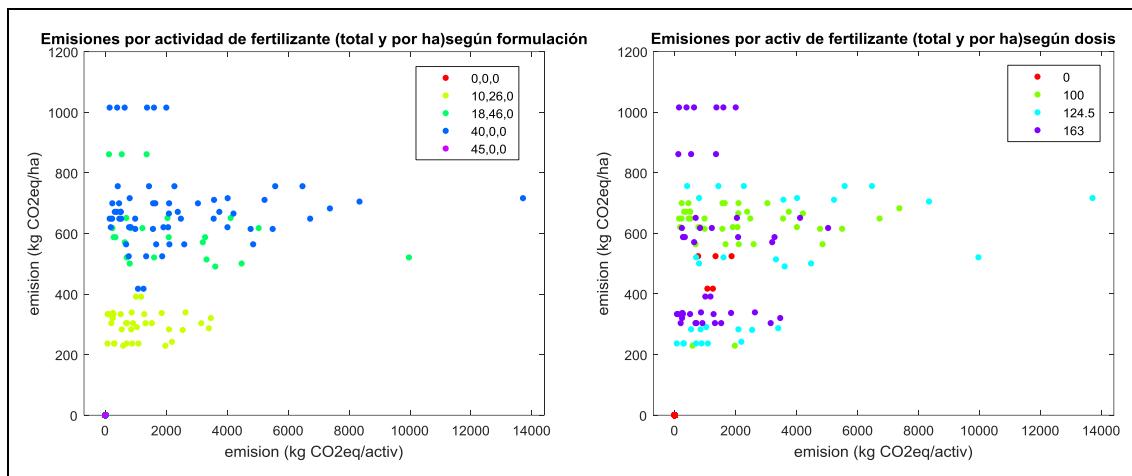


Figura 22. Emisiones del fertilizante por unidad de superficie y totales por actividad. Izquierda: según la formulación del fertilizante, derecha: según la dosis (kg/ha). (Elaboración propia)

El segundo gráfico de la Figura 22 (derecha), representa las emisiones generadas por cada actividad según la dosis de fertilizante, los valores precisados en la leyenda son los cuartiles de las dosis utilizadas (0, 25, 50 y 75) y representan todas las actividades que aplican una dosis mayor o igual a este número. Se puede sacar en claro que a mayor dosis (kg de fertilizante/ha) mayores emisiones se producen, como es lógico. Las emisiones producidas por el fertilizante 10-26-0 están entre los 200 y los 400 kg de CO<sub>2</sub> eq/ha, y se ve que las menores emisiones corresponden a dosis de entre 100 y 124,5 kg/ha y las más altas a dosis mayores de 163 kg/ha.

En cuanto a los productos fitosanitarios se repara en que existe una relación directa entre las emisiones producidas por actividad y el producto utilizado (Figura 23, izquierda). Se observa que los productos que menos emisiones por hectárea producen son los que son aplicados de forma sólida, es decir *Granstar Super 50 Sx* y *Biplay 33 Sx*, mientras que las más altas proceden de los productos *Roundup Ultra Plus* y *Gamo* que están entre 7 y 9 kg de CO<sub>2</sub> eq/ha, respectivamente. En los casos de *Herbicruz Magapol* y *Roundup Ultra Plus* aparecen emisiones diferentes, esto se debe al segundo factor influyente, la dosis aplicada. Este fenómeno está evidenciado en el gráfico de la derecha de la Figura 23.

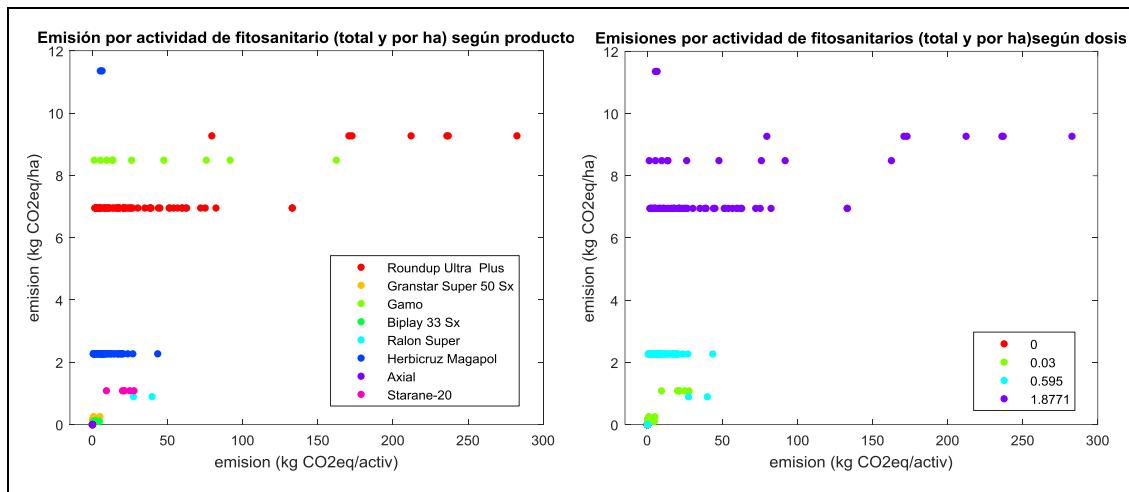


Figura 23. Emisiones del producto fitosanitario por unidad superficial y total según el producto comercial.  
(Elaboración propia)

En los tres insumos se ha constatado que la etapa que menos impacto genera es el transporte de los mismos (0,1-0,5 % de las emisiones).

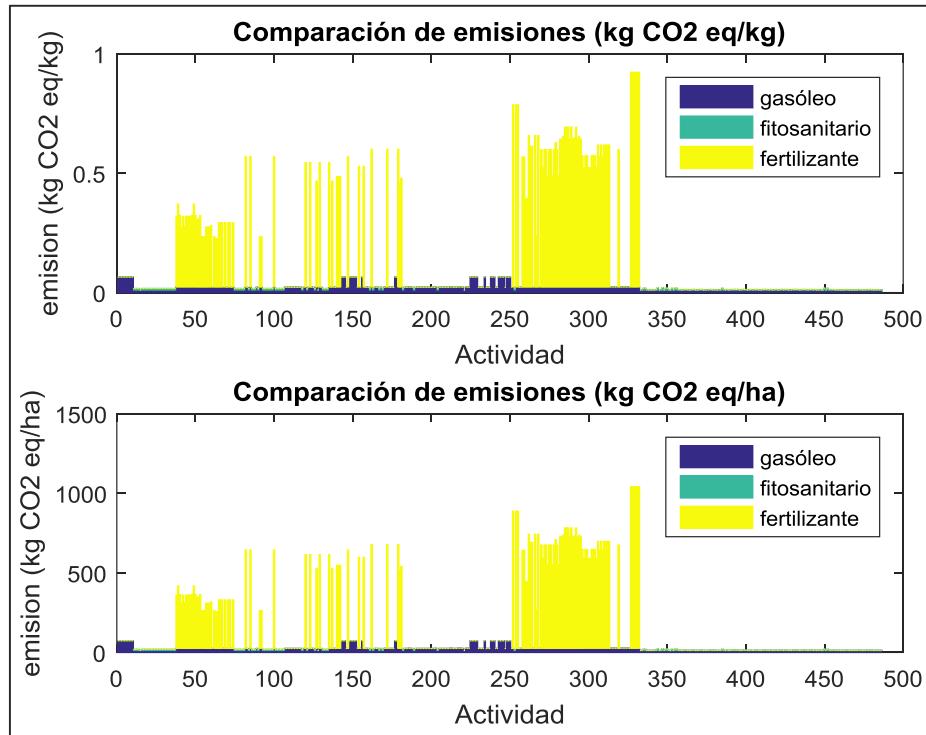


Figura 24. Comparación de emisiones según actividad. Superior: emisiones por unidad superficial, inferior: por unidad de producción. (Elaboración propia).

En la Figura 24 se puede observar que el insumo que más aumenta la huella de carbono generada es el fertilizante, seguida por el gasóleo y por último los productos fitosanitarios, incluyendo en cada uno todos los procesos descritos anteriormente.

#### 7.2.6.2 Emisiones por parcela

De las deducciones del pre-análisis de datos se sabe que en la explotación estudiada hay 76 parcelas que cultivan el cereal de la cebada.

Está claro que las emisiones producidas en una parcela están directamente relacionadas con el número de actividades que se hayan realizado en la misma. El número de pasos de laboreo realizados en cada parcela es el factor que más influye al nivel de emisiones producido por unidad de superficie, después el número de siembras, seguida del número de tratamientos fitosanitarios y por último el número de fertilizaciones. Evidentemente también juegan un papel importante las dosis aplicadas en cada una de las operaciones realizadas.

En los impactos producidos por el fertilizante y el fitosanitario, influyen principalmente el número de fertilizaciones y tratamientos fitosanitarios en la parcela (Figura 25), respectivamente, pero también afectan los factores que se han discutido el apartado anterior como son las dosis y las composiciones de los productos.

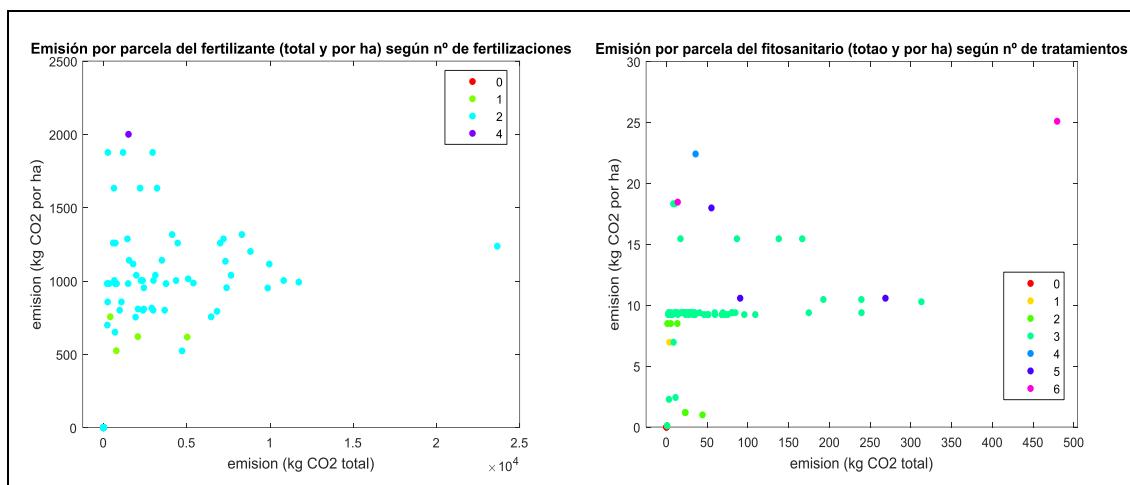


Figura 25. Emisión por ha y total según el número de actividades. Izquierda: fertilizante, derecha producto fitosanitario (Elaboración propia).

Se observa en la Figura 26 que la mayor parte de las emisiones generadas en una parcela, medidas tanto por hectárea como por kg producido, provienen de los fertilizantes (mediana 87,5 %), seguida del gasóleo (mediana 11,24%) y por último del producto fitosanitario (mediana 0,84 %).

Sin embargo, se aprecian ciertas parcelas que tienen unas emisiones bastante más elevadas de gasóleo que las demás, lo cual es debido a la realización de operaciones de laboreo. En cuanto a las emisiones producidas por unidad de producto recolectado (kg CO<sub>2</sub> eq/kg) estos resultados no son muy significativos ya que se ha atribuido un valor medio a todas las parcelas (1.130 kg/ha).

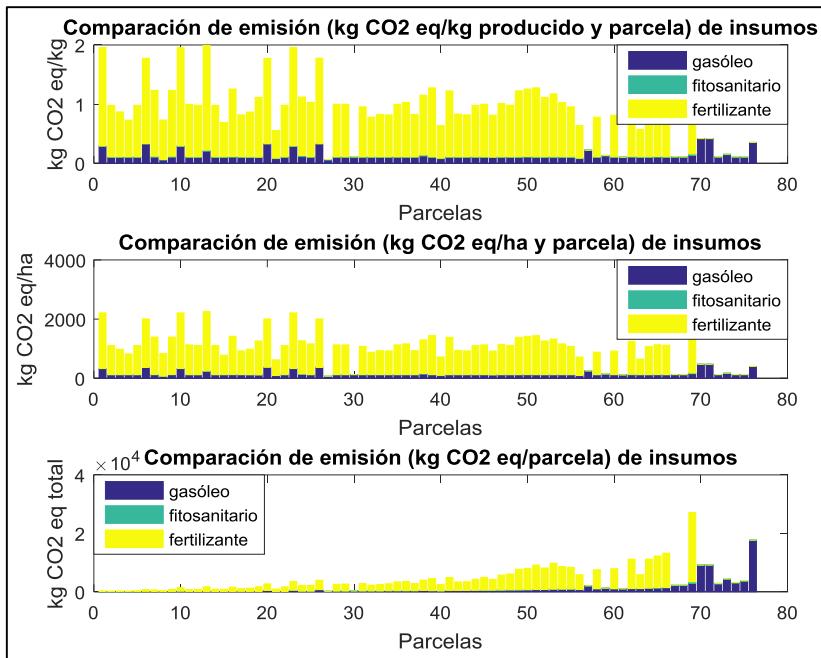


Figura 26. Comparación de emisiones de los insumos por kg producido y por hectárea (Elaboración propia).

Se advierte que la mayoría de las parcelas tienen una gestión bastante eficiente, sin embargo hay otras que tienen un impacto bastante elevado, con las deducciones ya explicadas en cada uno de los apartados anteriores y teniendo en cuenta cuáles son las principales fuentes de emisión, se podrían tomar decisiones para tratar de mejorar la eficiencia en estas parcelas y para reducir las emisiones producidas en cada parcela.

Por último, se determinó el impacto que ha generado la explotación entera, estos valores se encuentran recogidos en la Tabla 9, se dan los datos tanto por unidad de superficie como por unidad de producto cosechado y emisiones totales.

Tabla 9. Resumen de las emisiones totales de toda la explotación con sus respectivas variables y sus valores (Elaboración propia).

Emisiones de la explotación (76 parcelas)					
kg de CO <sub>2</sub> eq/kg		kg de CO <sub>2</sub> eq/ha		kg de CO <sub>2</sub> eq	
Nombre variable	Valor	Nombre variable	Valor	Nombre variable	Valor
exp_kg	3,8062	exp_ha	669,4039	exp	3,2687e+05

#### 7.2.7 Propuestas

Para futuros trabajos o ampliaciones de este mismo se plantean diferentes propuestas. En primer lugar, para que el resultado del ACV sea más ajustado a la realidad, se podría incluir en el cálculo las diferentes materias activas de los componentes de los productos fitosanitarios, es decir, no utilizar para todas las materias activas de los productos un valor

genérico de pesticida no específico sino utilizar los procesos específicos para cada componente; de esta manera sólo se utilizaría el proceso de pesticida no específico cuando no se tuviesen procesos que correspondan a los componentes. En el caso de no poder hacer este cálculos se recomienda diferenciar entre el impacto producido por un herbicida, un insecticida y un fungicida.

Además también se podría tener en cuenta la huella de carbono producida por el proceso productivo realizado para la obtención de las semillas utilizadas para el desarrollo del cultivo patrón, diferenciando si se han obtenido con una producción convencional, integrada o ecológica.

También se podrían introducir los aspectos desarrollados en el anexo III como son los diferentes tipos de conducción (manual o automática) o el tipo de maquinaria que posee el tractor utilizado por el agricultor. Los datos de las emisiones generadas por las diferentes tecnologías de la maquinaria agrícola se recogerían de los ensayos de campo realizados por el grupo de investigación LPF-Tagralia (anejo III, tablas 1, 2 y 3).

#### 7.2.8 Discusión de resultados

Para la validación del método de cálculo utilizado se han comparado los resultados obtenidos con un artículo de investigación que compara las emisiones producidas por cuatro cultivos, entre ellos la cebada, en dos situaciones, llevando a cabo un proceso productivo de laboreo convencional o no laboreo. El artículo se llama *Does the adoption of zero tillage reduce greenhouse gas emissions? An assessment for the grains industry in Australia*, publicado en el año 2011, siendo los autores T.N. Maraseni y G. Cockfield.

Los valores que presentan como finales son los que se muestran en la Tabla 10.

Se puede distinguir que los resultados obtenidos del impacto producido en las parcelas de la explotación son destacablemente mayores en el fertilizante, del orden de 200 veces, mientras que la huella de carbono producida por los productos fitosanitarios es muy inferior. Pero teniendo en cuenta que en los ensayos recogidos por el artículo no se ha llevado a cabo la operación de fertilización y que las emisiones por unidad de materia activa de los agroquímicos tienen una diferencia del 50 % entre los datos utilizados por el artículo y por el presente proyecto, se podría afirmar que los resultados obtenidos en el proyecto están dentro de las magnitudes esperadas, por lo que se puede confirmar que el procedimiento seguido es adecuado y correcto. El procedimiento también permite

evidenciar diferencias de manejo entre Australia y Europa siempre que estén disponibles los datos del CDE.

Tabla 10. Emisiones generadas en una parcela por los diferentes insumos. Blanco: datos correspondientes al artículo (Maraseni & Cockfield, 2011), azul: datos correspondientes al proyecto (Elaboración propia).

Insumo	kg CO <sub>2</sub> eq/ha			
	No laboreo	Laboreo	Mediana <sup>(1)</sup>	Media <sup>(1)</sup>
Gasóleo	83,9	162,5	115,05	149,36
Agroquímicos	126	61,3	9,4	3,36
Fertilizante	4,6 <sup>(2)</sup>	4,6 <sup>(2)</sup>	982,44	865,76
Maquinaria	12,1	23,4	-	-

(1) Se han considerado las medianas y las medias de los valores de las emisiones por ha en cada parcela.

(2) Liberación de NO<sub>2</sub> por actividad del suelo ya que no se realiza fertilización química.

### 7.3 DIAGRAMA DE FLUJO

La Figura 27 representa de forma gráfica el algoritmo desarrollado para calcular el análisis de ciclo de vida de un cultivo en una explotación. Se ha trazado paso a paso el procedimiento que se debe seguir para la visualización de los resultados.

Para empezar se debe seleccionar el fichero donde se encuentren recogidos todos los datos de la explotación que se quiera estudiar. Una vez elegido, es necesario establecer los parámetros antes de ejecutar el pre-análisis. Cuando ya se haya hecho, se deben guardar las variables, siempre y cuando se hayan creado, que más tarde serán utilizadas para el cálculo de la huella de carbono.

A continuación se deben definir los parámetros necesarios para calcular las emisiones de dióxido de carbono equivalente que ha generado la explotación, debiendo introducir el dato de rendimiento productivo, obtenido del anuario de estadística del MAGRAMA, en el caso de que no se haya creado la variable *cosecha* en el pre-análisis de datos junto con otros datos definidos en el anexo V, apartado 2.4.1.

Después se deben ejecutar las rutinas para el cálculo de ACV, debiendo introducir los datos de las emisiones unitarias de los insumos, datos procedentes de la base de datos Ecoinvent. Una vez finalizado este proceso se procederá a la visualización de los resultados mediante gráficos. En el último paso se debe decidir si se quiere realizar un nuevo estudio de huella de carbono de otra explotación, en este caso se seleccionaría el

fichero de ésta y se realizaría de nuevo todo el proceso descrito; en caso contrario el cálculo habría finalizado.

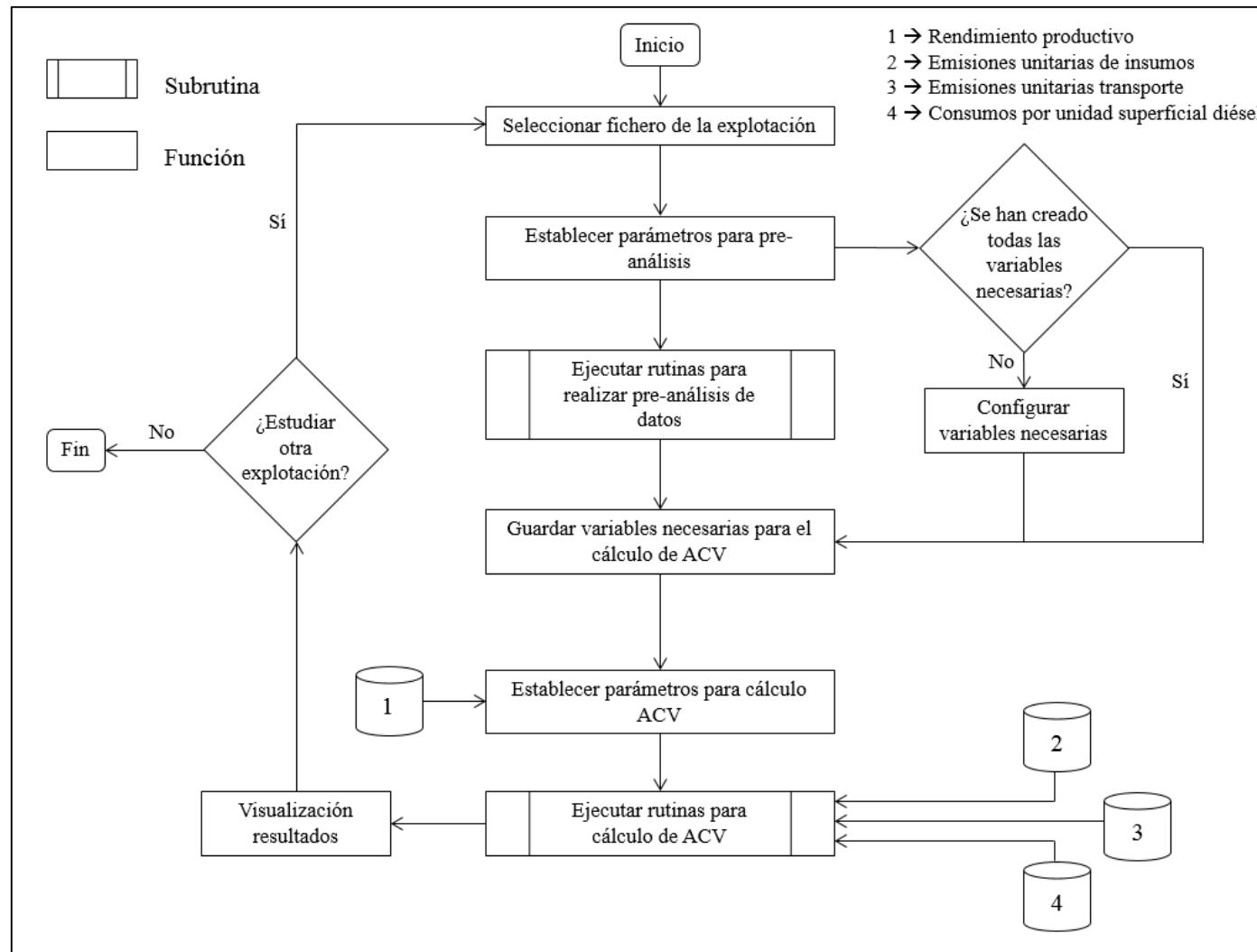


Figura 27. Diagrama de flujo del cálculo de ACV (Elaboración propia)

## 8 PROGRAMACIÓN DE LA EJECUCIÓN Y PUESTA EN MARCHA DEL PROYECTO

Tabla 11. Cronograma del plan de ejecución del proyecto. (Elaboración propia)

PAQUETES DE TRABAJO/TAREAS		AÑO											
		MES											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
PT1	COORDINACIÓN DEL PROYECTO												
PT2	PRE-ANÁLISIS DE DATOS												
PT3	DESARROLLO DE APLICACIÓN ACV												
T3.1	Elaboración de bases de datos												
T3.2	Selección de indicadores ambientales												
T3.3	Definición de objetivos y alcance												
T3.4	Inventario de Ciclo de Vida												
T3.5	Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida												
T3.6	Automatización de cálculos												
T3.7	Interpretación de resultados												
PT3	DESARROLLO DEL DIAGRAMA DE FLUJO												
PT4	IMPLEMENTACIÓN PRÁCTICA DEL ACV												
PT5	ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA HERRAMIENTA INFORMÁTICA												
T5.1	A partir de estadísticas de uso												
T5.2	A partir de nuevos registros												
T5.3	A partir de encuestas												
PT6	REDISEÑO DE LA APLICACIÓN												

## 9 EVALUACIÓN FINANCIERA

### 9.1 Cuadro de flujos de caja

Tabla 12. Tabla de análisis de flujo de caja. (Elaboración propia)

Año	Inversión	Cobros		Pagos	Flujo de caja	
		Caso 1	Caso 2		Caso 1	Caso 2
0	29.795,32					
1		12.846,00	13.823,00	5.200,90	7.645,10	8.622,10
2		13.673,00	15.627,00	5.200,90	8.472,10	10.426,10
3		14.500,00	17.431,00	5.200,90	9.299,10	12.230,10
4		15.327,00	19.235,00	5.200,90	10.126,10	14.034,10
5		16.154,00	21.039,00	5.200,90	10.953,10	15.838,10

### 9.2 Análisis de rentabilidad

Una vez determinado el cuadro de flujos de caja es necesario evaluar la rentabilidad y la viabilidad del proyecto, para ello se ha decidido calcular ciertos parámetros utilizados como criterios de evaluación financiera, estos son: Valor Actual Neto (VAN), Tasa Interna de Rendimiento (TIR), relación Beneficio/Inversión (Q) y el plazo de recuperación (Pay back).

Se han planteado dos casos, según el número de nuevos usuarios que se registran cada año. En el primero, se incorporará un usuario en cada licencia anualmente, mientras que en el segundo, con unas expectativas un poco mejores, se incorporarán 10 usuarios básicos, 5 avanzados y 1 cooperativa cada año.

En la tabla 10 se han recogido todos los resultados obtenidos de los cuatro criterios de evaluación de rentabilidad realizados.

Tabla 13. Resultados de los criterios de evaluación financiera para el caso 1 y 2. (Elaboración propia)

	Caso 1	Caso 2
VAN	12.568,02	25.726,72
TIR	15,81%	26,42%
Q	0,422	0,863
Pay back (años)	4	3

Como puede observarse, en ambos casos la inversión es altamente viable, si bien la rentabilidad tanto absoluta (VAN) como relativa (TIR y Q) es preferible en el caso 2. Se aprecia que el VAN y la relación Beneficio/Inversión son valores positivos y que la TIR es muy superior a la tasa de actualización (0,03); igualmente existe una alta recuperación de la inversión (Q). El pay back es bajo si consideramos que prácticamente iguala a la vida útil del proyecto (5 años).

Los resultados son satisfactorios, destacando que en el segundo caso se obtienen valores más ventajosos.

## **10 PRESUPUESTO**

Se ha estimado que la inversión total que deberá desembolsar el promotor durante el primer año es de 29.405,33 €, mientras que los años sucesivos será de 5.239,96 €.

## 11 BIBLIOGRAFÍA

*aficionadosalamecanica.blogspot.es,*

<http://aficionadosalamecanica.blogspot.com.es/2015/05/sistema-common-rail-de-siemens.html>

Agroasesor.es

Alonso Sebastian, R., & Serrano Bermejo, A. (2000). *Economía de la empresa agroalimentaria.* Ediciones Mundi-Prensa.

Anuario de Estadística Agraria, 2012-2013, Magrama

Arnal Atares, P. V., & Laguna Blanca, A. (1980). *Tractores y motores agrícolas.* Madrid: Mundi-Prensa.

Barreiro Elorza, P., Diezma Iglesias, B., Garrido Izard, M., & Moya Gonzalez, A. (2013). John Deere 6190R Direct Drive, eficiencia y suavidad. *Vida Rural*, (356), 18-26.

Barreiro Elorza, P., Diezma Iglesias, B., Garrido Izard, M., & Moya González, A. (2015). New Holland T8. 350 a exámen, porte y transporte. *Vida rural*, (391), 18-29.

Barreiro Elorza, P., Diezma Iglesias, B., Valero Ubierna, C., Baguena Isiegas, E., Garrido Izard, M., & Zarco, R. (2010). Claas arion 420 CIS, experiencias en campo. *Vida Rural*, (317), 8-15.

Barreiro Elorza, P., Garrido Izard, M., Moya Gonzalez, A., Diezma Iglesias, B., & Valero Ubierna, C. (2014). Same Virtus 120, versatilidad y economía sin complicaciones. *MAQ Vida Rural*, 382, 16-24.

Barreiro Elorza, P., Moya Gonzalez, A., Diezma Iglesias, B., Garrido Izard, M., Moreno Párrizas, H., & Valero Ubierna, C. (2012). Fendt 722 Vario, sutil tecnología para profesionales exigentes. *Vida Rural*, (Extra), 8-18.

Barreiro Elorza, P., Moya Gonzalez, A., Garrido Izard, M., Moreno Párrizas, H., & Valero Ubierna, C. (2011). New Holland T7. 210, tecnología Tier IV para todos los estilos de conducción. *MAQ Vida Rural*, (335), 1-10.

*Demo e-educativa catedu,*

[http://e-educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio//1000/1104/html/5\\_la\\_caja\\_de\\_cambios.html](http://e-educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio//1000/1104/html/5_la_caja_de_cambios.html)

Diezma Iglesias, B., Valero Ubierna, C., Moya Gonzalez, A., & Barreiro Elorza, P. (2015). John Deere 6215R, sobresaliente en el análisis de vibraciones. *Vida Rural*, 396, 18-29.

Diezma Iglesias, B., Valero Ubierna, C., Moya Gonzalez, A., & Garrido Izard, M. (2014). John Deere 7290R, potencia y adaptabilidad a la luz de los leds. *Vida Rural*, (374), 10-19.

*Eco-inteligencia.* <http://www.ecointeligencia.com/>

*Ecosmes. Services for green products.* [www.ecosmes.net](http://www.ecosmes.net)

Entrevista a Eugenio Fernández Arcos y a Álvaro Rodríguez Moya en *El referente. Conectando el ecosistema emprendedor.* (<http://www.elreferente.es/tecnologicos/eugenio-fernandez-emprendedor-fundador-cropti--28259>)

García, M., Navelonga, M., & García Peñalvo, F. J. (2007). Modelos de estimación del software basados en técnicas de aprendizaje automático.

<http://auto.howstuffworks.com>

[http://ec.europa.eu/agriculture/cap-for-our-roots/index\\_es.htm](http://ec.europa.eu/agriculture/cap-for-our-roots/index_es.htm)

<http://es.slideshare.net/techi322/cocomo>

<http://revistamotor.eu/>

<http://www.boe.es>

<http://www.cropti.com>

<http://www.cuadernoexplotacion.es/>

[http://www.fega.es/PwfGcp/es/accesos\\_directos/condicionalidad/index.jsp](http://www.fega.es/PwfGcp/es/accesos_directos/condicionalidad/index.jsp)

<http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/portal/areas-tematicas/agricultura/sanidad-vegetal/productos-fitosanitarios/cuaderno-de-explotacion-rid-1311-2012.html>

<http://www.magrama.gob.es/es/estadistica/temas/publicaciones/anuario-de-estadistica/2013/default.aspx?parte=3&capitulo=13&grupo=1&seccion=3>

<http://www.micuadernodecampo.es/>

IDAE, Instituto para la diversificación y ahorro de la energía (2006). *Ahorro, eficiencia energética y sistemas de laboreo agrícola.*

Informe resumido Agricultura mundial: hacia los años 2015/2030. Depósito de documentos de la FAO

IPCC, I. P. (2014). Quinto Informe de Evaluación.

Karl, H., Linares Anegón, P., Renius, T., & Resch, R. (2006). Transmisiones: en mejora continua. *Agrotécnica. Cuadernos de Agronomía y Tecnología* , 146-152.

Leon Ortiz, J., Moya Gonzalez, A., & Barreiro Elorza, P. (2012). Desafío tier 4: nuevas preguntas, nuevas respuestas. *Agricultura* .

Linares, P. (2001). Como comprender la transmisión. Parte I. *Agrotécnica. Cuadernos de Agronomía y Tecnología* ., 71-78.

Linares, P. (2011). Vuelve el embrague: mecanismos de la caja de cambios. *Agricultura: Revista agropecuaria*, (937), 112-117.

Linares, P. (2006). Transmisiones: en mejora continua. *Agrotécnica*, (2), 146-152.

Linares, P. (2001). Análisis de los distintos componentes que incluye una transmisión. *Agrotécnica*, (2), 59-65.

Linares, P. (2001). Cómo descifrar la información sobre las transmisiones que ofrecen catálogos y manuales de instrucciones. *Agrotécnica*, (3), 77-81.

Maraseni, T. N., & Cockfield, G. (2011). Does the adoption of zero tillage reduce greenhouse gas emissions? An assessment for the grains industry in Australia. *Agricultural Systems*, 104(6), 451-458.

Márquez, L. (2004). Las transmisiones. *Agrotécnica* , 35-41.

Márquez, L. (2012). *Tractores agrícolas: tecnología y utilización*. Madrid: B&H.

Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Obtenido de <http://www.magrama.gob.es/es/>

Moya Gonzalez, A., & Barreiro Elorza, P. (2011). Recortar emisiones en vehículos agrícolas. *Tierras de Castilla y León: Agricultura*, (Extra), 88-94.

Novedades técnicas 2014, Fima, Magrama

OCDE, mejores políticas para una vida mejor.

Perfil de linkedin de Eugenio Fernández Arcos, director y co-fundador de Cropti.com

Redondo, M. A. (1995). Tractor agrícola, las transmisiones. *Agricultura: Revista agropecuaria* (750), 53-57.

Ruiz-Amador, D., & Zúñiga-López, I. (2012). *Análisis de ciclo de vida y huella de carbono*. UNED.

Video de Youtube. Presentación Pittch XI actúaupm 2014 – 114 Cropti

Valero Ubierna, C., Barreiro Elorza, P., Garrido Izard, M., & Diego, P. (2014).

Navegando a bordo de un New Holland T6 AutoCommand. *Vida Rural*, (378), 14-26.

[www.cropti.com](http://www.cropti.com)

[www.directindustry.es](http://www.directindustry.es)

[www.nutsl.com](http://www.nutsl.com)



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS AGRÓNOMOS



**DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN INFORMÁTICA  
PARA EL CÁLCULO DE INDICADORES AMBIENTALES  
(HUELLA DE CARBONO) EN ACTIVIDADES  
AGRÍCOLAS A PARTIR DE LOS CUADERNOS  
DIGITALES DE EXPLOTACIÓN (CDE)**

**ANEJO I**

**ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN  
DE PARTIDA**

Lucía Arrué Gonzalo

Diciembre de 2015

Tutora: Pilar Barreiro Elorza

Cotutor: Diego Ruiz Amador

Promotor: Cropti

# ANEJO I. ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN DE PARTIDA

---

## CONTENIDO

1	ANTECEDENTES.....	5
1.1	Normativos.....	5
1.2	Agronómicos.....	7
1.3	Socioeconómicos .....	8
1.4	Edafológicos .....	9
1.5	Ambientales .....	9
1.6	Climáticos .....	10
2	ÁREA DEL PROYECTO: CONDICIONANTES.....	10
2.1	Condicionantes del promotor.....	10
2.2	Criterios de valor del promotor.....	11
2.3	Política Agrícola Común (PAC) .....	11
2.4	Uso de la tecnología en la agricultura.....	12
2.5	Cambio climático.....	13
3	AGENTES DEL PROYECTO.....	16
4	SITUACIÓN ACTUAL .....	17
4.1	Empresa .....	17
4.2	Herramienta CROPTI .....	17
5	SITUACIÓN FUTURA SIN PROYECTO.....	18
6	ANÁLISIS DAFO.....	19
7	BIBLIOGRAFÍA.....	21

**FIGURAS**

Figura 1. Flujos de las emisiones de efecto invernadero mundiales. (ASNBNK & ECOFYS, 2013) .....	10
Figura 2. Evolución del número de animales de tiro y de tractores desde 1960 (Anuario de estadística agroalimentaria). .....	12
Figura 3. Evolución de la temperatura de la tierra y del océano. (IPCC, 2014).....	13
Figura 4. Evolución del nivel del mar desde 1850. (IPCC, 2014).....	14
Figura 5. Evolución de las concentraciones de los gases de efecto invernadero (CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O) en la atmósfera. (IPCC, 2014).....	14
Figura 6. Distribución del consumo de energía final por subsectores (años 2001-2012). (IDAE, 2012) .....	15
Figura 7. Fuentes de emisión. (IPCC, 2014) .....	15
Figura 8. Esquema de agentes del proyecto. (Elaboración propia) .....	16

**TABLAS**

Tabla 1. Matriz DAFO. (Elaboración propia) .....	20
--	----

# ANEJO I. ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN DE PARTIDA

---

## 1 ANTECEDENTES

Este apartado está dedicado a la descripción de las circunstancias que influyen en el presente proyecto. Están comprendidos los antecedentes normativos, agronómicos, socioeconómicos, edafológicos, ambientales y climáticos.

### 1.1 Normativos

Normativa que afecta de forma directa en el proyecto:

- ✓ Ley 5/2013, de 11 de junio, por la que se modifican la Ley 16/2002, de 1 de julio de prevención y control integrados de la contaminación y la Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados.
- ✓ Ley 11/2012, de 19 de diciembre, de medidas urgentes en materia de medio ambiente.
- ✓ Real Decreto 1311/2012, de 14 de septiembre, por el que se establece el marco de actuación para conseguir un uso sostenible de los fitosanitarios.
- ✓ Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados.
- ✓ Real Decreto 486/2009, de 3 de abril, por el que se establecen los requisitos legales de gestión y buenas condiciones agrarias y medioambientales que deben cumplir los agricultores que reciban pagos directos en el marco de la política agrícola común, los beneficiarios de determinadas ayudas de desarrollo rural, y los agricultores que reciban ayudas en virtud de los programas de apoyo a la reestructuración y reconversión y a la prima por arranque del viñedo.
- ✓ Directiva 2009/128/CE del Parlamento europeo y del Consejo, de 21 de octubre de 2009, por la que se establece el marco de actuación comunitaria para conseguir un uso sostenible de los plaguicidas.
- ✓ Real Decreto 1612/2008, de 3 de octubre, sobre aplicación de los pagos directos a la agricultura y ganadería.
- ✓ Norma PAS 2050:2008. Verificación de la Huella de Carbono

- ✓ Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera.
- ✓ ORDEN APA/326/2007, de 9 de febrero, por la que se establecen las obligaciones de los titulares de explotaciones agrícolas y forestales en materia de registro de la información sobre el uso de productos fitosanitarios.
- ✓ Real Decreto 9/2005, de 14 de enero, por el que se establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados.
- ✓ Real Decreto 2352/2004, de 23 de diciembre, sobre la aplicación de la condicionalidad en relación con las ayudas directas en el marco de la política agrícola común.
- ✓ Real Decreto 261/1996, de 16 de febrero, sobre protección de las aguas contra la contaminación producida por los nitratos procedentes de fuentes agrarias.

El conjunto de normas que regula la aplicación de la metodología del ACV fue preparado por el Comité Técnico ISO/TC 207, Gestión ambiental, Subcomité SC 5, Análisis de Ciclo de Vida. Dicho comité ha generado las siguientes normas:

- ✓ ISO/TS 14067:2013 Huella de carbono de productos. Requisitos y directrices para la cuantificación y comunicación.
- ✓ ISO 14040:2006 Gestión ambiental. Evaluación del ciclo de vida. Principios y marco.
- ✓ ISO 14044:2006 Gestión ambiental. Evaluación del ciclo de vida. Requisitos y directrices.
- ✓ ISO/TR 14047/2003 Gestión ambiental. Evaluación del impacto del ciclo de vida. Ejemplos de la aplicación de la norma ISO 14042.
- ✓ ISO/TR 14048:2002 Gestión ambiental. Análisis de ciclo de vida. Formato de documentación de datos.
- ✓ ISO/TR 14049:2000 Gestión ambiental. Análisis de ciclo de vida. Ejemplos de aplicación de la ISO 14041 para la definición de objetivo y alcance y el análisis de inventario.

Normativa que afecta de forma indirecta en el proyecto:

- ✓ Ley 27/2013, de 27 de diciembre, de racionalización y sostenibilidad de la Administración Local.
- ✓ Reglamento (UE) nº 1305/2013 del parlamento europeo y del consejo, de 17 de diciembre de 2013, relativo a la ayuda al desarrollo rural a través del Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo rural (Feader) publicado por el Diario Oficial de la Unión Europea.
- ✓ Ley Grenelle I y II, du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement.
- ✓ Real Decreto 2128/2004, de 29 de octubre, por el que se regula el SIGPAC.
- ✓ Real Decreto 329/2002, de 5 de abril, por el que se aprueba el Plan Nacional de Regadíos.
- ✓ Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas.
- ✓ Real Decreto 1910/1990, de 29 de octubre, sobre utilización de los lodos de depuración en el sector agrarios.
- ✓ Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Régimen del Dominio Público Hidráulico.
- ✓ Decisión del Consejo, de 24 de junio de 1982, por la que se establece un intercambio recíproco de informaciones y de datos procedentes de las redes y de las estaciones aisladas que miden la contaminación atmosférica en los Estados miembros. DOUE-L-1982-80275

## 1.2 Agronómicos

- ✓ Censo agrario 2009 elaborado por el Instituto Nacional de Estadística (INE)
- ✓ Visor SIGPAC. Sistema de Información Geográfica de Parcelas Agrícolas.
- ✓ Visor SIGA. Sistema de Información Geográfico Agrario.
- ✓ Visor SAIH. Sistema Automático de Información Hidrológica.
- ✓ Visor Geográfico del SIA. Sistema Integrado de Información del Agua.

- ✓ Datos del consumo de combustible en las diferentes actividades agrícolas, estudio realizado en el año 2006 por el Instituto Nacional de Estadística.
- ✓ Datos de producción, superficie y rendimiento de los diferentes cultivos en España, del 2009-2014 según cultivo, del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- ✓ Estadísticas de maquinaria agrícola, 2014, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA).
- ✓ Renta agraria del año 2014 elaborada y redactada por la Subdirección General de Estadística.
- ✓ Encuesta sobre métodos de producción en las explotaciones agrícolas, año 2009, INE.
- ✓ Encuesta sobre el uso de Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) y comercio electrónico en las empresas, año 2014-2015, INE.
- ✓ Encuesta sobre equipamiento y uso de TIC en los hogares, año 2014, INE.
- ✓ Planes de desarrollo rural por Comunidades Autónomas. Coordinadora de organizaciones de Agricultores y Ganaderos (COAG).
- ✓ Mapas (temáticos, topográficos, ortofotografías...) y visores de la Infraestructura de Datos Espaciales de España.
- ✓ Cartografía geológica y cartografía topográfica del Sistema de Consulta y Difusión web de Cartografía geológica continua (SIGECO).

### 1.3 Socioeconómicos

- ✓ PAC. Política Agrícola Común de la Unión Europea
- ✓ Datos de población, salarios y mercado de trabajo del 2015 obtenidos por el Instituto Nacional de Estadística.
- ✓ Datos demográficos recogidos en el Censo Agrario de 2009.
- ✓ Tasa de desempleo actualizado en febrero de 2015 por Eurostat.

## 1.4 Edafológicos

- ✓ Mapa de los tipos de suelos de España, según la clasificación de la FAO, ArcGIS.
- ✓ Mapas edafológicos de European Soil Portal – Soil Data and Information Systems

## 1.5 Ambientales

- ✓ Datos de emisiones de gases de efecto invernadero, de óxidos de sulfuro, de nitrógeno de amoniaco y de compuestos orgánicos volátiles excepto el metano producidos por la agricultura en España actualizados hasta el 2013, fuente Oficina Europea de Estadística, Eurostat.
- ✓ Estadística sobre recogida y tratamiento de residuos, año 2012, INE.
- ✓ Estadística sobre generación de residuos, año 2012, INE.
- ✓ Encuesta sobre las actividades de protección medioambiental, año 2013, INE.
- ✓ Cuenta de emisiones a la atmósfera, año 2012, INE.
- ✓ Cuenta de impuestos ambientales, años 2012, INE.
- ✓ Suministro de agua y tratamiento de las aguas residuales. Producción total por actividades económicas (CNAE-2009), periodo y producto. Años 2008-2010, INE.
- ✓ Usos del agua suministrada y tratamiento de las aguas residuales. Total usos por actividades económicas (CNAE-2009), periodo y producto (CPA-2008). Años 2008-2010.
- ✓ Captación de agua del medio ambiente por actividades económicas (CNAE-2009), periodo, tipo de fuente y usos. Años 2008-2010, INE.
- ✓ Retorno de agua al medio ambiente por actividades económicas (CNAE-2009), periodo y tipo de retornos. Años 2008-2010, INE.
- ✓ Informe de seguimiento de la Comunicación sobre la escasez de agua y la sequía en la Unión Europea COM (2007) 414 final.
- ✓ El Protocolo de Kioto.

- ✓ Protocolo de Gases de Efecto Invernadero. Estándares globales para la medida, contabilidad e informe para empresas aceptados internacionalmente.

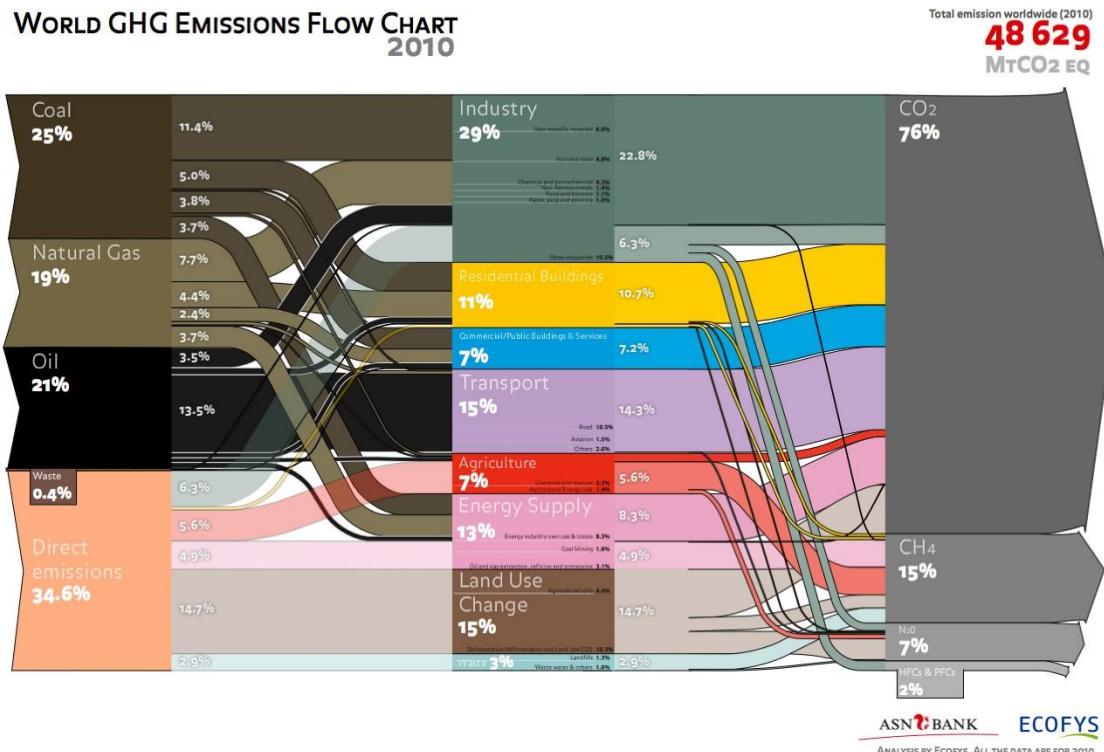


Figura 1. Flujos de las emisiones de efecto invernadero mundiales. (ASNBANK & ECOFYS, 2013)

## 1.6 Climáticos

- ✓ Información climatológica obtenida de la red de estaciones meteorológicas de la Agencia Estatal de Meteorología

# 2 ÁREA DEL PROYECTO: CONDICIONANTES

## 2.1 Condicionantes del promotor

Los requisitos que exige Cropti son los siguientes:

- ✓ Diseño de un algoritmo que sea capaz de calcular automáticamente la huella de carbono de un cultivo teniendo en cuenta las operaciones agrícolas llevadas a cabo para producirlo.
- ✓ Creación de una herramienta que no entorpezca el resto de servicios que ofrece la empresa.
- ✓ Finalizar el desarrollo del software dentro del plazo acordado (6 meses).

- ✓ Optimizar al máximo la utilización de recursos materiales y de personal para reducir al mínimo el coste de la aplicación.
- ✓ Hacer la herramienta de tal manera que el cálculo sea posible para diferentes cultivos, diferentes localizaciones de parcelas y diferentes manejos de cultivos (riego, mecanización, insumos).

## 2.2 Criterios de valor del promotor

El promotor requiere que la herramienta:

- ✓ Sea fácil de usar.
- ✓ Requiera un mínimo de espacio virtual y capacidad de procesado para no disminuir la velocidad de la aplicación.
- ✓ Se ajuste al diseño del resto de la aplicación.

## 2.3 Política Agrícola Común (PAC)

La actividad agraria puede incidir de manera favorable y decisiva en el mantenimiento de los hábitats de nuestras comarcas, su flora, su fauna y sus paisajes característicos. La correcta utilización de los fertilizantes y los productos fitosanitarios y la buena práctica agraria permiten la obtención de productos de calidad, el ahorro de las explotaciones en sus inversiones en insumos, y particularmente, evitar consecuencias negativas para el conjunto de la sociedad por el deterioro de recursos tan importantes y escasos como son los suelos y el agua.

La trazabilidad de los productos, tanto agrícolas como ganaderos, a lo largo de toda la cadena alimentaria constituye una garantía para los consumidores. Las ayudas previstas en la PAC remuneran estas funciones. Compensan las rentas de los agricultores y ganaderos por practicar formas de producción que nos permitirán mantener nuestro patrimonio natural y traspasárselo a las futuras generaciones y consumir alimentos seguros (Página web del Fondo Español de la Garantía Agraria).

Los objetivos principales de estas ayudas son: (Comisión Europea, agricultura y desarrollo rural)

- ✓ Garantizar un suministro seguro de alimentos de calidad a precios asequibles para más de 500 millones de europeos.

- ✓ Ayudar a combatir el cambio climático y preservar nuestros recursos naturales.
- ✓ Conservar la diversidad y vitalidad de la agricultura europea.

Estos pagos están condicionados al cumplimiento de requisitos que tienen por objeto fomentar la calidad y mejorar la comercialización de la producción, esencialmente con el fin de que cubran la demanda específica solicitada por el mercado, el aprovechamiento de las condiciones adecuadas de determinadas zonas, la conservación de razas ganaderas autóctonas y la mejora del medio ambiente. (Real Decreto 1612/2008, de 3 de octubre, sobre aplicación de los pagos directos a la agricultura y ganadería).

Entre algunos de los requisitos que se imponen para obtener esta ayuda económica consta la entrega de un cuaderno de explotación que esté al día y en el que aparezcan registradas detalladamente las operaciones agrícolas llevadas a cabo, así como las dosis, fechas y superficies entre otros.

## 2.4 Uso de la tecnología en la agricultura

Es desorbitada la evolución que ha vivido la agricultura en los últimos 70 años, desde la utilización de animales de tiro hasta los tractores de última generación con autoguiado.

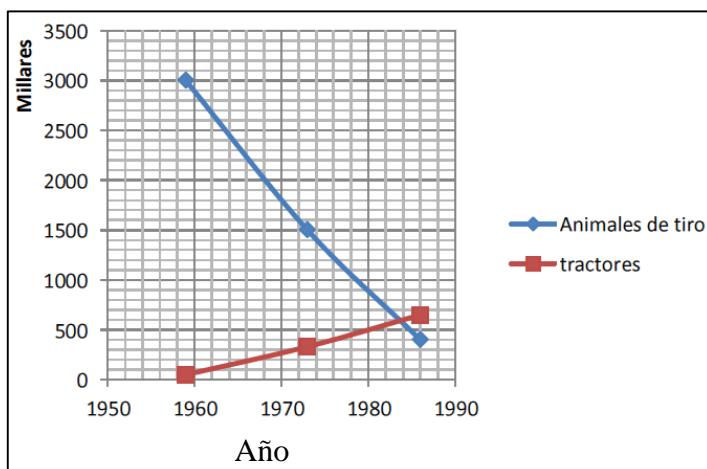


Figura 2. Evolución del número de animales de tiro y de tractores desde 1960 (Anuario de estadística agroalimentaria).

Actualmente parece imposible plantearse la agricultura sin el uso de las nuevas tecnologías. El riego automatizado y el uso del sistema de posicionamiento global (GPS) para realizar las labores forman parte de la cotidaneidad. Afortunadamente en este sector la inversión que se hace en la investigación es considerable y cada año

podemos ver numerosas novedades tecnológicas que mejoran la calidad del trabajo y la eficiencia de las maquinas.

Por ejemplo las innovaciones de los últimos tiempos se centran en el diseño de motores con sistemas para reducción de las emisiones de gases de escape, también se ofrecen soluciones de cajas CVT (continuas sin escalones) a la vez que se automatizan trasmisiones con cambios en carga para altas potencias.

Otro caso que nos muestra la utilización de la tecnología en el ámbito agrario son los nuevos sistemas de información geográfica (SIG) capaces de almacenar y reproducir datos con localizaciones exactas en la superficie terrestre, poseen bases de datos hídricos, topográficos, geológicos, de vegetación, de áreas protegidas y de las redes viarias entre otros; todos estos datos pueden ser visualizados de forma gráfica y conjuntamente.

Todas estas herramientas se han convertido en equipos y materiales de trabajo imprescindibles en el día a día de, no sólo los agricultores, sino todas las personas dedicadas al estudio y desarrollo de la agricultura.

## 2.5 Cambio climático

El aumento de la temperatura del océano y de la atmósfera, la disminución de la cantidad de nieve y hielo, el incremento del nivel de agua de los océanos y el progresivo crecimiento de las concentraciones de los gases de efecto invernadero son algunos de los efectos producidos por el cambio climático. La existencia del calentamiento global es un hecho indiscutible teniendo en cuenta que algunos de los fenómenos meteorológicos observados desde 1950 no tienen precedentes (IPCC, 2014).

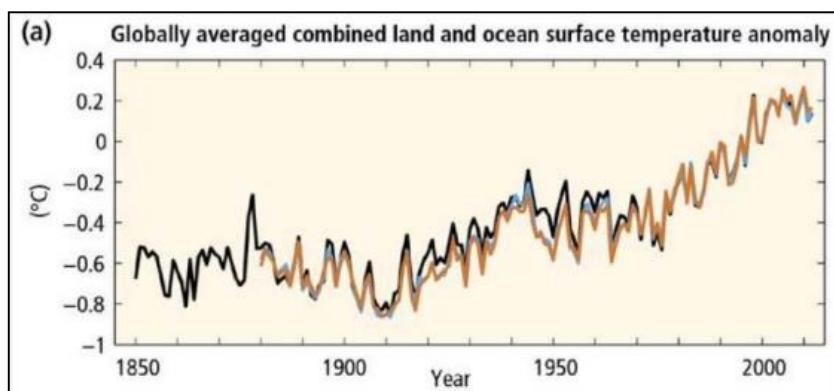


Figura 3. Evolución de la temperatura de la tierra y del océano. (IPCC, 2014)

La intervención del ser humano en estos fenómenos es incuestionable y se sabe que las emisiones de gases de efecto invernadero producidas por éste han sido las más altas de la historia (IPCC, 2014).

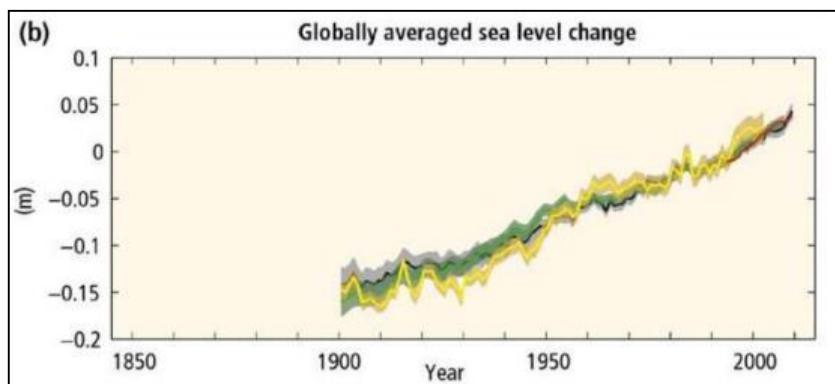


Figura 4. Evolución del nivel del mar desde 1850. (IPCC, 2014)

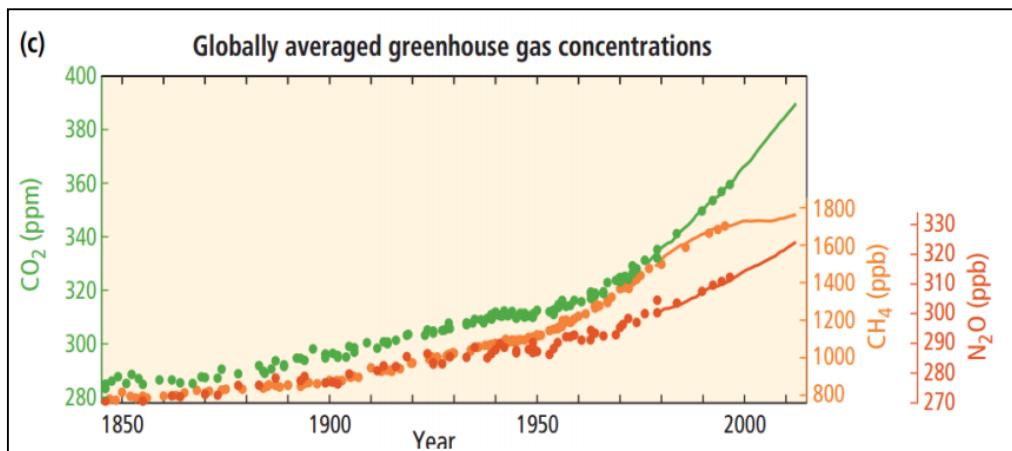


Figura 5. Evolución de las concentraciones de los gases de efecto invernadero (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) en la atmósfera. (IPCC, 2014)

Los consumos de energía del sector agrario suponen del orden del 4,5% sobre el total de los consumos de energía final. A pesar de la tendencia histórica, es previsible un incremento del consumo de energía total en las técnicas de laboreo agrícola, y por el aumento de las superficies de regadío. Dentro del sector agrario la maquinaria junto con los regadíos suponen cerca del 70 % del consumo energético. Es cierto que en España el uso de tractores antiguos se extiende por todo el territorio, aquí se abre la posibilidad de ahorro por la modernización de las flotas agrícolas y también por el cambio de los sistemas de riego por aspersión a riego localizado. (IDAE, 2012)

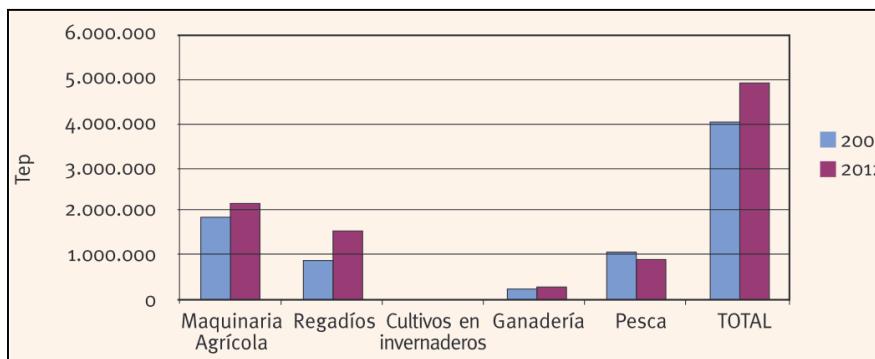


Figura 6. Distribución del consumo de energía final por subsectores (años 2001-2012). (IDAE, 2012)

Las emisiones de gases de efecto invernadero originadas por el sistema productivo pueden ser diferenciadas según el sector, en esta clasificación la agricultura aparece en el segundo puesto con un 24% del total. Esto quiere decir que hay un margen de mejora enorme, como ya se ha comentado.

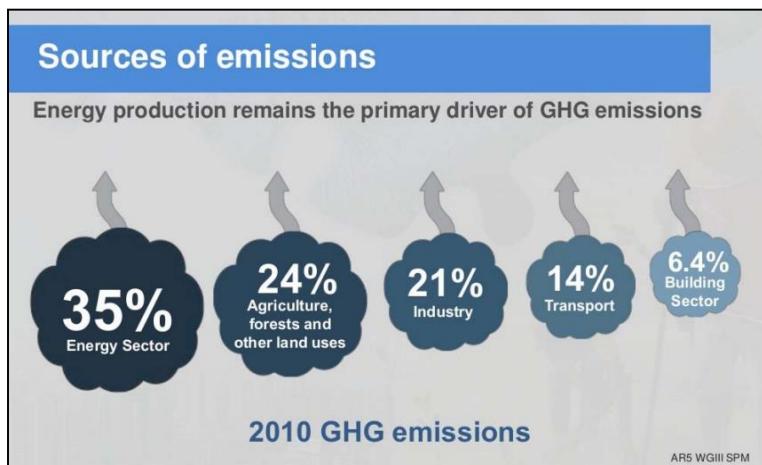


Figura 7. Fuentes de emisión. (IPCC, 2014)

Afortunadamente la sociedad está cada vez más sensibilizada con los problemas medioambientales existentes y en particular con el cambio climático. En el caso de la agricultura se están planteando medidas para mejorar la eficiencia energética e hídrica y el consumo de combustibles a través de la integración de tecnologías y por otro lado simultáneamente se están llevando a cabo medidas para restringir la utilización de fitosanitarios y fertilizantes dañinos para el suelo.

Un concepto que se escucha en la actualidad y en particular dentro de la industria agroalimentaria es la huella de carbono. La huella de carbono es una ecoetiqueta utilizada para describir el cálculo de las emisiones de todos los gases de efecto invernadero asociados directa o indirectamente, a una organización, evento, servicio o producto con el fin de determinar su contribución al cambio climático. Es un indicador

de impacto ambiental obtenido a partir de un estudio de análisis de ciclo de vida centrando por entero la atención en la contribución al calentamiento global. (Ruiz-Amador & Zúñiga-López, 2012).

### 3 AGENTES DEL PROYECTO

En la figura 8 se muestra un esquema de los agentes que integran el proyecto. En primer lugar la entidad promotora del proyecto es la empresa Cropti. El proyectista es quien realiza el proyecto y en este caso es Lucía Arrué, estudiante del grado de ingeniería y ciencia agronómica. Existen colaboradores como es la asociación agraria de jóvenes agricultores. Figuran tres contratistas que son Digo Ruiz, doctor en ciencias materiales e ingeniería, Guillermo San Miguel, doctor en ingeniería civil y ambiental, y Pilar Barreiro, catedrática de la UPM. Por otro lado el ejecutor del proyecto serán diferentes trabajadores, dedicados al ámbito informático, contratados por el promotor que implementarán el software. Por último, los beneficiarios de este proyecto serán los agricultores, cooperativas y asesores que utilicen la herramienta web.

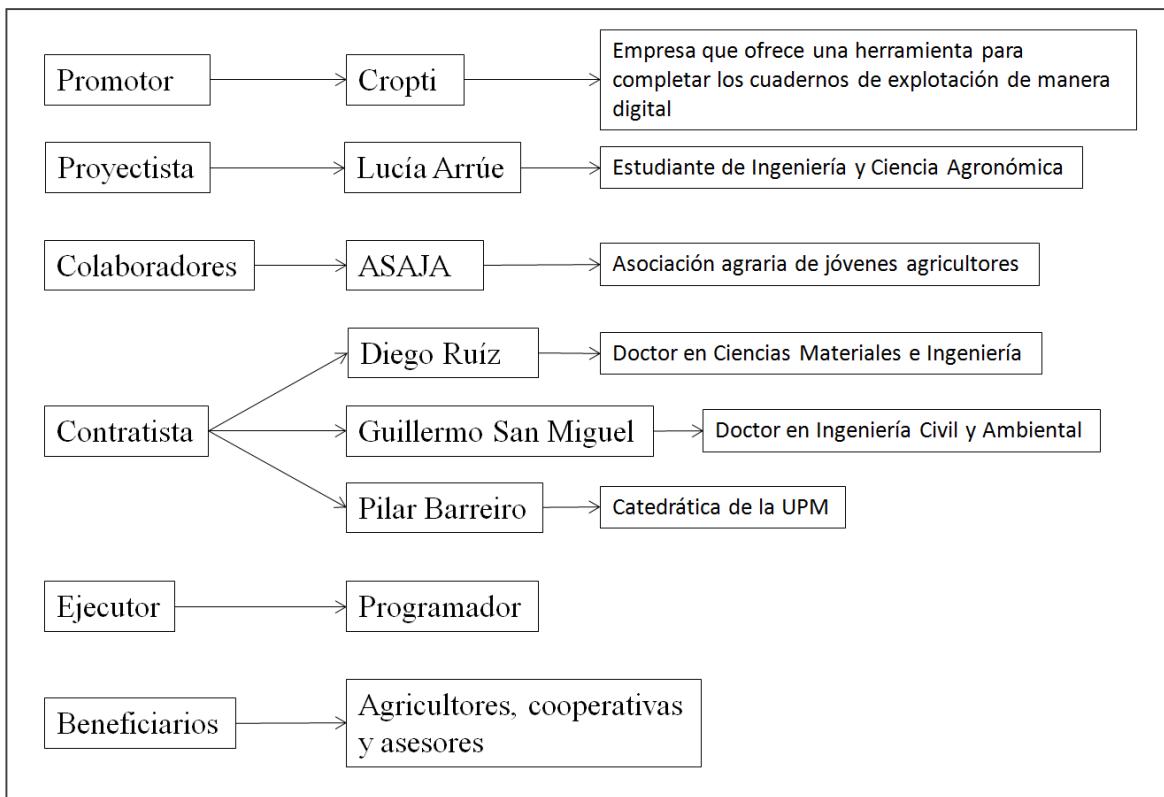


Figura 8. Esquema de agentes del proyecto. (Elaboración propia)

## 4 SITUACIÓN ACTUAL

### 4.1 Empresa

La empresa CROPTI surgió en enero de 2014 con el lanzamiento de una aplicación web y móvil que permite a los agricultores y a sus asesores cumplimentar el cuaderno de explotación.

En el año 2013, el proyecto fue ganador del concurso “Proyecto empresarial ICADE” del Club Empresarial ICADE de la Universidad Pontificia de Comillas. Además obtuvo también el cuarto premio de la XI Competición de creación de empresas ActuaUPM. Gracias a ello y a la aportación de los socios fundadores la empresa ha salido adelante y ha llegado hasta donde está ahora.

Actualmente la empresa da servicios tanto a asesores agrícolas como a distribuidoras de casas de fitosanitarios, cooperativas y usuarios individuales, en un número superior al millar.

### 4.2 Herramienta CROPTI

Cropti es una aplicación web y móvil que ayuda a los agricultores y a sus asesores a cumplimentar el cuaderno de explotación. Esta herramienta se hace recomendable ya que documentar la trazabilidad de cada producto es obligatorio para percibir las ayudas de la Política Agrícola Común, las cuales suponen hasta el 60% de la renta de los agricultores.

Además de este servicio, incluye información sobre predicción meteorológica, sobre los productos fitosanitarios permitidos por la legislación (Vademécum) y también propone recomendaciones para mejorar la productividad y reducir costes; alerta contra plagas, e indica el momento adecuado para aplicar un tratamiento basado en las condiciones meteorológicas y ambientales.

Los servicios que ofrece la aplicación son:

- ✓ Cuaderno de campo digital.
- ✓ Exportación del cuaderno de campo en PDF conforme al modelo del ministerio.
- ✓ Acceso al vademécum.de productos fitosanitarios.

- ✓ Servicio de predicción de momentos climáticos adecuados para aplicación de productos fitosanitarios.
- ✓ Servicio de predicción meteorológica.
- ✓ Servicio de alertas de contingencias (climáticas, de enfermedades y plagas, fiscales, etc.) personalizadas según cultivo y zona.
- ✓ Soporte técnico con especialistas telefónicamente y vía e-mail.
- ✓ Soporte técnico mediante chat.

Esta aplicación web está orientada principalmente a cooperativas agrarias y a asesores técnicos que desean ofrecer un servicio más completo a sus clientes y por supuesto a los agricultores y profesionales que quieren llevar el cuaderno de explotación al día desde su tablet, ordenador o Smartphone.

## 5 SITUACIÓN FUTURA SIN PROYECTO

La ausencia de este proyecto alentaría la falta de concienciación de los agricultores respecto al cambio climático que genera su labor y más concretamente respecto a las emisiones que producen a la atmósfera. Pero lo más importante es que el desconocimiento de esta información provocaría la falta de medidas para mejorar la eficiencia eléctrica, hídrica y de trabajo al igual que para optimizar la utilización de insumos.

Este hecho es un problema para el cambio climático pero además perjudicaría al agricultor debido a que la ineficiencia desemboca en un aumento del coste y por lo tanto en un decremento del margen de beneficios.

Por otro lado es imprescindible seguir actualizando la aplicación y brindar servicios innovadores para poder continuar en el mercado de una manera competitiva ya que de lo contrario las demás empresas competitivas acabarían absorbiendo el abanico de clientes propio de Cropti. Existen varias firmas que dan servicios parecidos:

- ✓ Agroguía es una herramienta de guiado GPS que intenta facilitar la labor de tratamientos fitosanitarios y abonos, es muy sencilla de usar y permite ver las zonas en las que se ha realizado ya la labor, el área recorrida y la velocidad. La aplicación genera un informe detallado del trabajo realizado por el usuario al

conectarse a internet. Al igual que Cropti posee una función de predicción climatológica.

- ✓ SigAGROasesor es una aplicación más compleja que ayuda a la decisión para el manejo sostenible de los cultivos, en fertilización, riego, enfermedades, variedades, indicadores de sostenibilidad... También incorpora información sobre meteorología, suelo, teledetección y conocimiento técnico de los cultivos integrados. Aparte de esto, también ofrece la posibilidad de completar el cuaderno de explotación.

## 6 ANÁLISIS DAFO

Después de haber analizado detalladamente la situación del proyecto se recogerán en una matriz las características principales tanto internas (debilidades y fortalezas) como externas (amenazas y oportunidades), así se podrá tener una visión general del escenario real en que se encuentra el proyecto.

Tabla 1. Matriz DAFO. (Elaboración propia)

	Internas	Externas
Positivas	Fortalezas	Oportunidades
	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Posibilidad de utilizar datos reales</li> <li>✓ ACVs muy cercanos a la realidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Inversión en I+D+i</li> <li>✓ Concienciación por el cambio climático</li> <li>✓ Legislación cada vez más exigente con las emisiones de gases de efecto invernadero</li> </ul>
Negativas	Debilidades	Amenazas
	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Empresa muy nueva</li> <li>✓ Poca experiencia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Oferta de servicios similares por parte de otras empresas</li> </ul>

## 7 BIBLIOGRAFÍA

Agroasesor.es

Anuario de Estadística Agraria, 2012-2013, Magrama

Entrevista a Eugenio Fernández Arcos y a Álvaro Rodríguez Moya en *El referente. Conectando el ecosistema emprendedor.* (<http://www.elreferente.es/tecnologicos/eugenio-fernandez-emprendedor-fundador-cropti--28259>)

[http://ec.europa.eu/agriculture/cap-for-our-roots/index\\_es.htm](http://ec.europa.eu/agriculture/cap-for-our-roots/index_es.htm)

[http://www.fega.es/PwfGcp/es/accesos\\_directos/condicionalidad/index.jsp](http://www.fega.es/PwfGcp/es/accesos_directos/condicionalidad/index.jsp)

Informe resumido Agricultura mundial: hacia los años 2015/2030. Depósito de documentos de la FAO

IPCC, I. P. (2014). Quinto Informe de Evaluación.

Novedades técnicas 2014, Fima, Magrama

OCDE, mejores políticas para una vida mejor.

Perfil de linkedin de Eugenio Fernández Arcos, director y co-fundador de Cropti.com

Ruiz-Amador, D., & Zúñiga-López, I. (2012). *Ánalisis de ciclo de vida y huella de carbono.* UNED.

Video de Youtube. Presentación Pittch XI actúaupm 2014 – 114 Cropti



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS AGRÓNOMOS



**DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN INFORMÁTICA  
PARA EL CÁLCULO DE INDICADORES AMBIENTALES  
(HUELLA DE CARBONO) EN ACTIVIDADES  
AGRÍCOLAS A PARTIR DE LOS CUADERNOS  
DIGITALES DE EXPLOTACIÓN (CDE)**

**ANEJO II**

**OBJETIVOS Y METAS. ALTERNATIVAS  
ESTRATÉGICAS**

Lucía Arrúe Gonzalo

Diciembre de 2015

Tutora: Pilar Barreiro Elorza

Cotutor: Diego Ruiz Amador

Promotor: Cropti

# ANEJO II. OBJETIVOS Y METAS: ALTERNATIVAS ESTRATÉGICAS

---

## CONTENIDO

1.	ALTERNATIVAS ESTRATÉGICAS .....	4
1.1.	Generación de alternativas estratégicas .....	4
1.2.	Selección de alternativas.....	4
2.	ALTERNATIVAS TÁCTICAS .....	5
2.1.	Generación de alternativas tácticas .....	5
2.2.	Selección de alternativas tácticas.....	6
3.	METAS .....	8
4.	BIBLIOGRAFÍA.....	9

**TABLAS**

Tabla 1. Resumen de alternativas .....	7
Tabla 2. Objetivos y metas del proyecto .....	8

---

# ANEJO II. OBJETIVOS Y METAS: ALTERNATIVAS ESTRATÉGICAS

---

## 1. ALTERNATIVAS ESTRATÉGICAS

### 1.1. Generación de alternativas estratégicas

La aplicación informática a desarrollar debe cumplir con los requisitos impuestos por el promotor redactados en el Anejo I (apartado 3.1 y 3.2).

Según estos requerimientos se han barajado diferentes opciones. Las alternativas que han surgido según la relación de independencia con la herramienta que estaba ya en funcionamiento son las siguientes:

- En primer lugar se ha planteado el desarrollo de un módulo software independiente de la herramienta ya existente.
- Por otro lado se ha tanteado la posibilidad de realizar una herramienta integrada en la propia aplicación de Cropti, a modo de un servicio adicional.

En cuanto al modo de cálculo de los indicadores ambientales se han propuesto las siguientes opciones:

- Cálculo manual en el que el propio usuario introduce todos los datos necesarios y los especifica manualmente en una hoja de cálculo, observando cómo los indicadores se modifican según los valores de las variables.
- Cálculo automático en el que el servicio informático reproduciría los resultados de manera automática con los datos que el agricultor vaya insertando en el cuaderno de explotación.

### 1.2. Selección de alternativas

En relación con el objetivo principal del proyecto, para aumentar la competitividad de Cropti es necesario dar a conocer la marca y proporcionar la máxima difusión y publicidad posible ya que es una empresa muy nueva. Es por eso que se ha decidido escoger la alternativa en la que los indicadores ambientales son una función integrada dentro de la aplicación ya existente. Por lo que en este caso esta decisión se ha basado exclusivamente en este criterio.

En cuanto al cálculo, se ha seleccionado la alternativa en la que los resultados aparecen automáticamente basándose esta decisión en uno de los criterios de valor del promotor: la facilidad de uso de la herramienta. Tan solo el 5% de la población dedicada al sector agrario es menor de 40 años, esto, aparte de ser un problema para el relevo generacional supone una dificultad en cuanto al uso de la tecnología, es por eso que cuanto más sencilla y fácil de usar sea la herramienta mucho más práctica será.

Todos los criterios utilizados respetan los condicionantes impuestos por el promotor y los criterios de valor establecidos por el mismo.

## **2. ALTERNATIVAS TÁCTICAS**

### **2.1. Generación de alternativas tácticas**

Las alternativas tácticas elegidas definirán la metodología que se deberá seguir para llevar a cabo el proyecto.

La primera cuestión que se plantea es el número de indicadores ambientales que se van a definir y a desarrollar para la función. Se proponen los siguientes:

- Huella de carbono: cálculo de las emisiones de todos los gases de efecto invernadero asociados directa o indirectamente, a una organización, evento, servicio o producto con el fin de determinar su contribución al cambio climático.
- Huella hídrica: volumen total de agua dulce consumida y contaminada para la producción de un bien o servicio.
- Demanda energética acumulada: consiste en la cuantificación de toda la energía consumida directa o indirectamente a lo largo del ciclo de vida del producto (Ecosmes. Services for green products).
- Toxicidad: es un concepto que se refiere al estudio de los efectos tóxicos producidos por agentes físicos y químicos en el ambiente y en la salud humana.
- Acidificación: pérdida de la capacidad neutralizante del suelo y del agua, como consecuencia del retorno a la superficie de la tierra, en forma de ácidos, de los óxidos de azufre y nitrógeno descargados a la atmósfera (Eco-inteligencia).

- Eutrofización: enriquecimiento de las aguas con nutrientes a un ritmo tal que no puede ser compensado por la mineralización por lo que produce un descenso de las concentraciones de oxígeno.

Existen cuatro posibilidades a la hora de elegir los límites de sistema para realizar un análisis de ciclo de vida:

- De la cuna a la tumba: dicho límites incluyen todas las etapas del ciclo de vida del producto.
- De la cuna a la puerta: cuando el sistema cubre desde la extracción de materias primas hasta el momento en el que el producto se pone en el mercado.
- De la puerta a la puerta: las etapas estudiadas son tan solo los relacionados con los procesos de fabricación.
- De la cuna a la cuna: cuando se tienen en cuenta que los flujos de salida en el fin de vida del sistema pueden servir como materias primas o entradas al mismo o a otro sistema del producto.

## 2.2. Selección de alternativas tácticas

Para seleccionar las alternativas tácticas adecuadas han sido tenidos en cuenta diferentes criterios.

En primer lugar, para determinar los indicadores ambientales que se calcularán con la herramienta informática se han atendido las siguientes premisas:

- Que los indicadores sean relevantes para el conocimiento de la situación del medio ambiente en España y que contribuyan al incremento de la conciencia ambiental de la sociedad española.
- Que los datos para elaborarlos estén disponibles ya sea en fuentes oficiales como bases de datos, como en los cuadernos de explotación elaborados por los usuarios.
- Que sean fácilmente interpretables, susceptibles de ser comprendidos por los usuarios.
- Que el tiempo para la elaboración de la herramienta con los diferentes indicadores se ajuste al tiempo impuesto por el promotor (6 meses).

Finalmente se ha optado por desarrollar un solo indicador ambiental: la huella de carbono, dado que cumple con todos los criterios ya citados y es un concepto que tiene mucha relevancia en la actualidad.

Seguidamente se escogió la alternativa conveniente en cuanto a los límites del sistema del producto: de la cuna a la puerta. Decisión basada fundamentalmente en los datos registrados por los usuarios, que se ajustan a la realidad, y al interés de acotar el impacto de cada actividad. También se han incluido la fabricación y transporte de insumos. No obstante, no se han incluido los procesos aguas abajo del proceso productivo del cultivo (venta y consumo del producto).

- Resumen alternativas

Tabla 1. Resumen de alternativas. (Elaboración propia)

	Decisión a tomar	Alternativas	Criterios	Resultado de la selección
Alternativas estratégicas	Relación de dependencia con la herramienta existente Modo de cálculo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Módulo independiente</li> <li>- Módulo integrado</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Manual</li> <li>- Automático</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Publicidad y difusión de la marca</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Facilidad de uso de la herramienta</li> </ul>	Módulo integrado  Automático
Alternativas tácticas	Indicadores ambientales a calcular  Límites del sistema del producto	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Huella de carbono</li> <li>- Huella hídrica</li> <li>- Demanda energética acumulada</li> <li>- Toxicidad</li> <li>- Acidificación terrestre</li> <li>- Eutrofización</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>- De la cuna a la tumba</li> <li>- De la cuna a la puerta</li> <li>- De la puerta a la puerta</li> <li>- De la cuna a la cuna</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Relevancia del indicador</li> <li>- Disponibilidad de datos</li> <li>- Facilidad de interpretación</li> <li>- Complejidad de elaboración</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Disponibilidad de datos</li> <li>- Interés del usuario</li> </ul>	Huella de carbono  De la cuna a la puerta

### 3. METAS

Tras haber analizado y seleccionado los objetivos del proyecto, alternativas estratégicas y tácticas se pueden determinar las metas del proyecto.

Tabla 2. Objetivos y metas del proyecto. (Elaboración propia)

Objetivos	Metas
Aumento de la competitividad de la empresa en el mercado.	Incremento del valor añadido del producto.
Concienciación del sector agrario de los problemas medioambientales.	Concienciación de los usuarios de la herramienta de su contribución al problema medioambiental.
Cuantificación las emisiones producidas por un cultivo.	Cuantificación de las emisiones de CO <sub>2</sub> equivalente por un cultivo.
Satisfacción de los usuarios que utilizan la herramienta.	Satisfacción de los usuarios con el nuevo módulo software.

## 4. BIBLIOGRAFÍA

*Eco-inteligencia.* <http://www.ecointeligencia.com/>

*Ecosmes. Services for green products.* [www.ecosmes.net](http://www.ecosmes.net)

Ruiz-Amador, D., & Zúñiga-López, I. (2012). *Análisis de ciclo de vida y huella de carbono.* UNED.



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS AGRÓNOMOS



**DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN INFORMÁTICA  
PARA EL CÁLCULO DE INDICADORES AMBIENTALES  
(HUELLA DE CARBONO) EN ACTIVIDADES  
AGRÍCOLAS A PARTIR DE LOS CUADERNOS  
DIGITALES DE EXPLOTACIÓN (CDE)**

**ANEJO III**

**PROCESO PRODUCTIVO: GESTIÓN DE LOS  
CUADERNOS DIGITALES DE EXPLOTACIÓN**

Lucía Arriúe Gonzalo

Diciembre de 2015

Tutora: Pilar Barreiro Elorza

Cotutor: Diego Ruiz Amador

Promotor: Cropti

# ANEJO III. PROCESO PRODUCTIVO: GESTIÓN DE LOS CUADERNOS DIGITALES DE EXPLOTACIÓN

---

## CONTENIDO

1.	CUADERNOS DE EXPLOTACIÓN .....	6
2.	HERRAMIENTAS DIGITALES .....	8
3.	CROPTI.....	8
3.1	Origen de la herramienta.....	8
3.2	Tipología del usuario .....	9
3.3	Manual de uso.....	9
3.3.1	Requisitos del sistema .....	9
3.3.2	Acceso a la aplicación .....	9
3.3.3	Puesta en marcha y datos iniciales .....	9
3.3.4	Añadir una parcela.....	9
3.3.5	Añadir una nueva actividad .....	9
3.3.6	Consultar las acciones realizadas .....	10
3.3.7	Imprimir el cuaderno .....	10
3.3.8	Añadir productos inexistentes en las listas de validación de Cropti .....	10
3.4	Informes de actividad.....	10
3.5	Cuaderno de explotación digital .....	10
4.	DATOS DE UNA EXPLOTACIÓN RELEVANTES PARA EL CÓMPUTO DE EMISIONES .....	11
4.1	Actividades agrícolas .....	11
4.2	Itinerarios de labranza.....	11
4.3	Tipos de producción.....	13

4.4	Maquinaria .....	14
4.4.1	Sistemas de inyección.....	14
4.4.2	Tratamiento de gases de escape .....	15
4.4.3	Transmisión .....	18
5.	ENSAYOS DE CAMPO .....	23
6.	CONCLUSIÓN .....	27
7.	BIBLIOGRAFÍA .....	28

**FIGURAS**

Figura 1. Esquema explicativo de cuadernos de explotación exigido por el ministerio. (Elaboración propia).....	7
Figura 2. Sistema de inyección. Izquierda lineal, derecha rotativo (directindustry, s.f.)	14
Figura 3. Componentes del "Common rail". Fuente: modificado de (aficionadosalamecanica.blogspot.es, s.f.). 1-depósito de combustible, 2-filtro, 3-bomba de alta presión, 4-common rail, 5-inyector, 6-unidad de control electrónico.....	15
Figura 4. Emisiones generadas en la combustión de un motor. ....	16
Figura 5. Producción de NOx y de materia particulada (PM) en función del ratio combustible-aire, de la concentración de oxígeno en la admisión y de la temperatura. (Leon Ortiz, Moya Gonzalez, & Barreiro Elorza, 2012).....	17
Figura 6. Motor y transmisión de un tractor.....	18
Figura 7. Esquema general de una transmisión motor-ruedas motrices en una caja sin reductora (Linares, 2001) .....	19
Figura 8. Embrague. Izquierda hidráulico, derecha mecánico (Arnal Atares & Laguna Blanca, 1980).....	19
Figura 9. Caja de cambios (Demo e-educativa catedu, s.f.) .....	20
Figura 10. Diferencial y reducción final de tipo cascada .....	21
Figura 11. Reducción final de tipo epiciloidal (Redondo, 1995) .....	21
Figura 12. Tipos de variador continuo. A. Mecánico de correas. B. Mecánico de rodillos. C. Hidrostático. D. Hidrodinámico (convertidor de par) .....	22

**TABLAS**

Tabla 1. Características generales del tractor utilizado para los ensayos. (Elaboración propia).....	24
Tabla 2. Resultados de la reducción de gases de escape con el método SCR. (Elaboración propia) .....	25
Tabla 3. Resultados de la reducción de gases de escape con el método EGR. (Elaboración propia) .....	25
Tabla 4. Consumos en el laboreo y el transporte. Todos los tractores presentan un sistema de inyección de combustible tipo common rail. (Elaboración propia).....	26

# ANEJO III. PROCESO PRODUCTIVO: GESTIÓN DE LOS CUADERNOS DIGITALES DE EXPLOTACIÓN

---

## 1. CUADERNOS DE EXPLOTACIÓN

Los estragos que pueden causar las diferentes plagas pueden llegar a ser tales que afectan a la recolección en el mejor de los casos, o provoquen pérdidas de cosecha irreparables.

Es por ello que actualmente los productos fitosanitarios se han convertido en medios imprescindibles para los agricultores (tanto bajo sistemas convencionales como en la agricultura integrada o ecológica) ya que aminoran las consecuencias de las plagas. Sin embargo, los efectos producidos por la utilización de los productos agroquímicos a altas dosis pueden ser poco deseables tanto para la salud humana como para los ecosistemas y el medio ambiente.

Debido a esto el Estado ha desarrollado diferentes medidas para regular la utilización de estos productos. En la actualidad solo pueden ser comercializados aquéllos que hayan sido autorizados e inscritos en el Registro Oficial de Productos Fitosanitarios. Otra de las medidas desarrolladas por el Gobierno ha sido la obligatoriedad de la elaboración de los cuadernos de explotación.

El 14 de septiembre de 2012 se aprobó el Real Decreto 1311/2012, por el que se establece el marco de actuación para conseguir un uso sostenible de los productos fitosanitarios. En esta normativa se indica en el artículo 16.1 que cada explotación agraria deberá realizar un cuaderno de explotación o cuaderno de campo, el cual englobe de manera ordenada y detallada todos los elementos necesarios a llenar para mantener actualizado un registro de todos los tratamientos fitosanitarios realizados.

Esta iniciativa representa la puesta en marcha de un sistema de trazabilidad e higiene en el sector agrario además de una apuesta por introducir criterios de sostenibilidad en nuestros cultivos agrícolas. De esta manera, se afianza la posición española en los mercados europeos e internacionales con unos productos de mayor calidad y más seguros para los consumidores, garantizándose al mismo tiempo la competitividad y

viabilidad económica de las explotaciones. (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, s.f.)

Los campos mínimos del cuaderno de explotación que deben ser cumplimentados están indicados en el Anexo III del RD 1311/2012. El cuaderno se divide en dos conjuntos, “Información general” e “Información de tratamientos fitosanitarios”. En la figura 1 se puede observar un esquema de los registros requeridos por la normativa.

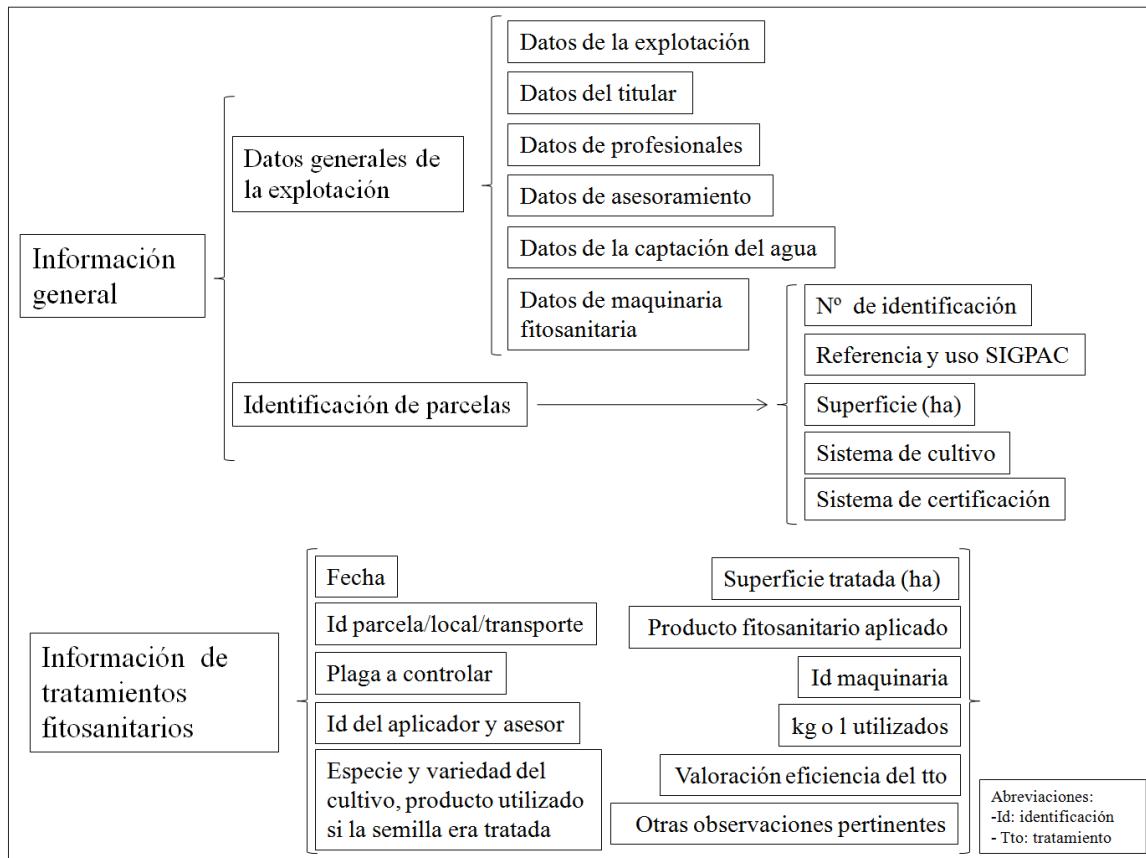


Figura 1. Esquema explicativo de cuadernos de explotación exigido por el ministerio. (Elaboración propia)

Dentro de la información general se exige que se especifiquen tanto datos generales de la explotación (información sobre el titular, los trabajadores, maquinaria fitosanitaria propia...) como datos de identificación de las parcelas (número de identificación, superficie, sistema de cultivo...).

El segundo bloque lo forma la información sobre los tratamientos realizados en las diferentes parcelas, almacenes o vehículos de transporte. Es necesario detallar la fecha, la dosis, la valoración de la eficiencia, la plaga a controlar y la superficie tratada entre otras.

## 2. HERRAMIENTAS DIGITALES

Llevar a cabo un registro día a día de las actividades realizadas en el campo para la producción de un cultivo es una tarea laboriosa, ya que ello implica registrar la información después o durante una jornada completa de trabajo. Por ello, varias empresas han apostado por desarrollar un método con el que se pueda completar el cuaderno de explotación de manera digital, así el agricultor podrá registrar sus actividades desde su ordenador, tablet o móvil.

Existen varios ejemplos de estas empresas, aquí se nombrarán tan solo algunas y se desarrollará extensamente en otro apartado diferente aquélla que para este proyecto es más interesante (Cropti), por ser el promotor.

Así, NUT cFruit ([www.nutsl.com](http://www.nutsl.com), s.f.), [micuadernodecampo.es](http://micuadernodecampo.es), aGROSLab son empresas que ofrecen un servicio para generar un cuaderno de explotación propio sujeto a la normativa actual utilizadas también para informatizar y controlar las diferentes labores realizadas.

## 3. CROPTI

Cropti es un software para la gestión y seguimiento de las acciones que se realizan sobre cualquier explotación agraria y cualquier cultivo, permitiendo cumplimentar la documentación oficial exigida por el RD1311/2012 (cuaderno de explotación) en el formato aprobado por el Ministerio de Agricultura. Es un recurso para la toma de datos de forma sencilla que permite obtener informes por parcela, cultivo y explotación facilitando la toma de decisiones.

### 3.1 Origen de la herramienta

Como ya se comentó anteriormente la herramienta de Cropti se llevó a cabo porque los fundadores identificaron una necesidad clara por parte de los agricultores; la laboriosidad de completar los cuadernos de explotación y llevar una contabilidad de las operaciones realizadas manualmente es una tarea costosa. Por ello, idearon una aplicación en la que poder hacer un seguimiento de la trazabilidad de las explotaciones agrarias. Así se embarcaron en diseñar estos documentos de forma digital; en enero de 2014 se constituyó la empresa y en abril del año siguiente (2015) ya estaban activos

comercialmente respaldados por ActúaUPM y el club empresarial ICADE en principio, y posteriormente por Telefónica.

### **3.2 Tipología del usuario**

Actualmente cuentan con un abanico variado de clientes. Ofrecen su servicio tanto a usuarios particulares como a cooperativas, asesores y distribuidores de casas de fitosanitarios. En total gestionan alrededor de 800.000 hectáreas de territorio.

### **3.3 Manual de uso**

#### **3.3.1 Requisitos del sistema**

Para poder utilizar esta herramienta se necesitan ciertas condiciones mínimas en cuanto a la conexión y los navegadores web además del sistema operativo, el procesador, el espacio en el disco y en la memoria RAM (requisitos especificados en el documento II Pliego de condiciones).

#### **3.3.2 Acceso a la aplicación**

La herramienta se encuentra en la página web [www.cropti.com](http://www.cropti.com) para entrar en ella es necesario hacerse una cuenta de cliente introduciendo el correo electrónico, nombre de usuario y contraseña.

#### **3.3.3 Puesta en marcha y datos iniciales**

Una vez dentro de la aplicación se deben introducir los datos generales de la explotación y del cultivo, datos de la maquinaria, de los trabajadores, de los asesores y de los clientes.

#### **3.3.4 Añadir una parcela**

Existen dos métodos para la incorporación de parcelas: incorporación automática o introducción manual una por una (habrá que especificar el nombre de la parcela, la localización con el código SIGPAC, la superficie y otros datos trascendentales).

#### **3.3.5 Añadir una nueva actividad**

Para crear una nueva actividad es necesario seleccionar la parcela donde se realiza dicha tarea y seguidamente elegir el tipo de acción (siembra, cosecha, laboreo...). Después aparecerán los campos estrictamente necesarios para llenar el cuaderno.

### 3.3.6 Consultar las acciones realizadas

Al seleccionar cualquier parcela se tiene la posibilidad de verla o borrarla, si se escoge la primera se mostrará el cuaderno de explotación de esa parcela en una tabla ordenada por fechas.

### 3.3.7 Imprimir el cuaderno

En el menú *Cuaderno* se encuentra la opción de *Exportar cuadernos*, pulsándolo aparecerá un cuadro de diálogo en el que se puede escoger el formato del documento que se quiere exportar (Excel o PDF). Antes de descargarlo la aplicación avisa al usuario de los posibles errores encontrados en el documento, dando la opción de corregirlos o seguir adelante con la operación. Una vez descargado solo se debe clicar en el menú desplegable *Archivo* y a continuación *Imprimir*.

### 3.3.8 Añadir productos inexistentes en las listas de validación de Cropti

Al añadir una actividad de tratamientos fitosanitarios o de fertilización se debe especificar el producto utilizado. Si resulta que la base de datos no contiene el producto utilizado por el usuario, éste podrá añadirlo o ponerse en contacto con el soporte técnico de la empresa para que éste lo añada.

## 3.4 Informes de actividad

Cropti ofrece una función en la que el cliente puede ver informes resumen de los gastos producidos según el concepto (gasoil, reparaciones, compra de semillas...), la actividad, la campaña y la parcela. Se puede distinguir estos informes en listado y en gráficos de barras y circulares, así el usuario puede apreciar visualmente a primera vista dónde se producen los gastos más elevados.

## 3.5 Cuaderno de explotación digital

El cuaderno de explotación que exporta Cropti posee exactamente el mismo formato que el formato aplicado por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

## **4. DATOS DE UNA EXPLOTACIÓN RELEVANTES PARA EL CÓMPUTO DE EMISIONES**

Un agricultor tiene el poder de decisión absoluto sobre su explotación, en cuanto al tipo de manejo que realiza, la maquinaria que utiliza, la cantidad de insumos que aplica etc. Todas estas decisiones afectan en gran medida a la cantidad de emisiones que se generarán a lo largo del proceso productivo. En este apartado se desarrollarán ciertos aspectos que influyen en el cálculo de la huella de carbono.

### **4.1 Actividades agrícolas**

Las operaciones que se estudiarán serán el laboreo o la preparación de la tierra. La siembra que es la práctica en la que se depositan las semillas de las plantas en el lecho preparado o no (siembra directa) para su posterior desarrollo. La fertilización, actividad en la que se incorporan abonos o fertilizantes en la tierra para el enriquecimiento de la misma en nutrientes necesarios para el correcto crecimiento de las plantas. Por otra parte, los tratamientos fitosanitarios se llevan a cabo para la protección de los cultivos contra insectos, enfermedades o malas hierbas. Y por último, la cosecha, operación en la que se recolectan los productos agrícolas cuando ya están maduros.

### **4.2 Itinerarios de labranza**

Los primeros tractores tenían como objetivo mejorar la calidad de las labores que hasta entonces había sido muy limitada. Poco a poco la potencia fue tomando importancia, y con ella se produjo un aumento de la profundidad de las labores y la cantidad de pasadas.

Posteriormente el aumento del coste del combustible, la reducción de los precios de los productos agrarios y la creciente concienciación por el medio ambiente, han producido un cambio, la reducción de las labores buscando una disminución del consumo de combustible y un aumento de la rentabilidad.

Los sistemas de laboreo son un conjunto de operaciones mecánicas de labranza que intervienen en el manejo del suelo según la profundidad de la labor, el número de pasadas y los residuos sobre el suelo. El sistema de laboreo que se adopta condiciona otras operaciones agrícolas para el manejo del cultivo como son la fertilización y la protección contra plagas, enfermedades o malas hierbas. Se pueden distinguir tres tipos:

- Laboreo tradicional. Se desarrollan labores primarias a profundidades de 20 a 25 cm para fragmentar el suelo, enterrar los rastrojos del cultivo anterior y las malas hierbas con aperos como la vertedera o disco para voltear la tierra o con chisel para una fragmentación vertical. Posteriormente se hacen necesarios uno o varios pases de labores secundarias (menos de 15 cm) para desmenuzar los agregados y preparar el lecho de siembra. A continuación se realiza la siembra. En este tipo de sistema se conserva menos del 10 % de los residuos en superficie.
- Mínimo laboreo. Se realizan únicamente labores superficiales entre los 10 y 15 primeros centímetros de suelo. Normalmente no se realiza volteo y se hace una labor vertical con chisel o cultivador y al igual que en el laboreo tradicional se procede seguidamente a la preparación del lecho y después a la siembra. En este sistema se deja en el terreno al menos el 30 % de los residuos.
- No laboreo o siembra directa. Se fundamenta en la utilización de sembradoras específicas capaces de sembrar directamente sin hacer laboreo del suelo previo. Este último sistema mantiene sobre el terreno al menos el 70 % de los residuos.

El no laboreo y el mínimo laboreo están dando lugar a un nuevo modelo de manejo de sistemas agrarios, conocido como la Agricultura de Conservación, la cual permite reducir los consumos de combustible, reducir la erosión de los suelos y aumentar la materia orgánica de los suelos.

Sería esperable que el no laboreo ayudase a la recuperación del nivel de carbono, a través de la retención e incorporación de los residuos de los cultivos, de la reducción de la alteración de los suelos y a través de la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero por la menor utilización de maquinaria agrícola.

Algunas investigaciones recientes cuestionan estas hipótesis (Chan, Heenan, & So, 2003) (Chan, Cowie, Kelly, Singh, & Slavich, 2009). La siembra directa y la retención de rastrojo asociada parece ser efectiva al reducir las pérdidas de carbono orgánico en el suelo, pero no en el incremento del almacenamiento global del mismo. Además este sistema tiende a aumentar las emisiones de los óxidos nitrosos ( $N_2O$ ) debido a la disponibilidad de más materiales vegetales, los cuales son fuentes de carbono y energía para los organismos heterótrofos desnitrificantes. Es más, el no laboreo puede promover el crecimiento de malas hierbas y controlarlas puede requerir mayores cantidades de

herbicidas que tienen un potencial de calentamiento global más alto comparado con otros agroquímicos. Estas demostraciones hacen plantearse la cuestión de si realmente este sistema de no laboreo es una opción efectiva para la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GHG) en la agricultura.

### **4.3 Tipos de producción**

Actualmente se pueden establecer tres tipos de agricultura respecto al tipo de producción: agricultura convencional, integrada y ecológica.

La agricultura convencional tiene como objetivo la producción de alimentos en grandes cantidades para la obtención del mayor beneficio, utilizando para ello productos químicos sin restricciones en cuanto a dosis y número de aplicaciones, siempre y cuando se verifiquen los límites máximos de residuos superficiales, y realizando las labores mecanizadas necesarias para evitar la aparición de plagas o malas hierbas.

La producción integrada se basa en obtención de vegetales que utilizan al máximo los recursos y los mecanismos de producción naturales y aseguran a largo plazo una agricultura sostenible, introduciendo en ella métodos biológicos y químicos de control, y otras técnicas que compatibilicen las exigencias de la sociedad, la protección del medio ambiente y la productividad agrícola. Además el límite máximo de residuos debe ser inferior al 50 %.

Por último la agricultura ecológica u orgánica se puede definir como un compendio de técnicas agrarias que excluye normalmente el uso de productos químicos de síntesis como fertilizantes, plaguicidas etc., con el objetivo de preservar el medio ambiente, mantener o aumentar la fertilidad del suelo y proporcionar alimentos con todas sus propiedades naturales. Este tipo de agricultura está basada en la rotación de cultivos y en el uso de los enemigos naturales para combatir las plagas y enfermedades.

Existen diferencias firmes entre ellas, pero quizá la principal sea el uso de fertilizantes, siendo la agricultura ecológica la más restrictiva, permitiendo utilizar productos muy específicos en su mayoría de naturaleza orgánica. En segundo lugar se encuentra la producción integrada que permite su uso de forma controlada y por último la convencional, la menos restrictiva en el uso de agroquímicos.

## 4.4 Maquinaria

En este apartado se expondrá la tecnología de la maquinaria agrícola que afecta a un incremento de emisiones de gases de efecto invernadero. Existen numerosos aspectos y muy extensos, pero se hará una síntesis en lo que se considera esencial en este proyecto: tecnología de inyección de combustible, transmisiones y tratamiento de los gases de escape.

### 4.4.1 Sistemas de inyección

El sistema de inyección de combustible es el conjunto de dispositivos que se encargan de introducir en el interior de los cilindros del motor la cantidad necesaria de combustible para que se queme.

La bomba de inyección es la responsable de dosificar la cantidad de combustible que, en cada momento, debe entrar en el motor y dar presión al combustible, enviándolo a cada uno de los inyectores. Los tractores pueden ir equipados con bomba de inyección lineal, con bomba de inyección rotativa o sistema common rail.

La bomba de inyección lineal posee tantos elementos de inyección como cilindros tiene el motor y cada uno de ellos distribuye el combustible a un cilindro; y estos elementos están dispuestos linealmente, como su propio nombre indica.

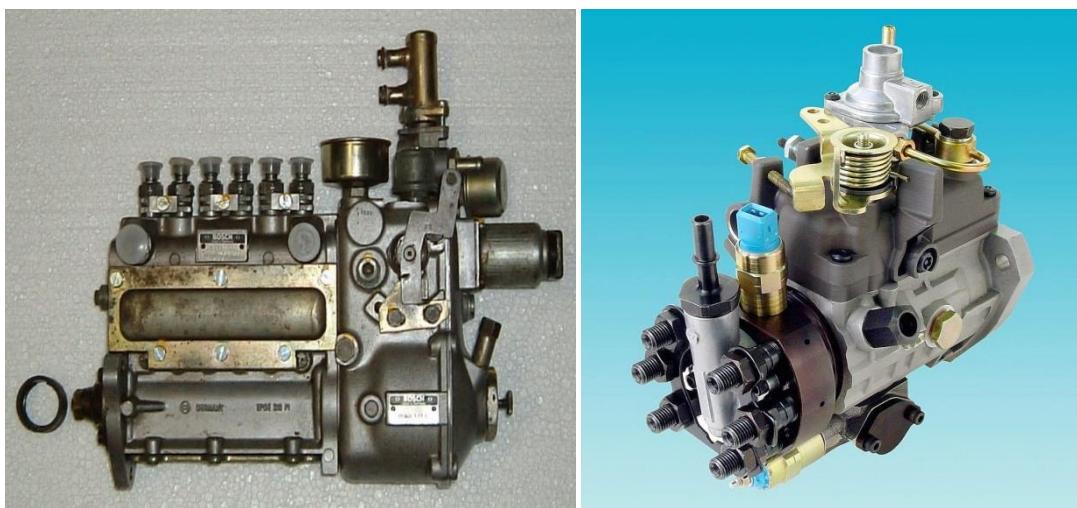


Figura 2. Sistema de inyección. Izquierda lineal, derecha rotativo (directindustry, s.f.)

La bomba de inyección rotativa tiene los distribuidores colocados en círculo y también posee un inyector por cada cilindro, la dosis que aplica es más precisa que la bomba lineal pero aún y así muy burda en comparación con los sistemas actuales, de control electrónico.

Los sistemas de inyección de raíl común o “common rail” han terminado por sustituir a los sistemas de inyección mecánicos, ya que trabaja a presiones muy constantes de hasta 1.500-1.800 atmósferas y ello permite regular la dosis de manera muy precisa en los inyectores según la carga del motor.

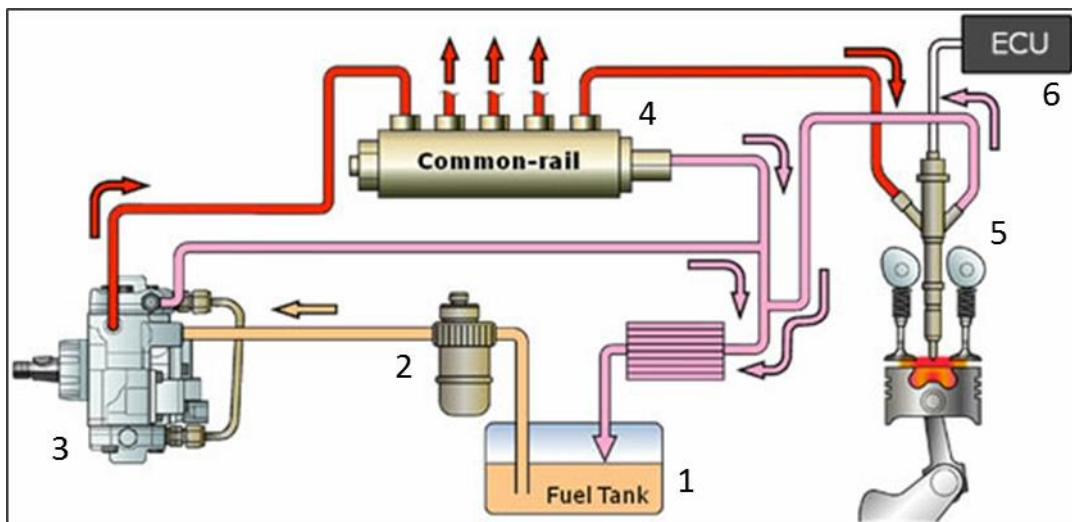


Figura 3. Componentes del "Common rail". Fuente: modificado de ([aficionadosalamecanica.blogspot.es](http://aficionadosalamecanica.blogspot.es), s.f.). 1-depósito de combustible, 2-filtro, 3-bomba de alta presión, 4-common rail, 5-inyector, 6-unidad de control electrónico

La figura 2 nos muestra el funcionamiento de este sistema de inyección. La bomba de alta presión, accionada por el cigüeñal del motor, toma el combustible del depósito y lo impulsa al conducto común a la presión deseada y desde aquí pasa a los inyectores. Estos últimos están controlados electrónicamente y son los encargados de producir la inyección de combustible, en el momento oportuno y con la dosis requerida, en el cilindro donde después se originará la combustión. Los sistemas de inyección de raíl común proporcionan una gran flexibilidad respecto a los mecánicos ya que permiten la ejecución de múltiples inyecciones durante un mismo ciclo.

#### 4.4.2 Tratamiento de gases de escape

La normativa que establece los máximos permitidos de emisiones generadas por vehículos de fuera de carretera son las TIER (EE.UU) o Stage (UE) y lo hacen en función de la potencia de los tractores. Estas restricciones están provocando una evolución forzosa en los motores de los tractores para adaptarse a ellas.

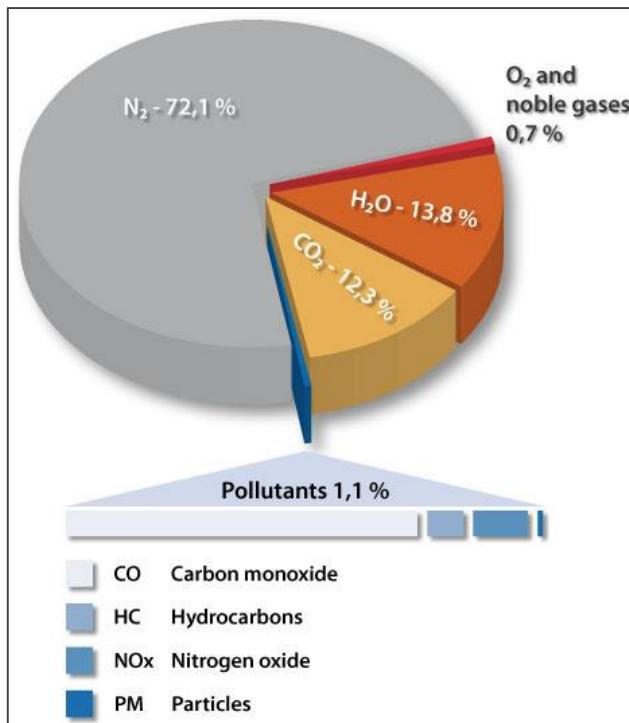


Figura 4. Emisiones generadas en la combustión de un motor.

Hasta la década de los 90 se demandaban altas prestaciones de potencia, bajo consumo y bajas emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) pero en la actualidad estas solicitudes se extienden también al control riguroso de los niveles de emisión de otras sustancias contaminantes. Estas sustancias son los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), la materia particulada (PM), los hidrocarburos (HC) y el monóxido de carbono (CO) aparte del CO<sub>2</sub>.

Los NO<sub>x</sub> provienen del nitrógeno (N<sub>2</sub>) atmosférico el cual se oxida al estar bajo las condiciones de presión y temperatura que se producen en la combustión. La PM comprende un amplio abanico de contaminantes en forma de aerosol y entre los que se encuentran distintas formas orgánicas y minerales de carbono procedentes de la combustión que no han sido totalmente oxidadas durante la combustión. Por último los HC y el CO provienen de la combustión incompleta del combustible.

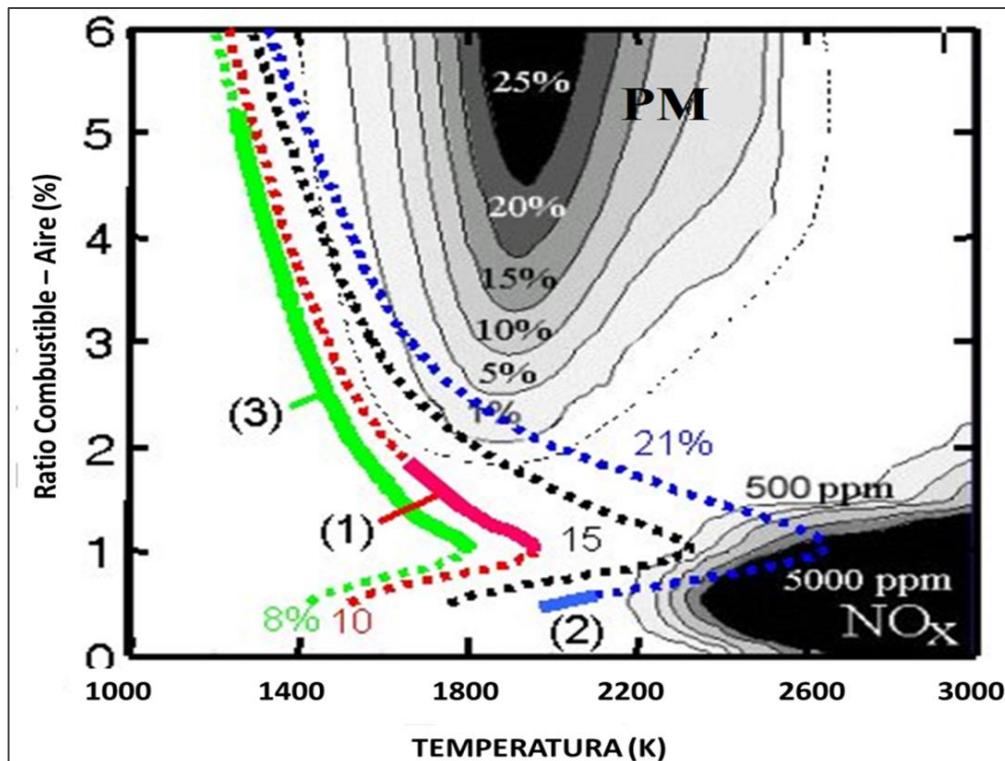


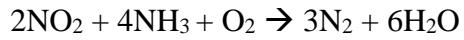
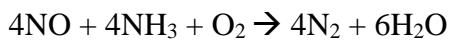
Figura 5. Producción de NO<sub>x</sub> y de materia particulada (PM) en función del ratio combustible-aire, de la concentración de oxígeno en la admisión y de la temperatura. (Leon Ortiz, Moya Gonzalez, & Barreiro Elorza, 2012).

En la figura 5 se puede apreciar la producción en partes por millón (ppm) de PM y NO<sub>x</sub> según la temperatura de combustión y el ratio combustible aire para diferentes concentraciones de oxígeno (curvas de colores).

Para combatir y conseguir todas las exigencias demandadas por las normativas se contemplan dos vertientes diferentes:

- Método de recirculación de gases de escape (EGR) combinado con un filtro de partículas (DPF) que apuesta por optimizar al máximo la combustión. Se basa en la reducción de las concentraciones de oxígeno durante la combustión por medio de la recirculación de gases de escape (a mayor recirculación menor concentración de oxígeno) y por lo tanto menores temperaturas y menores emisiones de NO<sub>x</sub> y PM, como se puede observar en la figura 5. Además la regeneración del filtro de partículas (DPF) consiste en quemar posteriormente las sustancias sólidas que se almacenan en el filtro.
- La segunda técnica consiste en la reducción catalítica selectiva (SCR) empleando una solución de urea (conocida como AdBlue). Los motores equipados con estas tecnologías alcanzan mayores temperaturas de combustión,

lo que supone una mejora en el rendimiento energético respecto a las anteriores pero, según la figura 5, una producción mayor de emisiones de NO<sub>x</sub> y PM. Este método se fundamenta en el post-tratamiento de los gases de escape con amoniaco para transformar los óxidos de nitrógeno en nitrógeno gaseoso y agua.



#### 4.4.3 Transmisión

Se consideran “transmisiones” el conjunto de elementos que aseguran la transferencia del par motor desde el cigüeñal a los diferentes puntos en los que se tiene que utilizar (ruedas motrices, para ser aprovechada como potencia de tracción; o toma de fuerza, para accionar los mecanismos operativos de las máquinas agrícolas). Esta transmisión del movimiento se realiza modificando simultáneamente los dos factores que componen la potencia: par motor y régimen de giro, de manera que a las ruedas llegue el movimiento en las condiciones más favorables para el funcionamiento del tractor (Márquez, Tractores agrícolas: tecnología y utilización, 2012).

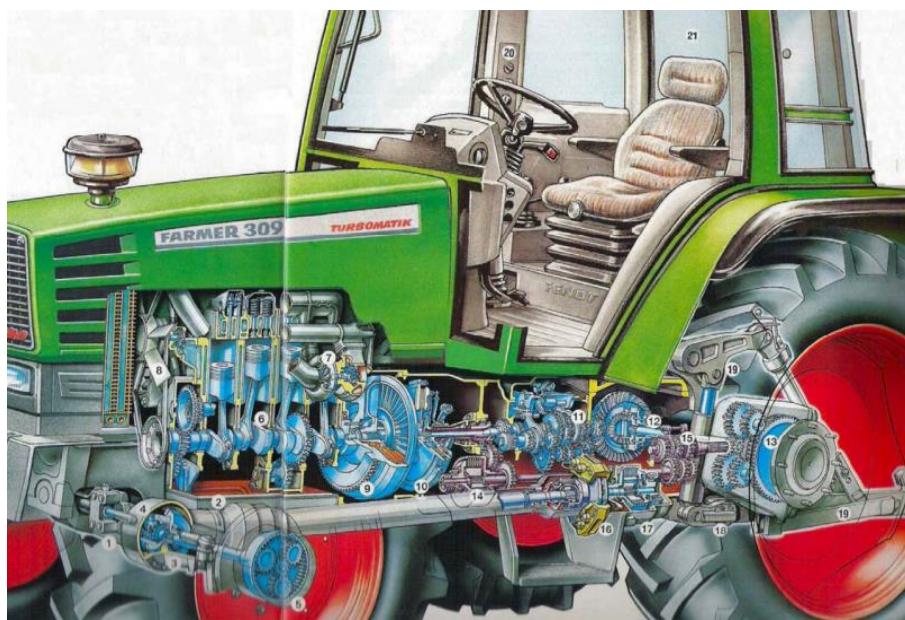


Figura 6. Motor y transmisión de un tractor

La transmisión no genera potencia, sólo sirve para transportarla. Su principal misión es variar la relación de transmisión, que es el cociente entre las vueltas que realiza el cigüeñal del motor (régimen de funcionamiento) y las vueltas del eje accionado. El

régimen de giro que se produce en el motor puede ser superior a 2000 rev/min; en estas condiciones un tractor que tuviese una rueda con 0,7 m de diámetro, avanza a una velocidad de trabajo de 500 km/h; por lo que es inviable el acoplamiento directo entre motor y ruedas.

Los elementos que forman este sistema son el embrague, la caja de cambios, el diferencial y las reducciones finales.

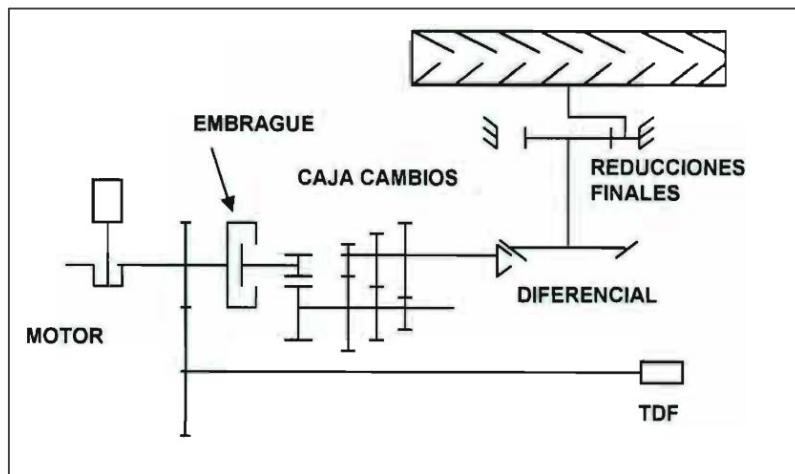


Figura 7. Esquema general de una transmisión motor-ruedas motrices en una caja sin reductora (Linares, 2001)

El embrague conecta (posición embragado) y desconecta (posición desembragado) el movimiento del motor, el cual debe mantenerse en funcionamiento permanente, a la caja de cambios, que está condicionado por el desplazamiento del vehículo. Se distinguen dos tipos de embrague según si utilizan cuerpos sólidos o fluidos para producir el movimiento, el embrague mecánico y el embrague hidráulico, respectivamente.

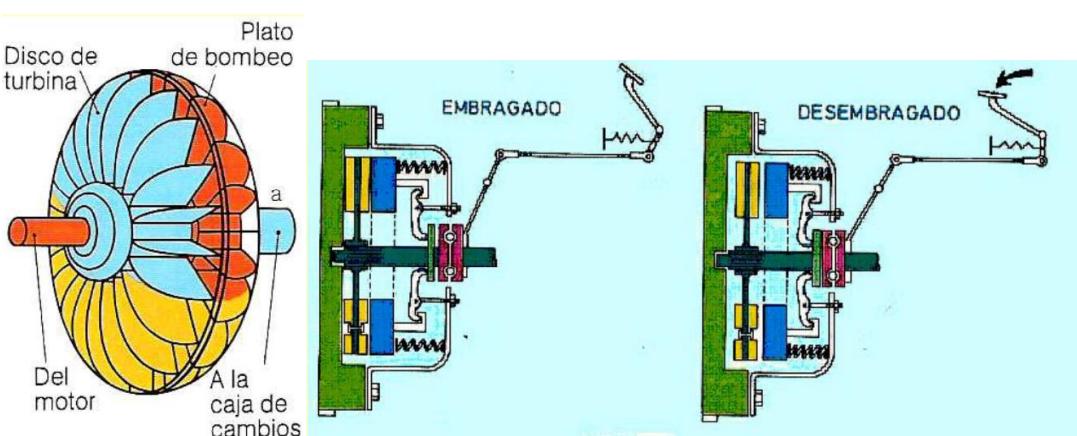


Figura 8. Embrague. Izquierda hidráulico, derecha mecánico (Arnal Atares & Laguna Blanca, 1980)

La caja de cambios constituye la primera parte de la cadena cinemática del motor a las ruedas. Permite seleccionar las diferentes relaciones en función de la carga que demandan las labores y de la velocidad a la que se quiere avanzar; aumentando, manteniendo o disminuyendo la relación de transmisión con la finalidad de aprovechar al máximo la potencia del motor. En ella también se puede escoger el sentido del desplazamiento (retroceso o avance).

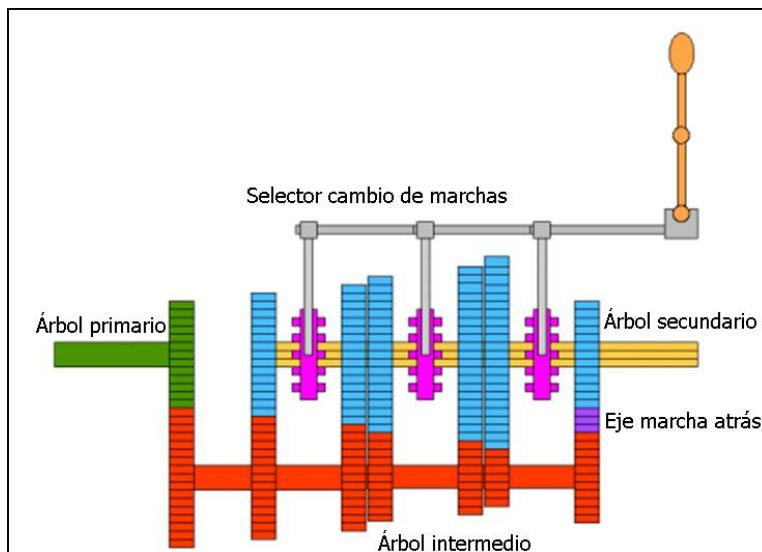


Figura 9. Caja de cambios (Demo e-educativa catedu, s.f.)

El diferencial permite que cada rueda motriz pueda asumir una velocidad diferente, esto sirve para facilitar la maniobra en las curvas. En la figura 10 se encuentran representados los elementos que constituyen el diferencial. El piñón de ataque es solidario con el eje secundario de la caja de cambios y engrana con la corona, a su vez, ésta es solidaria con la caja de satélites (estos tres elementos están coloreados de verde en la figura 10). Los satélites (en amarillo en la figura 10) se sitúan en el interior de la caja y sus ejes se unen a ella, por último los dos planetarios (en rojo en la figura 10) engranan con los dos satélites y van unidos rígidamente con su palier. Se puede apreciar que los ejes de giro de los planetarios son perpendiculares a la de los satélites.

Al bloquear la caja del diferencial se hacen solidarios la corona con uno de los palieres o semipalieres, así cada rueda podrá dar un número de vueltas determinado independientemente de la otra, esto es necesario porque la rueda que se encuentra en el exterior de la curva deberá realizar un recorrido más largo que la que se encuentra en el interior.

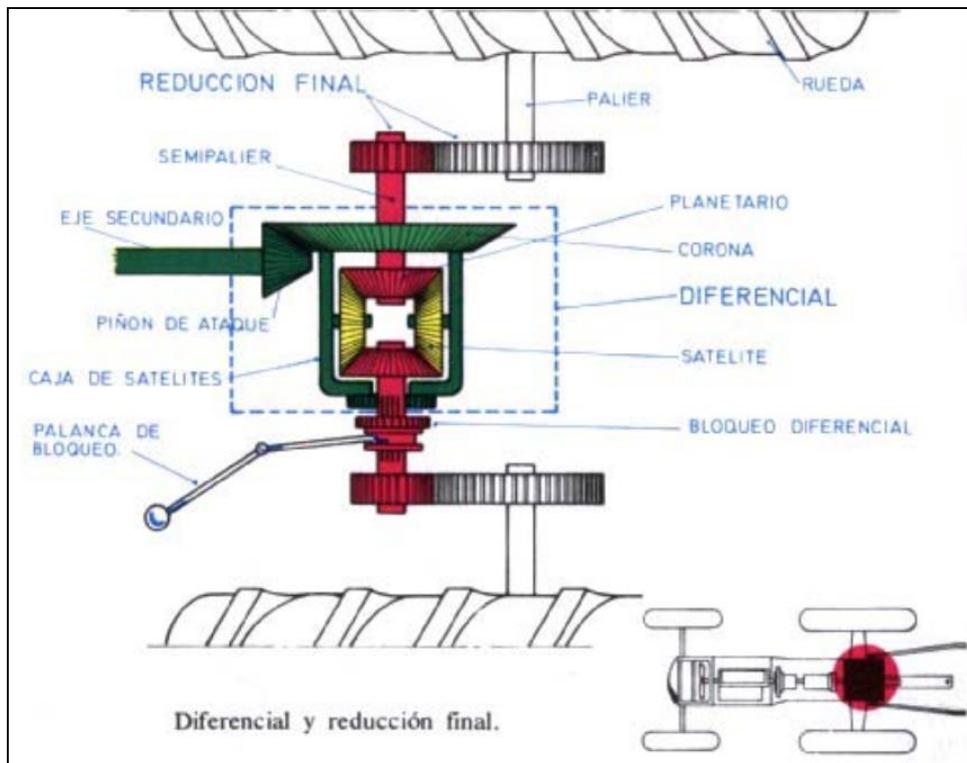


Figura 10. Diferencial y reducción final de tipo cascada

En los tractores agrícolas, la velocidad de giro del eje a la salida del diferencial es aún demasiado elevada para transmitirla directamente a las ruedas, por lo que requiere una nueva reducción: la reducción final. Este dispositivo puede ser de dos tipos, de tipo cascada o de tipo epicicloidal, el que se utiliza en la actualidad es éste último.

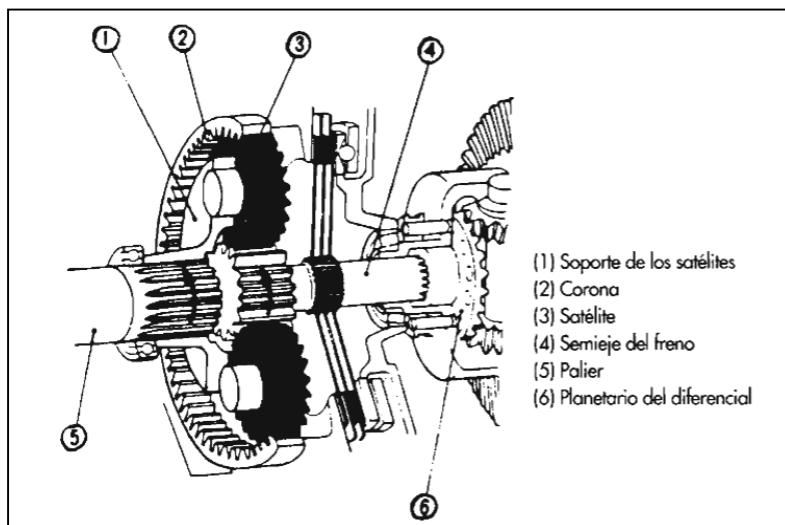


Figura 11. Reducción final de tipo epicicloidal (Redondo, 1995)

La reducción de piñones o de cascada consta de un piñón pequeño que va acoplado al semipalier que viene del diferencial y engrana con un piñón grande acoplado al palier de la rueda (figura 10). La reducción de tipo epicicloidal está formado por un sistema

planetario y la reducción que realiza es superior a la de engranajes rectos porque la carga se distribuye entre varios dientes, además es un sistema más compacto y duradero ya que las fuerzas radiales se absorben desde varias direcciones evitando que se desgasten los rodamientos (Redondo, 1995).

Las transmisiones se podrían clasificar en dos grandes grupos, las transmisiones continuas y las discretas. Éstas últimas a su vez se pueden distinguir entre las mecánicas, que poseen un embrague mecánico, y las electrohidráulicas, que incorporan uno o varios embragues electro-hidráulico de discos. La principal diferencia entre ellas es el tiempo que tardan en realizar el cambio, mientras que las mecánicas necesitan segundos, las electrohidráulicas precisan de milisegundos para llevar a cabo el cambio de marcha (aspecto fundamental en velocidades de avance muy reducidas).

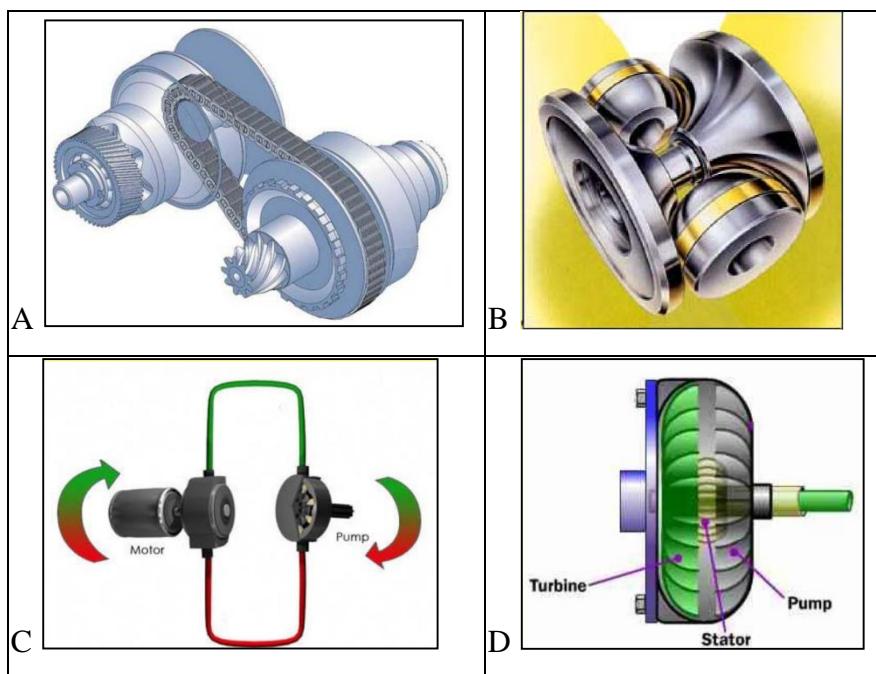


Figura 12. Tipos de variador continuo. A. Mecánico de correas. B. Mecánico de rodillos. C. Hidrostático. D. Hidrodinámico (convertidor de par)

En la última década, la incorporación de las cajas continúas ha revolucionado el mercado de los tractores: las transmisiones infinitamente variables, también conocidas como CVT (Continuously Variable Transmission). Este sistema de transmisión posee un número infinito de velocidades bajo carga, esto se consigue incorporando un variador continuo en el camino de la transmisión de la potencia del motor a las ruedas, este variador puede ser mecánico (correas, cadenas o rodillos) o hidráulico (hidrostático

o hidrodinámico) y permite variar de manera continua la relación de transmisión entre dos ejes (figura 12).

## 5. ENSAYOS DE CAMPO

Se ha hecho una recopilación de ciertos artículos de investigación del equipo de la Universidad Politécnica de Madrid (LPF-Tagrala) que comparan ciertos parámetros según las particularidades de la operación realizada y de las características que poseen los tractores utilizados.

Se han seleccionado aquéllos que comparaban las emisiones de los gases de escape y los consumos producidos según el tipo de apero utilizado y profundidad, entre otros, en el laboreo y según el desnivel y la carga, en el transporte. En cualquiera de las pruebas llevadas a cabo se tiene en cuenta el tipo de conducción que se hace: manual o automática.

En la tabla 1 se han resumido las características de los tractores más relevantes según el artículo consultado, en la tabla 2 y 3 se exponen los datos obtenidos de las pruebas, referidos a los métodos para la reducción de los gases de escape. Y por último en la tabla 3 se muestran los consumos producidos en las actividades de laboreo y de transporte. Las celdas coloreadas de azul se refieren a los ensayos realizados en modo de conducción manual y las coloreadas en rojo en modo automático.

Tabla 1. Características generales del tractor utilizado para los ensayos. (Elaboración propia)

Artículo		Tractor	Potencia nominal (kW/CV)	Potencia máxima (kW/CV)	Transmisión (D/C)	Sistema de reducción de gases de escape	Nivel de emisiones
1	New Holland T7.210, tecnología Tier IV para todos los estilos de conducción	T7.210	121/165	133/181	Discreta	SCR	Tier IVA
		T6090	121/165	128/174	Discreta	EGR	Tier IIIb
2	Same Virtus 120, versatilidad y economía sin complicaciones	Same Virtus 120	85,5/116	89,5/122	Discreta	EGR, DOC	Tier 4i
3	John Deere 6215R, sobresaliente en el análisis de vibraciones	John Deere 6215R	158,1/215	174/237	Continua	DEF , DOC , SCR , DPF	IV
4	Fendt 722 Vario, sutil tecnología para profesionales exigentes	Fendt 722 Vario	163/222	168/229	Continua	SCR	Tier IV interim
5	John deere 6190R Direct Drive, eficiencia y suavidad	John Deere 6190R	140/190	170/231	Discreta	EGR, DOC, DPF	
6	Navegando a bordo de un New Holland T6.160 AutoCommand	New Holland T6.160 AutoCommand	96/131	120/163	Continua	SCR	Tier 4 A
7	John Deere 7290R, potencia y adaptabilidad a la luz de los leds	John Deere 7290R	213,3/290	234,6/319	Discreta	EGR	
8	Claas Arion 420 CIS, experiencias en campo	Claas Arion 420 CIS	77/105	81/110	-		Tier III A
9	New Holland T8.350 a examen, porte y transporte	New Holland T8.350	206/280	232/315	Continua	SCR	Tier 4 final

Tabla 2. Resultados de la reducción de gases de escape con el método SCR. (Elaboración propia)

		Reducción emisiones			
		SCR			
	Artículo	Vt (km/h)	Prof (cm)	Reducción NOx (%)	
				Manual	Auto
4	Fendt 722 Vario, sutil tecnología para profesionales exigentes	7	25	90,8	90,55
		8,5		91,7	91,1
9	New Holland T8.350 a examen, porte y transporte	23,45	-	97,05	97,3
		23,2	-		

Tabla 3. Resultados de la reducción de gases de escape con el método EGR. (Elaboración propia)

		Reducción emisiones	
		EGR	
	Artículo	Recirculación total (%) <sup>(1)</sup>	
		Manual	Auto
5	John deere 6190R Direct Drive, eficiencia y suavidad	11,55	12,75
7	John Deere 7290R, potencia y adaptabilidad a la luz de los leds	70	59

<sup>(1)</sup> Un 100% de apertura de la válvula supone un 20 % de recirculación.

Tabla 4. Consumos en el laboreo y el transporte. Todos los tractores presentan un sistema de inyección de combustible tipo common rail. (Elaboración propia)

Artículo	Tecnología	Laboreo								Transporte			
		Apero	Descripción	a <sub>u</sub> (m)	V <sub>t</sub> (km/h)	Prof teo (cm)	Consumo (l/ha)		Consumo (ml/m <sup>3</sup> )		Descripción	Consumo (l/km)	
							Manual	Auto	Manual	Auto		Manual	Auto
1	SCR/D	Vertedera	Discontinua 4 cuerpos reversible Pottinger Servo 45 NP 43 cm ancho de corte/cuerpo	1,72	6,8	14,033	14,45	-	-	9,3	5 km, 6% de desnivel	0,26	-
	EGR/D				6,6	17,667	25,157	-	-	12,9		0,52	-
2	EGR/D	Cultivador	Kverneland CLC Evo 9 brazos amortiguados con ballestas, rejas rectas	2,4	5	-	16,135		-	-	3,5 km remolque 8720 kg	0,576	-
3	SCR/C	Chisel	Ovlac 25 brazos	5,74	8	15		7,2	-	-	Remolque 14860 kg	1	0,92
					7	23	16,23	9,47	-	-			
4	SCR/C	Vertedera	kverneland EG85, 5 cuerpos	?	7	25	16,6	16	6,63	6,24	5 km, 2,4% pendiente	0,499	-
					8,5	25	17,6	17,4	7,38	6,9			
					8,5	20	15,7	14,4	7,88	7,63			
5	EGR/D	Grada rotativa	Arterra MS 400 16 rotores	4	10	-	14,85	10,25	-	-	Remolque 17940 kg	1,71	0,88
6	SCR/C	Grada rotativa	Pöttinger Lion 302 con 10 rotores doble púa accionados por tdf	2,9	3,8	4	21,28	21,47	-	-	Remolque pacas 4100kg 7km	0,421	0,389
7	EGR/D	Cultivador	27 brazos en tres líneas	6	10	8	7,58	7,67	9,85	8,2	Remolque 19680 kg 11,45 km	0,83	0,73
8		Chisel	7 brazos	2,6	7	15,8	-	16	-	10,1	-	-	-
		Rotovator	540 rpm tdf	3,3	5,7	12,4	-	11,4	-	9,2	-	-	-

## 6. CONCLUSIÓN

Se puede concluir, por los datos expuestos en las tablas 1, 2, 3 y 4, que existe una gran diferencia entre los consumos y las emisiones producidas según el tipo de tecnología del tractor, según el tipo de conducción y según las circunstancias de cada actividad. Por lo tanto es importante tener en cuenta todos estos aspectos para el cálculo del análisis de ciclo de vida.

Así pues, contar con los datos incorporados directamente por el agricultor a la herramienta Cropti, hará que se puedan saber muchos parámetros relevantes sin necesidad de realizar una toma de datos en el campo.

En el anexo IV se discutirán los datos incorporados en la aplicación y se analizarán aquéllos que son trascendentales para realizar el ACV.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

*aficionadosalamecanica.blogspot.es,*

<http://aficionadosalamecanica.blogspot.com.es/2015/05/sistema-common-rail-de-siemens.html>

Arnal Atares, P. V., & Laguna Blanca, A. (1980). *Tractores y motores agrícolas.* Madrid: Mundi-Prensa.

Barreiro Elorza, P., Diezma Iglesias, B., Garrido Izard, M., & Moya Gonzalez, A. (2013). John Deere 6190R Direct Drive, eficiencia y suavidad. *Vida Rural*, (356), 18-26.

Barreiro Elorza, P., Diezma Iglesias, B., Valero Ubierna, C., Baguena Isiegas, E., Garrido Izard, M., & Zarco, R. (2010). Claas arion 420 CIS, experiencias en campo. *Vida Rural*, (317), 8-15.

Barreiro Elorza, P., Garrido Izard, M., Moya Gonzalez, A., Diezma Iglesias, B., & Valero Ubierna, C. (2014). Same Virtus 120, versatilidad y economía sin complicaciones. *MAQ Vida Rural*, 382, 16-24.

Elorza, P. B., Iglesias, B. D., Izard, M. G., & González, A. M. (2015). New Holland T8. 350 a exámen, porte y transporte. *Vida rural*, (391), 18-29.

Barreiro Elorza, P., Moya Gonzalez, A., Diezma Iglesias, B., Garrido Izard, M., Moreno Párrizas, H., & Valero Ubierna, C. (2012). Fendt 722 Vario, sutil tecnologia para profesionales exigentes. *Vida Rural*, (Extra), 8-18.

Barreiro Elorza, P., Moya Gonzalez, A., Garrido Izard, M., Moreno Párrizas, H., & Valero Ubierna, C. (2011). New Holland T7. 210, tecnología Tier IV para todos los estilos de conducción. *MAQ Vida Rural*, (335), 1-10.

*Demo e-educativa catedu,*

[http://e-educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio//1000/1104/html/5\\_la\\_caja\\_de\\_cambios.html](http://e-educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio//1000/1104/html/5_la_caja_de_cambios.html)

Diezma Iglesias, B., Valero Ubierna, C., Moya Gonzalez, A., & Barreiro Elorza, P. (2015). John Deere 6215R, sobresaliente en el análisis de vibraciones. *Vida Rural*, 396, 18-29.

Diezma Iglesias, B., Valero Ubierna, C., Moya Gonzalez, A., & Garrido Izard, M. (2014). John Deere 7290R, potencia y adaptabilidad a la luz de los leds. *Vida Rural*, (374), 10-19.

<http://auto.howstuffworks.com>

<http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/portal/areas-tematicas/agricultura/sanidad-vegetal/productos-fitosanitarios/cuaderno-de-explotacion-rd-1311-2012.html>

<http://www.cropti.com>

<http://www.boe.es>

<http://www.cuadernoexplotacion.es/>

<http://www.micuadernodecampo.es/>

<http://revistamotor.eu/>

IDAE, Instituto para la diversificación y ahorro de la energía (2006). Ahorro, eficiencia energética y sistemas de laboreo agrícola.

Karl, H., Linares Anegón, P., Renius, T., & Resch, R. (2006). Transmisiones: en mejora continua. *Agrotécnica. Cuadernos de Agronomía y Tecnología* , 146-152.

Leon Ortiz, J., Moya Gonzalez, A., & Barreiro Elorza, P. (2012). Desafío tier 4: nuevas preguntas, nuevas respuestas. *Agricultura* .

Linares, P. (2001). Como comprender la transmisión. Parte I. *Agrotécnica. Cuadernos de Agronomía y Tecnología* ., 71-78.

Linares, P. (2011). Vuelve el embrague: mecanismos de la caja de cambios. *Agricultura: Revista agropecuaria*, (937), 112-117.

Linares, P. (2006). Transmisiones: en mejora continua. *Agrotécnica*, (2), 146-152.

Linares, P. (2001). Análisis de los distintos componentes que incluye una transmisión. *Agrotécnica*, (2), 59-65.

Linares, P. (2001). Cómo descifrar la información sobre las transmisiones que ofrecen catálogos y manuales de instrucciones. *Agrotécnica*, (3), 77-81.

Maraseni, T. N., & Cockfield, G. (2011). Does the adoption of zero tillage reduce greenhouse gas emissions? An assessment for the grains industry in Australia. *Agricultural Systems*, 104(6), 451-458.

Márquez, L. (2004). Las transmisiones. *Agrotécnica* , 35-41.

Márquez, L. (2012). *Tractores agrícolas: tecnología y utilización*. Madrid: B&H.

*Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.* (s.f.). Obtenido de <http://www.magrama.gob.es/es/>

Moya Gonzalez, A., & Barreiro Elorza, P. (2011). Recortar emisiones en vehículos agrícolas. *Tierras de Castilla y León: Agricultura*, (Extra), 88-94.

Redondo, M. A. (1995). Tractor agrícola, las transmisiones. *Agricultura: Revista agropecuaria* (750) , 53-57.

Valero Ubierna, C., Barreiro Elorza, P., Garrido Izard, M., & Diego, P. (2014).

Navegando a bordo de un New Holland T6 AutoCommand. *Vida Rural*, (378), 14-26.

[www.cropti.com](http://www.cropti.com)

[www.directindustry.es](http://www.directindustry.es)

[www.nutsl.com](http://www.nutsl.com)



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS AGRÓNOMOS



**DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN INFORMÁTICA  
PARA EL CÁLCULO DE INDICADORES AMBIENTALES  
(HUELLA DE CARBONO) EN ACTIVIDADES  
AGRÍCOLAS A PARTIR DE LOS CUADERNOS  
DIGITALES DE EXPLOTACIÓN (CDE)**

**ANEJO IV  
PRE-ANÁLISIS DE LOS DATOS**

Lucía Arrúe Gonzalo

Diciembre de 2015

Tutora: Pilar Barreiro Elorza

Cotutor: Diego Ruiz Amador

Promotor: Cropti

# ANEJO IV. PRE-ANÁLISIS DE DATOS

---

## CONTENIDO

1	DATOS EN BRUTO .....	5
2	RESUMEN DE PROCEDIMIENTO .....	6
3	CARACTERIZACIÓN DE LA EXPLOTACIÓN .....	7
4	CARACTERIZACIÓN POR MUNICIPIOS .....	9
5	CARACTERIZACIÓN DE LAS ACTIVIDADES .....	10
6	CARACTERIZACIÓN DE LAS PARCELAS .....	12
7	CARACTERIZACIÓN DE LA FERTILIZACIÓN .....	15
8	CARACTERIZACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS FITOSANITARIOS .....	17
9	CARACTERIZACIÓN DE LA SIEMBRA .....	22
10	CALENDARIO .....	24
11	CONCLUSIÓN .....	26

**FIGURAS**

Figura 1. Resumen del procedimiento seguido y las variables generadas (Elaboración propia).....	7
Figura 2. Histograma de superficies trabajadas.....	8
Figura 3. Gráficos resumen por municipios. Azul Chinchilla de Monte-Aragón, verde-turquesa Valdeganga y amarillo Albacete. ....	9
Figura 4. Distribución de actividades totales y por municipio. Tipos de actividades: l=laboreo, t=tratamientos fitosanitarios, f=fertilización y s=siembra. .....	10
Figura 5. Gráficos que representan el número de parcelas que realizan cada actividad una o más veces. (Elaboración propia). ....	12
Figura 6. Histograma del número de fertilizaciones realizadas según la dosis (kg/ha)..	15
Figura 7. Dosis de fertilización (kg/ha) según la formulación .....	16
Figura 8. Utilización de productos fitosanitarios según su estado físico.....	18
Figura 9. Dosis según el estado físico del producto. Siendo el 1 productos líquidos y el 2 productos sólidos .....	19
Figura 10. Tipologías de los productos fitosanitarios utilizados .....	20
Figura 11. Tratamientos fitosanitarios según número de pases de laboreo en cada parcela.....	21
Figura 12. Dosis según el método de siembra.....	23
Figura 13. Mes de realización de cada actividad.....	24

**TABLAS**

Tabla 1. Datos de una explotación extraídos de la herramienta Cropti .....	5
Tabla 2. Número de actividades (laboreo, siembra, tratamientos fitosanitarios y fertilizaciones) en cada parcela.....	13
Tabla 3. Formulaciones de los fertilizantes .....	16

## ANEJO IV. PRE-ANÁLISIS DE DATOS

Para realizar el análisis de ciclo de vida de un cultivo cualquiera es necesario disponer de ciertos parámetros y datos de la parcela en la que se va a hacer el estudio. Para ver con qué datos cuenta la herramienta web Cropti, cuáles son necesarios estimar y cuáles hay que obtener de una base de datos externa, es preciso hacer un reconocimiento previo de los datos que incorpora el usuario a la aplicación y así homogeneizar, en primer lugar, y seleccionar, en segundo, los que hagan falta para el cálculo de los indicadores ambientales.

Este ACV se realizará para el cultivo de la cebada (*Hordeum vulgare*) como estudio piloto para desarrollar el diagrama de flujo y si se comprueba que funciona el método ideado, la empresa lo ampliaría a los demás cultivos.

### 1 DATOS EN BRUTO

La empresa Cropti proporcionó datos de una determinada explotación en los que especificaba diferentes campos (Tabla 1).

Tabla 1. Datos de una explotación extraídos de la herramienta Cropti

	Campo	Observación
1	Fecha de realización de la actividad	Del 17/08/2014 hasta el 29/07/2015
2	Tipo de actividad	Laboreo/fertilización/siembra/tratamientos fitosanitarios/cosecha
3	Número SIGPAC parcela	
4	Número SIGPAC municipio	
5	Especie cultivada	Adormidera/Cebada/Colza/Girasol/Guisantes/Maíz/ Trigo blando
6	Variedad del cultivo	Galera (Trigo blando) / Lamari y Pewter (Cebada)
7	Superficie del cultivo	Ha
8	Tipo de cultivo	Sin datos
9	Apero utilizado en el laboreo	c-15/c-21/vernetes/gradas/rulo/tabla y rulo
10	Método de siembra	Siembra directa/convencional/amazone
11	Dosis de siembra	kg/ha y semillas/ha
12	Nombre comercial del fertilizante	
13	Tipo de fertilizante	Orgánico/inorgánico/químico
14	Tipo fertilización	Fertirrigación/Cobertera/Fondo
15	Riqueza fertilización	N-P-K
16	Dosis fertilización	kg/ha

	Campo	Observación
17	Maquinaria utilizada para los tratamientos fitosanitarios	Sin datos
18	Nombre comercial del producto fitosanitario	
19	Tipo de tratamiento fitosanitario	Sin datos
20	Problema	Malas hierbas/heliotis/hongos/herbicida presiembra
21	Dosis tratamiento	l/ha, g/ha y kg/ha
22	Eficacia tratamiento	Buena

Con un total de 683 actividades realizadas en diferentes fechas y para diferentes parcelas se aprecia a simple vista que muchos de los datos están sin rellenar por el cliente, esto va a provocar que el análisis sea menos preciso, que haya que presuponer ciertos parámetros y que se obtengan conclusiones sacadas a partir de las deducciones más probables.

## 2 RESUMEN DE PROCEDIMIENTO

En la figura 1 se puede ver de manera simplificada el método seguido para analizar los datos aportados por la empresa. En primer lugar se hizo una selección de los datos relevantes, como son las actividades y las superficies de las parcelas entre otros, y a continuación se procedió a caracterizarlos según el municipio al que correspondían, según las actividades realizadas (laboreo, siembra, fertilización, tratamientos fitosanitarios o cosecha) y según las parcelas. A continuación se trató de estudiar más en profundidad cada actividad y por último se realizó un calendario de actividades.

El objetivo principal es el de generar el procedimiento de análisis de los datos brutos que aporte la información imprescindible al inventario del ACV y determinar qué variables han de ser estimadas mediante funciones algebraicas a partir de los datos extraídos.

Se estimó conveniente automatizar todo el procedimiento mediante rutinas de programación para que así cualquier fichero de datos de un usuario de la aplicación pueda ser leído y analizado de la misma manera. Para ello se utilizó el entorno de programación matemático Matlab (2015b).

Con los resultados de este pre-análisis se pudieron sacar conclusiones relevantes tanto para la empresa como para realizar el análisis de ciclo de vida.

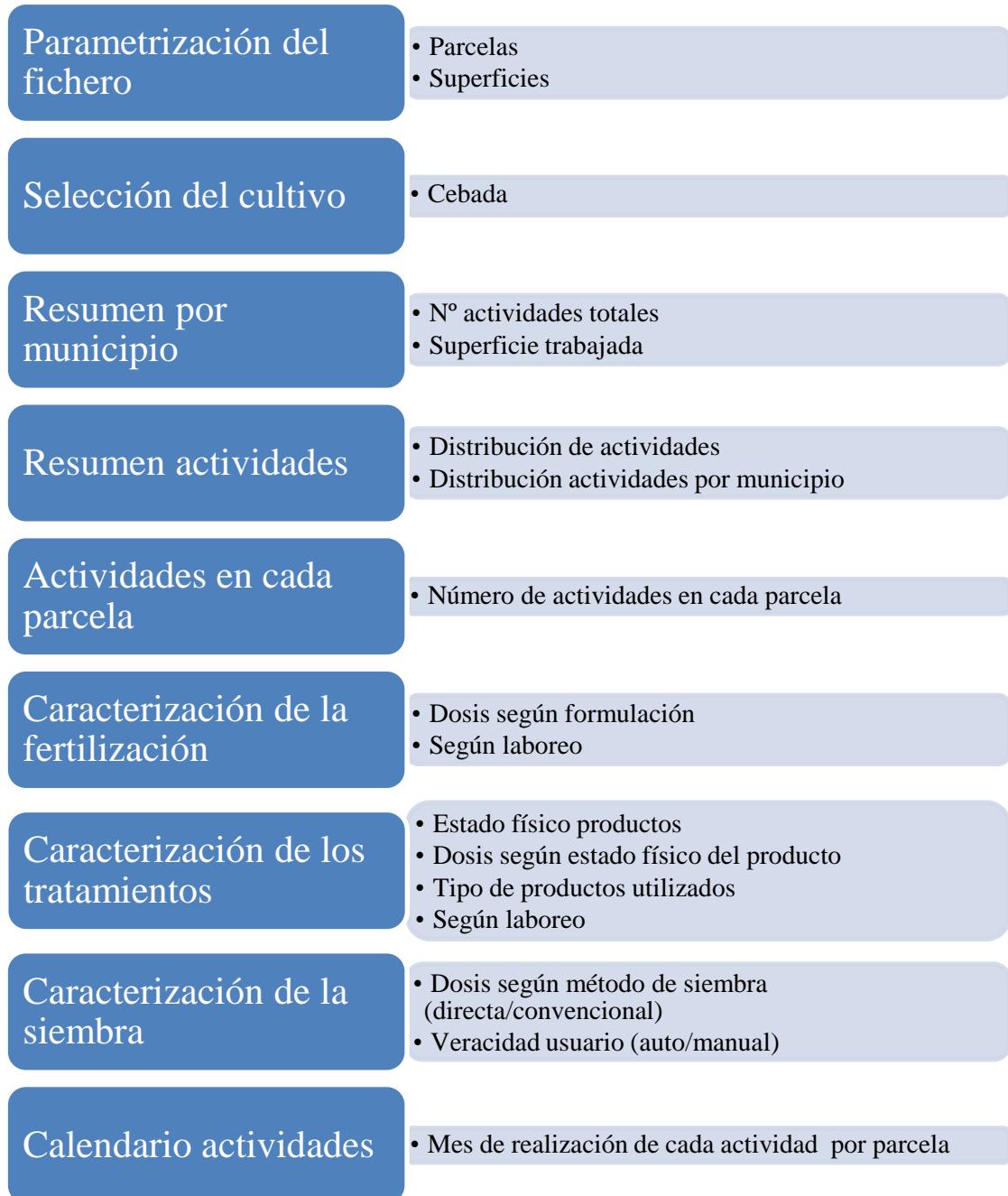


Figura 1. Resumen del procedimiento seguido y las variables generadas (Elaboración propia)

### 3 CARACTERIZACIÓN DE LA EXPLOTACIÓN

En primer lugar se importó el fichero con extensión .xlsx facilitado por la empresa Cropti al programa Matlab. A continuación se seleccionaron los datos necesarios, es decir, los datos referentes al cultivo de cebada, sin hacer distinciones de variedades (*Lamari* y *Pewter*).

Para empezar, se hizo un análisis general de la explotación, tanto de las superficies trabajadas y las actividades que se han llevado a cabo en toda la explotación como las que se han realizado en las parcelas que cultivan el cultivo de cebada.

De 683 actividades realizadas (766,1 ha) 486 corresponden a cebada (488,3 ha), es decir el 71,2 %. De la superficie trabajada total (7.637,7 ha) el 44,25 % son del cultivo de la cebada (3.379,5 ha). En adelante, los datos relativos a este cultivo serán los de referencia.

El concepto de superficie trabajada se refiere a la superficie trabajada en cada actividad (laboreo, siembra, cosecha...) una parcela con un área determinada ha podido ser trabajada más de una vez, por lo tanto su superficie trabajada será el área de la parcela por el número de actividades que se han realizado en dicha parcela.

En la figura 2 se puede observar el histograma que representa el número de actividades totales realizadas según la superficie de las parcelas.

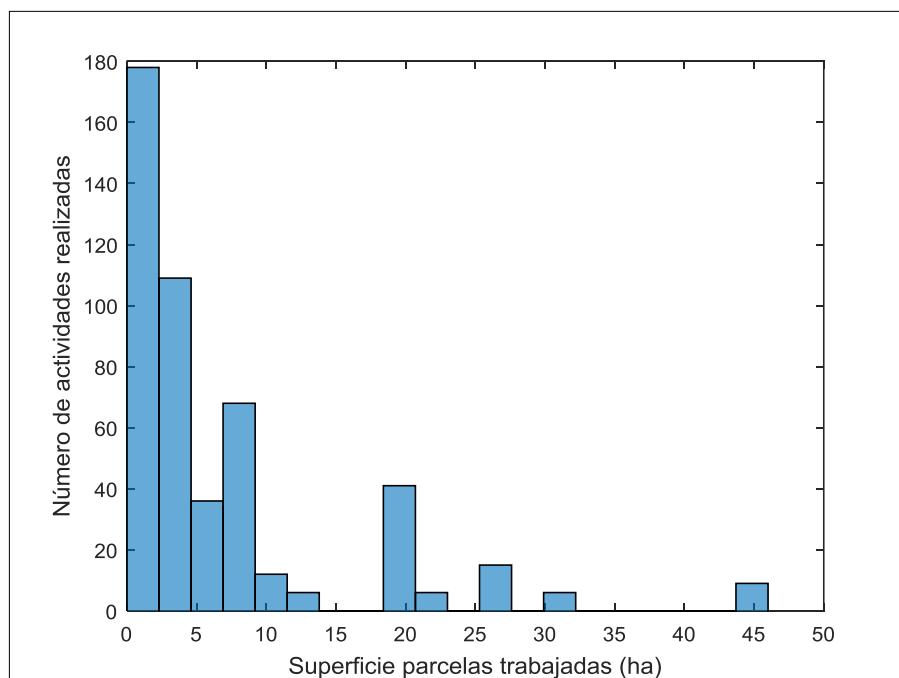


Figura 2. Histograma de superficies trabajadas. (Elaboración propia)

Con este gráfico se deduce que la mayoría de las parcelas tienen una superficie menor de 5 ha y que existen parcelas con tamaños muy diferentes, desde menos de 1 ha hasta 45 ha.

%% Caracterización general  
% identificamos cebada

```

k=1;
for i=2:length(DAT)
    cultivo(k,:)=DAT{i,Dcol_cultivo}(1:4);
    cebada(k,1)=strcmp(CC,cultivo(k,:));
    activ(k,:)=DAT{i,Dcol_tipo_op}(1:4);
    k=k+1;
end
l_cebada=find(cebada);

% extraemos los datos superficie, municipio y actividad
Sup=N(l_cebada,Ncol_sup);
figure
hist(Sup,20)
xlabel('Superficie parcelas trabajadas(ha)')
ylabel('Número de parcelas trabajadas')

```

## 4 CARACTERIZACIÓN POR MUNICIPIOS

Los municipios en los que se encuentran las parcelas de cebada de la explotación estudiada son Chinchilla de Monte-Aragón, Valdeganga y Albacete con código SIGPAC 29, 75 y 900 respectivamente.

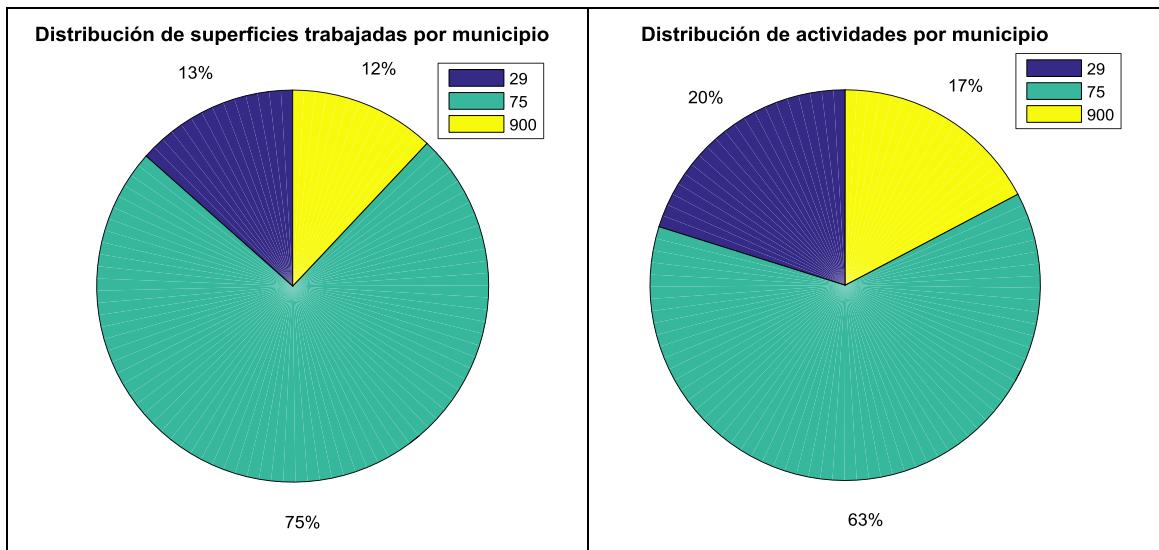


Figura 3. Gráficos resumen por municipios. Azul Chinchilla de Monte-Aragón, verde-turquesa Valdeganga y amarillo Albacete. (Elaboración propia)

Se puede deducir por la figura 3, que la mayoría de las parcelas están en el municipio de Valdeganga o que en él se encuentran las parcelas de mayor tamaño, ya que es donde se realizan mayor número de actividades.

```

Mun=N(l_cebada,Ncol_mun);
activ=activ(l_cebada);

% reselecciónamos datos numéricos
N_sel=N(l_cebada,:);

% primer resumen por municipios

```

```

tabla=tabulate(Mun);
res_1=tabla(nombres,:);

for i=1:length(nombres)
    res_1(i,4)=sum(Sup(find(Mun==nombres(i))));
end

% graficos
for j=1:length(nombres)
    leyenda{j}= num2str(nombres(j));
end

figure
pie(res_1(:,4),leyenda)
title('Distribución de superficies trabajadas por municipio')
legend(leyenda)

figure
pie(res_1(:,2),leyenda)
title('Distribución de actividades por municipio')
legend(leyenda)

```

## 5 CARACTERIZACIÓN DE LAS ACTIVIDADES

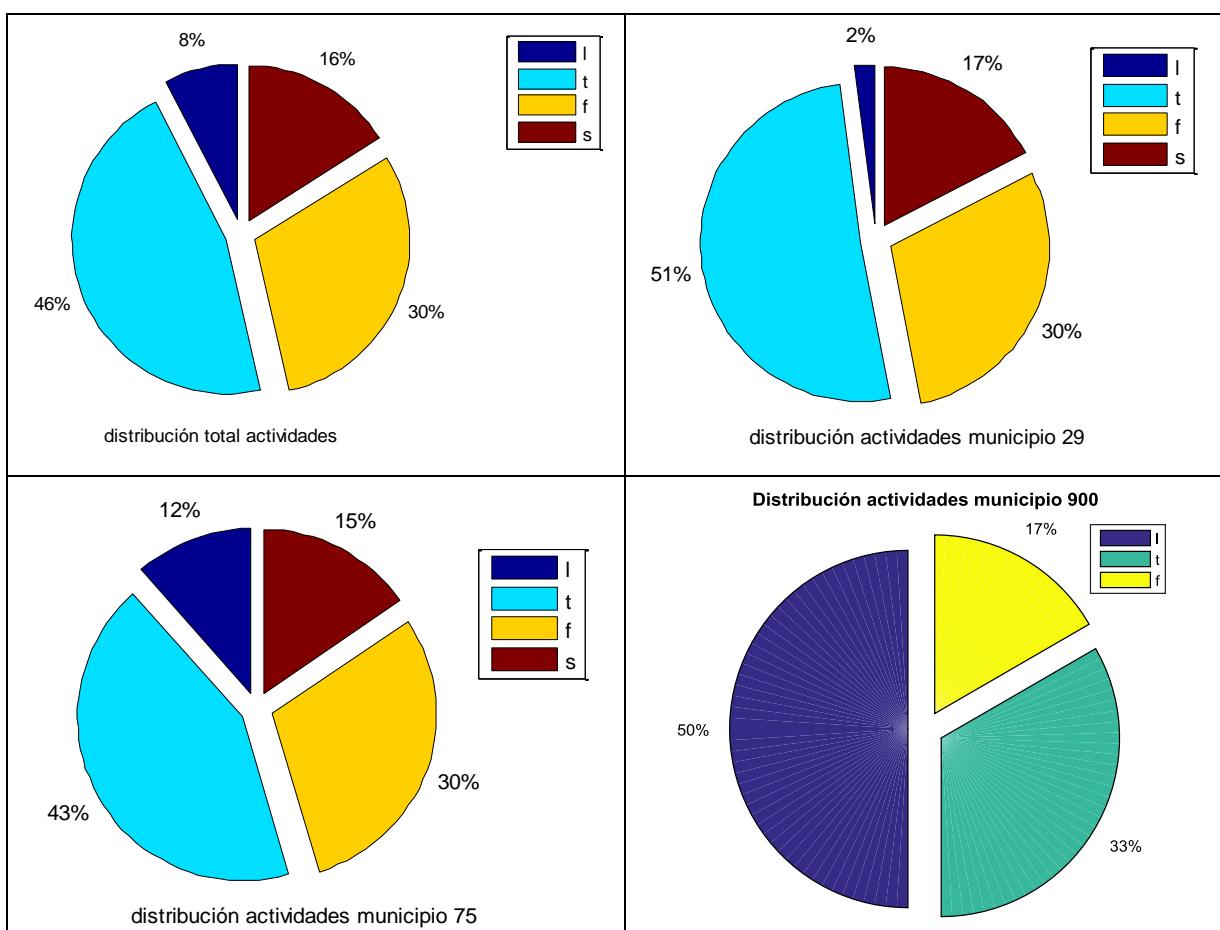


Figura 4. Distribución de actividades totales y por municipio. Tipos de actividades: l=laboreo, t=tratamientos fitosanitarios, f=fertilización y s=siembra. (Elaboración propia)

De los gráficos de la figura 4 se pueden obtener algunas conclusiones. La primera que salta a la vista es que la operación agrícola que más se repite en esta explotación, con diferencia, es la de aplicación de tratamientos fitosanitarios. Cabría la posibilidad de que la actividad más registrada en los cuadernos fuese ésta ya que es la obligatoria, (pero nos consta que este usuario lleva una contabilidad rigurosa de todas sus actividades).

La segunda conclusión a la que se llega es que existe gran parte de las parcelas donde se lleva a cabo la siembra directa ya que en todos los municipios el número de actividades de laboreo es siempre inferior al de siembra, resaltando el caso del municipio 900 en el que se lleva una práctica exclusiva de no laboreo.

```

res_2=tabulate(activ);

% tablas de actividades por municipios
for i=1:length(nombres)
    % tabla general
    tmp=find(Mun==nombres(i));
    tabla=tabulate(activ(tmp));
    % tabla por municipios
    for j=1:size(tabla,1)
        for l=1:size(res_2)
            if tabla{j}==res_2{l}
                res_2{l,i+3}=tabla{j,2};
            end
        end
    end
    for l=1:size(res_2,1)
        if isempty(res_2{1,i+3})
            res_2{1,i+3}=0;
        end
    end
end

% Extraemos los datos numericos de las actividades
for i=1:size(res_2,1)
    res_activ(i,1)=res_2{i,1};
    for j=2:size(res_2,2)
        res_ac_num(i,j-1)=res_2{i,j};
    end
end
figure
pie(res_ac_num(:,1),res_activ)
title('Distribución total actividades')
legend(res_activ)

for j=3:size(res_ac_num,2)
    figure
    pie(res_ac_num(:,j),res_activ)
    título=['Distribución actividades municipio ' num2str(res_1(j-2,1)) ]
    title(título)
    legend(res_activ)
end

```

## 6 CARACTERIZACIÓN DE LAS PARCELAS

En el fichero que proporcionó la empresa no estaban identificadas las diferentes parcelas por lo que para poder llevar a cabo un estudio de cada una, se buscó el número idéntico de la superficie SIGPAC, que tiene cuatro números decimales, es decir existe una probabilidad muy baja de que dos parcelas tengan exactamente el mismo área. De este modo se pudieron identificar 76 parcelas.

Puesto que los datos se refieren a una campaña agrícola completa (17/08/2014 - 29/07/2015) podemos comprobar si todas las actividades están registradas: debería haber al menos una siembra por parcela.

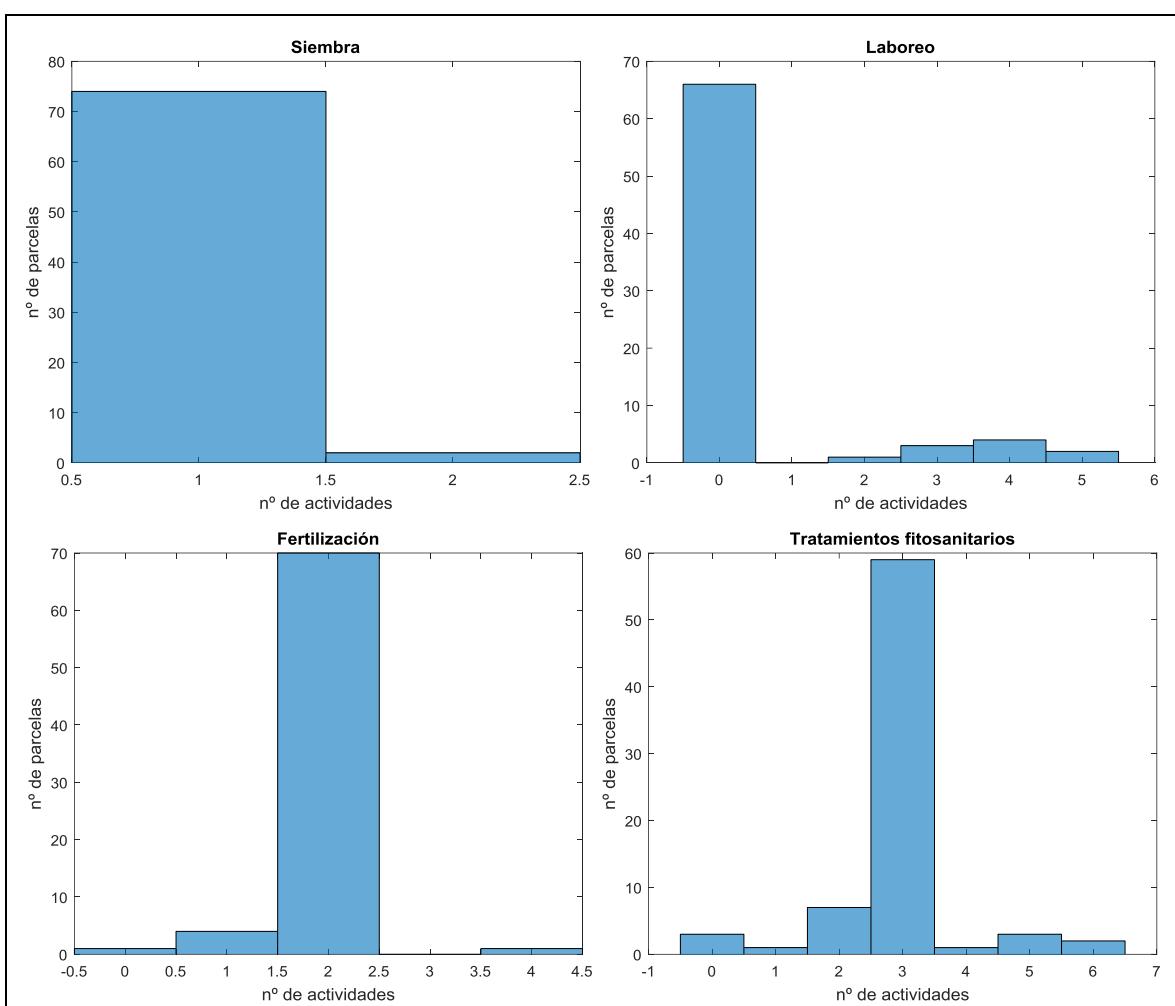


Figura 5. Gráficos que representan el número de parcelas que realizan cada actividad una o más veces.  
(Elaboración propia).

Tabla 2. Número de actividades (laboreo, siembra, tratamientos fitosanitarios y fertilizaciones) en cada parcela. (Elaboración propia)

Actividad	nº	Parcelas																					
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Laboreo	37	3	0	0	0	0	4	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0
Tratamiento fitosanitario	223	2	3	3	3	3	0	3	1	3	2	3	3	6	3	3	3	3	3	3	0	3	3
Fertilización	148	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	4	2	2	2	2	2	2	2	1	2
Siembra	78	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1

	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
L	3	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T	2	4	3	0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
F	2	2	2	2	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
S	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76
L	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5	0	0	0	0	4
T	3	3	3	3	3	3	3	2	3	5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	6	2	2	3	5	3	3	2
F	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
S	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1

La tabla 2 reproduce el número de actividades (laboreos, tratamientos fitosanitarios, fertilizaciones y siembras) que se realiza en cada parcela, siendo la segunda columna el total de actividades. Resaltadas en verde las parcelas en las que se práctica el no laboreo y en naranja en las parcelas que se han realizado dos siembras.

Con los gráficos de la figura 5 y la tabla 2 se comprueba que hay 78 siembras (en 76 parcelas), en dos parcelas se han realizado dos siembras, al buscar qué tipo de parcelas son, se ve que en un caso tiene una superficie de 44 ha (que puede suponer dos días de trabajo) y en el otro es un agricultor que hace el doble de actividades que los demás (12 respecto a 6, se piensa que podría tratarse de un trabajador a tiempo parcial). En el resto de los casos efectivamente siempre es 1 siembra por parcela, luego los datos son consistentes.

Según este esquema también es posible identificar los sistemas de laboreo. Detectamos dos comportamientos: no laboreo (0 pases) y laboreo convencional (3 a 5 pases), siendo la práctica más utilizada el no laboreo (87 % de las parcelas).

Se puede observar que la mayoría de las parcelas reciben dos actividades de fertilización, las cuales podrían corresponder a un abonado de fondo y otro de cobertura.

Son tres el número de tratamientos fitosanitarios que más se aplica por parcela, surge la duda de si se trata de un mismo tratamiento llevado a cabo en varios días o si realmente son diferentes tratamientos, aunque las dimensiones de las parcelas apuntan a la segunda situación.

```
% resumen de actividades totales
activ_parcelas=tabulate(activ);
parcelas=tabulate(Sup);

% resumen de actividades por parcelas
for i=1:length(parcelas)
    % tabla general
    tmp=find(Sup==parcelas(i));
    tabla=tabulate(activ(tmp));
    % tabla por municipios
    for j=1:size(tabla,1)
        for l=1:size(activ_parcelas)
            if tabla{j}==activ_parcelas{l}
                activ_parcelas{l,i+3}=tabla{j,2};
            end
        end
    end
    for l=1:size(activ_parcelas,1)
        if isempty(activ_parcelas{l,i+3})
            activ_parcelas{l,i+3}=0;
        end
    end
end

%Completar con ceros
for i=1:size(activ_parcelas,1)
    res_parcelas(i,1)=activ_parcelas{i,1};
    for j=2:size(activ_parcelas,2)
        res_acpar_num(i,j-1)=activ_parcelas{i,j};
    end
end

% figuras
for i=1:size(res_2,1)
    % figuras
    figure
    hist(res_acpar_num(i,3:end))
    title(['actividad: ' res_2(i)])
    xlabel('nº de actividades')
    ylabel('nº de parcelas')
    grid on
end
```

## 7 CARACTERIZACIÓN DE LA FERTILIZACIÓN

Se procede a analizar detenidamente la actividad de fertilización. En primer lugar se hace un acercamiento a las dosis utilizadas.

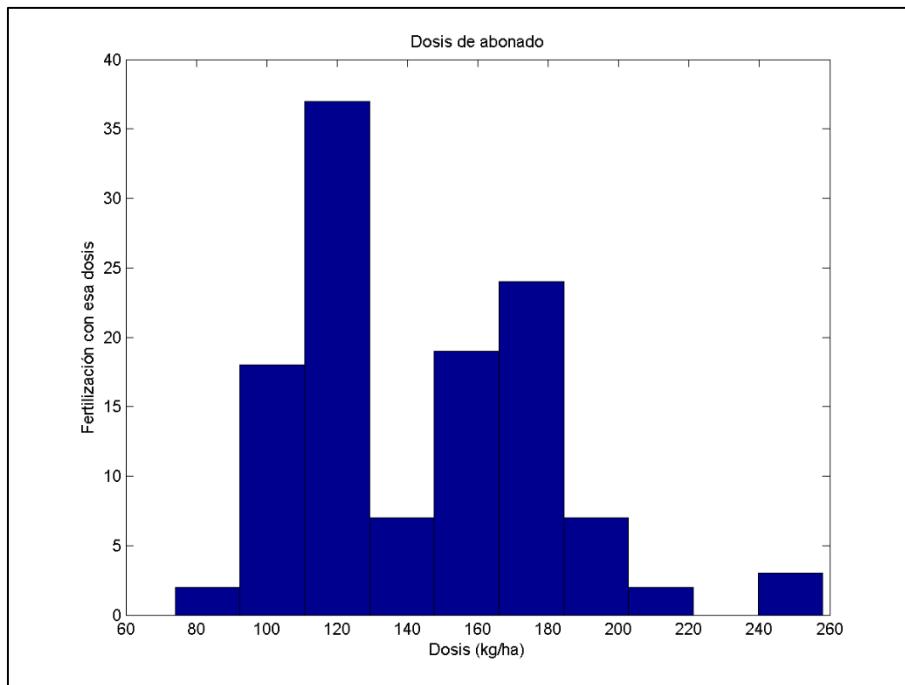


Figura 6. Histograma del número de fertilizaciones realizadas según la dosis (kg/ha) . (Elaboración propia)

Se advierte que la mayoría de las dosis aplicadas son 120 kg/ha, existen una gran cantidad de actividades que aplican dosis entre 100 y 200 kg/ha, además se aprecian datos extremos, habiendo desde 80 hasta 260 kg/ha.

```
%ABONADO
ABO=find(activ=='f');
%ABO=Líneas donde hay fertilización
%extraemos dosis fertilización
for i=1:length(ABO)
    if length(DAT{l_cebada(ABO(i))+1,Dcol_dosis_fert})==0
        D_abonado(i,1)=0;
    elseif length(DAT{l_cebada(ABO(i))+1,Dcol_dosis_fert})<6
        pause
    else length(DAT{l_cebada(ABO(i))+1,Dcol_dosis_fert})>=6
        D_abonado(i,1)=str2num(DAT{l_cebada(ABO(i))+1,Dcol_dosis_fert}(1:end-6));
    end
end
dato_ABO=find(D_abonado>0);

figure
hist(D_abonado(dato_ABO))
title('Dosis de abonado')
xlabel('Dosis (kg/ha)')
ylabel('Fertilización con esa dosis')
```

En los datos brutos se distinguen cuatro fertilizantes diferentes con sus respectivas formulaciones NPK (nitrógeno, fósforo y potasio).

Tabla 3. Formulaciones de los fertilizantes. (Elaboración propia)

	N	P	K
1	40	0	0
2	10	26	0
3	45	0	0
4	18	46	0

Estos fertilizantes tienen diferentes características. El primero y el tercero de ellos son abonos nitrogenados y los otros dos tienen fósforo, además del nitrógeno; no poseyendo ninguno de ellos potasio.

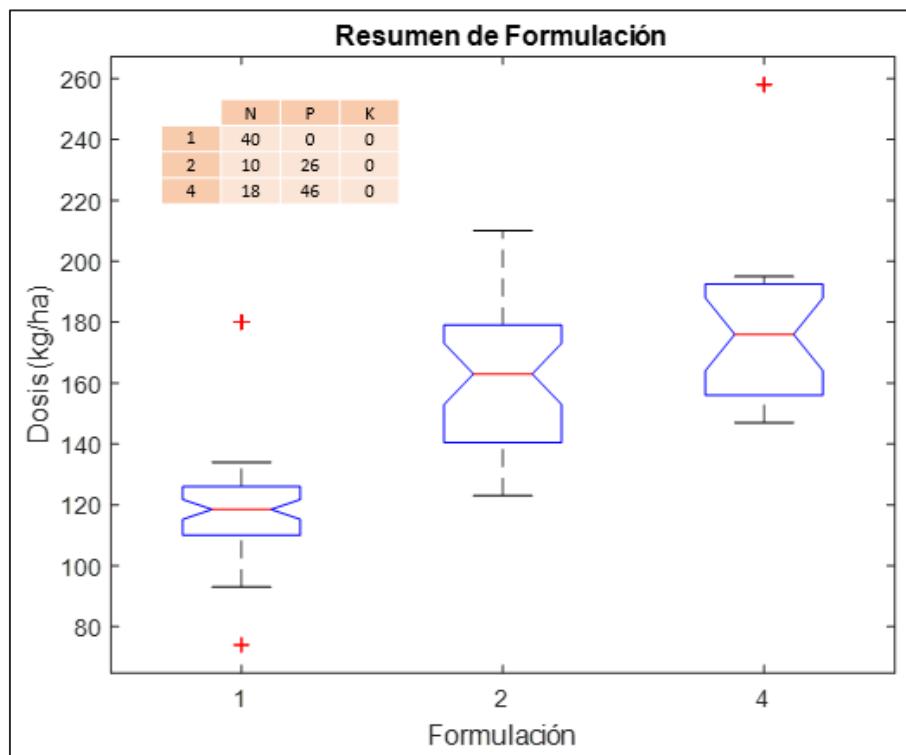


Figura 7. Dosis de fertilización (kg/ha) según la formulación. (Elaboración propia)

En la figura 7 se puede apreciar dos tendencias claras. La primera de ellas equivale a un abonado de cobertura, se realiza cuando el cultivo está establecido, usando el fertilizante número 1, el cual no posee fósforo y tiene dosis de aproximadamente 120 kg/ha. En segundo lugar se encuentra el abonado de fondo, que se realiza antes de la siembra, utilizando los fertilizantes 2 y 4, los cuales poseen fósforo y tienen dosis mucho mayores 160 kg/ha. Se puede apreciar fácilmente que existen valores que son extremos (representados por cruces rojas en la figura 7), dosis que están muy por encima o muy por debajo del comportamiento típico. Éstos son los casos en los que cabría preguntarse

si el agricultor está llevando a cabo un buen manejo o incluso comparar los rendimientos de las parcelas que han utilizado dosis más bajas con los rendimientos obtenidos por las parcelas que han recibido el manejo mayoritario.

```
%extraemos la formulación del fertilizante
for i=1:length(ABO)
tmp=find(DAT{l_cebada(ABO(i))+1,Dcol_formulacion_fert}==1);
if length(tmp)==2
    NPK(i,1)=str2num(DAT{l_cebada(ABO(i))+1,Dcol_formulacion_fert}(1:tmp(1)-1));
    NPK(i,2)=str2num(DAT{l_cebada(ABO(i))+1,Dcol_formulacion_fert}(tmp(1)+1:tmp(2)-1));
    NPK(i,3)=str2num(DAT{l_cebada(ABO(i))+1,Dcol_formulacion_fert}(tmp(2)+1:end));
end
end

if length(dato_ABO)>=1
    F_ABO_parcelas=[Sup(ABO(dato_ABO)) D_abonado(dato_ABO) NPK(dato_ABO,:)];
    %F_ABO_parcelas=matriz de formulación y dosis según parcela(sup)
else
    F_ABO_parcelas=[];
end

if length(F_ABO_parcelas)>=1
    for i=1:length(F_ABO_parcelas)
        F_ABO_parcelas(i,6)=find(sum(repmat(F_ABO_parcelas(i,3:5),size(FF,1),1)-FF,2)==0);
    end
end
%F_ABO_parcelas=parcelas(sup), dosis, formulación, clasificación
%formulación

%resumen formulación

if length(F_ABO_parcelas)>=1
    [p,table,stats] = anova1(F_ABO_parcelas(:,2),F_ABO_parcelas(:,6));
    xlabel('Formulación')
    ylabel('Dosis (kg/ha)')
    title('Resumen de fertilización según formulación')
end
```

## 8 CARACTERIZACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS FITOSANITARIOS

Los datos de los tratamientos fitosanitarios son muy heterogéneos, hay unidades muy diversas (lt/ha, lts/ha, l/Ha, grs/ha, kgrs/ha...), dosis que no poseen unidades y datos erróneos.

Se distinguen dos tipos de productos según el estado físico (sólido y líquido).

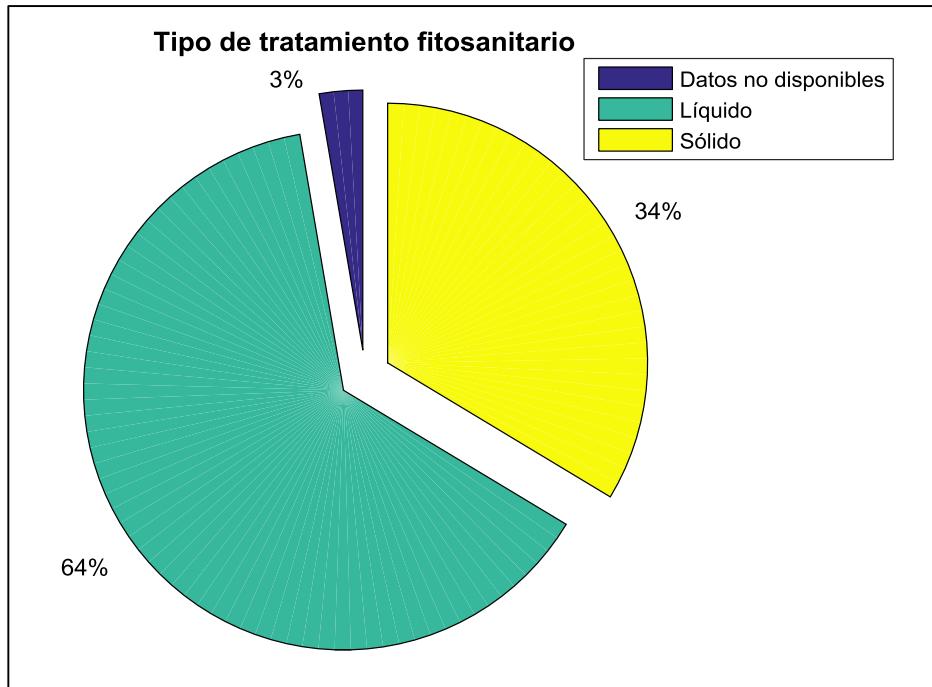


Figura 8. Utilización de productos fitosanitarios según su estado físico. (Elaboración propia)

En la figura 8 se descubre que los productos más utilizados son de tipo líquido, 64%, frente a un 34% de productos sólidos.

```
%% TRATAMIENTOS FITOSANITARIOS
ttos=find(activ=='t');
productos_id=N(activ,Ncol_idfito);

%Clasificación productos Sólido/Líquido

for i=1:size(ttos,1)
    tmp=[DAT{l_cebada(ttos(i))+1,Dcol_dosis_fito} '' DAT{l_cebada(ttos(i))+1,Dcol_ud_dosis_fito}];
    tmp4{i,1}=tmp;
    tmp2=find(tmp==' ');
    if length(tmp)==1
        tipo_fit(i,1)=0;
    elseif isempty(tmp2)==0
        if sum(tmp)==T)>=1
            tipo_fit(i,1)=1;
        elseif sum(tmp=='g')>=1
            tipo_fit(i,1)=2;
        end
    end
    clear tmp
end

% tiop_fit: líquido=1, sólido=2
% Tfito= dosis fitos(DAT col 22), sólido/líquido

for i=1:length(tmp4)
    tmp=find(tmp4{i,1}=='/');
    if length(tmp)==2
        tipo_fit(i,1)=0;
    elseif find(tmp4{i,1})==T)
```

```

    tipo_fito(i,1)=0;
end
end

res_tfito=tabulate(tipo_fito);

% tiop_fito=líquido=1, sólido=2, no disponible=0

figure
explode=mod(1:size(res_tfito,1),2);
pie(res_tfito(:,2),explode)
title('Tipo de tratamiento fitosanitario')
clear leyenda
for j=1:size(res_tfito,1)
    if res_tfito(j)==0
        leyenda{j}='Datos no disponibles';
    elseif res_tfito(j)==1
        leyenda{j}='Líquido';
    elseif res_tfito(j)==2
        leyenda{j}='Sólido';
    end
end
legend(leyenda)

```

Seguidamente se estudió las dosis utilizadas en este tipo de operación.

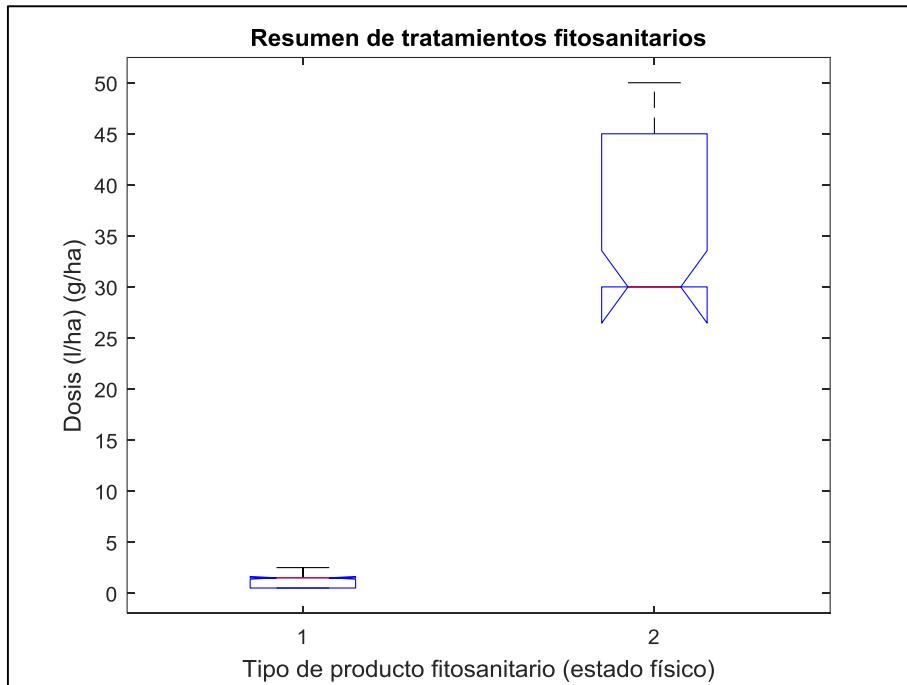


Figura 9. Dosis según el estado físico del producto. Siendo el 1 productos líquidos y el 2 productos sólidos. (Elaboración propia)

Según el tipo de producto utilizado (líquido o sólido) la dosis de aplicación varía. En los productos líquidos la dosis es muy uniforme y es en torno a 1 l/ha y en los productos sólidos el 50% de las dosis suministradas son de 30 g/ha el resto es superior a este valor (figura 10).

## % Extracción dosis

```

for i=1:size(tmp4,1)
    if tipo_fito(i,1)==1
        if sum(tmp4{i}=='.')==1
            D_fito(i,1)=str2num(tmp4{i}(1:3));
        else
            try
                D_fito(i,1)=str2num(tmp4{i}(1));
            catch
                D_fito(i,1)=0;
            end
        end
    elseif tipo_fito(i,1)==2
        try
            D_fito(i,1)=str2num(tmp4{i}(1:2));
        catch
            D_fito(i,1)=0;
        end
    end
end

Sel=find(D_fito);
if length(Sel)>=1
    [p,table,stats] = anova1(D_fito(Sel),tipo_fito(Sel));
    xlabel("Tipo de producto fitosanitario (estado físico)")
    ylabel("Dosis (l/ha) (g/ha)")
    title("Resumen de tratamientos fitosanitarios")

```

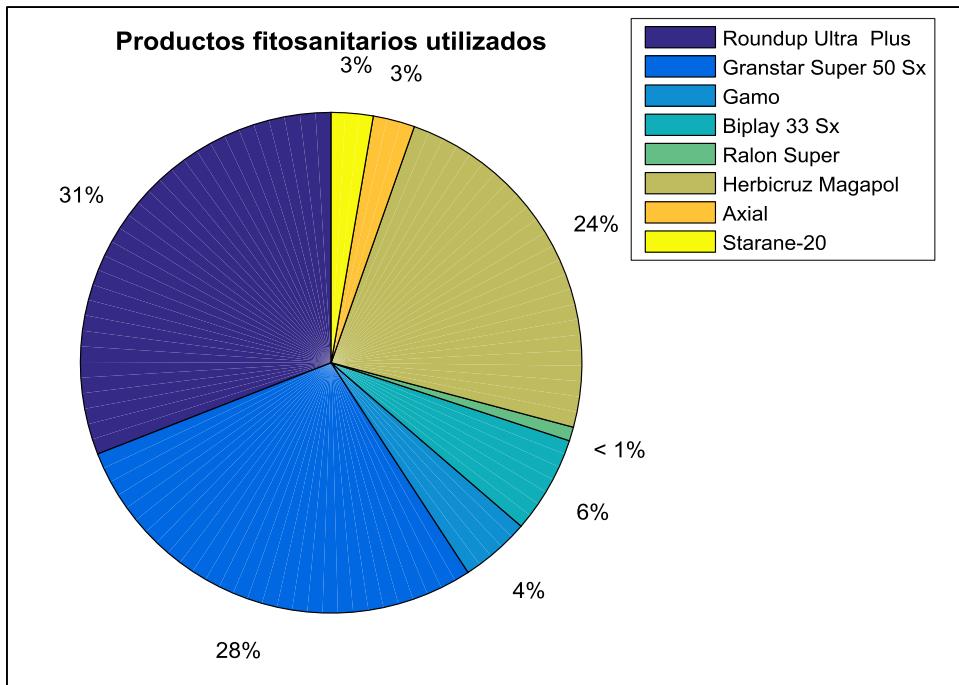


Figura 10. Tipologías de los productos fitosanitarios utilizados. (Elaboración propia)

A continuación se estudió los tipos de productos comerciales empleados en los 223 tratamientos fitosanitarios realizados en las 76 parcelas que cultivan cebada de la explotación. Todos los productos usados son herbicidas y los más utilizados son el *Roundup Ultra Plus* (31%) y el *Granstar Super 50 Sx* (28%).

```
%producto fitosanitario
for i=1:size(ttos,1)
    prod_fito{i,1}=DAT{1_cebada(ttos(i))+1,Dcol_prod_fito};% nombre producto fito
end

res_prfito=tabulate(prod_fito);

for i=1:size(res_prfito,1)
    res_prfito_num(i,1)=res_prfito{i,2};
    res_prfito_num(i,2)=res_prfito{i,3};%frecuencia de producto en operación
end

figure
pie(res_prfito_num(:,1))
legend(res_prfito{:,1})
title('Productos fitosanitarios utilizados')
```

Por último se examinó si había alguna correlación entre el número de tratamientos fitosanitarios y el número de pases de laboreo.

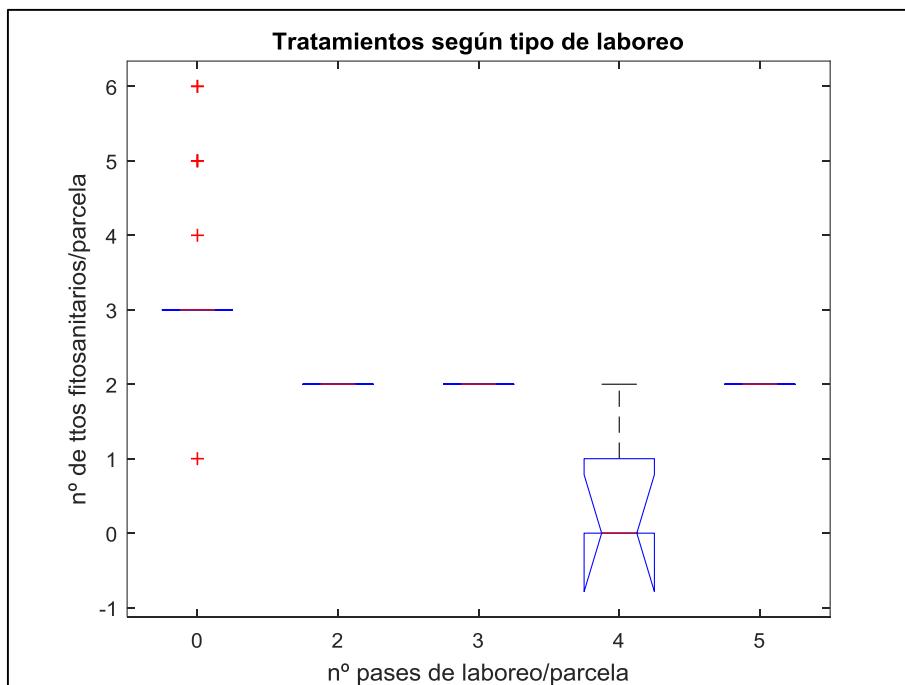


Figura 11. Tratamientos fitosanitarios según número de pases de laboreo en cada parcela. (Elaboración propia)

Se puede observar en la figura 11 que según el tipo de laboreo llevado a cabo se dan tratamientos muy uniformes. Para el no laboreo (0 pases de laboreo) la mayoría de las

parcelas son tratadas tres veces, habiendo datos excepcionales (1, 4, 5 e incluso 6 pasos). Mientras que cuando hay 2, 3 y 5 pasos de laboreo sólo se realizan 2 tratamientos. Y por último cuando se realizan 4 pasos, en la mayoría de los casos no se realiza ningún tratamiento. Recordando que estos datos están representados por parcela y que la mayoría de ellas tenían un comportamiento de no laboreo (66/76 parcelas, 87 %).

```
% reanalizamos tratamientos segun tipo laboreo
M=[(1:76)' parcelas(:,1) (res_acpar_num(2,3:end)') (res_acpar_num(1,3:end))];%orden, parcelas, nº
ttos, nºpasos laboreo
[p,table,stats] = anova1(M(:,3),M(:,4));
xlabel('nº pasos de laboreo/parcela')
ylabel('nº de ttos fitosanitarios/parcela')
title('Tratamientos según tipo de laboreo')
```

## 9 CARACTERIZACIÓN DE LA SIEMBRA

Para la operación de la siembra se analizan el método utilizado (siembra directa y siembra convencional) y la dosis aplicada.

Se ha verificado la veracidad del usuario comparando los datos insertados por el mismo en la opción del tipo de siembra y el tipo de laboreo realizado (número de pasos). El resultado obtenido ha sido 68 parcelas con siembra directa (datos manuales) frente a 66 parcelas, datos obtenidos a través de la contabilización de las parcelas que no han realizado ningún pase (no laboreo). Las parcelas que difieren entre datos manuales y automáticos son dos, en ellas se afirma haber hecho siembra directa pero a la vez haber hecho cinco pasos de laboreo. Todos los demás datos parecen congruentes.

```
%% SIEMBRA

siembra=find(activ=='s');
if length(siembra)>=1
    %extraemos de DAT los datos que nos interesan
    for i=1:size(siembra,1)
        dat_siembra{i,1}=DAT{1_cebada(siembra(i))+1,Dcol_metodo_simbra};% metodo
        dat_siembra{i,2}=DAT{1_cebada(siembra(i))+1,Dcol_dosis_siembra};% dosis
    end

    %clasificamos tipo de siembra
    for i=1:size(dat_siembra,1)
        if strcmp('siembra directa',dat_siembra{i,1})==1
            dat_num_siembra(i,1)=1;
        elseif strcmp('Siembra directa',dat_siembra{i,1})==1
            dat_num_siembra(i,1)=1;
        elseif strcmp('siembra convencional',dat_siembra{i,1})==1
            dat_num_siembra(i,1)=2;
        elseif strcmp('siembra tradicional',dat_siembra{i,1})==1
            dat_num_siembra(i,1)=3;
        end
    end
```

```

dat_num_siembra(i,1)=2;
elseif strcmp('Siembra tradicional',dat_siembra{i,1})==1
    dat_num_siembra(i,1)=2;
end
end
%comprobacion veracidad del usuario
tmp=[Sup(siembra) dat_num_siembra];% datos del usuario
tmp2=sortrows(tmp,1); % puede tener mas lineas que parcelas
tmp3=[parcelas(:,1) ((res_acpar_num(1,3:end))>0)+1];
for i=1:length(parcelas)
    for j=1:length(tmp2)
        if abs(parcelas(i,1)-tmp2(j,1))<tol
            tmp5(i,:)=[tmp3(i,:) tmp2(j,:)];
        end
    end
end
end

% datos automaticos segun laboreo
'parcelas con siembra directa: auto y manual'
[sum(tmp5(:,2)==1) sum(tmp5(:,4)==1)]

```

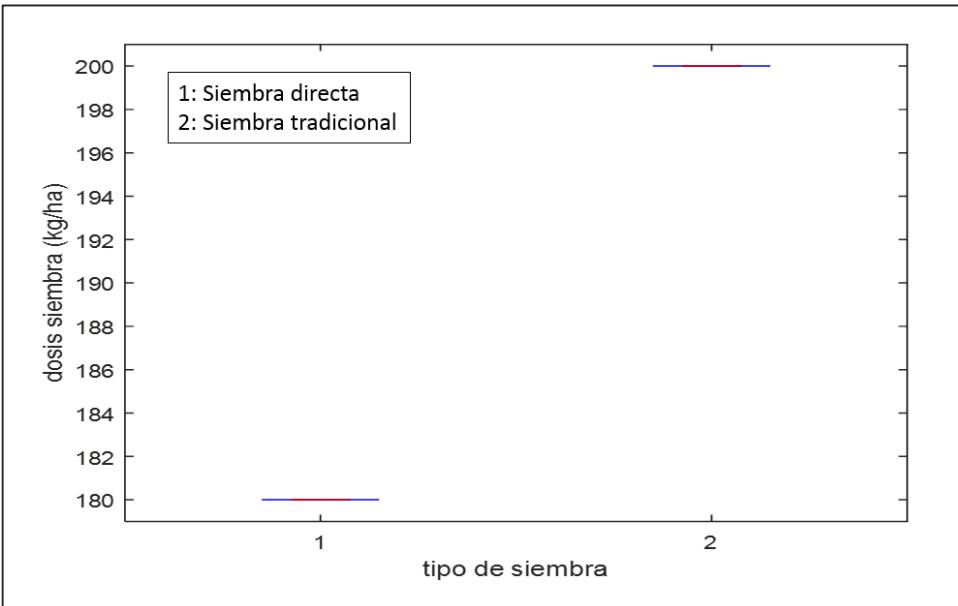


Figura 12. Dosis según el método de siembra. (Elaboración propia)

Se comprueba que según el tipo de siembra realizada, se dan diferentes dosis. Para siembras directas (no laboreo) se suministran 180 kg/ha mientras que para siembras convencionales (mínimo laboreo o laboreo tradicional) se aplican dosis de 200 kg/ha. Es desconcertante, ya que normalmente para las siembras directas se suelen utilizar dosis más altas para asegurar la germinación en condiciones restrictivas, pero puede ser debido a que las parcelas donde se ha realizado la siembra convencional sean en las que se espera mayores rendimientos.

De este gráfico (figura 12) también sorprende la poca variabilidad en cuanto a cantidades de semillas sembradas, el 100 % de las parcelas aplica la misma dosis dependiendo de si son siembras directas o convencionales, no existe ninguna variación dependiendo la edafología o la textura del suelo, la pendiente o la presencia de piedras. Este podría ser un aspecto en el que cabría un margen amplio de mejora.

```
%extraemos dosis
k=1;
for i=1:size(dat_siembra,1)
    if length(dat_siembra{i,2})>0
        dosis_siembra(k,1)=dat_num_siembra(i,1);
        dosis_siembra(k,2)=str2num(dat_siembra{i,2}(1:3));
        k=k+1;
    end
end

% anova sobre dosis de siembra
[p,table,stats] = anova1(dosis_siembra(:,2),dosis_siembra(:,1));
xlabel('Tipo de siembra')
ylabel('Dosis siembra (kg/ha)')% 1=siembra directa,2=siembra convencional

% reanalizamos tratamientos segun tipo laboreo
M=[(1:76)' parcelas(:,1) (res_acpar_num(2,3:end)) (res_acpar_num(1,3:end))];%orden, parcelas, nº
ttos, nºpasos laboreo
[p,table,stats] = anova1(M(:,3),M(:,4));
xlabel('nº pasos de laboreo/parcela')
ylabel('nº de ttos fitosanitarios/parcela')
title('Tratamientos según tipo de laboreo')
end
```

## 10 CALENDARIO

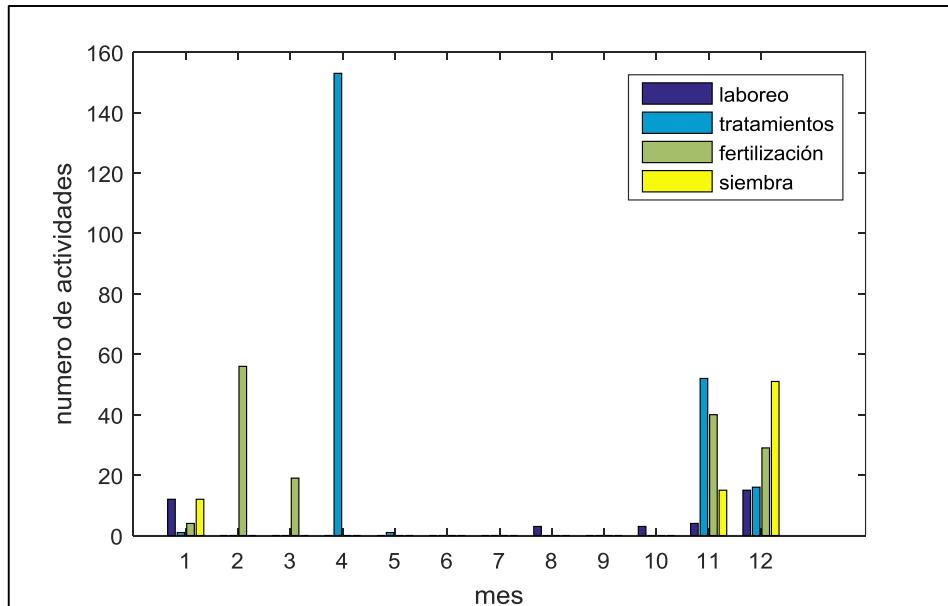


Figura 13. Mes de realización de cada actividad. (Elaboración propia)

Para terminar este pre-análisis se estudiaron las fechas de realización de cada operación agrícola en cada parcela. Para ello se hizo un calendario de actividades (figura 13).

En la figura 13 se puede ver que la siembra se realiza en los meses de noviembre, diciembre y enero, sobre todo en el segundo. Se aplican abonados presiembra o de fondo (en los mismos meses que la siembra) y abonados postsiembra o de cobertura en los meses de febrero y marzo. Los pasos de laboreo se realizan en los meses previos a la siembra, como es lógico, ya que esta operación se hace para preparar el terreno. Y por último se puede apreciar que los tratamientos fitosanitarios se aplican también en los meses de noviembre y diciembre; mas la mayoría de estas actividades se hacen en el mes de abril, en el cual se realizan más de 140 operaciones, es decir, aproximadamente 2 operaciones por parcela en este mes.

```
%% Calendario
for i=1:size(l_cebada,1)
    fechas{i,1}=Sup(i);
    fechas{i,2}=activ(i);%operación
    fechas{i,3}=DAT{l_cebada(i)+1,Dcol_fecha_op};%fechas
end
fechas=sortrows(fechas,1);

for i=1:size(fechas,1)
    tmp=find(fechas{i,3}==s_fecha);
    if length(tmp)==2
        fechas{i,4}=str2num(fechas{i,3}(1:tmp(1)-1));%día
        fechas{i,5}=str2num(fechas{i,3}(tmp(1)+1:tmp(2)-1));%mes
        fechas{i,6}=str2num(fechas{i,3}(tmp(2)+1:end));%año
    end
end
clear tmp

fechas_cell=[fechas(:,4:6)]
fechas_cell2=[fechas(:,2)]

fechas_num=cell2mat(fechas_cell);
fechas_activ=cell2mat(fechas_cell2);
clear fechas_cell fechas_cell2

% calendario global
calendario(:,1)=(1:12)';
tmp=tabulate(fechas_num(:,2));
calendario(tmp(:,1),2)=tmp(:,2);
clear tmp

for j=1:size(res_activ,1)
    tmp=find(fechas_activ==res_activ(j));
    tmp2=tabulate(fechas_num(tmp,2));
    calendario(tmp2(:,1),j+2)=tmp2(:,2);
end

figure
```

```
bar(calendario(:,3:end))
legend(res_activ)
xlabel('mes')
ylabel('numero de actividades')
```

## 11 CONCLUSIÓN

Después de realizar este pre-análisis se concluye que es necesario realizar una depuración de datos para eliminar datos erróneos. No obstante, la información proporcionada por los cuadernos de campo es suficiente como punto de partida para el cálculo ACV.



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS AGRÓNOMOS



**DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN INFORMÁTICA  
PARA EL CÁLCULO DE INDICADORES AMBIENTALES  
(HUELLA DE CARBONO) EN ACTIVIDADES  
AGRÍCOLAS A PARTIR DE LOS CUADERNOS  
DIGITALES DE EXPLOTACIÓN (CDE)**

**ANEJO V**

**CÁLCULO DEL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA  
DIAGRAMA DE FLUJO**

Lucía Arrúe Gonzalo

Diciembre de 2015

Tutora: Pilar Barreiro Elorza

Cotutor: Diego Ruiz Amador

Promotor: Cropti

# ANEJO V. ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA. DIAGRAMA DE FLUJO

---

## CONTENIDO

1	CULTIVO PATRÓN: CEBADA .....	7
2	ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA .....	9
2.1	Objetivos y alcance .....	9
2.1.1	Objetivos.....	9
2.1.2	Alcance .....	10
2.2	Análisis de inventario de ciclo de vida .....	19
2.3	Evaluación del impacto de ciclo de vida.....	21
2.4	Método de cálculo.....	23
2.4.1	Parámetros .....	23
2.4.2	Emisiones unitarias.....	26
2.4.3	Cálculo de emisiones por actividad.....	29
2.4.4	Emisiones por parcela.....	35
2.5	Interpretación de los resultados .....	37
2.5.1	Emisiones por actividad .....	37
2.5.2	Emisiones por parcela.....	45
2.6	Propuestas .....	51
2.7	Discusión de resultados .....	51
3	DIAGRAMA DE FLUJO.....	53
4	BIBLIOGRAFÍA .....	57

**FIGURAS**

Figura 1. Espiguilla de cebada de seis carreras (izquierda) y de dos carreras (derecha) (Pontifica universidad católica de Chile). ....	8
Figura 2. Sistema del producto. (Elaboración propia) .....	10
Figura 3. Etapas consideradas para el cálculo ACV. (Elaboración propia) .....	11
Figura 4. Método de cálculo de ACV (Elaboración propia) .....	23
Figura 5. Comparación de emisiones procedentes de la utilización y del transporte del gasóleo. (Elaboración propia).....	37
Figura 6. Emisiones del gasóleo por unidad de superficie y total en cada actividad, según el tipo de operación realizada. l:laboreo, t:tratamientos fitosanitarios, f:fertilización, s:siembra. (Elaboración propia) .....	38
Figura 7. Histogramas del gasóleo. Número de actividades que han generado una determinada cantidad de emisiones. Arriba: emisiones por unidad de producción, medio: emisiones por unidad de superficie y abajo: emisiones totales. (Elaboración propia).....	39
Figura 8. Emisiones del fertilizante debidas a la fabricación y a la emisión de N <sub>2</sub> O. (Elaboración propia) .....	40
Figura 9. Emisiones por actividad del fertilizante por unidad de superficie y total. Izquierda: según la formulación del fertilizante, derecha: según la dosis (kg/ha). (Elaboración propia) .....	41
Figura 10. Histograma de emisiones del fertilizante por actividad. Superior: emisión por kg producido, medio: emisión por hectárea e inferior: emisiones totales. (Elaboración propia).....	41
Figura 11. Emisiones de los productos fitosanitarios debidas a la fabricación y el transporte. (Elaboración propia) .....	42
Figura 12. Emisiones por actividad del producto fitosanitario total y por unidad superficial según el producto comercial. (Elaboración propia) .....	43
Figura 13. Histogramas de los productos fitosanitarios. Superior: emisiones por kg, medio: emisiones por ha e inferior: emisiones totales. (Elaboración propia) .....	44
Figura 14. Comparación de emisiones según actividad. Superior: por unidad de producción, inferior: emisiones por unidad superficial. (Elaboración propia).....	44
Figura 15. Emisión gasóleo por ha y kg según número de actividades por parcela. (Elaboración propia) .....	46

Figura 16. Histogramas emisiones del gasóleo en cada parcela. Superior: emisiones por kg, medio: emisiones por ha, inferior: emisiones totales. (Elaboración propia) .....	46
Figura 17. Emisiones por parcela del fertilizante total y por unidad superficial según el número de fertilizaciones realizadas. (Elaboración propia) .....	47
Figura 18. Histogramas emisiones del fertilizante en cada parcela. Superior: emisiones por kg, medio: emisiones por ha e inferior: emisiones totales. (Elaboración propia) ....	47
Figura 19. Emisiones de los productos fitosanitarios por ha y por kg según número de tratamientos realizados por parcela. (Elaboración propia) .....	48
Figura 20. Histogramas de productos fitosanitarios. Superior: emisiones por kg, medio: emisiones por ha e inferior: emisiones totales. (Elaboración propia).....	48
Figura 21. Comparación de emisiones por parcela de los insumos por kg producido, por hectárea y total. (Elaboración propia).....	49
Figura 22. Histogramas de emisiones totales por parcela. Superior: emisiones por ha, medio: emisiones por kg e inferior: emisiones totales. (Elaboración propia) .....	50
Figura 23. Diagrama de flujo del cálculo de ACV. (Elaboración propia).....	56

## TABLAS

Tabla 1. Potenciales de calentamiento global.....	13
Tabla 2. Inventario de análisis de ciclo de vida. (Elaboración propia) .....	20
Tabla 3. Evaluación de ciclo de vida. (Elaboración propia).....	22
Tabla 4. Consumos de gasóleo en cada operación agrícola. (Elaboración propia) .....	24
Tabla 5. Elección de los procesos de las unidades fertilizantes a utilizar. (Elaboración propia).....	24
Tabla 6. Productos comerciales fitosanitarios utilizados en la explotación. (Elaboración propia).....	24
Tabla 7. Variables creadas para definir los parámetros. (Elaboración propia).....	25
Tabla 8. Emisiones unitarias de los fertilizantes. (Elaboración propia) .....	26
Tabla 9. Emisiones unitarias de las materias activas de los productos fitosanitarios. (Elaboración propia) .....	27
Tabla 10. Variables creadas de las emisiones unitarias. (Elaboración propia).....	29
Tabla 11. Emisiones del gasóleo en cada operación agrícola. (Elaboración propia) ....	29
Tabla 12. Densidad y estado físico de cada producto fitosanitario. (Elaboración propia)	
.....	33
Tabla 13. Resumen de las emisiones de los insumos en cada actividad con sus respectivas variables y medianas. Fab: emisiones procedentes de la fabricación del insumo, Tpte: emisiones referentes del transporte del insumo, Util: emisiones procedentes de la utilización del insumo. (Elaboración propia).....	45
Tabla 14. Resumen de las emisiones de insumos en cada parcela con sus respectivas variables y medianas. Activ: emisiones procedentes de la fabricación y utilización del insumo, Tpte: emisiones procedentes del transporte del insumo, Fab: emisiones procedentes de la fabricación del insumo. (Elaboración propia).....	49
Tabla 15. Resumen de las emisiones totales en cada parcela con sus respectivas variables y sus medianas. (Elaboración propia) .....	50
Tabla 16. Resumen de las emisiones totales de toda la explotación con sus respectivas variables y sus valores. (Elaboración propia) .....	51
Tabla 17. Emisiones unitarias en kg CO <sub>2</sub> eq/kg de unidad fertilizante (uf) o por materia activa (ma) para la producción, empaquetado y transporte de los agroquímicos. Naranja: datos correspondientes al artículo (Maraseni & Cockfield, 2011), azul: datos correspondientes al proyecto. (Elaboración propia) .....	52

Tabla 18. Consumos de gasóleo y emisiones de CO <sub>2</sub> eq por ha en cada actividad agrícola. Blanco: datos correspondientes al artículo (Maraseni & Cockfield, 2011), azul: datos correspondientes al proyecto. (Elaboración propia).....	52
Tabla 19. Emisiones generadas en una parcela por los diferentes insumos. Blanco: datos correspondientes al artículo (Maraseni & Cockfield, 2011), azul: datos correspondientes al proyecto. (Elaboración propia) .....	53
Tabla 20. Variables que se deben guardar del pre-análisis de datos. (Elaboración propia)	
.....	53

# ANEJO V. ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA. DIAGRAMA DE FLUJO

---

## 1 CULTIVO PATRÓN: CEBADA

La cebada (*Hordeum vulgare L.*) es un cereal y como todos ellos cumple una serie de características; es una planta herbácea, monocotiledónea, de ciclo vegetativo anual y perteneciente a la familia de las gramíneas. La superficie que ocupó este cultivo fue casi 2.800.000 ha y tuvo una producción de casi 7.000.000 de toneladas en el año 2014, fue la mayor superficie y producción de los cereales cultivados en España, según datos del MAGRAMA.

La cebada fue una de las primeras plantas que se domesticaron en el comienzo de la agricultura; se originó en el sudeste de Asia y África septentrional. Este cultivo se emplea en la alimentación del ganado, tanto en grano como en verde para forraje, pero no se queda ahí su uso, también tiene aplicaciones en la industria, para la fabricación de cerveza, en destilería para la obtención de alcohol, como sustitutivo del café en la preparación de maltas, para la elaboración de azúcares, para preparados de productos alimenticios y la elaboración de harinas para panificación. Además se utiliza para la obtención de biocombustibles.

En cuanto a la morfología, este cereal posee una raíz fasciculada y fibrosa; con un tallo erecto, grueso y con 6 u 8 entrenudos, su altura es variable entre 0.5-1 m. Las hojas son estrechas y de color verde claro. El tipo de inflorescencia que posee es la espiga, es prolongación del último internudo del tallo, presenta un raquis central la espiga está formada por espiguillas, las cuales van dispuestas de a tres en forma alterna a ambos lados del raquis. Las flores son autógamas y tienen dos estigmas y tres estambres. El fruto que presenta este cultivo es el cariópside con glumillas adheridas, salvo en el caso de la cebada desnuda.

En cuanto a las exigencias agroclimáticas la cebada prefiere un clima templado, fresco y moderadamente seco. Tolera las altas temperaturas en clima seco o las altas humedades en clima fresco, pero se adapta mal a climas húmedos y cálidos. Los suelos en los que mejor se desarrolla son los frances o ligeramente arcillosos con un pH comprendido entre 6 y 8.5.

Se distinguen dos variedades de cebada, la cebada de dos carreras y la de seis carreas. La de dos carreras se caracteriza porque sobre cada articulación del raquis se insertan en el mismo punto tres espiguillas o flores, siendo las laterales estériles y la central fértile, a este grupo se le denomina comúnmente “cervecera”. Por otro lado en la cebada de seis carreras se insertan tres espiguillas en el raquis, siendo las tres fértiles, estas variedades son conocidas con el nombre de “caballar” y destaca por sus cualidades para la alimentación tanto humana como animal por su alto contenido en proteínas y bajo en fibra.

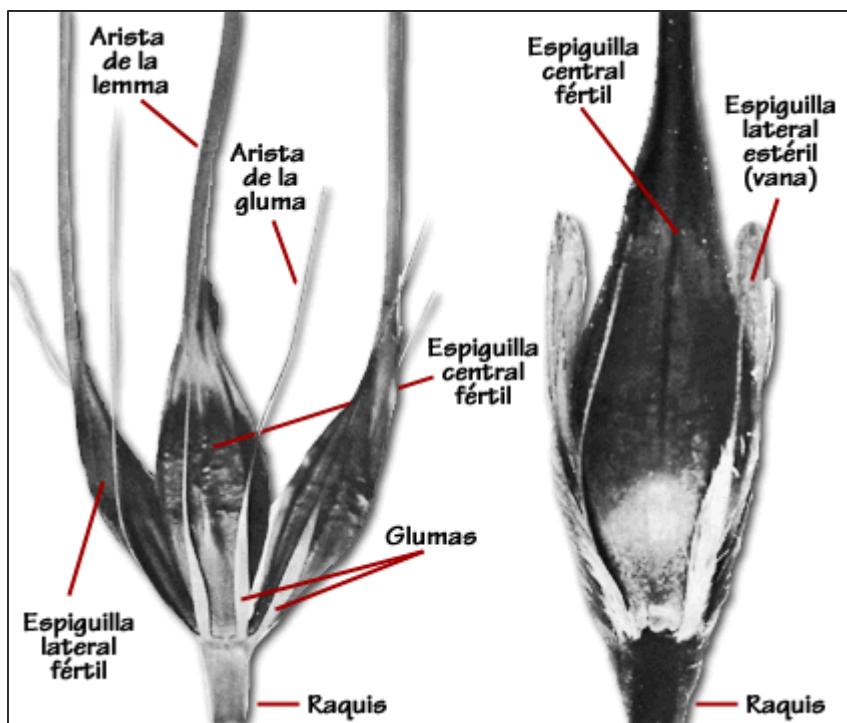


Figura 1. Espiguilla de cebada de seis carreras (izquierda) y de dos carreras (derecha) (Pontifica universidad católica de Chile).

Además existen variedades de ciclo largo cuya siembra se realiza en la época otoño-invernal y las de ciclo corto cuya siembra se realiza en primavera.

Las de ciclo largo son las que se han cultivado en la explotación estudiada, éstas favorecen el desarrollo del número de espigas por unidad de superficie, incrementándose el rendimiento potencial, aunque existe más riesgo de enfermedades, en especial del virus del enanismo amarillo transmitido por pulgones. Mientras que las de ciclo corto favorecen el ahijamiento con la humedad del suelo, las enfermedades y las malas hierbas la afectan menos pero las bajas temperaturas pueden producir daños. (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente).

La cebada se puede emplear como prototipo de cultivo extensivo de secano, y de ahí su empleo en este proyecto, sin menoscabo de extrapolar los procedimientos a otros cultivos.

## 2 ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA

### 2.1 Objetivos y alcance

#### 2.1.1 Objetivos

Se pretende realizar un estudio de ACV para determinar la huella de carbono de la cebada en una explotación que posee 76 parcelas con este cultivo distribuidas en tres municipios (Chinchilla de Monte-Aragón, Valdeganga y Albacete).

La información que se obtenga de este estudio será utilizada con dos propósitos fundamentalmente. Con los resultados de este proyecto la empresa Cropti pretende crear un nuevo módulo en su aplicación web, capaz de calcular automáticamente indicadores ambientales, el primer objetivo viene definido así, por el aumento del valor añadido de sus servicios.

El segundo objetivo de este estudio es que los usuarios de la herramienta tengan más conciencia de los efectos ambientales que tiene el tipo de prácticas que realizan los agricultores en el campo. Este estudio no sólo pretende dar el resultado final de la huella de carbono generada, sino que quiere desglosar cada actividad realizada y estudiar el tipo y la cantidad de insumos utilizados para después identificar qué decisiones han provocado una gestión poco eficiente. De esta manera se les dará a todos ellos las herramientas necesarias para poder tomar decisiones y optimizar su proceso productivo, realizando prácticas agrícolas más sostenibles y económicas y reducir las emisiones innecesarias.

Los resultados de este estudio servirán para realizar un diagrama de flujo y así automatizar el cálculo para obtener el ACV de cualquier cultivo en cualquier parcela y para cualquier manejo que haya realizado el agricultor.

Tendrá acceso a dichos resultados toda la comunidad de la Universidad Politécnica de Madrid ya que será un proyecto que podrá ser consultado por cualquier profesor o alumno que tenga interés o necesidad. Pero principalmente tendrán acceso a los resultados los propietarios de la herramienta de Cropti, quienes podrán utilizar los

análisis y resultados aquí expuestos para desarrollar una nueva función para su plataforma digital. Teniendo como modelo este proyecto podrán ampliar los indicadores ambientales calculados (huella hídrica, toxicidad humana, toxicidad ambiental, eutrofización...).

### 2.1.2 Alcance

En el alcance se definen y establecen los siguientes aspectos fundamentales.

#### 2.1.2.1 Sistema del producto

El producto que se va a estudiar es el cultivo de la cebada. El sistema de este producto se ha dividido en ocho etapas teniendo en cuenta la cronología que lleva éste a lo largo de su ciclo de vida (figura 2).

Primeramente tiene lugar la extracción de materias primas para la fabricación de fitosanitarios, fertilizantes y combustible. Además de la fabricación del tractor y demás máquinas agrícolas como la cosechadora o los aperos.

Seguidamente se encuentra la distribución de estos elementos hasta las parcelas donde se utilicen.

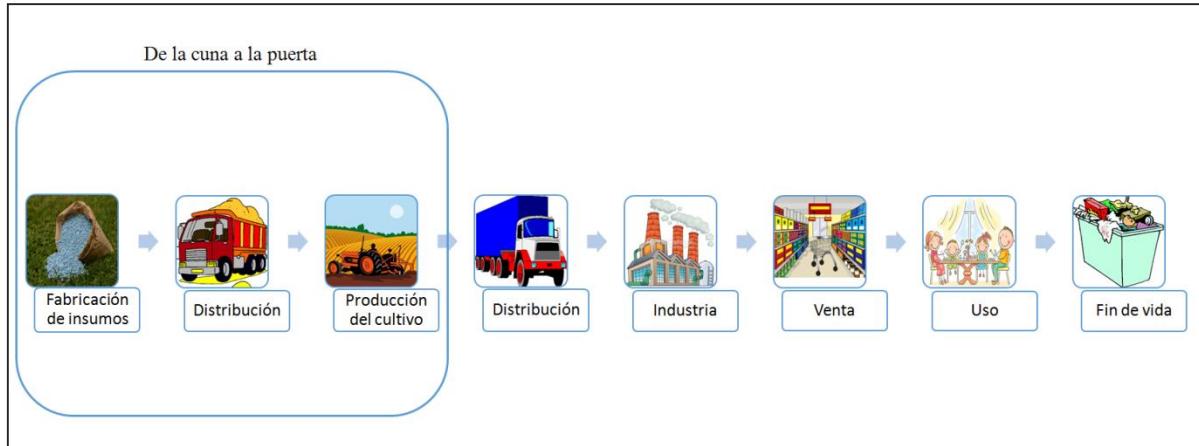


Figura 2. Sistema del producto. (Elaboración propia)

A continuación se halla la etapa más importante para este estudio que es la producción del cultivo (laboreo, siembra, riego, fertilización, tratamientos sanitarios y cosecha).

El siguiente proceso es la distribución de la cosecha recolectada del cultivo a la industria, la cual ejecuta la transformación del producto, de nuevo una distribución al sector servicios, que es el encargado de la venta del producto transformado.

Posteriormente se produce el uso del producto, que en la mayoría de los casos será la utilización del producto como medio alimenticio pero también se puede dar el caso de que se utilice como materia para la producción de energía.

Finalmente llega el fin de vida del producto con su debida generación de residuos.

### 2.1.2.1 Límites del sistema

El alcance del sistema del producto de este estudio será *de la cuna a la puerta*, es decir, se incluirán tanto los procesos del sistema referentes a la producción del cultivo como los incluidos aguas arriba de ésta, es decir, la fabricación de los insumos (gasóleo, fertilizantes, productos fitosanitarios) y de la maquinaria utilizada y el transporte. En la figura 2 se representan los procesos que se han considerados para el cálculo de la huella de carbono en cada operación agrícola.

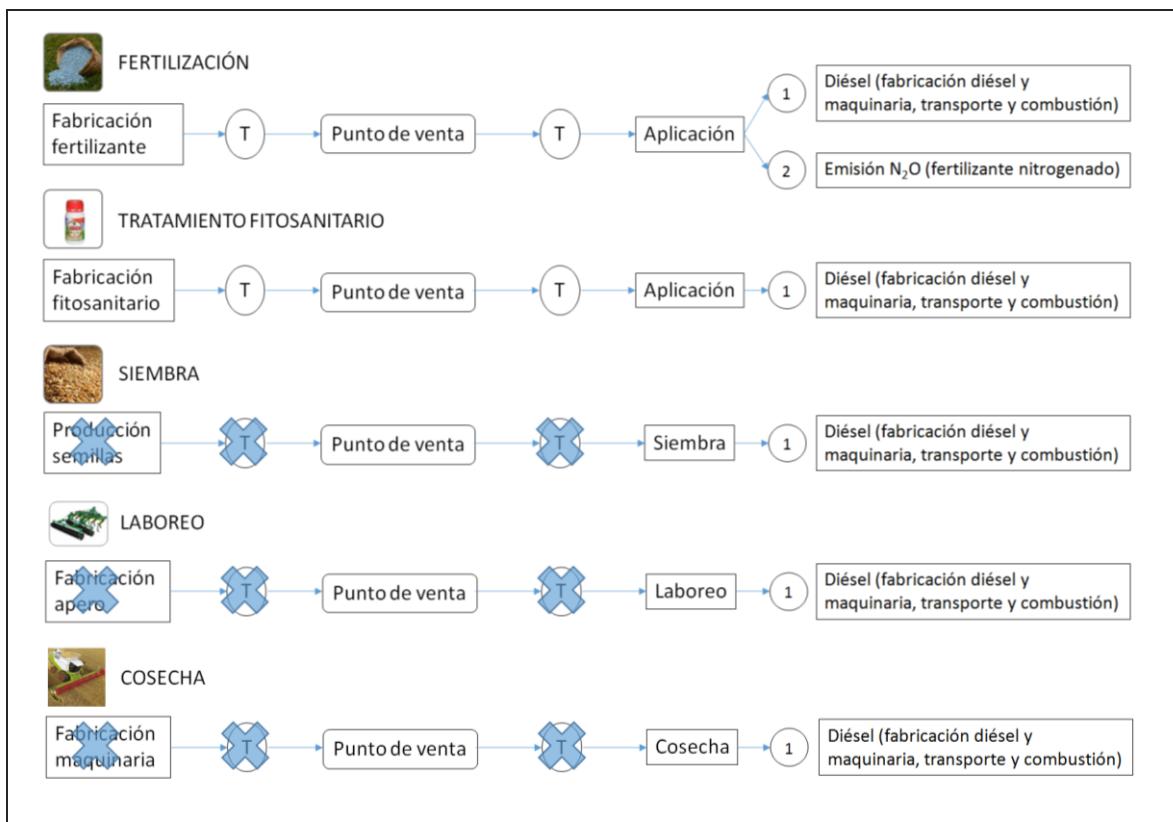


Figura 3. Etapas consideradas para el cálculo ACV. (Elaboración propia)

En la actividad de fertilización están incluidas tanto las emisiones derivadas de la fabricación del insumo, el transporte (desde la fábrica hasta el punto de venta y desde el punto de venta hasta la parcela donde se utilizará) y de la aplicación del fertilizante, ésta última tiene dos fuentes. Por un lado la producción de óxido nitroso por la utilización de fertilizantes nitrogenados y por otro, la utilización del gasóleo para dotar de movimiento

a la máquina. En esta última fuente se tienen en cuenta la fabricación del gasóleo, el tractor y las herramientas necesarias para realizar la aplicación, el transporte del combustible y la combustión del mismo para dar potencia al tractor.

En el cálculo del impacto generado por la actividad de aplicación de tratamientos fitosanitarios incluye la fabricación del producto, el transporte (desde la fábrica hasta el punto de venta y desde aquí hasta la parcela donde se utilizará) y el gasóleo, el cual incluye la fabricación del gasóleo, el tractor y las herramientas necesarias para realizar la aplicación, el transporte del combustible y su la combustión.

En el cálculo de la huella de carbono asociadas a las actividades de siembra, cosecha y laboreo tan sólo se tienen en cuenta las emisiones producidas por el gasóleo (que incluye los mismos procesos que se han definido para la actividad de fertilización y aplicación de fitosanitarios).

#### *2.1.2.2 Función del sistema, unidad funcional y flujo de referencia*

La función principal de la cebada es satisfacer las necesidades alimentarias de las personas y/o animales aportando nutrientes básicos para el desarrollo de un ser vivo.

La unidad funcional que se ha tomado para cuantificar la función identificada del sistema del producto es 1 kilogramo de cultivo recolectado por el agricultor. Es decir 1 kg de granos de cebada.

Y el flujo de referencia por lo tanto, en este caso, coincidirá con la unidad funcional, que es la cantidad necesaria de producto para satisfacer la unidad funcional (1 kg de grano).

#### *2.1.2.3 Procedimientos de asignación*

En el proceso productivo de la cebada se obtienen los granos como producto final; pero también se produce un subproducto que es la paja. Prestando atención al precio de estos dos productos, se ha decidido no realizar asignación ya que no se recibe remuneración económica a cambio de la paja y no tiene precio de mercado, se ha decidido atribuir todas las cargas ambientales del proceso de producción a los granos.

#### *2.1.2.4 Categorías de impacto y metodología de evaluación de impacto*

El estudio dará como resultado la huella de carbono (potencial de calentamiento global) calculado según la metodología del IPCC 2013 a 100 años.

En la tabla 1 se enumeran los gases con potencial de calentamiento global y sus factores emisión, todos ellos están referidos a las emisiones que generan al aire.

Tabla 1. Potenciales de calentamiento global

Sustancia	Factor de emisión	Unidad
(E)-1-Chloro-3,3,3-trifluoroprop-1-ene	1,49	kg CO <sub>2</sub> eq / kg
(E)-1,2,3,3,3-Pentafluoroprop-1-ene	7,90E-002	kg CO <sub>2</sub> eq / kg
(Perfluorobutyl)ethylene	1,36E-001	kg CO <sub>2</sub> eq / kg
(Perfluorooctyl)ethylene	9,29E-002	kg CO <sub>2</sub> eq / kg
(Perfluorohexyl)ethylene	1,08E-001	kg CO <sub>2</sub> eq / kg
(Z)-1,1,1,4,4,4-Hexafluorobut-2-ene	1,68	kg CO <sub>2</sub> eq / kg
(Z)-1,2,3,3,3-Pentafluoroprop-1-ene	2,33E-001	kg CO <sub>2</sub> eq / kg
(Z)-1,3,3,3-Tetrafluoroprop-1-ene	2,85E-001	kg CO <sub>2</sub> eq / kg
1-Undecanol, 3,3,4,4,5,5,6,6,7,7,8,8,9,9,10,10,11,11,11-nonadecafluoro-	6,90E-001	kg CO <sub>2</sub> eq / kg
1,1,1,3,3,3-Hexafluoropropan-2-ol	182	kg CO <sub>2</sub> eq / kg
1,2,2-Trichloro-1,1-difluoroethane	59,21	kg CO <sub>2</sub> eq / kg
2,3,3,3-Tetrafluoropropene	3,52E-001	kg CO <sub>2</sub> eq / kg
Acetate, 1,1-difluoroethyl 2,2,2-trifluoro-	30,84	kg CO <sub>2</sub> eq / kg
Acetate, 2,2,2-trifluoroethyl 2,2,2-trifluoro-	6,84	kg CO <sub>2</sub> eq / kg
Acetate, difluoromethyl 2,2,2-trifluoro-	27,06	kg CO <sub>2</sub> eq / kg
Acetate, methyl 2,2-difluoro-	3,27	kg CO <sub>2</sub> eq / kg
Acetate, methyl 2,2,2-trifluoro-	52,35	kg CO <sub>2</sub> eq / kg
Acetate, perfluorobutyl-	1,66	kg CO <sub>2</sub> eq / kg
Acetate, perfluoroethyl-	2,06	kg CO <sub>2</sub> eq / kg
Acetate, perfluoropropyl-	1,73	kg CO <sub>2</sub> eq / kg
Acetate, trifluoromethyl-	2,07	kg CO <sub>2</sub> eq / kg
Butane, 1,1,1,2,2,3,3,4,4-nonafluoro-, HFC-329p	2355	kg CO <sub>2</sub> eq / kg
Butane, 1,1,1,2,2,3,3,4,4-nonafluoro-4-methoxy-	421	kg CO <sub>2</sub> eq / kg
Butane, 1,1,1,3,3-pentafluoro-, HFC-365mfc	804	kg CO <sub>2</sub> eq / kg
Butane, perfluoro-	9202	kg CO <sub>2</sub> eq / kg
Butane, perfluorocyclo-, PFC-318	9545	kg CO <sub>2</sub> eq / kg
Butanol, 2,2,3,3,4,4,4-heptafluoro-	33,75	kg CO <sub>2</sub> eq / kg
Butanol, 2,2,3,3,4,4,4-heptafluoro-1-	16,29	kg CO <sub>2</sub> eq / kg
Butanol, 2,2,3,4,4,4-hexafluoro-1-	17,01	kg CO <sub>2</sub> eq / kg
Carbon dioxide	1	kg CO <sub>2</sub> eq / kg
Carbon dioxide, fossil	1	kg CO <sub>2</sub> eq / kg
Carbon dioxide, land transformation	1	kg CO <sub>2</sub> eq / kg
Chloroform	16,4	kg CO <sub>2</sub> eq / kg
Cis-perfluorodecalin	7236	kg CO <sub>2</sub> eq / kg

Sustancia	Factor de emisión	Unidad
Decane, 1,1,3,3,4,4,6,6,7,7,9,9,10,10,12,12-hexadecafluoro-2,5,8,11-tetraoxado-	2853	kg CO2 eq / kg
Decane, 1,1,3,3,5,5,7,7,8,8,10,10-dodecafluoro-2,4,6,9-tetraoxa-	3888	kg CO2 eq / kg
Decane, 1,1,3,3,5,5,7,7,9,9-decafluoro-2,4,6,8-tetraoxanonane-	7333	kg CO2 eq / kg
Decane, 3,3,4,4,6,6,7,7,9,9,10,10-dodecafluoro-2,5,8,11-tetraoxado-	221	kg CO2 eq / kg
Dinitrogen monoxide	265	kg CO2 eq / kg
EPTE-furan	55,54	kg CO2 eq / kg
Ethane, 1-(difluoromethoxy)-1,1,2,2-tetrafluoro-	4242	kg CO2 eq / kg
Ethane, 1-chloro-1,1-difluoro-, HCFC-142b	1982	kg CO2 eq / kg
Ethane, 1-chloro-2,2,2-trifluoro-(difluoromethoxy)-, HCFE-235da2	491	kg CO2 eq / kg
Ethane, 1-ethoxy-1,1,2,2,2-pentafluoro-	58,38	kg CO2 eq / kg
Ethane, 1,1'-oxybis[2-(difluoromethoxy)-1,1,2,2-tetrafluoro-	4916	kg CO2 eq / kg
Ethane, 1,1-dichloro-1-fluoro-, HCFC-141b	782	kg CO2 eq / kg
Ethane, 1,1-dichloro-1,2-difluoro-, HCFC-132c	338	kg CO2 eq / kg
Ethane, 1,1-difluoro-, HFC-152a	138	kg CO2 eq / kg
Ethane, 1,1,1-trichloro-, HCFC-140	160	kg CO2 eq / kg
Ethane, 1,1,1-trifluoro-, HFC-143a	4804	kg CO2 eq / kg
Ethane, 1,1,1-trifluoro-2-bromo-	173	kg CO2 eq / kg
Ethane, 1,1,1,2-tetrafluoro-, HFC-134a	1301	kg CO2 eq / kg
Ethane, 1,1,1,2-tetrafluoro-2-bromo-, Halon 2401	184	kg CO2 eq / kg
Ethane, 1,1,2-trichloro-1,2-difluoro-, HCFC-122a	258	kg CO2 eq / kg
Ethane, 1,1,2-trichloro-1,2,2-trifluoro-, CFC-113	5824	kg CO2 eq / kg
Ethane, 1,1,2-trifluoro-, HFC-143	328	kg CO2 eq / kg
Ethane, 1,1,2,2-tetrafluoro-, HFC-134	1116	kg CO2 eq / kg
Ethane, 1,1,2,2-tetrafluoro-1-(fluoromethoxy)-	871	kg CO2 eq / kg
Ethane, 1,1,2,2-tetrafluoro-1-methoxy-2-(1,1,2,2-tetrafluoro-2-methoxyethoxy)-	236	kg CO2 eq / kg
Ethane, 1,1,2,2-tetrafluoro-1,2-dimethoxy-	222	kg CO2 eq / kg
Ethane, 1,2-dibromotetrafluoro-, Halon 2402	1472	kg CO2 eq / kg
Ethane, 1,2-dichloro-	8,98E-001	kg CO2 eq / kg
Ethane, 1,2-dichloro-1,1,2-trifluoro-, HCFC-123	370	kg CO2 eq / kg
Ethane, 1,2-dichloro-1,1,2,2-tetrafluoro-, CFC-114	8592	kg CO2 eq / kg
Ethane, 1,2-difluoro-, HFC-152	16,41	kg CO2 eq / kg
Ethane, 2-chloro-1,1,1,2-tetrafluoro-, HCFC-124	527	kg CO2 eq / kg
Ethane, 2-chloro-1,1,2-trifluoro-1-methoxy-	122	kg CO2 eq / kg
Ethane, 2,2-dichloro-1,1,1-trifluoro-, HCFC-123	79,37	kg CO2 eq / kg
Ethane, chloropentafluoro-, CFC-115	7665	kg CO2 eq / kg
Ethane, fluoro-, HFC-161	3,64	kg CO2 eq / kg
Ethane, hexafluoro-, HFC-116	11123	kg CO2 eq / kg
Ethane, pentafluoro-, HFC-125	3169	kg CO2 eq / kg

Sustancia	Factor de emisión	Unidad
Ethanol, 2-fluoro-	8,80E-001	kg CO2 eq / kg
Ethanol, 2,2-difluoro-	3,03	kg CO2 eq / kg
Ethanol, 2,2,2-trifluoro-	19,95	kg CO2 eq / kg
Ethene, 1,1-difluoro-, HFC-1132a	4,22E-002	kg CO2 eq / kg
Ethene, 1,1,2-trifluoro-2-(trifluoromethoxy)-	2,09E-001	kg CO2 eq / kg
Ether, 1,1,1-trifluoromethyl methyl-, HFE-143a	523	kg CO2 eq / kg
Ether, 1,1,2,2-Tetrafluoroethyl 2,2,2-trifluoroethyl-, HFE-347mcf2	854	kg CO2 eq / kg
Ether, 1,1,2,2-Tetrafluoroethyl 2,2,2-trifluoroethyl-, HFE-347pcf2	889	kg CO2 eq / kg
Ether, 1,1,2,2-Tetrafluoroethyl methyl-, HFE-254cb2	301	kg CO2 eq / kg
Ether, 1,1,2,3,3-Hexafluoropropyl methyl-, HFE-356mec3	387	kg CO2 eq / kg
Ether, 1,1,2,3,3-Hexafluoropropyl methyl-, HFE-356pcc3	413	kg CO2 eq / kg
Ether, 1,1,2,3,3-Hexafluoropropyl methyl-, HFE-356pcf2	719	kg CO2 eq / kg
Ether, 1,1,2,3,3-Hexafluoropropyl methyl-, HFE-356pcf3	446	kg CO2 eq / kg
Ether, 1,2,2-trifluoroethyl trifluoromethyl-, HFE-236ea2	1243	kg CO2 eq / kg
Ether, 1,2,2-trifluoroethyl trifluoromethyl-, HFE-236fa	979	kg CO2 eq / kg
Ether, 2-chloro-1,1,2-trifluoroethyl difluoromethyl-, HCFE-235ca2 (enflurane)	583	kg CO2 eq / kg
Ether, 2,2,3,3,3-Pentafluoropropyl methyl-, HFE-365mcf3	9,28E-001	kg CO2 eq / kg
Ether, bis(2,2,2-trifluoroethyl)-	16,76	kg CO2 eq / kg
Ether, di(difluoromethyl), HFE-134	5564	kg CO2 eq / kg
Ether, difluoromethyl 1,2,2,2-tetrafluoroethyl-, HFE-236ea2 (desflurane)	1792	kg CO2 eq / kg
Ether, difluoromethyl 2,2,2-trifluoroethyl-, HFE-245cb2	654	kg CO2 eq / kg
Ether, difluoromethyl 2,2,2-trifluoroethyl-, HFE-245fa1	828	kg CO2 eq / kg
Ether, difluoromethyl 2,2,2-trifluoroethyl-, HFE-245fa2	812	kg CO2 eq / kg
Ether, ethyl 1,1,2,2-tetrafluoroethyl-, HFE-374pc2	627	kg CO2 eq / kg
Ether, ethyl trifluoromethyl-, HFE-263m1	29,46	kg CO2 eq / kg
Ether, nonafluorobutane ethyl-, HFE569sf2 (HFE-7200)	56,82	kg CO2 eq / kg
Ether, pentafluoromethyl-, HFE-125	12403	kg CO2 eq / kg
Fluoridate, 1,1-difluoroethyl carbono-	26,82	kg CO2 eq / kg
Fluoridate, methyl carbono-	95,33	kg CO2 eq / kg
Fluoroxene	5,42E-002	kg CO2 eq / kg
Formate, 1,1,1,3,3-hexafluoropropan-2-yl-	333	kg CO2 eq / kg
Formate, 1,2,2,2-tetrafluoroethyl-	470	kg CO2 eq / kg
Formate, 2,2,2-trifluoroethyl-	33,44	kg CO2 eq / kg
Formate, 3,3,3-trifluoropropyl-	17,4	kg CO2 eq / kg
Formate, perfluorobutyl-	392	kg CO2 eq / kg
Formate, perfluoroethyl-	580	kg CO2 eq / kg
Formate, perfluoropropyl-	376	kg CO2 eq / kg
Formate, trifluoromethyl-	588	kg CO2 eq / kg

Sustancia	Factor de emisión	Unidad
Halothane	41,11	kg CO <sub>2</sub> eq / kg
Heptanol, 3,3,4,4,5,5,6,6,7,7,7-undecafluoro-	4,26E-001	kg CO <sub>2</sub> eq / kg
Hexane, perfluoro-	7912	kg CO <sub>2</sub> eq / kg
HFE-227EA	6452	kg CO <sub>2</sub> eq / kg
HFE-236ca12 (HG-10)	5353	kg CO <sub>2</sub> eq / kg
HFE-263fb2	1,32	kg CO <sub>2</sub> eq / kg
HFE-329mcc2	3067	kg CO <sub>2</sub> eq / kg
HFE-338mcf2	929	kg CO <sub>2</sub> eq / kg
HFE-338pcc13 (HG-01)	2908	kg CO <sub>2</sub> eq / kg
HFE-43-10pccc124 (H-Galden1040x)	2817	kg CO <sub>2</sub> eq / kg
Methane	28	kg CO <sub>2</sub> eq / kg
Methane, (difluoromethoxy)((difluoromethoxy)difluoromethoxy)difluoro-	5303	kg CO <sub>2</sub> eq / kg
Methane, biogenic	25,25	kg CO <sub>2</sub> eq / kg
Methane, bromo-, Halon 1001	2,35	kg CO <sub>2</sub> eq / kg
Methane, bromochlorodifluoro-, Halon 1211	1746	kg CO <sub>2</sub> eq / kg
Methane, bromodifluoro-, Halon 1201	376	kg CO <sub>2</sub> eq / kg
Methane, bromotrifluoro-, Halon 1301	6292	kg CO <sub>2</sub> eq / kg
Methane, chlorodifluoro-, HCFC-22	1765	kg CO <sub>2</sub> eq / kg
Methane, chlorotrifluoro-, CFC-13	13893	kg CO <sub>2</sub> eq / kg
Methane, dibromo-	1,01	kg CO <sub>2</sub> eq / kg
Methane, dibromodifluoro-, Halon 1202	231	kg CO <sub>2</sub> eq / kg
Methane, dichloro-, HCC-30	8,92	kg CO <sub>2</sub> eq / kg
Methane, dichlorodifluoro-, CFC-12	10239	kg CO <sub>2</sub> eq / kg
Methane, dichlorofluoro-, HCFC-21	148	kg CO <sub>2</sub> eq / kg
Methane, difluoro-, HFC-32	677	kg CO <sub>2</sub> eq / kg
Methane, difluoro(fluoromethoxy)-	617	kg CO <sub>2</sub> eq / kg
Methane, difluoro(methoxy)-	144	kg CO <sub>2</sub> eq / kg
Methane, fluoro-, HFC-41	116	kg CO <sub>2</sub> eq / kg
Methane, fluoro(fluoromethoxy)-	130	kg CO <sub>2</sub> eq / kg
Methane, fluoro(methoxy)-	12,56	kg CO <sub>2</sub> eq / kg
Methane, fossil	28	kg CO <sub>2</sub> eq / kg
Methane, monochloro-, R-40	12,18	kg CO <sub>2</sub> eq / kg
Methane, tetrachloro-, CFC-10	1728	kg CO <sub>2</sub> eq / kg
Methane, tetrafluoro-, CFC-14	6626	kg CO <sub>2</sub> eq / kg
Methane, trichlorofluoro-, CFC-11	4663	kg CO <sub>2</sub> eq / kg
Methane, trifluoro-, HFC-23	12398	kg CO <sub>2</sub> eq / kg
Methane, trifluoro(fluoromethoxy)-	751	kg CO <sub>2</sub> eq / kg
Methyl perfluoroisopropyl ether	363	kg CO <sub>2</sub> eq / kg

Sustancia	Factor de emisión	Unidad
Nitrogen fluoride	16070	kg CO2 eq / kg
Nonanol, 3,3,4,4,5,5,6,6,7,7,8,8,9,9,9-pentadecafluoro-	3,27E-001	kg CO2 eq / kg
Octa deca fluoro octane	7620	kg CO2 eq / kg
Pentafluorobutene-1	1,26E-001	kg CO2 eq / kg
Pentane, 2,3-dihydroperfluoro-, HFC-4310mee	1647	kg CO2 eq / kg
Pentane, perfluoro-	8547	kg CO2 eq / kg
Pentanol, 2,2,3,3,4,4,5,5-octafluorocyclo-	12,85	kg CO2 eq / kg
Pantanone, 1,1,1,2,2,4,5,5,5-nonafluoro-4-(trifluoromethyl)-3-	9,97E-002	kg CO2 eq / kg
Perfluorobut-1-ene	9,14E-002	kg CO2 eq / kg
Perfluorobut-2-ene	1,76	kg CO2 eq / kg
Perfluorobuta-1,3-diene	3,59E-003	kg CO2 eq / kg
Perfluorocyclopentene	1,86	kg CO2 eq / kg
Perfluorodecalin (mixed)	7185	kg CO2 eq / kg
Perfluorodecalin (trans)	6288	kg CO2 eq / kg
Perfluoroheptane	7822	kg CO2 eq / kg
Perfluoropropene	7,00E-002	kg CO2 eq / kg
PFPMIE	9706	kg CO2 eq / kg
Propanal, 3,3,3-trifluoro-	1,08E-002	kg CO2 eq / kg
Propane, 1-ethoxy-1,1,2,2,3,3,3-heptafluoro	60,63	kg CO2 eq / kg
Propane, 1-ethoxy-1,1,2,3,3,3-hexafluoro-	23,35	kg CO2 eq / kg
Propane, 1,1,1-trifluoro-, HFC-263fb	75,52	kg CO2 eq / kg
Propane, 1,1,1,2,2-pentafluoro-, HFC-245cb	4622	kg CO2 eq / kg
Propane, 1,1,1,2,2,3-hexafluoro-, HFC-236cb	1207	kg CO2 eq / kg
Propane, 1,1,1,2,2,3,3-heptafluoro-, HFC-227ca	2642	kg CO2 eq / kg
Propane, 1,1,1,2,2,3,3-heptafluoro-3-(1,2,2,2-tetrafluoroethoxy)-	6487	kg CO2 eq / kg
Propane, 1,1,1,2,3-pentafluoro-, HFC-245eb	290	kg CO2 eq / kg
Propane, 1,1,1,2,3,3-hexafluoro-, HFC-236ea	1335	kg CO2 eq / kg
Propane, 1,1,1,2,3,3-hexafluoro-3-(trifluoromethoxy)-, HFE-329me3	4550	kg CO2 eq / kg
Propane, 1,1,1,2,3,3-heptafluoro-, HFC-227ea	3348	kg CO2 eq / kg
Propane, 1,1,1,3,3-pentafluoro-, HFC-245fa	858	kg CO2 eq / kg
Propane, 1,1,1,3,3-hexafluoro-, HCFC-236fa	8056	kg CO2 eq / kg
Propane, 1,1,1,3,3,3-Hexafluoro-2-(difluoromethoxy)	2621	kg CO2 eq / kg
Propane, 1,1,1,3,3,3-hexafluoro-2-(fluoromethoxy)-	216	kg CO2 eq / kg
Propane, 1,1,1,3,3,3-hexafluoro-2-methoxy-(9CI)	13,58	kg CO2 eq / kg
Propane, 1,1,2,2-tetrafluoro-3-methoxy-	5,25E-001	kg CO2 eq / kg
Propane, 1,1,2,2,3-pentafluoro-, HFC-245ca	716	kg CO2 eq / kg
Propane, 1,1,2,3,3-pentafluoro-, HFC-245ea	235	kg CO2 eq / kg
Propane, 1,3-dichloro-1,1,2,2,3-pentafluoro-, HCFC-225cb	525	kg CO2 eq / kg

Sustancia	Factor de emisión	Unidad
Propane, 2-(difluoromethoxymethyl)-1,1,1,2,3,3,3-heptafluoro-	116	kg CO2 eq / kg
Propane, 2,2-difluoro-, HFC-272ca	144	kg CO2 eq / kg
Propane, 3,3-dichloro-1,1,1,2,2-pentafluoro-, HCFC-225ca	127	kg CO2 eq / kg
Propane, perfluoro-	8900	kg CO2 eq / kg
Propane, perfluorocyclo-	9198	kg CO2 eq / kg
Propane, 1,1,1,2,2,3,3-heptafluoro-3-methoxy-, HFE-347mcc3 (HFE-7000)	530	kg CO2 eq / kg
Propanol, 2,2,3,3-tetrafluoro-1-	12,99	kg CO2 eq / kg
Propanol, 3,3,3-trifluoro-1-	3,90E-001	kg CO2 eq / kg
Propanol, pentafluoro-1-	18,8	kg CO2 eq / kg
Sulfur hexafluoride	23507	kg CO2 eq / kg
Sulfuryl fluoride	4095	kg CO2 eq / kg
Tetrafluoroethylene	2,92E-003	kg CO2 eq / kg
trans-1,3,3,3-Tetrafluoropropene	9,53E-001	kg CO2 eq / kg
Trifluorobutanol	1,89E-002	kg CO2 eq / kg
Trifluoroethyl acetate	1,37	kg CO2 eq / kg
Trifluoromethylsulfur pentafluoride	17449	kg CO2 eq / kg
Trifluoropropene, HFC-1243zf	1,49E-001	kg CO2 eq / kg
Vinylfluoride	1,68E-002	kg CO2 eq / kg

#### 2.1.2.5 Requisitos de calidad de los datos

Los datos utilizados para realizar este estudio provendrán siempre de dos fuentes: una fuente oficial (bases de datos nacionales o internacionales, como Ecoinvent); o datos recogidos de primera mano (datos incorporados por los usuarios de la herramienta). Se exigirá que estos últimos sean procedentes del territorio español y con una antigüedad máxima de 5 años.

Los datos incluidos por los agricultores serán clasificados por propietarios y explotaciones, dentro de éstas últimas se separarán por parcelas, así será posible llevar a cabo un estudio más específico, ya que una explotación puede tener bastantes parcelas y además pueden tener un manejo muy diferente dependiendo de la persona responsable y el trabajador encargados de esa parcela.

Al realizar el pre-análisis de datos (Anejo IV) se ha conseguido descubrir datos erróneos a través de la elaboración de rutinas con filtros para detección de errores, dando así lugar a datos no disponibles, por lo que los datos que se utilizarán para los cálculos sin contar con los datos erróneos, parecen ser consistentes.

La base de datos para recabar valores de huellas de carbono es Ecoinvent. Esta plataforma posee más de 10.300 series de datos de ACV en diferentes sectores (suministro de energía, agricultura, transporte, biocombustibles y biomateriales, productos químicos a granel y al por menor, materiales de construcción, materiales de embalaje, metales básicos y preciosos, procesamiento de metales, tecnologías de información y comunicación (TIC), electrónica, productos lácteos, madera y tratamientos de residuos). Sus bases de datos de ACV se basan en datos industriales y han sido recopilados por institutos de investigación renombrados y consultores de ACV. Ecoinvent es una base de datos amplia, transparente e internacional, es por ello que se ha elegido esta base como fuente de datos. Para más información consultar la página web <http://www.ecoinvent.org/>.

#### 2.1.2.6 *Suposiciones y limitaciones*

En las bases de datos de ACV utilizadas no se han encontrado todas las materias activas de los productos fitosanitarios ofrecidos por el vademécum de Cropti, obtenido a partir de la plataforma del MAGRAMA. Se ha realizado una base de datos relacionando los componentes de los fitosanitarios con los procesos de las materias activas encontradas en Ecoinvent, pero por la falta de tiempo y por hacer un estudio no tan exhaustivo se ha descartado utilizar un proceso para cada componente de los fitosanitarios, sin embargo, se toma en consideración para futuros proyectos. Finalmente para realizar los cálculos se ha considerado un valor genérico de materia activa de un pesticida no específico, con este valor se han hecho todas las huellas de carbono de los fitosanitarios, tan solo teniendo en cuenta los porcentajes de las materias activas.

La distancia media de transporte para la distribución de insumos desde el punto de venta hasta la parcela donde se utilizan los mismos se ha supuesto un valor arbitrario de 50 km.

En los casos en los que el usuario no inserta los datos del rendimiento productivo alcanzado en cada parcela se le ha atribuido un valor medio de 1.130 kg/ha, dato recogido del anuario de estadística del MAGRAMA para el año 2012, para la provincia de Albacete (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2012).

## 2.2 Análisis de inventario de ciclo de vida

En este punto se recogerán los datos de actividad para todas las fases del sistema del producto incluidas en los límites definidos en el alcance para identificar y cuantificar

todos los efectos ambientales adversos asociados a la unidad funcional. Estos efectos se refieren siempre a efectos negativos incluyendo emisiones de gases contaminantes, ya que el indicador que se estudia en este proyecto es la huella de carbono.

Los datos de actividad detallados en la tabla 2 están referidos a los productos que se utilizan en el proceso productivo, es decir, el fertilizante para enriquecer de nutrientes el terreno, los productos fitosanitarios para la protección del cultivo contra enfermedades, malas hierbas e insectos y por último, el combustible, utilizado para dotar de movimiento y potencia a las máquinas agrícolas.

Las unidades que se han especificado en la tabla 2 son las que se han utilizado para realizar los cálculos, es decir, en los casos en los que los datos brutos estaban en otras unidades se ha procedido a realizar un cambio de unidades para homogeneizar todos los datos.

Tabla 2. Inventario de análisis de ciclo de vida. (Elaboración propia)

Datos de actividad					
Flujo	Transporte		Proceso productivo del cultivo		Unidad
	Cantidad	Unidad	Cantidad	Min	
<b>Fertilizante</b>			74	258	kg/ha
N, como N	50	km	10	45	%
P, como P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>			0	46	
K, como K <sub>2</sub> O			0	0	
<b>Producto fitosanitario</b>					
Sólido	50	km	30	50	g/ha
Líquido			0,5	2,5	l/ha
<b>Gasóleo</b>					
Siembra	50	km	3,82		kg/ha
Laboreo			26,1		
Fertilización			5,29		
Tratamientos fitosanitarios			1,76		
Cosecha			33,3		

En la fase de transporte se incluye la distancia que recorre un camión genérico de 22 toneladas de peso total y con una posible carga de 17,3 la distribuidora de los insumos hasta la explotación agraria donde se utilizará.

En la etapa en la que se desarrolla la producción del cultivo se han especificado los datos mínimos y máximos que se han localizado en el fichero de la explotación

estudiada, tanto en dosis como en las formulaciones de los fertilizantes. En el caso de los consumos de gasóleo se han fijado los valores adquiridos de la base de datos Ecoinvent.

En la fase de fabricación de los insumos no se ha incluido ningún dato de actividad ya que se han cogido los factores de emisión de éstos directamente de las bases de ACV.

### **2.3 Evaluación del impacto de ciclo de vida**

En este apartado se realiza la evaluación de los impactos a partir de los datos de inventario recopilados en el punto anterior. En la tabla 3 se presentan los factores de emisión de los datos de actividad mostrados en la tabla 2. Estos factores de emisión son el resultado de la clasificación y caracterización de todas las emisiones con efecto sobre el calentamiento global generadas por cada uno de los flujos enumerados durante una determinada etapa. Los factores de emisión se obtienen a partir de procesos genéricos extraídos de Ecoinvent (Ruiz Amador & Zúñiga López, 2012).

Los valores mostrados en la tabla 3 han sido recopilados de los cuadernos de explotación facilitados por Cropti y de Ecoinvent, por lo que los números que poseen una alta cantidad de decimales son los estipulados por esta plataforma de ACV.

Tabla 3. Evaluación de ciclo de vida. (Elaboración propia)

Datos de actividad					Factores de emisión							
Transporte		Proceso productivo del cultivo			Obtención o fabricación del insumo	Transporte insumo		Proceso productivo del cultivo				
		Cantidad	Unidad	Cantidad		Cantidad	Unidad	Cantidad	Unidad	Flujo	Cantidad	Unidad
Fertilizante				74	kg/ha							
N, como N	50	km	10	45	%	9,9313949	kg CO <sub>2</sub> eq/kg	6,59E-005	kg CO <sub>2</sub> eq/km·kg	Aplicación de fertilizantes nitrogenados	kg N <sub>2</sub> O*265	kg CO <sub>2</sub> eq/ha
P, como P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>			0	46		1,7352733				No aplica		
K, como K <sub>2</sub> O			0	0		0,68188445						
Producto fitosanitario												
Sólido	50	km	30	50	g/ha	10,286448	kg CO <sub>2</sub> eq/kg	6,59E-005	kg CO <sub>2</sub> eq/km·kg	No aplica		
Líquido			0,5	2,5	l/ha							
Gasóleo												
Siembra	50	km	3,82	kg/ha	0,5836786	kg CO <sub>2</sub> eq/kg	6,59E-005	kg CO <sub>2</sub> eq/km·kg	Gases de combustión del diesel en maquinaria agrícola	25,027516	kg CO <sub>2</sub> eq/ha	
Laboreo			26,1							73,574135		
Fertilización			5,29							26,412803		
Tratamientos fitosanitarios			1,76							12,37613		
Cosecha			33,3							162,73005		

## 2.4 Método de cálculo

El procedimiento de cálculo que se utilizó fue el que está representado en la figura 3. En primer lugar se establecieron los parámetros (variables que se podrán cambiar en cada ACV que se calcule), después se identificaron las emisiones unitarias de cada insumo para después calcular las emisiones producidas en cada actividad agrícola. Una vez obtenido este resultado se calcularon las emisiones generadas en cada parcela y por último se calculó la huella de carbono total producida por la explotación. Todos estos resultados se han expresado en kg de dióxido de carbono equivalente por unidad de superficie (ha) y por unidad de producción (kg).

Para poder automatizar todos estos cálculos se ha utilizado el programa Matlab. Se irán presentando las rutinas utilizadas.

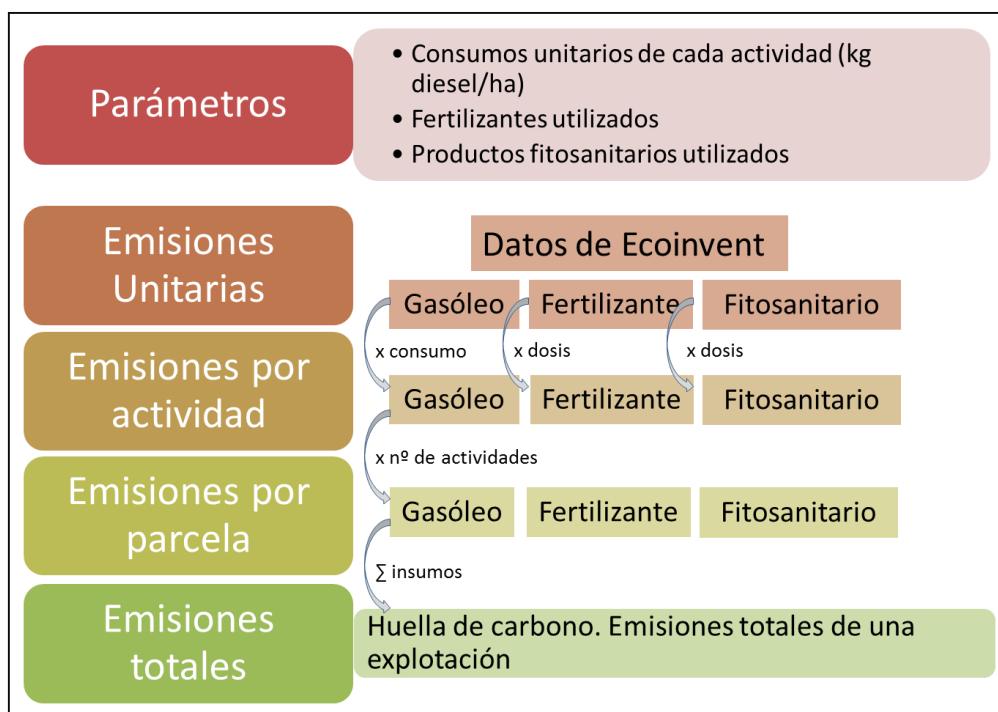


Figura 4. Método de cálculo de ACV (Elaboración propia)

### 2.4.1 Parámetros

Se definen los parámetros en los que se basarán los cálculos del ACV para los diferentes insumos. Del gasóleo se fijaron los consumos (kg de gasóleo/ha) producidos en cada operación agrícola (Tabla 4), estos datos fueron obtenidos de la base de datos Ecoinvent.

En los parámetros se concretan también los productos fitosanitarios utilizados en la explotación estudiada por las parcelas que cultivan la cebada. En este caso son 8

productos diferentes, 2 de ellos son sólidos y los otros 6 son líquidos, y todos ellos son herbicidas (Tabla 6).

En cuanto al fertilizante se precisa el tipo de unidad fertilizante (N-P-K) que se utilizará para los cálculos. En este caso, de los 10 posibles fertilizantes que ofrece la base de datos Ecoinvent se escogieron tres (Tabla 5), uno nitrogenado genérico, otro fosfatado cuya unidad fertilizante es el óxido fosfórico ( $P_2O_5$ ) y otro potásico siendo la unidad fertilizante el óxido de potasio ( $K_2O$ ). En las tablas 5, 6 y 7 se resumen los parámetros establecidos referentes a los insumos para calcular el ACV de la explotación.

Tabla 4. Consumos de gasóleo en cada operación agrícola. (Elaboración propia)

Laboreo (kg/ha)	Siembra (kg/ha)	Fertilización (kg/ha)	Tratamientos fitosanitarios (kg/ha )	Cosecha (kg/ha)
26,1	3,82	5,29	1,76	33,.3

Tabla 5. Elección de los procesos de las unidades fertilizantes a utilizar. (Elaboración propia)

Nitrogen fertiliser, as N
Phosphte fertiliser, as $P_2O_5$
Potassium fertiliser, as $K_2O$

Tabla 6. Productos comerciales fitosanitarios utilizados en la explotación. (Elaboración propia)

Roundup Ultra Plus
Granstar Super 50 Sx
Gamo
Biplay 33 Sx
Ralon Super
Herbicruz Magapol
Axial
Starane-20

Otro parámetro que se recoge en esta sección es la producción de las parcelas. Por un lado se fija la productividad superficial, dato que se utilizará en el caso de que el usuario no haya introducido en la herramienta la cosecha obtenida en cada parcela. En estos casos se ha considerado una productividad de 1.130 kg/ha, dato medio de la productividad (kg/ha) de la cebada en la provincia de Albacete. No obstante, si el cliente sí que los ha incluido entonces se hace una lectura de estos datos y se ordenan para cada actividad.

Por último también se define el dato de la tolerancia (indispensable en la identificación de parcelas), referido a la diferencia máxima que se permite entre dos datos que se consideran iguales.

Las variables creadas para definir los parámetros han sido las detalladas en la tabla 7.

Tabla 7. Variables creadas para definir los parámetros. (Elaboración propia)

Variables de parámetros
consumos
fert
productos
rto_productivo
tot
produccion

```
%% parametros
% consumo kg diesel/ha
consumos={'f' 't' 'l' 's' 'c';5.29    1.76    26.1    3.82    33.3};
% kg diesel /ha
fert={'Nitrogen fertiliser, as N {GLO}| market for | Alloc Def, U'
'Phosphate fertiliser, as P2O5 {GLO}| market for | Alloc Def, U'
'Potassium fertiliser, as K2O {GLO}| market for | Alloc Def, U'};
% productos={'materia activa sin especificar'; 6.47}; %kg CO2/kg
materia activa
productos=tabulate(prod_fito);
rto_productivo=1130; %kg/ha media para cebada en Albacete
% tolerancia
tol=1e-10;

for i=1:size(parcelas,1)
    tmp=find((abs(Sup-parcelas(i,1))<tol).* (activ=='c'));
    if length(tmp)==0
        produccion(i,1)=rto_productivo;
    else
        produccion(i,1)=sum(productividad(tmp));
    end
end
```

#### 2.4.2 Emisiones unitarias

En este apartado simplemente se introdujeron las tablas de emisiones unitarias (kg CO<sub>2</sub> eq/kg de flujo) que incluyen todas las posibilidades a utilizar.

En el fertilizante se enumeran las diferentes fuentes de nutrientes que se pueden elegir con sus respectivas emisiones debidas a su fabricación, su transporte desde la fábrica hasta el punto de venta, (en los parámetros se especifican cuáles han sido escogidos), estos datos son importados del fichero “tabla\_fertilizantes.xlsx” (tabla 8). Por último en los productos fitosanitarios se precisan las emisiones debidas a la fabricación de las materias activas que forman los diferentes componentes de los productos fitosanitarios (tabla 9), datos procedentes del fichero “tabla\_fitosanitarios.xlsx”.

Todos estos datos han sido recogidos de la plataforma Ecoinvent, se detallan en las tablas 8, 9 y 10. En las tablas 9 y 10 aparecen nombrados los procesos de fabricación y transporte de cada sustancia, estos nombres tienen diferentes conceptos, GLO, hace referencia a que el valor de las emisiones se ha calculado teniendo en cuenta países de todo el mundo, mientras que RER, sólo se refiere a países de Europa.

Tabla 8. Emisiones unitarias de los fertilizantes. (Elaboración propia)

Unidad	kg CO <sub>2</sub> eq/kg de fertilizante
Ammonium nitrate, as N {GLO}  market for   Alloc Def, U	8,0482474
Ammonium sulfate, as N {GLO}  market for   Alloc Def, U	1,728172
Nitrogen fertiliser, as N {GLO}  market for   Alloc Def, U	9,9313949
Phosphate fertiliser, as P2O <sub>5</sub> {GLO}  market for   Alloc Def, U	1,7352733
Potassium chloride, as K2O {GLO}  market for   Alloc Def, U	0,40568067
Potassium fertiliser, as K2O {GLO}  market for   Alloc Def, U	0,68188445
Potassium nitrate {GLO}  market for   Alloc Def, U	2,2389735
Potassium sulfate, as K2O {GLO}  market for   Alloc Def, U	1,1843342
Stone meal {GLO}  market for   Alloc Def, U	0,003883027
Urea, as N {GLO}  market for   Alloc Def, U	3,1699164

```
%% %% emisiones unitarias asociadas al fertilizante
% datos de emisiones unitarios
[N,txt]=xlsread('tabla_fertilizantes.xlsx');
for i=1:length(txt)
    for j=1:size(fert,1)
        if strcmp(txt(i),fert{j})
            E_unit_NPK(j,1)=N(i-3);
        end
    end
end
```

Tabla 9. Emisiones unitarias de las materias activas de los productos fitosanitarios. (Elaboración propia)

Proceso	kg CO <sub>2</sub> eq / kg de fitosanitario
[sulfonyl]urea-compound {RER}  production   Alloc Def, U	10,97857
[thio]carbamate-compound {RER}  production   Alloc Def, U	10,202997
Acetamide-anillide-compound, unspecified {RER}  production   Alloc Def, U	12,843712
Acetoacetic acid {RER}  production   Alloc Def, U	8,0729617
Aclonifen {RER}  production   Alloc Def, U	9,0250842
Ammonium thiocyanate {GLO}  production   Alloc Def, U	1,8135745
Benzoic acid {RER}  toluene oxidation   Alloc Def, U	1,2252511
Captan {RER}  production   Alloc Def, U	3,7982482
Cyanoacetic acid {RER}  production   Alloc Def, U	5,098325
Diazine-compound {RER}  production   Alloc Def, U	14,343609
Diphenylether-compound {RER}  production   Alloc Def, U	12,576141
Diazole-compound {RER}  production   Alloc Def, U	16,966442
Cyclic N-compound {RER}  production   Alloc Def, U	16,605653
Dimethenamide {RER}  production   Alloc Def, U	14,790235
Ethylamine {RER}  production   Alloc Def, U	3,2135404
Fatty alcohol {RER}  production, petrochemical   Alloc Def, U	2,3961925
Folpet {RER}  production   Alloc Def, U	3,7221553
Fosetyl-Al {RER}  production   Alloc Def, U	4,9967757
Glyphosate {RER}  production   Alloc Def, U	11,33084
Isopropylamine {RER}  production   Alloc Def, U	3,6982907
Isoproturon {RER}  production   Alloc Def, U	6,9936573
Kaolin {RER}  production   Alloc Def, U	0,20281554
Maleic anhydride {RER}  production by catalytic oxidation of benzene   Alloc Def, U	4,2933294
Maleic anhydride {RER}  production by direct oxidation of n-butane   Alloc Def, U	2,1594642
Mancozeb {RER}  production   Alloc Def, U	5,7179202
Mecoprop {RER}  production   Alloc Def, U	5,5546314
Metaldehyde {RER}  production   Alloc Def, U	1,8855458
Metamitron {RER}  production   Alloc Def, U	6,2531174
Metolachlor {RER}  production   Alloc Def, U	8,8221942
Napropamide {RER}  production   Alloc Def, U	9,9128487
Nitrile-compound {RER}  production   Alloc Def, U	11,449272
Nitro-compound {RER}  production   Alloc Def, U	10,330477
Organophosphorus-compound, unspecified {RER}  production   Alloc Def, U	8,1867956
Paraffin {RER}  production   Alloc Def, U	0,76566327
Pendimethalin {RER}  production   Alloc Def, U	5,4959831
Phosphoric acid, industrial grade, without water, in 85% solution state {RER}  purification of wet-process phosphoric acid to industrial grade, product in 85%	1,5431962

Proceso	kg CO <sub>2</sub> eq / kg de fitosanitario
solution state   Alloc Def, U	
Propionic acid {RER}  production   Alloc Def, U	1,7412867
Prosulfocarb {RER}  production   Alloc Def, U	6,7834892
Pyrethroid-compound {RER}  production   Alloc Def, U	17,248326
Pyridine-compound {RER}  production   Alloc Def, U	9,8143689
Rape oil, crude {Europe without Switzerland}  rape oil mill operation   Alloc Def, U	1,5342615
Sulfur {Europe without Switzerland}  petroleum refinery operation   Alloc Def, U	0,27760358
Pesticide, unspecified {RER}  production   Alloc Def, U	10,286448

```
%% emisiones unitarias asociadas al tratamiento fitosanitario
% datos de emisiones unitarios
[N,txt]=xlsread('Listado de Productos.xlsx');
[Nu,txtu]=xlsread('tabla_fitosanitarios.xlsx');
materias_activas=tabulate(txt(:,11));
%relación datos de la explotación y la base de datos magrama
riqueza=zeros(size(productos,1),4);
for i=1:size(txt,1)
    for j=1:size(productos,1)
        tmp=strrep(lower(txt{i,2}), ' ', '');
        tmp1=strrep(lower(productos{j,1}), ' ', '');
        if strcmp(tmp(2:end),tmp1)==1
            tabla(j,:)={txt{i,1} txt{i,2} [N(i-1, [4 8 13 17])];
            txt{i,13} txt{i,16} txt{i,21} txt{i,25}}; % producto id, nombre
            comerc, componentes y procesos materias
        riqueza(j,find((isnan(tabla{j,3}))==0))=tabla{j,3}(find((isnan(tabla{j,3}))==0));
        end
    end
end

% rellenar los [] de tabla con unspecified
clear tmp tmp1

E_unit_fito=zeros(size(tabla,1), 4);
E_unit_fito(find(riqueza))=Nu(end,1); % todos como unspecified
% sobreescribir las materias activas conocidas FALTA
E_unit_fito_tot=sum(E_unit_fito.*riqueza,2); % buscar unidades
transporte_unitario=6.59E-05; %kg CO2 eq/kg.km
```

También se establece la huella de carbono asociada al transporte en kg de dióxido de carbono por unidad de kg de producto transportado y por km recorrido.

Las variables generadas para definir las emisiones unitarias se detallan en la tabla 10.

Tabla 10. Variables creadas de las emisiones unitarias. (Elaboración propia)

Variables de emisiones unitarias
dato_unitario_diesel
E_unit_NPK
E_unit_fito_tot
transporte_unitario

#### 2.4.3 Cálculo de emisiones por actividad

Para determinar las emisiones por actividad se han realizado diferentes cálculos con los datos primarios (consumo de combustible, productos comerciales y fertilizantes tipo), las emisiones unitarias y las variables generadas en el pre-análisis de datos (Anejo IV).

Las emisiones generadas en cada actividad agrícola por el gasóleo se han obtenido de la siguiente manera. Se ha abierto un fichero “tabla\_diesel2.xlsx” donde se encuentran recogidos los datos de emisiones generadas (kg de CO<sub>2</sub> equivalente/ha) por la realización de las operaciones agrícolas estudiadas (laboreo, siembra, fertilización, tratamientos fitosanitarios y cosecha) estas emisiones incluyen la combustión del gasóleo, su fabricación y su distribución desde la fábrica hasta el lugar de venta junto con las emisiones correspondientes a la utilización y desgaste del tractor, apero e infraestructuras para guardar la maquinaria agrícola. Por lo que simplemente se ha localizado para cada actividad realizada (486 actividades) el dato de emisiones de gasóleo correspondientes a esa actividad.

Tabla 11. Emisiones del gasóleo en cada operación agrícola. (Elaboración propia)

Unidad		kg CO <sub>2</sub> eq/ha
Application of plant protection product, by field sprayer {CH}  processing   Alloc Def, U	t	12,37613
Combine harvesting {CH}  processing   Alloc Def, U	c	162,73005
Fertilising, by broadcaster {CH}  processing   Alloc Def, U	f	26,412803
Sowing {CH}  processing   Alloc Def, U	s	25,027516
Tillage, cultivating, chiselling {CH}  processing   Alloc Def, U	l	73,574135

Además de los fenómenos citados, también se ha calculado el impacto generado por el transporte desde el punto de venta del producto hasta la parcela donde se ha utilizado. Este cálculo se ha ejecutado multiplicando el valor de emisiones unitarias generadas por el transporte de 1 kg de producto durante 1 km de distancia (kg CO<sub>2</sub> eq/kg·km) por la cantidad de gasóleo que se ha consumido en una determinada actividad (kg/ha) y por

50, que es el valor arbitrario que se ha considerado como distancia media, desde el punto de venta hasta la utilización del gasoil. Seguidamente se ha multiplicado el valor obtenido por el área de la parcela donde se ha realizado esta actividad para determinar la huella de carbono generada en cada actividad.

$$\text{transp\_comb\_act\_ha} \left( \frac{\text{kg CO}_2\text{eq}}{\text{ha} \cdot \text{activ}} \right) = \text{transporte\_unitario} \left( \frac{\text{kg CO}_2\text{eq}}{\text{kg} \cdot \text{km}} \right) * \text{consumos} \left( \frac{\text{kg diésel}}{\text{ha}} \right) * 50 \text{ km}$$

$$\text{transp\_comb\_act} \left( \frac{\text{kg CO}_2\text{eq}}{\text{activ}} \right) = \text{transp\_comb\_act\_ha} \left( \frac{\text{kg CO}_2\text{eq}}{\text{ha} \cdot \text{activ}} \right) * \text{Sup}(\text{ha})$$

Las variables que se han creado han sido denominadas *emisión\_ha* y *emision\_act* asociadas a la fabricación y utilización; *transp\_comb\_act\_ha* y *transp\_comb\_act* asociadas al transporte. Las cuatro variables son matrices de 1 fila x 486 columnas. Si se recuerda, en el pre-análisis de los datos de la explotación se vio que había un total de 486 actividades en las 76 parcelas referidas al cultivo de la cebada.

```
%% calculo de emisiones por actividad
%DIESEL
% [N,txt]=xlsread('tabla_diesel.xlsx');
[N,txt]=xlsread('tabla_diesel2.xlsx');
% tolerancia
tol=1e-10;

% fabricación y combustión_comb
for i=1:length(activ)
    for j=1:size(txt,1)
        if strcmp(txt{j,2},activ(i,1))==1
            emision_ha(i)=N(j);%filas activ kg CO2/ha
            emision_act(i)= emision_ha(i)*Sup(i);
        end
    end
end

%transporte_comb
for i=1:length(activ)
    for j=1:size(consumos,2)
        if strcmp(activ(i),consumos{1,j})
            consumos_activ_ha(i)=consumos{2,j};
            consumos_activ(i)=consumos_activ_ha(i)*Sup(i);
        end
    end
end

for i=1:length(consumos_activ)
    transp_comb_act_ha(i)=consumos_activ_ha(i)*transporte_unitario*50;
    transp_comb_act(i)=consumos_activ(i)*transporte_unitario*50;
end
```

Para el fertilizante se ha seguido un procedimiento similar al anterior. Aquí se distinguen tres fuentes de emisión: 1) la fabricación del fertilizante y la distribución

hasta el punto de venta; 2) el transporte desde el punto de venta hasta el lugar de utilización y 3) la aplicación de abonos nitrogenados.

En primer lugar, se calcularon las emisiones producidas por la fabricación y el transporte del fertilizante hasta la distribuidora. Para ello se multiplicó la dosis aplicada del fertilizante (kg de fertilizante/ha) por la concentración que contiene éste de cada unidad fertilizante (% N-P-K) y por las emisiones unitarias que tiene cada unidad fertilizante (kg CO<sub>2</sub> eq/kg de fertilizante).

$$Em\_CO2\_act \left( \frac{kg\ CO_2\ eq}{ha \cdot activ} \right) = dosis \left( \frac{kg\ fert}{ha} \right) * \frac{\% ud\ fert}{100} * E\_unit\_NPK \left( \frac{kg\ CO_2\ eq\ ud\ fert}{kg\ de\ fert} \right)$$

Un incremento del N disponible aumenta las tasas de nitrificación y desnitrificación que, a su vez, incrementan la producción de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), gas con efecto invernadero. La metodología empleada para el cálculo de la cantidad de N<sub>2</sub>O es la propuesta por las Directrices del Panel Internacional de Cambio Climático de 2006 para los inventarios nacionales en su Capítulo 11 “Emisiones de N<sub>2</sub>O de los suelos gestionados y emisiones de CO<sub>2</sub> derivadas de la aplicación de cal y urea” con la siguiente expresión:

$$Emisiones\ N_2O \left( \frac{kg}{ha} \right) = FSN * FE * 44/28$$

Dónde: FSN, es la cantidad de nitrógeno depositado en el suelo calculado a partir de la cantidad de abono nitrogenado en kg por la fracción de N en el abono. FE, es el factor de emisión que para los fertilizantes nitrogenados sintéticos es de 0,01 (con intervalo de incertidumbre de 0,003-0,03). 44/28, es el factor de conversión de emisiones de N<sub>2</sub>O-N en emisiones de N<sub>2</sub>O.

$$FSN = \frac{\%N}{100} * dosis \left( \frac{kg\ de\ fertilizante}{ha} \right)$$

Para obtener la cantidad de nitrógeno depositado en el suelo se ha multiplicado el porcentaje de nitrógeno incluido en cada fertilizante entre 100 por la dosis aplicada en cada actividad de abonado (kg de fertilizante/ha), así se ha obtenido la emisión por actividad y hectárea de N<sub>2</sub>O. Para transformarlo en dióxido de carbono se ha multiplicado por 265 que es su factor de emisión y así se ha obtenido la emisión por hectárea y actividad (kg CO<sub>2</sub> eq /ha y activ) y multiplicando ésta por la superficie de la parcela donde se ha realizado la actividad se llegó a las emisiones generadas en cada actividad (kg CO<sub>2</sub> eq/activ).

$$\text{emision N2O\_ha} \left( \frac{\text{kg CO}_2 \text{ eq}}{\text{ha} \cdot \text{activ}} \right) = 265 * \text{emisiones N}_2\text{O} \left( \frac{\text{kg N}_2\text{O}}{\text{ha}} \right)$$

$$\text{emision N2O\_act} \left( \frac{\text{kg CO}_2 \text{ eq}}{\text{activ}} \right) = \text{emision N2O\_ha} * \text{Sup(ha)}$$

Por último se ha calculado el impacto asociado al transporte del fertilizante desde el punto de venta hasta la parcela donde se ha utilizado, esta distancia se ha considerado 50 km. El procedimiento seguido ha sido parecido al utilizado con el gasóleo.

$$\text{transp\_fert\_act\_ha} \left( \frac{\text{kg CO}_2 \text{ eq}}{\text{ha} \cdot \text{activ}} \right) = \text{dosis} \left( \frac{\text{kg fert}}{\text{ha}} \right) * \text{transporte\_unitario} \left( \frac{\text{kg CO}_2 \text{ eq}}{\text{kg} \cdot \text{km}} \right) * 50 \text{ km}$$

$$\text{transp\_fert\_act} \left( \frac{\text{kg CO}_2 \text{ eq}}{\text{activ}} \right) = \text{transp\_fert\_act\_ha} \left( \frac{\text{kg CO}_2 \text{ eq}}{\text{ha} \cdot \text{activ}} \right) * \text{Sup(ha)}$$

Las variables creadas que contienen las emisiones debidas a la fabricación y la distribución del fertilizante hasta el punto de venta se llaman *Em\_CO2\_act* (kg CO<sub>2</sub> eq/ha y activ) y *Em\_fert\_actividad* (kg CO<sub>2</sub> eq/activ). Las variables referentes a las emisiones de N<sub>2</sub>O producidas por la utilización de fertilizantes nitrogenados son *emisionN2O\_ha* (kg CO<sub>2</sub> eq/ha y activ) y *emisionN2O\_act* (kg CO<sub>2</sub> eq/activ). Se crearon dos matrices donde se reunieron tanto las emisiones debidas a la fabricación del fertilizante como las debidas al N<sub>2</sub>O y la suma de las dos, llamadas *em\_fert\_ha\_M* y *em\_fert\_act\_M*. Las variables asociadas al transporte se llaman *transp\_fert\_act\_ha* (kg CO<sub>2</sub> eq/ha y activ) y *transp\_fert\_act* (kg CO<sub>2</sub> eq/activ).

```
%FERTILIZANTE
% fabricación_fert
Emi_co2_fert=(repemat(D_abonado,1,3).*NPK/100)*E_unit_NPK; % emisiones
de co2 por ha
Em_C02_act=zeros(length(activ),1);
Em_C02_act(ABO,1)=Emi_co2_fert; % emisiones de co2 asociadas al
fertilizante por ha
% solo difieren en el numero de filas
for i=1:length(activ)
    Em_fert_actividad(i,1)=Em_C02_act(i)*Sup(i);
end
NPK_activ=zeros(length(activ),3);
NPK_activ(ABO,1:3)=NPK;

% aplicación fertilizante-> N2O
dosis_abo_activ=zeros(length(activ),1);
dosis_abo_activ(ABO,1)=D_abonado;

for i=1:size(dosis_abo_activ,1)

emisionN2O_ha(i)=265*NPK_activ(i,1)*dosis_abo_activ(i)*0.01*44/(100*28
);
    emisionN2O_act(i)=emisionN2O_ha(i)*Sup(i);
end
```

```

em_fert_ha_act_M=[Em_C02_act emisionN2O_ha'
Em_C02_act+emisionN2O_ha'];
em_fert_act_M=[Em_fert_actividad emisionN2O_act'
Em_fert_actividad+emisionN2O_act'];

% transporte_fert
for i=1:length(dosis_abo_activ)
    transp_fert_act_ha(i)=dosis_abo_activ(i)*transporte_unitario*50;
transp_fert_act(i)=dosis_abo_activ(i)*Sup(i)*transporte_unitario*50;
end

```

En cuanto a los productos fitosanitarios se realizó el mismo cálculo para obtener la emisión debida a la fabricación y la distribución del mismo (dosis x emisión unitaria), pero en este caso, se debió tener en cuenta el estado físico del producto (sólido/líquido) y la magnitud de la unidad.

Para empezar se homogeneizaron todas las dosis para tenerlas en las mismas unidades (kg/ha). Para eso en primer lugar las dosis aplicadas de los productos líquidos (l/ha) fueron multiplicados por sus respectivas densidades (kg/l), expresadas en la tabla 12 para tener todos los datos expresados en masa. Además los productos sólidos están expresados en g/ha, por lo que hubo que multiplicarlo por  $10^{-3}$ , para pasarlo a kg/ha. Así todas las dosis quedaron expresadas de forma homogénea en kg de fitosanitario/ha. Una vez obtenidos estos datos, ya simplemente se multiplicó por las emisiones unitarias para obtener las emisiones generadas por los productos fitosanitarios en cada actividad y en cada unidad de superficie (kg CO<sub>2</sub> eq/ha y activ), seguidamente se multiplicó por la superficie para obtener las emisiones totales generadas en cada actividad (kg CO<sub>2</sub> eq/activ).

$$E_{fito\_activ\_ha} \left( \frac{kg\ CO_2\ eq}{ha \cdot activ} \right) = dosis \left( \frac{kg\ fito}{ha} \right) * E_{ufito} \left( \frac{kg\ CO_2\ eq}{kg\ fito} \right)$$

$$E_{fito\_activ} \left( \frac{kg\ CO_2\ eq}{activ} \right) = E_{fito\_activ\_ha} \left( \frac{kg\ CO_2\ eq}{ha \cdot activ} \right) * Sup(ha)$$

Las variables referidas a la fabricación del fertilizante fueron *E\_fito\_activ\_ha* (kg CO<sub>2</sub> eq/ha y activ) y *E\_fito\_acitv* (kg CO<sub>2</sub> eq/activ).

Tabla 12. Densidad y estado físico de cada producto fitosanitario. (Elaboración propia)

Nombre comercial	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Estado físico
'Roundup Ultra Plus'	1.2514	Líquido
'Granstar Super 50 Sx'	1*	Sólido
'Gamo'	1.10	Líquido
'Biplay 33 Sx'	1*	Sólido

Nombre comercial	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Estado físico
'Ralon Super'	1.05	Líquido
'Herbicruz Magapol'	1.19	Líquido
'Axial'	0.967	Líquido
'Starane-20'	1.0552	Líquido

\*En el caso de los productos sólidos se multiplicó por la unidad ya que no hacía falta la transformación de líquido a sólido.

Como en los casos anteriores se ha calculado también el impacto generado por el transporte desde el punto de venta hasta la parcela donde se utiliza el producto fitosanitario. En este cálculo también se debió tener en cuenta los estados físicos de los productos y las unidades en las que estaban expresadas las dosis, hubo que homogeneizar todos los datos de dosis aplicadas a kg de fitosanitario por hectárea.

$$\text{transp\_fito\_act\_ha} \left( \frac{\text{kg CO}_2 \text{ eq}}{\text{ha} \cdot \text{activ}} \right) = \text{dosis} \left( \frac{\text{kg fito}}{\text{ha}} \right) * \text{transporte\_unitario} \left( \frac{\text{kg CO}_2 \text{ eq}}{\text{kg} \cdot \text{km}} \right) * 50 \text{ km}$$

$$\text{transp\_fito\_act} \left( \frac{\text{kg CO}_2 \text{ eq}}{\text{activ}} \right) = \text{transp\_fito\_act\_ha} \left( \frac{\text{kg CO}_2 \text{ eq}}{\text{ha} \cdot \text{activ}} \right) * \text{Sup(ha)}$$

Las variables donde se recogían los valores de las emisiones generadas por el transporte en cada actividad son *trasp\_fito\_act\_ha* (kg CO<sub>2</sub> eq/ha·activ) y *transp\_fito\_act* (kg CO<sub>2</sub> eq/activ).

```
%FITOSANITARIO
%densidad=repmat(1:size(productos,1),1);
densidad=[1.2514;1;1.10;1;1.05;1.19;0.967;1.0552];
%densidad=ones(length(productos),1); % sera 1 si es sólido y la
densidad si es líquido
estado_físico=zeros(length(activ),1);
estado_físico(find(activ=='t'),1)=tipo_fito;
% unificar en términos de masa (masa(2)*1e-03 y volumen(1) *1)
unifijo=(estado_físico==2).*1e-03+(estado_físico==1)*1;
%unifijo.*densidad (todo en kg)
% poniéndolo en una variable con el número total de actividades
dosis_fito=zeros(length(activ),1);
dosis_fito(find(activ=='t'),1)=D_fito; %según longitud activ
productos_activ=cell(length(activ),1);
productos_activ(find(activ=='t'))=prod_fito;
for i=1:length(productos_activ)
    if isempty(productos_activ{i})
        productos_activ{i}=0;
    end
end

%fabricación_fito
for i=1:length(productos_activ)
    for j=1:size(productos,1)
        if strcmp(productos{j,1},productos_activ{i,1})==1
            E_fito_activ_ha(i,1)=E_unit_fito_tot(j)*dosis_fito(i,1)*unifijo(i,1)*densidad(j);
        end
    end
end
```

```

        densidad_activ(i)=densidad(j)
        E_fito_acitv(i,1)=E_fito_activ_ha(i,1)*Sup(i,1);
    end
end

% transporte_fito
for i=1:length(dosis_fito)

transp_fito_act_ha(i)=dosis_fito(i)*transporte_unitario*unifico(i,1)*densidad_activ(i)*50;
    transp_fito_act(i)=transp_fito_act_ha(i)*Sup(i);
end

```

Para poder comparar los resultados se expresaron los datos también por unidad de producto recolectado (kg CO<sub>2</sub> eq/kg producido en cada actividad). Por lo que al final se tienen tres unidades de cada insumo para expresar las emisiones por actividad y por insumo, emisiones por unidad superficial, emisiones por unidad de producción, emisiones totales. Y además para cada etapa del proceso productivo.

```

for i=1:size(parcelas,1)
tmp=find(abs(Sup-parcelas(i,1))<tol);
prod_activ(tmp,1)=produccion(i);
end

emi_comb_act_kg=emision_ha./prod_activ;
Em_fert_act_kg=em_fert_ha_act_M(:,3)./prod_activ;
E_fito_act_kg=E_fito_activ_ha./prod_activ;
transp_comb_act_kg=transp_comb_act_ha./prod_activ;
transp_fert_act_kg=transp_fert_act_ha./prod_activ;
transp_fito_act_kg=transp_fito_act_ha./prod_activ;

```

#### 2.4.4 Emisiones por parcela

Para calcular las emisiones que se han generado en cada parcela se han sumado las emisiones producidas en todas y cada una de las actividades realizadas en esa parcela. Así se ha obtenido una variable por cada insumo (gasóleo, fertilizante y producto fitosanitario) con 76 valores que representan las emisiones en esa parcela.

$$\sum_{i=1}^n \text{emisiones}_i$$

Siendo n el número de actividades realizadas en una determinada parcela.

```

for i=1:size(parcelas,1)
tmp=find(abs(Sup-parcelas(i,1))<tol);
Em_C02_ha(i,1)=sum(em_fert_ha_act_M(tmp,3));
Em_C02_par(i,1)=sum(em_fert_ha_act_M(tmp,3).*Sup(tmp));
E_fito_par_ha(i,1)=sum(E_fito_activ_ha(tmp));
E_fito_par(i,1)=sum(E_fito_activ_ha(tmp).*Sup(tmp));
transp_comb_par_ha(i,1)=sum(transp_comb_act_ha(tmp));

```

```

transp_comb_par(i,1)=sum(transp_comb_act_ha(tmp)'.*Sup(tmp));
transp_fert_par_ha(i,1)=sum(transp_fert_act_ha(tmp));
transp_fert_par(i,1)=sum(transp_fert_act_ha(tmp)'.*Sup(tmp));
transp_fito_par_ha(i,1)=sum(transp_fito_act_ha(tmp));
transp_fito_par(i,1)=sum(transp_fito_act_ha(tmp)'.*Sup(tmp));
for j=1:length(res_activ)
    sel=find(activ(tmp)==res_activ(j));
    res_emision_ha(i,j)=sum(emision_ha(tmp(sel)));
    res_emision_par(i,j)=sum(emision_act(tmp(sel)));
end
end

```

De la misma manera que en las emisiones por actividad se han calculado las emisiones por cada kg producido en la parcela.

```

emi_comb_par_kg=(sum(res_emision_ha,2))./produccion;
Em_fert_par_kg=Em_C02_ha./produccion;
E_fito_par_kg=E_fito_par_ha./produccion;
transp_comb_par_kg=transp_comb_par_ha./produccion;
transp_fert_par_kg=transp_fert_par_ha./produccion;
transp_fito_par_kg=transp_fito_par_ha./produccion;

tot_diesel=[parcelas(:,1) sum(res_emision_par,2)
sum(res_emision_ha,2)];
tot_fert=[parcelas(:,1) Em_C02_par Em_C02_ha];
tot_fito=[parcelas(:,1) E_fito_par_ha E_fito_par];

```

A continuación se han calculado las emisiones totales en cada parcela sumando las emisiones generadas por cada insumo en una determinada parcela. Se han creado tres variables diferentes *TOT\_ha*, *TOT\_kg* y *TOT*, donde se expresan las emisiones totales en cada parcela por unidad de superficie (kg de CO<sub>2</sub> eq/ha), por unidad de producción (kg de CO<sub>2</sub> eq/kg) y totales (kg de CO<sub>2</sub> eq). Cada una de ellas contiene 76 valores, correspondientes a cada una de las parcelas.

```

%total
tmp=[sum(res_emision_ha,2)+transp_comb_par_ha
Em_C02_ha+transp_fert_par_ha E_fito_par_ha+transp_fito_par_ha];
TOT_ha=sum(tmp,2);
tmp1=[emi_comb_par_kg+transp_comb_par_kg
Em_fert_par_kg+transp_fert_par_kg E_fito_par_kg+transp_fito_par_kg];
TOT_kg=sum(tmp1,2);
tmp2=[sum(res_emision_par,2)+transp_comb_par
Em_C02_par+transp_fert_par E_fito_par+transp_fito_par];
TOT=sum(tmp2,2);

```

Por último se han obtenido las emisiones producidas en la explotación entera sumando las emisiones generadas en las 76 parcelas, creando tres variables *exp\_ha*, *exp\_kg* y *exp*.

```

%Explotación
exp_ha=sum(TOT,1)/sum(parcelas(:,1),1)
exp_kg=sum(TOT,1)/sum(produccion,1)
exp=sum(TOT,1)

```

## 2.5 Interpretación de los resultados

En el siguiente apartado se discutirán los resultados obtenidos en los cálculos realizados en el apartado anterior presentando gráficas y tablas que muestran de forma visual y resumida los datos representativos y los datos finales que ayudarán a sacar conclusiones.

### 2.5.1 Emisiones por actividad

Se seguirá el mismo orden que en el apartado anterior para comentar los resultados. En primer lugar se ha hecho una comparación entre las emisiones producidas por la utilización del gasóleo en cada actividad y las producidas por el transporte del mismo desde el punto de venta hasta el punto donde se utilizará.

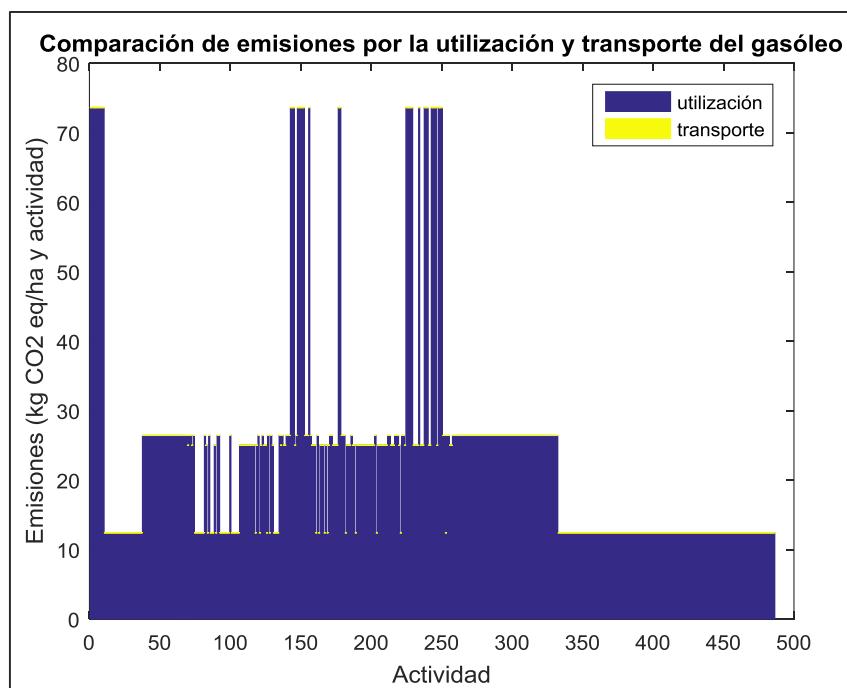


Figura 5. Comparación de emisiones procedentes de la utilización y del transporte del gasóleo.  
(Elaboración propia)

El término utilización del gasóleo, se utiliza para incluir diversos procesos, tanto la fabricación del gasóleo como la distribución del mismo desde la fábrica hasta el punto de venta, la combustión durante la realización de la operación agrícola y el desgaste del apero, tractor e infraestructuras donde se guarda la maquinaria agrícola.

En la figura 5 se puede apreciar a simple vista que el proceso donde más se producen emisiones es en la utilización del gasóleo, siendo el transporte de éste una mínima parte del impacto producido. Se diferencian 4 valores de emisiones, cada uno corresponde a cada una de las 4 actividades estudiadas, siembra, laboreo, tratamientos fitosanitarios y fertilizaciones, ya que como se vio en el pre-análisis (Anejo IV) en la explotación

estudiada no se introdujeron datos de la recolección. En ciertas actividades los datos resaltan por ser elevados en comparación con los demás, valores que sobrepasan los 70 kg de CO<sub>2</sub> eq/ha; se deduce que éstas son las actividades de preparación del terreno, en las cuales existe una resistencia al avance de la máquina y esto provoca que se tenga que generar más potencia para vencer esta resistencia y esto supone un consumo mayor de combustible.

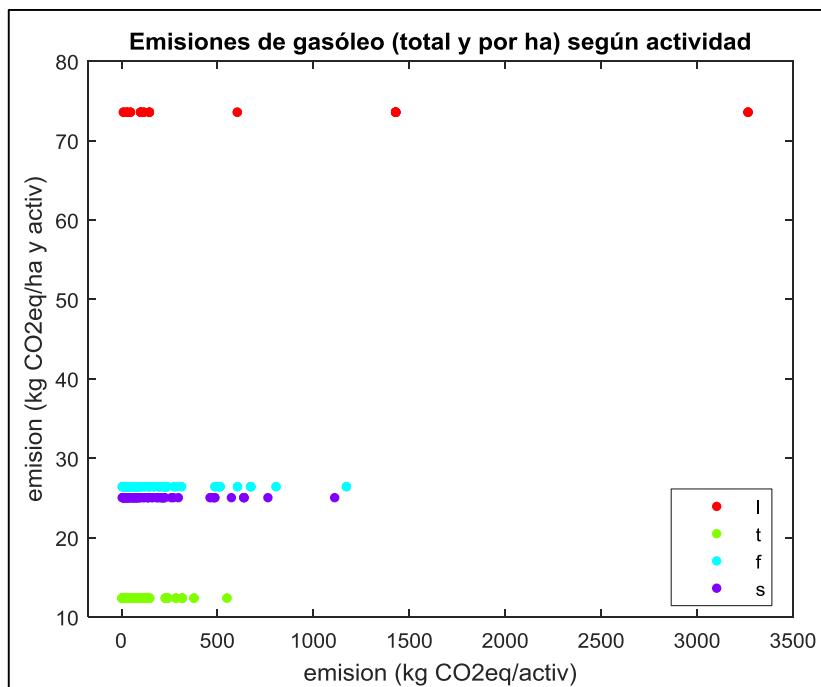


Figura 6. Emisiones del gasóleo por unidad de superficie y total en cada actividad, según el tipo de operación realizada. I:laboreo, t:tratamientos fitosanitarios, f:fertilización, s:siembra. (Elaboración propia)

En la Figura 6 se muestran las emisiones de los gases de efecto invernadero expresadas en kg de CO<sub>2</sub> equivalente por unidad de superficie y total por actividad realizada. Se advierte rápidamente que existe una relación directa entre el tipo de actividad realizada y la cantidad de emisiones producidas por hectárea. La actividad que más impacto genera es el laboreo con una magnitud de aproximadamente 70 kg CO<sub>2</sub> equivalente/ha mientras que las demás operaciones no llegan a los 30. Se aprecia que la actividad que menos impacto genera es la aplicación de productos fitosanitarios.

En cuanto a la emisión por unidad de producción no son muy representativos ya que se ha utilizado un valor de producción genérico para todas las parcelas. Pero estos datos serán muy relevantes cuando el usuario incluya los datos individuales de recolección en cada parcela.

En la Figura 7 se reafirman los resultados ya comentados, casi la totalidad de las actividades generan unas emisiones menores de 0,03 kg de dióxido de carbono equivalente por kg recolectado (gráfico superior de la Figura 7). Sin embargo comparando la huella de carbono según la superficie se observa que hay más variabilidad, más de 200 actividades emitén aproximadamente 10 kg de CO<sub>2</sub> eq/ha, otras tantas emitén 25 y las correspondientes al laboreo emitén una cantidad cercana a 70 kg de CO<sub>2</sub> eq/ha (segundo gráfico de Figura 7).

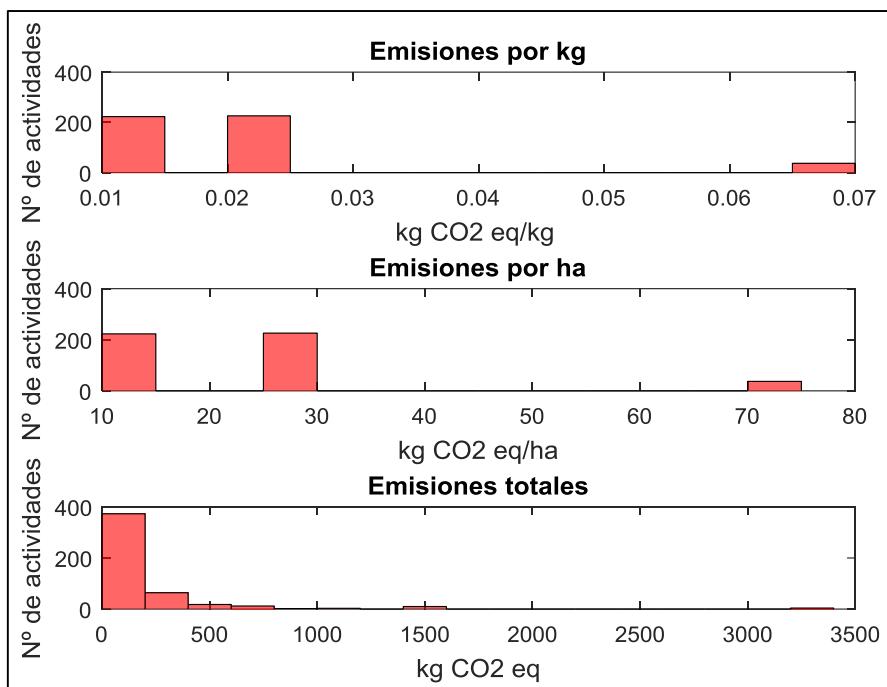


Figura 7. Histogramas del gasóleo. Número de actividades que han generado una determinada cantidad de emisiones. Arriba: emisiones por unidad de producción, medio: emisiones por unidad de superficie y abajo: emisiones totales. (Elaboración propia)

Respecto al fertilizante, se ha llevado a cabo el mismo análisis que en el combustible. En este insumo, a diferencia del anterior, se distinguen tres fuentes de emisión, la fabricación, el transporte desde el punto de venta hasta la parcela donde se utilizarán y la aplicación de fertilizantes nitrogenados, los cuales producen N<sub>2</sub>O. En la Figura 8 se representan las emisiones en kg de CO<sub>2</sub> equivalentes por hectárea generadas en cada actividad distinguiendo la causa de las emisiones. Se observa que la fabricación (en este proceso también se incluye el transporte desde la fábrica hasta el punto de venta) es el proceso en el que se producen más emisiones, seguida de la producción de óxido nitroso por la aplicación de fertilizantes nitrogenados y por último el transporte, que supone una parte muy pequeña del impacto generado.

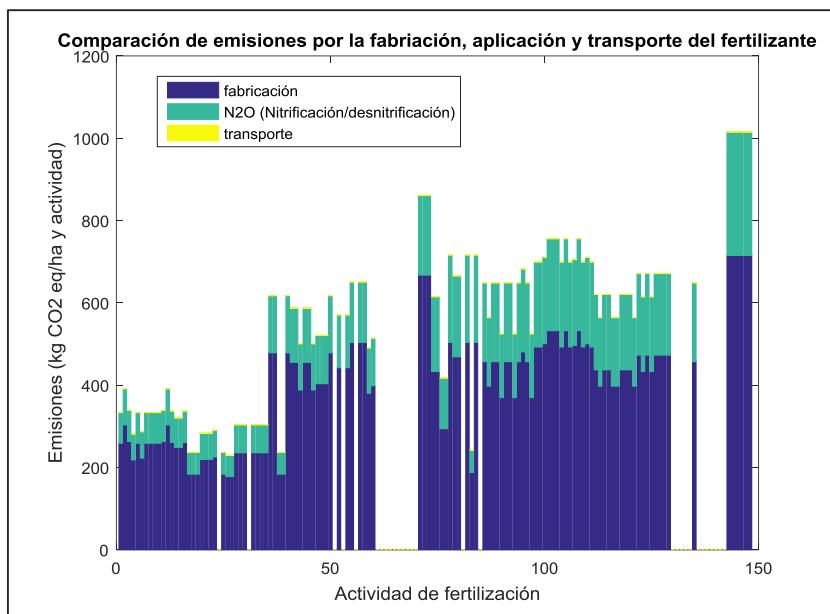


Figura 8. Emisiones del fertilizante debidas a la fabricación y a la emisión de N<sub>2</sub>O. (Elaboración propia)

Para hablar de los factores que afectan al nivel de emisión del fertilizante es recomendable mirar la Figura 9, donde se representan dos gráficos, el de la izquierda muestra la huella de carbono generada por cada actividad según la formulación del fertilizante y el de la derecha según la dosis de aplicación, expresando los dos gráficos, las emisiones por unidad de hectárea en las ordenadas y las emisiones totales de la actividad en las abscisas.

Del primer gráfico (izquierda) se puede deducir que cuanto menos nitrógeno contiene el fertilizante utilizado, menos emisiones produce la actividad de fertilización, por lo que el fertilizante que menos impacto genera es el 10-26-0 y el que más el 40-0-0, reparando así, en que el fertilizante 45-0-0 no ha sido utilizado ya que tiene un impacto nulo, y debería ser el que más tuviese.

Pero utilizando el mismo fertilizante existen diferentes niveles de emisión, este fenómeno viene explicado por la dosis aplicada en esa actividad. El gráfico de la derecha de la Figura 9, representa las emisiones generadas por cada actividad según la dosis, los valores precisados en la leyenda son los cuartiles de las dosis utilizadas (0, 25, 50 y 75) y representan todas las actividades que aplican una dosis mayor o igual a este número. Se puede sacar en claro de este gráfico que a mayor dosis (kg de fertilizante/ha) mayores emisiones se producen, como es lógico. Las emisiones producidas por el fertilizante 10-26-0 están entre los 200 y los 400 kg de CO<sub>2</sub> eq/ha, y se ve que las menores emisiones corresponden a dosis de entre 100 y 124.5 kg/ha, luego le siguen las

que están entre 124.5 y 163 y las más altas son las actividades en las que se han aplicado dosis mayores de 163 kg/ha.

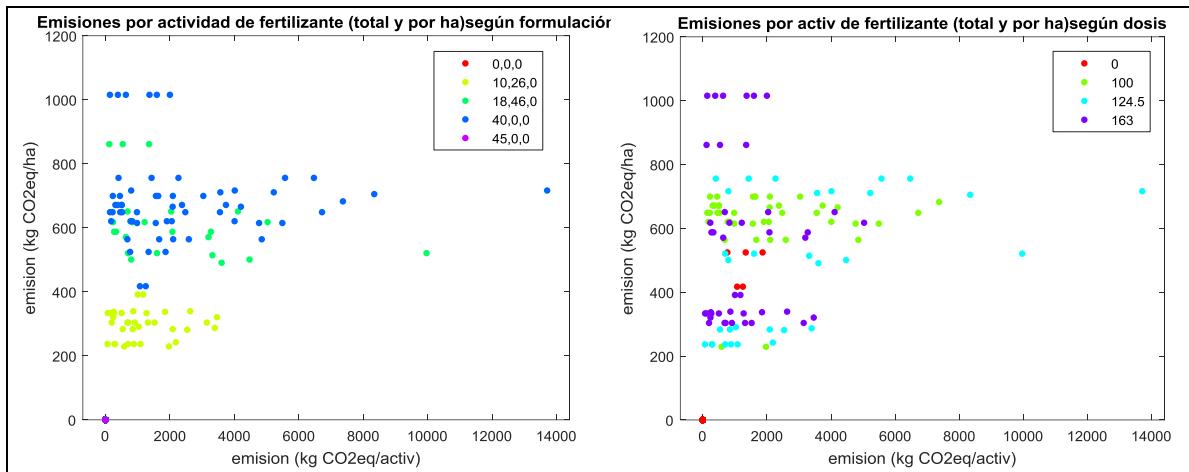


Figura 9. Emisiones por actividad del fertilizante por unidad de superficie y total. Izquierda: según la formulación del fertilizante, derecha: según la dosis (kg/ha). (Elaboración propia)

En la Figura 10 se han representado los histogramas que muestran el número de actividades que han generado una cantidad de emisiones por unidad de producción (superior), por unidad de superficie (medio) y totales (inferior).

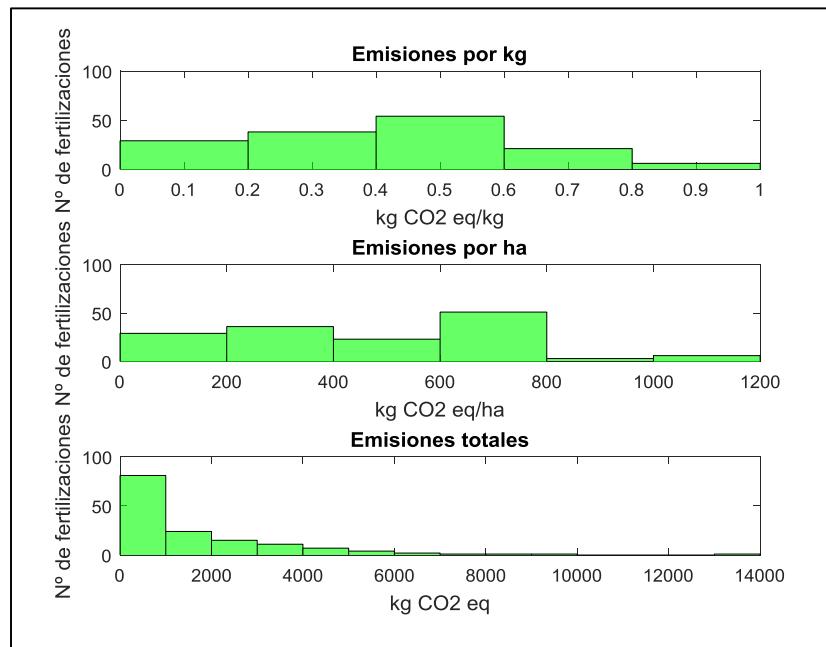


Figura 10. Histograma de emisiones del fertilizante por actividad. Superior: emisión por kg producido, medio: emisión por hectárea e inferior: emisiones totales. (Elaboración propia)

Se ve que la mayoría de las actividades realizadas para enriquecer los suelos genera entre 0,4 y 0,6 kg de CO<sub>2</sub> eq/kg producido y entre 600 y 800 kg de CO<sub>2</sub> eq/ha, que corresponden a los fertilizantes nitrogenados, el cual ha sido utilizado para los abonados de fondo, como se demostró en el Anejo IV.

Con referencia a los productos fitosanitarios, se ha realizado el análisis de la misma manera que se ha procedido en los anteriores insumos. Se vuelve a sacar en claro que las emisiones que produce el transporte desde el punto de venta hasta la parcela donde se va a utilizar el producto fitosanitario es despreciable en comparación con las emisiones producidas por la fabricación del mismo (Figura 11).

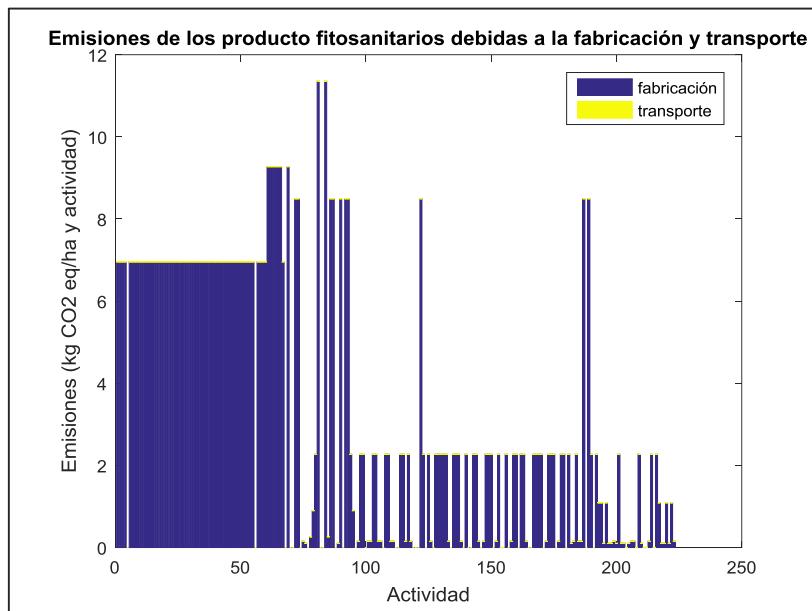


Figura 11. Emisiones de los productos fitosanitarios debidas a la fabricación y el transporte. (Elaboración propia)

Se ha llegado a la misma conclusión que en los fertilizantes, existen dos factores principales que influyen en la cantidad de emisiones que se generan en las actividades de aplicación de productos fitosanitarios. Estos factores son: el tipo de producto utilizado y la dosis aplicada.

En la Figura 12 se muestran dos gráficos que representan las emisiones generadas por cada actividad de tratamiento expresado por unidad de superficie y totales, según el producto comercial utilizado (gráfico de la izquierda) y según la dosis aplicada (gráfico de la derecha).

Se repara en que existe una relación directa entre las emisiones producidas por actividad y el producto utilizado. Se observa que los productos que menos emisiones por hectárea producen son los que son aplicados de forma sólida, es decir *Granstar Super 50 Sx* y *Biply 33 Sx*, el producto *Axial* no ha sido tenido en cuenta para este análisis ya que su nombre estaba escrito de diferentes maneras en el listado de productos del MAGRAMA y en el fichero de Cropti, por lo que el Matlab no lo ha reconocido. Las emisiones más altas proceden de los productos *Roundup Ultra Plus* y *Gamo* que están entre 7 y 9 kg de

$\text{CO}_2$  eq/ha, respectivamente. En los casos de *Herbicruz Magapol* y *Roundup Ultra Plus* aparecen emisiones diferentes, esto se debe al segundo factor influyente, la dosis aplicada. Este fenómeno está evidenciado en el gráfico de la derecha de la Figura 12, la diferencia tan considerable que existe entre las emisiones producidas por el producto *Herbicruz Magapol* se ve que es debido a la dosis, las emisiones más bajas, cercanas a 2 kg de  $\text{CO}_2$  eq/ha, corresponden a dosis de entre 0,03 y 0,595 kg/ha mientras que las más elevadas corresponden a dosis de más de 1,8771 kg/ha. El caso de *Roundup Ultra Plus* se explica de la misma manera pero no tiene una variación de dosis tan grande como en el caso anterior. En estos casos cabría preguntarse si las dosis utilizadas están dentro de los rangos recomendados por el fabricante.

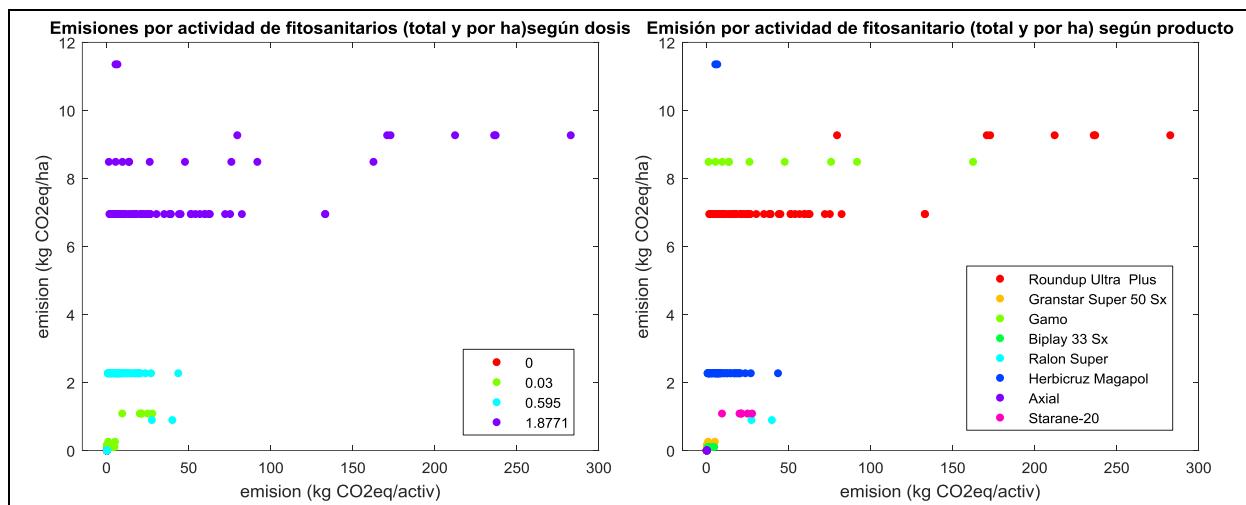


Figura 12. Emisiones por actividad del producto fitosanitario total y por unidad superficial según el producto comercial. (Elaboración propia)

En cuanto a las emisiones totales generadas en cada actividad se ve que la mayoría de las actividades emiten entre 0 y 50 kg de  $\text{CO}_2$  equivalente.

En la Figura 13 se presentan los histogramas de emisiones de los productos fitosanitarios mostrándolas por kg producido, por hectárea y totales en cada actividad de tratamientos. Se aprecia que cerca de 200 actividades de aplicación de tratamientos generan un impacto menor de 0,004 kg  $\text{CO}_2$  eq/kg producido; por unidad de superficie existen casi 100 actividades con emisiones de 0 a 2 kg  $\text{CO}_2$  eq/ha, 50 de 2 a 4 y cerca de 60 de 6 a 8 kg  $\text{CO}_2$  eq/ha, siendo la relación entre estas dos magnitudes la productividad superficial utilizada como genérica expresada en kg/ha.

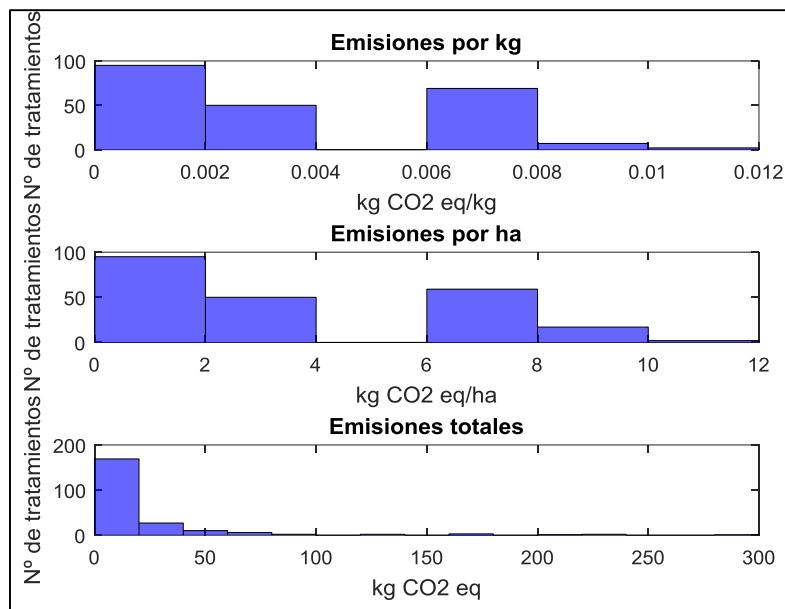


Figura 13. Histogramas de los productos fitosanitarios. Superior: emisiones por kg, medio: emisiones por ha e inferior: emisiones totales. (Elaboración propia)

En la Tabla 13 se recogen las variables más relevantes con sus respectivos valores mediana de las emisiones de dióxido de carbono equivalente según el insumo.

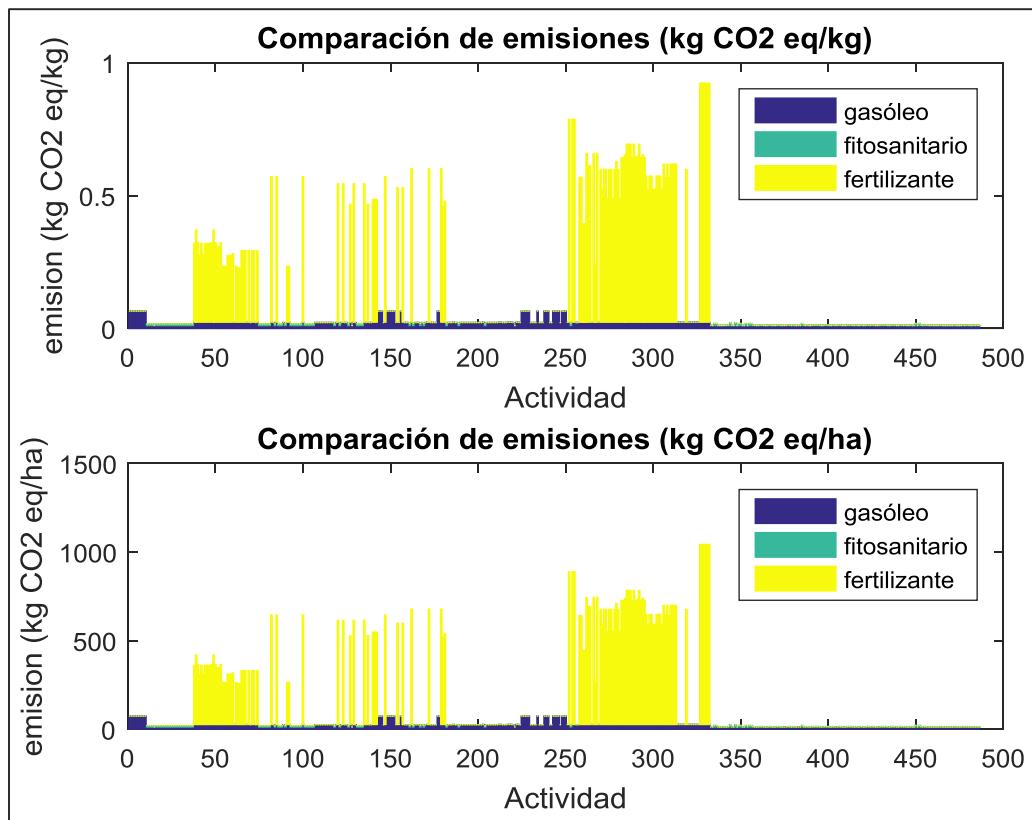


Figura 14. Comparación de emisiones según actividad. Superior: por unidad de producción, inferior: emisiones por unidad superficial. (Elaboración propia)

Tanto en la Figura 14 como en la Tabla 13 se sintetizan los resultados obtenidos y se deduce que el fertilizante, con todos los procesos que éste incluye (fabricación, transporte y utilización del fertilizante) es el insumo que genera mayores emisiones, seguida del gasóleo (fabricación, transporte y combustión) y por último, con unas emisiones muy reducidas, el producto fitosanitario (fabricación y transporte). Además se observa que la fase que más impacto genera es la fabricación del insumo y la fase del transporte no supone una emisión trascendente.

Tabla 13. Resumen de las emisiones de los insumos en cada actividad con sus respectivas variables y medianas. Fab: emisiones procedentes de la fabricación del insumo, Tpte: emisiones referentes del transporte del insumo, Util: emisiones procedentes de la utilización del insumo. (Elaboración propia)

Insumo	Fuente	kg de CO <sub>2</sub> eq/kg		kg de CO <sub>2</sub> eq/ha		kg de CO <sub>2</sub>		%
		Variable	Med	Variable	Med	Variable	Med	
Gasóleo	Fab y util	emi_comb_act_kg	0,0221	emision_ha	25,027	emision_act	67,81	99,9
	Tpte	transp_comb_act_kg	1,11e-05	transp_comb_act_ha	0,0126	transp_com_b_act	0,0377	0,1
Fertilizante <sup>(1)</sup>	Fab	Em_fert_act_kg_fab	0,3516	Em_C02_act	397,26	Em_fert_act_ividad	631,78	75,7
	Util	Em_fert_act_kg_N2O	0,1113	emisionN2O_ha	125,72	emisionN2O_act	202,26	24
	Tpte	transp_fert_act_kg	3,63e-04	transp_fert_act_ha	0,4102	transp_fert_act	0,8099	0,3
Fitosanitario <sup>(2)</sup>	Fab	E_fito_act_kg	0,002	E_fito_activ_ha	2,2707	E_fito_acitv	4,9194	99,9
	Tpte	transp_fito_act_kg	1,74e-06	transp_fito_act_ha	0,0020	transp_fito_act	0,0048	0,1

- (1) Para las actividades de fertilización
- (2) Para las actividades de tratamientos fitosanitarios

### 2.5.2 Emisiones por parcela

En este apartado se discutirán los resultados obtenidos de las emisiones generadas en cada parcela por cada insumo. En la explotación estudiada hay 76 parcelas que cultivan el cereal de la cebada.

Está claro que las emisiones producidas en una parcela están directamente relacionadas con el número de actividades que se hayan realizado en la misma. Pero teniendo en cuenta las conclusiones a las que se han llegado en el apartado anterior, cabe pensar que la operación que más va a influenciar es el laboreo. Observando la Figura 15 se deduce, que efectivamente el número de pases de laboreo realizados en cada parcela es el factor que más influye al nivel de emisiones producido por unidad de superficie, después el número de siembras, seguida del número de tratamientos fitosanitarios y por último el

número de fertilizaciones. Evidentemente también juegan un papel importante las dosis aplicadas en cada una de las operaciones realizadas.

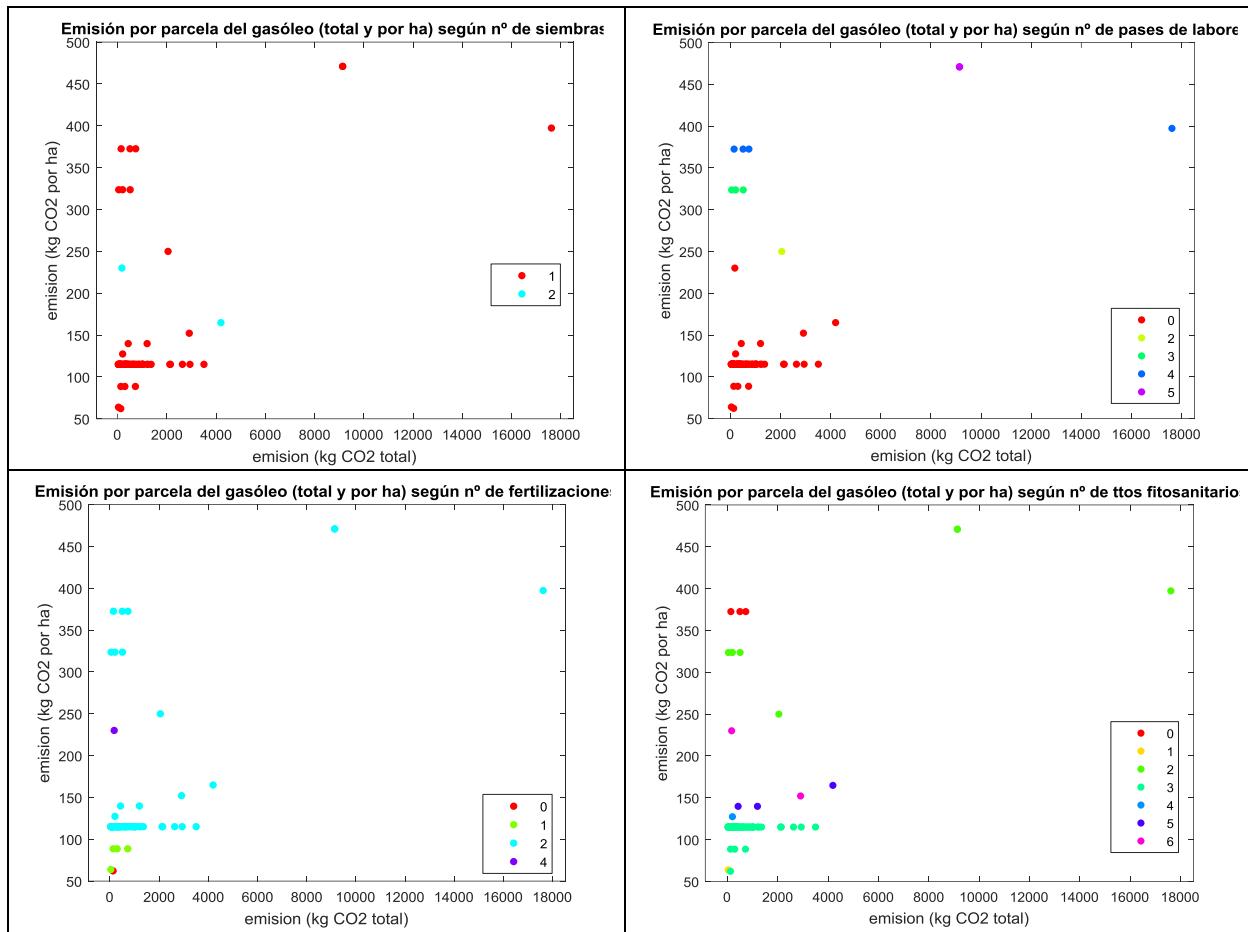


Figura 15. Emisión gasóleo por ha y kg según número de actividades por parcela. (Elaboración propia)

Cerca de 50 parcelas llevan a la práctica el no laboreo y realizan dos tratamientos fitosanitarios, según las deducciones del Anejo IV; todas ellas tienen unas emisiones de entre 100 y 150 kg de CO<sub>2</sub> eq/ha (Figura 16).

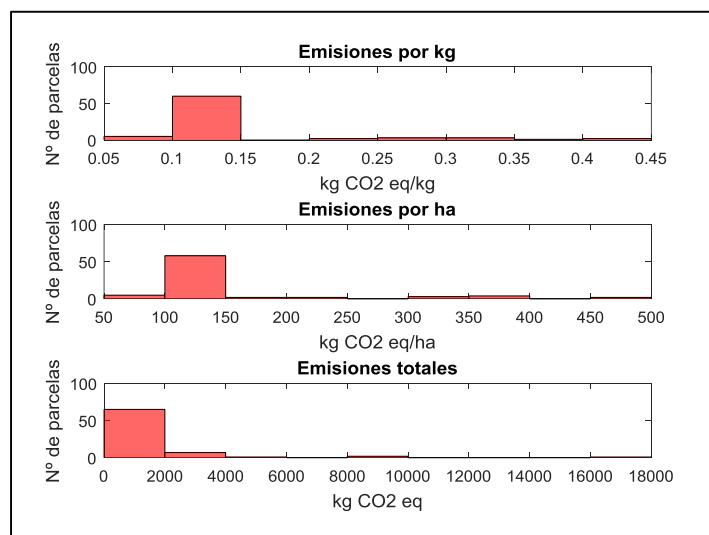


Figura 16. Histogramas emisiones del gasóleo en cada parcela. Superior: emisiones por kg, medio: emisiones por ha, inferior: emisiones totales. (Elaboración propia)

En cuanto a las emisiones generadas por el fertilizante existe una correlación entre el número de fertilizaciones realizadas en la parcela y las emisiones generadas en cada hectárea, también influyen otros factores, como se ha visto en la discusión de resultados de las emisiones por actividad, como son la dosis aplicada en cada actividad y la cantidad de nitrógeno que contienen los abonos utilizados.

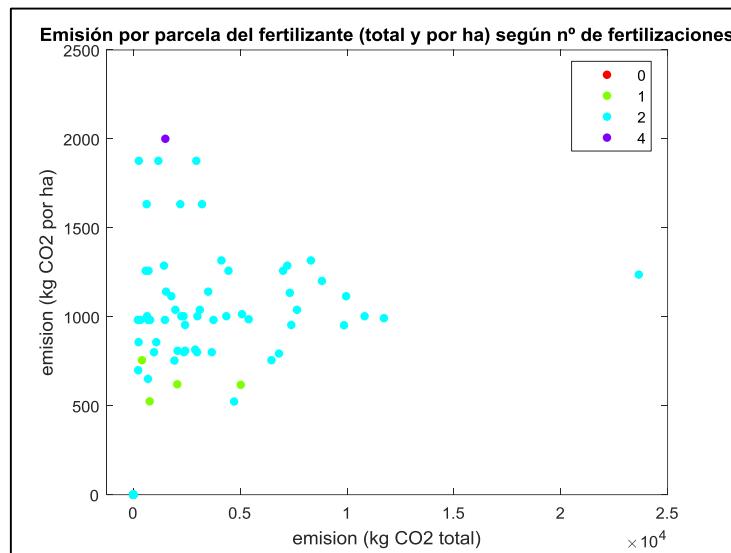


Figura 17. Emisiones por parcela del fertilizante total y por unidad superficial según el número de fertilizaciones realizadas. (Elaboración propia)

En la Figura 18 se muestran los histogramas de las emisiones de los fertilizantes, representan el número de parcelas que producen una emisión determinada por unidad de producción, por unidad de superficie y totales. Se observa que alrededor de 50 parcelas tienen unas emisiones de 0,6 a 1,2 kg de CO<sub>2</sub> eq/kg producido y de 500 a 1.500 kg de CO<sub>2</sub> eq/ha fertilizada.

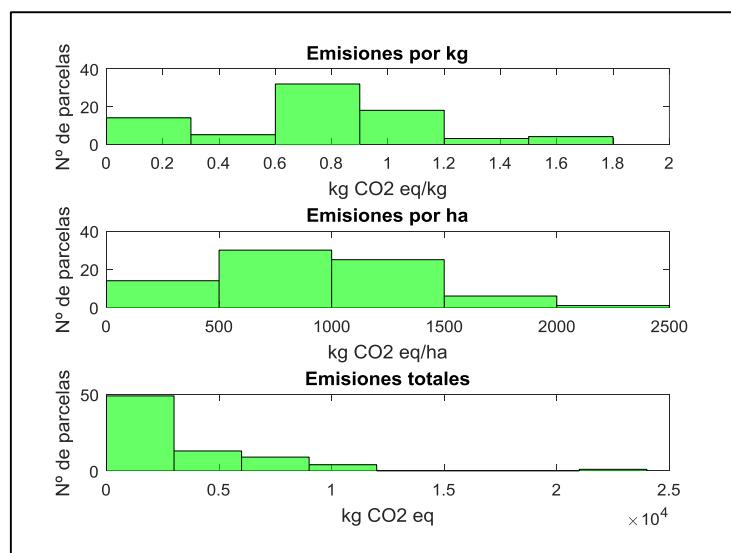


Figura 18. Histogramas emisiones del fertilizante en cada parcela. Superior: emisiones por kg, medio: emisiones por ha e inferior: emisiones totales. (Elaboración propia)

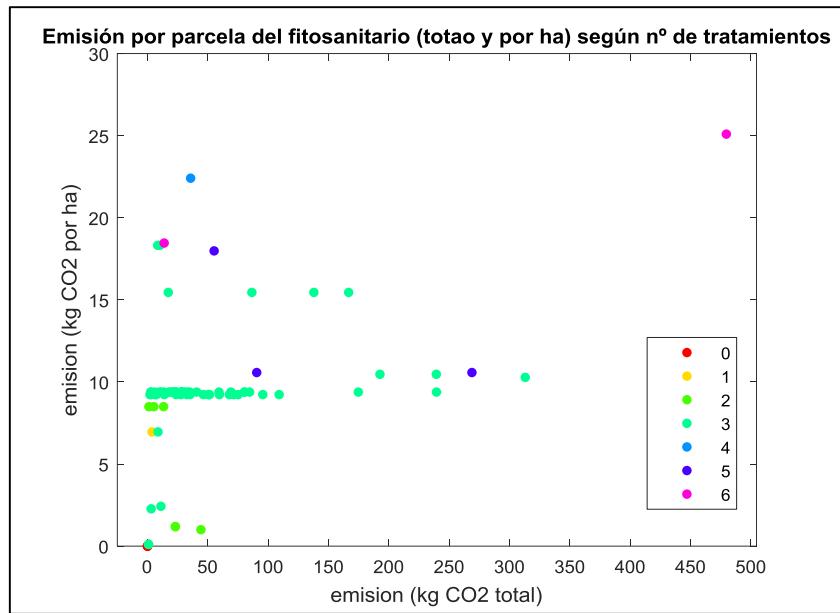


Figura 19. Emisiones de los productos fitosanitarios por ha y por kg según número de tratamientos realizados por parcela. (Elaboración propia)

En el estudio sobre los productos fitosanitarios se ha observado que existe una relación directa entre el número de tratamientos realizados en la parcela y las emisiones producidas (Figura 19), pero al igual que en el fertilizante, influyen otros factores, como se ha visto en el apartado de emisiones por actividad, como son el tipo de producto fitosanitario utilizado, el estado físico de éste o la dosis de aplicación.

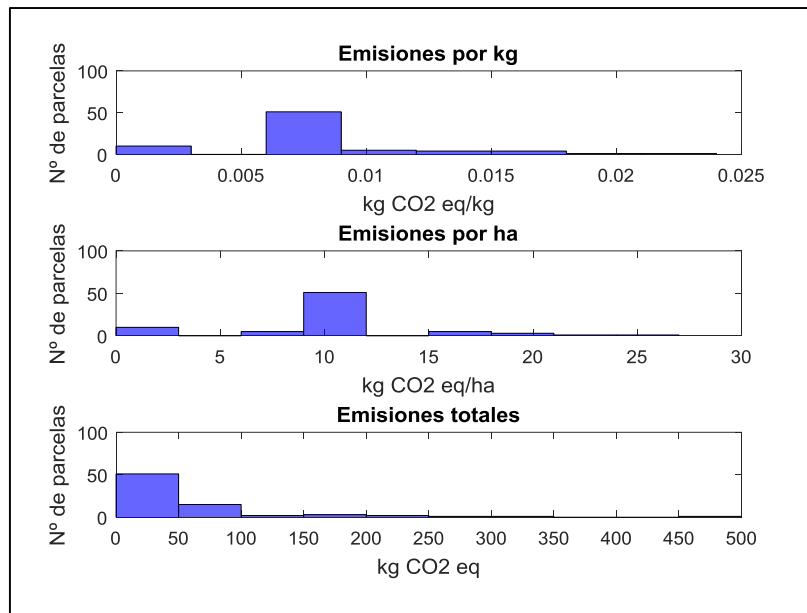


Figura 20. Histogramas de productos fitosanitarios. Superior: emisiones por kg, medio: emisiones por ha e inferior: emisiones totales. (Elaboración propia)

Se puede apreciar en la Figura 20 que más del 65% de las parcelas generan unas emisiones entre 0,005 y 0,01 kg CO<sub>2</sub> eq/kg recolectado y 10 kg CO<sub>2</sub> eq/ha aproximadamente.

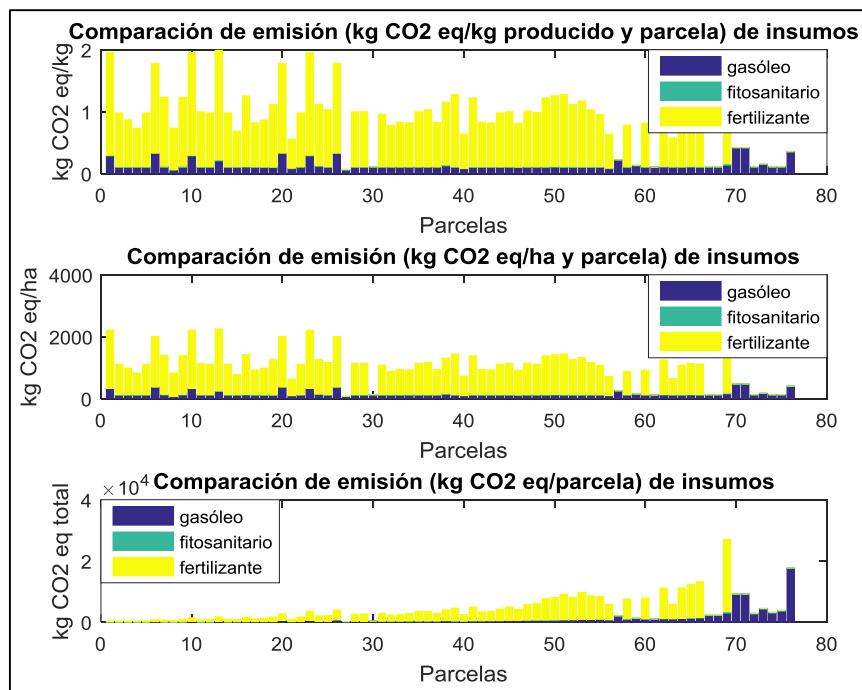


Figura 21. Comparación de emisiones por parcela de los insumos por kg producido, por hectárea y total.  
(Elaboración propia)

Haciendo una recopilación de todos los resultados obtenidos, en la Figura 21 y Tabla 14, se recogen de manera gráfica y de manera numérica los datos más importantes. Se observa que la mayor parte de las emisiones generadas en una parcela, medidas tanto por hectárea como por kg producido, provienen de los fertilizantes, seguida de la combustión del gasóleo y por último del producto fitosanitario.

Tabla 14. Resumen de las emisiones de insumos en cada parcela con sus respectivas variables y medianas. Activ: emisiones procedentes de la fabricación y utilización del insumo, Tpte: emisiones procedentes del transporte del insumo, Fab: emisiones procedentes de la fabricación del insumo.  
(Elaboración propia)

Insumo	Fuente	kg de CO <sub>2</sub> eq/kg		kg de CO <sub>2</sub> eq/ha		kg de CO <sub>2</sub> eq		%
		Variable	Mediana	Variable	Media na	Variable	Median a	
Gasóleo	Activ	emi_comb_ par_kg	0,1018	tot_diesel (:,3)	114,98	tot_diesel (:,2)	418,73	99,9
	Tpte	transp_com b_par_kg	5,74e-05	transp_com b_par_ha	0,065	transp_comb_ par	0,233	0,01
Fertilizante	Activ	Em_fert_pa r_kg	0,8686	Em_C02_h a	981,47	Em_C02_par	2,013e +03	99,9
	Tpte	transp_fert_ par_kg	8,16e-04	transp_fert_ par_ha	0,9226	transp_fert_pa r	1,703	0,01
Fitosanitario	Fab	E_fito_par_ kg	0,0083	E_fito_par_ ha	9,376	E_fito_par	27,696	99,9
	Tpte	transp_fito_ par_kg	7,29e-06	transp_fito_ par_ha	0,0082	transp_fito_pa r	0,0266	0,01

Sin embargo se aprecian ciertas parcelas que tienen unas emisiones bastante más elevadas de gasóleo que las demás, lo cual es debido a la realización de laboreo.

Finalmente se calcularon las emisiones de cada parcela, incluyendo todos los insumos utilizados. En la figura 21 se presentan los histogramas que muestran el número de parcelas que producen una determinada cantidad de CO<sub>2</sub> equivalente.

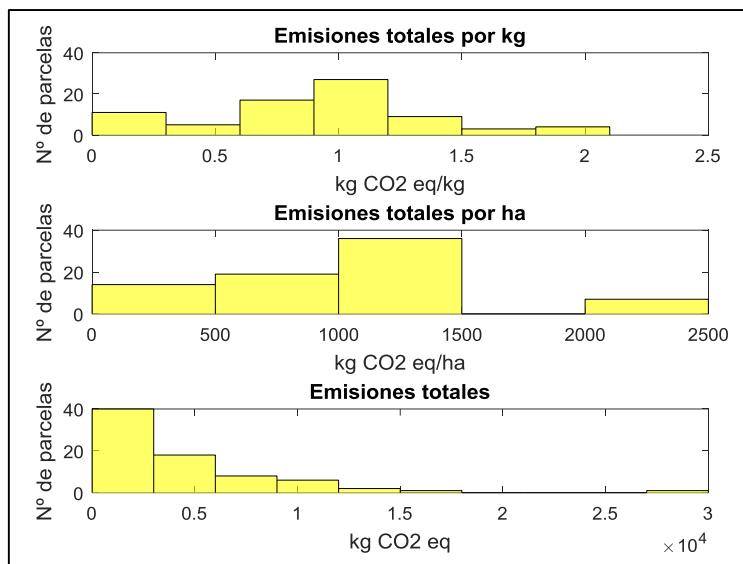


Figura 22. Histogramas de emisiones totales por parcela. Superior: emisiones por ha, medio: emisiones por kg e inferior: emisiones totales. (Elaboración propia)

Se advierte que la mayoría de las parcelas tienen una gestión bastante eficiente, sin embargo hay otras que tienen un impacto bastante elevado, con las conclusiones ya explicadas en cada uno de los apartados anteriores y teniendo en cuenta cuáles son las principales fuentes de emisión, se podrían tomar decisiones para tratar de mejorar la eficiencia en estas parcelas y para reducir las emisiones producidas en cada parcela.

En la Tabla 15 se presentan las medianas de los valores de las emisiones totales en cada parcela para resumir todos los resultados obtenidos.

Tabla 15. Resumen de las emisiones totales en cada parcela con sus respectivas variables y sus medianas. (Elaboración propia)

Emisiones de las parcelas					
kg de CO <sub>2</sub> eq/kg		kg de CO <sub>2</sub> eq/ha		kg de CO <sub>2</sub> eq	
Variable	Mediana	Variable	Mediana	Variable	Mediana
TOT_kg	0,9794	TOT_ha	1,1067e+03	TOT	2,7701e+03

Por último, se determinó el impacto que ha generado la explotación entera, estos valores se encuentran recogidos en la Tabla 16, se dan los datos tanto por unidad de superficie como por unidad de producto cosechado y emisiones totales.

Tabla 16. Resumen de las emisiones totales de toda la explotación con sus respectivas variables y sus valores. (Elaboración propia)

Emisiones de la explotación (76 parcelas)					
kg de CO <sub>2</sub> eq/kg		kg de CO <sub>2</sub> eq/ha		kg de CO <sub>2</sub> eq	
Nombre variable	Valor	Nombre variable	Valor	Nombre variable	Valor
exp_kg	3,8062	exp_ha	669,4039	exp	3,2687e+05

## 2.6 Propuestas

Para futuros trabajos o ampliaciones de este mismo se plantean diferentes propuestas. En primer lugar, para que el resultado del ACV sea más ajustado a la realidad, se podría incluir en el cálculo las diferentes materias activas de los componentes de los productos fitosanitarios, es decir, no utilizar para todas las materias activas de los productos un valor genérico de pesticida no específico sino utilizar los procesos específicos para cada componente; de esta manera sólo se utilizaría el proceso de pesticida no específico cuando no se tuviesen procesos que correspondan a los componentes. En el caso de no poder hacer este cálculos se recomienda diferenciar entre el impacto producido por un herbicida, un insecticida y un fungicida.

Además también se podría tener en cuenta la huella de carbono producida por el proceso productivo realizado para la obtención de las semillas utilizadas para el desarrollo del cultivo patrón, diferenciando si se han obtenido con una producción convencional, integrada o ecológica.

También se podrían introducir los aspectos desarrollados en el anexo III como son los diferentes itinerarios de labranza, los tipos de producción y el tipo de maquinaria que posee el tractor utilizado por el agricultor. Los datos de las emisiones generadas por las diferentes tecnologías de la maquinaria agrícola se recogerían de los ensayos de campo realizados por el grupo de investigación LPF-Tagralia.

## 2.7 Discusión de resultados

Para la validación del método de cálculo utilizado se han comparado los resultados obtenidos con un artículo de investigación que compara las emisiones producidas por

cuatro cultivos, entre ellos la cebada, en dos situaciones, llevando a cabo un proceso productivo de laboreo convencional o no laboreo. El artículo se llama *Does the adoption of zero tillage reduce greenhouse gas emissions? An assessment for the grains industry in Australia*, publicado en el año 2011, siendo los autores T.N. Maraseni y G. Cockfield.

En este artículo se han utilizado las emisiones unitarias que se especifican en la tabla 17.

Tabla 17. Emisiones unitarias en kg CO<sub>2</sub> eq/kg de unidad fertilizante (uf) o por materia activa (ma) para la producción, empaquetado y transporte de los agroquímicos. Naranja: datos correspondientes al artículo (Maraseni & Cockfield, 2011), azul: datos correspondientes al proyecto. (Elaboración propia)

Fertilizante	kg CO <sub>2</sub> eq/uf		Fitosanitario	kg CO <sub>2</sub> eq/kg ma	
N	4,77	9,93	Insecticidas	18,7	10,28
P	0,73	1,73	Herbicidas	23,1	
K	0,55	0,68	Fungicidas	14,3	

Se puede ver en la tabla 17 que los valores recogidos de la base de datos Ecoinvent son diferentes a los utilizados por el artículo, duplicando casi los valores en el caso de los fertilizantes nitrogenados y los fosfatados y siendo la mitad en el caso de los herbicidas, que es el agroquímico que se ha utilizado en la explotación estudiada.

Tabla 18. Consumos de gasóleo y emisiones de CO<sub>2</sub> eq por ha en cada actividad agrícola. Blanco: datos correspondientes al artículo (Maraseni & Cockfield, 2011), azul: datos correspondientes al proyecto. (Elaboración propia)

Operación	kg gasóleo/ha		Número de actividades			kg CO <sub>2</sub> eq/ha	
			No laboreo	Laboreo			
Laboreo	21,58 <sup>(1)</sup>	26,1	0	3 <sup>(2)</sup>	0 <sup>(3)</sup>	107,1	73,57
Fertilización	4,15 <sup>(1)</sup>	5,29	0	0	2 <sup>(3)</sup>	0	26,41
Tratamientos fitosanitarios	1,87 <sup>(1)</sup>	1,76	6	2	3 <sup>(3)</sup>	14,2	12,37
Siembra	4,15 <sup>(1)</sup>	3,82	1	1	1 <sup>(3)</sup>	15,8	25,03
Cosecha	6,72 <sup>(1)</sup>	33,3	1	1	_ <sup>(3)</sup>	25,5	162,73

<sup>(1)</sup>Se ha considerado una densidad de gasoil de 0.83 kg/l.

<sup>(2)</sup>1 pase se refiere a laboreo primario y 2 pasos se refieren a laboreo secundario

<sup>(3)</sup>86% de las parcelas realiza no laboreo, 92 % de las parcelas realizan 2 fertilizaciones, 77 % de las parcelas realizan 3 tratamientos fitosanitarios, 97 % de las parcelas realiza 1 siembra, de la cosecha no se tienen datos.

Los datos de los consumos y las emisiones por ha de gasóleo y el número de actividades que se han realizado en cada parcela de cada operación agrícola que se han utilizado para realizar los cálculos se muestran en la tabla 18, en ella se puede apreciar que casi todos los datos utilizados se aproximan a los precisados por el artículo, excepto en el caso de la cosecha, que utilizan un consumo de 5 veces por debajo del valor usado en el

presente proyecto y además tampoco fertilizan el cultivo de la cebada, mientras que la explotación estudiada fertiliza 2 veces en el 92% de las parcelas.

Finalmente los valores que presentan como finales son los que se muestran en la tabla 19.

Tabla 19. Emisiones generadas en una parcela por los diferentes insumos. Blanco: datos correspondientes al artículo (Maraseni & Cockfield, 2011), azul: datos correspondientes al proyecto. (Elaboración propia)

Insumo	kg CO <sub>2</sub> eq/ha			
	No laboreo	Laboreo	Mediana <sup>(1)</sup>	Media <sup>(1)</sup>
Gasóleo	83,9	162,5	115,05	149,36
Agroquímicos	126	61,3	9,4	3,36
Fertilizante	4,6 <sup>(2)</sup>	4,6 <sup>(2)</sup>	982,44	865,76
Maquinaria	12,1	23,4	-	-

(1) Se han considerado las medianas y las medias de los valores de las emisiones por ha en cada parcela.

(2) Liberación de N<sub>2</sub>O por actividad del suelo ya que no se realiza fertilización química.

Se puede distinguir que los resultados obtenidos del impacto producido en las parcelas de la explotación son destacablemente mayores en el fertilizante, del orden de 200 veces, mientras que la huella de carbono producida por los productos fitosanitarios es muy inferior. Pero teniendo en cuenta que en el artículo no se ha llevado a cabo la operación de fertilización y que las emisiones por unidad de materia activa de los agroquímicos tienen una diferencia del 50%, se podría afirmar que los resultados obtenidos en el proyecto están dentro de las magnitudes esperadas, por lo que se puede confirmar que el procedimiento seguido es adecuado y correcto.

### 3 DIAGRAMA DE FLUJO

La figura 19 representa de forma gráfica el algoritmo desarrollado para calcular el análisis de ciclo de vida de un cultivo en una explotación. Se ha trazado paso a paso el procedimiento que se debe seguir para la visualización de los resultados.

Tabla 20. Variables que se deben guardar del pre-análisis de datos. (Elaboración propia)

Variable	Concepto
Sup	Superficie trabajada en cada actividad
activ	Actividades
parcelas	Superficie de cada parcela

Variable	Concepto
res_activ	Nombre de cada actividad (l, s, t, f)
res_acpar_num	Nº de actividades en cada parcela
FF	Formulaciones de los fertilizantes utilizados
D_abonado	Dosis de fertilizante
ABO	Líneas de actividades de fertilización
NPK	Riqueza del fertilizante utilizado en cada actividad
productos_id	Nº de registro de los productos fitosanitarios
prod_fito	Nombre comercial de los productos fitosanitarios
tipo_fito	Estado físico de los productos fitosanitarios
D_fito	Dosis de los productos fitosanitarios
dosis_siembra	Dosis de siembra
Dcol_metodo_produccion	Nº de columna de la productividad
cosecha	Productividad

Para empezar se debe seleccionar el fichero donde se encuentren recogidos todos los datos de la explotación que se quiera estudiar. Una vez elegido, es necesario establecer los parámetros, como son las columnas donde se encuentran determinados datos dentro del fichero, los números SIGPAC de los municipios donde se localizan las parcelas de la explotación y las diferentes unidades utilizadas de las dosis de aplicación de los productos fitosanitarios, entre otros. Seguidamente se deben guardar las variables, siempre y cuando se hayan creado, que más tarde serán utilizadas para el cálculo de la huella de carbono. Estas variables son las especificadas en la tabla 14.

A continuación se deben definir los parámetros necesarios para calcular las emisiones de dióxido de carbono equivalente que ha generado la explotación, debiendo introducir el dato de rendimiento productivo, obtenido del anuario de estadística del MAGRAMA, en el caso de que no se haya creado la variable *cosecha* en el apartado anterior junto con otros datos definidos en el apartado 2.4.1 de este mismo anexo.

Después se deben ejecutar las rutinas para el cálculo de ACV, debiendo introducir los datos de las emisiones unitarias de los insumos, datos procedentes de la base de datos Ecoinvent. Una vez finalizado este proceso se procederá a la visualización de los

resultados mediante gráficos (histogramas, diagramas de dispersión...) como los mostrados en los apartados anteriores. En el último paso se debe decidir si se quiere realizar un nuevo estudio de huella de carbono de otra explotación, en este caso se seleccionaría el fichero de ésta y se realizaría de nuevo todo el proceso descrito; en caso contrario el cálculo habría finalizado.

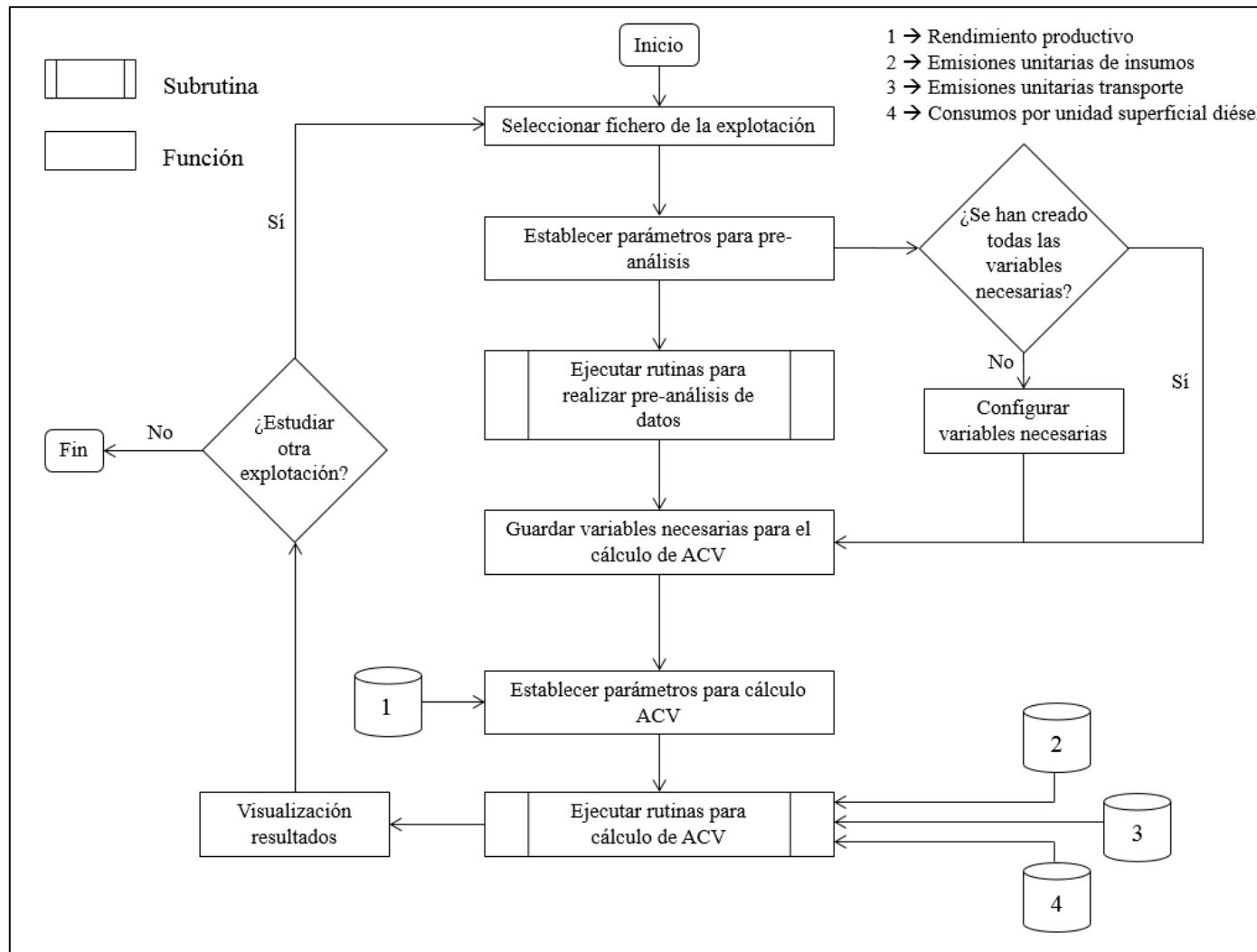


Figura 23. Diagrama de flujo del cálculo de ACV. (Elaboración propia)

## 4 BIBLIOGRAFÍA

Maraseni, T., & Cockfield, G. (2011). Does the adoption of zero tillage reduce greenhouse gas emissions? An assessment for the grains industry in Australia. *Agricultural Systems*, 104(6), 451-458.

*Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente*. (2012). Recuperado el 18 del 11 de 2015, de

<http://www.magrama.gob.es/es/estadistica/temas/publicaciones/anuario-de-estadistica/2013/default.aspx?parte=3&capitulo=13&grupo=1&seccion=3>

Ruiz Amador, D., & Zúñiga López, I. (2012). *Análisis de ciclo de vida y huella de carbono*.



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS AGRÓNOMOS



**DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN INFORMÁTICA  
PARA EL CÁLCULO DE INDICADORES AMBIENTALES  
(HUELLA DE CARBONO) EN ACTIVIDADES  
AGRÍCOLAS A PARTIR DE LOS CUADERNOS  
DIGITALES DE EXPLOTACIÓN (CDE)**

**ANEJO VI  
EVALUACIÓN FINANCIERA**

Lucía Arrúe Gonzalo

Diciembre de 2015

Tutora: Pilar Barreiro Elorza

Cotutor: Diego Ruiz Amador

Promotor: Cropti

# ANEJO VI. EVALUACIÓN FINANCIERA

---

## CONTENIDO

1	CUADRO DE FLUJOS DE CAJA .....	4
1.1	Pago de la inversión .....	4
1.2	Pagos .....	4
1.3	Cobros .....	5
1.4	Flujos de caja .....	6
1.5	Vida útil .....	6
1.6	Tasa de actualización .....	6
1.7	Cuadro de flujos de caja.....	6
2	ANÁLISIS DE RENTABILIDAD .....	7
2.1	Valor Actual Neto .....	7
2.2	Tasa Interna de Rendimiento .....	7
2.3	Relación Beneficio/Inversión .....	8
2.4	Plazo de recuperación o pay back .....	8
2.5	Resultados .....	9
3	BIBLIOGRAFÍA .....	10

**TABLAS**

Tabla 1. Conceptos del pago de inversión. (Elaboración propia).....	4
Tabla 2. Tabla de cobros según las licencias de Cropti. (Elaboración propia).....	5
Tabla 3. Cobros percibidos según las dos hipótesis para los cuatro años siguientes a la implantación del proyecto. (Elaboración propia) .....	6
Tabla 4. Tabla de análisis de flujo de caja. (Elaboración propia) .....	7
Tabla 5. Flujos de caja acumulados para el caso 1 y 2. (Elaboración propia).....	8
Tabla 6. Resultados de los criterios de evaluación financiera para el caso 1 y 2. (Elaboración propia) .....	9

# ANEJO VI. EVALUACIÓN FINANCIERA

---

## 1 CUADRO DE FLUJOS DE CAJA

Para analizar la viabilidad de este proyecto en el ámbito económico-financiero, se ha comenzado por realizar un cuadro de flujos de caja en base a los presupuestos. Los parámetros que caracterizan el proyecto de inversión se desarrollan a continuación.

### 1.1 Pago de la inversión

Este parámetro ( $K$ ) representa el desembolso de unidades monetarias que es necesario efectuar para poner en marcha la inversión. Para estimar este valor se han tenido en cuenta el pago de los salarios del personal informático y el coste de amortización de los dos ordenadores durante los cuatro meses en los que se desarrolla el software; el salario del personal administrativo y la papelería durante el primer año, estos datos se desarrollan y se justifican en el presupuesto.

Tabla 1. Conceptos del pago de inversión. (Elaboración propia)

Concepto	€
Programador	11.286,11
Analista-Programador	13.543,33
Administrativo	4.125,6
Papelería	250,29
Amortización PC	200

La inversión total que se deberá desembolsar para llevar a cabo el proyecto es de 29.405,33 €.

### 1.2 Pagos

El siguiente parámetro a definir son los pagos ( $P$ ), que son los desembolsos que se efectúan anualmente debidos a la actividad de la empresa. Para la estimación de éstos se ha considerado el material de papelería, el personal de administración además del salario del programador correspondiente a las horas que dedique al mantenimiento del software una vez esté implementado. Los pagos totales que se deben realizar al año son

5.200,9 €, en esta cantidad no se incluye el coste de amortización del ordenador. Todos los pagos están justificados en el documento del Presupuesto.

### 1.3 Cobros

Los cobros (C) son las entradas de recursos monetarios en caja. Como es natural un proyecto que se desarrolla debe generar entradas para cumplir objetivos.

Para obtener los cobros que se están percibiendo en la situación inicial, se han tenido en cuenta los precios actuales de utilización de la herramienta y se ha considerado un número de usuarios nuevos durante el primer año hipotético para cada licencia, al igual que es un valor supuesto el número de explotaciones que integran una cooperativa, ya que es información confidencial de la empresa.

Con todo, los cobros anuales serían de 12.019 €/año en el caso de que la hipótesis que se ha planteado del número de clientes se cumpliera se recogen en la tabla 2.

Tabla 2. Tabla de cobros según las licencias de Cropti. (Elaboración propia)

Licencia	Precio	Nº usuarios considerados para el cálculo	Cobros (€/año)
Básica	69 €/año	100	6.900
Avanzada	89 €/año	50	4.450
Cooperativas	599 €/año + 7 €/explotación	1+10 explotaciones	669
Total			12.019

Igualmente se plantea que cada año se irán incorporando nuevos usuarios a la plataforma para utilizar la herramienta en los tres tipos de licencias, si bien, no se sabe cuántos exactamente, por lo que se van a estudiar dos casos hipotéticos. En el primero, con unas expectativas pesimistas, se incorporará un usuario en cada licencia anualmente, mientras que en el segundo, con unas expectativas un poco mejores, se incorporarán 10 usuarios básicos, 5 avanzados y 1 cooperativa cada año.

Tabla 3. Cobros percibidos según las dos hipótesis para los cuatro años siguientes a la implantación del proyecto. (Elaboración propia)

Año	Cobros	
	Caso 1	Caso 2
1	12.846,00	13.823,00
2	13.673,00	15.627,00
3	14.500,00	17.431,00
4	15.327,00	19.235,00
5	16.154,00	21.039,00

#### 1.4 Flujos de caja

Los flujos de caja ( $R_j$ ) se definen como la diferencia entre los cobros y los pagos en el año  $j$ .

#### 1.5 Vida útil

La vida útil ( $n$ ) es el período de tiempo, medido en años, que transcurre desde que se inicia una inversión hasta que el producto deje de cumplir sus objetivos. Se ha considerado que este periodo es de 5 años, ya que en el transcurso de este tiempo se estima que habrán aparecido en el mercado nuevos productos que desempeñen mejor la función del software creado, porque es un sector muy investigado en la actualidad.

#### 1.6 Tasa de actualización

Por último, la tasa de actualización o descuento ( $r$ ) posibilita la homogenización de los parámetros de la inversión al referirlos todos a una misma unidad de tiempo. El hecho de que cada flujo de caja se obtenga en un instante de tiempo  $j$  requiere que se establezca la relación de equivalencia con el momento de la inversión mediante su actualización (Alonso Sebastian & Serrano Bermejo, 2000).

#### 1.7 Cuadro de flujos de caja

En la tabla 4 se muestran los flujos de caja de la empresa para cinco años. Se puede notar que en el año 0, momento en el que se hace la inversión y se desarrolla el producto, no existen ni cobros ni pagos, ya que ese año se considera que la herramienta no generará cobros pero tampoco necesitará mantenimiento.

Tabla 4. Tabla de análisis de flujo de caja. (Elaboración propia)

Año	Inversión	Cobros		Pagos	Flujo de caja	
		Caso 1	Caso 2		Caso 1	Caso 2
0	29.795,32					
1		12.846,00	13.823,00	5.200,90	7.645,10	8.622,10
2		13.673,00	15.627,00	5.200,90	8.472,10	10.426,10
3		14.500,00	17.431,00	5.200,90	9.299,10	12.230,10
4		15.327,00	19.235,00	5.200,90	10.126,10	14.034,10
5		16.154,00	21.039,00	5.200,90	10.953,10	15.838,10

## 2 ANÁLISIS DE RENTABILIDAD

Una vez determinado el cuadro de flujos de caja es necesario evaluar la rentabilidad y la viabilidad del proyecto, para ello se emplean diferentes criterios de evaluación financiera.

### 2.1 Valor Actual Neto

El primer criterio que se realizará será el Valor Actual Neto (VAN). Este valor expresa el valor actualizado de todos los rendimientos financieros generados por la inversión, es decir, la ganancia total o rentabilidad absoluta a precios actuales (Alonso Sebastian & Serrano Bermejo, 2000). Así, este valor determina la viabilidad del proyecto; en caso de ser negativo sería un proyecto no viable, por lo que el objetivo es que se obtenga un VAN positivo.

$$VAN = - \sum_{j=0}^m \frac{K_j}{(1+r)^j} + \sum_{j=0}^n \frac{R_j}{(1+r)^j}$$

Siendo m los años en los que se realiza el desembolso de la inversión y n los años de vida del proyecto. En este caso se ha considerado m=1, n=5 y r=0,03 para la realización de los cálculos.

### 2.2 Tasa Interna de Rendimiento

Tasa Interna de Rendimiento (TIR) sirve para evaluar la rentabilidad relativa que proporciona la inversión. Esta tasa se define como aquella para la que el VAN toma un

valor nulo. El resultado que interesa es que la TIR sea mayor que la tasa de actualización,  $r$ .

$$-\sum_{j=0}^m \frac{K_j}{(1+\lambda)^j} + \sum_{j=0}^n \frac{R_j}{(1+\lambda)^j} = 0$$

### 2.3 Relación Beneficio/Inversión

La relación Beneficio/Inversión ( $Q$ ) indica la rentabilidad relativa, es decir, la ganancia neta generada por cada unidad monetaria invertida en él. Viene definida por la siguiente expresión:

$$Q = \frac{VAN}{\sum_{i=0}^m \frac{K_i}{(1+r)^i}}$$

En el caso de que la relación Beneficio/Inversión sea positiva quiere decir que el proyecto es viable económico hablando.

### 2.4 Plazo de recuperación o pay back

El periodo de recuperación del capital o Pay Back es otro criterio a tener en consideración. Mide el número de años mínimo que debe transcurrir para recuperar la inversión desembolsada. Para ello es necesario fijarse en los flujos de caja acumulados (tabla 5) teniendo en cuenta la inversión.

Tabla 5. Flujos de caja acumulados para el caso 1 y 2. (Elaboración propia)

	Flujos de caja acumulados	
Año	Caso 1	Caso 2
0	-29.795,32	-29.795,32
1	-22.150,22	-21.173,22
2	-13.678,12	-10.747,12
3	-4.379,02	1.482,98
4	5.747,08	15.517,08
5	16.700,18	31.355,18

## 2.5 Resultados

En la tabla 6 se han recogido todos los resultados obtenidos de los cuatro criterios de evaluación de rentabilidad realizados llevados a cabo.

Tabla 6. Resultados de los criterios de evaluación financiera para el caso 1 y 2. (Elaboración propia)

	Caso 1	Caso 2
VAN	12.568,02	25.726,72
TIR	15,81%	26,42%
Q	0,422	0,863
Pay back (años)	4	3

Como puede observarse, en ambos casos la inversión es viable, si bien la rentabilidad tanto absoluta (VAN) como relativa (TIR y Q) es preferible en el caso 2. Se aprecia que el VAN y la relación Beneficio/Inversión son valores positivos y que la TIR es muy superior a la tasa de actualización (0,03); igualmente existe una alta recuperación de la inversión (Q). Los resultados son satisfactorios, destacando que en el segundo caso se obtienen valores más ventajosos.

### 3 BIBLIOGRAFÍA

Alonso Sebastian, R., & Serrano Bermejo, A. (2000). *Economía de la empresa agroalimentaria*. Ediciones Mundi-Prensa.

García, M., Navelonga, M., & García Peñalvo, F. J. (2007). Modelos de estimación del software basados en técnicas de aprendizaje automático.

<http://es.slideshare.net/techi322/cocomo>



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS AGRÓNOMOS



**DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN INFORMÁTICA  
PARA EL CÁLCULO DE INDICADORES AMBIENTALES  
(HUELLA DE CARBONO) EN ACTIVIDADES  
AGRÍCOLAS A PARTIR DE LOS CUADERNOS  
DIGITALES DE EXPLOTACIÓN (CDE)**

**DOCUMENTO II  
PLIEGO DE CONDICIONES**

Lucía Arrúe Gonzalo

Diciembre de 2015

Tutora: Pilar Barreiro Elorza

Cotutor: Diego Ruiz Amador

Promotor: Cropti

# PLIEGO DE CONDICIONES

---

## CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN .....	4
2.	CONDICIONES TÉCNICAS .....	6
2.1.	Hardware.....	6
2.1.1.	Para ordenadores.....	6
2.1.2.	Para Smartphones .....	7
2.2.	Conexión a internet.....	7
2.3.	Navegador .....	7
2.4.	Acceso a la aplicación.....	7
2.5.	Fichero .....	7
2.5.1.	Errores .....	7
2.5.2.	Parámetros .....	8
3.	PRUEBAS DE VALIDACIÓN DEL PROGRAMA .....	10
3.1.	Validación de las rutinas.....	10
3.2.	Validación de los resultados .....	10
3.3.	Periodo de prueba .....	10
4.	CONDICIONES DE GARANTÍA Y MANTENIMIENTO.....	10
5.	CONDICIONES LEGALES .....	11
5.1.	Revisión de los precios .....	11
5.2.	Condiciones de pago .....	11
5.3.	Licencia de uso .....	11
5.4.	Rescisión del contrato .....	11
6.	CONDICIONES JURÍDICAS .....	12
6.1.	Fuerza Mayor .....	12
6.2.	Arbitrajes y tribunales.....	12

7. BIBLIOGRAFÍA.....	13
----------------------	----

## **FIGURAS**

Figura 1. Iconos de los navegadores compatibles con la aplicación ..... 7

**TABLAS**

Tabla 1. Parámetros que se deben definir para realizar el pre-análisis de datos .....	8
Tabla 2. Parámetros que se deben definir para realizar el pre-análisis de datos .....	9
Tabla 3. Parámetros que se deben definir para realizar el cálculo ACV .....	9

# PLIEGO DE CONDICIONES

---

## 1. INTRODUCCIÓN

En este documento se desarrollan una serie de apartados en los cuales se detallan las condiciones y normativas para la correcta realización del proyecto “Desarrollo de una aplicación informática para el cálculo de indicadores ambientales (huella de carbono) en actividades agrícolas a partir de los cuadernos digitales de explotación (CDE)”.

Entre las condiciones descritas se incluyen requerimientos técnicos para la utilización del software, exigencias de calidad, mantenimiento, garantía, condiciones legales y jurídicas.

## 2. CONDICIONES TÉCNICAS

Se describen en este apartado los requisitos que deben cumplir tanto los recursos materiales como los informáticos y humanos para la utilización correcta de la aplicación. Ciertos aspectos que se desarrollarán aquí también han sido descritos en el Anejo III (apartado 3.3 Manual de uso de Cropti).

### 2.1. Hardware

Para la utilización del software son necesarias unas condiciones básicas en el dispositivo desde el que se lleve a cabo el cálculo de la huella de carbono, estos requisitos son los mismos que para la utilización de la aplicación de Cropti.

#### 2.1.1. Para ordenadores

En cuanto al sistema operativo es necesario poseer uno de éstos:

Windows XP Service Pack 2 y versiones posteriores, Windows Vista, Windows 7, Windows 8 y Windows 10.

Mac OS X 10.6 y versiones posteriores.

Ubuntu 12.04 y versiones posteriores, Debian 7 y versiones posteriores, Open SuSE 12.2 y versiones posteriores, Fedora Linux 17.

El procesador debe ser Intel Pentium 4 o superior y es imprescindible un espacio de 350 MB como mínimo en el disco duro y 512 MB en la memoria RAM.

### 2.1.2. Para Smartphones

Se precisan uno de estos dos sistemas,

Android 4.1 (Jelly Bean) o versiones superiores.

iOS o superior.

## 2.2. Conexión a internet

Se recomienda una conexión a internet estándar, en teléfonos móviles es recomendable estar conectado a una red WiFi o tener tarifa de datos.

## 2.3. Navegador

Cropti está optimizado para los navegadores web Google Chrome, Firefox, Opera y Safari.



Figura 1. Iconos de los navegadores compatibles con la aplicación

## 2.4. Acceso a la aplicación

Para acceder a la aplicación Cropti es necesario entrar en la página web [www.cropti.com](http://www.cropti.com), desde cualquier navegador especificado en el apartado anterior. A continuación es preciso registrarse y crear una cuenta de usuario; para ello se pulsa el botón verde “COMENZAR AHORA” situado en la parte superior derecha. Una vez se haya activado, aparece un cuadro donde se deberán llenar los campos.

## 2.5. Fichero

### 2.5.1. Errores

El fichero que contenga los datos, incorporados por el usuario de la herramienta, debe ser lo más completo y correcto posible. Dicho de otra manera, se deben evitar tanto los errores sintácticos (una entrada que no es reconocida) como los léxicos (el valor asignado no se corresponde con lo esperado).

Los datos suministrados por el archivo serán sometidos por el software a varios filtros para la detección de errores. Los fallos que el programa es capaz de hallar son de tipo sintácticos. Por ejemplo, en el archivo de la explotación estudiada al realizar el pre-análisis se localizaron, en la columna de dosis aplicada de un producto fitosanitario, celdas en las que ponía “*Infinity*” o celdas donde no existían datos donde se suponía que

debía haber un valor numérico. Estos casos se han denominado datos no disponibles y se ha realizado el cálculo ACV descartando todos ellos.

Por otro lado, para los errores léxicos, se deben implementar más filtros en el futuro ya que con las rutinas diseñadas en el programa no se han encontrado este tipo de incorrecciones. Estos errores son por ejemplo, introducir el nombre de un producto comercial que se ha utilizado “Axial” y que en el vademécum aparezca como “Axial Pro”, de esta manera el software no relaciona que es el mismo producto. La aplicación tampoco detecta errores de cantidades excesivas o escasas, por ejemplo, introducir un valor de dosis de aplicación de fertilizante de 2.000 kg/ha en vez de 200 kg/ha. La herramienta ofrece, sin embargo, resultados gráficos de manera que sea el usuario quien repare en la inconsistencia (datos muy alejados de donde se encuentran la mayoría).

Para evitar tanto los errores sintácticos como los errores léxicos se recomienda: la utilización de listas de validación para la elección de opciones, evitando que el usuario tenga que escribir; la restricción del tipo de carácter que debe de incluir (numérico/texto); y el establecimiento de rangos válidos de los datos numéricos (dosis, superficies...).

Como ya se ha demostrado, el archivo debe ser correcto, pero también es aconsejable que sea completo pues cuantos más datos haya, el cálculo será más preciso. En el caso de que falten todos los datos de una determinada actividad (laboreo, siembra, tratamientos fitosanitarios, fertilizaciones y cosecha) se debe poner atención en las variables a guardar al final de la ejecución del pre-análisis, registrando solo aquéllas que hayan sido previamente creadas.

### 2.5.2. Parámetros

Tabla 1. Parámetros que se deben definir para realizar el pre-análisis de datos. (Elaboración propia)

Parámetros	Variable
Nº SIGPAC de los municipios	nombres
Cultivo patrón	CC
Formulaciones de los fertilizantes	FF
Unidades dosis productos fitosanitarios	uds
Separador de la fecha	s_fecha
Tolerancia	tol

Para que se puedan ejecutar las rutinas de programación definidas para realizar el pre-análisis y el cálculo ACV es imprescindible que se definan ciertos parámetros antes.

En el caso del análisis de los datos es necesario definir ciertos parámetros como el tipo de cultivo o los códigos SIGPAC de los municipios donde se encuentran las parcelas de la explotación, estos parámetros se detallan en la tabla 1.

Además se deben definir el número de columna donde se encuentran definidos ciertos datos, tanto del fichero DAT donde se recogen los datos de texto como y N, donde se recogen los datos numéricos.

Tabla 2. Parámetros que se deben definir para realizar el pre-análisis de datos (Elaboración propia)

Nº de columna de:	Variable
Tipo de actividad	Dcol_tipo_op
Fecha de operación	Dcol_fecha_op
Tipo de cultivo	Dcol_cultivo
Dosis productos fitosanitarios	Dcol_dosis_fito
Unidad dosis productos fitosanitarios	Dcol_ud_dosis_fito
Nombre comercial producto fitosanitario	Dcol_prod_fito
Riqueza NPK fertilizante	Dcol_formulacion_fert
Dosis de abonado	Dcol_dosis_fert
Dosis de siembra	Dcol_dosis_siembra
Método de la siembra (directa/convencional)	Dcol_metodo_siembra
Cosecha <sup>(1)</sup>	Dcol_metodo_produccion
Superficie	Ncol_sup
Nº SIGPAC municipio	Ncol_mun
Número de registro productos fitosanitarios	Ncol_idfito

(1) Poner 0 en el caso de que no haya datos de cosecha.

Para el caso del cálculo de ACV es imprescindible definir también ciertos datos primarios, como son los establecidos en la tabla 3, estos parámetros se explican detalladamente en el Anejo V.

Tabla 3. Parámetros que se deben definir para realizar el cálculo ACV (Elaboración propia)

Parámetro	Variable
Consumos de gasóleo para cada actividad	consumos
Unidad fertilizante elegida	fert
Valor medio de producción en caso de no haber datos de cosecha	rto_productivo
Tolerancia	tol

### **3. PRUEBAS DE VALIDACIÓN DEL PROGRAMA**

Para constatar que el software tiene un buen funcionamiento se han llevado a cabo diferentes pruebas.

#### **3.1. Validación de las rutinas**

La verificación de las rutinas de programación diseñadas se ha llevado a cabo mediante la ejecución de las mismas no sólo en el fichero modelo, sino también en otros; así se ha podido comprobar la compatibilidad con archivos que contienen datos referidos a otras explotaciones.

Gracias a esta prueba se ha visto, como se dijo en el apartado anterior, que es importante tener claros qué datos se han cumplimentado y cuáles no, para poder así después, guardar las variables creadas, es decir, las correspondientes a las operaciones donde existen datos.

#### **3.2. Validación de los resultados**

Llevando a cabo una comparación entre los resultados obtenidos mediante el software y los resultados publicados por el artículo de investigación *Does the adoption of zero tillage reduce greenhouse gas emissions? An assessment for the grains industry in Australia* de T.N. Maraseni y G. Cockfield, se ha acreditado el método seguido para la realización del cálculo, ya que los resultados se corresponden.

#### **3.3. Periodo de prueba**

El software deberá ser sometido a un periodo de prueba de tres días, en el que deberá estar activo de forma continua, gestionando y aceptando órdenes de los usuarios. Durante este tiempo el sistema deberá funcionar según las especificaciones y no deberá producirse ninguna situación irregular bajo condiciones normales. En caso que se produjera, habría que detectar el problema, solucionarlo y someterlo de nuevo al periodo de prueba.

### **4. CONDICIONES DE GARANTÍA Y MANTENIMIENTO**

Una vez que se haya implementado el software es fundamental establecer reuniones periódicas con los diferentes clientes y realizar encuestas para comprobar la satisfacción de los usuarios en cuanto a la función principal que desempeña, el diseño, el método

seguido y otras características de la aplicación. Fruto de estas reuniones se deberán realizar mejoras en el sistema para mejorar las prestaciones.

Se delimitará un plan de revisiones periódicas del sistema para la comprobación del buen funcionamiento del software y la corrección de posibles errores de programación que hayan pasado inadvertidos en las pruebas de validación. También se realizarán frecuentemente actualizaciones de las bases de datos de emisiones unitarias utilizadas (Ecoinvent) para que no disminuya la calidad del servicio prestado.

El plazo de garantía será de un año contra todo defecto de instalación o diseño, contando desde la entrega de las rutinas de programación y la documentación.

## **5. CONDICIONES LEGALES**

### **5.1. Revisión de los precios**

Los precios que se muestran en el presupuesto son fijos e invariables, en el caso de que cualquiera de las partes del contrato quisiera modificar alguna condición del proyecto, se tendría que valorar un nuevo presupuesto.

### **5.2. Condiciones de pago**

Las condiciones de pago serán:

El 30 % a la firma del contrato.

El 70 % restante a la entrega del software y documentación para la implementación del sistema.

### **5.3. Licencia de uso**

El promotor no se atribuirá ningún derecho salvo el de propiedad del software sobre los medios físicos.

### **5.4. Rescisión del contrato**

El contratista podrá denunciar el contrato en el caso de que se produjesen incumplimientos graves de las condiciones del mismo.

El contratista, en el supuesto de rescisión del contrato, hará entrega de todos los resultados obtenidos hasta ese momento, y el cliente deberá abonar los honorarios y gasto de todos los trabajos desarrollados hasta el mismo. En caso contrario, el

contratista no tendrá obligación de hacer entrega de los resultados obtenidos, hasta que no vea satisfechos sus honorarios y/o gastos (Gotxi García, 2001).

## **6. CONDICIONES JURÍDICAS**

### **6.1. Fuerza Mayor**

Cuando la ejecución y desarrollo del software se retrase o no se llegue a cumplir debido a causas de fuerza mayor el contratista no será considerado responsable por dicho incumplimiento.

Se consideran causas de fuerza mayor aquellos sucesos que se encuentren fuera del control del contratista o del promotor, se incluyen cualquier otra circunstancia que fuera imprevisible o inevitable.

### **6.2. Arbitrajes y tribunales**

En caso de que cualquier discrepancia o controversia entre las partes no pudiese ser llevada a buen fin, los intervenientes se comprometen a someter tales discrepancias a arbitraje, formalizado de acuerdo a las normas reguladoras del mismo, contenidas en la vigente Ley de Arbitraje.

## **7. BIBLIOGRAFÍA**

Gotxi García, I. Diseño e Implementación de un agente de usuario SIP, 2001.

Modelo de uso de la herramienta Cropti.



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS AGRÓNOMOS



**DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN INFORMÁTICA  
PARA EL CÁLCULO DE INDICADORES AMBIENTALES  
(HUELLA DE CARBONO) EN ACTIVIDADES  
AGRÍCOLAS A PARTIR DE LOS CUADERNOS  
DIGITALES DE EXPLOTACIÓN (CDE)**

**DOCUMENTO III  
PRESUPUESTO**

Lucía Arrúe Gonzalo

Diciembre de 2015

Tutora: Pilar Barreiro Elorza

Cotutor: Diego Ruiz Amador

Promotor: Cropti

# PRESUPUESTO

---

## CONTENIDO

1.	PAGO SALARIAL .....	4
1.1	Personal informático .....	4
1.2	Personal administrativo.....	6
2.	COSTE DE AMORTIZACIÓN .....	6
3.	OTROS GASTOS .....	7
4.	PRESUPUESTO .....	8
5.	BIBLIOGRAFÍA.....	10

**TABLAS**

Tabla 1. Presupuesto del primer año .....	8
Tabla 2. Presupuesto de los años siguientes .....	9

# PRESUPUESTO

---

## 1. INTRODUCCIÓN

Este documento está dedicado a la cuantificación y valoración de las inversiones necesarias para el desarrollo e implementación del proyecto durante el primer año y de los gastos que se producirán a lo largo de los años sucesivos a causa del mantenimiento de la herramienta.

En primer lugar se justificarán los datos que se han utilizado para la estimación de los gastos, costes y pagos del presupuesto.

## 2. PAGO SALARIAL

### 1.1 Personal informático

Existen cuatro métodos para la estimación del esfuerzo invertido en el desarrollo de un software. Se describen a continuación.

- ✓ Opinión de expertos. Se basa en la experiencia de los expertos para realizar la estimación del importe.
- ✓ Analogía. La estimación está basada en las similitudes y diferencias con proyectos desarrollados con anterioridad.
- ✓ Descomposición. Consiste en la división del producto en subunidades para estimar cada una de ellas y después poder determinar la inversión total del producto.
- ✓ Modelos. Técnicas que identifican los factores que contribuyen al esfuerzo invertido en el proyecto y con funciones matemáticas se relacionan dichos factores para la estimación de los pagos.

En este proyecto se ha optado por elegir, por descarte y porque proporciona los resultados más fiables, la cuarta alternativa. Dentro de la amplia gama de modelos experimentales que existen para la estimación de los pagos se ha escogido el modelo COCOMO de Boehm, o modelo constructivo de costes con sus siglas en inglés, ya que es el más representativo.

Este modelo se basa en dos variables, en el esfuerzo personal y los meses de duración que se tardará en desarrollar el software. Existen tres tipos de proyectos, según el autor

del modelo; modo orgánico (proyectos de software pequeños y sencillos), semiacoplado (proyectos de software intermedio en cuanto a tamaño y nivel de complejidad) y modo empotrado (proyectos muy restringidos en cuanto a procesadores y hardware).

Se ha considerado que el presente proyecto es de tipo orgánico, por lo que se procede a realizar los cálculos. En primer lugar se ha calculado el esfuerzo personal necesario, que viene expresado por:

$$K_m = 2.4 * S_k^{1.05}$$

Siendo  $K_m$  las personas requeridas al mes para desarrollar el software y  $S_k$  el número de líneas de código expresadas en miles. El tiempo de desarrollo ( $t_d$ ) es dada por la siguiente ecuación, expresada en meses.

$$t_d = 2.5 * K_m^{0.38}$$

Se ha determinado que el número de líneas de código que se han generado son 1019, ya que el fichero de rutinas del pre-análisis de datos presenta 500 líneas y el del cálculo de ACV 632 en total. Considerando que las líneas con comentarios y vacías suponen un 10 % del total, se llega al valor indicado.

Haciendo los cálculos con este dato se obtienen los siguientes valores.

$$K_m = 2.45 \text{ personas/mes}$$

$$t_d = 3.51 \text{ meses}$$

Por lo que, al final, se toman los siguientes valores enteros:

$$K_m = 2 \text{ personas/mes}$$

$$t_d = 4 \text{ meses}$$

Así pues, los trabajadores que formarán el equipo serán dos, un programador y un analista-programador, y el tiempo estimado de duración para el desarrollo de la herramienta será de cuatro meses.

Para determinar el pago que supondría la contratación de estos dos trabajadores durante cuatro meses, se han fijado las cuantías que proporciona la Universidad Politécnica de Madrid, estos valores han sido estimados a partir del calculador de pagos de la Oficina de Transferencia de Tecnología (OTT).

El pago total del contrato del programador y del analista-programador durante los cuatro meses serían 11.286,11 y 13.543,33 € y con un salario bruto mensual de 2.083,33 € y 2.500 €, respectivamente, incluyendo pagas extras prorrteadas y una dedicación de 37,5 horas semanales. Con estos datos se ha determinado un pago total de 24.829,44 €.

Además, habrá pagos necesarios en los años siguientes debidos al mantenimiento de la aplicación. Se ha considerado que este trabajo lo llevará a cabo un programador contratado por la empresa de manera permanente, pero éste tan sólo empleará 200 horas anuales a este proyecto, por lo que se obtiene un pago total de 4.298 € anuales, teniendo en cuenta que el coste anual de la hora son 21,49 € incluyendo la IFC o indemnización final del contrato, según la OTT.

## **1.2 Personal administrativo**

El salario del personal administrativo es otro pago que es necesario contemplar. Para su determinación se ha procedido de la siguiente manera. Primeramente se ha establecido el gasto del contrato del trabajador administrativo con el calculador de contratos de la OTT, esta cuantía asciende hasta los 27.086,67 €/año. Al igual que en los anteriores contratos definidos, incluye una dedicación de 37,5 horas semanales y un salario bruto de 1.666,67 € mensuales. Pero es preciso destacar que este trabajador no dedicará la totalidad de su tiempo a temas relacionados con el presente proyecto, dedicará una media de 40 horas mensuales en los cuatro meses en los que se desarrolle la herramienta software, después tan sólo empleará 10 horas al mes hasta la finalización de ese año. Sabiendo que el coste por hora de trabajo del administrativo es 17,19 € se determina que el pago que se desembolsará los primeros cuatro meses será de 687,6 € y después de 171,9 €.

En los años venideros se ha considerado que las horas destinadas a cuestiones de la herramienta por el personal administrativo serán 50 horas anuales, resultando así un pago anual de 859,5 € al año.

## **3. COSTE DE AMORTIZACIÓN**

También hay que evaluar los costes de amortización de los materiales utilizados. El único recurso que se ha tenido en cuenta en el presupuesto ha sido el ordenador con el que los trabajadores desarrollarán la aplicación informática y aquél con el que el

programador, que se encargue del mantenimiento de la herramienta, trabaje. Para conseguir estos costes es necesario fijar unos parámetros.

Valor de adquisición ( $V_a$ ): 1.500 €

Vida útil ( $n$ ): 4 años

Valor residual ( $V_r$ ): 20% del valor de adquisición, es decir, 300 €

Así pues, el coste de amortización es,

$$A_o = \frac{V_a - V_r}{n} = \frac{1500 - 300}{4} = 300 \text{ €/año}$$

Por lo que en los primeros cuatro meses del año 0, se amortizarán 25 € mensuales, recordando que se utilizan dos ordenadores, hace un total de 200 € al año. En los años sucesivos, sin embargo, el coste disminuirá hasta los 38,10 € anuales, teniendo en cuenta el tiempo empleado por el programador en el mantenimiento de la aplicación (200 h/año).

#### 4. OTROS GASTOS

Un valor a tener en cuenta también, es el gasto en papelería. Se ha estimado que es un 1% de los gastos directos (salario del programador, analista-programador y coste de amortización del ordenador) obteniendo una cantidad de 250,29 € en el primer año y de 43,36 € en los siguientes.

Por último, tanto el pago de electricidad y alquiler del local, como el coste de amortización del mobiliario es nulo, ya que el local que utiliza la empresa Cropti ha sido cedido gratuitamente por otra entidad.

## 5. PRESUPUESTO

Tabla 1. Presupuesto del primer año. (Elaboración propia)

Concepto	Cantidad	Mes												Importe (€)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Gastos directos														
Programador	1	2.821,53	2.821,53	2.821,53	2.821,53	0	0	0	0	0	0	0	0	11.286,12
Analista-programador	1	3.385,83	3.385,83	3.385,83	3.385,83	0	0	0	0	0	0	0	0	13.543,32
Amortización PC	2	25,00	25,00	25,00	25,00	0	0	0	0	0	0	0	0	200,00
Papelería		20,86	20,86	20,86	20,86	20,86	20,86	20,86	20,86	20,86	20,86	20,86	20,86	250,29
Gastos indirectos														
Administración	1	687,60	687,60	687,60	687,60	171,9	171,9	171,9	171,9	171,9	171,9	171,9	171,9	4.125,60
Alquiler local	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Electricidad		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mobiliario		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL													29.405,33	

Tabla 2. Presupuesto de los años siguientes (Elaboración propia)

**AÑOS SUCESIVOS**

Gastos directos	(€/año)
Programador	4.298
Papelería	43,36
Amortización PC	38,10
Gastos indirectos	(€/año)
Administración	859,5
Alquiler	0
Electricidad	0
Mobiliario	0
<b>TOTAL</b>	<b>5.239,96</b>

## 6. BIBLIOGRAFÍA

Coz Fernández, José Ramón (2011). Desarrollo de un servicio de notificación de cambios en una base de datos de gestión de la configuración mediante programación generativa.

<http://es.slideshare.net/jlmu10/estimacion-de-costo-del-software-cocomo>

<http://www.sc.ehu.es/jiwdocoj/mmis/cocomo.htm>