



**UNIVERSIDAD DE CANTABRIA**

Escuela Politécnica de Minas y Energía  
Grado en Ingeniería de Recursos Energéticos



**ANÁLISIS DE FLUJO DE  
ENERGÍA DEL SISTEMA  
AGROALIMENTARIO ESPAÑOL  
DESDE UNA PERSPECTIVA DE  
CICLO DE VIDA.**

TRABAJO DE FIN DE GRADO – CURSO 2017/ 2018 (JUNIO 2018)

*“ANALYSIS OF THE ENERGY FLOW OF THE SPANISH  
AGRI-FOOD SYSTEM UNDER A LIFE CYCLE ASSESMENT  
APPROACH.”*

**Autor:** Manuel Aguazo Martín

**Tutores:** Rubén Aldaco García

Isabel García-Herrero

## Índice de contenido

DIFUSIÓN DE RESULTADOS .....	6
1. INTRODUCCIÓN.....	7
2. OBJETIVO.....	10
3. ESTADO DEL ARTE .....	11
3.1. Pérdida y desperdicio alimentario: un problema global .....	11
3.1.1. Definición de pérdida y desperdicio de alimentos.....	11
3.1.2. Descripción de la problemática de pérdida de alimentos.....	12
3.1.3. Políticas de reducción de pérdidas de alimentos.....	14
3.2. Sostenibilidad en los sistemas alimentarios: perspectiva energética .....	16
3.2.1 Análisis de ciclo de vida (ACV): Qué es, para qué sirve, fases. ....	16
3.2.2 Análisis energético de sistemas alimentarios .....	18
3.2.2.1 Eficiencia energética: tasa de retorno energético (EROI). Aplicación a sistemas alimentarios .....	18
3.2.2.2 Análisis energéticos y relación con pérdida y desperdicio alimentario: revisión bibliográfica .....	19
4. METODOLOGÍA .....	22
4.1 Objetivo y alcance del ACV.....	22
4.2 Inventario de ciclo de vida .....	24
4.2.1 Requerimientos energéticos a lo largo de la cadena de suministro .....	24
4.2.1.1 Agricultura.....	24
4.2.1.2 Industria .....	30
4.2.1.3 Distribución .....	31
4.2.1.4 Consumo .....	34
4.2.2 Requerimientos energéticos por tipo de alimento .....	34
4.3 Análisis de flujo de materia y energía .....	37
4.4 Tasa de retorno energético (EROI).....	40

---

*“ANÁLISIS DE FLUJO DE ENERGÍA DEL SISTEMA AGROALIMENTARIO ESPAÑOL DESDE UNA  
PERSPECTIVA DE CICLO DE VIDA.”*

4.5 Energía nutricional y primaria embebida en las pérdidas de alimentos.....	41
4.5.1 Pérdidas de Energía Primaria (PEP).....	41
4.5.2 Pérdidas de Energía Nutricional (PEN).....	42
5. RESULTADOS .....	43
5.1 Balance energético.....	43
5.1.1 Balance energético por etapa .....	43
5.1.2 Balance energético por alimento.....	49
5.2 EROI.....	51
5.3 Pérdidas de Energía Primaria (PEP).....	52
5.4 Pérdidas de Energía Nutricional (PEN).....	53
6. CONCLUSIONES .....	55
7. BIBLIOGRAFÍA.....	57
ANEXO I: Tablas de resultados .....	64
ANEXO II: Difusión de resultados .....	67

## Índice de tablas

Tabla 1: Consumo de fertilizantes nitrogenados. Unidades expresadas en miles de toneladas de nitrógeno total. ....	25
Tabla 2: Consumo de fertilizantes fosfatados. Unidades expresadas en miles de toneladas de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> total. ....	25
Tabla 3: Consumo de fertilizantes potásicos. Unidades expresadas en miles de toneladas de K <sub>2</sub> O total.....	25
Tabla 4: Consumo de insecticidas y acaricidas. Unidades expresadas en miles de toneladas.....	26
Tabla 5: Consumo de herbicidas. Unidades expresadas en miles de toneladas. ....	26

Tabla 6: Consumo de funguicidas y bactericidas. Unidades expresadas en miles de toneladas.....	27
Tabla 7: Registro de maquinaria utilizada en la agricultura y media de los kg/unidad de cada tipo de máquina.....	28
Tabla 8: Distribución de piensos utilizados. Unidades expresadas en miles de toneladas .....	29
Tabla 9: Balance del consumo de energía primaria en España para el año 2015. Unidades expresadas en TJ. ....	29
Tabla 10: Valores energéticos y proteínas de cada categoría de alimentos.....	35
Tabla 11. Tabla resumen de los valores necesarios para determinar los requerimientos energéticos.....	37
Tabla 12: Porcentaje de pérdidas de cada categoría de alimento en cada una de las etapas de la cadena de suministro.....	39
Tabla 13: Cuadro resumen EROI .....	51
Tabla 14: Tabla resumen del balance energético .....	64
Tabla 15: Energía primaria requerida por cada categoría de alimentos en cada una de las etapas de la cadena de suministro. Valores expresados en petajulios (PJ) .....	65
Tabla 16: Pérdidas de energía primaria por cada categoría de alimentos en cada una de las etapas de la cadena de suministro. Valores expresados en petajulios (PJ) .....	65
Tabla 17: Pérdidas de energía nutricional por cada categoría de alimentos en cada una de las etapas de la cadena de suministro. Valores expresados en petajulios (PJ) .....	66

## Índice de figuras

Figura 1: Etapas del ACV según la norma ISO 14040 .....	17
Figura 2: Límites del sistema .....	23
Figura 3: Resumen en PJ de los requerimientos energéticos en cada etapa considerada .....	43
Figura 4: Representación en porcentaje de los consumos de los diferentes ítems en la agricultura.....	44
Figura 5: Representación en porcentaje de los consumos de los diferentes ítems en el sector industrial .....	46
Figura 6: Representación en porcentaje de los consumos de los diferentes ítems en la distribución .....	47
Figura 7: Representación en porcentaje de los consumos de los diferentes ítems en la etapa de consumo.....	48
Figura 8: Energía requerida en PJ de cada categoría de alimento .....	50
Figura 9: Pérdidas de energía nutricional en PJ de cada categoría de alimentos.....	52
Figura 10: Pérdidas de energía nutricional en PJ de cada categoría de alimentos.....	54

---

## DIFUSIÓN DE RESULTADOS

El actual interés de la temática que se desarrolla en este Trabajo Fin de Grado ha hecho posible que sea aceptado para su presentación en la “13th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems”, que tendrá lugar del 30 de septiembre al 4 de octubre en Palermo, Italia.

Esta conferencia permitirá mejorar la difusión de los conocimientos, métodos y tecnologías cuyo objetivo será aumentar la sostenibilidad de los recursos naturales. Es considerada como una de las conferencias más importantes del mundo para los profesionales académicos, de la industria y de la administración.

Se tratarán diversos temas como, *“La eficiencia de la energía, el agua y los recursos”*, *“Aprovechar el potencial energético de las mareas de una forma sostenible”*, *“Eficiencia energética en procesos y sistemas industriales”*, *“Poder energético de la salinidad y desalinización del agua”*.

Cada uno de los temas contará con varias conferencias, que abordarán desde diversos puntos de vista, el tema sobre el que versan los diferentes trabajos científicos.

Para la participación en la Conferencia se ha presentado un *abstract* de acuerdo a las bases reguladoras del mismo, que se adjunta en el Anexo II del presente trabajo.

## 1. INTRODUCCIÓN

Desde la crisis energética mundial de los años 70, la dependencia de los combustibles fósiles y de los recursos no renovables ha dado lugar a un límite estructural en el desarrollo socio-económico actual (Georgescu-Roegen, 1971). El modelo de explotación de los recursos naturales que se implanta en la actualidad, unido a la creciente población mundial, podría poner en peligro la sostenibilidad del estilo moderno de vida. Por lo que, el acceso a una cantidad adecuada de los recursos debe conducir hacia un uso equitativo, sostenible e inteligente de la energía, de los alimentos y del agua (Crutzen, 2002). Por otro lado, los sistemas alimentarios consumen hasta el 30% de la energía y el 70% de las extracciones de agua dulce en el mundo. Además, se ha estimado que entre el 20-30% de las emisiones antropogénicas<sup>1</sup> de gases de efecto invernadero proceden de los sistemas de alimentación (Garnett, 2011, Vermeulen et al., 2012).

Las estadísticas que se hacen sobre la energía no suelen exponer la relevancia de la producción de los alimentos en términos de consumo energía final. La forma tradicional de división de los diferentes sectores económicos tan solo permite establecer la producción residual asociada a la agricultura y solvicultura<sup>2</sup>. Por otro lado la producción de alimentos de origen animal implica una emisión del 18% de los gases de efecto invernadero global, valor similar al generado por la industria y es mayor que el que genera el sector transporte (Steinfeld 2006).

Por otro lado, se espera un aumento de la población a niveles globales, dando lugar a un aumento en la producción de alimentos y extracción de agua del 60% y 50%,

---

<sup>1</sup> Antropogénico: son los efectos, resultados o procesos que son consecuencia de acciones humanas como las actividades agrícolas, emisiones a la atmósfera, erosión del suelo

<sup>2</sup> Solvicultura: Referido a las actividades que están relacionadas con el cultivo, cuidado y explotación de los bosques y los montes.

respectivamente para el año 2050. Además el consumo de energía global también se espera que aumente en un 50% en el mismo periodo (Alexandratos y Brusima, 2012).

La agricultura actual produce más alimentos con una menor mano de obra, dando como consecuencia una mayor productividad de la tierra si se compara con el siglo XX, momento en el que comenzó la industrialización del sector (Brindraban y Rabbinge, 2012).

La mayoría de los recursos utilizados son cada vez más escasos y su demanda mundial es creciente (Krausmann et al., 2008). Además, el precio de los alimentos está íntimamente relacionado con los precios de los combustibles fósiles (Headey y Fan, 2008). Por lo que el uso generalizado de recursos escasos da lugar a su agotamiento y generan problemas ambientales como la emisión de gases de efecto invernadero (Dutilh y kramer,2000).

La industrialización también ha afectado a la agricultura alterando toda la cadena alimentaria, desarrollándose un gran número de actividades económicas como el transporte, envasado, procesamiento, conservación, distribución y consumo; todas ellas se sitúan entre la producción agraria y el consumo final de alimentos (Davis y Goldberg, 1957).

El aumento del transporte de mercancías de larga distancia y a unos precios bajos ha dado lugar a un mayor consumo de energías fósiles necesarias para llevar a cabo el transporte de los alimentos que van a ser consumidos. Este hecho trae como consecuencia el aumento de los insumos que son necesarios introducir para garantizar la conservación y calidad de los alimentos. Se puede poner varios ejemplos sobre este aspecto como el uso de frío industrial, embalajes, envasados...que antes no eran necesarios. El desarrollo de estas nuevas actividades hace que sea obligatorio prestar atención a las actividades económicas que trascienden la producción agraria (Canning

---

*“ANÁLISIS DE FLUJO DE ENERGÍA DEL SISTEMA AGROALIMENTARIO ESPAÑOL DESDE UNA PERSPECTIVA DE CICLO DE VIDA.”*



et al., 2010). El consumo de energía que es necesario en todo el proceso alimentario tiene una tendencia creciente y tiene un elevado peso en el consumo energético total, por lo que la reducción de la dependencia de los combustibles fósiles pasa por atender y estudiar con detalle la naturaleza del sistema agroalimentario (SAA) (Pimentel et al., 2008).

---

## 2. OBJETIVO

El objetivo del presente trabajo es estimar los recursos energéticos integrados en la cadena de suministro de los alimentos y en la producción de alimentos no consumidos del sistema agroalimentario español. En este trabajo se evalúa la eficiencia energética del sistema agroalimentario español y las pérdidas de energía relacionadas. Para este propósito, se realiza un análisis de flujo de energía teniendo en cuenta las pérdidas de energía nutricional PEN y pérdidas de energía primaria PEP. La producción agrícola, el procesamiento y el envasado, la venta al por mayor y al por menor, el consumo y la gestión de desechos están incluidos dentro de los límites del sistema.

---

*“ANÁLISIS DE FLUJO DE ENERGÍA DEL SISTEMA AGROALIMENTARIO ESPAÑOL DESDE UNA PERSPECTIVA DE CICLO DE VIDA.”*

### 3. ESTADO DEL ARTE

#### 3.1. Pérdida y desperdicio alimentario: un problema global

La cadena agroalimentaria ha sufrido una gran transformación debida en gran medida a los aumentos del consumo de recursos y la generalización de los procesos industriales, los cuales están automatizados y mecanizados.

##### 3.1.1. Definición de pérdida y desperdicio de alimentos

A lo largo de estos últimos años se han ido introduciendo diferentes definiciones, medidas e indicadores, debido a la concienciación por parte de la sociedad sobre la problemática de los desechos de los alimentos y su posterior gestión. Es importante realizar una diferenciación entre pérdida de alimentos (PA) y desperdicios de alimentos (DA) en las diferentes etapas de la cadena de suministro.

Las definiciones que se han ido recogiendo en la literatura, han sufrido modificaciones con el paso del tiempo. En un primer momento, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés) definió la pérdida de alimentos como una disminución de la cantidad o calidad de los alimentos en las primeras etapas de la cadena de suministro de alimentos, dando lugar a una reducción de la cantidad de alimentos aptos para el consumo humano. Se refería por tanto, a las pérdidas en producción, poscosecha, almacenamiento y procesamiento de los productos. Por otro lado, consideraba desperdicios de alimentos, a las pérdidas que tenían lugar en las etapas posteriores de la cadena de suministro de alimentos, es decir, distribución y consumo (Gustavsson et al., 2013). En general PA se relacionaba con un sistema que requería inversión en infraestructura, mientras que DA se relacionaba con un problema de comportamiento (Parfitt et al., 2010, Kummu et al., 2012, Gustavsson et al., 2013).

En el documento de la FAO (2014) se realizan una serie de modificaciones en las definiciones que eran vigentes hasta esa fecha. En primer lugar se define la pérdida de alimentos (*"Food loss"* en inglés) como la disminución de la masa alimentaria que es comestible en las etapas de producción, poscosecha, elaboración y distribución. Estas pérdidas son atribuibles principalmente a un funcionamiento poco eficaz en las cadenas de suministro. Se englobarían las infraestructuras insuficientes, mala planificación de la logística, falta de tecnología. Las catástrofes naturales también son causantes de las pérdidas de alimentos.

Por otro lado se define el desperdicio de alimentos (*"food waste"* en inglés) como una parte importante de la pérdida de alimentos que, aun siendo aptos para el consumo, se dejan estropear generalmente en los comercios minoristas y por el propio consumidor aunque en menor medida (FAO, 2014b). Se trata de un grave problema en los países desarrollados, en los cuales con frecuencia resulta más barato tirar alimentos que utilizarlos o reutilizarlos, y los consumidores pueden permitirse despilfarrar alimentos. Así pues, el desperdicio de alimentos normalmente se puede evitar FAO (2014).

Por último se define el concepto de despilfarro de alimentos (*"wastage"* en inglés), son aquellos alimentos que se pierden por descomposición o desaprovechamiento. Por lo tanto, la expresión abarca aquí tanto la pérdida como el desperdicio de los alimentos.

### 3.1.2. Descripción de la problemática de pérdida de alimentos

Según la FAO, una tercera parte del total de alimentos producidos para el consumo humano se pierden, lo que supone alrededor de 1.300 millones de toneladas anuales (Gustavsson et al., 2013).

Las pérdidas se producen en todas y cada una de las diferentes etapas de suministro, aunque varían en las diferentes partes del mundo por diferentes factores propios de esa zona geográfica o por las condiciones empleadas. En el caso de los países

desarrollados, el 40% de las pérdidas se concentran en las etapas de distribución y consumo donde los alimentos son aptos para el consumo, mientras que en el caso de los países en vías de desarrollo, el 40% de las pérdidas se producen en las primeras etapas de la cadena de suministro, esto es, producción agrícola, pos-cosecha y procesamiento. (FAO, 2011).

A nivel nacional y subnacional, se han implementado más de 100 iniciativas en países de la UE para reducir el desperdicio de alimentos a través de campañas de sensibilización y programas de investigación (Secondi et al., 2015). Algunos ejemplos son los programas “Love Food, Hate Waste” de Waste & Recourses Programa de Acción (WRAP) en el Reino Unido, el protocolo de Milán de la Fundación Barilla Center para Alimentación y Nutrición, “Alimentando a los 5000” de la ONG Feedback en el Reino Unido y “Más comida, menos residuos” en España.

En el caso de España se cuenta con algunos trabajos que, con diferentes metodologías, han estudiado el consumo de la energía del SAA del país (Infante-Amate y Gómez de Molina, 2013), así como la alimentación del país (Muñoz et al., 2012). También se ha tenido en cuenta el documento sobre la evolución de los balances energéticos de la agricultura española 1950-2000 (Carpintero y Naredo, 2006).

### 3.1.3. Políticas de reducción de pérdidas de alimentos

La FAO ha promovido una iniciativa a nivel mundial llamada SAVE FOOD, que tiene como principal objetivo la reducción de las pérdidas y desperdicios de los alimentos a lo largo de la cadena de suministro. Se pueden establecer cuatro pilares fundamentales en los que se sustenta esta política de reducción de pérdidas de alimentos:

-Colaboración y coordinación: Que permita una mayor eficiencia a la hora de planificar las diferentes intervenciones favoreciendo la comunicación para poder adoptar soluciones compartiendo diferentes metodologías, estrategias y diferentes enfoques.

-Sensibilización: Es fundamental una mayor concienciación y sensibilizar a la población sobre el impacto negativo que las pérdidas de alimentos suponen.

-Investigación: Las diferentes estrategias o políticas para reducir las pérdidas en la cadena de alimentos han de estar apoyadas por una gran investigación tanto a niveles nacionales como regionales, para poder identificar y analizar las diferentes posibles causas y ser capaces de establecer de la mejor forma posibles las diferentes intervenciones que permitan reducir o incluso eliminar esos focos de problemas.

-Proyectos: Para que los sectores públicos y también privados aumenten su compromiso en esta materia, es preciso un proyecto que permita la aplicación de las diferentes estrategias adoptadas en la fase de investigación.

Por otro lado las Naciones Unidas han establecido los “*Sustainable Development Goals*”, que comprenden las metas y objetivos que los países que forman parte de las Naciones Unidas se han marcado para el año 2030.

---

“ANÁLISIS DE FLUJO DE ENERGÍA DEL SISTEMA AGROALIMENTARIO ESPAÑOL DESDE UNA PERSPECTIVA DE CICLO DE VIDA.”

Entre los objetivos que se plantean cabe destacar, por la relación con el presente Trabajo de fin de grado, la reducción de la pobreza alimentaria y la mejora de la nutrición, así como el uso sostenible del agua.

Por otro lado, se pretende fomentar el crecimiento económico desde una perspectiva sostenible y respetuosa con el medio ambiente. Los objetivos que se recogen en el documento *“Sustainable Development Goals”* son conseguir una buena infraestructura industrial, eficiente y respetuosa con el medio ambiente, garantizar y establecer unos patrones de consumo y producción sostenibles. Uno de los objetivos a destacar, es el de garantizar patrones de consumo y producción sostenibles. Esto incluye reducir a la mitad el desperdicio per cápita a la mitad a nivel minorista y de consumo, y también reducir las pérdidas de alimentos a lo largo de la cadena de suministro y producción para 2030 (SDG, 2016)

Estas políticas se centran, entre otros temas, en la reducción de residuos de alimentos en masa sin tener en cuenta otros impactos asociados, como puede ser el consumo de recursos energéticos.

## 3.2. Sostenibilidad en los sistemas alimentarios: perspectiva energética

### 3.2.1 Análisis de ciclo de vida (ACV): Qué es, para qué sirve, fases.

Los inicios de los análisis del ciclo de vida se podrían fijar en la década de los sesenta, momento en el que la comunidad científica empieza a tener presente los aspectos ambientales. A finales de esta época Harry E. Teasley Jr estableció de forma oficial el esquema que dio lugar al ACV cuando se disponía a controlar la función de empaquetado en la compañía Coca-Cola. El objetivo que Teasley pretendía era cuantificar las consecuencias energéticas, materiales y ambientales que se daban lugar a lo largo de todo el ciclo de vida de una de las latas que fabricaban. En este estudio iba desde la extracción necesaria del material del que estaba hecha la lata hasta la eliminación de la misma (Huny y Franklin, 1996).

Por los años sesenta, la energía no suponía una cuestión ambiental y una de las ideas innovadoras que se plantearon fue la inclusión de la energía en la categoría de recursos naturales (Huny y Franklin, 1996).

Taesley quería saber cuáles eran las diferentes implicaciones del uso de varias opciones de empaquetado y como afectaba a la conservación de recursos y ahorro de energía ya que se dio cuenta que los recursos energéticos estaban interrelacionados con el uso del material (Huny y Franklin, 1996).

El término histórico del actual ACV fue el “Análisis de Perfiles Ambientales y de Recursos y fue usado entre 1970 y 1990. A lo largo de los años se ha ido desarrollando el concepto del ACV, centrándose en la cuantificación energética y de los diferentes materiales que se utilizan así como los desechos liberados en el medio ambiente durante todo el ciclo de vida (Hunt y Franklin, 1996).

---

*“ANÁLISIS DE FLUJO DE ENERGÍA DEL SISTEMA AGROALIMENTARIO ESPAÑOL DESDE UNA PERSPECTIVA DE CICLO DE VIDA.”*

Por otro lado, la Organización Internacional de Normalización (ISO) define el ACV como una herramienta que permite tratar los aspectos ambientales y determinar los posibles impactos ambientales que se podrían dar a lo largo de todo el ciclo de vida del elemento, producto y/o servicio que se esté considerando. (ISO 14040, ISO 14044).

El ACV consta de cuatro etapas según las normas ISO:

1. Definición del objetivo y el alcance: En este primer punto se han de indicar las razones del estudio, el producto que va a estar bajo estudio, los límites que pudiera tener el sistema, los diferentes procedimientos y suposiciones que se vayan a tener en cuenta todo ello sin ambigüedad.
2. Análisis del inventario: Donde se realiza la recopilación y cuantificación de los datos necesarios para cumplir los objetivos previamente planteados.
3. Evaluación del impacto: En esta fase se pretende determinar cómo son de significativos los impactos ambientales.
4. Interpretación de resultados: En base a los análisis de inventario y a la evaluación del impacto se realizan las conclusiones y las recomendaciones y toma de decisiones de acuerdo con el objetivo y alcance definidos.

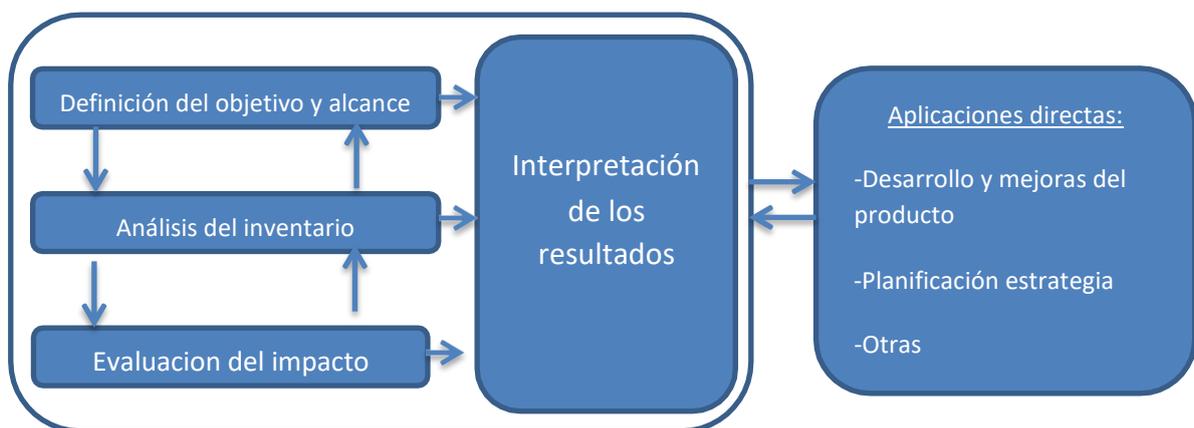


Figura 1: Etapas del ACV según la norma ISO 14040

*“ANÁLISIS DE FLUJO DE ENERGÍA DEL SISTEMA AGROALIMENTARIO ESPAÑOL DESDE UNA PERSPECTIVA DE CICLO DE VIDA.”*

A lo largo de la historia, el medio ambiente siempre se ha visto afectado por las actividades humanas. La preocupación por el medio ambiente se ha enfocado principalmente en los consumos, emisiones y alteraciones sobre el medio. Por otro lado, la conciencia de la interrelación entre los elementos de la naturaleza ha alterado la forma de abordar estos problemas y por tanto, ha generado la necesidad de utilizar unos métodos de análisis más amplios, que den una visión lo más completa posible de los efectos que una actividad tiene sobre el medio. Por ejemplo, se podría plantear utilizar un determinado material ya que este material genera menos desechos o es menos peligroso su utilización, pero el uso de este material podría no ser tan beneficioso como en un principio se suponía si la producción de dicho material genera otros problemas mayores que los que se pretende solucionar (Ravelli et al, 2010).

### 3.2.2 Análisis energético de sistemas alimentarios

La energía implicada en los sistemas de alimentación (o en cualquier otro) puede dividirse en dos categorías. La primera es la energía directa, que es la energía que entra dentro de una cadena de suministro para ser transformada. La segunda es la energía indirecta, que es la energía acumulada requerida en los diferentes procesos relacionados con la producción. También hay que distinguir entre energía renovable y no renovable entre los distintos tipos de recursos energéticos. (Pelletier et al, 2011).

#### *3.2.2.1 Eficiencia energética: tasa de retorno energético (EROI). Aplicación a sistemas alimentarios*

La tasa de retorno energético, EROI (Energy return on investment), es la estimación de la cantidad de energía entregada por una tecnología de producción en relación con la cantidad de energía invertida (Pelletier et al. 2011).

EROI es un término que surgió en la década de 1970 y ganó importancia debido a la crisis del combustible en los años 70 y 80. El uso más común de EROI se encuentra

---

*“ANÁLISIS DE FLUJO DE ENERGÍA DEL SISTEMA AGROALIMENTARIO ESPAÑOL DESDE UNA PERSPECTIVA DE CICLO DE VIDA.”*

dentro del sector de la energía con el fin de determinar la energía que se devuelve de un proceso de obtención de energía en comparación con la energía que se requiere para proporcionar esta energía (Gupta y Hall 2011).

Pelletier et al. (2011) resaltan los beneficios de calcular los enfoques EROI para monitorear el retorno de la energía en sistemas alimentarios, ya que estos dependen de altos insumos de fuentes no renovables.

Aunque este concepto se diseñó inicialmente para la evaluación de los sistemas de energía, el concepto se ha adaptado para cuantificar las proporciones de producción de energía alimentaria en relación con los insumos de energía industrial.

La relación EROI se puede estimar de la siguiente manera:

---

Algunos alimentos son muy eficientes en el uso de los recursos para obtener energía nutricional y otros alimentos son muy ineficientes. Las legumbres, tubérculos, frutas y verduras son alimentos muy eficientes en términos de uso de recursos energéticos. Las Naciones Unidas afirman que la ganadería es responsable del 18% de las emisiones de dióxido de carbono, más incluso que el sector del transporte. (Ahokas, 2013).

#### *3.2.2.2 Análisis energéticos y relación con pérdida y desperdicio alimentario: revisión bibliográfica*

Markussen et al. (2013) realiza un análisis energético de la producción de alimentos y dependencia de los combustibles fósiles en la producción de alimentos en Dinamarca, ya que el sistema está basado en un flujo no circular de nutrientes. Se indica que el nitrógeno es uno de los factores más limitantes en el rendimiento, dedicando mucho esfuerzo a la forma de cultivar para evitar pérdidas de rendimiento (Erisman et al,

---

*“ANÁLISIS DE FLUJO DE ENERGÍA DEL SISTEMA AGROALIMENTARIO ESPAÑOL DESDE UNA PERSPECTIVA DE CICLO DE VIDA.”*

2008). En el estudio se establecen tres etapas, agricultura, transporte e industria. Como resultado se tiene que la agricultura es la etapa de mayor intensidad energética, la electricidad (31%) y los combustibles (28%) son los ítems que más consumo de energía representa del total.

Vittuari et al, (2016) hace un análisis de la energía contenida en los desperdicios de alimentos en Italia. Plantea la distribución de la cadena de suministro en diferentes etapas, como es la agricultura, la industria, el transporte y distribución. Las pérdidas energéticas y desperdicios de alimentos son calculadas asumiendo que, la energía que se va incorporando se va acumulando a lo largo de la cadena de suministro, por lo tanto, a medida que se producen los desechos se van aumentando los desperdicios de energía. Como resultado se establece que la intensidad energética es de 12MJ/kg en el caso de la agricultura, mientras que en el caso de la industria es de la mitad. La inclusión de las propiedades nutricionales de los alimentos en la caracterización del desperdicio de alimentos podría representar una forma de priorizar la prevención o recuperación de algunas categorías de productos. Desde 2011 la producción y distribución de alimentos representa el 12,2% de la energía nutricional y el 1,3% de la energía final usada en Italia.

Cuellar y Webber (2010) emplean una metodología que permite establecer las intensidades energéticas y el desperdicio de alimentos en los Estados Unidos. Relacionan la cantidad de alimentos producidos en un periodo determinado y el contenido energético de cada alimento. Estableciendo que la intensidad energética de la carne (61,3%) es casi seis veces más que la segunda categoría de alimentos con mayor intensidad energética, los lácteos. En Estados Unidos se destina el 14,5% del consumo energético total para la producción de alimentos.

---

*“ANÁLISIS DE FLUJO DE ENERGÍA DEL SISTEMA AGROALIMENTARIO ESPAÑOL DESDE UNA PERSPECTIVA DE CICLO DE VIDA.”*

Carpintero y Naredo (2006) estudian la evolución de los balances energéticos de la agricultura española entre 1950 y 2000, donde se observa que la eficiencia de la maquinaria utilizada así como los fertilizantes ha ido mejorando año tras año. Uno de los resultados más destacables es que, la eficiencia energética de la maquinaria pasó de 272,4 Kcal de producción final/kcal de input externo en 1950 a tan solo 221,3 en el 2000.

Infante-Amate y Gómez de Molina. (2013) también realiza un análisis de la transformación del sector agroalimentario español desde una perspectiva energética. Los resultados de la energía primaria están separados por categorías, agricultura, transporte, industria, envasado y embalaje, comercio y hogares. Aproximadamente el 25% de la energía primaria es consumida por la agricultura y otro 25% es consumida en el transporte. El análisis abarca varios años, y muestra la evolución del consumo de energía final. En 1960 el consumo de energía final era de poco más de 20 PJ mientras que en 2010 llegó hasta los 120PJ.

---

*“ANÁLISIS DE FLUJO DE ENERGÍA DEL SISTEMA AGROALIMENTARIO ESPAÑOL DESDE UNA PERSPECTIVA DE CICLO DE VIDA.”*

## 4. METODOLOGÍA

### 4.1 Objetivo y alcance del ACV

Los balances de energía, como puede ser el EROI, tienen unas series de consideraciones que varían de unos autores a otros. Esto hace que realizar comparaciones entre los diferentes estudios sea complicado. Los factores que están relacionados con este problema son diversos, pero se pueden destacar por un lado los límites de cada estudio, es decir, que es lo que se contabiliza y aquello que no se tiene en cuenta como input o output de energía. La medición de los flujos es otro de los aspectos involucrados a la hora de medir la energía final consumida, la primaria o el consumo total derivado de análisis del ciclo de vida de cada input. En la literatura, los factores de intensidad energética varían de unos autores a otros ya que cada estudio ha considerado diferentes límites y/o metodologías. La eficiencia energética que está involucrada en todo el proceso varía a lo largo del tiempo y esto afecta de forma intrínseca a los consumos energéticos individuales. Por todas estas razones y con el paso del tiempo las comparaciones del EROI pueden tener variaciones (Jones, 1989; Murphy et al., 2011; Norum, 1983).

Debido a la metodología y a las fuentes disponibles, es imposible realizar un cálculo detallado de cada uno de los elementos intervinientes en la cadena de suministro de los alimentos y en la producción de alimentos no consumidos del sistema agroalimentario español. Por el contrario si es posible tener en cuenta los procesos, que dado su carácter, resalta sobre otros dotándolo por tanto de mayor relevancia.

La unidad funcional del estudio es la cantidad de alimentos producidos en España a lo largo del año 2015. Los límites del estudio se representan en la figura 2 y comprenden las etapas de producción agrícola, industria, distribución y consumo.

---

*“ANÁLISIS DE FLUJO DE ENERGÍA DEL SISTEMA AGROALIMENTARIO ESPAÑOL DESDE UNA PERSPECTIVA DE CICLO DE VIDA.”*

En la agricultura los inputs que se tienen en cuenta son los fertilizantes, tratamientos, maquinaria, piensos, combustibles y electricidad. En la industria se consideran como inputs los plásticos, vidrios, metales, papel y cartón. En la etapa de distribución se tienen en cuenta como inputs el transporte nacional tanto por carretera como por ferrocarril y las importaciones. La última etapa, sería la etapa de consumo y los inputs considerados son los comercios, servicios y los hogares.

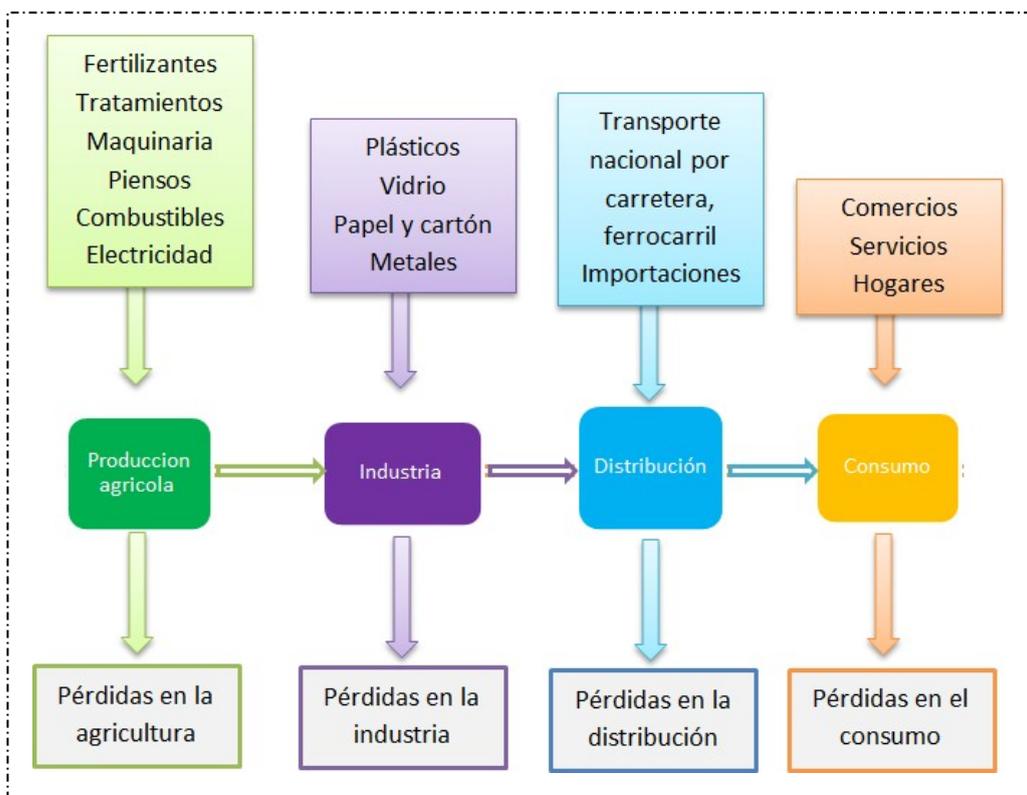


Figura 2: Límites del sistema

“ANÁLISIS DE FLUJO DE ENERGÍA DEL SISTEMA AGROALIMENTARIO ESPAÑOL DESDE UNA PERSPECTIVA DE CICLO DE VIDA.”

## 4.2 Inventario de ciclo de vida

El uso de recursos energéticos a lo largo de la cadena de suministro es prácticamente incalculable debido a la gran cantidad de factores que intervienen a lo largo del todo el ciclo. No obstante si se pueden realizar estimaciones que permitan obtener los datos más representativos y que permitan, por tanto, cuantificar los requerimientos energéticos de los diversos factores intervinientes.

### 4.2.1 Requerimientos energéticos a lo largo de la cadena de suministro

#### 4.2.1.1 Agricultura

Es la primera etapa de la cadena de suministro, en ella se tienen en cuenta los diferentes fertilizantes y tratamientos utilizados, la maquinaria, los piensos, y los consumos directos de energía primaria.

#### **Fertilizantes**

La fertilización es una de las partidas que mayor cantidad de energía requieren. Por ello, existe una amplia literatura sobre este ítem como Leach (1976), Naredo y Campos (1980) y más recientemente Ausdley et al (1997).

La información del consumo de fertilizantes se encuentra recogida en los Anuarios del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Los datos que a continuación se muestran proceden del INE (2015). En el anuario se recogen los consumos de los fertilizantes en el sector agrario.

**Tabla 1: Consumo de fertilizantes nitrogenados. Unidades expresadas en miles de toneladas de nitrógeno total.**

Sulfato amónico	61,99
Nitrosulfato amónico	23,89
Nitratos amónico cálcicos	191,90
Nitrato amónico	30,42
Urea	28,86
Nitrato de Cal	12,82
Nitrato de Chile	21,46
Amoníaco agrícola	50,55
Soluciones nitrogenadas	72,77
Compuestos	238,91
<b>TOTAL</b>	<b>961,57</b>

**Tabla 2: Consumo de fertilizantes fosfatados. Unidades expresadas en miles de toneladas de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total.**

Superfosfato de cal	58,75
Compuestos	371
Otro tipo de fosfatos	318
<b>TOTAL</b>	<b>747,75</b>

**Tabla 3: Consumo de fertilizantes potásicos. Unidades expresadas en miles de toneladas de K<sub>2</sub>O total.**

Cloruro potásico	119
Sulfato potásico	214,63
Compuestos	213,55
<b>TOTAL</b>	<b>547,18</b>

Al realizar la recopilación de datos, estos aparecen referidos en masa, por tanto, para poder realizar el estudio energético es necesario realizar una conversión usando los factores de intensidad energética. Estos factores de intensidad energética que se utilizan fluctúan de unas fuentes a otras en función de las diversas consideraciones que los diferentes autores toman a la hora de elaborar sus estudios. En este estudio se han extraído los factores de intensidad energética de la base de datos Ecoinvent v3.3

(2016) que establece que para los fertilizantes nitrogenados (N) es de 68,06 MJ/kg, para los fertilizantes fosfatados ( $P_2O_5$ ) es de 34,47 MJ/kg y para los fertilizantes potásicos ( $K_2O$ ) es de 4,03 MJ/kg.

### Tratamientos

En este apartado se tienen en consideración los diversos tratamientos fitosanitarios a los que los productos agrarios se ven sometidos, teniendo en cuenta para el estudio los Insecticidas Herbicidas y Fungicidas.

El Ministerio de Agricultura también aporta en los diferentes anuarios el consumo de estos productos pero están referidos en términos económicos. Sin embargo dentro de la página del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente se encuentran una serie de estadísticas relacionadas con el consumo anual y quincenal de productos fitosanitarios en la Agricultura.

**Tabla 4: Consumo de insecticidas y acaricidas. Unidades expresadas en miles de toneladas.**

Piretroides	0,28
Carbonatos y Oximacarbonatos	0,40
Organofosfatos	2,28
Basados en productos biológicos	0,68
Otros y no clasificados	4,10
<b>TOTAL</b>	<b>6,76</b>

**Tabla 5: Consumo de herbicidas. Unidades expresadas en miles de toneladas.**

Fenoxifitohormonas	1,47
Triazinas y Triazinonas	0,35
Amidas y Anilidas	1,17
Carbonatos y Bicarbonatos	0,05
Urea y Uracilo	0,80
Otros y no clasificados	11,75
<b>TOTAL</b>	<b>15,59</b>

*“ANÁLISIS DE FLUJO DE ENERGÍA DEL SISTEMA AGROALIMENTARIO ESPAÑOL DESDE UNA PERSPECTIVA DE CICLO DE VIDA.”*

Tabla 6: Consumo de funguicidas y bactericidas. Unidades expresadas en miles de toneladas.

Inorgánicos	30,64
Carbonatos y Ditiocarbonatos	2,82
Imidazoles y Triazoles	0,41
Biológicos	0,02
Otros y no clasificados	2,55
<b>TOTAL</b>	<b>36,44</b>

Como el presente estudio no hace diferencia dentro de las familias de tratamientos fitosanitarios, solo se tendrá en cuenta los consumos totales de los insecticidas, herbicidas y funguicidas.

Al realizar la recopilación de datos, estos aparecen referidos en unidades de masa, por lo que para poder realizar el estudio energético es necesario realizar una conversión. Esto se realiza siguiendo los factores de intensidad energética planteados por Nemecek et al. (2007) en MJ/Kg. De esta forma se establece que para los insecticidas el factor es de 351,2 MJ/kg, para los herbicidas 239,4 MJ/kg y para los funguicidas 237,7 MJ/kg.

### Maquinaria

Es importante tener en cuenta que el consumo energético de la maquinaria no solo está relacionado con los combustibles necesarios para su funcionamiento, sino que también ha de considerarse el consumo energético asociado a la fabricación y mantenimiento donde es necesario aportar una gran cantidad de energía.

Tomando como base el estudio realizado por Audsley et al. (1997) en el cual se determina que de forma general, cada máquina está compuesta por un 95% acero y un 5% de gomas. Así mismo también se puede establecer el consumo energético para la



producción de acero de 27,47 MJ/kg y en el caso de los gomas 27.5 MJ/kg tal como establece (Classen, 2007).

Al igual que ocurría con los fertilizantes, el Ministerio de Agricultura también aporta las unidades de maquinaria agrícola y sus pesos en los diferentes anuarios. De esta forma se puede establecer la cantidad de maquinaria que se encuentra elaborando diversas tareas en el sector.

**Tabla 7: Registro de maquinaria utilizada en la agricultura y media de los kg/unidad de cada tipo de máquina.**

Tipo de maquina	Unidades	Kg/unidad
Tractores de cadenas	34304	16757
Tractores de ruedas	1037881	54098
Motocultores	279766	105
Cosechadoras de cereales	52693	15246
Cosechadoras para forraje	1334	4000
Cosechadoras de remolacha	991	2000
Cosechadora de hortalizas	883	1830
Cosechadora de algodón	1135	30000
Cosechadora de viñedo	1824	15500
Tractocarros	3348	9000

En este caso, se tienen datos en unidades de maquinaria y también los kg/unidad. Es decir, solo es necesario calcular la masa total para poder determinar el valor energético asociado a cada ítem a través de los factores de intensidad energética de 28MJ/kg establecido por Classen (2007).

### Piensos

Los piensos tienen también asociados un gran consumo energético. El Ministerio de Agricultura aporta información sobre la producción de piensos en 2015 en Datos de producción de piensos (INE, 2015).

**Tabla 8: Distribución de piensos utilizados. Unidades expresadas en miles de toneladas**

Porcino	14771,96
Bovino	6869,84
Avicultura	5728,70
Ovino	1713,96
Animales de compañía	954,30
Conejos	502,16
Multiespecie	408,03
Equino	195,34
Peces	132,80
Otras especies	38,66
Animales de peletería	15,06

Como las unidades están en términos de masa se utiliza lo factores de intensidad energética promedio de 3.67 MJ/kg que aporta Infante-Amate y González de Molina (2013).

#### **Consumos directos de energía**

Es necesario también determinar consumo directo de la etapa de producción agrícola que es definida como la suma de los sectores ganadero y pesquero. Los datos se han obtenido de IDAE (2015).

**Tabla 9: Balance del consumo de energía primaria en España para el año 2015. Unidades expresadas en TJ.**

	Productos petrolíferos	Gas	Energías renovables
Agricultura	80154,8	3459,2	3168,4
Pesca	11128,7	0	180

#### 4.2.1.2 Industria

La industria es la segunda etapa de la cadena de suministro, se tienen en cuenta los plásticos, vidrio, papel y cartón y también los productos metálicos que son utilizados en el sector agroalimentario español.

##### **Plásticos**

Para el consumo de plásticos se recurre a los datos aportados por la Asociación Española de Industriales de Plásticos ANAIP (2017), donde se indica que el consumo es de 1,5 millones de toneladas. En Infante-Amate y González de Molina (2013) se establece que el factor a utilizar para pasar de masa a energía es de 77,72 MJ/kg.

##### **Vidrio**

Se toma el valor de 2,14 millones de toneladas establecido por el Ministerio de Agricultura. En Infante-Amate y González de Molina (2013) se establece que el factor a utilizar para pasar de masa a energía es de 15,51 MJ/kg.

##### **Papel y cartón**

El consumo total de papel y cartón en España fue de 6.644,5 miles de toneladas ASPAPEL (2018). En Infante-Amate y González de Molina (2013) se establece que el 42,7% de lo consumido era de productos alimentario, es decir 2.837.202 toneladas. En Infante-Amate y González de Molina (2013) se establece que el factor a utilizar para pasar de masa a energía es de 18,44 MJ/kg.

##### **Metálicos**

En este apartado se tendrán en cuenta principalmente aluminios y hojalatas destinadas a envases. EUROOPEN (2018) determina que en España el uso de envases metálicos es de 436 mil toneladas. INFOPACK (2008) indica que de forma general el 77% del total se destina a alimentos y bebidas. Ese mismo informe también sostiene que 7% es de

aluminio y el 93% de acero. Por lo que el consumo de aluminio es de 23.043 toneladas y 311.855 toneladas de acero. En Infante-Amate y González de Molina (2013) se establece que el factor a utilizar para pasar de masa a energía es de 27,47 MJ/kg.

#### *4.2.1.3 Distribución*

La distribución es la tercera etapa dentro de la cadena de suministro, y se tiene en cuenta el transporte de todos los productos alimentarios tanto las importaciones como el transporte nacional. Se tiene en cuenta el transporte por carretera, ferrocarril, barco y también por avión.

#### **Transporte de mercancías por carretera**

En este apartado se tiene en cuenta el transporte de alimentos que se realiza en el territorio español vinculado a los transportes pesados, es decir, los encargados de transportar las mercancías desde los lugares de producción hasta los puntos de consumo en los diferentes comercios. Para ello, el Ministerio de Fomento elabora un documento donde se recogen las toneladas-kilometro según el tipo desplazamiento recogido por Encuesta permanente de transporte de mercancías por carretera (INE, 2015). De todos los grupos, se considera el grupo 0 y grupo 1 pertenecientes a productos agrícolas y productos alimenticios respectivamente, es decir, 1.886 millones de t-km.

Para poder obtener valores energéticos se recurre al factor de 2,21 MJ/t-km propuesto por Monzon et al. (2009).

#### **Transporte de mercancías por ferrocarril**

El transporte por ferrocarril es otro de los elementos a tener en cuenta, para obtener los datos necesarios se recurre a la base de datos INE (2015) donde se recogen las cantidades de mercancías transportadas lo largo del 2015.

Seguidamente es necesario discriminar cual es la cantidad que realmente está relacionada de alguna manera con el sector agrario y solo el informe económico de RENFE (2015) discrimina el tipo de producto transportado. Según este informe los productos agroalimentarios representan el 7%, es decir, 761,9 millones t-km.

Se toma como referencia a (Spielman et al, 2007) donde establece el factor de intensidad energética de 0,71 MJ/Tm-kg.

### **Transporte de los hogares**

Es uno de los aspectos que presenta mayor complejidad ya que los datos son difíciles de obtener, incluso es difícil de estimar.

En 2015 en España se consumieron 29,3 tn de alimentos según la base de datos de consumo en los hogares del Ministerio de Agricultura. Teniendo como referencia Milà i Canals et al (2007) que realiza un estudio para estimar el coste energético del transporte de los hogares para comprar alimentos determina que cada alimento recorría 0,185 kg/km en el caso de que el transporte fuera en coche y de 0,00085 kg/km en el caso de que el medio elegido fuese el autobús.

Según el Ministerio de Agricultura el 20% de los españoles utiliza el coche para comprar alimentos y solo un 7,2% se decanta por el transporte en autobús. Solo queda determinar el consumo de cada medio de transporte. Para el caso de los coches se ha consultado la base de datos de coches de IDEA (2015) donde se establece el consumo de los más de trece mil vehículos que están en España. Se puede decir en base a estos datos que el consumo más común es el de 8L/100km. Para el caso de los autobuses se puede utilizar el valor propuesto por Milà i Canals et al (2007) de un consumo de 40 L/100km.

### **Transporte internacional**

En este apartado se pretende contabilizar la influencia en el balance energético de las importaciones, ya que hasta el momento solo se había tenido en cuenta el transporte de los productos agrarios y alimentarios dentro del país.

Para la obtención de los datos necesarios se acude al Ministerio de economía, industria y competitividad, en la base de datos DataComex (2018). En función del medio de transporte utilizado en las importaciones se obtiene que 17,8 miles de toneladas llegan en barco, en ferrocarril unas 4 mil toneladas y por avión 61 mil toneladas.

El Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente establece una media de distancias para las importaciones. Para el caso de las importaciones marítimas se establece 5192 km, para el transporte por ferrocarril 726 km, transporte por carretera 1337 km y para transporte por avión de 7980 km Alimentos kilométricos (2018).

Así mismo, con estos datos se puede establecer las t-km para cada uno de los medios de transporte. En este estudio se han extraído los factores de intensidad energética de la base de datos Ecoinvent v3.3 (2016) que permiten pasar de t-km a MJ. Para el barco se establece un valor de 0,18 MJ/t-km, para el transporte por ferrocarril 0,4 MJ/t-km, en el caso del transporte por carretera se establece una media de 4,92 MJ/t-km y en el caso del avión de 31,36 MJ/t-km.

#### 4.2.1.4 Consumo

El consumo es la cuarta y última etapa que se ha considerado. Se tiene en cuenta los consumos que tienen lugar en los comercios, servicios y en los hogares.

##### **Comercios**

El Informe Anual de Consumos Energéticos (IDAE, 2015) recoge los datos del consumo del sector servicios, en este estudio solo se tendrá en cuenta el consumo de los comercios y restaurantes.

##### **Hogares**

El Informe Anual de Consumos Energéticos (IDAE, 2015) recoge los datos del consumo del sector residencial. De todos los datos que se aportan solo se tienen en cuenta en este estudio el consumo de cocinas y electrodomésticos.

#### 4.2.2 Requerimientos energéticos por tipo de alimento

Los requerimientos energéticos de los diferentes tipos de alimentos se han calculado en base a la metodología planteada por Cuellar y Webber (2010).

Se parte de la definición inicial de las diferentes categorías de alimento, en el caso de Cuellar y Webber solo plantean ocho pero en este estudio se han considerado nueve categorías: Cereales, Verduras, Tubérculos, Frutas, Carne, Legumbres, Productos lácteos, Huevos y Pescado.

Una vez definido las categorías se seleccionan los alimentos más representativos de cada una de ellas. Por ejemplo, en el caso de los Productos lácteos se han tenido en cuenta valores nutricionales de los diferentes tipos de leches, yogures, quesos y se ha realizado la media, de esta forma se tiene un valor bastante aproximado del valor energético de cada una de las categorías.

Los valores energéticos y proteínas de cada una de las nueve categorías se han obtenido de las tablas de composición de alimentos CESNID (2004).

**Tabla 10: Valores energéticos y proteínas de cada categoría de alimentos**

<b>Categoría de alimentos</b>	<b>Kcal/kg</b>	<b>Proteína total (g/kg)</b>
Cereales	358,03	10,95
Verduras	21,75	1,09
Tubérculos	71,40	2,19
Frutas	45,54	0,65
Carne	140,74	19,49
Legumbres	84,19	8,05
Productos lácteos	63,45	3,11
Huevos	149,92	12,69
Pescado	206,00	19,10

Para los siguientes pasos se han realizado varios cálculos que difieren a lo planteado originalmente por Cuellar y Webber (2010). En su trabajo se dice que hay valores que no están disponibles en la literatura. Por lo tanto, se van a tomar los valores que si se recogen en Cuellar y Webber (2010) y se además se rellenará cada una de las fases con nuestros propios datos.

Los datos de partida según esta metodología es lo que se llama “Intensidad energética por proteína ( $E_{in,k}/E_{p,k}$ )”, donde  $E_{in,k}$  representa la entrada de energía para cada categoría de comida y  $E_{p,k}$  es la energía disponible de las proteínas en una subcategoría de alimentos dada anualmente. Estos valores están recogidos en este documento en la columna A de la tabla 10.

El siguiente paso sería calcular el “Ratio de energía nutricional por proteína de los alimentos” ( $E_{f,k}/E_{p,k}$ ), aplicando la ecuación (1):

$$\text{—————} \left( \text{—————} \right) \left( \text{—————} \right) \quad (1)$$

Donde  $m_{pk}$  representa la masa de proteína disponible en cada categoría de alimentos en un año y  $E_{f,k}$  representa la energía anual disponible de un alimento.

El  $\frac{1}{4}$  hace referencia a que cada gramo de proteína contiene 4 kcal de esta forma se obtiene el ratio energético. Estos datos se encuentran recogidos en la columna B de la tabla 11.

A continuación se calcula la “Intensidad energética por energía de alimento” representado en la columna C de la tabla 11 siguiendo la ecuación (2):

$$\text{—————} \left( \text{—————} \right) \left( \text{—————} \right) \quad (2)$$

Donde  $E_{f,j}$  representa la energía de los alimentos en cada categoría.

La columna D de la tabla 11 hace referencia a la densidad energética que es el cociente entre la energía de cada categoría referida a la masa entre cien.

El siguiente paso que se plantea es el cálculo de la Intensidad energética por masa columna E de la tabla 11, según a la ecuación (3):

$$\text{—————} \left( \text{—————} \right) \left( \text{—————} \right) \quad (3)$$

Donde  $m_{c,j}$  representa la masa de alimento de una categoría.

Por último se calcula la fracción total por masa con la ecuación (4):

$$\frac{\Sigma}{\Sigma} \quad (4)$$

Una vez calculado estos datos, ya se puede calcular la energía que cada categoría de alimento requiere a lo largo de las cuatro etapas planteadas agricultura, industria, distribución y consumo.

A continuación se expone a modo de ejemplo el planteamiento para la agricultura. Se tiene la fracción total por masa de los cereales. Este valor se multiplica por la energía primaria total asociada a la agricultura y de esta manera se puede obtener la energía que los cereales requieren en la agricultura. Esto se realiza con las nueve categorías de alimentos y con cada una de las fases de la cadena de suministro.

**Tabla 11. Tabla resumen de los valores necesarios para determinar los requerimientos energéticos**

	COLUMNA A ( $E_{in,k}/E_{p,k}$ )	COLUMNA B ( $E_{f,k}/E_{p,k}$ )	COLUMNA C ( $E_{f,k}/E_{in,k}$ )	COLUMNA D ( $E_{f,k}/m_{c,j}$ )	COLUMNA E ( $E_{in,k}/m_{c,k}$ )
Cereales	3,57	8,83	2,77	3,58	1,36
Verduras	10,61	3,28	0,78	0,22	0,45
Tubérculos	6,27	8,15	1,30	0,71	0,55
Frutas	39,68	26,17	0,81	0,46	0,62
Carne	28,75	1,82	0,14	1,41	21,89
Legumbres	1,05	2,61	2,50	0,84	0,34
Productos lácteos	14,00	5,10	0,36	0,63	1,74
Huevos	39,00	2,95	0,08	1,50	19,80
Pescado	12,82	2,70	0,21	2,06	9,79

### 4.3 Análisis de flujo de materia y energía

Hasta este punto del estudio, se ha llegado a determinar los consumos energéticos en cada una de las etapas de la cadena de suministro de cada una de las diez categorías de

alimentos planteadas. Pero es posible determinar también a raíz de los datos calculados, las pérdidas energéticas que tienen lugar a lo largo de todo el proceso.

El análisis del flujo de materia y energía se realiza en base a los % de pérdida recogidos en la tabla 12 FAO (Gustavsson et al., 2013). Son una serie de porcentajes que van a permitir establecer tanto las pérdidas energéticas primarias como nutricionales, además de las pérdidas de materia.

La determinación de las pérdidas de alimentos se realiza con la ecuación (5):

$$\Sigma \quad \text{---} \quad \Sigma \Sigma \quad (5)$$

Donde:

es el porcentaje de pérdidas de alimentos generada en cada etapa  $j$  de cada categoría de alimentos.  $K$  se refiere a la comida utilizada procesada ( $k=1$ ) o fresca ( $k=2$ ).

es el factor de asignación utilizado estimando la fracción de comida producida para consumo humano.

es el alimento disponible para el consumo humano de la categoría  $i$  que sale del sector de la cadena de suministro.

**Tabla 12: Porcentaje de pérdidas de cada categoría de alimento en cada una de las etapas de la cadena de suministro.**

	Factor de asignación	AGRICULTURA (%)	INDUSTRIA (%)		DISTRIBUCION (%)		CONSUMO (%)	
			Pérdidas fresco	Pérdidas procesado	Pérdidas fresco	Pérdidas procesado	Pérdidas fresco	Pérdidas procesado
Cereales	0,2	6,59	1,8	12,1	2	2	25	25
Verduras	0,81	8,3	2	2	10	2	19	15
Tubérculos	0,78	8,3	14,7	14,7	7	3	17	12
Frutas	0,83	6,51	2	2	10	2	19	15
Carne	1	3,2	6,3	6,3	4	4	11	11
Legumbres	0,5	6,59	5	5	10	2	19	15
Productos lácteos	1	3,9	0,2	0,2	9	9	11	11
Huevos	1	4	0,5	0,5	2	2	8	8
Pescado	1	9,4	6	6	9	9	11	10

“ANÁLISIS DE FLUJO DE ENERGÍA DEL SISTEMA AGROALIMENTARIO ESPAÑOL DESDE UNA PERSPECTIVA DE CICLO DE VIDA.”



#### 4.4 Tasa de retorno energético (EROI)

La tasa de retorno energético o EROI es una estimación de la cantidad de energía entregada por una tecnología de producción en relación con la cantidad de energía invertida (Pelletier et al, 2011). Aunque este concepto se diseñó inicialmente para la evaluación de los sistemas de energía, el concepto se ha adaptado ecuación (6) para cuantificar las proporciones de producción de energía alimentaria en relación con los insumos de energía industrial.

La relación EROI se puede estimar de la siguiente manera:

$$\frac{\sum K_{ij}}{\sum E_{ij}} \quad (6)$$

Dónde:

$K_{ij}$  es la entrada directa  $K$  en la etapa  $j$  para la categoría de alimentos  $i$ .

$E_{ij}$  es la entrada directa de intensidad energética  $k$  en la etapa  $j$ .

$N_{ij}$  es la entrada indirecta  $n$  en la etapa  $j$  para la categoría de alimentos  $i$ .

$E_{ij}$  es la entrada indirecta de intensidad energética  $n$  en la etapa  $j$ .

$E_{ij}$  es la energía nutricional contenida en la categoría de alimentos  $i$  durante la etapa de suministro  $j$ .

La energía nutricional se ha obtenido de las tablas de composición de alimentos CESNID (2004). Mientras que para la obtención de la energía primaria necesaria para su producción se calculará de acuerdo con la ecuación (6)

## 4.5 Energía nutricional y primaria embebida en las pérdidas de alimentos

En este apartado se pretende precisamente establecer la metodología seguida con el fin de poder determinar estos valores de pérdidas, tanto las asociadas a la energía primaria como a las pérdidas nutricionales.

### 4.5.1 Pérdidas de Energía Primaria (PEP)

Para determinar las pérdidas de energía primaria que tienen lugar para cada categoría de alimento y en las distintas etapas se utilizan unos % establecidos por la FAO (Gustavsson 2013) para pérdidas en masa asumiendo que también son aplicables a las pérdidas en energía.

Se parte del cálculo planteado anteriormente de la energía que cada alimento requiere y se multiplica por el porcentaje de pérdidas dando así las pérdidas que se dan en cada una de las categorías de alimentos y en cada etapa.

$$\Sigma (\Sigma \Sigma ) \tag{7}$$

Dónde:

es el porcentaje de pérdidas de alimentos generadas en cada etapa j para la categoría de alimentos i.

#### 4.5.2 Pérdidas de Energía Nutricional (PEN)

Para determinar las pérdidas de energía nutricional que tienen lugar para cada categoría de alimento y en las distintas etapas se utilizan los mismos porcentajes que en el apartado anterior.

Se parte del valor energético nutricional de cada categoría de alimentos. Este valor está en kJ/kg por lo que es necesario multiplicarlo por la cantidad de alimentos que se tiene en cada etapa de cada tipo de alimento. Una vez que se tiene el valor energético se multiplica por el porcentaje de pérdidas dando así las pérdidas de energía nutricional que se dan en cada una de las categorías de alimentos y en cada etapa.

$$\sum \sum \quad (8)$$

Dónde:

es la energía nutricional contenida en la categoría de alimentos  $i$  durante la etapa de suministro  $j$ .

es el alimento disponible para el consumo humano de la categoría  $i$  que abandona el sector de la categoría de suministro ( $j= 1$  agricultura,  $j=2$  industria,  $j=3$  distribución,  $j=4$  consumo).

## 5. RESULTADOS

### 5.1 Balance energético

En este apartado se exponen los resultados a los que se ha llegado utilizando la metodología descrita en los apartados anteriores. Se comentarán los datos más relevantes o que tengan especial interés.

#### 5.1.1 Balance energético por etapa

Como se puede ver en la figura 3, la etapa de producción agrícola es la que más energía requiere, suponiendo un 54,16% del total de energía primaria consumida por el SAA español. Las etapas de industria y distribución presentan consumos energéticos similares (211,8 PJ y 224,6 PJ, respectivamente), suponiendo aproximadamente un tercio de los requerimientos agrícolas.

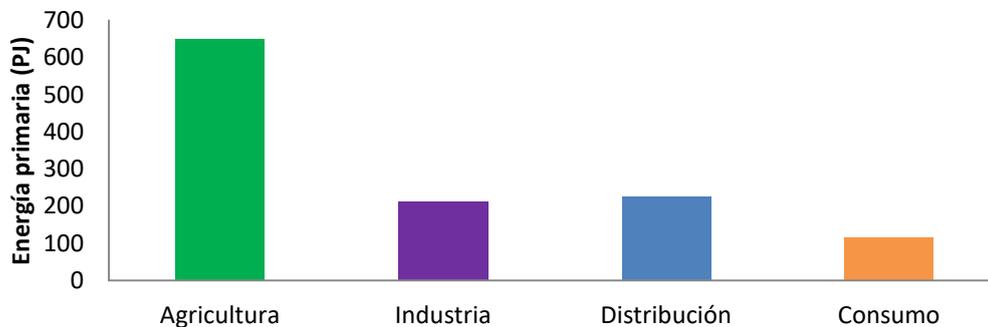


Figura 3: Resumen en PJ de los requerimientos energéticos en cada etapa considerada

### Agricultura

En este apartado se han considerado los combustibles que son requeridos para realizar las labores agrícolas, así como la electricidad, los fertilizantes y tratamientos que requieren los alimentos. También la maquinaria utilizada y los piensos destinados a la alimentación de los diferentes animales.

La agricultura, a la vista de los resultados obtenidos, es la etapa que más consumo de energía primaria requiere 649.3 PJ. Analizando más detenidamente este dato, se observa que los piensos es el ítem que más consume 228,1 PJ seguido de la energía necesaria en la fabricación de la maquinaria utilizada en la agricultura que es de 158,6 PJ.

Por otro lado los combustibles consumen 98,1PJ y la electricidad 51 PJ respectivamente. Los plásticos tan solo consumen 17,1 PJ.

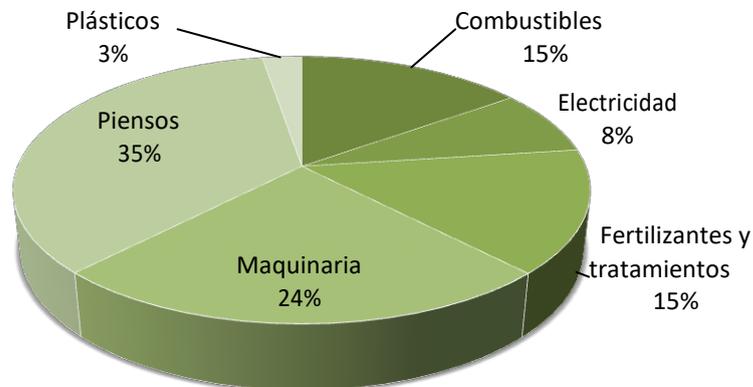


Figura 4: Representación en porcentaje de los consumos de los diferentes ítems en la agricultura.

Al expresar los resultados en porcentajes figura 4, se aprecia mejor la diferencias que hay entre cada uno de los ítems que forman parte de la agricultura. Un dato a tener en cuenta, es el 3% de consumo que representan los plásticos en esta etapa y como este dato va a cambiar notablemente al llegar al sector industrial.

### **Industria**

El sector industrial tiene un consumo energético de 211.8 PJ y se ve representado principalmente por productos tales como los plásticos, vidrios, papel y metales. Los plásticos consumen 117PJ. Este dato es muy representativo de la cantidad de energía que se utiliza en generar plástico o envases que, pudiendo ser reutilizados, son desechados de inmediato, contaminando el medio y malgastando el recurso natural y energético necesario para su fabricación. El consumo de papel y cartón es de 52.3 PJ. El vidrio destinado a productos alimentarios es de 33.3 PJ y los metales apenas llegan al 9.2 PJ.

En la figura 5 se han representado los datos en porcentajes, ya que nos aportan una perspectiva más visual de cómo se van distribuyendo los consumos.

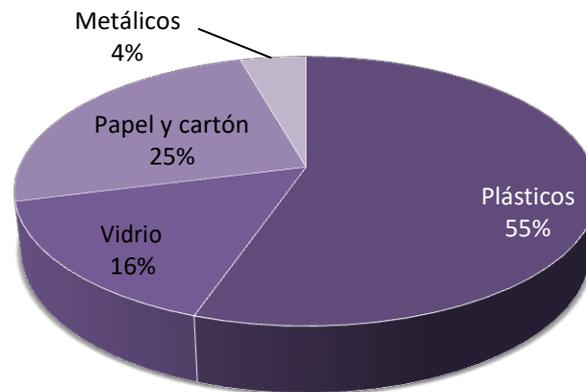


Figura 5: Representación en porcentaje de los consumos de los diferentes ítems en el sector industrial

### Distribución

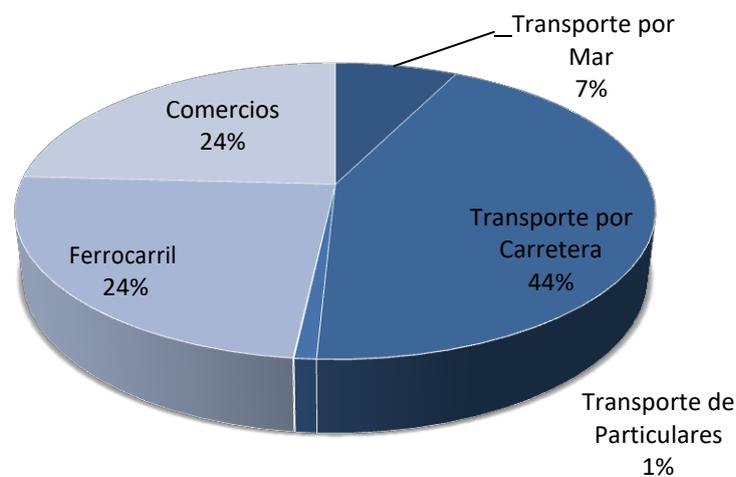
La distribución es la tercera etapa considerada para representar la cadena de suministro de los alimentos. Es la etapa que permite conectar la agricultura con el consumidor. En esta etapa, se han tenido en cuenta las importaciones. Las importaciones, es un factor tremendamente difícil de encajar ya que parte de las importaciones entrarían dentro de la agricultura o directamente formarían a formar parte de los productos que los comercios ofertan a los consumidores. Por ello, se han englobado, en distribución. Como consecuencia, los datos que arroja la metodología seguida, es que el transporte por carretera (donde se han incluido las importaciones más el transporte nacional) es de 97,5 PJ siendo el ítem que más energía consume. El transporte por ferrocarril es de 54,1PJ y el transporte marítimo es de 16.5PJ.

Como se ha visto a la hora de ir elaborando los datos necesarios, se ha pretendido discernir el medio de transporte empleado por los españoles para llevar los productos alimentarios desde los comercios hasta los hogares.

---

*“ANÁLISIS DE FLUJO DE ENERGÍA DEL SISTEMA AGROALIMENTARIO ESPAÑOL DESDE UNA PERSPECTIVA DE CICLO DE VIDA.”*

Los datos que han arrojado esta consideración, dan buena muestra de cuál es la cultura de consumo en España ya que el consumo energético que está asociado al uso transporte urbano es de 0.1PJ mientras que para el uso de vehículos privados es de 2.1PJ. Por último, también se considera el avión como elemento de distribución, pero los consumos en energía son despreciables frente a los demás en esta categoría ya que apenas llega a 0.002 PJ.



**Figura 6: Representación en porcentaje de los consumos de los diferentes ítems en la distribución**

En la figura 6 se representan en porcentajes los consumos de los ítems que componen la etapa de distribución. Se aprecia el gran peso del transporte por carretera y como el transporte urbano y por avión es tan pequeña que ni visible su representación en comparación con los demás ítems considerados.

### Consumo

Esta etapa es la última, la etapa final de toda la cadena de suministro. En ella se pueden hacer dos subgrupos que serían, el consumo energético por parte de los hogares y otro en el que serían atribuibles los consumos del sector servicios (Restaurantes, hoteles...).

Los electrodomésticos que son utilizados en los hogares tiene unos consumos de 87,9 PJ muy superior a la energía que es utilizada para cocinar los alimentos que es de 14,3 PJ. El sector servicios, tiene un consumo energético relacionado con los alimentos de 13,3 PJ. En la figura 7 se representan estos datos en porcentaje, donde se aprecia el gran peso que tienen los electrodomésticos en la etapa de consumo.

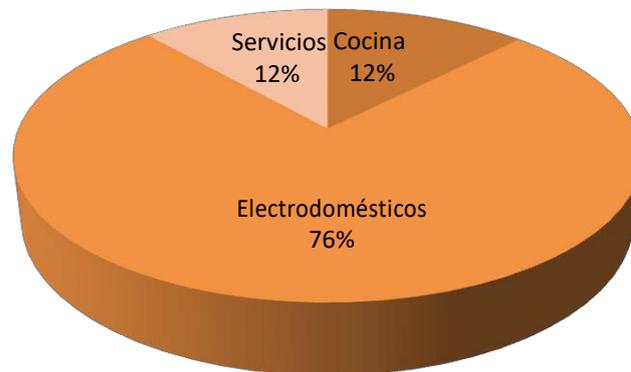


Figura 7: Representación en porcentaje de los consumos de los diferentes ítems en la etapa de consumo

### 5.1.2 Balance energético por alimento

Como se decía con anterioridad, con los datos que se han ido calculando se puede determinar la energía requerida para cada alimento en cada una de las diferentes etapas de la cadena de suministro. A continuación se expone a modo de ejemplo el planteamiento para la agricultura. Se tiene la fracción total por masa de los cereales, este valor se multiplica por la energía primaria total asociada a la agricultura que se ha calculado en los puntos anteriores y de esta manera se puede obtener la energía que los cereales requieren en la agricultura. Esto se realiza con las nueve categorías de alimentos y con cada una de las fases de la cadena de suministro.

En la figura 8, se aprecia que la primera fase de la cadena de suministros esto es, la agricultura es donde se requiere la mayor cantidad de energía 650 PJ, donde la carne es la categoría de alimento que más energía necesita 357PJ. EL consumo de energía por parte de los productos cárnicos en la agricultura representa en torno al 55% de toda la energía consumida en esta primera etapa.

La siguiente etapa que más consume sería la de distribución aunque los valores de consumo energético son muy similares a los de la industria 225 y 210 PJ respectivamente. Y nuevamente los productos cárnicos son los que requieren mayor aporte energético, 133PJ en el caso de la industria y 115PJ en el caso de la distribución. Estos valores representan el 62% del consumo energético para la etapa de la industria y del 51% en el caso de la distribución.

Por último, la etapa de consumo es la que menos requerimientos energéticos consumen 115 PJ. Como sucedía en los anteriores casos, los productos cárnicos vuelven a ser la categoría de alimentos que más energía consumen 72PJ. Esto quiere

decir que el 63% de la energía que se consume en la etapa de consumo se destina a los productos cárnicos.

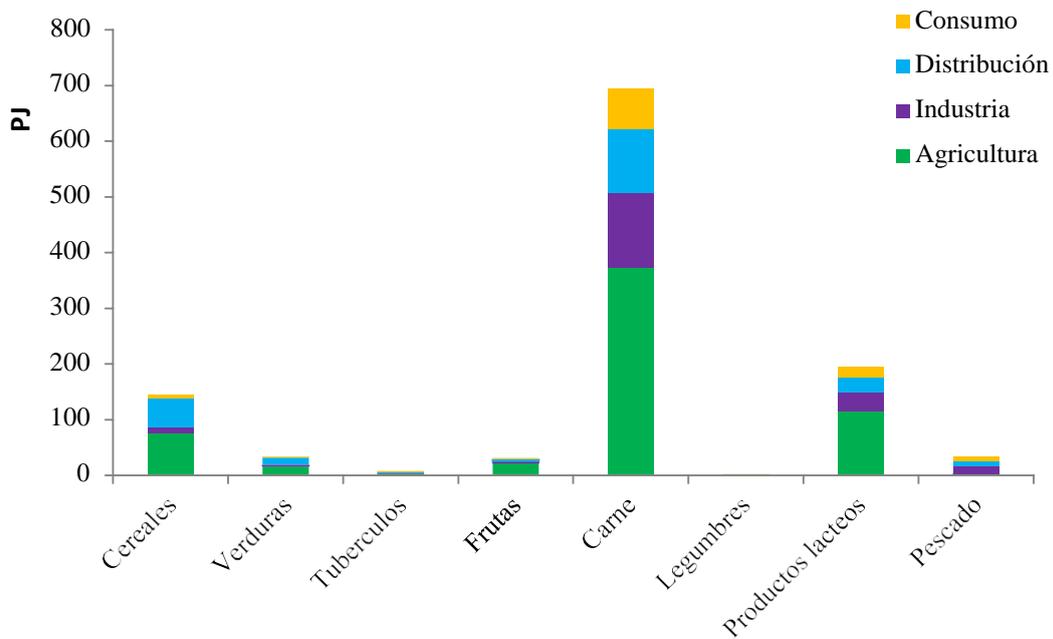


Figura 8: Energía requerida en PJ de cada categoría de alimento

## 5.2 EROI

Como se puede ver en la tabla 13, las legumbres es la categoría de alimentos con el EROI más grande, estimado en 15,93 valor muy similar al de los cereales que es de 13,28. Esto sugiere que una eficiencia energética de estas dos categorías es de 16 veces mayor en promedio que el resto de categorías.

En el lado opuesto, la carne, los huevos e incluso el pescado tienen el EROI más bajo. Esto indica una eficiencia energética muy baja en su proceso de producción.

Todos estos resultados, concuerdan con los resultados en la literatura, que establecen que los productos alimentarios derivados de los animales consumen grandes cantidades de recursos energéticos.

**Tabla 13: Cuadro resumen EROI**

	<b>EROI</b>
Cereales	13,28
Verduras	2,61
Tubérculos	8,07
Frutas	3,54
Carne	0,51
Legumbres	15,93
Productos lácteos	2,05
Huevos	0,54
Pescado	1,43

### 5.3 Pérdidas de Energía Primaria (PEP)

Los resultados que aparecen en la figura 9, indican que los productos cárnicos son los que más pérdidas de energía primaria presentan, en total se pierden 52,32PJ. Por otro lado, en la agricultura las pérdidas son de 11,79 PJ que representan el 40% del total de pérdidas a lo largo de la cadena de suministro. Llamativo es el caso de la carne en la industria donde las pérdidas energéticas representan son de 5,37PJ es decir, más del 80% de todas las pérdidas que son atribuibles a la industria se pierden en productos cárnicos. Mientras en la etapa de distribución las pérdidas son 4,61PJ que representan el 53% y en la etapa del consumo 7,97 es decir el 60%.

Como sucedía en el caso de la energía requerida por cada etapa, la etapa en la que se producen más pérdidas es en la agricultura 26,62 PJ. El 28,57% de las pérdidas de energía primaria tiene lugar en la primera etapa, la agricultura.

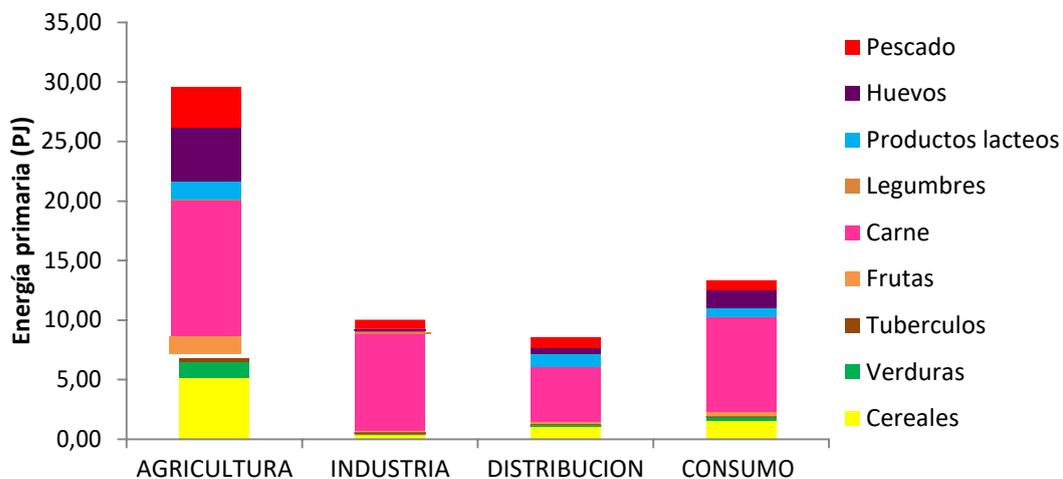


Figura 9: Pérdidas de energía nutricional en PJ de cada categoría de alimentos

“ANÁLISIS DE FLUJO DE ENERGÍA DEL SISTEMA AGROALIMENTARIO ESPAÑOL DESDE UNA PERSPECTIVA DE CICLO DE VIDA.”

#### 5.4 Pérdidas de Energía Nutricional (PEN)

Las pérdidas nutricionales se recogen en la figura 10, y destaca que el tipo de alimento que más pérdidas tiene no sea la carne, como sucedía en los demás casos planteados, sino que son los cereales.

En la agricultura los cereales pierden 2 PJ, es decir, el 73% de todas las pérdidas en esta etapa es atribuible a los cereales. En la industria los cereales vuelven a ser los que más pérdidas nutricionales tienen 0,38PJ, 32%. En la etapa de distribución la pérdida nutricional de los cereales de 0,46 PJ es decir, el 28% de las pérdidas y en el caso del consumo, los cereales vuelven a ser la categoría que más pérdidas tiene 5,51PJ que representa el 72% de las pérdidas en esta etapa.

La agricultura es la etapa que más pérdidas de energía primaria (PEP) tiene, sin embargo, en el caso de las pérdidas de energía nutricional (PEN) la etapa que más pérdidas tiene es la etapa de consumo. En esta etapa se pierden 7,63PJ de energía nutricional. Es decir, en la última etapa se pierde el 57% de toda la energía nutricional.

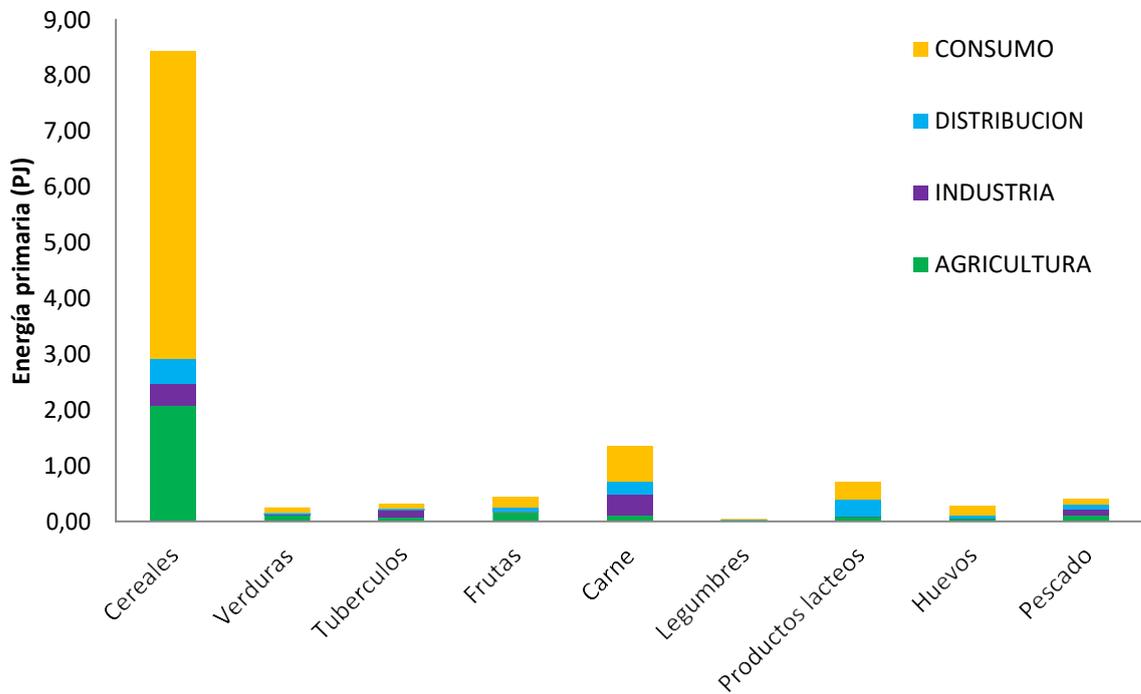


Figura 10: Pérdidas de energía nutricional en PJ de cada categoría de alimentos

“ANÁLISIS DE FLUJO DE ENERGÍA DEL SISTEMA AGROALIMENTARIO ESPAÑOL DESDE UNA PERSPECTIVA DE CICLO DE VIDA.”

## 6. CONCLUSIONES

Gracias a la literatura consultada y a las diversas metodologías que se han ido aplicando a lo largo de este Trabajo de Fin de Grado, se ha podido expresar con datos los diferentes consumos energéticos que están asociados a la alimentación de un país, en este caso a España con datos de 2015.

Como se ha visto en los resultados del balance energético, la etapa que más energía primaria requiere es la agricultura (650 PJ), es decir, cerca del 55% de toda la energía primaria que interviene en la cadena de suministro es consumida por la agricultura, siendo los piensos para los animales y la maquinaria los principales responsables.

Se ha llegado a la conclusión de que la carne es el producto alimentario que más pérdidas de energía primaria tiene a lo largo de la cadena de suministro. Además, es en la agricultura donde más pérdidas se registran, 28,57%. Las pérdidas en la industria y en la distribución son prácticamente similares. En cuanto a las pérdidas nutricionales, el alimento que más pérdidas registra, son los cereales (2PJ), esto es el 73% de toda la energía nutricional perdida.

Por último, el EROI viene a confirmar que la carne, junto con los huevos y el pescado son los productos con menor eficiencia energética, mientras que las legumbres son el producto alimentario más eficiente de entre los estudiados.

Los resultados obtenidos ponen de manifiesto cual es la cultura energética y de respeto al medio ambiente. Esto se ve en que el 55% de la energía que es necesaria aplicar en el sector industrial es utilizada para producir los plásticos, que luego son desechados y no reutilizados generando problemas en los ecosistema. También se ha observado que la sociedad no utiliza el transporte público para realizar la compra. Es

---

*“ANÁLISIS DE FLUJO DE ENERGÍA DEL SISTEMA AGROALIMENTARIO ESPAÑOL DESDE UNA PERSPECTIVA DE CICLO DE VIDA.”*

---

uno de los puntos donde los gobiernos han de poner especial interés fomentando o mejorando las líneas de transporte público.

Esta pérdida de alimentos, ha de ser uno de los hándicap a los que la sociedad se ha de enfrentar en los próximos años, donde el número de habitantes seguirá aumentando y no se puede permitir derrochar alimentos ni aumentar el uso de energía. Por ello hay que invertir en mejorar los procesos que se utilizan en la agricultura y la industria, fomentar el uso de transportes que consuman menos y además de esta forma se atacará las emisiones de gases contaminantes y por último y más importante fomentar la educación desde el punto de vista del consumo responsable y sostenibles.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

Alexandratos, N., Bruinsma, J., 2012. World Agriculture Towards 2030/2050: The 2012 Revision (ESA Working Paper 12-03). Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.

Alimentos kilométricos 2018. Las emisiones de CO<sub>2</sub> por la importación de alimentos al Estado español. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Disponible en: <http://www.alimentoskilometricos.org/>

ANAIP 2018. Asociación Española de Industriales de Plásticos. La transformación de los Plásticos. Disponible en: <https://www.anaip.es>

ASPAPEL 2018. Asociación Española de Fabricantes de Pastas, Papel y cartón. Disponible en: <http://www.aspapel.es>

Brindraban, P. Rabbinge, R., 2012. Megatrends in agriculture. Views for discontinuities in past and future developments. Global Food Security, pp 99-105.7

Crutzen, P. J. (2002). Geology of mankind. Nature, 415(6867), 23.

Chaboud, G., Daviron, B., 2017. Food losses and waste: Navigating the inconsistencies. Global Food Security, 12, 1-7.

Canning, P., Charles, A., Huang, S., Polenske, K., Waters, A. 2010. Energy use in the U.S. Food System. Economic Research Report, United States Department of Agriculture 94, Washington.

Classen M., Althaus H.-J., Blaser S., Doka G., Jungbluth N., Tuchschnid M. 2007. Life Cycle Inventories of Metals. ecoinvent report No. 10, v2.0. EMPA Dübendorf, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH, de [www.ecoinvent.org](http://www.ecoinvent.org).

CESNID 2004. Farran A., Zamora R., Cervera P., Centro de Enseñanza Superior de Nutrición y Dietética. Tablas de composición de alimentos del CESNID. Universitat de Barcelona

Cuellar y Webber 2010. Wasted Food, Wasted Energy: The Embedded Energy in Food Waste in the United States

DataComex 2018. Disponible en: <http://datacomex.comercio.es>

Davide Ravelli, Daniele Dondib, Maurizio Fagnonia, AngeloAlbinia, Titanium dioxide photocatalysis: An assessment of the environmental compatibility for the case of the functionalization of heterocyclics, Applied Catalysis B: Environmental, 2010

Davis, J.M., Goldberg, R.A., 1957. A concept of agribusiness. Harvard University Press, Boston.

Dutilh, C.E. y Kramer, K.J., 2000. Energy consumption in the food chain. Comparing alternative options in food production and consumption. Ambio 29-2, 98-101.

Erb, K.-H., Krausmann, F., Lucht, W., Haberl, H., 2009. Embodied HANPP: Mapping the spatial disconnect between global biomass production and consumption. Ecological Economics 69, 328-334.

Erismann, J.W.; Suttin, M.A.; Galloway, J.; Klimont,Z.; Winiwarter,W. How a century of ammonia changed the World. Nat. Geosci. 2008.

Ecoinvent, 2016. Database v3.3: Disponible en: <https://www.ecoinvent.org/>

Encuesta permanente de transporte de mercancías por carretera, 2015.

Disponible en: <https://www.fomento.gob.es>

EU FUSIONS, 2016. The UN Sustainable Development Goals set food waste reduction target. Disponible en: <https://www.eu-fusions.org>

EUROPEN 2018. The European organization for packaging and the environment.

Disponible en: <http://www.euopen-packaging.eu>

FAO (2011). Pérdidas y desperdicio de alimentos en el mundo. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i2697s.pdf>

FAO (2014). Contabilidad ambiental de las pérdidas y desperdicio de alimentos. Disponible en: [http://www.fao.org/Food\\_Wastage\\_Concept\\_Note\\_web\\_es.pdf](http://www.fao.org/Food_Wastage_Concept_Note_web_es.pdf)

FAO (2014b). SAVE FOOD: Global Initiative on Food Loss and Waste Reduction. Disponible en: [http://www.fao.org/FLW\\_Definition\\_and\\_Scope\\_2014.pdf](http://www.fao.org/FLW_Definition_and_Scope_2014.pdf)

Georgescu-Roegen, N. The Entropy Law and the Economic Process; Harvard University: Cambridge, MA, USA, 1971.

Garnett, T. (2011). Where are the best opportunities for reducing greenhouse gas emissions in the food system (including the food chain)? Food Policy, 30 (SUPPL.1), S23-S32.

Gustavsson, J., Cederberg, C., Sonesson, U., Emanuelsson, A., 2013. The methodology of the FAO study: "Global Food Losses and Food Waste—extent, causes and prevention"—FAO, 2011. The Swedish Institute for Food and Biotechnology (SIK), Göteborg, Sweden.

Gupta, A.K., and C.A.S. Hall. 2011. A review of the past and current state of EROI data. Sustainability 3: 1796–1809.

Headey, D., Fan, S., 2008. Anatomy of a crisis: the causes and consequences of surging food prices. Agricultural Economics 39(s1), 375-391.

Hirst, E., 1974. Food-related energy requirements. Science 184(4133), 134-138.

Heller, M.C., Keoleian, G.A., 2003. Assessing the sustainability of the US food system: a life cycle perspective. Agricultural Systems 76, 1007-1041.

Heller, M.C., Keoleian, G.A., 2002. Life Cycle-Based Sustainability Indicators for Assessment of the U.S. Food System. Center for Sustainable System, Report No. CSS00-04.

Hunt R, Franklin W.E, 1996. LCA –How it came about- Personal reflections on the origin and the development of LCA in the USA. Int LCA 1/1, pp.4-7.

IDAE 2015. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Ministerio para la transición Energética. Disponible en: <http://www.idae.es>

IEA (International Energy Agency). IEA Sankey Diagram Word Final Consumption. 2015. [www.iea.org/Sankey/index.html#?c=World&s=Final](http://www.iea.org/Sankey/index.html#?c=World&s=Final) consumption (consultado el 12 de Marzo de 2018).

INE 2015. Instituto Nacional de Estadística. Anuario Estadístico de España 2015. Disponible en: <http://www.ine.es>

Infante-Amate y Gómez de Molina, 2013. La gran transformación del sector agroalimentario español. Un análisis desde la perspectiva energética.

ISO 14040:2006. Environmental management –life cycle assessment- principles and framework. CEN (European Committee for Standardisation. Brussels.  
ISO 14044:2006. Environmental management –life cycle assessment- requirements and guidelines. CEN (European Committee for Standardisation). Brussels.

Jones, M. R., 1989. Analysis of the use of energy in agriculture—approaches and problems. Agricultural Systems 29(4), 339-355.

Kummu, M., de Moel, H., Porkka, M., Siebert, S., Varis, O., Ward, P. J., 2012. Lost food, wasted resources: Global food supply chain losses and their impacts on freshwater, cropland, and fertiliser use. Science of the total environment, 438, 477-489.

Leach, G., 1976. Energy and food production. IPC Science and Technology, London.

Markussen, Mads V. Hanne Ostergard. 2013. Energy Analysis of the Danish Food Production System: Food-EROI and Fossil Fuel Dependency. Department of Chemical and Biochemical Engineering.

---

*“ANÁLISIS DE FLUJO DE ENERGÍA DEL SISTEMA AGROALIMENTARIO ESPAÑOL DESDE UNA PERSPECTIVA DE CICLO DE VIDA.”*

Muñoz, I., Milá i Canals, L., Fernández-Alba, A. R., 2010. Life cycle assessment of the average Spanish diet including human excretion. The International Journal of Life Cycle Assessment 15(8), 794-805.

Murphy, D.J., Hall, C.A.S., Dale, M., Cleveland, C., 2011. Order from Chaos: A Preliminary Protocol for Determining the EROI of Fuels. Sustainability 3, 1888-1907.

Milà Canals, L., Muñoz, I., McLaren, S., 2007. LCA methodology and modelling considerations for vegetable production and consumption. CES Working Papers, 02/07, Centre for Environmental Strategy, University of Surrey, UK.

Norum, L. 1983. Problem formulation and quantification in energy analysis. Energy in Agriculture 2, 1-10.

Naredo, J.M., Campos, P., 1980. Los balances energéticos de la agricultura española. Agricultura y Sociedad 15, 163-255.

Nemecek T., Heil A., Huguenin O., Meier S., Erzinger S., Blaser S., Dux. D. and Zimmermann A. 2007. Life Cycle Inventories of Agricultural Production Systems. ecoinvent report No. 15, v2.0. Agroscope FAL Reckenholz and FAT Taenikon, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH, de [www.ecoinvent.org](http://www.ecoinvent.org).

Oscar Carpintero y José Manuel Naredo, 2006. Sobre la evolución de los balances energéticos de la agricultura española, 1950-2000: 531-554

Pimentel, D.; Pimentel, M.H. Food, Energy and Society, 3rd ed.; CRC Press, Taylor and Francis Group: Boca Raton, FL, USA, 2008.

Pelletier, N., Audsley, E., Brodt, S., Garnett, T., Henriksson, P., Kendall, A., Kramer, K.J., Murphy, D., Nemecek, T., Troell, M., 2011. Energy Intensity of Agriculture and Food Systems. Annual Review of Environmental Resources. 36, 223-246, 2011

Padeyanda, Y., Jang, Y. C., Ko, Y., Yi, S., 2016. Evaluation of environmental impacts of food waste management by material flow analysis (MFA) and life

cycle assessment (LCA). *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 18(3), 493-508.

Parfitt, J., Barthel, M., Macnaughton, S., 2010. Food waste within food supply chains: quantification and potential for change to 2050. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.* 365 (1554), 3065–3081.

Pelletier, N.H., and P. Tyedmers. 2011. An ecological economic critique of the use of market information in life cycle assessment research. *Journal of Industrial Ecology* 15: 342–354.

Pelletier, N., Audsley, E., Brodt, S., Garnett, T., Henriksson, P., Kendall, A., Kramer, K.J., Murphy, D., Nemecek, T., Troell, M. Energy intensity of agriculture and food systems. *Annu. Rev. environ. resour.*, Vol. 36, pp 223-46, 2011.

SDG, 2016. Sustainable Development Goals, United Nations. Disponible en: <https://sustainabledevelopment.un.org>

Steinfeld, H.; Gerber, P. *Livestock's Long Shadow. Environmental Issues and Options*; Food and agricultural Organization: Rome, Italy, 2006.

Secondi, L., Princiato, L., Laureti, T., 2015. Household food waste behaviour in EU-27 countries: A multilevel analysis. *Food Policy*, 56,25-40

Steinhart, J. S., Steinhart, C. E. 1974. Energy use in the US food system. *Science* 184(4134), 307-316, 184(4134).

Spielmann M., Dones R., Bauer C., Tuchschnid M. 2007. Life Cycle Inventories of Transport Services. ecoinvent report No. 14, v2.0. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH, from [www.ecoinvent.org](http://www.ecoinvent.org).

Sakai, S. I., Yano, J., Hirai, Y., Asari, M., Yanagawa, R., Matsuda, T., Kunisue, T., 2017. Waste prevention for sustainable resource and waste management. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 1-19.



---

Vittuari,M., Menna,F., Pagani,M. 2016. The Hidden Burden of Food Waste: The Double Energy Waste in Italy.

---

*“ANÁLISIS DE FLUJO DE ENERGÍA DEL SISTEMA AGROALIMENTARIO ESPAÑOL DESDE UNA PERSPECTIVA DE CICLO DE VIDA.”*

## ANEXO I: Tablas de resultados

Tabla 14: Tabla resumen del balance energético

	<b>PJ</b>
<b>Agricultura</b>	<b>649,3</b>
Combustibles	98,1
Electricidad	51,0
Fertilizantes y tratamientos	96,6
Maquinaria	158,6
Piensos	228,1
Plásticos	17,1
<b>Industria</b>	<b>211,8</b>
Plásticos	117,0
Vidrio	33,3
Papel y cartón	52,3
Metálicos	9,2
<b>Distribución</b>	<b>224,6</b>
Transporte por Mar	16,5
Carretera	97,5
Particulares	2,1
Transporte Urbano	0,1
Avión	0,002
Ferrocarril	54,1
Comercio	54,2
<b>Consumo</b>	<b>115,5</b>
<b>Hogares</b>	<b>102,2</b>
Cocina	14,3
Electrodomésticos	87,9
<b>Servicios</b>	<b>13,3</b>
Restaurante	13,3

“ANÁLISIS DE FLUJO DE ENERGÍA DEL SISTEMA AGROALIMENTARIO ESPAÑOL DESDE UNA PERSPECTIVA DE CICLO DE VIDA.”



**Tabla 15: Energía primaria requerida por cada categoría de alimentos en cada una de las etapas de la cadena de suministro. Valores expresados en petajulios (PJ)**

	AGRICULTURA	INDUSTRIA	DISTRIBUCION	CONSUMO
Cereales	72,39	11,18	51,31	6,10
Verduras	15,56	2,96	3,16	1,62
Tubérculos	3,38	1,35	2,02	0,74
Frutas	20,86	3,50	4,39	1,91
Carne	356,75	132,87	115,22	72,49
Legumbres	0,46	0,14	0,33	0,07
Productos lácteos	38,01	11,42	11,30	6,23
Huevos	108,75	35,48	26,65	19,36
Pescado	33,18	12,89	10,20	7,03
<b>Total</b>	<b>649,35</b>	<b>211,77</b>	<b>224,58</b>	<b>115,54</b>

**Tabla 16: Pérdidas de energía primaria por cada categoría de alimentos en cada una de las etapas de la cadena de suministro. Valores expresados en petajulios (PJ)**

	AGRICULTURA	INDUSTRIA	DISTRIBUCION	CONSUMO	TOTAL
Cereales	5,11	0,36	1,03	1,52	<b>9,82</b>
Verduras	1,41	0,06	0,16	0,31	<b>3,97</b>
Tubérculos	0,31	0,20	0,08	0,13	<b>1,15</b>
Frutas	1,45	0,07	0,23	0,36	<b>4,26</b>
Carne	11,79	8,37	4,61	7,97	<b>52,32</b>
Legumbres	0,03	0,01	0,02	0,01	<b>0,00</b>
Productos lácteos	1,54	0,02	1,02	0,69	<b>0,10</b>
Huevos	4,53	0,18	0,53	1,55	<b>6,35</b>
Pescado	3,44	0,77	0,92	0,77	<b>15,17</b>
<b>Total</b>	<b>29,62</b>	<b>10,03</b>	<b>8,60</b>	<b>13,31</b>	<b>93,15</b>

*“ANÁLISIS DE FLUJO DE ENERGÍA DEL SISTEMA AGROALIMENTARIO ESPAÑOL DESDE UNA PERSPECTIVA DE CICLO DE VIDA.”*

**Tabla 17: Pérdidas de energía nutricional por cada categoría de alimentos en cada una de las etapas de la cadena de suministro. Valores expresados en peticiones (PJ)**

	AGRICULTURA	INDUSTRIA	DISTRIBUCION	CONSUMO	TOTAL
Cereales	2,08	0,38	0,46	5,51	<b>8,43</b>
Verduras	0,11	0,01	0,03	0,10	<b>0,25</b>
Tubérculos	0,06	0,14	0,03	0,09	<b>0,32</b>
Frutas	0,17	0,02	0,06	0,18	<b>0,43</b>
Carne	0,12	0,36	0,25	0,63	<b>1,35</b>
Legumbres	0,01	0,01	0,01	0,02	<b>0,05</b>
Productos lácteos	0,09	0,01	0,30	0,30	<b>0,70</b>
Huevos	0,05	0,01	0,04	0,17	<b>0,27</b>
Pescado	0,11	0,10	0,09	0,10	<b>0,40</b>
<b>Total</b>	<b>2,86</b>	<b>1,17</b>	<b>1,66</b>	<b>7,63</b>	<b>13,31</b>

*“ANÁLISIS DE FLUJO DE ENERGÍA DEL SISTEMA AGROALIMENTARIO ESPAÑOL DESDE UNA PERSPECTIVA DE CICLO DE VIDA.”*

## ANEXO II: Difusión de resultados



### **Energy embedded in the management of food waste and in the production of uneaten food: seeking for a sustainable pathway**

I. García-Herrero<sup>1</sup>, D. Hoehn<sup>1</sup>, Leivas, R<sup>1</sup>, J. Laso<sup>1</sup>, M. Margallo<sup>1</sup>, M. Aguazo<sup>1</sup>, M<sup>a</sup> J. González<sup>1</sup>, M<sup>a</sup> J. Dura<sup>1</sup>, C. Sarabia<sup>1</sup>, R. Abajas<sup>1</sup>, A. Quiñones<sup>1</sup>, A. Irabien<sup>1</sup>, R. Aldaco<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Chemical and Biomolecular Engineering, University of Cantabria, Avda. Delos Castros s/n, 39005, Santander, Spain. e-mail: aldacor@unican.es

A. Bala<sup>2</sup>, P. Fullana<sup>2</sup>

<sup>2</sup>UNESCO Chair in Life Cycle and Climate Change, Escola Superior de Comerç Internacional (ESCI), Universitat Pompeu Fabra (UPF), Passeig Pujades 1, 08003 Barcelona, Spain

Vázquez-Rowe<sup>3</sup>

<sup>3</sup>Pontificia Universidad Católica del Perú, Departamento de Ingeniería, Red Peruana Ciclo de Vida. Avenida Universitaria 1801, San Miguel L0032, Perú. E-mail: garciaahmi@unican.es

According to OECD [1], more than a third of the food produced is lost along the chain, involving around 38% of the energy consumed in its production. This food produced is therefore lost or wasted from initial agricultural production down to final household consumption. According to the European Commission [2], the amount of food waste in the EU was 89 million tonnes in 2006 and reached 100 million tonnes in 2014. Predictions made by the BIO Intelligence Service, for the EC [3] said that the expectations of increase in terms of the amount of food waste are of 126 million tonnes in 2020. Spain has the seventh highest level of food wastage of any EU country with 7.7 million tonnes, which means that the volume of food losses and waste are 175.9 kg/year per capita [4].

---

*“ANÁLISIS DE FLUJO DE ENERGÍA DEL SISTEMA AGROALIMENTARIO ESPAÑOL DESDE UNA PERSPECTIVA DE CICLO DE VIDA.”*

Food waste, leads to a significant environmental impact in terms of inefficient use of natural resources, biodiversity and habitat loss, soil and water degradation, and greenhouse gas emissions [5]. Lost and wasted food represent also economic, nutritional and ethical issues and supposes a missed opportunity to feed the world's growing population [4]. Thus, food loss and waste is directly related to food security, as 795 million people suffer from undernourishment [6] and it is projected that the world population will increase to 9.8 billion by 2050 [7]. Kummu et al. [8] estimated that the nutritional energy lost in the FSC would be enough to feed around 1.9 billion people and that approximately half of the losses in the FSC could be prevented.

In this context, around 30 percent of the world's total energy consumption is due to the food system [9]. In the EU, industrial activities related to food systems require approximately 26 percent of the EU's final energy consumption [10]. The increase in the energy intensity of agriculture has meant an enormous increase in the consumption of fossil fuels, which is seen in all phases of the FSC and it varies depending on the type of product and processing. On average, 10 kcal of fossil fuel are needed to supply one kcal of food to consumer [11]. Due to fossil fuels are limited resources, and societies demand a clean environment, social pressure has been increasing towards the resolution of these problems through the development of energy technologies that lead to sustainable development [12]. The information available in relation to the energy embedded in food production is scarce, thus, a precise accounting of energy consumed (and non-consumed) in food production is extremely challenging for developing strategies to mitigate energy losses. For this, it is essential to take into account that the FSC consists of several successive steps, and each one of them needs energy for its specific processes. Additionally, its amount of energy varies greatly from one product to another. The OECD [1] estimated that the

---

*“ANÁLISIS DE FLUJO DE ENERGÍA DEL SISTEMA AGROALIMENTARIO ESPAÑOL DESDE UNA PERSPECTIVA DE CICLO DE VIDA.”*

amount of lost and wasted food involves around 38% of the energy consumed in its production.

Estimations about the energy use in the FSC are nevertheless often limited to the first stages of the productive chain, without taking into account the energy used in managing food waste after it has been disposed. According to Dou [5], in developed economies, the largest food waste stream occurs in the consumption stage at the end of the food chain including consumer-facing businesses (i.e. supermarkets and restaurants). In accordance with Bernstad and la Cour [13], the most common waste treatment options are landfilling, incineration, anaerobic digestion and composting, being the last two often combined. There are also other options, but in this work, only these will be analysed as they are considered the most important in terms of energy recovery, and the volume of waste that is managed in this way. Through all these routes, energy can be recovered, but the percentages depending on each process and type of food vary considerably. The circular economy package adopted by the European Commission in 2015 is guided by EU waste hierarchy, which ranks waste management options according to their sustainability, gives top priority to preventing and recycling of waste, and places the anaerobic digestion as an always preferable option to incineration [14]. However, the waste hierarchy proposal considers waste as a set without taking into account each type of specific waste or at which points in the FSC they are produced. This work aims to initiate a debate about this approach, considering it as a too general one. For it, first an estimate of the energy resources embedded in the management of food waste will be made through an energy flow analysis performed in two parts: from farmer to plate and from plate to grave, considering food energy losses (FEL) and embodied energy losses (EEL). Moreover, the supply chain efficiency is assessed under a resource efficiency approach, using the energy return on investment (EROI) ratio. Agricultural production, processing and

---

*“ANÁLISIS DE FLUJO DE ENERGÍA DEL SISTEMA AGROALIMENTARIO ESPAÑOL DESDE UNA PERSPECTIVA DE CICLO DE VIDA.”*

packaging, wholesale and retail, consumption and waste management are included within the system boundaries. 48 representative food commodities are assessed and grouped into eleven categories. Finally, this work develops an energetic footprint index (EFI), an indicator focused on evaluating the energy efficiency of the agri-food system from the perspective of the circular economy, which also allows evaluating different management alternatives.

1. OECD. Improving energy efficiency in the Agro-Food chain, OECD Green Growth Studies, OECD Publishing, Paris, 2017.
2. Monforti-Ferrario, F., Dallemand, J.-F., Dallemand, I., Pinedo Pascua, V., Motola, M., Banja, N., Scarlat, H., Medarac, L., Castellazzi, N., Labanca, P., Bertoldi, Banja, M., Scarlat, N., Medarac, H., Castellazzi, L., Labanca, N., Bertoldi, P., Energy use in the EU food sector: State of play and opportunities for improvement. JRC Science and Policy Report. European Commission, 2015.
3. Monier, V., Mudgal S., Escalon, V., O'Connor, C., Gibon, T., Anderson, G., Montoux, H., Preparatory Study on food waste across EU 27. Bio Intelligence Service. European Commission, 2010.
4. Magrama. Spanish Strategy "More food, less waste". Program to reduce food loss and waste and maximize the value of discarded food, 2013.
5. Dou, Z., Toth, J. D., Westendorf, M. L., Food Waste for livestock feeding: Feasibility, safety, and sustainability implications, *Glob Food Sec*, 2017.
6. FAO. The State of Food Insecurity in the World. Meeting the 2015 international hunger targets: takig stock of uneven progress, 2015.
7. United Nations. Population Division. Department of Economic and Social Affairs. Probabilistic Population Projections based on the World Population Prospects: The 2017 Revision, 2017.
8. Kummu, M., De Moel, H., Porkka, M., Siebert, S., Varis, O., Ward, P.J., Lost food, wasted resources: Global food supply chain losses and their impacts on freshwater, cropland, and fertiliser use. *Sci Total Environ*. Vol. 4438, pp 477-489, 2012.
9. FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO Climate-Smart, 2011.
10. European Commission. Commission Staff Working Document. European Research and Innovation for Food and Nutrition Security, 2016.
11. Cuellar, A., Webber, M., Wasted Food, Wasted Energy: the Embedded Energy in Food Waste in the United States, *Environ. Sci. Technol*. Vol. 44, pp 6464-6469, 2010.

---

"ANÁLISIS DE FLUJO DE ENERGÍA DEL SISTEMA AGROALIMENTARIO ESPAÑOL DESDE UNA  
PERSPECTIVA DE CICLO DE VIDA."

12. Tanczuk, M., Skorek, J., Bargiel, P., Energy and economic optimization of the repowering of coal-fired municipal district heating source by a gas turbine, *Energy Convers Manag.* Vol. 149, pp 885–895, 2017.
13. Bernstad, A., La Cour, J., Review of comparative LCAs of food waste managements systems – current status and potential improvements. *Waste Manage.* Vol. 32, pp 2439-2455, 2012.
14. European Commission, Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. The role of waste-to-energy in the circular economy, 2017.