

***CENTRO: ESCUELA TECNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACION. SANTANDER***

**TITULO: OPTIMIZACIÓN MULTIOBJETIVO BASADA EN
DISTANCIAS COMO HERRAMIENTA PARA LA TOMA DE
DECISIONES EN LA MINIMIZACIÓN DE PÉRDIDAS Y
DESPERDICIOS ALIMENTARIOS**

TRABAJO FIN DE MÁSTER (TFM)

**MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERIA QUIMICA
POR LA UNIVERSIDAD DE CANTABRIA Y LA UNIVERSIDAD DEL
PAÍS VASCO/EUSKAL HERRIKO UNIBERTSITATEA**

Alumno: Andrea del Río Doblas

Fecha: 25/09/2020

Firma:



Directores:

Curso Académico: 2019/2020

Ricardo Abejón Elías

Rubén Aldaco García

TÍTULO	OPTIMIZACIÓN MULTIOBJETIVO BASADA EN DISTANCIAS COMO HERRAMIENTA PARA LA TOMA DE DECISIONES EN LA MINIMIZACIÓN DE PÉRDIDAS Y DESPERDICIOS ALIMENTARIOS		
AUTOR	Andrea del Río Doblas		
DIRECTOR/ CODIRECTOR	<i>Ricardo Abejón Elías/ Rubén Aldaco García</i>	FECHA	25/09/2020

PALABRAS CLAVE

Pérdida alimentaria; desperdicio; cadena de suministro agroalimentaria; optimización multiobjetivo; distancias; impacto.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La generación de pérdidas y desperdicios de alimentos supone un problema global de gran magnitud para las políticas mundiales, siendo su reducción una tarea esencial para mejorar la seguridad alimentaria y la nutrición además de potenciar la sostenibilidad ambiental.

Según datos reportados por Naciones Unidas, aproximadamente un tercio de los alimentos producidos terminan en la basura antes de ser consumidos, mientras que cerca de 800 millones de personas en el mundo sufren inseguridad alimentaria (Gustavsson y cols., 2013). De acuerdo con esto y ante una población que va en aumento, resulta indispensable implantar grandes cambios en el sistema alimentario con el objetivo de reducir estas pérdidas en cada una de las etapas de la cadena de suministro agroalimentaria. En este contexto, la creación de modelos de estimación con datos fiables y actuales es fundamental para poder elaborar políticas y estrategias de reducción eficaces, de forma que se obtenga el máximo beneficio tras su aplicación (Cristóbal y cols., 2017).

Este estudio tiene como finalidad aportar un análisis sólido que pueda contribuir a la toma de decisiones en la creación de métodos para minimizar y gestionar las pérdidas y el desperdicio alimentarios a lo largo de la cadena de suministro. Se toma como escenario el territorio español en el año 2017.

La metodología empleada parte de una cuantificación inicial de las PDA para conocer los factores de pérdida económicos y nutricionales por grupos de alimentos. Posteriormente se realiza una optimización multiobjetivo basada en distancias, con el fin de conocer cuáles son las categorías alimentarias que más impacto generan (Abejón y cols., 2020). Finalmente, y para completar el estudio, se realiza una simulación de Montecarlo para analizar la evolución de las distancias por alimentos.

RESULTADOS

En el año 2017 cada español perdió o desperdició un total de 340 kg/per cápita de alimentos aptos para consumo incluyendo todas las etapas de la cadena de suministro.

Esta cantidad podría haber alimentado aproximadamente a 23 millones de personas en situación de necesidad. El 80% del total de PDA generadas se concentran en las etapas de producción agrícola y de consumo, por lo que es importante hacer hincapié en estas etapas a la hora de elaborar estrategias de reducción.

Con el análisis de distancias, se obtiene por un lado que, las frutas, seguido de los cereales y los vegetales, son las categorías alimentarias que más impacto generan en las primeras etapas de producción agrícola, postcosecha y procesado. Por otro lado, son los cereales, los lácteos y la carne los grupos alimentarios que más impactan en la fase de distribución y consumo.

Las categorías alimentarias más eficientes a lo largo de toda la cadena agroalimentaria son las legumbres y los huevos.

CONCLUSIONES

Este estudio aporta un enfoque útil ajustable a diferentes situaciones que prioriza las categorías alimentarias más críticas para posteriormente elaborar estrategias de reducción y mitigación de forma que se puedan conseguir resultados efectivos.

BIBLIOGRAFÍA

Vázquez-Rowe, I., Laso, J., Margallo, M., García, I., Hoehn D., Amo-Setién, F., Bala, A., Abajas, R., Sarabia, C., Durá M.J., Aldaco, R., (2019). Food loss and waste metrics: a proposed nutritional cost footprint linking linear programming and life cycle assessment. *The International Journal of Life Cycle Assessment*.

Cristóbal, J., Castellani, V., Manfredi, S., Sala, S. (2017). Prioritizing and optimizing sustainable measures for food waste prevention and management. *Waste Management*. 72 (2017) 3-16

Abejón, R., Vazquez-Rowe, I., Bala, A., Fullana, P., Margallo, M., Aldaco, R. (2020). Application of the “Distance to target” Approach to the Multiobjective Optimization of nutritional and economic costs due to food loss and waste. 30th European Symposium on computer aided process engineering 24-27, 2020.

TITLE	DISTANCE BASED MULTIOBJECTIVE OPTIMIZATION AS A TOOL FOR DECISION MAKING IN THE MINIMIZATION OF FOOD LOSS AND WASTE		
AUTOR	Andrea del Río Doblas		
DIRECTOR/ CODIRECTOR	<i>Ricardo Abejón Elías/ Rubén Aldaco García</i>	DATE	25/09/2020

KEY WORDS

Food loss; waste; agro-alimentary supply chain; multiobjective optimization; distances; impact.

SCOPE

The generation of food loss and waste implies a global problem of great magnitude for worldwide politics, being its reduction an essential task to improve food security and nutrition apart from enhancing the environmental sustainability.

According to data reported by the United Nations, approximately one third of the food produced ends up in the garbage before being consumed, while about 800 million people in the world suffer from food insecurity (Gustavsson and cols., 2013). In accordance with this, and facing with a population that is increasing, it is indispensable to implement great changes regarding the food system with the purpose of reducing these losses at each stage of the agro-food supply chain. In this context, the creation of estimation models with reliable and current data is fundamental to elaborate effective reduction policies and strategies, so that the maximum benefit is obtained after their application (Cristóbal and cols., 2017).

The aim of this study is to provide a solid analysis which can contribute to the decision-making process in the creation of methods to minimize and handle the alimentary losses and wastes throughout supply chain. The Spanish territory is taken as a scenario in 2017.

The methodology used departs from an initial quantification of PDA to know the factors of the economic and nutritional loss in alimentary groups. Subsequently, a multi-objective optimization based on distance is performed, with the aim of knowing which are the food categories that generate more impact (Abejón and cols., 2020). Finally, and to complete the study, a Montecarlo simulation is carried out in order to analyse the evolution of distances by food.

RESULTS

In 2017, each Spanish lost or wasted a sum of 340kg/per capita of food suitable consumption including all stages of the supply chain. This amount could have fed approximately 23 million people in need situation. 80% of the total PDA generated, are concentrated in the agricultural production and consumption stages, that is why it is important to remark in these stages at the time of developing reduction strategies.

With the analysis of distance, it is obtained, on the one hand, fruits, followed by cereals and vegetables, which are the food categories which generate the most impact in the first stages of the agricultural production, post-harvest and processing. On the other hand, cereals, dairy products and meat are the food groups which have the most impact in the distribution and consumption phase.

The most efficient food categories throughout the whole agro-alimentary chain are legumes and eggs.

CONCLUSIONS

This study provides a useful approach suitable for different situations which prioritises the most critical food categories to subsequently develop reduction and mitigation strategies so that effective results could be achieved.

REFERENCES

Vázquez-Rowe, I., Laso, J., Margallo, M., García, I., Hoehn D., Amo-Setién, F., Bala, A., Abajas, R., Sarabia, C., Durá M.J., Aldaco, R., (2019). Food loss and waste metrics: a proposed nutritional cost footprint linking linear programming and life cycle assessment. *The International Journal of Life Cycle Assessment*.

Cristóbal, J., Castellani, V., Manfredi, S., Sala, S. (2017). Prioritizing and optimizing sustainable measures for food waste prevention and management. *Waste Management*. 72 (2017) 3-16

Abejón, R., Vazquez-Rowe, I., Bala, A., Fullana, P., Margallo, M., Aldaco, R. (2020). Application of the “Distance to target” Approach to the Multiobjective Optimization of nutritional and economic costs due to food loss and waste. 30th European Symposium on computer aided process engineering 24-27, 2020.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 PDA: DEFINICIÓN Y ALCANCE DEL PROBLEMA	1
1.1.1 Terminología empleada	1
1.1.2 Alcance global de la problemática alimentaria	3
1.1.3 Situación en la Unión Europea	6
1.1.4 Situación de España	7
1.2 POLÍTICAS E INICIATIVAS DE REDUCCIÓN DE LAS PDA	8
1.2.1 Actuaciones de la Unión Europea	8
1.2.2 Acciones a nivel nacional	9
1.3 GESTIÓN DE BIORRESIDUOS	10
1.3.1 Situación a nivel estatal	11
1.3.2 Normativa acerca de la gestión de biorresiduos	12
1.3.3 Ciclo general de gestión de biorresiduos enfocado a residuos alimentarios	12
2. OBJETIVOS	15
3. DESARROLLO	16
3.1 METODOLOGÍA	16
3.1.1 Punto de partida	16
3.1.2 Optimización Multiobjetivo	18
3.1.3 Simulación de Montecarlo	19
3.2 RESULTADOS	20
3.2.1 Cuantificación inicial de PDA en diferentes términos	20
3.2.2 Optimización de PDA	21
3.2.3 Simulación de Montecarlo	30
3.2.4 Opciones de mejora para reducir las PDA	32
4. CONCLUSIONS	34
5. NOMENCLATURA	35
6. REFERENCIAS	36
7. ANEXOS	41
ANEXO I. DATOS DE SUMINISTRO ALIMENTARIO EN ESPAÑA	41
ANEXO II. PORCENTAJES DE PÉRDIDA UTILIZADOS	42
ANEXO III. PDA APTAS Y NO APTOS POR CATEGORIA ALIMENTARIA	43

ANEXO IV. PÉRDIDAS Y DESPERDICIOS ECONÓMICOS Y NUTRICIONALES POR CATEGORÍA ALIMENTARIA	44
ANEXO V. DISTANCIAS OBTENIDAS DEL RESTO DE NUTRIENTES	46

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Visión general de la cadena agroalimentaria que sigue un alimento. Elaboración propia	2
Figura 2. Pérdidas y desperdicios alimentarios en el mundo, valores expresados de millones de toneladas. Elaboración propia. Fuente FAO, 2010	4
Figura 3. Distribución de personas que pasan hambre en el mundo. Datos expresados en millones actualizados al 2018	5
Figura 4. Desperdicio alimentario de los Estados Miembro de la UE (en millones de toneladas). Elaboración propia.....	7
Figura 5. Economía circular de los sistemas alimentarios. Elaboración propia	8
Figura 6. Distribución de gestión de residuos alimentos procedente de restaurantes y cocinas (izquierda) y biorresiduos mezclados (derecha). Fuente MITECO 2017	11
Figura 7. Jerarquía de gestión de residuos alimentarios. Elaboración propia.	13
Figura 8. Metodología utilizada para estimar las PDA, en términos de masa, nutricionales y económicos	16
Figura 9. Pérdidas alimentarias totales en términos de masa, económicos y nutricionales generadas en cada etapa de la cadena agroalimentaria	20
Figura 10. kcal perdidas totales en cada etapa. Valores expresados kcal/per cápita y año	21
Figura 11. Factores normalizados de cada categoría alimentaria por clase de nutriente en las tres primeras etapas de la cadena de suministro	22
Figura 12. Factores normalizados de cada categoría alimentaria por clase de nutriente en las etapas de distribución y consumo.....	23
Figura 13. Programa de GAMS creado para calcular las distancias mínimas y máximas	25
Figura 14. PROTEÍNAS: Distancias equivalentes, mínimas y máximas obtenidas. Pérdidas (izquierda) y Desperdicios (derecha)	26
Figura 15. MINERALES: Distancias equivalentes, mínimas y máximas obtenidas. Pérdidas (izquierda) y Desperdicios (derecha)	26
Figura 16. Ejemplo del programa de GAMS creado para obtener distintas mínimas y máximas	28
Figura 17. Simulación de Montecarlo de cada categoría alimentaria en las primeras etapas de la cadena de suministro.	31
Figura 18. Simulación de Montecarlo de cada categoría alimentaria en las dos últimas etapas de la cadena de suministro	32
Figura 19. GRASAS: Distancias equivalente, mínimas y máximas obtenidas. Pérdidas (izquierda) y Desperdicios (derecha)	46

Figura 20. CARBOHIDRATOS: Distancias equivalentes, mínimas y máximas obtenidas. Pérdidas (izquierda) y Desperdicios (derecha)	46
Figura 21. FIBRAS: Distancias equivalentes, mínimas y máximas obtenidas. Pérdidas (izquierda) y Desperdicios (derecha)	47
Figura 22. KCAL: Distancias equivalentes, mínimas y máximas obtenidas. Pérdidas (izquierda) y Desperdicios (derecha)	47

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Categorías alimentarias descritas en el estudio	15
Tabla 2. Composición nutricional de cada categoría alimentaria (por 100 gramos)	17
Tabla 3. Precio en €/kilo de cada una de las categorías alimentarias	18
Tabla 4. Óptimos de Pareto por categoría alimentaria y clase nutricional. Azul: Pérdidas. Naranja: Desperdicios	24
Tabla 5. Factores normalizados y distancias equivalentes obtenidas por cada categoría alimentaria. Datos calculados para las tres primeras etapas de la cadena agroalimentaria.....	29
Tabla 6. Factores normalizados y distancias equivalentes obtenidas por cada categoría alimentaria. Datos calculados para las etapas de distribución y consumo.....	29
Tabla 7. Suministro alimentario en España (x1000 ton). Fuente: FAOSTAT 2017	41
Tabla 8. Porcentaje (%) de pérdida de cada categoría alimentaria por etapa	42
Tabla 9. Pérdidas y desperdicios aptos y no aptos para consumo humano por categoría alimentaria y etapa. Valores expresados por x 1000 ton	43
Tabla 10. Pérdidas económicas y de nutrientes por categoría alimentaria en las primeras etapas de la cadena de suministro.....	44
Tabla 11. Desperdicios económicos y nutricionales por categorías alimentaria en las últimas etapas de distribución y consumo	45

1. INTRODUCCIÓN

Según el *Fondo de Población de las Naciones Unidas*, se estima que, actualmente, hay aproximadamente 7.700 millones de personas en el mundo y se prevé que esta cifra siga aumentando y se alcancen los 10.000 millones en 40 años, lo que se traduce, en un incremento de la demanda de alimentos de un 60% (UNFPA, 2019).

Para afrontar el reto de alimentar a una población creciente, es necesario implantar cambios importantes en el sistema alimentario. Por un lado, en la red de producción de alimentos, la cual debe de ser más sostenible y responsable, y, por otro lado, en la concienciación de los consumidores con el fin de evitar o disminuir en la medida de lo posible las pérdidas y desperdicios alimentarios (PDA).

Sumado a esto, resulta indispensable la creación de políticas y métodos de reducción de los residuos alimentarios para mejorar por un lado la seguridad alimentaria de los millones de personas que actualmente padecen hambre y, por otro lado, para disminuir la huella medioambiental derivada de los sistemas alimentarios.

1.1 PDA: DEFINICIÓN Y ALCANCE DEL PROBLEMA

A continuación, se detalla la terminología empleada en el estudio, además de definir el alcance global de la problemática procedente de los residuos alimentarios y la situación en la que se encuentra España.

1.1.1 Terminología empleada

En el siguiente apartado se explica la diferencia entre pérdida y desperdicio alimentario, dos conceptos que se estudian de forma diferenciada en el trabajo. Además, se analiza la cadena de suministro agroalimentaria que sigue un alimento, detallando cada una de las etapas que sigue.

1.1.1.1 ¿Qué son las pérdidas y el desperdicio alimentario?

A la hora de hablar acerca de los residuos procedentes de los alimentos, resulta de interés conocer la diferencia entre pérdida y desperdicio alimentario. En este estudio se adoptan las definiciones aportadas por la FAO, 2014.

Se entiende por **pérdida alimentaria**: *la disminución en la masa (materia seca) o en el valor nutricional de los alimentos que originalmente estaban destinados al consumo humano*. Por tanto, se consideran pérdidas de alimentos las producidas en las etapas de producción, postcosecha y almacenamiento.

El **desperdicio alimentario** hace referencia a *los alimentos apropiados para el consumo humano que se desechan, ya sea después que se hayan conservado más allá de su fecha de caducidad o se hayan estropeado*. El desperdicio alimentario hace referencia a los residuos generados en las etapas de distribución y consumo.

También cabe mencionar la distinción entre las partes comestibles y no comestibles de los alimentos.

Los alimentos, o **partes comestibles**, se definen como *toda sustancia, ya sea cruda, semiprocada o procesada, destinada al consumo humano*. Este término incluye bebidas, así como las sustancias empleadas en la fabricación, preparación o tratamiento de los alimentos. Las **partes no comestibles**, son los *componentes asociados a los alimentos que no están destino al consumo humano, como, por ejemplo, huesos, cáscaras de huevo, semillas, cortezas, pieles, etc.* Este concepto puede variar en las diferentes culturas o geográficamente.

1.1.1.2 Ciclo de vida de los alimentos

El ciclo que sigue un alimento se puede dividir en cinco grandes etapas mostradas en la Figura 1: Producción agrícola, postcosecha y almacenamiento, procesamiento y envasado, distribución y consumo fuera y dentro de los hogares.



Figura 1. Visión general de la cadena agroalimentaria que sigue un alimento. Elaboración propia

La primera etapa de **producción agrícola** abarca actividades de cultivo de alimentos de origen vegetal, el cuidado y alimentación de animales y la pesca marina. Las pérdidas generadas en esta etapa son resultado de la baja rentabilidad del sector y el menosprecio que hay en las cosechas debido al escaso valor que tienen (Mapama, 2014a). La sobreproducción por parte de muchos agricultores que no tienen en cuenta la demanda y la variabilidad de los mercados provoca que muchos alimentos sean desechados a pesar de ser aptos para el consumo humano. Los altos estándares de calidad estipulados por los distintos comercios, el uso de maquinaria y herramientas deficientes, además de otras causas que no se pueden controlar como las condiciones climatológicas o las plagas son las principales causas de estas pérdidas. En cuanto a la producción ganadera y la pesca, las pérdidas se deben principalmente a la muerte de ganado porcino, bovino o avícola o la captura de peces muertos o dañados (Cleva, 2017).

La segunda etapa de **manejo, postcosecha y almacenamiento** incluye diferentes tareas, como la manipulación de las cosechas, la distribución a almacenes, la refrigeración, etc. En esta etapa la gran parte de las pérdidas son debidas al deterioro de los productos durante las actividades de manejo, el transporte o la falta de frío de los alimentos.

El **procesado y envasado** de alimentos es la tercera de etapa de la cadena que aborda la transformación de alimentos crudos en aptos para consumir. El descarte de alimentos por estética, las labores de lavado o pelado, el mal empaquetado de los productos, así

como, los procesos de transformación de la carne, la leche, etc., son los causantes de la mayoría de las pérdidas en esta fase (Mapama, 2014b).

En estas tres primeras etapas de la cadena de suministro se va a utilizar el término pérdida alimentaria mencionado anteriormente. El desperdicio alimentario hace alusión a las pérdidas generadas en las dos últimas etapas.

La **distribución** de los alimentos antes de que lleguen al consumidor sería la cuarta etapa. Los desperdicios se deben a caídas o golpes de los productos, errores en las cadenas de frío de los mercados, la retirada de productos con fecha próximas a la caducidad, etc.

La última etapa sería el **consumo** de los alimentos, que se divide en consumo dentro de los hogares y el consumo en servicios de restauración o puntos de venta. La mala planificación de las compras, la confusión entre la fecha de “consumo preferente” y “la caducidad”, el mal almacenamiento y conservación de los alimentos, el desconocimiento de demanda por parte de los restaurantes, la preparación excesiva de comida, las deficiencias en las cadenas de frío, etc. son algunas de las causas que generan estos desperdicios (Mapama, 2018).

1.1.2 Alcance global de la problemática alimentaria

La generación de residuos alimentarios es uno de los problemas que más preocupación genera a nivel global, ya que, según un estudio de la FAO, se estima que el mundo pierde o desperdicia alrededor de 1.300 millones de toneladas al año de alimentos preparados para consumo humano (Gustavsson y cols., 2013).

En la Figura 2 se muestra la cantidad de alimentos perdidos que se generan en cada continente, diferenciando por un lado las pérdidas producidas en las primeras etapas de la cadena de suministro y, por otro lado, los desperdicios generados en las etapas finales de distribución y consumo. Como se puede observar, la distribución de pérdidas a lo largo de la cadena cambia si se comparan los continentes de ingresos altos/medios con los continentes de ingresos bajos.

En los países de ingresos bajos (África, América Latina y Asia meridional), las pérdidas alimentarias se generan principalmente en las primeras etapas, lo que refleja las limitaciones técnicas, de transporte y almacenaje que hay en estos países. En cambio, en los países de ingresos altos/medios (Europa, América del Norte y Asia industrializada), destacan los desperdicios generados en la fase de consumo.

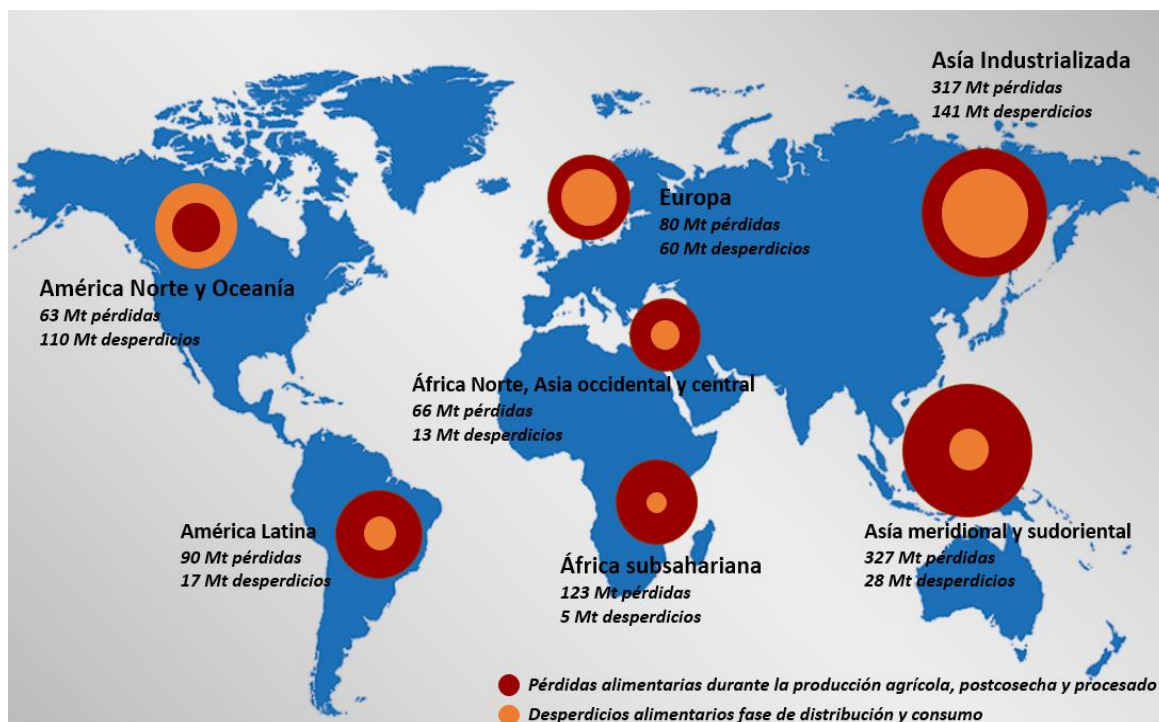


Figura 2. Pérdidas y desperdicios alimentarios en el mundo, valores expresados de millones de toneladas. Elaboración propia. Fuente FAO, 2010

Esta cantidad de pérdidas genera un gran impacto sobre la sostenibilidad de los sistemas alimentarios en términos sociales, económicos y medioambientales.

1.1.2.1 Seguridad alimentaria y nutrición

El concepto de “Seguridad alimentaria y nutricional (SAN)” se entiende como: *la seguridad de que todas las personas tengan acceso físico, social y económico permanente a alimentos seguros, nutritivos y en cantidad suficiente para satisfacer sus requerimientos nutricionales y preferencias alimentarias, y así poder llevar una vida activa y saludable*, definición señalada por la FAO (FAO, 2014). Este concepto se basa en cuatro pilares esenciales:

1. La disponibilidad física de los alimentos para todo el mundo.
2. Un acceso seguro desde el punto de vista económico.
3. Alimentos suficientes, inocuos y nutritivos para mantener una vida sana.
4. Tener la garantía de una estabilidad que perdure en el tiempo.

La existencia de pérdidas y desperdicios alimentarios (PDA) provoca un desequilibrio en estos pilares que afecta de forma diferenciada a los países en vías de desarrollo y países desarrollados. En la Figura 3 se muestra la proporción de la población mundial que vive con inseguridad alimentaria: 821,6 millones de personas, de las cuales más del 90% viven en Asia y África (FAO, 2019).



Figura 3. Distribución de personas que pasan hambre en el mundo. Datos expresados en millones actualizados al 2018

Este problema tiene una conexión clara, aunque no directa con el desperdicio alimentario ya que, solamente con reducirlo a la mitad permitiría alimentar a las personas que viven por debajo del umbral de la pobreza.

1.1.2.2 Pérdidas económicas

Existen pocas publicaciones acerca de la cuantificación económica derivada de las PDA, no obstante, varias organizaciones están trabajando activamente en estudios para contabilizar esta pérdida. En el 2014, la FAO presentó un análisis preliminar que situaba aproximadamente el coste directo en 1 billón de USD al año, sin incluir el gasto social y ambiental que la FAO estima en 900.000 millones de USD y 700.000 millones de USD respectivamente (FAO, 2014).

Este impacto económico afecta de forma diferente a agricultores, fabricantes o consumidores según la posición que ocupen dentro del sistema alimentario. Algunos estudios mencionan el hecho de que las pérdidas y desperdicios alimentarios contribuyen a un incremento de la demanda, lo que se traduce en un aumento de los precios (HLPE, 2011). Por tanto, en función del poder adquisitivo, la capacidad de coordinación en la cadena de producción o la competitividad de mercado, algunos agentes sufren las repercusiones más que otros. No obstante, normalmente es el consumidor el que termina pagando las consecuencias.

1.1.2.3 Repercusiones medioambientales

En términos medioambientales, la gran cantidad de alimentos perdidos conlleva el malgasto de energía y recursos naturales, como el agua, la tierra o los nutrientes, etc., además de la generación de gases efecto invernadero (Hoehn y cols., 2019). Como consecuencia se provocan daños en la biodiversidad, aumento de la deforestación, destrucción de la flora y fauna, disminución de la población marina o la degradación del suelo, entre otras cosas.

Según la FAO, la huella hídrica mundial para la producción agrícola alcanzó los 250 km³ debido al despilfarro de los alimentos, principalmente de frutas, cereales y carne (FAO, 2013b). Esta última categoría genera una huella hídrica mayor por tonelada de producto que los cultivos, debido a la alimentación de los animales, lo que hace que sea un alimento “menos rentable” en términos medioambientales. Existen diversos estudios que contabilizan la huella hídrica en España, especialmente el consumo de agua en la agricultura. A nivel nacional, cerca de 2.100 hectómetros cúbicos de agua son desperdiciados, o lo que es lo mismo, 130 litros por persona y día (AECOC, 2019).

En cuanto al uso de la tierra, la FAO informa que aproximadamente 1.400 millones de hectáreas de tierra son utilizadas para el cultivo de alimentos que finalmente no se consumen, lo que representa alrededor del 30% de la superficie agrícola mundial (FAO, 2014). Como consecuencia de esto, la fertilidad de suelo se ve afectada, lo que obliga a la utilización de productos sintéticos. Un estudio realizado por MGI (Dobbs y cols., 2011) señala que si se reduce el desperdicio alimentario en los países desarrollados en un 30% se ahorrarían 40 millones de hectáreas de tierra destinada al cultivo. Estimar el impacto en la biodiversidad puede resultar complicado, pero la sobreexplotación de tierras, la deforestación de bosques y la explotación de los océanos afectan negativamente y ponen en peligro a distintas especies animales.

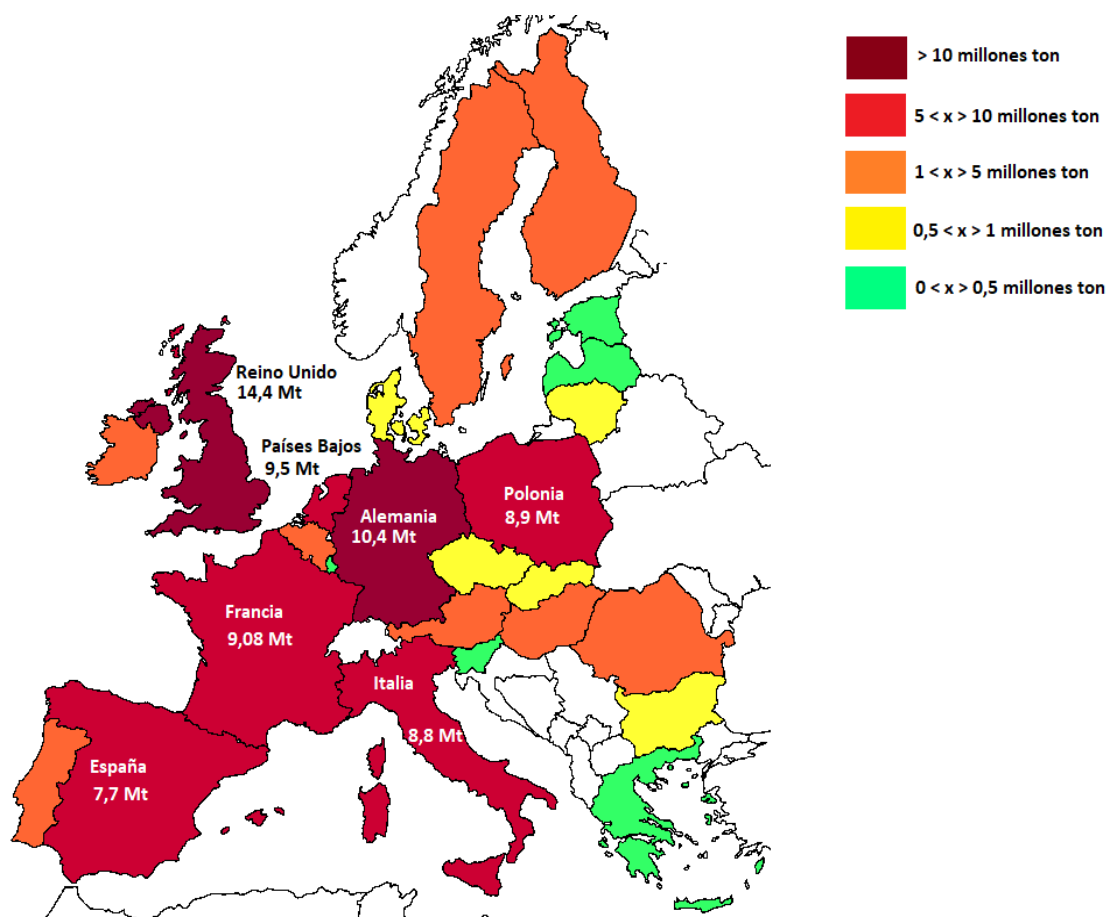
Las pérdidas alimentarias también afectan al cambio climático contribuyendo a la generación de gases efecto invernadero. Según la ONU, el 10% del total de emisiones de CO₂ a la atmosfera es generado a causa de este desperdicio. La energía utilizada para producir los alimentos también genera emisiones contaminantes. Aproximadamente el 30% de la energía disponible en el mundo, es consumida por el sistema alimentario y dentro de ese porcentaje, el 70% se gasta únicamente en el transporte, procesamiento, embalaje y almacenamiento de los alimentos (FAO, 2013a).

1.1.3 Situación en la Unión Europea

La problemática derivada del desperdicio alimentario preocupa en gran medida a la Unión Europea. Un estudio estimó que se pierde aproximadamente el 20% de toda la comida que se produce, lo que equivale a 88 millones de toneladas perdidas al año, o lo que es lo mismo, 179 kg/per cápita. Esto traducido a términos monetarios, supone un coste 143.000 millones de euros (Bio, 2010).

La etapa que más contribuye al desperdicio alimentario es la de consumo, responsable del 42% de pérdidas generadas en los hogares y del 14% por parte de los servicios de restauración. Le sigue la etapa de producción y fabricación generando el 39% del total y por último la etapa de distribución con un 5% (FUSIONS, 2016b).

En la Figura 4, se muestra los rangos de desperdicio de alimentos en millones de toneladas en los que se mueve cada país de la Unión Europea, ocupando la primera posición Reino Unido y Alemania (Bio,2010).



**Figura 4. Desperdicio alimentario de los Estados Miembro de la UE (en millones de toneladas).
Elaboración propia.**

1.1.4 Situación de España

Según el estudio anteriormente mencionado elaborado por Bio Intelligence Service, España es el séptimo país de la Unión Europea que más comida desperdicia, alcanzando una cifra de aproximadamente 7,7 Mt al año (Bio, 2010).

Con el fin de conocer un poco más la situación en la que se encuentra España con respecto a la generación de los residuos alimentarios en la fase final de consumo, varias iniciativas privadas han realizado estudios.

En el 2011, se realizó el estudio SAVE FOOD, centrado en el consumo dentro de los hogares. En él se determina que los españoles desperdician alrededor de 3 millones de toneladas de alimentarios anualmente, de los cuales, el 30% sería comida empaquetada tirada antes de ser abierta y el 50% aproximadamente lo constituyen alimentos perecederos, como frutas y verduras, seguido de sobras (SAVE FOOD, 2011). En el 2012, se realizó el segundo estudio de SAVE FOOD, esta vez centrado en algunas regiones españolas, obteniendo los siguientes datos relevantes: sitúa a Andalucía como la comunidad autónoma que más desperdicios alimentarios genera (un 10% del total), seguido de Madrid (8%) y el País Vasco (7,7%).

Un año más tarde, en 2013, HISPACOO, realizó una serie de encuestas con la finalidad de conocer qué tipo de alimentos se desechan y cuáles son los motivos. El estudio

concluyó que los alimentos que más se desechan en los hogares españoles son el pan y los cereales (19,3%), seguido de la fruta y verduras (16,9%) y los productos lácteos (13,3%), siendo el principal motivo de desperdicio las sobras y el deterioro debido a la mala conservación de los alimentos (HISPACCOOP, 2012).

En cuanto a la etapa de distribución de alimentos, la Comisión Europea estimó que España desperdicia más de 1,2 millones de toneladas, bien por el elevado tiempo transcurrido entre su producción y la exposición en tiendas o por la forma en que se trata el producto.

1.2 POLÍTICAS E INICIATIVAS DE REDUCCIÓN DE LAS PDA

En este apartado se describen las principales acciones a nivel político e iniciativas que se están implementando en lo referente a las pérdidas y el desperdicio alimentario. En primer lugar, se buscará información a nivel europeo y después se centrará la atención a nivel nacional.

1.2.1 Actuaciones de la Unión Europea

Con el objetivo de reducir la gran cantidad de alimentos perdidos en Europa, la Comisión Europea y el Parlamento están liderando a los Estados miembros hacia una economía circular y de residuos cero (Figura 5), donde muchos países están comenzando a tomar acciones con el fin de evitar o disminuir en la medida de lo posible este desperdicio alimentario (Comisión Europea, 2015).

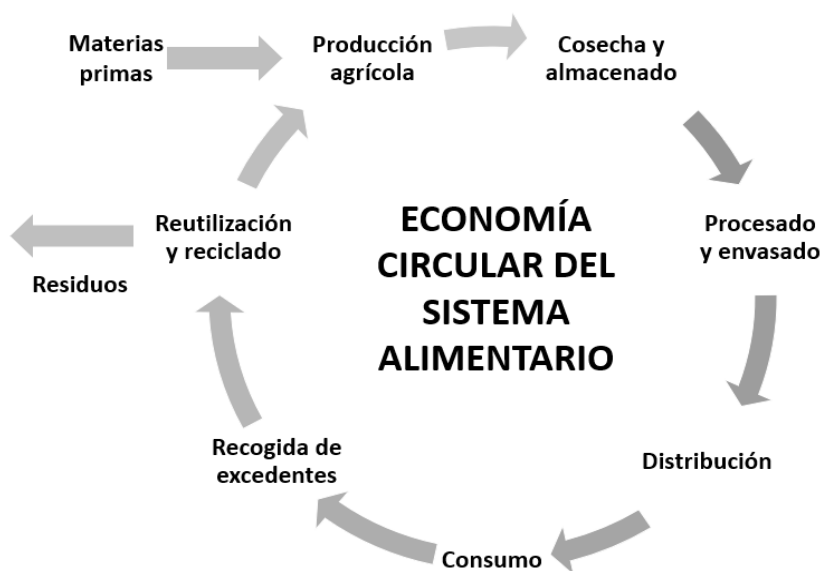


Figura 5. Economía circular de los sistemas alimentarios. Elaboración propia

Las políticas de reducción de las PDA suelen estar incluidas en estrategias más amplias orientadas a la producción y el consumo sostenibles, a la eficiencia de los recursos y la mejora de los sistemas alimentarios.

En el 2011, el Parlamento Europeo adoptó la Resolución *“Cómo evitar el desperdicio de alimentos: estrategias para mejorar la eficacia de la cadena alimentaria en la UE”*, con una meta: conseguir reducir el desperdicio alimentario a la mitad antes del 2025, además de prevenir la generación de biorresiduos y de mejorar el acceso alimentario a las personas con dificultades en la UE (Parlamento Europeo, 2011).

Cuatro años después, en 2015, la Comisión Europea presentó un plan de acción para una economía circular que destaca que la prevención del desperdicio de alimentos es prioritaria y anima a los Estados miembros a incluir políticas y objetivos que permitan reducir los desperdicios en cada fase de la cadena agroalimentaria (Comisión Europea, 2015). Este es el caso de Francia, Italia y Alemania, países pioneros europeos en adoptar legislación específica para promover y facilitar la implementación de acciones preventivas y de cooperación. Cabe destacar, que, ese mismo año, la asamblea general de las Naciones Unidas aprobó los Objetivos de Desarrollo Sostenible para 2030, incluyendo el objetivo de reducir al 50% las PDA a lo largo de toda cadena de suministro alimentaria (UNDP, 2015). La UE y sus Estados miembros se han comprometido a conseguir ese objetivo y para ello se pusieron en marcha numerosas iniciativas y proyectos a distintos niveles.

Para impulsar una mayor acción entre los Estados Miembros, se creó EU FUSIONS, una plataforma que reúne a empresas, universidades e institutos con el objetivo de ampliar conocimientos con respecto a las PDA y proporcionar recomendaciones y directrices en un marco común de la política europea de residuos alimentarios a través de potentes iniciativas y legislación (FUSIONS, 2016a).

En el 2015 se inició un proyecto financiado por la UE Horizonte 2020 llamado “REFRESH”, contando con 12 países europeos y China (REFRESH, 2015). Tiene como objetivo cumplir la meta 12.3 del Objetivo nº 12 de Desarrollo Sostenible implantado por la ONU mediante el desarrollo de estrategias de reducción de pérdidas, diseñando tecnologías innovadoras para mejorar la valoración del desperdicio alimentario, formulando recomendaciones de políticas, etc.

1.2.2 Acciones a nivel nacional

España también cuenta con varias iniciativas que luchan por reducir los residuos alimentarios.

En el año 2012, la Asociación de fabricantes y distribuidores (AECOC, 2012), lanzó una iniciativa de colaboración para reducir el desperdicio alimentario *“La Alimentación no tiene desperdicio”*, con tres objetivos principales:

- Crear prácticas de prevención y eficiencia a través de toda la cadena agroalimentaria.
- Maximizar el aprovechamiento del excedente producido utilizando la regla de las 3R, redistribuir, reutilizar y reciclar.
- Sensibilizar y concienciar a la sociedad sobre este problema y la importancia de actuar.

Un año más tarde, se creó la campaña “Más alimento, menos desperdicio”, una iniciativa impulsada por el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación de España que pone especial énfasis en la responsabilidad del consumidor (Mapama, 2013). Esta plataforma ha trabajado en diferentes estudios, en el 2014 puso en marcha el Panel de cuantificación del desperdicio alimentario en los hogares, un sistema de medición estable que permite conocer el valor de los residuos generados en los hogares (Mapama, 2018). También se puso en marcha la web menosdesperdicio.es orientada a la difusión de un comportamiento ético y respetuoso con la sociedad y el medioambiente. Además, trabaja de forma activa en la creación de material divulgativo, en campañas con el desperdicio, en la elaboración de guías prácticas dirigidas al consumidor, el comercio, la restauración, etc.

En el ámbito legislativo, España a día de hoy, aun no cuenta con una ley a nivel estatal que regule el desperdicio alimentario. A nivel autonómico, sólo las Islas Baleares, Cataluña y Galicia cuentan con normativas de este tipo.

En el caso de las Islas Baleares, aprobaron una ley de reducción de residuos en el 2019 (BOE, 2019), que incluye un código de buenas prácticas y que prohíbe la eliminación de alimentos en buen estado por parte de comercios y puntos de venta.

En la comunidad gallega actualmente se está tramitando una nueva ley contra los residuos y los suelos contaminados, que se espera que entre en vigor en pocos meses. Entre otras medidas, se destaca la obligación que tienen los servicios de restauración de entregar al consumidor las raciones sobrantes de comida no consumida (Xunta, 2020).

Cabe destacar que este mismo año, 2020, se ha aprobado en Cataluña la primera ley en España que regula y sanciona el despilfarro alimentario en toda la cadena agroalimentaria (BOE, 2020a). Entre otras cosas, las empresas, entidades de iniciativa social y otras organizaciones sin ánimo de lucro que se dediquen a la distribución de alimentos, estarán obligadas a:

- Disponer de un Plan de Prevención de las PDA
- Medir e informar anualmente sobre los niveles de generación de pérdidas y desperdicios alimentarios.
- Aplicar la jerarquía de gestión de residuos alimentarios.

1.3 GESTIÓN DE BIORRESIDUOS

Prevenir la generación de biorresiduos es una tarea prioritaria en el planeta, pero una vez que son generados, la recogida separada de los residuos orgánicos es un requisito indispensable para su correcto reciclaje, que, junto con una mejora general de la gestión de estos residuos, aportará grandes beneficios sociales, ambientales y económicos.

A continuación, se realiza un breve análisis sobre la gestión de biorresiduos en España, datos encontrados y sistemas de gestión empleados, además de la normativa vigente con respecto a este tema.

1.3.1 Situación a nivel estatal

De acuerdo con la Ley 22/2011, el término “Biorresiduo” hace referencia a los *residuos biodegradables de jardines o parques, residuos alimenticios y de cocina procedentes de hogares, restaurantes, servicio de restauración colectiva y establecimientos de venta al por menor; así como, residuos comparables procedentes de plantas de procesado de alimentos* (BOE, 2011).

Según datos procedentes del *Ministerio para la Transición Ecológica*, en el 2017 la tasa de generación de biorresiduos alcanzó los 20,5 millones de toneladas, de los cuales entorno al 45% corresponde a residuos orgánicos alimentarios (MITECO, 2017). Pero, conocer los porcentajes de gestión utilizados exclusivamente para tratar los residuos alimentarios resulta complicado, ya que, casi el 80% de los biorresiduos generados hace referencia a la recogida mezclada de alimentos, papel, vidrio, plástico, etc., y, únicamente el 3% del total corresponde a la recogida separada de residuos alimentarios. En la Figura 6, se muestra la distribución de métodos de gestión empleados para tratar los residuos alimentarios correspondientes al 3% (izquierda) y los residuos mezclados (derecha).

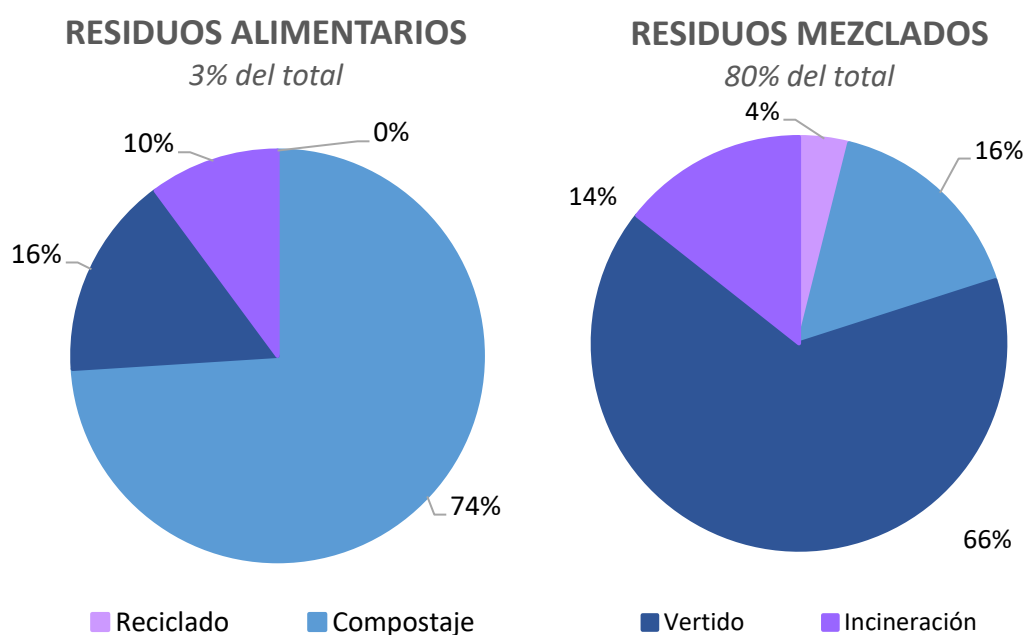


Figura 6. Distribución de gestión de residuos alimentos procedente de restaurantes y cocinas (izquierda) y biorresiduos mezclados (derecha). Fuente MITECO 2017

Como se visualiza en la gráfica referente a los residuos alimentarios, en España predomina el compostaje como método de gestión, alcanzando un 74% del total, seguido de la deposición en vertederos. A pesar de que esto es algo positivo, únicamente representa al 3% de los residuos alimentarios recogidos de forma separada, siendo la mayor parte de ellos gestionados como residuos mezclados (gráfico derecho), de los cuales el 66% termina en vertederos.

1.3.2 Normativa acerca de la gestión de biorresiduos

A continuación, se nombran los principales documentos normativos y de planificación relacionados con la gestión de los biorresiduos en el ámbito estatal.

A nivel europeo, cabe destacar la *Directiva 2018/851*, que modifica la importante Directiva 2008/98/CE acerca de los residuos generados. Esta presenta como principal objetivo la recogida separada de biorresiduos para su posterior compostaje siguiendo un enfoque de economía circular.

A nivel estatal, y en relación con las regulaciones relacionadas con la generación y gestión de biorresiduos, se dispone de la normativa básica sobre residuos establecida por la *Ley 22/2011 de residuos y suelos contaminados y el Plan Nacional Integral de Residuos 2008-2015 (BOE, 2011)*. La Ley 22/2011 impulsa la necesidad general de aplicar la jerarquía de gestión de residuos en el desarrollo de políticas de prevención y gestión de residuos, basándose en la Directiva Europea, mientras que el Plan Nacional, se centra en la gestión de residuos específicos de origen domiciliario.

También cabe mencionar que este año se publicó *Real Decreto 646/2020* que sustituye al Real Decreto 1481/2001, acerca de la eliminación de residuos en vertederos (BOE, 2020b). Este Real Decreto tiene como objetivo establecer un marco jurídico para la regulación de las técnicas de eliminación de residuos mediante depósito en vertedero conforme con el Ley de Residuos, los principios de economía circular y el cumplimiento con la jerarquía de residuos.

1.3.3 Ciclo general de gestión de biorresiduos enfocado a residuos alimentarios

El ciclo de gestión de biorresiduos sigue los objetivos básicos implantados por la política vigente de residuos de la UE, apostando por la prevención, la reutilización y el reciclado antes que la eliminación final de los desechos.

La jerarquía de gestión enfocada a este tipo de residuos se basa en líneas generales en la siguiente pirámide mostrada en la Figura 7, la cual servirá en orden de prioridades en la legislación y la política sobre la prevención y la gestión de los residuos. Cada nivel está enfocado en diferentes estrategias de manejo de los residuos, siendo los niveles más altos las mejores opciones para prevenir y utilizar los alimentos desperdiciados, además de ser los que más beneficios aportan para el medioambiente, la economía y la sociedad (Cristobal y cols., 2017).

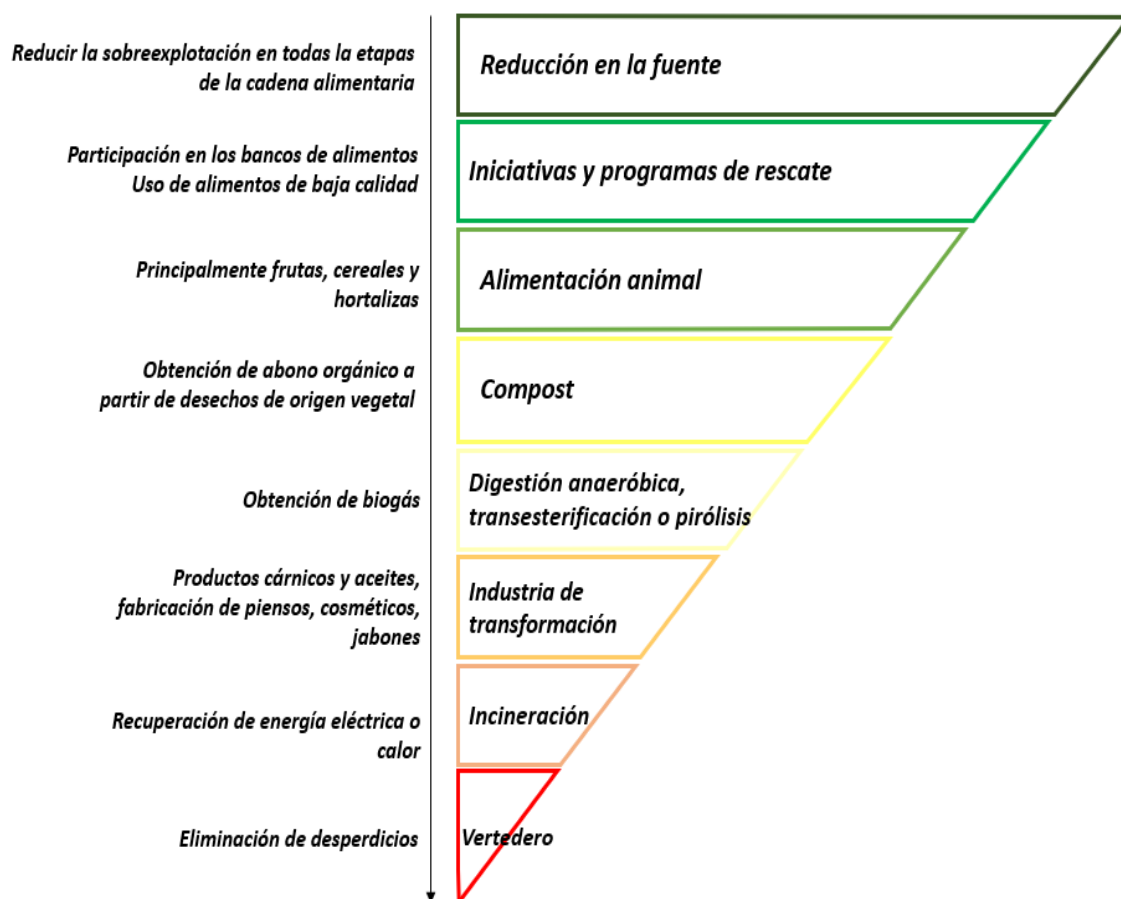


Figura 7. Jerarquía de gestión de residuos alimentarios. Elaboración propia.

El paso prioritario es evitar en la medida de lo posible la **sobreproducción alimentaria** en cada una de las etapas de la cadena de suministro agroalimentaria. A nivel individual, se puede contribuir a la reducción de desperdicios cambiando algunos hábitos, como elaborar la lista de la compra antes de acudir al mercado, conocer la diferencia entre *consumir preferentemente* y *fecha de caducidad*, almacenar los alimentos adecuadamente, controlar las raciones, etc. Si se reduce el volumen de excedentes generados, se consiguen varios beneficios como, la reducción de emisiones de metano de los vertederos, la disminución de la contaminación y el ahorro de energía asociada con el cultivo, la preparación y el transporte de los alimentos.

La segunda etapa de la pirámide es la **redistribución de los alimentos extra** entre personas necesitadas a través de los bancos de alimentos, comedores sociales y los refugios. En el 2015, se creó una iniciativa, “Frutas y Verduras sin Gloria”, con el objetivo de vender a un bajo precio las frutas y verduras aptas para consumo pero que son desechadas por los altos estándares de calidad existentes (Plazzotta y cols., 2017).

Cuando el alimento ya no es apto para el consumo humano, la primera etapa de la jerarquía que se puede aplicar es **destinar los alimentos a los animales**. Esta opción la han estado aplicando los agricultores durante siglos ya que es una forma de ahorrar dinero y evitar el uso de los vertederos, lo que favorece a reducir la contaminación.

Estas tres primeras opciones constituyen las distintas actividades de prevención que existen. Las etapas que se explican de aquí en adelante son operaciones para el tratamiento de los residuos ya generados.

El **compostaje** es la cuarta opción en la pirámide de gestión. Se trata de un proceso sencillo para generar abono orgánico y poder así alimentar y nutrir el suelo. El compost se crea a partir de la combinación de diferentes residuos orgánicos, restos de fruta, hortalizas, hierba, etc., en unas determinadas condiciones de temperatura y humedad (Kosseva, 2011). El empleo del compostaje como forma de reciclado, disminuye las emisiones contaminantes, aumenta el rendimiento de los cultivos, reduce la necesidad de fertilizantes sintéticos, entre otros beneficios.

La quinta etapa incluye diferentes acciones para valorizar los residuos alimentarios mediante procesos de tratamiento industrial, como la aplicación de métodos para obtener biocombustibles o la fabricación nuevos productos. La **digestión anaeróbica** es un proceso de valoración que se incluye en esta etapa en el que los microorganismos descomponen los materiales orgánicos en ausencia de oxígeno, generando energía en forma de biogás (Mirabella y cols., 2014). Este proceso se utiliza principalmente cuando los residuos son de origen vegetal. La **transesterificación** o la **pirolisis** son otros métodos de obtención de biocombustibles a partir de aceites y grasas. Como resultado, se obtienen biocombustibles alternativos más amigables con el medioambiente que los tradicionales. El rendering es otro método de reciclado (EPA, 2017), que convierte los desechos cárnicos o de pescado en sustancias aptas para la alimentación animal (piensos) o para la fabricación de cosméticos y jabones.

La siguiente etapa de valorización de los residuos es a través de la **incineración** en condiciones controladas con el fin de recuperar y aprovechar la energía generada en forma de electricidad y de calor. Este método de valorización se utiliza en muchos países como es el caso de Suecia, que dota de electricidad y agua caliente a 250.000 hogares anualmente (Serrano, 2014).

Como última etapa y menos deseada esta la eliminación de los residuos alimentarios en **vertederos**.

2. OBJETIVOS

Este estudio tiene como principal objetivo aportar un análisis sólido que pueda contribuir a la toma de decisiones en la creación de estrategias para minimizar las pérdidas y el desperdicio alimentario a lo largo de la cadena de suministro agroalimentaria. Se toma como unidad funcional el territorio español en el año 2017.

Las etapas que se han incluido en la investigación son: producción agrícola, manejo-postcosecha y almacenado, procesado y empaquetado, distribución, consumo en el hogar y consumo fuera del hogar. Los distintos alimentos se han englobado en once categorías mostradas en la Tabla 1.

Tabla 1. Categorías alimentarias descritas en el estudio

CATEGORÍA	ALIMENTOS
CEREALES	Trigo, quinoa, avena, centeno arroz, etc.
RAÍCES Y TUBÉRCULOS	Patata, cebolla, zanahoria, remolacha, ajo, etc.
AZÚCAR	Azúcar blanco, caramelo, chocolate con leche, miel, etc.
ACEITES VEGETALES	Aceite de girasol, de oliva, de palma, etc.
VEGETALES	Berenjena, calabacín, lechuga, pepino, pimiento, etc.
FRUTA	Aguacate, fresa, naranja, plátano, manzana, etc.
LEGUMBRES	Alubias, garbanzos, lentejas, soja, etc.
CARNE	Cerdo, pollo, ternera, cordero, pavo, etc.
PESCADOS	Atún, bacalao, gambas, rodaballo, calamar, etc.
HUEVOS	-

La metodología empleada toma como punto de partida la cuantificación de las PDA aplicando un análisis de flujo de materiales basado en un estudio previo. Posteriormente, estas PDA se traducen a pérdidas nutricionales y económicas (Vázquez-Rowe y cols., 2019).

Con el fin de obtener un indicador que englobe en un único valor el impacto económico y nutricional de cada categoría, se opta por la Optimización Multiobjetivo basada en distancias como una herramienta útil para asistir a la toma de decisiones acerca de la generación de residuos. Esta herramienta se aplica dando factores de peso puntuales, por ello, con el objetivo de que el estudio sea útil a la hora de proporcionar pautas prácticas y efectivas, se realiza una última simulación de Montecarlo para tener una idea clara sobre la influencia de los factores de peso.

3. DESARROLLO

3.1 METODOLOGÍA

A continuación, se muestra la metodología empleada en el estudio para la obtención de indicadores que servirán posteriormente para formular políticas futuras de mitigación y reducción de las PDA.

3.1.1 Punto de partida

Este trabajo toma como punto de partida una metodología utilizada en un estudio anterior (García y cols., 2018). En la Figura 8, se muestra de forma resumida la metodología en cuestión, mediante la cual, se estiman las pérdidas y desperdicios alimentarios en cada una de las etapas de la cadena de suministro, tanto en términos de masa, nutricionales y económicos.

La metodología empleada aplica un enfoque para la elaboración de balances alimentarios descrito por la FAO (2001).

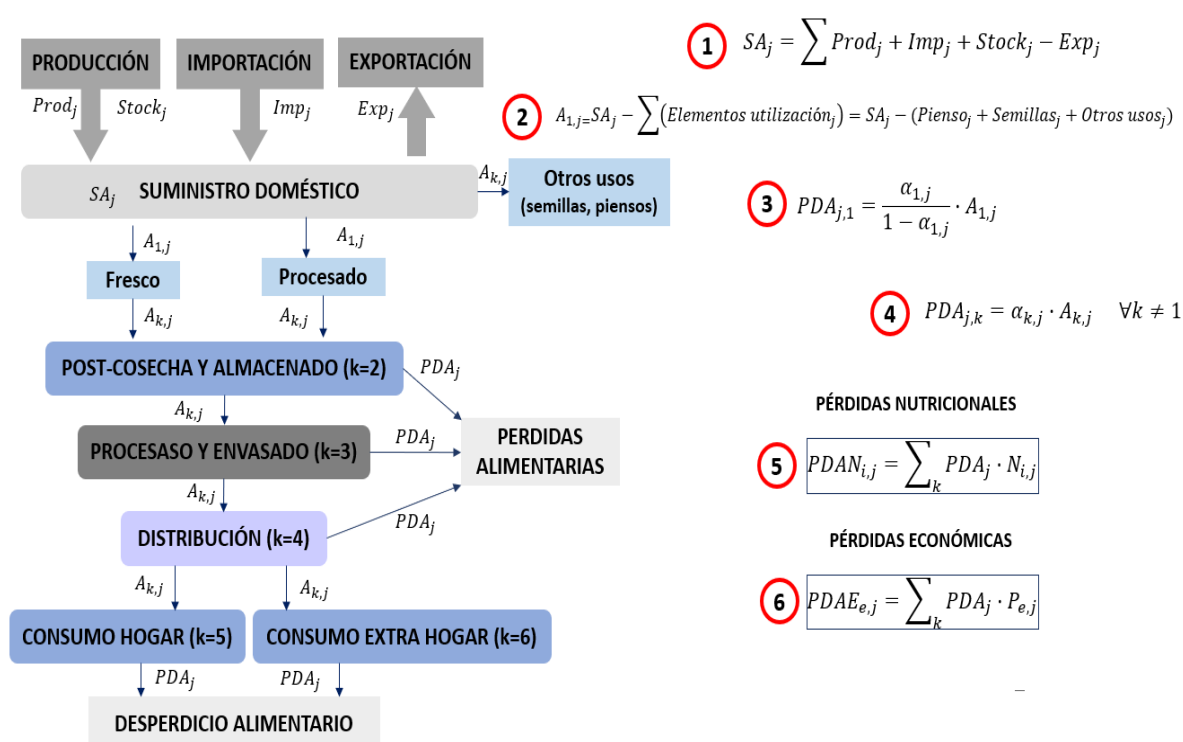


Figura 8. Metodología utilizada para estimar las PDA, en términos de masa, nutricionales y económicos

En primer lugar, se realiza un análisis de flujo de materiales con el fin de cuantificar la cantidad de PDA que se producen en cada etapa de la cadena de suministro k , siendo cada una de ellas: ($k=1$ Agricultura; $k=2$ Post-cosecha y Almacenamiento; $k=3$ Procesamiento y Envasado; $k=4$ Distribución; $k=5$ Consumo en el Hogar y $k=6$ Consumo fuera del Hogar).

Conociendo los datos de las entradas y las salidas de cada grupo de alimentos j , los cuales son: ($j=1$, cereales; $j=2$, Raíces y tubérculos; $j=3$, Azúcar; $j=4$, Aceites vegetales; $j=5$, Vegetales; $j=6$, Frutas; $j=7$, Legumbres; $j=8$, Carne; $j=9$, Pescados y productos del mar; $j=10$, Leche y derivados; $j=11$, Huevos), se puede calcular el suministro total de alimentos de un determinado país (SA_j), aplicando la Ecuación 1. Donde $Prod_j$, se refiere a la producción de alimentos que hay en un país y categoría alimentaria determinados; $Stock_j$, hace referencia a la disponibilidad de ese alimento y Imp_j y Exp_j , son los valores de Importación y Exportación anuales de ese alimento. Estas cifras se toman de la base de datos FAOSTAT (2017) y se pueden contemplar en la Tabla 7 del Anexo I.

Con la Ecuación 2, se calcula la cantidad de alimentos apta para el consumo humano en la primera etapa de la cadena agroalimentaria $k=1$, restando al suministro alimentario los elementos de utilización (Piensos, Semillas y otros usos con fines no alimentarios). Los datos también son obtenidos en FAOSTAT.

A continuación, aplicando las Ecuaciones 3 y 4, se estiman las pérdidas y desperdicios alimentarios (PDA_j) de cada grupo de alimentos en cada una de las etapas. Se utilizan los porcentajes de pérdida $\alpha_{k,j}$ mostrados en la Tabla 8 del Anexo II, proporcionados por el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (Mapama, 2014a) y, para las categorías que carecían de ese datos se empleó el porcentaje de pérdida estimado por la FAO (2011). A estos valores se le restó el porcentaje de alimentos no comestible, es decir, las cáscaras, pieles, huesos, etc., quedando como resultado las PDA comestibles (Tabla 9 de Anexo III).

Una vez que se dispone de las pérdidas cuantificadas en términos de masa, se traducen a pérdidas nutricionales y económicas.

Para obtener las pérdidas nutricionales ($PDAN_{i,j}$), se hace uso de la Ecuación 5, donde $N_{i,j}$ se refiere al contenido nutricional de cada grupo de alimentos, siendo i , ($i=1$ Proteínas; $i=2$ Grasas; $i=3$ Fibra; $i=4$ Carbohidratos; $i=5$ Minerales e $i=6$ Kcal). Estas pérdidas se calcularon en base los 6 nutrientes estudiados. Se utilizó la plataforma Bedca (2007) para conocer los diferentes porcentajes nutricionales de cada categoría alimentaria (5 alimentos distintos por grupo) y se calculó la media para tener un único valor nutricional por categoría. Los datos obtenidos en muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Composición nutricional de cada categoría alimentaria (por 100 gramos)

	PROTEÍNAS (%)	GRASAS (%)	CARBOHIDRATOS (%)	FIBRA (%)	MINERALES (%)	ENERGIA (KCAL)
CEREALES	13,00	3,57	68,46	8,72	0,91	363
RAÍCES Y TUBÉRCULOS	1,85	0,19	11,48	1,96	0,45	56
ÁZUCAR	0,00	12,14	78,14	0,16	0,40	439
ACEITES VEGETALES	0,00	99,97	0,00	0,00	0,00	888
VEGETALES	1,12	0,34	2,74	1,50	0,25	19
FRUTA	0,90	2,56	9,60	3,18	0,31	70
LEGUMBRES	20,90	11,73	31,71	11,33	1,53	326
CARNE	19,94	1,70	0,00	0,00	0,57	167
PESCADO	17,96	1,70	0,22	0,00	0,72	89
LECHE Y DERIVADOS	12,03	16,68	3,30	0,00	0,85	211
HUEVOS	12,50	11,10	0,00	0,00	0,54	150

Por último, aplicando la Ecuación 6, se obtienen las pérdidas económicas (PDAE_j), donde P_j, hace referencia al valor monetario de los distintos grupos de alimentos. Para ello, se realizó una búsqueda de los diferentes precios de los alimentos (5 por cada categoría) y al igual que antes se calculó la media. Estos datos monetarios se han dividido en tres grupos en función de la etapa de la cadena de suministro. Esto es debido a que el precio de los alimentos se va incrementando conforme el alimento avanza de etapa, es decir, la pérdida de alimentos en la etapa de consumo supone una mayor pérdida económica que en la etapa de producción agrícola.

Tabla 3. Precio en €/kilo de cada una de las categorías alimentarias

CATEGORIA ALIMENTARIA	ORIGEN	MERCASA	COMERCIO
CEREALES	0,171	0,174	1,032
RAÍCES Y TUBÉRCULOS	0,307	0,487	1,207
AZÚCAR	0,041	0,370	0,810
ACEITES VEGETALES	2,090	2,955	3,820
VEGETALES	0,796	1,198	2,098
FRUTA	0,380	1,056	1,954
LEGUMBRES	1,570	2,014	3,469
CARNE	3,236	5,763	8,290
PESCADO	3,368	4,904	11,274
LECHE Y DERIVADOS	0,290	0,510	0,730
HUEVOS (DOCENA)	0,630	1,035	1,440

En la Tabla 3, se muestran los datos económicos para cada categoría alimentaria. El primer grupo, corresponde al precio de origen, este se aplicará a las dos primeras etapas de producción agrícola, manejo y post-cosecha y almacenamiento (MAPAMA, 2017). El segundo grupo, hace referencia al precio mayorista, que se aplica en las etapas de procesamiento y distribución (MAPAMA, 2017), y, por último, en la etapa de consumo en hogares y extrahogares se aplica el precio de consumo (MERCASA, 2017). A la etapa de consumo fuera del hogar, se le restó un 5% del precio, debido a que la compra de alimentos en estos establecimientos tiene un precio menor que en los hogares (García y cols., 2018).

Tras aplicar esta metodología se obtiene como resultado la cuantificación de PDA en términos masicos, económicos y nutricionales.

3.1.2 Optimización Multiobjetivo

Para elaborar estrategias más eficientes y certeras con el fin de poder disminuir la cantidad de residuos alimentarios, es necesario un estudio más riguroso y robusto, que mida el impacto nutricional y económico derivado de las PDA de forma conjunta en un único indicador. Este punto de vista genera un escenario más complejo con varios objetivos por resolver.

Tras realizar una búsqueda de información en diferentes artículos y estudios, se ha seleccionado la *Optimización Multiobjetivo (MOO)* basada en distancias como herramienta útil a la hora de trabajar con varios objetivos de forma simultánea (Abejón y cols., 2020). Este enfoque proporciona una única solución de Pareto en vez de un frente de soluciones, por lo que la interpretación de los resultados resulta sencilla.

Este tipo de optimización se basa en la distancia euclidiana D en un espacio de n dimensiones y se puede definir mediante la Ecuación 7 (Schadler y cols., 2016).

$$D = \sqrt{\sum_{y=1}^n |f_y(x) - g_y|^2} \quad (7)$$

Donde $f_y(x)$ es el vector que debe de ser optimizado y g_y es el vector objetivo específico.

En el estudio se ha utilizado una distancia ponderada normalizada D_{norm} como indicador principal con el fin de identificar los alimentos que generan más impacto, aplicando la Ecuación 8 que se muestra a continuación.

$$D_{norm} = \frac{\sqrt{\sum_{y=1}^n f p_{y,j} \cdot |F_y(x) - G_y|^2}}{\sqrt{n}} \quad (8)$$

Donde $F_y(x)$ es el vector normalizado a optimizar, en este caso los factores nutricionales y económico de cada categoría alimentaria, G_y es el vector objetivo especificado normalizado y $f p_{y,j}$ hace referencia al valor de ponderación de cada objetivo. En este caso, dado que ambos objetivos, económico y nutricional, deben minimizarse, el vector G_y es nulo.

Con esta función D_{norm} , se obtiene como resultado una serie de distancias normalizadas entre 0 y 1 por categoría alimentaria. Los grupos más cercanos al objetivo, es decir, a 0 son los alimentos más eficientes y, por el contrario, los alimentos más alejados del objetivo son los que más impacto generan.

3.1.3 Simulación de Montecarlo

La generación de residuos alimentarios cambia debido a diversas circunstancias, ya que la cantidad de residuos o la producción de determinados alimentos varía en función de la zona geográfica, la etapa dentro de la cadena, la región productora, la escala, etc. Por tanto, es lógico pensar que a la hora de elaborar protocolos de mitigación los intereses sean diferentes. Debido a esto, es preciso conocer cómo cambian las distancias al objetivo cuando varían los factores de ponderación de cada objetivo.

Para ello, se ha optado por aplicar la *Simulación de Montecarlo*. Se trata de un método enfocado a la resolución de problemas matemáticos a través de un modelo estadístico que se basa en simular miles de posibles escenarios, permitiendo al usuario realizar una predicción del comportamiento de las variables (Sunil y cols., 2004).

En el trabajo, se ha aplicado la Ecuación 8, dando valores de forma aleatoria a los factores de ponderación de cada objetivo $fp_{y,j}$, de forma que se obtienen miles de distancias por cada categoría alimentaria.

3.2 RESULTADOS

A continuación, se muestran los distintos resultados que se han obtenido tras la aplicar de la metodología explicada anteriormente.

3.2.1 Cuantificación inicial de PDA en diferentes términos

En la Figura 9, se muestran los porcentajes de pérdida totales en las diferentes etapas de la cadena agroalimentaria. Las pérdidas están traducidas en los tres términos a estudiar: masa, económico y nutricional.

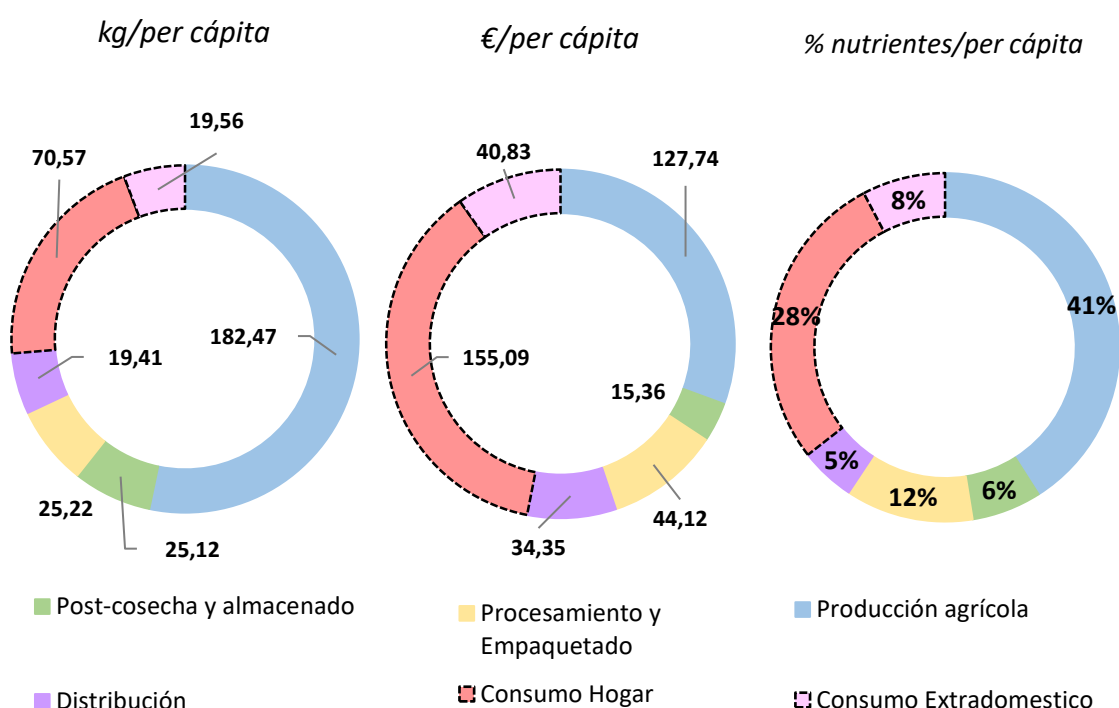


Figura 9. Pérdidas alimentarias totales en términos de masa, económicos y nutricionales generadas en cada etapa de la cadena agroalimentaria

Analizando los gráficos, se aprecia que la mayor cantidad de PDA se generan en la primera etapa de producción agrícola y en la última etapa de consumo.

Centrando la atención de términos de masa (kg/persona), se puede observar más de la mitad de las PDA, son generadas en la primera etapa de la cadena agroalimentaria. Como se explicó anteriormente, esto está relacionado principalmente con causas climatológicas, deficiencias tecnológicas, sobreproducción de alimentos y los altos estándares de calidad. La segunda etapa que más PDA produce es la fase de consumo, causante del 27% de las PDA totales, de las cuales el 21% se genera en los hogares y el 6% fuera de ellos. El origen de estos desperdicios está en la pésima conducta humana hacia el consumo.

Cuando se traducen estas PDA en términos monetarios, la mayor parte de las pérdidas económicas se produce de nuevo en la etapa de producción agrícola y consumo, pero cambiando el orden. Ahora, la fase de consumo es la que más pérdidas económicas genera, en concreto, un 47% de las pérdidas totales, y, dentro de estas, el 37% es producido dentro de los hogares.

De acuerdo con esto, se estima que, en el año 2017, cada ciudadano español desperdició 71 kg de comida lo que se traduce a 155 €, únicamente en la fase de consumo dentro de los hogares.

La Figura 10 muestra una visión clara de la cantidad de kcal que se pierden en cada una de las etapas de la cadena de suministro. Estos valores están expresados en kcal/persona y año, lo que hace un total de aproximadamente 459.252 kcal/per cápita y año pérdidas. Si estas pérdidas se calculan para toda la población española (46 millones), da un total de $2,15 \cdot 10^{13}$ kcal.

Tomando con referencia que la ración diaria recomendada de calorías para que una persona lleve una vida saludable es de 2500 kcal, estas pérdidas habrían sido suficientes para alimentar a 23 millones de personas en el año 2017.

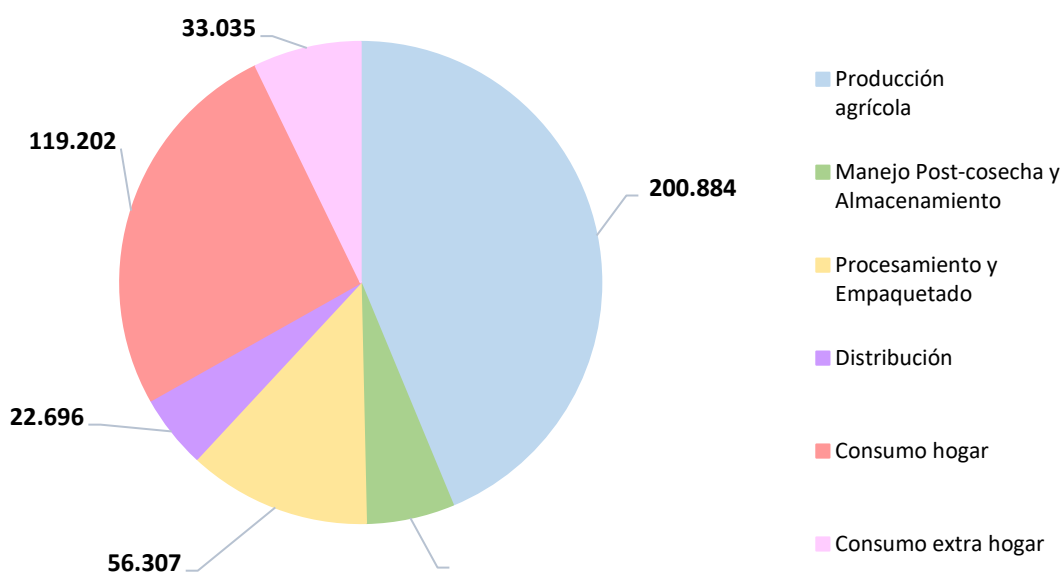


Figura 10. kcal pérdidas totales en cada etapa. Valores expresados kcal/per cápita y año

Una vez se dispone de las pérdidas cuantificadas (Tabla 10 y 11 del Anexo IV), se va a realizar un tratamiento de datos utilizando distintas herramientas que tengan en cuenta las características nutricionales y económicas de cada grupo de alimentos.

3.2.2 Optimización de PDA

Como se mencionó anteriormente, para una mayor facilidad a la hora de analizar los resultados obtenidos, el estudio se realizó con factores de pérdida normalizados. En las Figuras 11 y 12, se muestran estos factores (X_e y X_n), diferenciando entre pérdidas y desperdicios.

PÉRDIDAS ALIMENTARIAS



Figura 11. Factores normalizados de cada categoría alimentaria por clase de nutriente en las tres primeras etapas de la cadena de suministro

DESPERDICIOS ALIMENTARIOS



Figura 12. Factores normalizados de cada categoría alimentaria por clase de nutriente en las etapas de distribución y consumo

El concepto de “Eficiencia de Pareto” dice que, *dentro de un problema de optimización, una solución S1 es óptimo de Pareto cuando no existe otra solución S2 tal que mejore en un objetivo sin empeorar al menos uno de los otros* (Limleamthong y Guillen-Gosálbez, 2017). Por tanto, aplicando esta definición se puede determinar qué categorías alimentarias son óptimos de Pareto, y, por tanto, las que a simple vista resultan ser los grupos de alimentos más eficientes.

Esta información está detallada en la Tabla 4, donde se muestran los puntos de Pareto por clase de nutriente. Los alimentos marcados en azul son los grupos óptimos en las primeras etapas de la cadena de producción, es decir, los que menos pérdidas generan. Por consiguiente, las categorías marcadas en naranja hacen referencia a los alimentos que menos inciden en la generación de desperdicios en las etapas de distribución y consumo.

Tabla 4. Óptimos de Pareto por categoría alimentaria y clase nutricional.
Azul: Pérdidas. Naranja: Desperdicios

CATEGORÍA	PROTEÍNAS	CARBOHIDRATOS	GRASAS	KCAL	MINERALES	FIBRA
<i>Cereales</i>						
<i>Raíces y tubérculos</i>			X			
<i>Azúcar</i>	X X					
<i>Aceites</i>					X X	
<i>Vegetales</i>						
<i>Fruta</i>						
<i>Legumbres</i>	X	X	X	X X	X	X
<i>Carne</i>						
<i>Pescado</i>						
<i>Lácteos</i>						
<i>Huevos</i>		X X	X	X	X	X X

Examinando la Tabla 4, se determina que este análisis por pares de objetivos presenta problemas a la hora de decidir qué categorías son las más eficientes, ya que no todos los grupos alimentarios contienen en su composición los nutrientes estudiados. Por ejemplo, en la columna de las proteínas se muestra el azúcar como óptimo de Pareto, porque es la categoría mejor posicionada en el gráfico en términos económicos y nutricionales pero este alimento realmente no contiene proteínas. Lo mismo ocurre con los aceites vegetales, que no contienen minerales o los huevos fibra y ambos están marcados como puntos de Pareto.

Por ello, resulta necesario emplear un tipo de herramienta mediante la cual se obtenga un índice que incluya las características económicas y nutricionales en un único valor. Este es el caso de la optimización multiobjetivo basada en distancias, mediante la cual se calculan las distancias al objetivo por categoría alimentaria.

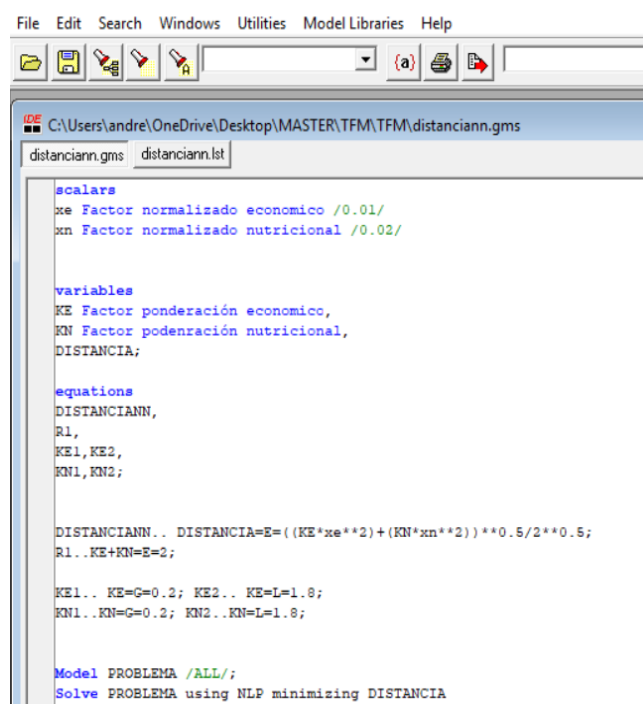
En primer lugar, partiendo de los factores normalizados X_e y X_n mostrados las Figuras 11 y 12, se calculan las distancias cuando los factores de peso de los objetivos económico y nutricional son igual de importantes, es decir, son igual a 1. Aplicando la Ecuación 8, se

obtendrá como resultado las distancias equivalentes de cada grupo de alimentos, donde:

- $F_y(x)$, son los factores normalizados X_e y X_n que se van a optimizar.
- G_y es igual 0, ya que el objetivo es conseguir 0 PDA alimentarias.
- n es el número de objetivos a optimizar, en este caso 2.
- $F_{p,y,j}$ son los pesos de cada objetivo por categoría alimentaria en función de la importancia, en este caso 1.

En segundo lugar, se van a calcular las distancias mínimas y máximas que cada grupo de alimentos podría tomar. Para ello se utiliza el software GAMS administrando los modelos de programación no lineal (PNL) utilizando el solver CONOPT3. Este software se encarga de dar pesos a las pérdidas de cada alimento para mejorar su rendimiento y minimizando o maximizando el objetivo, se obtienen las distancias mínimas y máximas que cada categoría alimentaria podría tomar.

En la Figura 13, se muestra un ejemplo del programa creado para obtener la distancia mínima de un alimento concreto. Como se observa, la optimización está sujeta a dos restricciones. Por un lado, los factores de ponderación varían en un rango de 0,2 a 1,8, estos son valores límite tomados para asegurar que todos los objetivos son tenidos en cuenta, de lo contrario el programa daría valor de cero a los factores menos convenientes. Por otro lado, la suma de todos estos factores de ponderación es igual al número de objetivos, es decir, 2.



```

File Edit Search Windows Utilities Model Libraries Help

C:\Users\andre\OneDrive\Desktop\MASTER\TFM\TFM\distanciann.gms
distanciann.gms  distanciann.lst

scalars
xe Factor normalizado economico /0.01/
xn Factor normalizado nutricional /0.02/

variables
KE Factor ponderación economico,
KN Factor ponderación nutricional,
DISTANCIA;

equations
DISTANCIANN,
R1,
KE1,KE2,
KN1,KN2;

DISTANCIANN.. DISTANCIA=E=((KE*xe**2)+(KN*xn**2))**0.5/2**0.5;
R1..KE+KN=E=2;

KE1.. KE=G=0.2; KE2.. KE=L=1.8;
KN1.. KN=G=0.2; KN2.. KN=L=1.8;

Model PROBLEMA /ALL/;
Solve PROBLEMA using NLP minimizing DISTANCIA

```

Figura 13. Programa de GAMS creado para calcular las distancias mínimas y máximas

A continuación, en las Figuras 14 y 15, se muestra a modo de ejemplo las distancias obtenidas por pares, teniendo en cuenta los índices económicos y nutricionales de las proteínas y los minerales. Las categorías alimentarias están ordenadas de mayor a menor distancia. Las gráficas para el resto de los nutrientes estudiados se muestran en el Anexo V (Figuras 19-22).

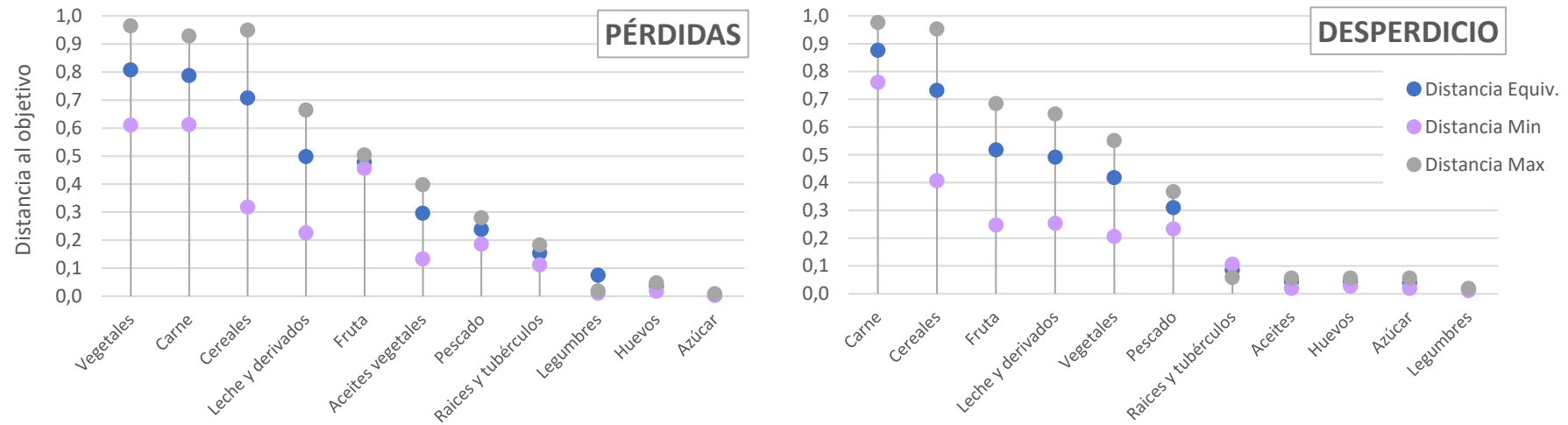


Figura 14. PROTEÍNAS: Distancias equivalentes, mínimas y máximas obtenidas. Pérdidas (izquierda) y Desperdicios (derecha)

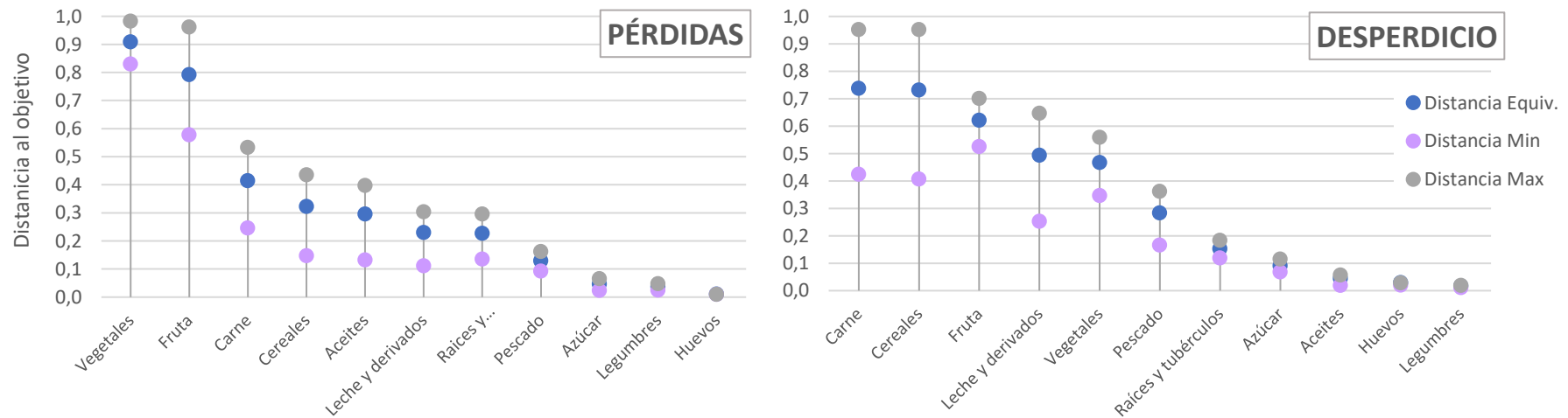


Figura 15. MINERALES: Distancias equivalentes, mínimas y máximas obtenidas. Pérdidas (izquierda) y Desperdicios (derecha)

Analizando ambas Figuras, se observa que, en las primeras etapas de la cadena de suministro (gráficas izquierda), cuando las contribuciones al objetivo son iguales a 1 (distancia equivalente), los vegetales seguido de los productos cárnicos para las proteínas y los vegetales y la frutas para los minerales, son las categorías alimentarias más alejadas del objetivo deseado y, por tanto, las que más impacto generan. En cambio, cuando se centra la atención en las etapas de distribución y consumo (gráficas derecha), la posición de las categorías cambia en ambos nutrientes, ahora los vegetales se muestran hacia mitad del gráfico siendo superados por la carne, los cereales, la fruta y los lácteos. Esto evidencia la gran cantidad de vegetales que se pierden las primeras etapas de la cadena de suministro. En cuanto a las categorías más eficientes con una distancia próxima a cero, se muestra en la Figura 14 al azúcar y las legumbres y en la Figura 15, a los huevos y las legumbres.

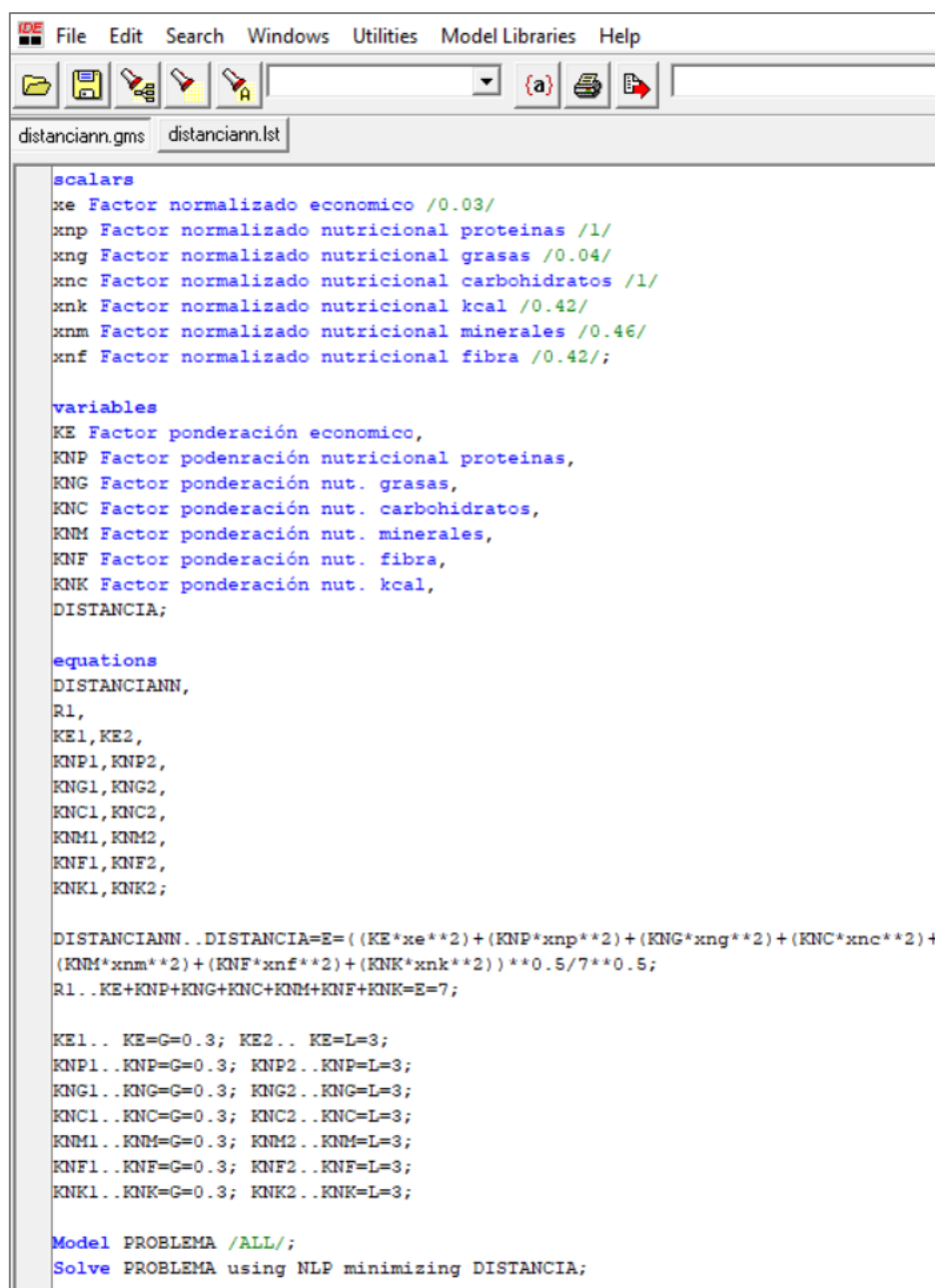
Los valores de distancia mínima y máxima hacen referencia al peor y mejor escenario que cada categoría alimentaria podría tomar. En este caso, el software se encarga de dar diferentes factores de ponderación ($fp_{y,j}$) a los objetivos (X_e y X_n) de cada grupo alimentario para mejorar o empeorar su rendimiento. Por ejemplo, como se ve en la gráfica de la izquierda de la Figura 12, los productos lácteos presentaron una distancia mínima más baja en comparación con las frutas. Esto es debido a la diferencia notoria de valores de pérdida económica y nutricional de ambas categorías. Es decir, los lácteos presentaron un bajo valor de X_e (ver Figura 11), que, potenciado con un alto valor de peso K_e , disminuyó su distancia al objetivo, lo que también conlleva un mayor rango de distancias. En cambio, las frutas presentaron unos factores X_e y X_n similares y, por tanto, los valores de peso $fp_{y,j}$ implican una distancia mínima y máxima cercana a la distancia equivalente.

Tras analizar los resultados obtenidos, se observa que, a pesar de obtener un único valor que combina las características económicas y nutricionales, la optimización por pares de objetivos no proporciona la información suficiente para posicionar los grupos alimentarios en función de impacto que generan, debido a que se estudian los nutrientes de forma separada. Por tanto, es necesario obtener unas distancias globales por categoría alimentaria en las que se incluyan todos los nutrientes estudiados.

Para ello, se aplica de nuevo la Ecuación 8 obteniendo las distancias equivalentes por categoría. En este caso los factores normalizados que se van a optimizar son 7: el factor económico y los 6 factores de cada nutriente.

Las distancias mínimas y máximas se calculan con GAMS al igual que antes, pero cambiando las restricciones impuestas: ahora los factores de ponderación varían en un rango de 0,3 a 3 y la suma de todos ellos debe de ser igual al número de objetivos, es decir, 7.

En la Figura 16 se muestra un ejemplo de programa creado para un alimento concreto.



```

distanciann.gms  distanciann.lst

scalars
xe Factor normalizado economico /0.03/
xnp Factor normalizado nutricional proteinas /1/
xng Factor normalizado nutricional grasas /0.04/
xnc Factor normalizado nutricional carbohidratos /1/
xnk Factor normalizado nutricional kcal /0.42/
xnm Factor normalizado nutricional minerales /0.46/
xnf Factor normalizado nutricional fibra /0.42/;

variables
KE Factor ponderación economico,
KNP Factor ponderación nutricional proteinas,
KNG Factor ponderación nut. grasas,
KNC Factor ponderación nut. carbohidratos,
KNM Factor ponderación nut. minerales,
KNF Factor ponderación nut. fibra,
KNK Factor ponderación nut. kcal,
DISTANCIA;

equations
DISTANCIANN,
R1,
KE1,KE2,
KNP1,KNP2,
KNG1,KNG2,
KNC1,KNC2,
KNM1,KNM2,
KNF1,KNF2,
KNK1,KNK2;

DISTANCIANN..DISTANCIA=E=((KE*xe**2)+(KNP*xnp**2)+(KNG*xng**2)+(KNC*xnc**2)+
(KNM*xnm**2)+(KNF*xnf**2)+(KNK*xnk**2))*0.5/7**0.5;
R1..KE+KNP+KNG+KNC+KNM+KNF+KNK=E=7;

KE1.. KE=G=0.3; KE2.. KE=L=3;
KNP1..KNP=G=0.3; KNP2..KNP=L=3;
KNG1..KNG=G=0.3; KNG2..KNG=L=3;
KNC1..KNC=G=0.3; KNC2..KNC=L=3;
KNM1..KNM=G=0.3; KNM2..KNM=L=3;
KNF1..KNF=G=0.3; KNF2..KNF=L=3;
KNK1..KNK=G=0.3; KNK2..KNK=L=3;

Model PROBLEMA /ALL/;
Solve PROBLEMA using NLP minimizing DISTANCIA;

```

Figura 16. Ejemplo del programa de GAMS creado para obtener distintas mínimas y máximas

En las Tablas 5 y 6, se muestran los factores normalizados y las distancias equivalentes, mínimas y máximas obtenidas para cada categoría alimentaria, diferenciando entre pérdidas y desperdicios.

Las categorías con distancias marcadas en rojo son las que están más alejadas del objetivo y, por tanto, las que más impacto generan. Por el contrario, las categorías con distancias en verde son las que menos distancias presentan, siendo los alimentos que menor impacto tienen.

Tabla 5. Factores normalizados y distancias equivalentes obtenidas por cada categoría alimentaria.
Datos calculados para las tres primeras etapas de la cadena agroalimentaria

PÉRDIDAS										
<i>Categoría</i>	XE	XN						Distancia equiv.	Distancia mínima	Distancia máxima
		Proteínas	Grasas	Carbohidratos	Minerales	Fibra	kcal			
<i>Fruta</i>	0,51	0,45	0,17	0,91	1,00	1,00	0,40	0,70	0,421	0,906
<i>Cereales</i>	0,03	1,00	0,04	1,00	0,46	0,42	0,42	0,61	0,252	0,718
<i>Vegetales</i>	1,00	0,55	0,02	0,26	0,81	0,46	0,14	0,57	0,321	0,830
<i>Aceites</i>	0,42	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,56	0,305	0,891
<i>Carne</i>	0,56	0,96	0,01	0,00	0,18	0,00	0,12	0,43	0,234	0,713
<i>Lácteos</i>	0,05	0,70	0,13	0,04	0,32	0,00	0,18	0,30	0,168	0,499
<i>Raíces y tubérculos</i>	0,10	0,19	0,00	0,23	0,31	0,13	0,09	0,18	0,109	0,251
<i>Azúcar</i>	0,01	0,00	0,04	0,38	0,07	0,00	0,17	0,16	0,088	0,269
<i>Pescado</i>	0,17	0,29	0,00	0,00	0,08	0,00	0,02	0,13	0,072	0,216
<i>Legumbres</i>	0,02	0,10	0,01	0,03	0,05	0,04	0,02	0,05	0,029	0,073
<i>Huevos</i>	0,01	0,05	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,02	0,011	0,033

Tabla 6. Factores normalizados y distancias equivalentes obtenidas por cada categoría alimentaria.
Datos calculados para las etapas de distribución y consumo

DESPERDICIOS										
<i>Categoría</i>	XE	XN						Distancia equiv.	Distancia mínima	Distancia máxima
		Proteínas	Grasas	Carbohidratos	Minerales	Fibra	kcal			
<i>Cereales</i>	0,27	1,00	0,29	1,00	1,00	1,00	1,00	0,86	0,449	0,937
<i>Lácteos</i>	0,14	0,68	1,00	0,04	0,68	0,00	0,43	0,55	0,303	0,789
<i>Carne</i>	1,00	0,73	0,07	0,00	0,30	0,00	0,22	0,49	0,268	0,791
<i>Fruta</i>	0,72	0,10	0,31	0,21	0,50	0,54	0,22	0,42	0,268	0,588
<i>Vegetales</i>	0,58	0,10	0,03	0,05	0,31	0,19	0,06	0,26	0,148	0,425
<i>Aceites</i>	0,06	0,00	0,52	0,00	0,00	0,00	0,16	0,21	0,113	0,354
<i>Azúcar</i>	0,06	0,00	0,26	0,30	0,12	0,00	0,32	0,20	0,109	0,282
<i>Pescado</i>	0,38	0,21	0,02	0,00	0,12	0,00	0,04	0,17	0,094	0,280
<i>Raíces y tubérculos</i>	0,11	0,05	0,01	0,06	0,19	0,09	0,06	0,10	0,060	0,143
<i>Huevos</i>	0,02	0,06	0,05	0,00	0,03	0,00	0,02	0,03	0,018	0,050
<i>Legumbres</i>	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,012	0,019

Analizando primero las distancias equivalentes obtenidas en ambas tablas, se observa que cuando los factores de ponderación se igualan, es decir, cuando se da la misma importancia de pérdida a todos los objetivos a optimizar, las categorías que generan más residuos cambian considerablemente a lo largo de las etapas de la cadena agroalimentaria. En las fases de producción, manejo y almacenamiento, son las frutas, seguido de los cereales y los vegetales los alimentos más alejados del objetivo. Sin embargo, en las últimas etapas de distribución y consumo, son los cereales, los productos lácteos y la carne los que peor posicionados están.

Las frutas y los vegetales generan un gran impacto en las primeras etapas de la cadena, principalmente en la producción agrícola, ya que se trata de productos altamente perecederos, además de diversos factores explicados anteriormente, como las condiciones climatológicas, las plagas o las cribas de producto, entre otros.

La categoría de los cereales aparece en una posición negativa en ambas tablas. En las primeras etapas destacan las pérdidas generadas en la fase de manejo y recolección, además de factores incontrolables como pueden ser los incendios o las sequías que afectan a los cultivos. En cambio, al igual que ocurre con los lácteos y la carne, los principales motivos de desperdicio en la fase de consumo son los malos hábitos, el exceso de compra y la mala conservación de los alimentos por parte de las casas particulares y los servicios de restauración.

Las categorías alimentarias que menor impacto producen son, los huevos seguido de las legumbres y el pescado en las primeras etapas de la cadena, y las legumbres, los huevos y las raíces y tubérculos al final del ciclo.

Las distancias mínimas y máximas obtenidas hacen referencia al mejor y peor escenario que cada categoría alimentaria podría tomar. Observando las distancias mínimas de la Tabla 5, la fruta sigue siendo el grupo alimentario más alejado, seguido de los vegetales y los aceites que se posicionan en segundo y tercer lugar, superando a los cereales. Esta última categoría presentó una distancia mínima más baja porque se vio favorecida por su bajo valor de pérdida económica (0,03). En cuanto a las distancias máximas obtenidas, la fruta continúa en primera posición y los aceites y vegetales alcanzan el segundo y tercer puesto. Esto es debido a los altos factores de pérdida económica y nutricional de ambos grupos.

Los rangos de distancia obtenidos referentes a las últimas etapas de la cadena (Tabla 6), siguen prácticamente el mismo orden que la distancia equivalente.

3.2.3 Simulación de Montecarlo

Con el fin de que este estudio sea de utilidad a la hora de crear políticas de reducción por parte de distintos actores con intereses concretos, es preciso conocer la evolución de las distancias cuando los factores de ponderación son variables. Para ello, se ha optado por aplicar la *Simulación de Montecarlo*.

Los resultados obtenidos se exponen a continuación. En la Figura 17 se muestra la variación de las distancias al objetivo obtenidas por categoría alimentaria referentes a las primeras etapas de producción agrícola, almacenado y procesado y en la Figura 18, se detalla la variación de distancias centrada en las etapas finales de distribución y consumo.

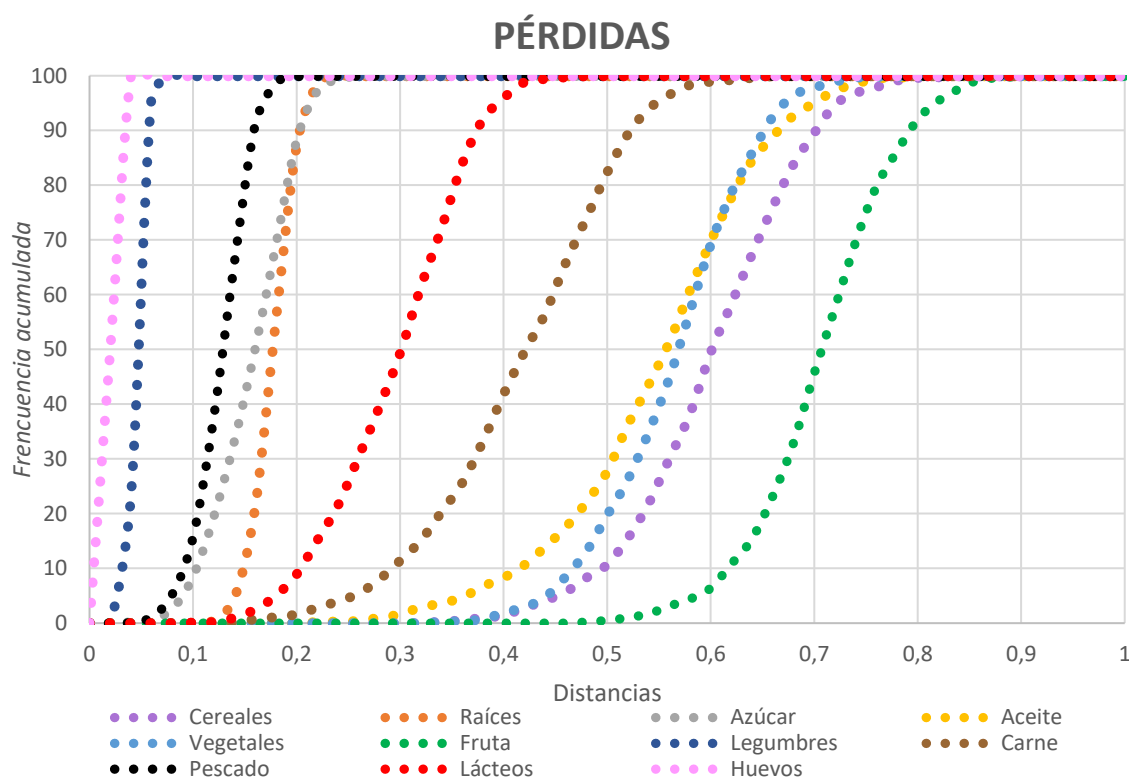


Figura 17. Simulación de Montecarlo de cada categoría alimentaria en las primeras etapas de la cadena de suministro.

En la Figura 17, se observa que prácticamente todas las categorías alimentarias mantienen su posición de menor a mayor distancia al objetivo en comparación con los resultados obtenidos aplicando la optimización multiobjetivo, salvo en casos concretos (Vegetales y Aceites o Raíces y Azúcar) cuando las curvas se cruzan.

A nivel nacional se muestra claramente la categoría de las frutas como la más alejada del objetivo (en el 50% de los casos su distancia es mayor de 0,7). En segunda posición están los cereales con una distancia en torno a 0,6 con frecuencia del 50%, seguido de los vegetales y aceites. Estos dos últimos grupos están entrelazados entre sí, ya que, dependiendo de los factores de peso aplicados la distancia de uno es mejor que la de otro. En el 70% de los casos, la distancia al objetivo de los vegetales es mayor, pero cuando se sobrepasa el 0,6 de distancia empeora la posición de los aceites. Por tanto, urge la necesidad de crear métodos de reducción y gestión específicos para este tipo de alimentos.

Cabe señalar las categorías de los huevos y las legumbres como grupos alimentarios con menor impacto (el 100% de casos presenta una distancia al objetivo de menor de 0,05).

Cuando se centra la atención en la cantidad de desperdicios generados en las fases finales de la cadena (Figura 18), las posiciones de los alimentos de acuerdo con las primeras etapas cambian.

Ahora son los cereales los que ocupan la peor posición con diferencia del resto de categorías, con una distancia superior al 0,8 en el 50% de los casos. Los productos lácteos alcanzan la segunda peor posición, aunque con una distancia significativamente menor (0,55) que los cereales. La tercera posición la ocupa los productos cárnicos. En cuanto a las frutas, cuya posición en las primeras etapas de la cadena es la de mayor impacto, ahora presenta una curva de distancias intermedia (prácticamente el 100% de casos presenta una distancia menor de 0,5).

Las legumbres y los huevos son de nuevo las categorías alimentarias que menor impactos tienen.



Figura 18. Simulación de Montecarlo de cada categoría alimentaria en las dos últimas etapas de la cadena de suministro

Cabe resaltar de nuevo que los resultados obtenidos hacen referencia a la PDA total de alimentos en España. Por tanto, para que la herramienta planteada sea efectiva ha de ser ajustada por los distintos actores interesados: instituciones y gobiernos a diferentes escalas, organizaciones de productores agrícolas, empresas de logística, industrias alimentarias, cadenas de hostelería y restauración, asociaciones de consumidores, etc., ya que sus objetivos serán muy diferentes.

3.2.4 Opciones de mejora para reducir las PDA

Con el objetivo de lograr que los métodos de reducción de PDA sean efectivos, es necesario elaborar e implantar buenas prácticas de fabricación y promover la inversión tecnológica y de infraestructura, además de instar al cambio de comportamiento por parte de los consumidores. Por ello, es primordial realizar mejoras en todas las etapas de la cadena de suministro, desde la producción inicial hasta el consumo, con el fin de evitar la acumulación de residuos de una fase a otra, ya que estas están conectadas entre sí.

La coordinación por parte de las organizaciones de productores es fundamental y beneficiosa, particularmente para los pequeños y medianos agricultores, permitiendo la reducción de sus PDA mediante la creación de calendarios de cosecha en función de las necesidades de mercado. La difusión de buenas prácticas para cumplir y mantener las normas de inocuidad alimentaria es una práctica esencial para disminuir el rechazo de estos productos, además, de fomentar las inversiones por parte del Estado y del sector privado para mejorar las instalaciones de almacenamiento, las cadenas de frío, el transporte o los mercados (FAO, 2014).

Aumentar la sensibilización sobre la cantidad de PDA generadas de los hogares y el coste que ello supone es el primer paso del cambio en la fase de consumo. La creación de campañas de concienciación, la contribución por parte de los mercados en la promoción del consumo sostenible, la mejora de la claridad del etiquetado de productos, la elaboración de programas de aprovechamiento de sobras o restos de comida, etc., son buenas opciones para contribuir a la reducción de desperdicios alimentarios.

Paralelamente, también es necesario invertir en mejoras de las estrategias de gestión, potenciando técnicas de reducción, reutilización, reciclado y revalorización de los residuos alimentarios ya generados.

De esta forma, la redistribución de alimentos excedentes es una buena opción para reducir las PDA, siempre y cuando estos sean aptos para con el consumo humano y su rescate no sea demasiado costoso. Este es el caso de la participación en bancos de alimentos que además de sensibilizar a la población acerca de las pérdidas alimentarias, contribuye a mejorar la seguridad alimentaria y la nutrición de las personas necesitadas.

Potenciar las técnicas de reciclado de subproductos alimentarios generados en la industria o en los hogares puede reducir en gran medida la generación de PDA. A nivel individual o industrial, una alternativa económica y eficaz de reducción de residuos generados de origen vegetal es el compostaje. A nivel industrial, por un lado, están los métodos de elaboración de piensos para alimentación animal, que, a pesar de que esta opción tiene algunos inconvenientes debido al alto contenido en agua que presentan estos alimentos, actualmente se está innovando en técnicas para controlar esta contaminación como el secado y la deshidratación de residuos lácteos o el prensado mecánico de residuos procedentes de frutas y hortalizas (NOSHAN, 2016). Por otro lado, se destacan los métodos de extracción de compuestos funcionales específicos, como compuestos bioactivos, aceites, fibras o tintes naturales (Plazzotta, 2017).

La digestión anaerobia es una buena opción de revalorización de los residuos alimentarios. Esta técnica presenta la ventaja de permitir de recuperación tanto energética como agronómica de los subproductos al producir, por un lado, un combustible renovable: el biogás, y por otro, un lodo estabilizado que puede ser utilizado como abono (Ros y cols. 2012).

No obstante, para garantizar la obtención de resultados positivos en cuanto a la mitigación de PDA, es esencial la colaboración de los múltiples actores de la cadena de suministro para aplicar las mejoras necesarias, así como cambios eficaces en las políticas a distintos niveles y la implicación por parte de todos los consumidores.

4. CONCLUSIONS

This study can contribute with the decision-making process in the elaboration of effective strategies and policies for the mitigation and the proper management of the food residues, since, for this, the development of waste estimation models is essential. In this report, it is determined which are the food groups that generates the most impact throughout the agro-food supply chain in the Spanish territory, developing a quantitative data analysis through the use of diverse tools which follow an approach based on distance to a concrete objective: generate 0 PDA.

In order to offer a rigorous analysis, the study employs the concepts of food loss and waste separately, providing differentiated results for the first and the last stages of the supply chain.

Summarized conclusions can be drawn from the results obtained in the study, in the following points:

- 80% of the total food losses and wastes generated in Spain occur in the first stage of agricultural production (53,3%), and the last of consumption (26,3%). Therefore, it is important to emphasize in these specific stages, concretely at the time of developing reduction strategies.
- With the generated PDAs suitable for human consumption, approximately 23 million people in need could have been fed.
- The fruit category followed by cereals and vegetables, are food groups that generate the most impact in the early stages of agricultural production, post-harvest and processing, and therefore, are the ones that need the most urgent measures.
- In the final stages of distribution and consumption, cereals, followed by dairy and meat products, are those which are found the furthest from the desired objective.
- Legumes and eggs are placed as the most efficient categories in terms of food waste generation.

This tool is useful at the time of knowing the situation regarding the generation of food waste in which different actors perform, to subsequently take the most appropriate measures according to their circumstances and to be able to achieve greater environmental and socioeconomic benefits.

5. NOMENCLATURA

PDA	Pérdida y desperdicio alimentaria
j	Cada categoría alimentaria
k	Cada etapa de la cadena de suministro agroalimentaria
i	Cada nutriente
$Prod_j$	Producción de alimentos nacional por categoría alimentaria (x 1000 ton)
$Stock_j$	Stock de alimentos nacional por categoría alimentaria (x 1000 ton)
Imp_j	Importación anual por categoría alimentaria (x 1000 ton)
Exp_j	Exportación anual por categoría alimentaria (x 1000 ton)
$A_{j,k}$	Alimentos aptos para consumo humano en cada etapa por categoría (x 1000 ton)
$\alpha_{j,k}$	Porcentaje de pérdida por alimentos en cada etapa (%)
$PDA_{j,k}$	Pérdidas alimentarias por categorías en cada etapa (kg/per cápita)
$N_{i,j}$	Contenido nutricional por categoría (%)
P_j	Precio por categoría (€)
$PDAN_{j,k}$	Pérdidas nutricionales por categoría en cada etapa (%/ per cápita)
$PDAE_{j,k}$	Pérdidas económicas por categoría en cada etapa (€/per cápita)
$X_{e,j}$	Factor normalizado de pérdida económica por categoría
$X_{n,j}$	Factor normalizado de pérdida nutricional por categoría
D_{norm}	Distancia ponderada normalizada
y	Objetivos a optimizar, económico y nutricional
n	Número de objetivos
$fp_{y,j}$	Factor de ponderación de cada objetivo por categoría

6. REFERENCIAS

- Abejón, R., Vazquez-Rowe, I., Bala, A., Fullana, P., Margallo, M., Aldaco, R. (2020). Application of the “Distance to target” Approach to the Multiobjective Optimization of nutritional and economic costs due to food loss and waste. 30th European Symposium on computer aided process engineering 24-27, 2020.
- AECOC (2012). Asociación de Fabricantes y Distribuidores. La alimentación no tiene desperdicio. Disponible en: <https://www.alimentacionsindesperdicio.com/>
- Bedca (2007). Base de datos Española de Composición de alimentos. Disponible en: <http://www.bedca.net/bdpub/index.php>
- Bio Intelligent Service (2010). Preparatory Study on Food Waste across EU 27. European Commission. Disponible en: https://ec.europa.eu/environment/eusds/pdf/bio_foodwaste_report.pdf
- BOE (2011). Ley de residuos y suelos contaminados. Boletín Social del Estado. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/pdf/2011/BOE-A-2011-13046-consolidado.pdf>
- BOE (2019). Ley 8/2019, de residuos y suelos contaminados de las Illes Balears. Legislación consolidada. Disponible en: <https://www.boe.es/eli/es-ib/l/2019/02/19/8/con>
- BOE (2020a). LEY 3/2020, de 11 de marzo, de prevención de las pérdidas y el despilfarro alimentarios. Diario Oficial de la Generalitat de Catalunya. Disponible en: <https://www.boe.es/ccaa/dogc/2020/8084/f00001-00011.pdf>
- BOE (2020b). Real Decreto 646/2020 por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero. Disposiciones Generales. Ministerio para la Transición Ecológica y el reto demográfico. Disponible en: <https://www.boe.es/eli/es/rd/2020/07/07/646/dof/spa/pdf>
- Caballero, A., Martín, O., López, J.V. (2015). Guía técnica: La gestión de residuos municipales. 2ª edición. Disponible en: http://femp.femp.es/files/3580-1356-fichero/Guia-Tecnica-Gestion-Residuos-Municipales_Web_Edicion2.pdf
- Cleva M.T. (2017). Pérdida y desperdicios de alimentos. Habitando los conceptos. Universidad Complutense de Madrid. Disponible en: https://www.mercasa.es/media/publicaciones/238/1513711182_Perdida_y_desperdicio.pdf

- Comisión Europea (2015). Informe de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones. Cerrar el círculo: un plan de acción de la UE para la economía circular. Disponible en: <https://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-14972-2015-INIT/es/pdf>
- Directiva (UE) 2018/851 del Parlamento Europeo y del Consejo, por la que se modifica la Directiva 2008/98/CE sobre los residuos. Diario Oficial Unión Europea. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L0851&from=EN>
- Dobbs, R., Oppenheim, J., Thompson, F., Brinkman, M., Zornes, M. (2011). Resource revolution: meeting the world's energy, materials, food and water needs. McKinsey Global Institute.
- EPA (2017). United States Environmental Protection Agency. Disponible en: <https://www.epa.gov/sustainable-management-food/industrial-uses-wasted-food#fog>
- FAO (2001). FAO Food Balance sheets: A handbook. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-x9892e.pdf>
- FAO (2013a). Food Wasteage Footprint. Impacts on natural resources. Summary report. Disponible en: <http://www.fao.org/3/i3347e/i3347e.pdf>
- FAO (2013b). Toolkit: Reducing the food wastage footprint. Rome. Disponible en: <http://www.fao.org/3/i3342e/i3342e.pdf>
- FAO (2014). Las pérdidas y el desperdicio de alimentos en el contexto de sistemas alimentarios sostenibles. Informe del grupo de alto nivel de expertos en seguridad alimentaria y nutrición. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i3901s.pdf>
- FAO (2019). El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo. Disponible en: <https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/ca5162es.pdf>
- FAOSTAT (2017). Nuevos Balances Alimentarios. Disponible en: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/FBS>
- FUSIONS (2016a). Recommendations and guidelines for a common European food waste policy framework. Disponible en: <https://www.eu-fusions.org/phocadownload/Publications/D3.5%20recommendations%20and%20guidelines%20food%20waste%20policy%20FINAL.pdf>

- FUSIONS (2016b). Estimates of European food waste levels. Disponible en: <http://www.eu-fusions.org/phocadownload/Publications/Estimates%20of%20European%20food%20waste%20levels.pdf>
- García, I., Hoehn, D., Margallo, M., Laso, J., Bala, A., Batlle-Baver, L., Fullana, P., Vazquez-Rowe, I., González, M.J., Sarabia, C., Abajas, R., Amo-Setien, F.J., Quiñones, A., Irabien, A., Aldaco, R. (2018). On the estimation of potential food waste reduction to support sustainable production and consumption policies. Food Policy. 80 (2018) 24-38.
- 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), Goteborg, Sweden.
- Hispacoop (2012). Estudio sobre los desperdicios de alimentos en los hogares. Disponible en: <https://www.hispacoop.com/home/index.php/2012-11-08-03-43-12/72-estudio-sobre-el-desperdicio-de-alimentos-en-los-hogares/file>
- HLPE. (2011). Price volatility and food security. A report by the High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition on the Committee on World Food Security. Rome.
- Hoehn, D., Margallo, M., Laso, J., García, I., Bala, A., Fullana, P., Irabien, A., Aldaco, R. (2019). Energy embedded in food loss management and in the production of uneaten food: seeking a sustainable pathway, Energies 12, 767.
- Kosseva, M.R (2011). Management and Processing of Food Wastes. Advances in Food and Nutrition Research 58(2011), 57-136.
- Limleamthong, P., Guillen-Gosálbez, G. (2017). Rigorous analysis of Pareto front in sustainability studies based on bilevel optimization: Application to the redesign of the UK electricity mix. Journal of Cleaner Production. 164, 1602-1613.
- Mapama (2013). Estrategia "Más alimento, menos desperdicio" Programa para la reducción de las pérdidas y el desperdicio alimentario y la valoración de los alimentos desechados. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio ambiente. Disponible en: http://www.besana.es/sites/default/files/estrategia_mas_alimento.pdf
- Mapama (2014a). Las pérdidas y el desperdicio alimentario generado por la producción agrícola en España. Resumen ejecutivo. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Disponible en: https://menosdesperdicio.es/sites/default/files/documentos/relacionados/resumen_perdidas_desperdicio_agricolas_2014.pdf

- Mapama (2014b). Las pérdidas y el desperdicio alimentario generado por la industria agroalimentaria en España: Situación actual y retos futuros. Resumen Ejecutivo. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Disponible en: https://menosdesperdicio.es/sites/default/files/documentos/relacionados/resumen_perdidas_desperdicio_industria_2014.pdf
- Mapama (2017). Precios Origen-Mayorista. Bases de datos. Disponible en: <https://www.mapa.gob.es/es/alimentacion/servicios/observatorio-de-precios-de-los-alimentos/default2.aspx>
- Mapama (2018). Panel de cuantificación de desperdicios alimentarios en los hogares españoles. Disponible en: <https://menosdesperdicio.es/definiciones-cifras/panel-de-cuantificaci%C3%B3n-del-desperdicio-alimentario-en-los-hogares-espa%C3%B1oles>
- Mercasa (2017). Precios Origen-Destino. Bases de datos. Disponible en: <https://www.mercasa.es/red-de-mercasa/precios-origen-destino>
- Mirabella, N., Catellani, V., Sala, S. (2014). Current options for the valorization of food manufacturing waste: a review. *Journal of Cleaner Production* 65 (2014) 28-41.
- Miteco (2017). Memoria anual de generación y gestión de residuos de competencia municipal. Ministerio para la transición ecológica. Disponible en: https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/publicaciones/memoriaanualdegeneracionygestionderesiduosresiduosdecompetenciamunicipal2017_tcm30-505953.pdf
- NOSHAN (2016). Noshan Project. Unión Europea. Disponible en: <http://noshan.eu/index.php/en/project#project-overview>
- Parlamento Europeo (2011). Informe sobre cómo evitar el desperdicio de alimentos: estrategias para mejorar la eficacia de la cadena alimentaria en la UE (2011/2174(INI)). Disponible en: <https://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//NONSGML+REPORT+A7-2011-0430+0+DOC+PDF+V0//ES>
- Plazzotta, S., Manzocco, L., Nicoli, M. C. (2017). Fruit and vegetable waste management and the challenge of fresh-cut salad. *Trends on Food Science and Technology* 63(2017), 51-59
- REFRESH (2015). Resource Efficient Food and Drink for the Entire Supply Chain. Unión Europea. Disponible en: <https://eu-refresh.org/comienza-el-nuevo-proyecto-de-la-ue-para-reducir-el-desperdicio-alimentario-en-toda-europa>
- Ros, M., Pascual, J.A., Ayuso, M., Morales, A.B., Miralles, J.R., Solera, C. (2012). Salidas valorizables de los residuos y subproductos orgánicos de la industria

de los transformados de frutas y hortalizas proyecto Life + Agrowaste. Residuos: Revista Técnica, 22 (2012), 28.35

SAVE FOOD (2011). Iniciativa Save Food de Albal. Por la conservación de los alimentos. Disponible en: <https://www.albal.net/es/iniciativa-save-food-de-albal-1096,6092.html>

Schadler P., Berdugo, J.D., Hanne, T., Dornberger, R. (2016). A distance-Based Pareto Evolutionary Algorithm Based on SPEA for combinatorial problems. 2016 4th International Symposium on Computational and Business Intelligence.

Serrano P. (2014). Generación de energía a partir de la basura ¿Energía 100% limpia? Certificados energéticos. Disponible en: <https://www.certificadosenergeticos.com/generacion-energia-basura-energia-100-limpia>

Sunil, K., Mondal, A.N., Gaikwad, S.A., Devotta, S., Singh, R.N. (2004). Qualitative assessment of methane emission inventory from municipal solid waste disposal sites: a case study. Atmospheric Environment 38(2004) 4921-4929.

UNDP (2015). Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Objetivos de Desarrollo Sostenible. Disponible en: <https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals.html>

UNFPA (2019). Fondo de Población de la Naciones Unidas. Población mundial. Disponible en: <https://www.unfpa.org/es/data/world-population-dashboard>

Vázquez-Rowe, I., Laso, J., Margallo, M., García, I., Hoehn D., Amo-Setién, F., Bala, A., Abajas, R., Sarabia, C., Durá M.J., Aldaco, R., (2019). Food loss and waste metrics: a proposed nutritional cost footprint linking linear programming and life cycle assessment. The International Journal of Life Cycle Assessment.

Xunta (2020). Borrador proyecto de Ley de Residuos y Suelos Contaminados de Galicia. Exposición de motivos. Disponible en: https://ficheiros-web.xunta.gal/transparencia/normativa-tramitacion/cmatv/CMATV_anteproxecto_lei_residuos_soloscontam_2019_cas.pdf

7. ANEXOS

ANEXO I. DATOS DE SUMINISTRO ALIMENTARIO EN ESPAÑA

Tabla 7. Suministro alimentario en España (x1000 ton). Fuente: FAOSTAT 2017

	Producción	Importación	Exportación	Stock	Total	Food	Proc.	Feed	Seed	Other use
Cereales	16702	16821	2666	-556	30301	5065,95	956,38	21831,30	1113,23	1145,74
Raíces y tubérculos	2095	1748	434	113	3522	2726,26	8,05	148,89	97,58	401,39
Azúcar	562	1757	854	99	1564	1442,66	0,00	0,00	0,00	120,44
Aceites vegetales	2681	3745	1987	269	4708	1175,00	211,38	995,60	0,00	2326,02
Vegetales	15000	1214	8386	77	7905	6301,14	20,28	402,81	0,00	0,00
Fruta	16765	2273	8324	-73	10641	4065,25	5257,52	10,58	0,00	274,99
Legumbres	690	230	35	4	889	321,14	0,00	441,05	92,35	0,00
Carne	6970	598	2491	2	5079	4741,35	13,18	0,00	0,00	0,00
Pescados	1268	2458	1566	0	2160	1986,52	0,00	173,48	0,00	0,00
Leche y derivados	8417	3880	1664	-41	10592	8918,18	0,00	927,18	0,00	611,75
Huevos	827	41	140	2	730	636,51	0,00	34,81	41,77	0,00

ANEXO II. PORCENTAJES DE PÉRDIDA UTILIZADOS

Tabla 8. Porcentaje (%) de pérdida de cada categoría alimentaria por etapa

Categoría	Agricultura	Postcosecha y Almacenado	Tratamiento y Embalaje		Distribución		Consumo	
			Molienda	Procesado	Fresco	Procesado	Fresco	Procesado
Cereales	4,6	2	0,5	10	2	2	25	25
Raíces y tubérculos	27,6	7	15	15	7	3	17	12
Azúcar	20	5	2	2	10	2	19	15
Aceites	26,24	2,19	5	5	1	1	4	4
Vegetales	27,6	4	2	2	10	2	19	15
Fruta	20,76	4	2	2	10	2	19	15
Legumbres	4,6	2	5	5	1	1	4	4
Carne	3,1	0,7	6,3	6,3	4	4	11	11
Pescado	9,4	0,5	6	6	9	5	11	10
Lácteos	3,5	0,5	1,2	1,2	0,5	0,5	7	7
Huevos	4	0	0,5	0,5	2	2	8	8

ANEXO III. PDA APTAS Y NO APTOS POR CATEGORIA ALIMENTARIA

Tabla 9. Pérdidas y desperdicios aptos y no aptos para consumo humano por categoría alimentaria y etapa. Valores expresados por x 1000 ton

	Producción Agrícola		Postcosecha y Almacenamiento		Procesamiento y Empaquetado		Distribución		Consumo hogar		Consumo extra-hogar	
	Incomestible	Comestible	Incomestible	Comestible	Incomestible	Comestible	Incomestible	Comestible	Incomestible	Comestible	Incomestible	Comestible
Cereales	63,773	218,095	26,452	90,462	84,919	290,414	19,755	67,560	189,485	648,018	52,514	179,591
Raíces y tubérculos	106,380	484,619	19,534	88,987	53,952	245,780	18,447	84,034	44,266	201,658	12,268	55,887
Azúcar	0,000	140,500	0,000	28,100	0,000	28,853	0,000	28,276	0,000	162,731	0,000	45,099
Aceites	0,000	486,418	0,000	29,944	0,000	69,319	0,000	13,171	0,000	34,217	0,000	9,483
Vegetales	998,022	3405,017	104,720	357,280	17,231	58,788	74,017	252,528	173,676	592,541	48,132	164,216
Fruta	955,752	3260,802	145,923	497,853	34,892	119,042	71,052	242,413	246,137	839,763	68,214	232,731
Legumbres	6,410	21,870	2,659	9,071	2,184	7,451	0,706	2,409	2,198	7,501	0,609	2,079
Carne	76,260	146,722	16,686	32,104	102,441	197,094	60,944	117,255	125,979	242,381	34,914	67,173
Pescados	65,779	65,779	3,170	3,170	57,212	57,212	48,392	48,392	69,787	69,787	19,341	19,341
Lácteos	0,000	305,280	0,000	42,085	0,000	107,018	0,000	44,056	0,000	480,525	0,000	133,172
Huevos	0,110	29,290	0,000	0,000	0,477	2,705	1,900	10,767	5,832	33,047	1,616	9,159

ANEXO IV. PÉRDIDAS Y DESPERDICIOS ECONÓMICOS Y NUTRICIONALES POR CATEGORÍA ALIMENTARIA

Tabla 10. Pérdidas económicas y de nutrientes por categoría alimentaria en las primeras etapas de la cadena de suministro.

Categorías	Económicas (€/per cápita)	Proteínas (kg/per cápita)	Grasas (kg/per cápita)	Carbohidratos (kg/per cápita)	Kcal (kcal/per cápita)	Fibras (kg (per cápita)	Minerales (kg /per cápita)
Cereales	2,20	1659,04	455,60	8736,74	46350,94	1112,83	116,64
Raíces y tubérculos	6,30	322,97	32,47	2004,18	9776,50	342,18	78,56
Azúcar	0,37	0,00	510,73	3287,34	18451,83	6,73	16,85
Aceites	27,36	0,00	12474,50	0,00	110768,90	0,00	0,00
Vegetales	65,31	915,08	276,80	2230,71	15305,63	1221,19	206,79
Fruta	33,11	743,57	2115,05	7931,43	43994,67	2627,29	255,79
Legumbres	1,35	170,94	95,98	259,41	2668,24	92,68	12,52
Carne	36,53	1596,76	135,84	0,00	13391,80	0,00	45,78
Pescado	10,93	482,77	45,59	5,86	2386,96	0,00	19,35
Lácteos	3,31	1164,45	1614,43	319,67	20407,94	0,00	82,29
Huevos	0,45	85,21	75,67	0,00	1022,53	0,00	3,68

Tabla 11. Desperdicios económicos y nutricionales por categorías alimentaria en las últimas etapas de distribución y consumo

Categorías	Económicos (€/per cápita)	Proteínas (kg/per cápita)	Grasas (kg/per cápita)	Carbohidratos (kg/per cápita)	Kcal (kcal/per cápita)	Fibras (kg/per cápita)	Minerales (kg/per cápita)
Cereales	18,25	2479,45	680,89	13057,15	69271,93	1663,14	1743,24
Raíces y tubérculos	7,42	134,64	13,54	835,49	4075,55	142,64	327,50
Azúcar	3,77	0,00	610,71	3930,86	22063,92	8,05	201,52
Aceites vegetales	4,35	0,00	1211,30	0,00	10755,93	0,00	0,00
Vegetales	39,91	241,71	73,11	589,21	4042,76	322,56	546,20
Fruta	49,62	252,14	717,20	2689,51	14918,37	890,90	867,37
Legumbres	0,80	53,38	29,97	81,01	833,20	28,94	39,11
Carne	68,48	1812,92	154,23	0,00	15204,67	0,00	519,80
Pescado	26,23	526,23	49,69	6,39	2601,84	0,00	210,96
Leche y derivados	9,92	1685,63	2337,02	462,75	29542,02	0,00	1191,21
Huevos	1,52	141,08	125,28	0,00	1692,94	0,00	60,95

ANEXO V. DISTANCIAS OBTENIDAS DEL RESTO DE NUTRIENTES

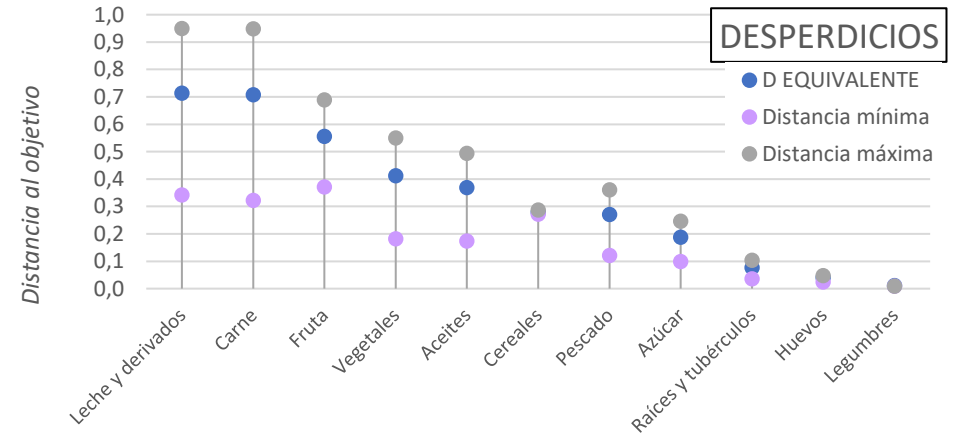
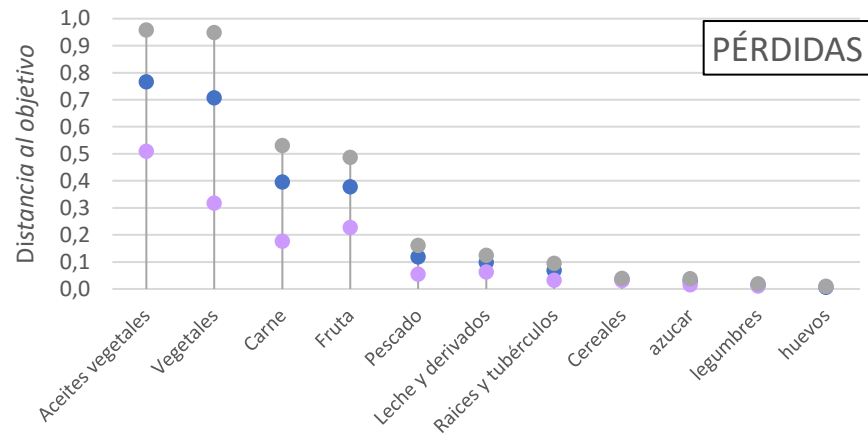


Figura 19. GRASAS: Distancias equivalente, mínimas y máximas obtenidas. Pérdidas (izquierda) y Desperdicios (derecha)

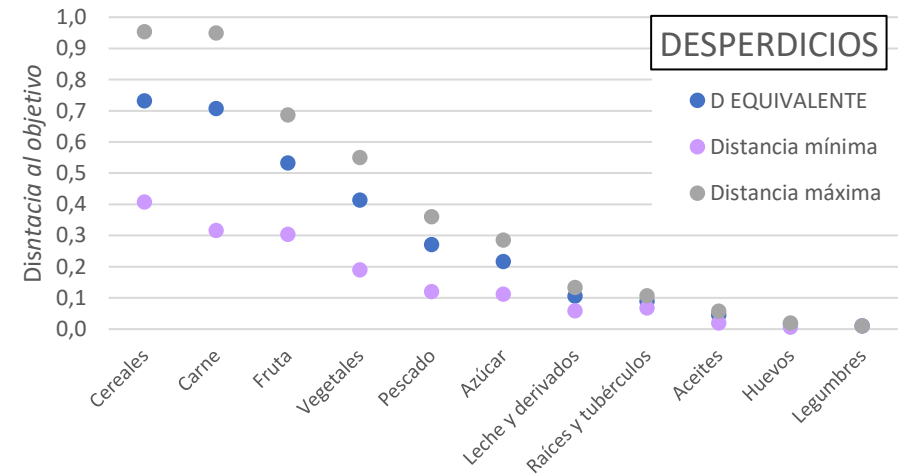
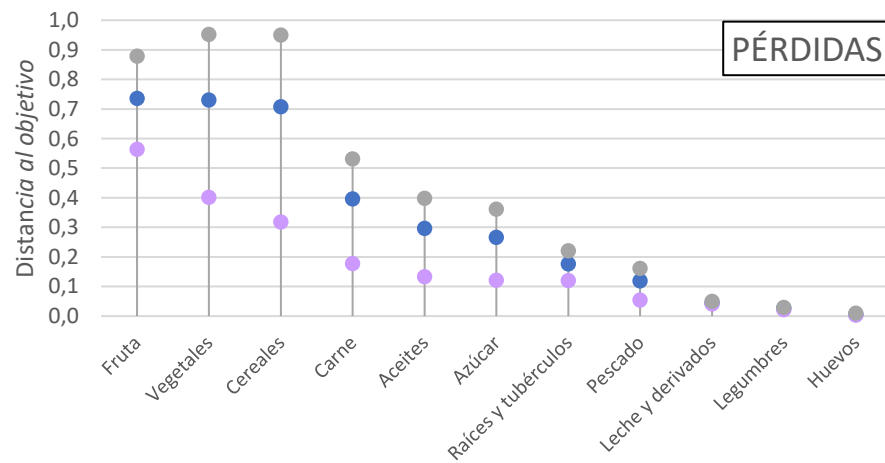


Figura 20. CARBOHIDRATOS: Distancias equivalentes, mínimas y máximas obtenidas. Pérdidas (izquierda) y Desperdicios (derecha)

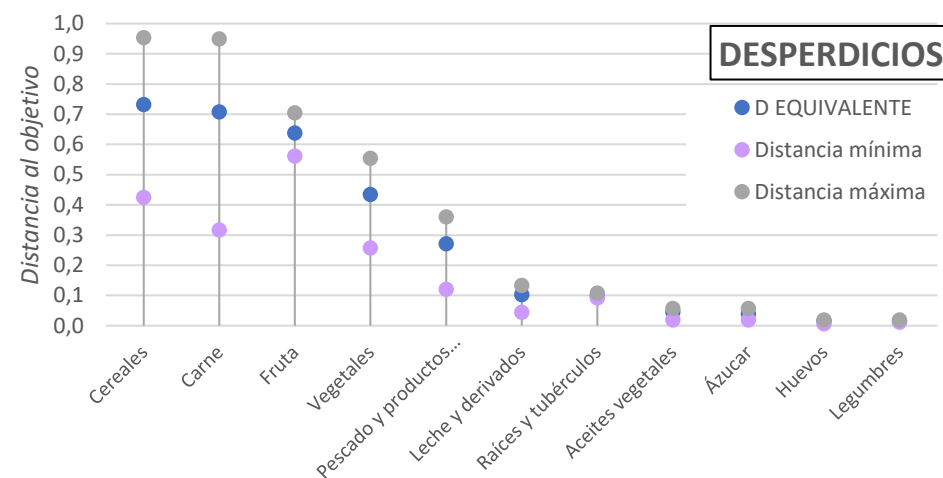
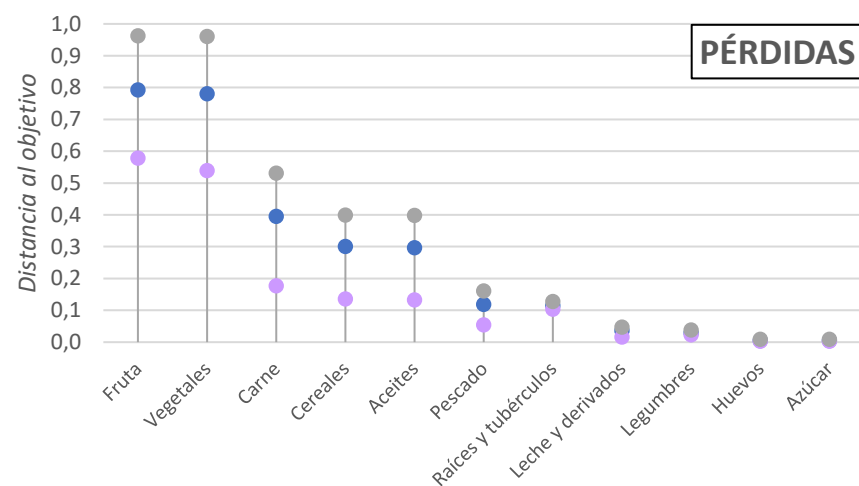


Figura 21. FIBRAS: Distancias equivalentes, mínimas y máximas obtenidas. Pérdidas (izquierda) y Desperdicios (derecha)

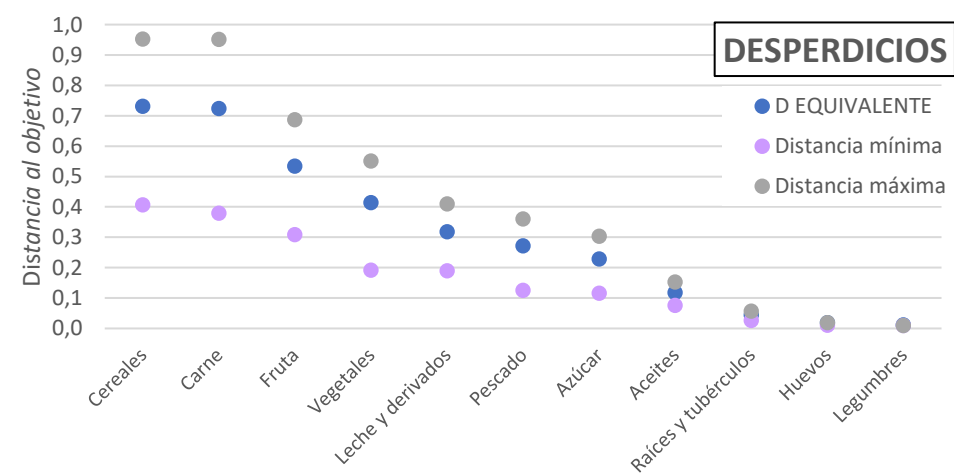
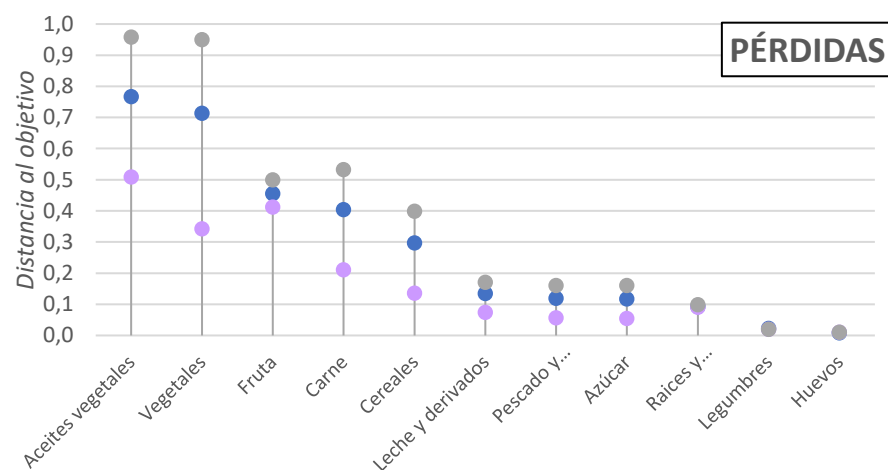


Figura 22. KCAL: Distancias equivalentes, mínimas y máximas obtenidas. Pérdidas (izquierda) y Desperdicios (derecha)