



**COMILLAS**

UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS  
INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

**ESTUDIO DE LA VIABILIDAD DE INTEGRACIÓN DE  
UN CANAL DE DISTRIBUCIÓN DE COMIDA  
PREPARADA PARA EL BANCO DE ALIMENTOS  
DE MADRID**

Autor: Jorge Vital Centeno

Director: Rosendo Castañón Naseiro

Madrid

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título  
Estudio de la viabilidad de integración de un canal de distribución de comida preparada  
para el Banco de Alimentos de Madrid en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad  
Pontificia Comillas en el

curso académico 2021/2022 es de mi autoría, original e inédito y

no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.

El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido  
tomada de otros documentos está debidamente referenciada.



Fdo.: Jorge Vital Centeno

Fecha: 12/07/ 2022

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Rosendo Castañón Naseiro

Fecha: 12/07/ 2022





**COMILLAS**

UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS  
INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

**ESTUDIO DE LA VIABILIDAD DE INTEGRACIÓN DE  
UN CANAL DE DISTRIBUCIÓN DE COMIDA  
PREPARADA PARA EL BANCO DE ALIMENTOS  
DE MADRID**

Autor: Jorge Vital Centeno

Director: Rosendo Castañón Naseiro

Madrid

# Agradecimientos

Me gustaría agradecer en primer lugar a todas las personas que han hecho posible este trabajo. En especial, a mi director Rosendo Castañón y a mi tutor Guillermo Cerezo, por su constante apoyo y paciencia, así como por sus orientaciones siempre acertadas.

En segundo lugar, a mi familia, mi madre María Montserrat, mi padre Miguel Ángel y mis hermanos. A mis amigos y a mi pareja Alicia que han estado a lo largo de toda mi carrera apoyándome en todo momento y animándome a seguir adelante.

Así mismo, agradecer también a todas las personas que me han acompañado durante la realización de este proyecto, en especial a aquellas que trabajan en el Banco de Alimentos de Madrid, Viena Capellanes y TooGoodToGo y se han visto involucradas en este proyecto. Han sido un gran punto de motivación y entusiasmo.

Por último, a la Universidad Pontificia Comillas por la oportunidad concedida para poder realizar este trabajo de investigación.



# ESTUDIO DE LA VIABILIDAD DE INTEGRACIÓN DE UN CANAL DE DISTRIBUCIÓN DE COMIDA PREPARADA PARA EL BANCO DE ALIMENTOS DE MADRID

Autor: Vital Centeno, Jorge.

Director: Castañón Naseiro, Rosendo.

Entidad Colaboradora: Banco de Alimentos de Madrid,  
ICAI – Universidad Pontificia Comillas

## RESUMEN DEL PROYECTO

El Banco de Alimentos de Madrid (BAM) es una organización benéfica sin ánimo de lucro, apolítica y aconfesional que trabaja para combatir el hambre y la pobreza a través del aprovechamiento de los alimentos, además de contribuir a mejorar el medio ambiente al evitar que una gran cantidad de alimentos vayan al vertedero. En el año 2020, los Bancos que componen la FESBAL repartieron 158.745.594 millones de kilogramos de alimentos a más de 1.560.000 millones de personas que representan más de 600.000 familias necesitadas. En lo que se refiere a Madrid, La Fundación ha recaudado 3,56 millones de euros en la Gran Recogida de alimentos en 2021, con un equivalente de 3.327.000 kilogramos de alimentos no percederos y una cifra de personas atendidas de 185.000 beneficiarias.

El Banco de Alimentos de Madrid recibe alimentos de varias fuentes de suministro. Una vez la organización recibe los alimentos, ésta realiza un proceso logístico de organización, clasificándolos y almacenándolos en sus respectivos palés y cajas. Finalmente, se inicia un proceso de distribución que atiende las necesidades de la demanda, que en el caso del Banco de Alimentos se trata de las entidades benéficas sin ánimo de lucro que gestionan el reparto de los alimentos al último eslabón de la cadena de suministro, es decir, los beneficiarios. Actualmente el Banco de Alimentos de Madrid presenta seis diferentes canales centralizados de distribución de alimentos (fruta, leche, arroz, pasta y hortalizas, entre otros muchos). En este trabajo se analiza la viabilidad de integrar un séptimo canal híbrido-descentralizado de distribución de platos preparados para que lleguen como última instancia a las diferentes entidades benéficas de consumo de la Comunidad de Madrid que asisten a las personas más desfavorecidas y están legalmente reconocidas.

Las conclusiones más relevantes de este trabajo sugieren que el modelo híbrido-descentralizado permitiría reducir costes en un factor del 17,31% y que sería más que conveniente concatenar distintos establecimientos de comida preparada para hacerlo más económicamente viable.

# FEASIBILITY STUDY OF THE INTEGRATION OF A DISTRIBUTION CHANNEL FOR PREPARED FOOD FOR THE MADRID FOOD BANK

Author: Vital Centeno, Jorge.

Supervisor: Castañón Naseiro, Rosendo.

Collaborating Entity: Madrid Food Bank.

## ABSTRACT

Banco de Alimentos de Madrid (BAM) is a non-profit, non-political and non-denominational charity that works to combat hunger and poverty by making the most of food, as well as contributing to improving the environment by preventing a large amount of food from going to landfill. In 2020, the Banks that make up FESBAL distributed 158,745,594 million kilograms of food to more than 1,560,000 million people representing more than 600,000 families in need. As far as Madrid is concerned, the Foundation collected 3.56 million euros in the Great Food Collection in 2021, with an equivalent of 3,327,000 kilograms of non-perishable food and a number of people served of 185,000 beneficiaries.

Banco de Alimentos de Madrid receives food from various supply sources. Once the organisation receives the food, it carries out a logistical organisation process, classifying it and storing it in its respective pallets and boxes. Finally, a distribution process is initiated to meet the needs of demand, which in the case of the Food Bank is the non-profit charities that manage the distribution of the food to the last link in the supply chain, i.e. the beneficiaries. The Banco de Alimentos de Madrid currently has six different centralised food distribution channels (fruit, milk, rice, pasta and vegetables, among many others). This paper analyses the feasibility of integrating a seventh hybrid-decentralised distribution channel for ready meals to reach, as a last resort, the different consumer charities in the Community of Madrid that assist the most disadvantaged people and are legally recognised.

The most relevant conclusions of this work suggest that the hybrid-decentralised model would reduce costs by a factor of 17.31% and that it would be more than convenient to link different ready meals establishments in order to make it more economically viable.



---

## *Índice de la memoria*

<b>Capítulo 1. Introducción .....</b>	<b>3</b>
1.1 Motivación del proyecto.....	3
1.2 Objetivos .....	5
1.3 Recursos .....	6
<b>Capítulo 2. Estado del Arte.....</b>	<b>7</b>
<b>Capítulo 3. Marco de análisis de los excedentes de la comida preparada.....</b>	<b>17</b>
3.1 La comida preparada .....	17
3.1.1 Definición.....	17
3.1.2 Gestión y política de las comidas preparadas.....	21
3.2 Los excedentes alimentarios.....	24
3.2.1 Definición.....	24
3.2.2 Gestión y política de los excedentes alimentarios.....	25
<b>Capítulo 4. Modelo matemático .....</b>	<b>29</b>
4.1 Antecedentes .....	29
4.2 Análisis de la oferta y la demanda.....	30
4.3 Hipótesis de modelado .....	37
4.4 Formulación del modelo matemático .....	40
4.4.1 Nomenclatura .....	40
4.4.2 Función objetivo.....	43
4.4.3 Restricciones.....	44
<b>Capítulo 5. Caso de estudio .....</b>	<b>48</b>
5.1 Datos de entrada .....	49
5.2 Análisis del modelo híbrido-descentralizado .....	54
5.3 Análisis del modelo centralizado .....	61
5.4 Análisis de sensibilidad.....	64
<b>Capítulo 6. Conclusiones y trabajos futuros.....</b>	<b>70</b>
<b>Capítulo 7. Referencias bibliográficas.....</b>	<b>72</b>



## **Capítulo 1. INTRODUCCIÓN**

### ***1.1 MOTIVACIÓN DEL PROYECTO***

El Banco de Alimentos de Madrid (BAM) es una organización benéfica sin ánimo de lucro, apolítica y aconfesional que trabaja para combatir el hambre y la pobreza a través del aprovechamiento de los alimentos, además de contribuir a mejorar el medio ambiente al evitar que una gran cantidad de alimentos vayan al vertedero. Contribuyen con los 17 Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS), en particular al objetivo 2 “Hambre cero” y de forma colateral, también a los objetivos 1 “Fin de la pobreza” y 3 “Salud y Bienestar”.

En España hay 54 Bancos de Alimentos que integran la Federación Española de Banco de Alimentos (FESBAL) que también pertenecen a la Federación Europea de Bancos de Alimentos (FEBA). En el año 2020, los Bancos que componen la FESBAL repartieron 158.745.594 millones de kilogramos de alimentos a más de 1.560.000 millones de personas que representan más de 600.000 familias necesitadas. En lo que se refiere a Madrid, La Fundación ha recaudado 3,56 millones de euros en la Gran Recogida de alimentos en 2021, con un equivalente de 3.327.000 kilogramos de alimentos no perecederos y una cifra de personas atendidas de 185.000 beneficiarias (23.500 niños y 7.500 lactantes).

La manera que tiene el BAM de lograr estos objetivos se divide en tres pasos. El primero de ellos es la obtención de donaciones (en adelante, “Recepción”), en el cual los Bancos de Alimentos reciben tanto alimentos como donaciones económicas para comprarlos procedentes de campañas y de diversas entidades que deciden colaborar de forma altruista. De entre las entidades donantes cabe destacar las industrias alimentarias, las Operaciones Kilo en supermercados, las Subvenciones de la Unión Europea y el Estado, los colegios e institutos, las empresas no alimentarias y los excedentes agrícolas y de mercados.

---

A continuación, le sigue un proceso logístico compuesto de tres subprocesos: “Organización”, “Clasificación” y “Almacenamiento” que consisten en una fase administrativa en la que se actualiza un registro de los palés que han intervenido en el primer paso, una clasificación de alimentos que se clasifican atendiendo a distintos criterios (como el tipo de alimento o los requisitos de conservación) y un posterior proceso que guarda los palés y las cajas en los almacenes hasta la próxima fase de distribución. Todo ello se realiza atendiendo a las donaciones recibidas y las necesidades de las entidades benéficas que solicitan los alimentos.

Por último, se produce la entrega de los alimentos a las entidades (“Distribución”) siguiendo estrictos controles. Se valorarán socialmente sus beneficiarios por las autoridades para confirmar que cumplirán con los requisitos necesarios para cumplir una correcta inocuidad el alimento y finalmente el Banco de Alimentos hará entrega de los alimentos a la entidad benéfica autorizada. En España, cerca de 8.000 entidades benéficas son las que se encargan de hacer entrega a los beneficiarios de los alimentos.

El proyecto que aquí se estudia utilizará un modelo matemático, incluyendo variables estocásticas correspondientes a las incertidumbres de las etapas mencionadas (recepción-organización-clasificación-almacenamiento-distribución), como el deterioro de los alimentos, inestabilidad regulatoria.... Adicionalmente, este proyecto realizará un modelo que estudie con detalle distintos métodos de distribución posibles de la comida preparada, garantizando el cumplimiento del marco regulatorio vigente, para analizar finalmente la viabilidad de incluir un canal de distribución adicional para el BAM.

La idea de este proyecto nació en gran medida de la iniciativa de dos compañeros de la Escuela Superior de Ingeniería (ICAI): Rosendo Castañón Naseiro y Guillermo Cerezo de Osma, quienes realizaron una iniciativa social con el fin de encontrar nuevos métodos analíticos para los bancos de alimentos de Madrid. Bajo su influencia, comenzó a formarse una red entre los allegados a los empresarios y algunos de los que se asociaron con los bancos de alimentos. Gracias a esta interacción, comenzaron a surgir entre ellos ideas para posibles colaboraciones entre la comunidad académica de ICAI y los bancos de alimentos, que finalmente dieron lugar a proyectos como el que aquí se presenta.

A la hora de valorar posibles proyectos de colaboración entre ICAI y FESBAL que se están investigando y desarrollando, el director de este proyecto y antiguo alumno de la escuela, Rosendo Castañón, se reunió con la directora general del Banco de Alimentos de Madrid, Gema Escrivá de Romaní y con la directora de Cooperación del banco para la Transformación Digital en el Tercer Sector Cristina Ruiz de Gopegui. Este encuentro fue una oportunidad para entender tanto el modelo operativo como las futuras necesidades tecnológicas de los bancos de alimentos, mejorando y concretando así algunas de las iniciativas propuestas inicialmente.

Fruto de este proceso, este proyecto responde a una necesidad real del Banco de Alimentos de Madrid de mejorar la capacidad del banco para dar respuesta al continuo desperdicio de alimentos procesados en nuestro país. En concreto, se trata de una nueva aportación a la aplicación de modelos matemáticos al ámbito del voluntariado en Madrid. En concreto, se ha desarrollado un modelo matemático y financiero para el Banco de Alimentos de Madrid que ayude a investigar la viabilidad económica de implantar un canal de distribución de alimentos preparados de acuerdo con el marco normativo vigente.

Este documento contiene un breve análisis del estado del arte realizado sobre el proyecto que se va a abordar, incluyendo la aportación de otros proyectos de la misma índole, referencias utilizadas para entender la logística del despilfarro de excedentes alimentarios y proyectos que desarrollan modelos de simulación similares al modelo a crear. Además, el documento incluye en esta sección la motivación del proyecto para después analizar sus principales objetivos, así como la metodología y presentar los recursos que se utilizarán a lo largo de este proyecto.

## **1.2 OBJETIVOS**

Como se indica al inicio de este capítulo, uno de los objetivos de este trabajo de investigación es contribuir de manera adecuada a los Objetivos de Desarrollo Sostenible, en particular al Objetivo 2 “Hambre Cero” y de forma colateral, también a los objetivos 1 “Fin de la pobreza” y 3 “Salud y Bienestar”.

Toma este trabajo como objeto de estudio a las personas de escasos recursos, en particular a las organizaciones benéficas, como destinatarios de los bancos de alimentos. Estas son las poblaciones que pueden ser consideradas en riesgo de pobreza extrema, están excluidas y que, sin la ayuda humanitaria, tendrían grandes dificultades para vivir libres de los riesgos sanitarios asociados a la alimentación (disrupción social, epidemias, altas tasas y gravedad de las enfermedades infecciosas...).

Como parte de este proyecto, se desarrolla un modelo de optimización para desarrollar prácticas de aprovisionamiento llevadas a cabo por una organización humanitaria y benéfica como el Banco de Alimentos de Madrid. Implementando un modelo como el que se desarrolla aquí, es posible identificar una forma de evitar el desperdicio de alimentos preparados listos para el consumo y optimizar la distribución al menor costo económico posible.

### ***1.3 RECURSOS***

Para la revisión bibliográfica se ha cotejado la documentación encontrada en Internet y la base de datos que la Universidad Pontificia Comillas pone a la disposición de sus alumnos.

El modelo matemático se ha realizado en GAMS, utilizando una licencia de uso académico proporcionada por la Universidad Pontificia Comillas. También ha utilizado MATLAB y Excel para gráficos de interés y análisis estadísticos de los casos de estudio propuestos.

Para la redacción y presentación del proyecto en cuestión se ha utilizado un paquete de Microsoft Office proporcionado por la misma universidad.

---

## Capítulo 2. ESTADO DEL ARTE

El trabajo realizado por Mula et al. (2010) se basa en un artículo que presenta un análisis de los diferentes modelos de programación matemática para la planificación de la producción y el transporte en la cadena de suministro. El propósito de incluir este trabajo es identificar la investigación actual y futura en este campo y proponer un marco de taxonomía basado en la estructura de la cadena de suministro, el nivel de decisión (se clasifican principalmente por el alcance o efecto de la decisión a tomar en términos de tiempo, por ejemplo, las decisiones se pueden tomar a nivel estratégico, táctico, operativo...), enfoque del modelado, propósito, limitaciones, novedad y aplicación, entre otras. En definitiva, este trabajo proporciona un punto de partida para los problemas de modelado matemático para la planificación de la producción y el transporte en la cadena de suministro.

La cadena puede considerarse un proceso integrado en el que un grupo de varias organizaciones, como proveedores o Bancos de Alimentos, productores, distribuidores y minoristas como entidades benéficas, trabajan juntos para adquirir materias primas con el fin de convertirlas en productos finales que distribuyen a los beneficiarios. En el trabajo (Mula et al., 2010) se presenta una extensa revisión de las investigaciones existentes sobre el tema en un intento de comprender mejor los métodos de modelización matemática utilizados en la planificación de la producción y el transporte en la cadena de suministro, y de proporcionar una base para futuras investigaciones como se trata en este proyecto. Debido a la actual pandemia COVID-19, los Bancos de Alimentos tuvieron que modificar su rutina habitual de suministro y distribución para cumplir con las nuevas medidas de seguridad y la creciente demanda. El cambio de estas operaciones requiere la necesidad de crear nuevos modelos y herramientas para mejorar los planes de previsión, reposición y producción a lo largo de las cadenas de suministro.

En este trabajo (Mula et al., 2010) selecciona los artículos basándose en dos criterios, que son los modelos de programación matemática y los modelos de planificación centralizada. Los trabajos que presentan modelos de planificación de la producción con vistas a una distribución eficaz, y

se centra en los niveles táctico u operativo y sus posibles combinaciones, son considerados en esta revisión.

Este trabajo (Mula et al., 2010) puede servir de resumen del estado del arte de los modelos de programación matemática para la planificación de la producción y el transporte en la cadena de suministro para los nuevos investigadores de la planificación de la cadena. Además, puede ayudar a los profesionales, como es el caso del Banco de Alimentos de Madrid, a abordar este tipo de problemas del mundo real en las cadenas de suministro. También se incluyen referencias relacionadas con la cadena logística que puede servir más tarde para el modelo matemático propuesto.

La referencia (Bentolila *et al.*, 2017) es una guía actualizada en 2021 de buenas prácticas de higiene para el aprovechamiento de excedentes alimentarios elaborada por la Comunidad de Madrid. Se centra en el problema del desperdicio aludiendo a la saturación de oferta en los canales comerciales y señala la dimensión de desigualdad por existir otras fuentes de demanda que ni siquiera alcanzan a cubrir sus necesidades básicas. El documento establece que “Aunque hasta la fecha no existe una normativa específica que regule la donación de alimentos, deben cumplirse los requisitos generales que establece la normativa comunitaria en materia de seguridad alimentaria” y, en concreto, se refiere al Reglamento (CE) 178/2002 por el cual se establecen los principios de la legislación alimentaria y al Reglamento (CE) 853/2004, relativo a la higiene de los productos y algún requisito de la redistribución de alimentos.

El trabajo (Hernández, 2016) tiene especial relevancia en este proyecto por la implementación de los Análisis de Peligros y Puntos de Control Críticos (APPCC) en la fase de recepción del producto. El objetivo principal de un APPCC es identificar los peligros relacionados con la seguridad del consumidor (bacterias, virus y parásitos presentes en el alimento y que pueden causar un efecto adverso para la salud) que puedan ocurrir en la cadena alimentaria, estableciendo los procesos de control para garantizar la inocuidad del producto y, por ende, es imprescindible utilizarlo en la cadena logística a tratar. En este trabajo se utiliza un software llamado RECEPMATRA que servirá para realizar un control exhaustivo de la recepción de los productos pedidos por una restauración colectiva. Parte de una base de datos actualizable y permite elaborar tanto una lista de pedidos como unos albaranes de llegada. La gran ventaja de este programa es



que permite incluir información del marco regulatorio a tratar para establecer las adecuadas restricciones y el correcto uso de la recepción. El diseño de la aplicación se realizó en Visual Basic, ésta nos permite llevar a cabo las operaciones que aparecen en la actuación alimentaria de una forma intuitiva. Con RECEPMATRA, las variables que definen una ficha de un producto alimenticio serán principalmente la descripción del producto, que ayudará a localizar el producto por su nombre, el código de barras, que permite realizar la lectura física del producto una vez recibido, y otras muchas más como la presentación, las indicaciones, los proveedores e ingredientes. Este software también dispone de una pantalla para el diseño del registro a la recepción y ofrece la opción de seleccionar los productos de la base de datos previa y de registrar la información recogida durante su recepción. Se facilitan todos los campos necesarios para ejercer un buen control de estos e imprimir el formulario con el pedido cumplimentado ya que, mediante un PC, se puede ir rellenando los campos correspondientes con la información obtenida, aceptando o rechazando los productos alimenticios según el caso.

Aparte de este trabajo, se ha cotejado más información sobre el software y diferentes modelos de simulación que mantienen un control de la recepción y la gestión de los alimentos en un establecimiento determinado. Estos programas tienen como objetivo aplicar diferentes APPCC diseñados para la implantación en establecimientos alimentarios, con algún que otro apartado dedicado a la gestión y recepción del producto. A diferencia de ellos, RECEPMATRA es el único software que trata la recepción, clasificación y el marco regulatorio en todo su conjunto. Nótese que, si bien la investigación se basa en procesos de entrega, el trabajo propone un modelo de simulación y una discusión a partir de sus resultados que podría ser de ayuda para un análisis posterior del Banco de Alimentos de Madrid.

La siguiente tabla clasifica las diferentes etapas de análisis de los softwares analizados en el trabajo (Hernández, 2016) y las ventajas que cada uno presenta:

	Recepción	Clasificación	Marco regulatorio	APPCC
RECEPMATRA				
APPRC 2.0				

HACCP Manager Software				
RegitRest				
Inforolot				

Tabla 1: Análisis de las funcionalidades de los diferentes softwares de aprovisionamiento. Fuente: Elaboración propia

Aunque la guía mencionada en la referencia (Bentolila *et al.*, 2017) no es de obligatorio cumplimiento sirve de gran ayuda para establecer los criterios de un Análisis de peligros y Puntos de Control Críticos (APPCC) para cualquier establecimiento de comida preparada. Esto queda patente en el trabajo (Hernández, 2016) con una restauración colectiva de Las Palmas de Gran Canaria que utiliza las guías prácticas para reducir los desperdicios alimentarios a la hora de establecer un APPCC adecuado.

La referencia (Esmailidouki *et al.*, 2021) proporciona una visión más exhaustiva sobre los métodos de investigación de operaciones que se producen en los Bancos de Alimentos, además de examinar los desafíos operativos que enfrentan los bancos durante y después de la epidemia COVID-19. En términos generales, la pandemia ha causado estragos en los sistemas alimentarios tanto a nivel local como mundial, con grandes implicaciones para la seguridad alimentaria (escasez de alimentos, cambios en la dieta, pérdida de ingresos familiares...) que es probable que amplíe las desigualdades sociales y de salud. En este trabajo se consideran las diferentes metodologías que se han utilizado en la investigación de operaciones de Bancos de Alimentos. La referencia (Esmailidouki *et al.*, 2021) nos muestra diferentes métodos de investigación operativa que utilizan los bancos (LP, IP, DP y DEA) que se comentarán a continuación en un breve microanálisis. Los problemas de funcionamiento de los Bancos de Alimentos que se detallan en este trabajo son la Gestión de la distribución, la Gestión del inventario, la Planificación de las instalaciones y la Programación de voluntarios.

El objetivo de la Gestión de la distribución es recolectar, clasificar y distribuir donaciones de alimentos a las personas necesitadas. La mayoría de los estudios de distribución se benefician de los métodos MILP (Mixed-integer linear programming) que tratan de resolver problemas de optimización matemáticos con alguna (o todas) las variables enteras. Un ejemplo de

programación MILP que se cita en esta referencia es el de facilitar las decisiones de recolección y distribución a través de decisiones equitativas a las diferentes agencias de Bancos de Alimentos (Modelo 1). Del mismo modo, existen otros MILP para tomar decisiones de seleccionar el lugar de entrega, así como asignar los vehículos requeridos en esta ubicación (Modelo 2).

La Planificación de instalaciones ayuda a los operadores del banco a cumplir con los requisitos, los pedidos y los plazos de organización. Se proponen modelos MILP para minimizar el número de puntos de entrega de alimentos y la distancia total recorrida (Modelo 3) o incluso para determinar qué parte de las donaciones del banco debe ser aceptada (Modelo 4). En cuanto a la Programación de los voluntarios, éstos constituyen la mayoría del personal en los Bancos de Alimentos. La inscripción, programación y gestión de voluntarios son fundamentales a medida que aumenta la demanda. La programación DEA (Data Envelopment Analysis) permite desarrollar modelos para determinar qué bancos son efectivos o ineficaces en función de sus operaciones (Modelo 5). Como problema final, en este trabajo se habla sobre la Gestión del inventario. La variación de las donaciones y los cambios en la demanda juegan un papel muy importante en el modelado de procesos de optimización. Existen modelos LP (Linear programming) para la distribución y gestión de inventarios de Bancos de Alimentos para que éste sea equitativo y efectivo (Modelo 6). También se propuso un modelo MILP para tratar la gestión de inventarios y la planificación de instalaciones de una manera más sostenible, económica y ambiental (Modelo 7).

En cuanto a investigación operativa se refiere, este microanálisis que propone la referencia (Esmailidouki *et al.*, 2021) nos lleva a clasificar los trabajos recopilados en dos clases de funciones objetivo, simples y múltiples. Estas funciones tratan optimizar, ya sea maximizando o minimizando, un resultado esperado. Existen formulaciones de problemas logísticos para maximizar la cantidad de entrega de alimentos en la red de distribución o incluso para maximizar el puntaje proveniente de los nutrientes de la comida. Aunque la mayoría de las investigaciones sobre Bancos de Alimentos se centran en un solo objetivo, algunos investigadores se centraron en múltiples de ellos (los costes, la cantidad de alimentos, la distancia, el tiempo de auditoría y el deterioro de los alimentos...). Por ejemplo, el Modelo 2 propone una reducción del número de puntos de entrega de los alimentos a la vez que minimiza la distancia total de viaje a lo largo del

horizonte de planificación. En el Modelo 7 se sugiere un modelo para reducir el coste global, el desperdicio de alimentos y maximizar la distribución equitativa de los alimentos donados.

Para abordar el problema de la incertidumbre y de los datos incompletos, los investigadores de los Bancos de Alimentos han aplicado diferentes técnicas de investigación operativa. La optimización estocástica es la técnica más común para abordar la incertidumbre entre las técnicas disponibles. Dicha técnica supone que o bien distribución, o bien un conjunto de posibles escenarios de datos inciertos son conocidos. Hay dos fuentes principales de incertidumbre en las operaciones de los Bancos de Alimentos que hay que tener en cuenta en cualquier modelo a desarrollar (los suministros donados y la capacidad laboral).

La siguiente tabla clasifica los modelos mencionados con anterioridad según su método, el tipo de problema, su función objetivo y la incertidumbre que cada uno conlleva:

	Método	Tipo de problema				Objetivo	Determinista /Estocástico
		Distribución	Inventario	Planificación de instalaciones	Programación (Scheduling)		
Modelo 1	MILP					Simple	Determinista
Modelo 2	MILP					Simple	Determinista
Modelo 3	MILP					Múltiple	Determinista
Modelo 4	MILP					Simple	Estocástico
Modelo 5	DEA					Simple	Determinista
Modelo 6	LP					Simple	Determinista

Modelo	MILP <sup>1</sup>					Múltiple	Determinista
7							

*Tabla 2: Análisis de los diferentes modelos de programación según la problemática que se presenta. Fuente: Elaboración propia*

Durante la pandemia de COVID-19, los Bancos de Alimentos se enfrentaron a varios retos operativos debido a un dramático aumento de la demanda y una considerable pérdida de voluntarios. Uno de los problemas más graves causados por la COVID-19 es la interrupción del suministro y la distribución de alimentos. Un estudio estadounidense mostró que, entre 200 Bancos de Alimentos estadounidenses, el 98% experimentó un aumento de la demanda y el 59% se enfrenta a una reducción de inventario a causa de la pandemia de COVID-19. Como consecuencia, los bancos tuvieron que modificar su rutina habitual de suministro y distribución para cumplir con las nuevas medidas de seguridad y la creciente demanda. Otro problema al que se enfrentaron durante la pandemia fue la falta de personal y de voluntarios. Desde que la Organización Mundial de la Salud anunció la pandemia de COVID-19 en marzo de 2020, los Bancos de Alimentos de todo el mundo se enfrentan a los impactos desproporcionados de la epidemia mundial. A continuación, se presentan algunos de los desafíos identificados por los bancos durante y después de la pandemia de COVID-19.

El Banco Mundial registró un aumento de 110 millones de personas consideradas en situación de inseguridad alimentaria debido a la pandemia. Las interrupciones alimentarias resultantes en la cadena de suministro global y local han provocado una disminución de la oferta y un aumento de la demanda de alimentos. Además de las reducciones en la producción agrícola y las interrupciones en la cadena de suministro. Estas perturbaciones han puesto en entredicho el objetivo principal de los Bancos de Alimentos y se enfrentaron a una presión extrema debido a la pandemia. Por lo tanto, los sectores de los bancos cambiaron sus operaciones para hacer frente a las dificultades de la pandemia COVID-19. Estos cambios han añadido cargas financieras

<sup>1</sup> Mixed Integer Linear Programming (Programación con números enteros)

---

adicionales y exigieron que los sectores de los bancos implementaran un plan de recuperación, especialmente para la época posterior a la pandemia de COVID-19.

Otro desafío inducido por la pandemia que identificamos está relacionado con el personal y el voluntariado. El personal de los Bancos de Alimentos está formado por voluntarios y asalariados que fueron rechazados debido a las normas de salud y seguridad públicas relativas a la distancia social y el servicio de alimentos. Los Bancos no pudieron sostener sus operaciones debido a una importante reducción de personal. Algunos estudios recientes demostraron que varios de ellos se vieron obligados a cerrar temporal o permanentemente debido a la falta de recursos humanos. Por lo tanto, es esencial examinar cuidadosamente estos desafíos, y proporcionar algunas recomendaciones prácticas para superar estas dificultades significativas.

Además, la cadena de suministro de los Bancos de Alimentos se ha visto perturbada por el COVID-19 de forma significativa. Esta perturbación pone de manifiesto la necesidad de contar con un enfoque adecuado para el diseño de la cadena de valor, que sea eficaz en condiciones normales, pero más resiliente en caso de crisis. Según un reciente informe de McKinsey & Company, hay tres fases para que las cadenas de suministro sean más resistentes durante acontecimientos perturbadores como es la pandemia de COVID-19 (la respuesta rápida, el plan de recuperación y el plan de reconfiguración).

La primera de ellas es la respuesta rápida. La implantación de un sistema de gestión eficaz para responder rápidamente a la interrupción de la cadena de suministro es crucial en los sectores de los Bancos de Alimentos, ya que deben adaptarse rápidamente a los cambios provocados por las interrupciones. En este sentido, muchos investigadores intentaron examinar las reacciones de las cadenas de suministro durante la pandemia y se han investigado los comportamientos adaptativos de ellas durante la pandemia. En esta referencia (Esmailidouki *et al.*, 2021) se incluyen algunos ejemplos que evalúan las respuestas iniciales de los principales sistemas agrícolas y alimentarios de distintas naciones (identificar y priorizar los pasos críticos de la respuesta de distribución para mitigar los impactos de la interrupción, desarrollo de un marco de sistema de apoyo a las decisiones para gestionar inventarios durante la pandemia COVID-19...).

A esta fase le sigue un plan de recuperación. Después de gestionar la alta y cambiante demanda y oferta para una respuesta rápida en una crisis, los gestores deben hacer planes para recuperar su confianza. La gestión de la interrupción de la cadena de suministro implica una predicción de los riesgos y la aplicación de estrategias para hacer frente al problema. Mediante el desarrollo de dichas estrategias de recuperación, la organización puede responder rápidamente a cualquier interrupción y prepararse para futuras catástrofes. La investigación de posibles modelos de planes de recuperación en esta referencia (Esmailidouki *et al.*, 2021) clasifica las estrategias como proactivas y reactivas. En ella se comenta una investigación realizada en 2021 donde se proponen métodos reactivos y proactivos para desarrollar la resiliencia del sector alimentario en respuesta a la perturbación causada por la pandemia COVID-19. El uso de un modelo de programación matemática para evaluar la resistencia de la cadena de suministro y hacer frente a las interrupciones es un ejemplo perfecto del método de investigación operativa. Por ejemplo, en esta referencia se comentan modelos de localización-asignación-inventario MILP resistente para cadenas de suministro de alimentos, e interpretaron tres estrategias de resiliencia para el modelo matemático presentado.

La última fase de todas es el plan de reconfiguración. La pandemia COVID-19 puso de manifiesto la vulnerabilidad de los mercados agrícolas y alimentarios modernos. Los Bancos de Alimentos, como unidad esencial para proporcionar alimentos y nutrición a la población vulnerable y marginada, necesitan críticamente mantener un suministro de alimentos sólido y adaptable durante la situación de pandemia. Al igual que otras cadenas de suministro, los Bancos de Alimentos deben utilizar métodos de reconfiguración para ayudar a mantener las operaciones del sector mientras vuelven a ser como antes de la pandemia. El actual brote pandémico ha introducido un conjunto totalmente diferente de desafíos que la literatura existente no proporciona un conjunto concreto de soluciones. Por ejemplo, Dimitri Ivanov en 2020 presentó un nuevo concepto denominado cadena de suministro viable (VSC) que puede ayudar a las empresas a recuperar y reconstruir las redes de suministro tras catástrofes de larga duración como es la epidemia COVID-19.

Lo que verdaderamente nos ofrece este trabajo es un enfoque, en términos de investigación operativa, sobre los diferentes métodos que han ayudado a los Bancos de Alimentos a optimizar

sus operaciones estos últimos años. Se trata de un banco de referencias en el cual nos podemos apoyar para realizar un modelo matemático adecuado ajustado a nuestras circunstancias. Además, se detalla que la pandemia COVID-19 agrega también un conjunto de desafíos a las operaciones del Banco de Alimentos que han de ser examinados más detenidamente. La referencia (Esmaeilidouki *et al.*, 2021) se centra sobre todo en la falta de políticas adecuadas para el inventario de productos perecederos y en la escasa investigación para evaluar mejor varios métodos para hacer frente a pandemias y otros desastres, y animan a los futuros investigadores a beneficiarse de los métodos de optimización para operar de forma rápida y eficaz.



## **Capítulo 3. MARCO DE ANÁLISIS DE LOS EXCEDENTES DE LA COMIDA PREPARADA.**

### **3.1 LA COMIDA PREPARADA**

#### **3.1.1 DEFINICIÓN.**

A lo largo de los últimos años se observa un ascenso notable de la comida preparada dentro del sector alimentario. Se puede relacionar este aumento del consumo con el ritmo de vida frenético y estilo de vida que caracteriza a la sociedad actual del siglo XXI. Actualmente, los consumidores valoran mucho el tiempo que pierden y la comodidad a la hora de comer.

Los especialistas en el ámbito del consumo no están completamente de acuerdo acerca de la definición y clasificación de los productos preparados y/o precocinados. Por ello, la delimitación de las categorías de los productos puede resultar a veces confusa. El problema empeora si se tiene en cuenta la velocidad de diversificación de estos productos y su posible corto ciclo de vida. De manera general, se puede definir una comida preparada como aquel plato preparado previamente envasado que se compra en un supermercado o similar, el cual consta de dos o más componentes (Ahlgren *et al.*, 2005).

Según el Real Decreto 3484/2000, la comida preparada es aquella “elaboración culinaria resultado de la preparación en crudo o del cocinado o del precocinado, de uno o varios productos alimenticios de origen animal o vegetal, con o sin la adición de otras sustancias autorizadas y, en su caso, condimentada. Podrá presentarse envasada o no y dispuesta para su consumo, bien directamente, o bien tras un calentamiento o tratamiento culinario adicional”.

Una noción relevante en la defición de la comida preparada guarda relación con el tratamiento tecnológico empleado para aumentar su vida útil (Bardón *et al.*, 2009). En esta línea, existe una clasificación general de la comida preparada en cinco gamas o generaciones de productos según los tratamientos tecnológicos que se hayan utilizado. En primer lugar, se encuentran los platos preparados esterilizados, es decir, gama II. Reciben este nombre debido a que son esterilizados a temperaturas superiores a los 100°C. Están formados por una mezcla de ingredientes, y deben cocinarse para poder consumirse. Suelen presentarse en envases herméticos. Presentan una larga vida útil (incluso años), y no necesitan frío para conservarse, característica por la que se denominan “platos ambiente”. Algún ejemplo de plato preparado esterilizado serían las sopas o cremas, así como las bases de carne o de pescado. En según lugar se encuentran los platos preparados congelados, o gama III. Se trata de comidas congeladas o ultracongeladas, conservadas a -20°C o -40°C respectivamente. Una vez descongeladas, pueden consumirse tras procesos de horneado o tras freír dicha comida preparada. Al contrario que la gama II, estos productos necesitan conservarse a temperaturas inferiores a los -18°C. Un ejemplo de plato preparado congelado sería la base de carne o de pescado, o base de arroz. En tercer lugar, se encuentran las verduras y hortalizas, pertenecientes a la IV gama. Dichos alimentos son envasados en falta de oxígeno en recipientes herméticos. Es decir, son productos frescos conservados entre los 0 y los 4°C, que deben consumirse sin ser calentados. Algunos ejemplos de estos productos serían las uvas o las granadas, los corazones de alcachofa, o las ensaladas "gourmet". En cuarto lugar, se encuentran los platos preparados refrigerados, o gama V. Son aquellos alimentos refrigerados que pueden presentar una vida útil de incluso 90 días, para poder comer calentados mediante un horno o mediante un microondas. Como ejemplo cabe destacar las tortillas, las pizzas, los gazpachos o las cremas y sopas. Por último, se encuentran los platos preparados de VI gama, los cuales se obtienen mediante el uso de nuevas tecnologías. Ejemplos de estas tecnologías serían los impulsos lumínicos o las altas presiones que permiten calentar los alimentos al vapor (Bardón *et al.*, 2009).

Gama/ Generación	Tecnología para prolongar su vida útil	Condiciones de conservación	Envasado	Vida útil	Ejemplos
II	Calor  · Esterilización  · Pasteurización	T° ambiente  Refrigeración (±4°C)	Lata, vidrio, plástico, Tetrabrik	Larga	Platos cocinados de carne, pescado, verduras, legumbres, pasta, arroz, caldos, sopas, cremas, etc.
III	Frío  · Congelación  · Ultracongelación	≤ -18°C sin romper la cadena de frío	Bolsas, barquetas, estuchados, film protector, glaseado	Larga	Verduras asadas, salteados precocinados de pescado, pizzas, guisos de carne, tortillas, pastas, arroces, sopas y cremas, empanadas, rebozados, guisos, etc.
IV	Atmósferas modificadas	Refrigeración (±4°C)	Bolsas, bandejas, tarrinas, tetrabrik	7-10 días	Ensaladas listas para aderezar y consumir
V	Tratamiento térmico y atmósferas modificadas		Vidrio, plásticos, microondables	60-90 días	Tortilla y pizza refrigeradas, guisos de carne, callos, oreja, guisos de pescado, marmitako, guisos de pasta, espagueti, ravioli, guisos de verdura y legumbres, ensaladas, arroces 3/5 delicias, paellas, asados, preparados de caza, etc.
VI	Nuevas tecnologías  · Altas presiones  · Impulsos lumínicos  · Resonancia magnética	Refrigeración (±4°C)	· Autocalentables  · Nuevos materiales	Larga	En fase de I+D+i:  Primeros productos cárnicos pasteurizados en frío con la tecnología de Altas Presiones

Tabla 3: Clasificación de platos preparados. Fuente: Observatorio de alimentación, Medio Ambiente y Salud.

Alimarket es la empresa que más información económica sectorial de España genera. En concreto, se encarga de analizar con el máximo rigor el mercado de la alimentación y la logística de gran consumo. Con ayuda de esta empresa, se obtuvieron los siguientes resultados. En 2004 los platos esterilizados o de II gama superaron las 78.500 Tm. En cuanto a los platos congelados o III gama, se cree que la producción real no supera los 130.000 Tm. En cuanto a las verduras y hortalizas de IV gama, se alcanzan los 43,5 millones de kilogramos. En último lugar, se encuentran los platos refrigerados o V gama. En 2004 se produjeron 14.519 Tm de tortillas, 64.239 Tm de pizzas y 28,1 millones de litros de gazpachos y cremas (Bardón *et al.*, 2009).

El contexto situacional del lugar donde se consume la comida y las interacciones sociales influyen en la ingesta y en la elección de los alimentos. En concreto, el contexto social puede fomentar o minimizar el consumo de ciertos alimentos, dependiendo del número de personas, el estatus de las mismas, su sexo o su peso (Ahlgren *et al.*, 2005).

El estudio de Ahlgren *et al.*, (2005) tenía como objetivo investigar en qué tipo de situaciones se consumen comidas preparadas y si las demandas de los consumidores varían dependiendo del contexto situacional. Para ello, se realizó un estudio de mercado, el cual concluyó que el consumo de platos preparados de los encuestados se ve afectado por factores situacionales. Las dos situaciones fundamentales que fomentaban en mayor medida el consumo de comida preparada estaban relacionadas con la conveniencia y con el factor tiempo.

En este sentido, los consumidores parecen valorar de manera especialmente relevante aquellos alimentos cuyo tiempo de preparación sea menor de 5 minutos. Esta variable presentará consecuencias positivas en el consumo de platos preparados. A su vez, es común el uso de platos preparados en los almuerzos del trabajo, por lo que deberá reforzarse su adaptación para dicho contexto. Para ello hay que tener en cuenta el número de trabajadores que comen en el lugar del trabajo, ya que esto afectará a las porciones de comida, así como a la disponibilidad del microondas, entre otras. Uno de los factores que puede afectar al consumo de comida preparada es la falta de tiempo o motivación de los trabajadores por prepararse la comida el día antes o nada más levantarse. Otro factor relevante sería la comodidad, ya que comprar el plato preparado supone un menor esfuerzo y tiempo de preparación de la comida (Ahlgren *et al.*, 2005).

### **3.1.2 GESTIÓN Y POLÍTICA DE LAS COMIDAS PREPARADAS.**

El Real Decreto 3484/2000, de 29 de diciembre, publicado por la Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado establece las normas de higiene para la elaboración, distribución y comercio de comidas preparadas. A su vez, se desarrollan una serie de condiciones higiénico-sanitarias de los establecimientos acerca del correcto uso y manipulación de los alimentos en el sector de la restauración. Resulta necesario la revisión de la legislación presente, para poder así actualizarla a las necesidades actuales. La actualización de las normas de elaboración y venta de la comida preparada y de los excedentes alimentarios debe realizarse de acuerdo con las normas del «*Codex Alimentarius*» y de otras directrices a nivel comunitario. La Comisión del *Codex Alimentarius* es un organismo desarrollado por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y la Organización Mundial de la Salud (OMS). El *Codex Alimentarius* recoge una serie de normas y recomendaciones acerca de la producción, almacenamiento e inocuidad de los alimentos (Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado, 2011).

Las empresas del sector restauración deberán poseer unos sistemas de autocontrol que proporcionen las condiciones mínimas de higiene de los alimentos. Para ello, se deberá analizar los posibles peligros y puntos críticos de la comida preparada. Para que esto sea posible, será necesario desarrollar unas guías de prácticas correctas de higiene (GPCH). En el caso en el que dichas prácticas de manipulación de alimentos sean incorrectas, se verá aumentado el riesgo a padecer infecciones e intoxicaciones alimentarias (BOE, 2011).

El Artículo 1 del Real Decreto 3484/2000 define las normas de elaboración, envasado almacenamiento, transporte, distribución, manipulación, venta, suministro y servicio de comidas preparadas, tanto en el ámbito público y social como en el privado. El Artículo 2 aborda definiciones de términos relativos a la comida preparada. Algunos de los términos que se definen son el propio de comida preparada, el término de comida preparada con tratamiento térmico, así como qué es un establecimiento o una colectividad y una autoridad competente. El artículo 3 aborda las condiciones de los establecimientos, ya que estos deberán disponer de la documentación necesaria, así como aparatos de trabajo fáciles de desinfectar. A su vez, las instalaciones deberán conservar los alimentos de manera adecuada, controlando y registrando la

temperatura para permitir el cumplimiento de las garantías mínimas sanitarias. En las zonas de trabajo se deberá facilitar el uso de lavamanos de accionamiento de tipo no manual. Los contenedores de más de un uso que distribuyan las comidas serán higienizados de manera eficaz, teniendo lugar una completa desinfección de estos. El Artículo 6 trata acerca de los requisitos de las comidas preparadas, así como sus procesos de elaboración y manipulación. Los productos elaborados, manipulados, almacenados, envasados y vendidos al consumidor deberán presentar condiciones óptimas para el consumo humano, evitando la peligrosidad e intoxicación de las personas que los consuman. A su vez, se debe evitar la contaminación de los alimentos, teniendo lugar una desinfección de las superficies que hayan estado en contacto con los alimentos. La descongelación de los alimentos se realizará en refrigeración, atendiendo a las evidencias científicas y a la respectiva evaluación de las autoridades competentes. Se deberá utilizar la menor cantidad posible de producto, con el menor tiempo previo a su consumo. Las comidas preparadas cocinadas se mantendrán refrigeradas hasta su consumo, momento en el que se recalentarán. Las comidas preparadas con tratamiento térmico se refrigerarán en el menor plazo de tiempo posible. El Artículo 7 dicta las condiciones de almacenamiento, conservación, transporte y venta de la comida preparada que tenga el huevo como ingrediente. Se realiza una clasificación atendiendo a los distintos tipos de comida. Por ello, las comidas congeladas deberán presentarse a una temperatura  $\leq -18\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; las comidas refrigeradas con un período de duración inferior a 24 horas  $\leq 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; las comidas refrigeradas con un período de duración superior a 24 horas  $\leq 4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; y las comidas calientes  $\geq 65\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Los productos de limpieza y desinfección serán almacenados en lugares alejados de la comida preparada para evitar la contaminación de la misma. A su vez, se guardarán en los recipientes originales para evitar posibles equivocaciones. El Artículo 8 trata sobre el envasado de la comida preparada, atendiendo a las condiciones generales de los alimentos. Dicha comida preparada, dependiendo del proceso de conservación y distribución de la comida preparada, esta será envasada con ayuda de un cierre hermético o no. Se debe evitar en todo momento el deterioro y la posible contaminación de los productos. El Artículo 9 se basa en el etiquetado de la comida preparada, atendiendo al Real Decreto 1334/1999, de 31 de julio, acerca del etiquetado, presentación y publicidad de los productos alimenticios. El Artículo 10 establece los sistemas de autocontrol que deberán establecer las empresas atendiendo al sistema de análisis

de peligros y puntos de control crítico. Para elaborar alimentos seguros será necesario identificar posibles peligros alimentarios, así como puntos de control crítico y sus respectivos procedimientos de control. La aceptabilidad o no aceptabilidad de los alimentos depende de los límites críticos en dichos puntos de control crítico. Si se da el caso de que un punto de control crítico no esté bajo control se deberán aplicar una serie de medidas correctoras. Los platos testigo son aquellas comidas preparadas que deben conservarse durante un mínimo de dos días, ya que permiten la aplicación estudios epidemiológicos acerca de las comidas preparadas servidas a los consumidores. En el Artículo 11 aparecen detalladas las guías de prácticas correctas de higiene (GPCH), las cuales garantizan el cumplimiento de las normas sanitarias. Las autoridades competentes, así como las asociaciones de consumidores serán quienes evalúen y comprueben el correcto uso y aplicación de las GPCH. De esta manera, se determinará el cumplimiento de este Real Decreto y se unificarán los criterios de higiene a nivel nacional (BOE, 2011).

Así mismo, las organizaciones basadas en las comidas preparadas deberán presentar unos sistemas de conservación de los alimentos que garanticen la seguridad y salubridad de los alimentos. Este objetivo se basa en las Normas Internacionales de los Alimentos, establecidas por el «*Codex Alimentarius*». En concreto, existe un código de prácticas (CXC 39-1993), el cual trata acerca de las prácticas de higiene para los alimentos precocinados y cocinados utilizados en los servicios de comidas para colectividades. Dicho Código trata acerca de las condiciones higiénicas de cocción y manipulación de alimentos cocinados y precocinados. Dichas condiciones están dirigidas a grupos de muchas personas, como es el caso de escuelas, hospitales, instituciones benéficas, o prisiones. El Código proporciona datos epidemiológicos sobre intoxicación por comidas preparadas en colectividades. Dichas epidemias pueden afectar a un gran número de personas debido a la dificultad de los servicios alimentarios a gran escala. A su vez, existen diversos grupos de personas como niños y ancianos, los cuales presentan una mayor vulnerabilidad a la intoxicación por deficiencias inmunológicas. Para minimizar los riesgos y los costes para la salud, se ha llevado a cabo un exhaustivo análisis acerca de los posibles riesgos y puntos críticos de control (HACCP) de los alimentos. Para promover una correcta infraestructura sanitaria, es necesario el trabajo de inspectores y personal cualificado que asegure el correcto uso de este Código (BOE, 2011).

## **3.2 LOS EXCEDENTES ALIMENTARIOS**

### **3.2.1 DEFINICIÓN.**

Los excedentes alimentarios (Food Waste en inglés) suponen un problema a nivel mundial debido al impacto que estos presentan a nivel ambiental, económico y social. Por ello, es necesario que se lleven a cabo una serie de acciones políticas que eviten dichas consecuencias globales. Esta problemática supone a su vez la movilización de una notable cantidad de recursos naturales. Para generar comida es necesario el 25 % de toda el agua utilizada por la agricultura cada año, y se genera en torno al 8 % de las emisiones mundiales anuales de gases de efecto invernadero. El Panel Internacional de Expertos en Sistemas Alimentarios Sostenibles (IPES) concluyó que el 20% de los alimentos producidos en la Unión Europea (UE) se desperdicia, lo que supone un coste total que asciende a los 143 mil millones de euros anuales. El 50% de las verduras cultivadas se desperdician antes incluso de haber llegado a manos del consumidor (debido a ineficiencias en el proceso productivo y a la mala gestión de estos alimentos en los establecimientos alimentarios). En este sentido, cabe destacar el dilema social y ético existente, ya que existen países donde las personas mueren a causa de desnutrición, mientras que, en otros de mayores ingresos y mayor calidad de vida, se llegan a desperdiciar toneladas de alimentos.

Por todo ello, resulta necesario investigar e implantar un correcto sistema de prevención de los desperdicios alimentarios, minimizando y evitando los mismos. Para conseguir este objetivo será necesario crear un sistema sostenible de gestión de los excedentes alimentarios. El primer paso a seguir será aportar una definición unificada sobre qué son los excedentes alimentarios. De esta manera, será posible medir y cuantificar la cantidad de productos desperdiciados, ya que en ocasiones resulta complejo extrapolar y comparar los resultados obtenidos. A su vez, se debe categorizar adecuadamente los diferentes tipos de residuos alimentarios, ya que se utiliza indistintamente términos como "pérdida de alimentos", "excedentes alimentarios" y residuos alimentarios. Dicha ambigüedad terminológica puede conllevar a incoherencias en las políticas alimentarias, como ocurre en el caso del reglamento de comercialización de la Unión Europea (UE). Es decir, la falta de unanimidad en cuanto al término de excedentes alimentarios supone en ocasiones un aumento de la cantidad de desperdicio, por lo que resulta necesario solucionar esta



problemática (por ejemplo, una persona puede llegar a pensar que un alimento cerca de su fecha de caducidad puede estar malo y es tirado a la basura, pero para una organización benéfica como el BAM puede tratarse de un alimento susceptible de ser donado y aprovechado). Además, resulta importante distinguir entre residuos agrícolas y residuos alimentarios. Los residuos agrícolas son aquellos que se crean de manera anterior a la cosecha, entre los que cabe destacar aquellos cultivos aún sin madurar. Existe un dilema en cuanto a la categorización de pescados y animales, ya que no está claro si se tratan de residuos alimentarios. Otro aspecto a tener en cuenta es la subjetividad existente a la hora de distinguir entre un alimento comestible y otro que no lo es. Esta diferenciación depende del país donde nos encontremos, así como del propio consumidor.

Los excedentes alimentarios son aquellos productos comestibles que no han sido consumidos, pero que son aptos para ello. Se trata de aquellos alimentos producidos, fabricados, vendidos al por menor y servidos, que superan los límites de nutrientes que necesita un ser humano diariamente. Algunos alimentos pueden dar lugar a residuos alimentarios, como es el caso de productos no comestibles o que presenta partes deterioradas (Teigiserova *et al.*, 2020).

### **3.2.2 GESTIÓN Y POLÍTICA DE LOS EXCEDENTES ALIMENTARIOS.**

El 7 de junio de 2022 el Consejo de Ministros aprobó una ley pionera contra el desperdicio alimentario en España, la llamada Ley de Prevención de las Pérdidas y el Desperdicio Alimentario. Se trata de la primera legislación española acerca del desperdicio alimentario, ya que hasta ahora sólo lo habían hecho países como Francia e Italia. Este reglamento pretende minimizar y evitar la pérdida de productos a lo largo de toda la cadena alimentaria, desde la primera etapa de producción en la cosecha hasta el momento en el que los productos llegan a manos del consumidor. De esta manera, se pretende reducir la cantidad de desechos y optimizar el uso de los alimentos. Esta Ley consta de 18 artículos organizados en 6 capítulos.

En 2020 se realizó un estudio donde se concluyó que en España se desperdiciaban 1.364 millones de kilos/litros de alimentos, una media de 31 kilos/litros por persona, es decir, unas pérdidas de en torno a 250€ por individuo. Pero estos datos no sólo conllevan consecuencias desfavorables a nivel económico, sino que también a nivel social y ambiental. El Ministerio de Agricultura, Pesca

y Alimentación ha querido mostrar su preocupación al respecto, pretendiendo fomentar la conciencia social ante este problema social. De esta manera, se busca promover la donación de alimentos, evitando el derroche de productos alimentarios. También se pretende aumentar la eficacia de la cadena alimentaria, reduciendo las pérdidas de los alimentos a la mitad desde el propio momento de producción de los alimentos hasta el consumo de estos.

Para prevenir el desperdicio alimentario es necesario que las organizaciones identifiquen sus puntos débiles con base a los estándares generales marcados por las competencias oficiales en materia de pérdidas alimentarias, es decir, aquellos procesos menos eficientes en su cadena de valor. Una vez las organizaciones identifiquen dichos momentos críticos, resultará más sencillo aplicar medidas para minimizar las pérdidas. Uno de los objetivos principales de esta ley es priorizar el consumo humano, el cual puede tener lugar mediante donaciones o redistribución de los alimentos. Para que estas donaciones tengan lugar, deberán realizarse convenios con empresas de índole social u otras organizaciones sin ánimo de lucro, así como con bancos de alimentos. Es importante que en dichos convenios se clarifiquen las características de recogida, transporte y almacenamiento de los alimentos. Las organizaciones de carácter social deberán llevar un exhaustivo registro de los alimentos que reciben y envían, sin poder beneficiarse en ningún caso de la venta de estos. A su vez, deberán organizar y repartir los productos entre los beneficiarios sin discriminación de ningún tipo. En caso en el que los alimentos no sean aptos para el consumo humano, serán destinados al consumo animal y a la creación de piensos. Asimismo, el sector hostelero ofrecerá de forma gratuita la posibilidad de llevarse envuelta en envases reciclables la comida sobrante que no haya sido consumida.

En cuanto a la guía de buenas prácticas (capítulo III de la ley), se pretende minimizar el desperdicio de alimentos promoviendo la venta de productos de temporada, o aquellos alimentos poco estéticos que presenten imperfecciones o arañazos. A su vez, se pretende fomentar la venta de alimentos que caduquen en un período corto de tiempo, para que así estos no se conviertan en desechos. Para ello, el Ministerio ha propuesto una serie de cursos formativos y convenciones divulgativas. En último lugar, el Gobierno tiene objetivo alargar al máximo la vida útil de los alimentos, por lo que la investigación y la innovación entra en juego.

Para reducir y prevenir el desperdicio alimentario el Gobierno deberá elaborar e implantar un Plan Estratégico de la mano de diferentes ministerios, entre los que cabe destacar el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación; y el Ministerio de Transición Ecológica y Reto Demográfico. Para que este plan de acción funcione de manera eficiente y se obtengan los resultados esperados, será necesario un trabajo conjunto entre los distintos ministerios, buscando un objetivo común. El Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación será el encargado de elaborar un plan de control de pérdidas y desperdicio alimentario compartido por las diferentes Comunidades Autónomas, el cual será revisado cada cuatro años. Este plan se incorporará al Programa Estatal de Prevención de Residuos.

Dependiendo de la gravedad de las acciones, el régimen sancionador tendrá una serie de consecuencias de distinta magnitud. Se considera falta grave el no poseer un plan de prevención de pérdidas y de desperdicio alimentario, así como la doble sanción leve en un período inferior a 24 meses. Se considera infracción muy grave a la reincidencia de sanción grave en un período inferior a los 24 meses. Una infracción leve puede tener lugar en el caso en el que las organizaciones no apliquen la jerarquía de uso de los productos alimentarios, así como que no donen aquellos productos aún aptos para el consumo humano. Otro tipo de infracción leve sería el caso de empresas de índole social, las cuales repartan los excedentes alimentarios mediante el uso de la discriminación, es decir, atendiendo a características personales o sociales como el sexo, la nacionalidad, la religión o la orientación sexual de los beneficiarios. Las multas pueden llegar a los 2.000 euros en caso de infracciones leves; de entre 2.001 y 60.000 euros a las infracciones graves; y, entre 60.000 euros y 500.000 euros en el caso de las infracciones muy graves.

Como se ha mencionado anteriormente, reducir el desperdicio y las pérdidas alimentarias presenta un dilema de fondo de carácter ético y moral. Es decir, se pretende minimizar esta pérdida de comida atendiendo a la realidad social, ambiental y económica presente en la actualidad. Se pueden observar consecuencias perjudiciales en el acceso a productos básicos, así como en la disminución de recursos naturales y el aumento de residuos, lo que conlleva un negativo impacto medioambiental. Todo ello perjudica al sector, y deteriora su productividad y competitividad. Por tanto, uno de los principales objetivos de esta ley es involucrar a toda la cadena alimentaria y a la

sociedad, buscando la concienciación y sensibilización de esta última. La problemática existente con los alimentos desperdiciados puede deberse a fallos en la eficacia y eficiencia de los procesos alimentarios. Estos fallos pueden darse en los distintos momentos a lo largo de la cadena alimentaria, desde un incorrecto programa de cosecha, incorrectas prácticas de manipulación y almacenamientos de los alimentos, hasta un incorrecto uso de los alimentos por parte de los consumidores.

Para mejorar la conformidad de los consumidores y de las ONGs, procesos de distribución, sector industrial y sector primario se realizaron cuatro foros participativos. Gracias a ellos, se unificaron una serie de definiciones, se fomentó el uso de las guías de buenas prácticas, y se prohibió la donación o comercialización de alimentos ya caducados.

## Capítulo 4. MODELO MATEMÁTICO

### 4.1 ANTECEDENTES

El Banco de Alimentos de Madrid recibe alimentos de varias fuentes de suministro. Una vez la organización recibe los alimentos, ésta realiza un proceso logístico de organización, clasificándolos y almacenándolos en sus respectivos palés y cajas. Finalmente, se inicia un proceso de distribución que atiende las necesidades de la demanda, que en el caso del Banco de Alimentos se trata de las entidades benéficas sin ánimo de lucro que gestionan el reparto de los alimentos al último eslabón de la cadena de suministro, es decir, los beneficiarios.

El Banco de Alimentos de Madrid trata con una gran variedad de Entidades Sociales donde se pueden apreciar tanto comedores sociales, residencias de mayores, de jóvenes o infantiles, hogares de acogida como centros que realizan reparto de lotes (Asociaciones, Ayuntamientos, Parroquias Católicas...). Teniendo en cuenta la pluralidad de las entidades benéficas en cuestión, es imprescindible tener en cuenta la capacidad de almacenamiento y de distribución de cada una de ellas.

Más de 500 empresas del sector agroalimentario contribuyen con excedentes alimentarios con el Banco de Alimentos de Madrid. Por este motivo es necesario un proceso de clasificación y almacenado, que atiende a la gran variedad de alimentos donados por las diferentes empresas. Estos alimentos pueden ser perecederos comercializables donados o pueden no ser comercializables y presentar problemas con el etiquetado, con un exceso de producción inesperado o, más importante aún, alimentos próximos a la fecha de consumo preferente o de caducidad. Los alimentos perecederos juegan también un papel muy importante dentro del sector agrícola, necesitando de una logística de aprovisionamiento y de reparto muy precisa.

Actualmente el Banco de Alimentos de Madrid presenta seis diferentes canales de distribución de alimentos (fruta, leche, arroz, pasta y hortalizas, entre otros muchos). El capítulo en cuestión trata de analizar la viabilidad de integrar un séptimo canal de distribución de platos preparados

para que lleguen como última instancia a las diferentes entidades benéficas de consumo de la Comunidad de Madrid que asisten a las personas más desfavorecidas y están legalmente reconocidas.

## **4.2 ANÁLISIS DE LA OFERTA Y LA DEMANDA**

Para diseñar un canal de distribución de platos preparados ha sido necesario obtener información del producto. Para abordarlo adecuadamente, se cuenta con la ayuda de Viena Capellanes, empresa con más de 140 años de antigüedad y que trata con comida de calidad. Los productos de este establecimiento pueden ser recogidos en tienda, o enviados al destino que indique el consumidor. Entre ellos destacan los productos de catering (bandejas de chorizo ibérico, jamón, salchichón, quesos, lacón, bocadillos, molletes...) que son platos listos para el consumo inmediato. Cuentan con 25 establecimientos en la Comunidad de Madrid y una tienda online para poder consultar la carta de alimentos preparados y realizar los pedidos desde el lugar que se prefiera.

Como cualquier establecimiento de comida preparada se desconoce la cantidad de demanda que se va a encontrar en un horizonte temporal definido y, por tanto, están sujetos al desperdicio de alimentos.

Para poder obtener una cuantía de los platos preparados no aprovechados, se ha contactado con empleados que trabajan en la empresa TooGoodToGo. Esta empresa desempeña la función de intermediario entre establecimientos alimenticios que no han podido vender su producto en el mercado a los consumidores finales. Según sus datos, más de un tercio de toda la comida se desperdicia diariamente y el objetivo principal de TooGoodToGo es minimizar las pérdidas alimentarias. Para ello, TgTg da de alta a establecimientos en su aplicación móvil disponible en App Store y Google Play para que puedan ofertar los productos que no se han podido vender en el mercado y por un precio mucho más bajo al inicial. Al desconocer la cantidad de comida que le puede llegar a sobrar a un establecimiento, lo que se hace es agrupar diferentes tipos de comidas en un mismo pack, que contendrá variedad de excedentes alimentarios que serán sorpresa para el consumidor final.

El cliente recoge el pack del establecimiento si ha decidido comprarlo. Así se consigue un mercado de excedentes alimentarios, proponiendo una solución contra el despilfarro y beneficiando a ambas partes interesadas ya que, los establecimientos estarán perdiendo menos dinero al aprovecharse de las ventajas que ofrece TooGoodToGo de salvar la comida que iba a ser tirada a la basura.

Llevan desde el año 2015 declarándole la guerra al desperdicio de alimentos y cuentan ya con más de 4 millones de personas en España y con más de 15.000 panaderías, supermercados, restaurantes, y muchos otros salvando diferentes tipos de comida. Viena Capellanes trabaja con esta empresa y tiene dado de alta 24 establecimientos de los 25 que tiene actualmente en la Comunidad de Madrid. La siguiente tabla recoge los datos de los establecimientos de Viena Capellanes que han ofertado packs de comida en los meses de marzo, abril y mayo de este año, proporcionado por TooGoodToGo:

MES	Packs totales ofertados	Packs totales salvados	Ratio de salvación
MARZO	1392	935	67.17 %
ABRIL	770	654	84.94 %
MAYO (hasta el 26)	610	529	86.72 %

*Tabla 4: Packs totales ofertados y salvados por los establecimientos de Viena Capellanes los últimos 3 meses.*

*Fuente: TooGoodToGo*

Con esta tabla, se observa que los establecimientos alimentarios de Viena Capellanes suministran cada vez menos envases de alimentos sobrantes porque saben cómo gestionar mejor la cantidad de alimentos que se desperdician. También se puede apreciar como la relación entre los packs salvados (que implica la venta total del establecimiento en cuestión de las ofertas de excedentes alimentarios disponibles) y los packs ofertados es cada vez mejor, llegando a salvar casi el 90% de los platos ofertados por los establecimientos de Viena Capellanes en el mes de mayo. Este resultado se debe a la increíble labor de concienciación social en la que toman parte empresas como TooGoodToGo y los bancos de alimentos de Madrid.

Como se ha comentado antes, es imposible saber la cantidad de demanda que se va a tener un día aleatorio y pasa lo mismo con las entidades benéficas que trabajan con los bancos de alimentos. Se desconoce el número de personas que se pueden atender diariamente, aunque existe la posibilidad de recibir donaciones con antelación e informar a los bancos de alimentos de su petición, por lo tanto, en nuestro modelo se incluye una variable que permita a las entidades benéficas participar en la operación de distribución de alimentos si ellas lo consideran oportuno, y recibir así una cantidad de alimentos proporcional al que se haya donado por parte de los establecimientos ese mismo día. Durante el año 2020 el Banco entregó alimentos a 565 entidades de Madrid capital y de otros municipios de la Comunidad. La ayuda llegó a un total de 186.381 personas, a las que se les facilitó una comida diaria, de las cuáles, 33.000 eran niños y 8.524 eran lactantes. Desde el banco de alimentos de Madrid se han proporcionado los datos de las diferentes entidades benéficas que están vigentes actualmente al igual que su ubicación y personas atendidas. Se han clasificado las diferentes entidades benéficas que están activas según su localidad:

LOCALIDAD	Nº ENTIDADES	LOCALIDAD	Nº ENTIDADES
28890 Loeches, Madrid, Spain	3	28020 Madrid, Spain	4
28803 Alcala de Henares, Madrid, Spain	2	28946 Fuenlabrada, Madrid, Spain	1
28850 Torrejón de Ardoz, Madrid, Spain	9	28022 Madrid, Spain	4
28044 Madrid, Spain	11	28917 Leganés, Madrid, Spain	1
28037 Madrid, Spain	7	Los Baldíos, 28470, Madrid, Spain	3
28460 Los Molinos, Madrid, Spain	4	28942 Fuenlabrada, Madrid, Spain	4
28340 Valdemoro, Madrid, Spain	1	28903 Getafe, Madrid, Spain	3
28620 Aldea del Fresno, Madrid, Spain	2	28490 Becerril de la Sierra, Madrid, Spain	1
28005 Madrid, Spain	7	28983 Parla, Madrid, Spain	1
28300 Aranjuez, Madrid, Spain	4	28750 San Agustín del Guadalix, Madrid, Spain	1
28029 Madrid, Spain	12	28944 Fuenlabrada, Madrid, Spain	2
28023 Madrid, Spain	4	28938 Móstoles, Madrid, Spain	2
28200 San Lorenzo de El Escorial, Madrid, Spain	5	28330 San Martín de la Vega, Madrid, Spain	3



28978 Cubas de la Sagra, Madrid, Spain	1	28210 Valdemorillo, Madrid, Spain	1
Perales de Tajuña, 28540, Madrid, Spain	1	28880 Meco, Madrid, Spain	1
28912 Leganés, Madrid, Spain	3	28925 Alcorcón, Madrid, Spain	1
28027 Madrid, Spain	8	28921 Alcorcón, Madrid, Spain	2
28015 Madrid, Spain	10	28450 Collado Mediano, Madrid, Spain	1
28004 Madrid, Spain	5	28810 Villalbilla, Madrid, Spain	1
28223 Pozuelo de Alarcón, Madrid, Spain	3	28510 Campo Real, Madrid, Spain	1
28053 Madrid, Spain	12	28400 Collado Villalba, Madrid, Spain	3
28971 Griñón, Madrid, Spain	2	28816 Camarma de Esteruelas, Madrid, Spain	1
28021 Madrid, Spain	14	28413 El Boalo, Madrid, Spain	1
28224 Pozuelo de Alarcón, Madrid, Spain	3	28923 Alcorcón, Madrid, Spain	2
28821 Coslada, Madrid, Spain	3	28934 Móstoles, Madrid, Spain	1
28019 Madrid, Spain	12	28039 Madrid, Spain	3
28013 Madrid, Spain	4	28032 Madrid, Spain	4
28041 Madrid, Spain	6	28863 Cobeña, Madrid, Spain	1
28909 Getafe, Madrid, Spain	3	Valdemorillo, 28210, Madrid, Spain	1
28108 Alcobendas, Madrid, Spain	1	Torrejón de Velasco, 28990, Madrid, Spain	1
28033 Madrid, Spain	8	28815 Fresno de Torote, Madrid, Spain	1
28001 Madrid, Spain	2	28814 Daganzo de Arriba, Madrid, Spain	1
28028 Madrid, Spain	10	Serranillos del Valle, 28979, Madrid, Spain	2
28050 Madrid, Spain	4	28690 Brunete, Madrid, Spain	2
28010 Madrid, Spain	7	Puentes Viejas, Madrid, Spain	2
28003 Madrid, Spain	5	28840 Mejorada del Campo, Madrid, Spain	1
El Redegüelo, Madrid, Spain	7	28297 Santa María de la Alameda, Madrid, Spain	1
28950 Moraleja de Enmedio, Madrid, Spain	1	28945 Fuenlabrada, Madrid, Spain	3
28411 Morlzarzal, Madrid, Spain	2	28412 El Boalo, Madrid, Spain	2
28597 Fuentidueña de Tajo, Madrid, Spain	2	28189 Torremocha de Jarama, Madrid, Spain	1
28649 Rozas de Puerto Real, Madrid, Spain	1	Municipality of San Fernando de Henares, 28830, Madrid, Spain	1
28260 Galapagar, Madrid, Spain	5	28270 Colmenarejo, Madrid, Spain	3

28770 Colmenar Viejo, Madrid, Spain	5	28009 Madrid, Spain	2
28043 Madrid, Spain	6	28016 Madrid, Spain	3
28042 Madrid, Spain	2	28522 Rivas-Vaciamadrid, Madrid, Spain	1
28002 Madrid, Spain	6	28913 Leganés, Madrid, Spain	2
28350 Ciempozuelos, Madrid, Spain	2	28723 Pedrezuela, Madrid, Spain	1
28049 Madrid, Spain	1	28760 Tres Cantos, Madrid, Spain	2
28008 Madrid, Spain	5	28695 Navas del Rey, Madrid, Spain	1
28030 Madrid, Spain	4	28420 Galapagar, Madrid, Spain	1
28017 Madrid, Spain	15	28530 Morata de Tajuña, Madrid, Spain	1
28024 Madrid, Spain	6	28410 Manzanares el Real, Madrid, Spain	2
28981 Parla, Madrid, Spain	5	28610 Villamanta, Madrid, Spain	1
28231 Las Rozas de Madrid, Madrid, Spain	5	28904 Getafe, Madrid, Spain	1
28038 Madrid, Spain	7	28906 Getafe, Madrid, Spain	1
28977 Casarrubuelos, Madrid, Spain	1	28701 San Sebastián de los Reyes, Madrid, Spain	1
28048 Madrid, Spain	1	28018 Madrid, Spain	3
28911 Leganés, Madrid, Spain	3	Lozoyuela-Navas-Sieteiglesias, Madrid, Spain	1
28710 El Molar, Madrid, Spain	1	28232 Las Rozas de Madrid, Madrid, Spain	1
28012 Madrid, Spain	10	28007 Madrid, Spain	1
28936 Móstoles, Madrid, Spain	2	Nuevo Baztán, Madrid, Spain	2
28931 Móstoles, Madrid, Spain	4	28864 Ajalvir, Madrid, Spain	1
28034 Madrid, Spain	3	28292 El Escorial, Madrid, Spain	1
28806 Alcala de Henares, Madrid, Spain	5	28670 Villaviciosa de Odón, Madrid, Spain	1
28922 Alcorcón, Madrid, Spain	3	28860 Paracuellos de Jarama, Madrid, Spain	1
28006 Madrid, Spain	4	28212 Navalagamella, Madrid, Spain	2
28805 Alcala de Henares, Madrid, Spain	4	28729 Venturada, Madrid, Spain	1
28035 Madrid, Spain	4	28703 San Sebastián de los Reyes, Madrid, Spain	1
28914 Leganés, Madrid, Spain	3	28036 Madrid, Spain	1
28045 Madrid, Spain	6	28804 Alcala de Henares, Madrid, Spain	1
28523 Rivas-Vaciamadrid, Madrid, Spain	1	28609 Sevilla la Nueva, Madrid, Spain	1

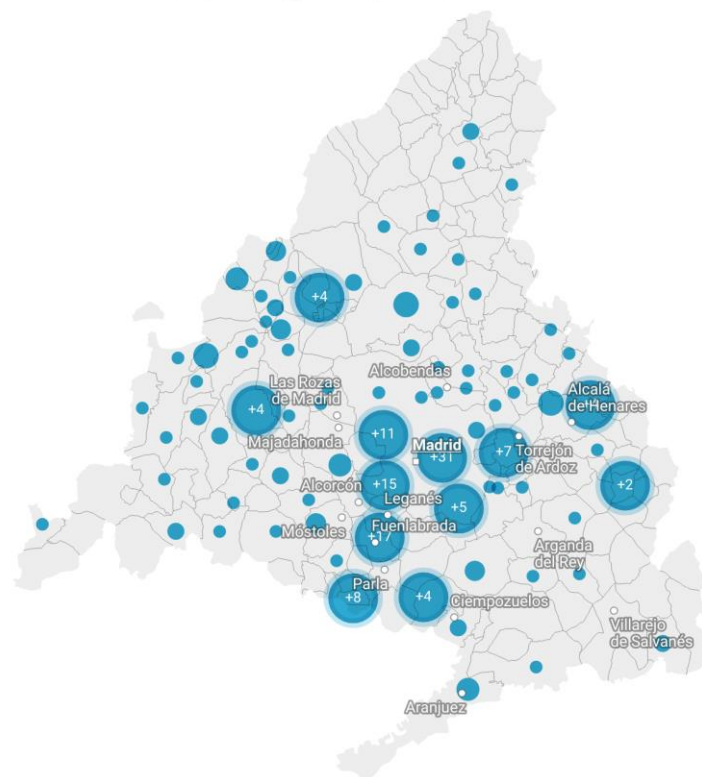
28918 Leganés, Madrid, Spain	1	28792 Miraflores de la Sierra, Madrid, Spain	1
28014 Madrid, Spain	3	28891 Velilla de San Antonio, Madrid, Spain	1
28031 Madrid, Spain	6	28051 Madrid, Spain	19
28011 Madrid, Spain	8	28280 El Escorial, Madrid, Spain	1
28924 Alcorcón, Madrid, Spain	2	28294 Robledo de Chavela, Madrid, Spain	1
28220 Majadahonda, Madrid, Spain	2	28214 Fresnedillas de la Oliva, Madrid, Spain	2
28830 San Fernando de Henares, Madrid, Spain	2	28293 Zarzalejo, Madrid, Spain	1
28822 Coslada, Madrid, Spain	1	28702 San Sebastián de los Reyes, Madrid, Spain	1
28025 Madrid, Spain	6	28430 Guadarrama, Madrid, Spain	2
28807 Alcala de Henares, Madrid, Spain	3	28295 Valdemaqueda, Madrid, Spain	1
28047 Madrid, Spain	5	28229 Villanueva del Pardillo, Madrid, Spain	1
28935 Móstoles, Madrid, Spain	3	28290 Las Rozas de Madrid, Madrid, Spain	1
28933 Móstoles, Madrid, Spain	2	28514 Nuevo Baztán, Madrid, Spain	1
Madrid, Spain	1	28320 Pinto, Madrid, Spain	1
Madrid, Spain	1	28693 Quijorna, Madrid, Spain	1
28341 Valdemoro, Madrid, Spain	2	28439 Alpedrete, Madrid, Spain	1
28026 Madrid, Spain	4	28915 Leganés, Madrid, Spain	1
28660 Boadilla del Monte, Madrid, Spain	4	28342 Valdemoro, Madrid, Spain	1
28600 Navalcarnero, Madrid, Spain	1	28982 Parla, Madrid, Spain	1
28380 Colmenar de Oreja, Madrid, Spain	1	28970 Humanes de Madrid, Madrid, Spain	2
28794 Guadalix de la Sierra, Madrid, Spain	1		

Tabla 5: Número de entidades benéficas por localidad de Madrid. Fuente: Banco de Alimentos de Madrid.

Para analizar la cantidad de núcleos de demanda que existen en la Comunidad de Madrid, se han utilizado las direcciones de cada una de las entidades benéficas proporcionado por el mismo Banco de Alimentos de Madrid para ubicarlas en el mapa que se presenta a continuación, destacando las comunidades de Madrid Central, Alcalá de Henares, Alcorcón, Leganés, Parla y Fuenlabrada, entre otras muchas más.

### Entidades Benéficas actuales (2022)

Concentración de entidades benéficas por municipio de Madrid



Map: Elaboración propia • Source: Banco de Alimentos de Madrid • Created with Datawrapper

*Figura 1: Mapa de la Comunidad de Madrid de las diferentes entidades benéficas vigentes en 2022. Fuente: Elaboración propia*

Con la colaboración de Viena Capellanes y TooGoodToGo, se ha podido hallar cuales son los establecimientos de Viena que ofertan diariamente comida preparada fuera de mercado y sus respectivas ubicaciones, pudiendo elaborar un mapa de la oferta en la Comunidad de Madrid:

**Establecimientos activos Viena Capellanes (2022)**



*Figura 2: Mapa de la Comunidad de Madrid de los diferentes establecimientos de Viena Capellanes activos en 2022. Fuente: TooGoodToGo*

Con estos datos proporcionados directamente desde las empresas mencionadas anteriormente, se puede modelar un canal de distribución de comida preparada teniendo en cuenta la oferta, la demanda y los posibles responsables de la operación que serán los diferentes bancos de alimentos de Madrid.

### **4.3 HIPÓTESIS DE MODELADO**

A continuación, se describen las hipótesis utilizadas en la simulación. Se formulan, por un lado, para simplificar la complejidad del problema en estudio y, por otro lado, para el diseño por limitaciones computacionales o para simplificar los análisis a realizar. A continuación, se presentan cada una de dichas hipótesis:

- 1) Se supone la hipótesis de calidad admisible de todos los tipos de comida preparada que vayan a ser enviados desde los establecimientos.

Se realizó un estudio para determinar la calidad microbiológica de varios tipos de comidas preparadas y su riesgo de infecciones alimentarias. Se examinó un total de 666 comidas preparadas listas para el consumo. Estos productos fueron examinados para los siguientes parámetros: *Salmonella* spp., *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli* O157, *Campylobacter* spp., *Bacillus cereus*, estafilococos coagulasa-positivos, bacterias anaerobias reductoras de sulfitos, *E. coli*, mohos-levaduras y enterotoxina estafilocócica, tal como se indica en el Reglamento (CE) nº 2073/2005 de la Comisión, de 15 de noviembre de 2005, relativo a los criterios microbiológicos aplicables a los productos alimenticios. Se comprobó que 612, que supone el 92% de los platos preparados investigados se ajustaban a los criterios de seguridad alimentaria y a los límites de microorganismos patógenos mencionados en el Reglamento, mientras que 54 de ellos (8%) no eran aptos para el consumo (Şenses-Ergül *et al.*, 2015).

- 2) Las entidades benéficas que participan en el modelo RUTOPT serán únicamente de consumo, debido a la necesidad de consumir las comidas preparadas lo antes posible para aprovechar su corta vida útil.

Esta hipótesis se basa en que el Banco de Alimentos de Madrid distribuye alimentos a través de entidades benéficas legalmente reconocidas para ayudar y apoyar a personas en riesgo de pobreza y exclusión social. Son estas entidades las que proveen los alimentos que el BAM suministra a las poblaciones más vulnerables. Se han segmentado las categorías de beneficiarios en entidades de consumo, que son aquellas que elaboran comidas para ser consumidas en sus instalaciones, y entidades de reparto, que son aquellas que entregan a sus beneficiarios lotes de alimentos para que los cocinen y consuman en su hogar.

- 3) Se asigna un coste fijo de operación de 0.048 €/kg.

Según la Memoria Anual del Banco de Alimentos de Madrid (2020) cada kilo de alimentos entregado por el banco a las entidades benéficas tuvo en 2020 un coste medio de distribución de 4,8 céntimos de euro (pp. 34). En este coste incurren también los de mantenimiento, manipulación y de inventario del producto terminado.

- 4) Se supone que cada pack sorpresa de los establecimientos de Viena Capellanes se supondrá que tiene un peso de 1 kilogramo.
- 5) FESBAL estima que el coste de cubrir las necesidades alimentarias de una persona es de 60€/mes (Castañón et al., 2020). Se estima que una persona tenga 2 comidas al día, por lo tanto, en un mes tendrá 60 comidas. Lo cual, en líneas generales y en consonancia con la hipótesis anterior, esto implica que cada kilogramo de comida (por ejemplo, menú de sopa de 500 gr, 150 gr de proteína, 250 gr de ensalada y 100 gr de pan) tendrá un valor de 1€.
- 6) El coste asociado al desperdicio de comida se establece igual al valor económico de ésta, esto es, que cada kg de comida desperdiciada tendrá un coste de penalización asociado de 1€/kg.
- 7) Para transportar la comida preparada susceptible a ser donada se utilizarán vehículos refrigerados articulados. Según el Observatorio de costes del transporte de mercancías (2022), el coste total por kilómetro de este vehículo es de 1,2665 €/km (pp. 28) y será el coste de transporte que se utilizará en el modelo RUTOPT.

- 8) Todos los alimentos susceptibles para donar por un establecimiento irán en el mismo vehículo refrigerado y se realizará solo una ruta, la óptima en cuanto a costes se refiere. Cada establecimiento realizará su propia ruta, al igual que las entidades de consumo que se supondrá que utilizan un vehículo refrigerado para abastecerse en los bancos de alimentos de los platos preparados para su correcta manipulación y transporte.
- 9) Si hay más de 4 días de margen hasta la fecha de caducidad de algún alimento de cualquier establecimiento de comida preparada, se considerará que es un alimento tratable por los bancos de alimentos, ya que así lo han deseado ellos en reuniones con el equipo de este proyecto en este año. De lo contrario, no sería susceptible a ser tratados por estas organizaciones benéficas, y habría que buscar otras rutas alternativas. La idea de RUTOPT es asignar rutas desde los establecimientos directamente a las entidades de consumo que quieran participar en la operación de aprovisionamiento de comida preparada. Así se consigue una solución alternativa para conseguir 0% de despilfarro alimenticio.

## 4.4 FORMULACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO

Esta sección recoge la nomenclatura utilizada para construir el modelo RUTOPT. Los índices y las variables se representan en minúsculas, mientras que los parámetros se representan en mayúsculas.

### 4.4.1 NOMENCLATURA

Índices	Significado
$a$	Tipo de alimentos {jamón ibérico, tortilla de patata, bocadillos, pizza, quesos...}



- i Establecimientos de comida preparada {A, B, C, D...}
- j Bancos de Alimentos {San Fernando, Merca Madrid, Corredor del Henares, Sur Metropolitano}
- k Entidades benéficas de consumo {1, 2, 3, 4...}

*Tabla 6: Índices del modelo matemático. Fuente: Elaboración propia.*

<b>Parámetros</b>	<b>Significado</b>
$E_k$	Decisión de la entidad benéfica de participar en la operación [1; si se asigna. 0; de lo contrario]
$CE_{a,i}$	Cantidad de alimentos del tipo a en el establecimiento i [kg]
$F_{a,i}$	Días restantes hasta la fecha de caducidad del producto a en el establecimiento i [1; si tiene menos de 4 días hasta la fecha. 0; de lo contrario]
$DVB_{i,j}$	Distancia desde el establecimiento i hasta el banco de Alimentos j [km]
$DVE_{k,i}$	Distancia desde el establecimiento i hasta la entidad de consumo k [km]
$DBE_{k,j}$	Distancia desde el banco de alimentos j hasta la entidad de consumo k [km]

FP	Factor de penalización por no donar alimentos a las organizaciones benéficas [€/kg]
CT	Coste unitario del transporte de mercancías en vehículo refrigerado articulado [€/km]
CO	Coste medio unitario de operación de los bancos de alimentos [€/kg]
M	Límite superior en las restricciones del modelo [1000]
mm	Límite inferior en las restricciones del modelo [-4]

*Tabla 7: Parámetros del modelo matemático. Fuente: Elaboración Propia*

<b>Variables</b>	<b>Significado</b>
$x_{i,j}$	Asignación de ruta de transporte entre el establecimiento $i$ y el banco de alimentos $j$ [1; si se asigna. 0; de lo contrario]
$y_{i,k}$	Asignación de ruta de transporte directa-inmediata entre el establecimiento $i$ y la entidad de consumo $k$ [1; si se asigna. 0; de lo contrario]
$z_{j,k}$	Asignación de ruta de transporte entre la entidad benéfica $k$ y el banco de alimentos $j$ [1; si se asigna. 0; de lo contrario]
$v_i$	Asignación de fecha de caducidad próxima de algún alimento en establecimiento $i$ , esto es, una ruta directa-inmediata entre el establecimiento $i$ y su entidad de consumo asociada [1; si se asigna. 0; de lo contrario]
$b_i$	Asignación de ruta de transporte viable entre un establecimiento y uno de los bancos de alimentos [1; si se asigna. 0; de lo

	contrario]
$d_j$	Asignación de que le llegan cantidades de comida al banco de alimentos $j$ [1; si se asigna. 0; de lo contrario]
$\text{kilosbanc}_j$	Cantidad total de excedentes de comida preparada que recibe cada banco de alimentos $j$ [kg]
$\text{kilostransp}_{i,j}$	Cantidad total de comida preparada que es donada desde el establecimiento $i$ al banco de alimentos $j$ [kg]

*Tabla 8: Variables del modelo matemático. Fuente: Elaboración Propia*

#### 4.4.2 FUNCIÓN OBJETIVO

El modelo de distribución propuesto minimiza el coste total del transporte de alimentos y los costes de distribución de las organizaciones benéficas en un día laborable desde el punto de vista del Banco de Alimentos de Madrid, entendido como una organización que se esfuerza por prestar servicios sociales y responsable del estado nutricional de los beneficiarios.

Los costes para minimizar son los del transporte de utilizar un vehículo refrigerado articulado para suministrar los excedentes desde los establecimientos, los costes medios de distribución de los bancos de alimentos y los relativos al factor de penalización de no donar alimentos a las organizaciones benéficas.

Se tiene un modelo centralizado que simulará la operativa actual del Banco de Alimentos de Madrid, y un modelo híbrido-descentralizado que propone como alternativa enviar alimentos directamente a las entidades de consumo. Cada uno con

sus respectivas funciones objetivo:

Modelo híbrido-descentralizado:

$$\min CT \cdot (\sum_{i,j} DVB_{i,j} \cdot x_{i,j} + \sum_{i,k} DVE_{k,i} \cdot y_{i,k} + \sum_{j,k} DBE_{k,j} \cdot z_{j,k} ) + CO \cdot \sum_j \text{kilosbanc}_j \quad (1)$$

Modelo centralizado:

$$\min CT \cdot (\sum_{i,j} DVB_{i,j} \cdot x_{i,j} + \sum_{j,k} DBE_{k,j} \cdot z_{j,k} ) + CO \cdot \sum_j \text{kilosbanc}_j + FP \cdot \sum_i \sum_a CE_{a,i} \cdot V_i \quad (1^*)$$

#### 4.4.3 RESTRICCIONES

Esta sección detalla la formulación de las ecuaciones de ajuste de la función objetivo, detalladas en la sección anterior, junto con comentarios relevantes para ayudarlo a comprender mejor.

##### 1. Control de la fecha de caducidad de los alimentos de los establecimientos de comidas preparadas.

Las siguientes restricciones identifican si los productos que son susceptibles a ser donados se encuentran en un margen considerable de días restantes hasta su fecha de caducidad, para cada establecimiento que suministra excedentes de platos preparados.

$$\sum_a F_{a,i} \geq 1 + mm \cdot (1 - v_i) \quad \forall i \quad (2)$$

$$\sum_a F_{a,i} \leq M \cdot v_i \quad \forall i \quad (3)$$

La restricción (2) se formula para que, si al menos uno de los productos de algún establecimiento presenta una fecha de caducidad próxima ( $F_{a,i}=1$ ) se establezca una ruta directa entre alguna de las entidades de consumo que quiera participar en la operación y el establecimiento en cuestión. De esta asignación se encarga la variable binaria  $v_i$ , que se activa (su valor es 1) si encuentra al menos un alimento próximo a la fecha de caducidad. La restricción (3) se formula para que no se asignen rutas

directas a las entidades si los todos los productos que son susceptibles de ser donados presentan una adecuada vida útil para ser transportados a los diferentes bancos de alimentos, para cada establecimiento en cuestión. La formulación quedaría de la siguiente manera:

$$v_i = 1 \rightarrow 1 \leq \sum_a F_{a,i} \leq M$$

$$v_i = 0 \rightarrow mm \leq \sum_a F_{a,i} \leq 0$$

Siendo M y mm los límites superiores e inferiores indicados en la sección 4.4.1 de este capítulo.

## 2. Asignación de rutas establecimiento-banco y establecimiento-entidad de consumo.

$$\sum_j x_{i,j} = b_i \quad \forall i \quad (4)$$

$$\sum_k E_k \cdot y_{i,k} = v_i \quad \forall i \quad (5)^2$$

La restricción (4) establece una primera ruta entre los establecimientos y los bancos de alimentos. La restricción (5) se encargará de establecer una ruta inmediata entre los establecimientos y las entidades benéficas de consumo, siempre y cuando estas últimas quieran participar en la operación que se formula (ya sea porque tengan capacidad suficiente de almacenamiento en ese momento, porque puedan consumir ese tipo de alimentos las personas que pertenecen a esa entidad, etc.). De la optimalidad de las rutas se encargará la función objetivo (1), que asignará las rutas más económicamente viables.

## 3. Relación entre variables de rutas.

La siguiente restricción asegura que solo existirá un destino para cada establecimiento. Si se establece una ruta entre un establecimiento y una entidad, este no podrá enviar alimentos a ningún otro destino, y viceversa.

---

<sup>2</sup> Esta restricción no se utiliza en el modelo centralizado.

$$v_i + b_i = 1 \quad \forall i \quad (6)$$

#### 4. Control de la cantidad de alimentos preparados que se transportan a los bancos de alimentos:

Las siguientes restricciones hacen alusión al flujo de alimentos que se transportarán en la cadena de suministro diseñada.

$$\text{kilostransp}_{i,j} = x_{i,j} \cdot \sum_a CE_{a,i} \quad \forall i,j \quad (7)$$

$$\text{kilosbanc}_j = \sum_i \text{kilostransp}_{i,j} \quad \forall j \quad (8)$$

La ecuación (7) define la cantidad de kilogramos de alimentos que se transportan desde un establecimiento  $i$  hasta un banco de alimentos  $j$ , siempre y cuando se establezca como destino alguno de los bancos disponibles. La ecuación (8) se relaciona con la anterior y muestra la cantidad de alimentos que recibió cada banco de alimentos después de enviar todos ellos desde los establecimientos.

Cabe destacar en este apartado que este modelo establece un único destino por cada establecimiento que donará alimentos, por lo tanto, todos los alimentos de un mismo establecimiento que sean susceptibles a ser donados serán enviados al mismo banco de alimentos en cuestión. Lo mismo pasará con la cantidad de alimentos que se envíen directamente a las entidades benéficas. Estas últimas recibirán la cantidad total de alimentos del establecimiento que pueda transportar las donaciones en un único viaje.

#### 5. Control de existencias de comida preparada en los bancos de alimentos.

Las siguientes restricciones identifican si un banco de alimentos ha llegado a recepcionar alimentos durante las primeras rutas de suministro, para cada banco en cuestión.

$$\text{kilosbanc}_j \geq 1 + \text{mm} \cdot (1 - d_j) \quad \forall j \quad (9)$$

$$\text{kilosbanc}_j \leq M \cdot d_j \quad \forall j \quad (10)$$

La variable binaria  $d_j$  es la encargada de asignar si un banco de alimentos ha recibido algún tipo de comida preparada, o no, durante el proceso. La restricción (9) asegura que ha llegado a haber recepción de alimentos por parte del banco  $j$ . La restricción (10) asegura que no se han recepcionado alimentos, en el caso de que no se haya enviado ningún kilogramo al banco en cuestión. La formulación quedaría de la siguiente forma:

$$d_j = 1 \rightarrow 1 \leq \text{kilosbanc}_j \leq M$$

$$d_j = 0 \rightarrow \text{mm} \leq \text{kilosbanc}_j \leq 0$$

Siendo  $M$  y  $\text{mm}$  los límites superiores e inferiores indicados en la sección 4.4.1 de este capítulo.

6. Asignación de rutas entre entidades benéficas de consumo y bancos de alimentos:

$$\sum_k E_k \cdot z_{j,k} \leq d_j \cdot \sum_k E_k \quad \forall j \quad (11)$$

$$\sum_j z_{j,k} + \sum_i y_{i,k} = E_k \quad \forall k \quad (12)$$

La restricción (11) establece una ruta entre las entidades benéficas y los bancos de alimentos. La restricción (12) se encargará de establecer una ruta inmediata entre los establecimientos y las entidades benéficas de consumo, siempre y cuando estas últimas quieran participar en la operación que se formula (ya sea porque tengan capacidad suficiente de almacenamiento en ese momento, porque puedan consumir ese tipo de alimentos las personas que pertenecen a esa entidad, etc.). De la optimalidad de las rutas se encargará la función objetivo (1), que asignará las rutas más económicamente viables.

## Capítulo 5. CASO DE ESTUDIO

En este capítulo se utilizarán los datos de entrada necesarios para validar el modelo RUTOPT. En primer lugar, se necesitan las distancias entre cada uno de los participantes de la cadena. Esto se ha realizado en Google Sheets, utilizando la herramienta de Apps Script. Las funciones de esta herramienta permiten:

- Obtener direcciones completas a partir de una dirección parcial
- Calcular distancia y tiempo entre dos puntos para diferentes medios de transporte
- Ordenar destinos por distancia (por ejemplo, de más cercanos a más lejanos).

Para el modelo que se presenta, se ha utilizado el código Geocode en la herramienta de Apps Script, donde se han sacado las distancias en medio de transporte terrestre entre dos puntos con la API (interfaz de programación de aplicaciones) de Google Maps.

En segundo lugar, es necesario conocer diferentes tipos de platos preparados que sean susceptibles de ser donados. Desde Viena Capellanes trabajan con alimentos de catering y pastelería a domicilio. En el modelo utilizaremos diferentes bandejas de catering (ibéricos, quesos, ahumados, etc.) que servirán como comida preparada sujeto de estudio.

Los costes de transporte y de operación también han de ser conocidos. Estos se detallan en el capítulo anterior en la sección de hipótesis de modelado ([4.3](#)).

Por último, es necesario conocer si las entidades benéficas participarán en la operación de distribución de los platos preparados, ya sea porque tienen capacidad de almacenamiento para hacerlo o consumidores que lo puedan aprovechar.



## 5.1 DATOS DE ENTRADA

Se cuenta con las direcciones de los 25 establecimientos de Viena Capellanes, que serán los puntos de oferta en nuestro modelo. También se cuenta con las direcciones de los 4 bancos de alimentos de Madrid disponibles y con las 565 entidades benéficas que trabajan juntamente con los bancos y que tratan con los consumidores finales del producto que se transportará, que serán las bandejas de platos preparados que ofertan desde Viena Capellanes diariamente. Para validar el modelo se ha reducido esta información a 5 establecimientos de Viena, los 4 bancos de alimentos disponibles en este momento y 10 diferentes localidades donde se encuentran diferentes entidades benéficas. Se han elegido las localidades que cuentan con mayor número de entidades benéficas en dicha región. A continuación, se muestran los diferentes agentes de la Comunidad de Madrid que participarán como datos de entrada en el modelo RUTOPT:

- Viena Capellanes: C/ Joan Maragall, María de Molina, Marqués de Urquijo, Génova y Goya.
- Bancos de Alimentos: Colegio San Fernando, Delegación de Corredor del Henares, Mercamadrid y Sur Metropolitano.
- Entidades benéficas: Código postal 28044, 28029, 28015, 28053, 28021, 28019, 28028, 28017, 28012 y 28051.

A continuación, se presenta una tabla con las distancias entre cada una de las rutas posibles en el modelo RUTOPT utilizando la herramienta Geocode:

VIENAS/BANCOS	SF	ALCALÁ	MM	ALCORCÓN
J. MARAGALL	11.8 km	35.9 km	17.1 km	32.6 km
M.MOLINA	16.2 km	31.3 km	15.1 km	22.3 km
M.URQUIJO	16.6 km	45.1 km	12.7 km	18.4 km

GÉNOVA	20.2 km	35.0 km	14.8 km	21.1 km
GOYA	16.8 km	31.9 km	14.6 km	21.4 km

Tabla 9: Datos de entrada al modelo. Distancia entre los establecimientos y los bancos de alimentos.

Fuente: Elaboración propia

VIENAS / ENTIDADES BENÉFICAS	J. MARAGALL	M. MOLINA	M. URQUIJO	GÉNOVA	GOYA
28044	20.4 km	17.2 km	10 km	16 km	16.3 km
28029	2.6 km	5.8 km	8.7 km	7.4 km	10.1 km
28015	5 km	2.6 km	1.4 km	2.2 km	2.7 km
28053	17 km	15 km	11.3 km	14 km	13.9 km
28021	18.5 km	16.5 km	13.8 km	15.4 km	14.3 km
28019	16.6 km	14.7 km	6.5 km	7.1 km	7.4 km
28028	6.9 km	5 km	5 km	3.2 km	2.3 km
28017	10.6 km	8.6 km	8.4 km	6.3 km	6.2 km
28012	8.3 km	4.9 km	3.9 km	3.6 km	3.9 km
28051	21.8 km	19.9 km	20 km	17.8 km	17.7 km

Tabla 10: Datos de entrada al modelo. Distancia entre los establecimientos y las entidades benéficas de consumo.

Fuente: Elaboración propia

BANCOS /ENTIDADES	SF	CORREDOR DEL HENARES	MERCAMADRID	SUR METROPOLITANO
28044	26.5 km	47.7 km	13.5 km	11.1 km
28029	7.9 km	37.3 km	18.5 km	32.3 km
28015	16.9 km	33.5 km	12.7 km	18.5 km
28053	26.6 km	34.9 km	1.8 km	19.1 km
28021	30.5 km	43.4 km	8.8 km	19.2 km
28019	22.5 km	39.6 km	9 km	16.4 km
28028	15.0 km	30.3 km	11.3 km	26.1 km
28017	18.5 km	31.5 km	11.4 km	28.6 km
28012	22.9 km	36.5 km	8.6 km	18.8 km
28051	31.7 km	37.5 km	11.6 km	29.5 km

*Tabla 11: Datos de entrada al modelo. Distancia entre los bancos de alimentos y las entidades benéficas de consumo. Fuente: Elaboración propia.*

Se tiene también la información de las entidades benéficas que quieren participar en la operación (1 si participan; 0 de lo contrario):

ENTIDADES BENÉFICAS DE CONSUMO	Decisión si participar o no en la operación de suministros  (1 si participan; 0 de lo contrario)
--------------------------------------	---

28044	1
28029	1
28015	1
28053	0
28021	1
28019	1
28028	1
28017	1
28012	0
28051	1

*Tabla 12: Datos de entrada al modelo relativo a la inclusión de las entidades benéficas de consumo en el modelo.*

*Fuente: Elaboración propia.*

En cuanto a los productos se refiere, se ha examinado la base de datos de Viena Capellanes y los diferentes platos preparados de catering que se ofertan en los establecimientos. Con la información cotejada con la empresa agroalimentaria, se sabe que los productos en todos los establecimientos son homogéneos y se han utilizado los siguientes:

- Bandeja Ibéricos: chorizo ibérico, jamón ibérico, salchichón ibérico y pan feo.
- Bandeja quesos y fuet: quesos Payoyo, Ibores, Navaloshaces, Idiazábal, fuet y pan feo.
- Bandeja coffee nº2: surtido de dos minis sándwiches de jamón cocido y queso y mini sándwich de atún y huevo.

- Bandeja coffee nº7: mini croissant natural y dos unidades de mini barrita de jamón ibérico con tumaca.
- Bandeja nº6: bocadillo de salmón ahumado, mini hot dog con cebolla crujiente y piñón de lomo ibérico con queso.
- Bandeja nº10: mini pita de pollo con salsa kebab, bocadillo de salmón ahumado y piñón de lomo ibérico con queso.

La refrigeración de los platos preparados expuestos será de 0-4°C según se indica en el departamento de calidad de Viena Capellanes. Se recomienda consumir en el día. La cantidad de bandejas que serán dispensadas desde cada establecimiento en nuestro modelo RUTOPT serán las mismas que la cantidad total de packs ofertados por los mismos en el mes de abril de 2022 con la empresa de TooGoodToGo, empresa que coteja esta información y se ha compartido para el desarrollo de este modelo. Como se indica en el capítulo anterior en la sección de hipótesis de modelado (4.3) cada pack ofertado se considerará de 1 kilogramo. También se tiene información de los productos que están próximos a su fecha de caducidad (1 si lo están; 0 de lo contrario). Por ejemplo, 2kg/1 significa que se tienen 2 kilogramos de producto susceptible a ser donado y que los días restantes hasta la fecha de caducidad es menor a 4 días; 7kg/0 significa que se tienen 7 kilogramos de producto susceptible a ser donado y que los días restantes hasta la fecha de caducidad es mayor a 4 días; etc.

El resultado se expone en la siguiente tabla:

VIENAS/ PACKS OFERTADOS	JOAN MARAGALL	MARIA DE MOLINA	MARQUÉS DE URQUIJO	GÉNOVA	GOYA
Bandeja Ibéricos	7 kg/0	1 kg/0	13 kg/0	2 kg/0	13 kg/1
Bandeja quesos y fuet	6 kg/0	2 kg/0	7 kg/0	4 kg/0	5 kg/1

Bandeja coffee nº2	0 kg/0	2 kg/0	23 kg/0	0 kg/0	0 kg/0
Bandeja nº10	7 kg/0	1 kg/0	11 kg/0	0 kg/0	3 kg/0
Bandeja coffee nº7	5 kg/0	0 kg/0	0 kg/0	1 kg/0	2 kg/1
Bandeja nº6	5 kg/0	1 kg/0	5 kg/0	0 kg/0	0 kg/0
PACKS TOTALES OFERTADOS <sup>3</sup>	30	7	59	7	23

*Tabla 13: Datos de entrada al modelo. Platos preparados susceptibles de ser donados por las entidades benéficas de consumo. Fuente: Elaboración propia.*

Por último, es necesario cotejar información acerca de los costes de transporte del vehículo refrigerado que se va a utilizar en el modelo RUTOPT y el coste de operación actual del banco de alimentos de Madrid. Esta información queda patente en el capítulo anterior, en la sección de hipótesis de modelado (4.3).

## 5.2 ANÁLISIS DEL MODELO HÍBRIDO-DESCENTRALIZADO

El ejemplo del caso base simplemente prueba la respuesta del modelo, lo que confirma su correcto funcionamiento.

El lenguaje informático que se ha utilizado es el lenguaje de modelado algebraico (AML) y se ha utilizado la herramienta GAMS (General Algebraic Modeling System) para la formulación del modelo RUTOPT. Esta herramienta computacional puede simular problemas de optimización lineal, no lineal y mixta, así como realizar programación matemática. Esto es especialmente útil

<sup>3</sup> Datos de Meals Supply en el mes de abril de TooGoodToGo en cada establecimiento de Viena Capellanes.

para problemas grandes y complejos porque le permite crear modelos grandes que pueden adaptarse rápidamente a nuevas situaciones, como es el caso del modelo planteado.

El solucionador utilizado es IBM CPLEX Optimizer, que es un solucionador matemático de alto rendimiento para programación lineal, programación entera mixta y programación cuadrática. Con la formulación del modelo (expuesto en el [apartado 4.4](#)) y el solucionador, se puede pedir a GAMS que minimice la función objetivo utilizando MIP (programación entera mixta) ya que el modelo en cuestión, a pesar de utilizar en gran parte variables binarias, presenta variables enteras que son de interés.

Los resultados más relevantes del modelo se presentan y discuten a continuación. Los resultados se presentarán en el siguiente orden: primero las rutas óptimas y la cantidad de kilogramos enviados desde los establecimientos a los bancos de alimentos, junto con las rutas óptimas entre los establecimientos y las entidades benéficas que quieran participar en la operación (Tabla X), después la cantidad de kilogramos de platos preparados donados a cada banco por los establecimientos (Tabla X) y las entidades benéficas asignadas a los bancos de alimentos que reciben estos platos (Tabla X). Finalmente, se presentarán y discutirán los resultados relacionados con los costos del modelo.

RUTAS ÓPTIMAS	KILOGRAMOS ENVIADOS
Viena Poeta Maragall a Banco San Fernando	30 kg
Viena Marqués de Urquijo a Banco Mercamadrid	59 kg
Viena Génova a Banco Mercamadrid	7 kg
Viena María de Molina a Banco Mercamadrid	7 kg
Viena Goya a Código Postal 28015	23 kg

*Tabla 14: Resultados del modelo descentralizado. Rutas óptimas. Fuente: Elaboración propia.*

En la Tabla 14 se pueden apreciar las rutas óptimas asignadas a los establecimientos de Viena Capellanes, ya sea a bancos de alimentos o directamente a las entidades benéficas. El modelo RUTOPT ha detectado en el establecimiento Goya 3 platos preparados que están próximos a su fecha de caducidad, por este motivo la alternativa que se propone es enviar todos los productos desde este Viena a la entidad benéfica que en primer lugar quiera participar en la operación y por último que presente la ruta más económica posible (que viene siendo lo mismo a la que esté más cerca del establecimiento en cuestión, ya que el vehículo que se utiliza en nuestro modelo es homogéneo para todos ellos). Los demás establecimientos no presentan ningún plato preparado cerca de su fecha de caducidad, por lo tanto, han sido enviados a los bancos de alimentos que presentan la ruta que presenta menor costes. A continuación, se presenta el número total de donaciones que ha recibido cada banco de alimentos en la operación:

BANCOS DE ALIMENTOS DE MADRID	CANTIDAD DE DONACIONES DE PLATOS PREPARADOS [KG]
Delegación del Colegio San Fernando	30 kg
Delegación del Corredor del Henares	-
Delegación de Mercamadrid	73 kg
Delegación del Sur Metropolitano	-

*Tabla 15: Resultados del modelo descentralizado. Cantidad de donaciones recibidas. Fuente: Elaboración propia.*

Se puede apreciar en la Tabla 15 que la mayor cantidad de donaciones se han realizado a la Delegación de Mercamadrid, que es el banco de alimentos más céntrico de la Comunidad de Madrid. Este resultado tiene sentido ya que la mayoría de los establecimientos de Viena Capellanes se sitúan en el centro de la comunidad y tenderán a enviar alimentos al banco de alimentos más cercano para minimizar los costes de transporte. El establecimiento de Viena



Capellanes ubicado en C/Poeta Maragall es el único que donará al banco de alimentos situado en el Colegio San Fernando, debido a su cercanía. Estos resultados se pueden comprobar con los datos de entrada al modelo RUTOPT y los presentados hasta el momento tienen la coherencia necesaria para validar la solución que se propone.

Una vez enviadas las donaciones de platos preparados a los bancos de alimentos en cuestión, se proceden a realizar las tareas de logística de aprovisionamiento, almacenamiento y distribución. Para la distribución de los alimentos, el modelo RUTOPT indicará las entidades benéficas que son asignadas a cada banco de alimentos en cuanto a cercanía y decisión de participar en la operación, o no:

ENTIDADES BENÉFICAS	Nº ENTIDADES BENÉFICAS POR LOCALIDAD	BANCOS DE ALIMENTOS ASIGNADOS
Código Postal 28044 (Zona de Carabanchel)	11	Delegación de Mercamadrid
Código Postal 28029 (Zona de El Pilar)	12	Delegación de San Fernando
Código Postal 28015 (Zona de Alberto Aguilera)	10	Recibe directamente los platos desde Viena Goya
Código Postal 28053 (Zona de Entrevías)	12	No participa en la operación

Código Postal 28021 (Zona de Villaverde)	14	Delegación de Mercamadrid
Código Postal 28019 (Zona de San Isidro)	12	Delegación de Mercamadrid
Código Postal 28028 (Zona de Guindalera)	10	Delegación de Mercamadrid
Código Postal 28017 (Zona de San Blas-Canillejas)	15	Delegación de Mercamadrid
Código Postal 28012 (Zona de Lavapiés)	10	No participa en la operación
Código Postal 28051 (Zona de Vallecas)	19	Delegación de Mercamadrid

*Tabla 16: Resultados del modelo descentralizado. Asignación de entidades de consumo a bancos de alimentos que reciben donaciones. Fuente: Elaboración propia.*

Con el estudio realizado en el apartado [4.2](#) también se ha incluido en la Tabla 16 el número de entidades benéficas que se ubican en la localidad indicada, y que pueden aprovecharse de los resultados de la operación de este modelo.

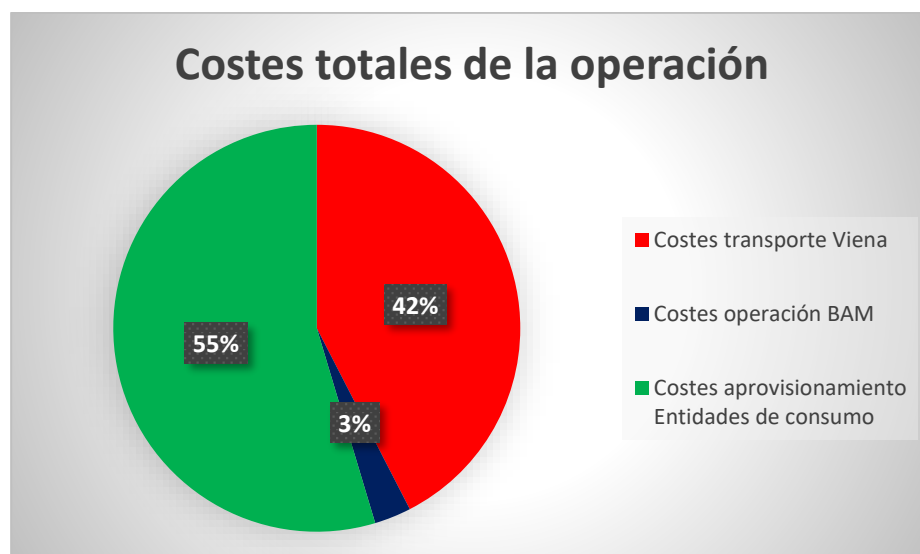
Los resultados que devuelve el modelo RUTOPT acerca de los costes son los siguientes:

Coste total de la operación	170,3798 €
-----------------------------	------------

Coste de transporte de Viena Capellanes	72,3171 €
Coste de operación de los bancos de alimentos	4,9749 €
Coste de aprovisionamiento de las entidades de consumo	93,0878 €

Tabla 17: Resultados del modelo descentralizado. Costes. Fuente: Elaboración propia.

Los resultados del modelo apuntan que el coste total de suministrar 126 kilogramos de platos preparados desde los establecimientos de Viena Capellanes hasta las entidades benéficas de consumo supondrá un valor de 170,3798 €. Este coste los reparte el modelo RUTOPT en 3 diferentes subcostes. En primer lugar, el coste de transportar los todos los platos preparados en un vehículo refrigerado articulado desde los establecimientos hasta los destinos indicados. En segundo lugar, los costes de operación de los Bancos de Alimentos de Madrid (mantenimiento, manipulación y de inventario del producto terminado) y, por último, los costes de transporte de las rutas que realizarán los vehículos refrigerados de las diferentes entidades benéficas hasta los bancos de alimentos para recibir los platos preparados donados.



Gráfica 1: Resultados del modelo descentralizado. Representación de los costes. Fuente: Elaboración propia.

La Gráfica 3 muestra el subreparto de costes de una forma más visual. El mayor importe lo tendrán las entidades benéficas de consumo para ir a los respectivos bancos de alimentos a aprovisionarse de las donaciones recibidas (55%). Esto se debe a que existen más puntos de demanda que de oferta en los datos de entrada al modelo, y deberán realizar una mayor cantidad de viajes con el vehículo terrestre refrigerado. Un poco más de un tercio de los gastos (42%) viene de las rutas que harán los vehículos refrigerados desde los establecimientos hasta los destinos elegidos por RUTOPT y la operación de los BAM solamente supondrá un 3% de los costes totales del canal de distribución. Esto se debe a que no realizarán las tareas correspondientes al transporte de los platos preparados, que supone la mayor parte del gasto de la operación.

Nótese que este coste (en torno a 1.5€/kg de comida transportada) implicaría un valor tremendamente ineficiente para la cadena de suministro del banco de alimentos de Madrid (que mostraba costes de 0.048€/kg, tal como se vio en la sección 4.3). Esto se produce porque el modelo está representando vías de distribución exclusivas al intercambio de alimentos entre establecimientos del Viena Capellanes y sus respectivos destinos de donación, sin tener en cuenta que las cantidades repartidas puedan implicar un uso muy limitado de la capacidad total de los vehículos: de desplazar 10 veces más comida los costes por kg caerían en el mismo factor de 10. Este resultado sugiere que sería relevante concatenar ayudas de distintos establecimientos para aprovechar en mayor medida la capacidad de estos vehículos para hacer que el proceso de transporte sea eficiente en costes (nótese que en este caso estudio se están desplazando 126 kg de comida cuando estos vehículos pueden tener capacidades de un orden de magnitud mayor).

Cabe destacar que los platos donados pueden distribuirse por los bancos de alimentos para almacenarse unos días antes de su fecha de caducidad o pueden ser donados directamente a las entidades benéficas de consumo. Debido a la pluralidad de entidades benéficas por localidad se podrían aprovechar de las donaciones con este canal de distribución hasta 125 diferentes entidades de consumo y, con esta metodología, se consigue una solución alternativa para conseguir 0% de desperdicio alimentario en todos los establecimientos que participan en el canal de distribución, pudiéndose salvar todos los platos preparados susceptibles de ser donados.

### 5.3 ANÁLISIS DEL MODELO CENTRALIZADO

Para simular un modelo que se acerque a la realidad de la operación de los bancos de alimentos se analizará el mismo caso base que se ha utilizado en el modelo híbrido. Se utilizará la función objetivo (1\*) con el fin de aplicar un factor de penalización a los platos preparados que son susceptibles de ser donados y no sean enviados a los almacenes de las organizaciones benéficas. Los alimentos que presenten una fecha de caducidad próxima no participarán en el canal de distribución propuesto.

El modelo RUTOPT para el análisis del modelo centralizado propone las mismas rutas óptimas de distribución que el descentralizado, como cabía esperar. Las únicas rutas que no se realizarán serán las inmediatas entre los establecimientos de platos preparados y las entidades benéficas de consumo. Al establecimiento que no done sus platos preparados al banco de alimentos se le aplicará el factor de penalización por no distribuir dichos platos preparados. A continuación, se presentan los datos que devuelve el modelo RUTOPT acerca de los kilogramos donados, los kilogramos no aprovechados y los costes que representa cada agente de la cadena de suministro elaborada:

BANCOS DE ALIMENTOS DE MADRID	CANTIDAD DE DONACIONES DE PLATOS PREPARADOS [KG]
Colegio San Fernando	30 kg
Delegación del Corredor del Henares	-
Delegación de Mercamadrid	73 kg
Delegación del Sur Metropolitano	-

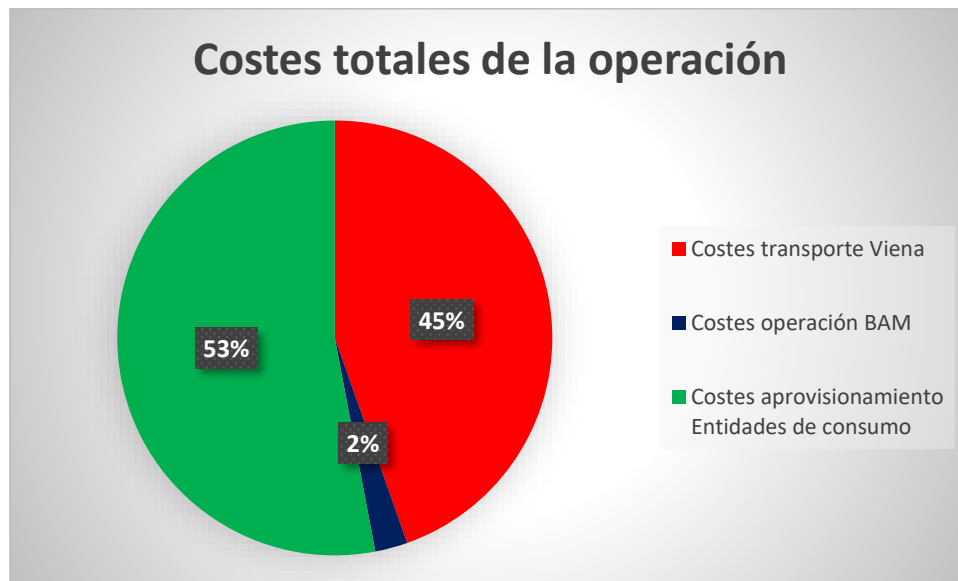
ESTABLECIMIENTOS DE PLATOS PREPARADOS	CANTIDAD DE DONACIONES NO REALIZADAS DE PLATOS PREPARADOS [KG]
Viena Goya	23 kg

Tabla 18: Resultados del modelo centralizado. Cantidad de donaciones tanto realizadas como no aprovechadas.

Fuente: Elaboración propia.

COSTES	Modelo centralizado	Modelo híbrido-descentralizado
Coste total de la operación	206,0448 €	170,3798 €
Coste de transporte de Viena Capellanes	68,8976 €	72,3171 €
Coste de penalización de Viena Capellanes	23 €	0 €
Coste de operación de los bancos de alimentos	4,9749 €	4,9749 €
Coste de aprovisionamiento de las entidades de consumo	109,1723 €	93,0878 €

Tabla 19: Resultados del modelo centralizado. Comparación de costes. Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 2: Resultados del modelo centralizado. Representación de los costes. Fuente: Elaboración propia.

Comparando los costes expuestos por el modelo centralizado se puede apreciar un cambio considerable respecto al descentralizado. Esto se debe al factor de penalización que se les aplica a los platos preparados que no son donados por los establecimientos. Estos últimos son los que sobre todo influirán en que el coste sea más elevado a la hora de elaborar una red de distribución adecuada a las necesidades de los consumidores, siendo para este caso de estudio en concreto 35,665 € mayor. Las demás variaciones en el modelo se deben a eliminar las rutas inmediatas entre los establecimientos y las entidades de consumo, teniendo estas últimas que recoger los platos preparados en los bancos de alimentos asignados. Con estas variables se disminuye ligeramente el coste de transporte de los establecimientos, incrementando el de las entidades benéficas.

Con este análisis se consigue una correcta visión acerca de la problemática actual de los bancos de alimentos, que luchan desesperadamente para combatir el despilfarro alimenticio. Utilizando el modelo híbrido-descentralizado RUTOPT, se consigue una solución alternativa para evitar tirar a la basura todos los platos preparados que son susceptibles de ser donados, además de generar un mejor escenario en cuanto a costes se refiere.

## 5.4 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD (VALIDACIÓN DEL MODELO)

En esta sección realizaremos cambios relevantes en los datos de entrada al modelo híbrido-descentralizado RUTOPT para validar su correcto funcionamiento. En primer lugar, añadiremos dos nuevos núcleos de demanda para analizar donde se asignarán los alimentos donados en cuestión. También cambiaremos la decisión de algunas entidades de consumo que quieran participar en la operación. En segundo lugar, añadiremos un nuevo establecimiento de platos preparados, lo que supondrá un aumento en la cantidad de platos preparados susceptibles a ser donados y modificaremos los establecimientos que presentan alimentos con fecha de caducidad próxima. Finalmente, analizaremos los costes que se presentan en el escenario en cuestión.

A continuación, se muestran los diferentes agentes de la Comunidad de Madrid que participarán como nuevos datos de entrada en el modelo RUTOPT:

- Entidades benéficas de consumo: Código Postal 28850 (Zona de Torrejón de Ardoz), Código Postal 28223 (Zona de Pozuelo de Alarcón).
- Viena Capellanes: C/ Parque Bujaruelo. El establecimiento que presentará alimentos con fecha de caducidad próxima será el de C/María de Molina.

La cantidad de platos preparados de este establecimiento será el número de packs ofertados por dicho Viena Capellanes en el mes de abril de 2022, y la fecha de caducidad de todos sus productos es lejana a la fecha de caducidad mínima requerida para que pueda ser operada por algún banco de alimentos:

VIENA/ PACKS OFERTADOS	PARQUE BUJARUELO
Bandeja Ibéricos	8 kg/0
Bandeja quesos y fuet	10 kg/0
Bandeja coffee n°2	7 kg/0



Bandeja nº10	4 kg/0
Bandeja coffee nº7	2 kg/0
Bandeja nº6	3 kg/0
<b>PACKS TOTALES OFERTADOS<sup>4</sup></b>	26

Tabla 20: Datos de entrada al modelo. Análisis de sensibilidad. Platos preparados susceptibles de ser donados por el establecimiento en cuestión. Fuente: Elaboración propia.

- Las entidades benéficas de consumo en el código postal 28015 (Zona de Alberto Aguilera) decide no participar en esta operación.  $\{E_{CP3}=0\}$ . Las nuevas entidades sí que participarán en la operación que se presenta  $\{E_{CP11}=E_{CP12}=1\}$ .
- Por último, es necesario conocer la distancia en vehículo terrestre entre el nuevo Viena Capellanes y las dos entidades de consumo con los demás puntos del canal de distribución. Utilizando el código Geocode junto con la API (interfaz de programación de aplicaciones) de Google Maps el resultado es el siguiente:

ENTIDADES BENÉFICAS	VIENA PARQUE BUJARUELO	Banco San Fernando	Banco Alcalá de Henares	Banco Mercamadrid	Banco Alcorcón
28850	41 km	29.6 km	11.8 km	25.7 km	43 km
28223	17.6 km	22.9 km	51.4 km	20.8 km	20.4 km
28044	8.3 km				
28029	29.5 km				

<sup>4</sup> Datos de Meals Supply en el mes de abril de TooGoodToGo en cada establecimiento de Viena Capellanes.

28015	15.7 km
28053	16.3 km
28021	16.4 km
28019	13.6 km
28028	23.3 km
28017	25.8 km
28012	16 km
28051	26.4 km

VIENA/BANCOS	Banco San Fernando	Banco Alcalá de Henares	Banco Mercamadrid	Banco Alcorcón
Parque Bujaruelo	33.8 km	49.6 km	15.4 km	2 km

Tabla 21: Datos de entrada al modelo. Análisis de sensibilidad. Distancias. Fuente: Elaboración propia

Una vez introducidos todos los datos entrada al modelo RUTOPT, los nuevos cambios acerca de las rutas óptimas y la cantidad de platos preparados enviados desde los establecimientos son los siguientes:

RUTAS ÓPTIMAS	KILOGRAMOS ENVIADOS
Viena Parque Bujaruelo a Banco Alcorcón	26 kg
Viena María de Molina a Código Postal 28028 (Zona de Guindalera)	7 kg

Tabla 22: Resultados de sensibilidad. Donaciones enviadas. Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, se expone la cantidad total de donaciones recibidas por los establecimientos de Viena Capellanes en todos los bancos de alimentos disponibles y los cambios que realiza el modelo RUTOPT respecto a las entidades de consumo asignadas a cada banco que recibe platos preparados:

BANCOS DE ALIMENTOS DE MADRID	CANTIDAD DE DONACIONES DE PLATOS PREPARADOS [KG]
Delegación del Colegio San Fernando	30 kg
Delegación del Corredor del Henares	-
Delegación de Mercamadrid	89 kg
Delegación del Sur Metropolitano	26 kg

*Tabla 23: Resultados de sensibilidad. Donaciones recibidas. Fuente: Elaboración propia*

ENTIDADES BENÉFICAS	Nº ENTIDADES BENÉFICAS POR LOCALIDAD	BANCOS DE ALIMENTOS ASIGNADOS
Código Postal 28044 (Zona de Carabanchel)	11	Delegación de Alcorcón
Código Postal 28015 (Zona de Alberto Aguilera)	10	No participa en la operación

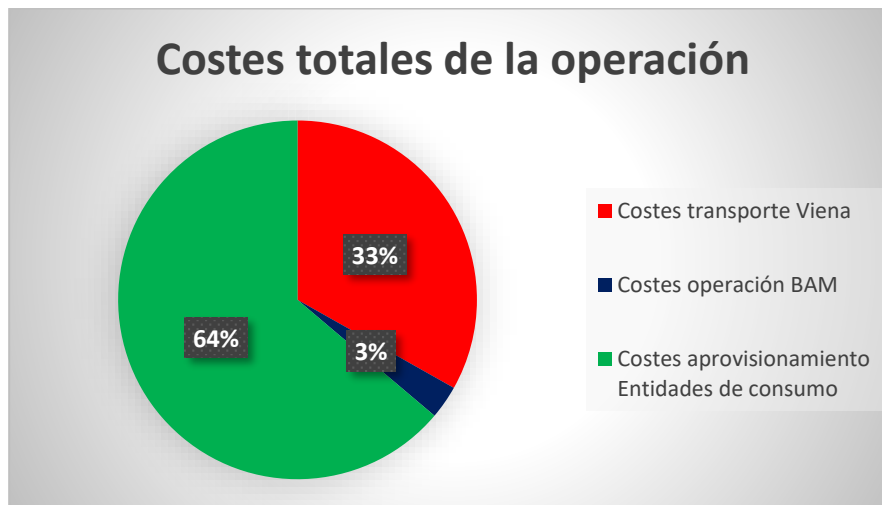
Código Postal 28850 (Zona de Torrejón de Ardoz)	9	Delegación de Mercamadrid
Código Postal 28223 (Zona de Pozuelo de Alarcón)	3	Delegación de Alcorcón

*Tabla 24: Resultados de sensibilidad. Asignación de entidades de consumo a bancos de alimentos que reciben donaciones. Fuente: Elaboración propia*

Los resultados que devuelve el modelo RUTOPT acerca de los costes son los siguientes:

Coste total de la operación	218,2557 €
Coste de transporte de Viena Capellanes	77,1298 €
Coste de operación de los bancos de alimentos	7,0035 €
Coste de aprovisionamiento de las entidades de consumo	134,1223 €

*Tabla 25: Resultados de sensibilidad. Costes. Fuente: Elaboración propia*



Gráfica 3: Resultados de sensibilidad. Representación gráfica de los costes. Fuente: Elaboración propia

Para analizar la coherencia de los resultados hay que fijarse en el origen y el destino de cada ruta óptima encontrada, que tiene sentido para este caso de estudio asignar las zonas de Pozuelo de Alarcón y de Carabanchel al banco de alimentos de Alcorcón debido a su cercanía. Lo mismo pasa con el Viena Capellanes de Parque Bujaruelo y el banco al que donan sus platos preparados.

Con estos datos de entrada, el precio medio de distribuir 152 kilogramos de platos preparados desde los establecimientos hasta las entidades benéficas de consumo con el canal de distribución diseñado en este caso de estudio supondrá un valor de 218,2557 €. Debido a la pluralidad de entidades benéficas por localidad se podrían aprovechar de las donaciones con este canal de distribución hasta 137 diferentes entidades de consumo y, con esta metodología, se consigue una solución alternativa para conseguir 0% de desperdicio alimentario en todos los establecimientos que participan en el canal de distribución, pudiéndose salvar todos los platos preparados susceptibles de ser donados.

## Capítulo 6. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

El desperdicio de alimentos perjudica a la sociedad en su conjunto, ya que encarece el acceso a los productos básicos, desperdicia los escasos recursos naturales utilizados en la producción y el trabajo agrícola para los agricultores y ganaderos, aumenta los residuos e impacta el medio ambiente, y obstaculiza la eficiencia y la competitividad de la fabricación. La Ley de Prevención de las Pérdidas y el Desperdicio alimentario, que entrará en vigor a partir de enero del 2023, busca un sistema productivo más eficiente, con énfasis en el desarrollo de la economía circular. Para que la ley tenga éxito en la consecución de sus objetivos, necesita la implicación de toda la cadena alimentaria y de la sociedad en su conjunto.

Es importante conocer las implicaciones sociales del compromiso para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) establecidos en la Agenda 2030 de las Naciones Unidas. En concreto, la meta 12.3 establece la aspiración de reducir a la mitad la cantidad de desperdicio de alimentos per cápita a nivel mundial en el comercio minorista y a nivel del consumidor, a parte de reducir la pérdida de alimentos en las cadenas de producción y suministro, incluso después de la cosecha.

Para lograr estos objetivos, en este trabajo se modela una cadena de suministro alternativa, para analizar la viabilidad de casar diferentes tipos de establecimientos de platos preparados con entidades benéficas de consumo para solucionar que personas desfavorecidas cubran sus necesidades nutricionales básicas.

Se modela la cadena de suministro en cuestión con herramientas de optimización, utilizando la investigación operativa como recurso. El modelo matemático RUTOPT hace que esta cadena tenga valor añadido por dos motivos. En primer lugar, porque asigna las rutas óptimas de transporte entre los diferentes puntos de la cadena en cuanto a costes se refiere. Y, en segundo lugar, porque se produce una solución alternativa para conseguir 0% de despilfarro alimenticio,

consiguiendo suministrar todos los platos preparados susceptibles de ser donados a los consumidores finales.

Considerando un factor de penalización igual al coste producción del alimento (1€/kg), un modelo híbrido-descentralizado como el que aquí se expone es un 20,93% más eficiente que el modelo centralizado actual.

Se ha realizado un caso de estudio específico para analizar la viabilidad de casar la oferta de Viena Capellanes con las entidades benéficas de consumo que participan juntamente con los bancos de alimentos de Madrid. Empleando datos reales de los excedentes de platos preparados de una organización como es Viena Capellanes, los costes de trasladar todos estos alimentos resultarían tremendamente ineficientes para una sola organización en la cadena de valor. Se necesitarán medidas cooperativas de entre varios establecimientos de comida preparada para llegar a soluciones que sean más económicamente viables.

Los desarrollos futuros serán trabajar para:

- Realizar un profundo análisis sobre la nueva ley de desperdicios alimentarios. En este trabajo se cuenta con un borrador, pero con su entrada en vigor en 2023, se podrían aplicar más restricciones al modelo implementado, como factores de penalizaciones de platos preparados más acertados o la correcta manipulación de los productos dentro de la cadena de valor.
- Investigar acerca de la calidad de los platos preparados, ya que esta variable podría alterar el orden de prioridades de suministro, la temperatura de los vehículos a utilizar para conservar su vida útil, la correcta realización de un Análisis de Peligros y Puntos Críticos, etc.

## Capítulo 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ahlgren, M. K., Gustafsson, I., & Hall, G. (2005). The impact of the meal situation on the consumption of ready meals. *International Journal of Consumer Studies*, 29(6), 485-492. <https://doi.org/10.1111/j.1470-6431.2005.00416.x>

Bardón, R., Fúster, F., Marino, E., & Ribes, M. A. (2009). Los platos preparados en la Comunidad de Madrid. *Documentos Técnicos de Salud Pública n° 129*. [http://www.informesdesalud.sanidadmadrid.org/docs/Platos\\_Preparados\\_04-10.pdf](http://www.informesdesalud.sanidadmadrid.org/docs/Platos_Preparados_04-10.pdf)

Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado. (2011). Real Decreto 3484/2000, de 29 de diciembre, por el que se establecen las normas de higiene para la elaboración, distribución y comercio de comidas preparadas. Ministerio de la Presidencia. <https://www.boe.es/eli/es/rd/2000/12/29/3484>

Teigiserova, D. A., Hamelin, L., & Thomsen, M. (2020). Towards transparent valorization of food surplus, waste and loss: Clarifying definitions, food waste hierarchy, and role in the circular economy. *The Science of the Total Environment*, 706, 136033. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136033>

Banco de Alimentos de Madrid. (2020). *Memoria anual 2020*. <https://bamadrid.org/pdf/memoria-2020.pdf>

Şenses-Ergül, Ş., Havva, S. A. R. I., Ertaş, S., Berberoğlu, U., Cesaretli, Y., & Irmak, H. (2015). Determination of microbiological characteristics of several kinds of ready-to-eat meals presented for consumption. *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, 72(3), 199-208. <https://doi.org/10.5505/TurkHijyen.2015.81994>

Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado. (2011). Real Decreto 3484/2000, de 29 de diciembre, por el que se establecen las normas de higiene para la elaboración, distribución y comercio de comidas preparadas. Ministerio de la Presidencia. <https://www.boe.es/eli/es/rd/2000/12/29/3484>



Borrador ley de prevención de las pérdidas y el desperdicio alimentario. (7 de junio de 2022). Anteproyecto de Ley de Prevención de las Pérdidas y el Desperdicio Alimentario. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. [https://www.mapa.gob.es/es/alimentacion/participacion-publica/anteproyectodeleydeprevenciondelasperdidasyeldesperdicioalimentario\\_tcm30-577960.pdf](https://www.mapa.gob.es/es/alimentacion/participacion-publica/anteproyectodeleydeprevenciondelasperdidasyeldesperdicioalimentario_tcm30-577960.pdf)

Observatorio de costes del transporte de mercancías. (2022). Ministerio de transportes, movilidad y agenda urbana.

[https://www.mitma.gob.es/recursos\\_mfom/listado/recursos/observatoriocostesmercanciasenero2022v1.pdf](https://www.mitma.gob.es/recursos_mfom/listado/recursos/observatoriocostesmercanciasenero2022v1.pdf)

Mula, J., Peidro, D., Díaz-Madroñero, M., & Vicens, E. (2010). Mathematical programming models for supply chain production and transport planning. *European Journal of Operational Research*, 204(3), 377-390. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2009.09.008>

Bentolila, M., Calvo M., & Domínguez C. (2017). “Guía de buenas prácticas de higiene para el aprovechamiento de excedentes alimentarios de la Comunidad de Madrid”. <http://www.madrid.org/bvirtual/BVCM017981.pdf>

Hernández, J. L. G. (2016). Implantación del sistema de autocontrol en microestablecimientos de restauración colectiva: recepción de alimentos (Doctoral dissertation, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria). <https://doi.org/10553/17613>

Castañón, R., Campos, F. A., Doménech Martínez, S., & Villar, J. (2020). The Food Bank of Madrid: A Linear Model for Optimal Nutrition. *International journal of environmental research and public health*, 17(21), 8097. <https://doi.org/10.3390/ijerph17218097>

Esmailidouki, A., Rambe, M., Ardestani-Jaafari, A., Li, E., & Marcolin, B. (2021). Food Bank Operations: Review of OR Methods and Challenges During COVID-19. [https://www.researchgate.net/publication/356892051\\_Food\\_Bank\\_Operations\\_Review\\_of\\_OR\\_Methods\\_and\\_Challenges\\_During\\_COVID-19](https://www.researchgate.net/publication/356892051_Food_Bank_Operations_Review_of_OR_Methods_and_Challenges_During_COVID-19)

