



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL E INDUSTRIA CONECTADA



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER
OPTIMIZACIÓN DE RECURSOS EN EL BANCO DE
ALIMENTOS DE MADRID:
ABORDANDO LAS NECESIDADES DE COMPRAS Y
APROVISIONAMIENTO EN EL CONTEXTO DEL COVID-19

Autor: Rosendo Castañón Naseiro
Director: Alberto Campos Fernández
Co-Director: Salvador Doménech Martínez
Co-Director: Álvaro López López

Madrid
Julio de 2020



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL E INDUSTRIA CONECTADA



Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título Optimización de recursos en el Banco de Alimentos de Madrid: Abordando las necesidades de compras y aprovisionamiento en el contexto del Covid-19 en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el curso académico 2019/2020 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.: Rosendo Castañón Naseiro Fecha: 16/07/2020

Autorizada la entrega del proyecto

LOS DIRECTORES DEL PROYECTO

Fdo.: Alberto Campos Fernández Fecha: 16/07/2020

Fdo.: Salvador Doménech Martínez Fecha: 16/07/2020

Fdo.: Álvaro López López Fecha: 16/07/2020



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL E INDUSTRIA CONECTADA



AUTORIZACIÓN PARA LA DIGITALIZACIÓN, DEPÓSITO Y DIVULGACIÓN EN RED DE PROYECTOS FIN DE GRADO, FIN DE MÁSTER, TESIS O MEMORIAS DE BACHILLERATO

1º. Declaración de la autoría y acreditación de la misma.

El autor D. Rosendo Castañón Naseiro

DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra:

Optimización de recursos en el Banco de Alimentos de Madrid: Abordando las necesidades de compras y aprovisionamiento en el contexto del Covid-19, que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

2º. Objeto y fines de la cesión.

Con el fin de dar la máxima difusión a la obra citada a través del Repositorio institucional de la Universidad, el autor **CEDE** a la Universidad Pontificia Comillas, de forma gratuita y no exclusiva, por el máximo plazo legal y con ámbito universal, los derechos de digitalización, de archivo, de reproducción, de distribución y de comunicación pública, incluido el derecho de puesta a disposición electrónica, tal y como se describen en la Ley de Propiedad Intelectual. El derecho de transformación se cede a los únicos efectos de lo dispuesto en la letra a) del apartado siguiente.

3º. Condiciones de la cesión y acceso

Sin perjuicio de la titularidad de la obra, que sigue correspondiendo a su autor, la cesión de derechos contemplada en esta licencia habilita para:

- a) Transformarla con el fin de adaptarla a cualquier tecnología que permita incorporarla a internet y hacerla accesible; incorporar metadatos para realizar el registro de la obra e incorporar “marcas de agua” o cualquier otro sistema de seguridad o de protección.
- b) Reproducirla en un soporte digital para su incorporación a una base de datos electrónica, incluyendo el derecho de reproducir y almacenar la obra en servidores, a los efectos de garantizar su seguridad, conservación y preservar el formato.
- c) Comunicarla, por defecto, a través de un archivo institucional abierto, accesible de modo libre y gratuito a través de internet.
- d) Cualquier otra forma de acceso (restringido, embargado, cerrado) deberá solicitarse expresamente y obedecer a causas justificadas.
- e) Asignar por defecto a estos trabajos una licencia Creative Commons.
- f) Asignar por defecto a estos trabajos un HANDLE (URL *persistente*).

4º. Derechos del autor.

El autor, en tanto que titular de una obra tiene derecho a:

- a) Que la Universidad identifique claramente su nombre como autor de la misma
- b) Comunicar y dar publicidad a la obra en la versión que ceda y en otras posteriores a través de cualquier medio.
- c) Solicitar la retirada de la obra del repositorio por causa justificada.
- d) Recibir notificación fehaciente de cualquier reclamación que puedan formular terceras personas en relación con la obra y, en particular, de reclamaciones relativas a los derechos de propiedad intelectual sobre ella.

5º. Deberes del autor.

El autor se compromete a:

- a) Garantizar que el compromiso que adquiere mediante el presente escrito no infringe ningún derecho de terceros, ya sean de propiedad industrial, intelectual o cualquier otro.
- b) Garantizar que el contenido de las obras no atenta contra los derechos al honor, a la intimidad y a la imagen de terceros.



- c) Asumir toda reclamación o responsabilidad, incluyendo las indemnizaciones por daños, que pudieran ejercitarse contra la Universidad por terceros que vieran infringidos sus derechos e intereses a causa de la cesión.
- d) Asumir la responsabilidad en el caso de que las instituciones fueran condenadas por infracción de derechos derivada de las obras objeto de la cesión.

6º. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.

La obra se pondrá a disposición de los usuarios para que hagan de ella un uso justo y respetuoso con los derechos del autor, según lo permitido por la legislación aplicable, y con fines de estudio, investigación, o cualquier otro fin lícito. Con dicha finalidad, la Universidad asume los siguientes deberes y se reserva las siguientes facultades:

- La Universidad informará a los usuarios del archivo sobre los usos permitidos, y no garantiza ni asume responsabilidad alguna por otras formas en que los usuarios hagan un uso posterior de las obras no conforme con la legislación vigente. El uso posterior, más allá de la copia privada, requerirá que se cite la fuente y se reconozca la autoría, que no se obtenga beneficio comercial, y que no se realicen obras derivadas.
- La Universidad no revisará el contenido de las obras, que en todo caso permanecerá bajo la responsabilidad exclusiva del autor y no estará obligada a ejercitar acciones legales en nombre del autor en el supuesto de infracciones a derechos de propiedad intelectual derivados del depósito y archivo de las obras. El autor renuncia a cualquier reclamación frente a la Universidad por las formas no ajustadas a la legislación vigente en que los usuarios hagan uso de las obras.
- La Universidad adoptará las medidas necesarias para la preservación de la obra en un futuro.
- La Universidad se reserva la facultad de retirar la obra, previa notificación al autor, en supuestos suficientemente justificados, o en caso de reclamaciones de terceros.

Madrid, a 16 de Julio de 2020

ACEPTA

Fdo.....

Motivos para solicitar el acceso restringido, cerrado o embargado del trabajo en el Repositorio Institucional:



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL E INDUSTRIA CONECTADA



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER
OPTIMIZACIÓN DE RECURSOS EN EL BANCO DE
ALIMENTOS DE MADRID:
ABORDANDO LAS NECESIDADES DE COMPRAS Y
APROVISIONAMIENTO EN EL CONTEXTO DEL COVID-19

Autor: Rosendo Castañón Naseiro
Director: Alberto Campos Fernández
Co-Director: Salvador Doménech Martínez
Co-Director: Álvaro López López

Madrid
Julio de 2020



OPTIMIZACIÓN DE RECURSOS EN EL BANCO DE ALIMENTOS DE MADRID: ABORDANDO LAS NECESIDADES DE COMPRAS Y APROVISIONAMIENTO EN EL CONTEXTO DEL COVID-19

Autor: Castañón Naseiro, Rosendo Daniel

Directores: Campos Fernández, Francisco Alberto; Doménech Martínez, Salvador, Álvaro López López

Entidad Colaboradora: Instituto de Investigación Tecnológica, IIT. Universidad Pontificia Comillas, ICAI

RESUMEN DEL PROYECTO

La epidemia del Covid-19 sitúa a la sociedad española en una coyuntura en la que tanto el sistema sanitario como la conciencia social se ponen a prueba mientras que la economía se tambalea. En este contexto, los próximos meses estarán marcados, previsiblemente y entre otras consideraciones, por un esfuerzo ingente por prever y acotar la magnitud de la recesión económica que se avecina (y cuyos efectos ya se están empezando a vislumbrar) sobre los distintos colectivos que integran la sociedad.

En un entorno democrático, humano y socialmente responsable, resulta relevante poner especial atención a aquellos colectivos que, durante el transcurso de la recesión, puedan llegar a encontrarse en una situación de mayor urgencia o necesidad económica. Estos grupos serán, precisamente, los que al no disponer de suficientes medios para combatir la recesión por cuenta propia, se encontrarán en una situación de mayor indefensión y exclusión, pudiendo llegar a propiciar cierta desestabilización social que afecte al resto de colectivos, en caso de que no se desplieguen medios para cubrir sus necesidades básicas.

Motivado por esta situación de preocupación e incertidumbre, el objetivo de este trabajo es, precisamente, el de tratar de apoyar la labor de aquellas organizaciones que prestan ayuda a los colectivos más desfavorecidos, con el ánimo de contribuir a satisfacer sus necesidades más básicas y urgentes. En concreto, en este proyecto se pretende realizar un estudio estratégico que aborde la problemática del abastecimiento a los beneficiarios del Banco de Alimentos de Madrid, persiguiendo determinar cómo maximizar la utilidad social y nutricional de los recursos económicos disponibles en la organización.



Para realizar este estudio, el proyecto se apoyará en un modelo matemático de requerimientos nutricionales para distintos clústers poblacionales, que se determinarán a partir de variables como el género y la edad. Dicho modelo cuenta con parámetros de decisión como 1) el aporte macronutricional y el precio por kg de los distintos grupos de alimentos disponibles en el mercado español, 2) la cantidad y el tipo de comida recibida en concepto de donativos, o 3) el número de beneficiarios por grupo de edad a los que hay que atender, entre otros. A partir de estos parámetros, el modelo es capaz de computar cuál es la cesta de inversión semanal que se habría de realizar para casar las necesidades nutricionales de los beneficiarios con los recursos disponibles, bajo un marco de decisión basado en una minimización de costes en el que se sitúa al Banco de Alimentos de Madrid como decisor centralizado.

Además de los costes asociados a la compra de alimentos, se ha incorporado una variable de penalización económica asociada a la cantidad de macronutriente no suministrado por grupo poblacional. Esta variable de penalización representaría el coste social ocasionado por la no satisfacción de un requerimiento nutricional dentro de un grupo poblacional determinado. Esto es, para el caso del déficit de ácidos grasos esenciales, la variable de penalización estaría constituida, entre otras, por la métrica cuantitativa que recogiese el coste asociado a los tratamientos que podrían requerirse para tratar las enfermedades que apareciesen debido al déficit del nutriente, como obstrucciones en el flujo sanguíneo, enfermedades de hígado, etc.

Para poner a prueba y comprobar las sensibilidades del modelo se plantearán dos casos de estudio, a saber:

- 1) Estudio de la respuesta del modelo en un caso básico, donde se tenga un único beneficiario o persona física por grupo poblacional, que permita comprobar fácilmente la coherencia de los resultados y llevar a cabo la validación subsiguiente del modelo.
- 2) El estudio de la operación real del Banco de Alimentos de Madrid durante el año 2018. Consiste en usar como datos de entrada: 1) las donaciones que se produjeron en el año, escaladas al caso semanal y 2) el número real de beneficiarios del Banco de Alimentos de Madrid. Así, por un lado, se podrá comprobar la respuesta del modelo ante un caso realista de operación y por otro, el caso de estudio podría servir para identificar oportunidades de mejora en las decisiones del aprovisionamiento del Banco de Alimentos de Madrid.



El propósito del modelo no es el de realizar una predicción precisa, por ejemplo, sobre el coste de aprovisionamiento del Banco de Alimentos de Madrid durante un año de operación (para lo que habría que capturar aspectos como cuestiones logísticas o la posible estacionalidad en precios de algunos de los alimentos), sino más bien sacar conclusiones cualitativas sobre las variables y las cuestiones más relevantes en el problema de satisfacer las necesidades de la población beneficiaria. Así, los resultados del modelo dan una idea de cómo debería realizarse la planificación de las compras de distintos grupos de alimentos para un horizonte de operación semanal, y su correspondiente reparto entre los distintos grupos de población beneficiaria. De los resultados obtenidos se han podido desprender las siguientes conclusiones:

- La distribución de macronutrientes requerida por la población menor de edad es más sencilla de satisfacer que la asociada a las poblaciones mayores de edad y la de las mujeres es más sencilla de satisfacer que la de los hombres.
- La utilización de un modelo cuantitativo para la optimización de compras de alimentos en una organización como el Banco de Alimentos de Madrid podría usarse para reducir los costes de aprovisionamiento en más de un 10%.
- Existe una alineación de objetivos entre la minimización de costes de aprovisionamiento, y la minimización de costes de logística (entendida como almacenamiento y distribución), ya que la optimización del aprovisionamiento lleva a reducir las cantidades de víveres en un 9%.
- El resultado de la optimización conduce a un resultado de "hambre cero"

En definitiva, el modelo propuesto, siendo capaz de representar satisfactoriamente los requerimientos nutricionales de los beneficiarios del Banco de Alimentos de Madrid, tiene cierto potencial para reflejar el coste de cubrir dichas necesidades, y así servir a efectos de herramienta de diseño de nuevas estrategias de aprovisionamiento o de evaluación de políticas de apoyo económico y social a la Organización.

Por último, de los estudios realizados se ha realizado un artículo de investigación que pretende ser publicado en la revista *European Journal of Nutrition*, bajo el título “The Food Bank of Madrid: A Linear Model for Optimal Nutrition”, cuyo primer autor es el autor de este proyecto fin de máster.



RESOURCE OPTIMIZATION FOR THE FOOD BANK OF MADRID: ADDRESSING PURCHASING AND PROVISIONING NEEDS IN THE CONTEXT OF COVID-19

The Covid-19 pandemic places Spanish society at a juncture in which both the health system and the social conscience are put to the test while the economy falters. In this context, the coming months will likely be marked, among other considerations, by an enormous effort to foresee and limit the magnitude of the economic recession that is coming (and whose effects are already beginning to be glimpsed) on the different groups that make up the society.

In a democratic, human, and socially responsible environment, it is relevant to pay special attention to those groups that, during recessions, may find themselves in a situation of greater urgency or economic need. These groups will be, precisely, those who will find themselves in a situation of greater defenselessness and exclusion, since they do not have sufficient means to fight the recession on their own. This situation might even promote certain social destabilization that affects the rest of the groups, in case that the appropriate means are not deployed to help covering their basic needs.

Driven by this situation of concern and uncertainty, one of the main goals of this work is, precisely, to support the labor of those organizations that assist disadvantaged groups, aiming to make a contribution in the satisfaction to their most basic and urgent needs. More specifically, in this project a strategic study that seeks to determine how to maximize the social utility of the available resources is pursued.

To undertake this study, the project will be based on a mathematical-financial linear programming model that helps to make an optimized food supply based on the minimization of the cost that allows to cover the nutritional requirements needed by beneficiaries, which will be determined by variables such as age or sex. Said model will use decision parameters such as 1) the nutrient content and wholesale market price per kg of the different food groups that are available in the Spanish market, 2) the amount and type of food received as donations or 3) the number of beneficiaries per age group that have to be served, among others. From this input data, the model is able to compute the weekly purchase that should be done in order to match nutritional needs of beneficiaries with the available resources, under a cost minimization criteria, where Madrid's Food Bank is placed as a centralized decision-maker.

Besides costs related to the purchase of supplies, an economic penalty has been introduced, corresponding to the amount of non-supplied nutrient per population group. This penalty



would serve to represent the social cost derived from the non-satisfaction of a given nutritional requirement for a particular population group. For instance, in the case of essential fatty acids, the penalty variable would be constituted, among other factors, by the quantitative metric that captured the cost associated to the medical treatments that would be needed to treat the diseases related to the deficient nutrient, such as obstructions in blood flow, liver disease, etc.

In order to test the model, two case studies will be posed, namely:

- 1) Response of the model to a basic case-study where there is a single individual per population group, to quickly test the coherence and the trend of the results, which would ultimately serve to validate the formulation.
- 2) General case-study based in 2018 operation. By using real input data for 1) donations produced during the year and 2) number of beneficiaries by age and sex, the response of the model for a realistic case study can be obtained. Thusly, from these results, relevant cost-cutting opportunities may be identified, related to the decision making of Madrid's Food Bank provisioning activities.

The objective of the model is not that of producing a precise forecast of the final provisioning cost (since in order to do that a more detailed representation of logistics could be needed, or even price stationarity of different food groups could become relevant), but rather, extracting qualitative conclusions about the most relevant variables in the problem of food provisioning to a disadvantaged population. Therefore, results should show how to plan purchases for a weekly horizon and how to distribute them among the different groups. Specifically, out of the obtained results, the following conclusions have been drawn:

- The macronutrient distribution required by youngsters is more easily satisfied than that of elders and women needs are more easily covered than that of men.
- The use of a financial-quantitative model to optimize food purchases in an Organization such as the Food Bank of Madrid could be used to reduce provisioning costs over a 10%.
- An objective alignment between cost minimization in food provisioning and cost minimization in logistics (storage and distribution) is deduced since food amounts drop by over a 9% when optimizing supply provisioning.
- The results of the optimization lead to a “no hunger” result

Ultimately, the proposed model, that is able to satisfactorily present the nutritional requirements of the beneficiary groups, has some potential to express the cost associated to



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL E INDUSTRIA CONECTADA

the coverage of said needs and consequently, may serve as a tool for the design of new provisioning strategies, or even for the evaluation of further economic and social aid to the organization.

From the performed studies, a research paper entitled “The Food Bank of Madrid: A Linear Model for Optimal Nutrition” has been produced and is currently under revision for acceptance in European Journal of Nutrition.



Contenidos

<i>Capítulo 1. Introducción.....</i>	<i>1</i>
1. Origen y Motivación del Proyecto	3
2. Objetivos	5
3. Metodología	6
4. Recursos.....	7
<i>Capítulo 2. Estado del arte.....</i>	<i>9</i>
<i>Capítulo 3. Modelo NUTROPT</i>	<i>15</i>
1. Planteamiento del Problema	15
2. Hipótesis de modelado	17
3. Nomenclatura.....	19
4. Función Objetivo	21
5. Restricciones.....	22
<i>Capítulo 4. Datos de entrada al modelo.....</i>	<i>25</i>
1. Requerimientos nutricionales de la población.....	25
2. Aporte nutricional de los distintos grupos de alimentos.....	27
3. Precio de los Alimentos	29
4. Número de Beneficiarios (Caso estudio 2).....	30
5. Cantidad de donativos (Caso estudio 2)	31
<i>Capítulo 5. Casos de Estudio.....</i>	<i>33</i>
1. Caso de Estudio 1: Validación del modelo	34
2. Caso de Estudio 2: Simulación Año 2018.....	38
<i>Capítulo 6. Aportación a los ODS.....</i>	<i>45</i>
<i>Capítulo 7. Conclusiones.....</i>	<i>47</i>
<i>Referencias</i>	<i>50</i>

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

La epidemia del Covid-19 sitúa a la sociedad española en una coyuntura en la que tanto el sistema sanitario como la conciencia social se ponen a prueba mientras que la economía se tambalea. En este contexto, los próximos meses estarán marcados, previsiblemente y entre otras consideraciones, por un esfuerzo ingente por prever y acotar la magnitud de la recesión económica que se avecina (y cuyos efectos ya se están empezando a vislumbrar) sobre los distintos colectivos que integran la sociedad.

En un entorno democrático, humano y socialmente responsable, resulta relevante poner especial atención a aquellos colectivos que, durante el transcurso de la recesión, puedan llegar a encontrarse en una situación de mayor urgencia o necesidad económica. Estos grupos serán, precisamente, los que, al no disponer de suficientes medios para combatir la recesión por cuenta propia, se encontrarán en una situación de mayor indefensión y exclusión, pudiendo llegar a propiciar cierta desestabilización social que afecte al resto de colectivos, en caso de que no se desplieguen medios para cubrir sus necesidades básicas.

Motivado por esta situación de preocupación e incertidumbre, el objetivo de este trabajo es, precisamente, el de tratar de apoyar la labor de aquellas organizaciones que prestan ayuda a los colectivos más desfavorecidos, con el ánimo de contribuir a satisfacer sus necesidades más básicas y urgentes. En concreto, en este proyecto se pretende realizar un estudio estratégico que aborde la problemática del abastecimiento a los beneficiarios del Banco de Alimentos de Madrid, persiguiendo determinar cómo maximizar la utilidad social y nutricional de los recursos económicos disponibles en la organización.

Para realizar este estudio, el proyecto se apoyará en un modelo matemático de requerimientos nutricionales para distintos clústers poblacionales, que se determinarán a partir de variables como el género y la edad. Dicho modelo cuenta con parámetros de decisión como 1) el aporte macronutricional y el precio por kg de los distintos grupos de alimentos disponibles en el mercado español, 2) la cantidad y el tipo de comida recibida en concepto de donativos, o 3) el número de beneficiarios por grupo de edad a los que hay que atender, entre otros. A partir de

estos parámetros, el modelo es capaz de computar cuál es la cesta de inversión semanal que se habría de realizar para casar las necesidades nutricionales de los beneficiarios con los recursos disponibles, bajo un marco de decisión basado en una minimización de costes en el que se sitúa al Banco de Alimentos de Madrid como decisor centralizado.

El trabajo que aquí se expone está estructurado como sigue: el primer capítulo se centra en la introducción de la problemática a abordar, la motivación y objetivos del proyecto, así como las herramientas y metodología empleadas. En el segundo capítulo se presenta una revisión de 1) la literatura relevante sobre la temática de la nutrición y su conexión con la salud, 2) la investigación sobre el aporte nutricional y el valor económico de distintos grupos de alimentos accesibles en el mercado español y 3) los estudios o herramientas que abordan la problemática del abastecimiento nutricional en un contexto de optimización de costes. En el tercer capítulo se expone el detalle del modelo propuesto: tras presentarse la notación matemática utilizada, se explican las hipótesis asumidas en el modelado y se formulan las ecuaciones del mismo. En el cuarto capítulo se detalla la obtención y el ajuste de los datos de entrada para el modelo. En el quinto capítulo se presentan las hipótesis de ejecución, los casos de estudio analizados y se explican los resultados obtenidos. Finalmente, en el sexto capítulo se presentan las principales conclusiones del trabajo y se proponen futuros desarrollos al proyecto para dar continuidad a la línea de investigación que con este trabajo se plantea.

1. ORIGEN Y MOTIVACIÓN DEL PROYECTO

La idea de realizar este proyecto surge en una parte muy importante de la iniciativa de tres compañeras de ICAI: Marta Bravo Lázaro, Andrea Domínguez Bargueño y Laura Martínez Fúster, que en abril de 2020 emprenden una iniciativa de carácter social para recoger donaciones para FESBAL (la Federación Española de Bancos de Alimentos), como queda recogido en [1]. A raíz de su empuje, se empieza a tejer una red de contactos entre las personas cercanas a las emprendedoras (entre las que se encuentra el autor de este trabajo) y algunas personas que trabajan con los Banco de Alimentos. De esta interacción entre unos y otros se empiezan a gestar ideas de potenciales colaboraciones entre la comunidad universitaria del ICAI y los Bancos de Alimentos, que acaban dando lugar a proyectos como el trabajo que aquí se presenta.

Durante el periodo de reflexión en el que se estudiaron y formularon los potenciales proyectos de colaboración entre el ICAI y FESBAL, una compañera del Máster en Industria Conectada, Inés Arnaiz, logró agendar una reunión con un responsable colaborador en el Banco de Alimentos de Madrid: Juan Ignacio Medina. Esto habilitó la oportunidad de entender tanto los mecanismos de operación como las necesidades de prospectiva tecnológica de los Bancos de Alimentos y, en consecuencia, se pudieron ajustar y refinar algunas de las iniciativas inicialmente propuestas.

Como resultado de ese proceso surge este proyecto, que aborda la necesidad real del Banco de Alimentos de Madrid de mejorar su respuesta a las necesidades nutricionales particulares de los distintos grupos de población que son beneficiarios de sus servicios. Precisamente, se trata de una aportación novedosa en el campo de la aplicación de modelos de optimización en el sector del voluntariado en Madrid (porque no hay constancia de que se disponga, a día de hoy, de ningún modelo similar). En concreto se desarrolla un modelo matemático-financiero para el Banco de Alimentos de Madrid que ayuda a hacer un aprovisionamiento de alimentos optimizado basado en la minimización del coste monetario que permite cubrir los requerimientos nutricionales requeridos por los beneficiarios.

Profundizando más, el modelo que aquí se propone considera una minimización de los costes asociados a la provisión semanal de recursos nutritivos a los distintos segmentos poblacionales que conforman el colectivo de los beneficiarios de la Organización. La minimización de costes se realiza desde el punto de vista del Banco de Alimentos de Madrid, que se entiende como una organización de carácter social y caritativo cuya finalidad es que la población a la que presten su ayuda pueda

satisfacer sus requerimientos nutricionales pertinentes, establecidos por las agencias competentes de nutrición y salud. Precisamente por eso los costes considerados tendrán en cuenta el coste asociado a la compra de alimentos que desarrolle el Banco, así como una penalización por los nutrientes esenciales no abastecidos por éste (que podrá tomar un mayor o un menor valor en función de si el grupo poblacional es de mayor o menor riesgo, por ejemplo, menores de edad frente a gente con edades intermedias), pero no tendrán en cuenta los costes asociados a la compra de alimentos que se entreguen como donativos por terceros agentes.

Para poner a prueba y comprobar las sensibilidades del modelo se plantearán dos casos de estudio, a saber:

- 3) Estudio de la respuesta del modelo en un caso básico, donde se tenga un único beneficiario o persona física por grupo poblacional, que permita comprobar fácilmente la coherencia de los resultados y la validación subsiguiente del modelo.
- 4) El estudio de la operación real del Banco de Alimentos de Madrid durante el año 2018. Consiste en usar como datos de entrada: 1) las donaciones que se produjeron en el año, escaladas al caso semanal y 2) el número real de beneficiarios del Banco de Alimentos de Madrid. Así, por un lado, se podrá comprobar la respuesta del modelo ante un caso realista de operación y por otro, el caso de estudio podría servir para identificar oportunidades de mejora en las decisiones del aprovisionamiento del Banco de Alimentos de Madrid.

2. OBJETIVOS

Como se ha expuesto en el apartado anterior, el objetivo principal del proyecto es desarrollar un modelo que, siendo capaz de representar satisfactoriamente los requerimientos nutricionales de los beneficiarios del Banco de Alimentos de Madrid, permita reflejar el coste de cubrir dichas necesidades, y así servir a efectos de herramienta de diseño de nuevas estrategias de aprovisionamiento o de evaluación de políticas de apoyo económico y social a la Organización.

El objetivo del trabajo, en consecuencia, pasa por dar respuesta a los casos estudios descritos en la sección anterior mediante un análisis de coherencia y de sensibilidades de las salidas del modelo para los distintos escenarios de entrada.

En la línea de desarrollar un trabajo alineado con los Objetivos de Desarrollo Sostenible [2], se busca contribuir de forma significativa, 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”.

Este trabajo puede servir también como lanzadera para la transmisión de conocimiento desde la Universidad Pontificia de Comillas a los Bancos de Alimentos de España, y que podría dar lugar a la creación de asociaciones de alumnos de la escuela ICAI para la colaboración activa con los bancos de alimentos. De hecho, en la actualidad ya se están celebrando reuniones con la directora general del Banco de Alimentos de Madrid, Gema Escrivá, en las que se están estudiando formas de colaboración entre la Escuela y la Organización.

Por último, de los estudios realizados se ha realizado un artículo de investigación que pretende ser publicado en la revista *European Journal of Nutrition*, bajo el título “The Food Bank of Madrid: A Linear Model for Optimal Nutrition”.

3. METODOLOGÍA

Para alcanzar los objetivos expuestos anteriormente se ha realizado, en primer lugar, una cuidada revisión bibliográfica, orientada a desarrollar un mejor entendimiento de la relación entre nutrición y salud, así como a obtener los datos necesarios para alimentar el modelo propuesto en este trabajo, que ha sido bautizado con el nombre “NUTROPT”. Además, se realizó una revisión de proyectos de índole similar y una búsqueda activa de herramientas que puedan servir para amenizar la realización del proyecto.

Una segunda fase del proyecto ha consistido en el ajuste de los datos de entrada de NUTROPT. Dado que los datos provienen de fuentes dispares, la realización de esta fase ha sido compleja. Además, muchos de los datos necesarios no se han obtenido como medidas directas de los estudios consultados, sino que ha sido necesario realizar un tratamiento matemático previo de los mismos.

Una vez desarrollado e implementado el modelo NUTROPT, una tercera fase ha consistido en su validación, a través de análisis de sensibilidades, para comprobar su funcionamiento y para verificar que las salidas resultantes son coherentes con los escenarios planteados. Finalmente, se han ejecutado los casos estudio previstos, arriba descritos, y analizado y extraído sus principales conclusiones a partir de los resultados obtenidos.

4. RECURSOS

La revisión bibliográfica es el resultado de la lectura y el análisis de documentación hallada en internet en páginas de organismos oficiales como la Organización Mundial de la Salud o las Naciones Unidas, además de en varios artículos científicos publicados en revistas de nutrición o de medicina y salud. Las páginas web, artículos técnicos y otros libros consultados se muestran en la sección de “Referencias”, al final del documento.

El desarrollo del modelo matemático se ha realizado mediante el software GAMS. La introducción de datos y la escritura de resultados del modelo se ha realizado en Excel, siendo VBA el lenguaje de programación usado para el procesamiento de algunas entradas y salidas del modelo.

Para el análisis de los resultados de los casos estudio, la redacción de la memoria y la presentación del proyecto se ha empleado el paquete de ofimática de Microsoft Office (Word, Excel y PowerPoint).

Capítulo 2. ESTADO DEL ARTE

La revisión bibliográfica de este trabajo ha consistido fundamentalmente en estudiar los siguientes bloques: 1) La revisión de la literatura relevante sobre la temática de la nutrición y su conexión con la salud, 2) la investigación sobre el aporte nutricional y el valor económico de los distintos grupos de alimentos y en concreto de los productos que se puedan encontrar con relativa facilidad en el mercado español y 3) la búsqueda de estudios o herramientas similares, que hayan abordado la problemática del abastecimiento nutricional en un contexto de optimización de costes.

En la revisión de la literatura acerca de la nutrición y su relación con la salud, se han estudiado fuentes oficiales relevantes como la Organización Mundial de la Salud [3] o la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (habitualmente designada “FAO”) [4] y el Harrison’s, un manual de referencia internacional en el campo de la Medicina y la Salud, [5]. Todas estas fuentes tienen como patrón el establecido por [6] y consecuentemente, son consistentes entre sí tanto en la definición de las métricas usadas para cuantificar el grado de nutrición como en los requerimientos nutricionales que establecen para los distintos segmentos de población, categorizados por género y edad. A modo de resumen, y para futuras referencias, estas fuentes definen las siguientes métricas:

- *EAR (Estimated Average Requirement):*

Es la cantidad estimada de nutriente que se considera adecuada para la mitad de la población sana perteneciente a un determinado grupo determinado por sexo y edad. Dicho de otra forma, es la cantidad de nutrientes que podría satisfacer la mediana de los requerimientos nutricionales para un grupo poblacional determinado por individuos con pertenencia al mismo sexo y al mismo grupo de edad.

- *RDA (Recommended Dietary Allowances):*

Dado que las personas alimentadas con parámetros dados por el EAR tienen un 50% de posibilidades de estar recibiendo una ingesta inapropiada para sus necesidades, el RDA se define estadísticamente como 2 desviaciones estándar sobre el valor del EAR. Por ello, es un criterio generoso que cubriría aproximadamente los

requerimientos nutricionales del 98% de la población perteneciente a un mismo grupo poblacional. Así, es altamente probable que un individuo que reciba una aportación nutricional menor al valor estipulado por el RDA siga recibiendo suficiente cantidad de nutriente para cubrir sus requerimientos, quedando desamparados de esta métrica tan sólo individuos con características muy singulares, como atletas de élite.

- *AI (Adequate Intake):*

En aquellos casos en los que hay insuficiente información para determinar el EAR (y por tanto tampoco se puede calcular el RDA), se emplea como métrica de referencia nutricional el IA. Esta métrica está basada en la observación empírica de los nutrientes consumidos por la población saludable que constituye cada uno de los grupos poblacionales.

- *AMDRS (Acceptable Macronutrient Distribution Ranges):*

Se trata de una serie de magnitudes definidas como los rangos sobre el total de energía que debería aportar cada macronutriente (proteínas, lípidos y carbohidratos). En concreto, establecen que el rango de energía proveniente de estos macronutrientes debería encontrarse en el 10-35% para proteínas, en el 20-35% para lípidos y entre el 40-60% para carbohidratos, según [5].

Resulta interesante señalar que en el estudio de la nutrición no sólo es importante el nivel de ingesta de cada uno de los nutrientes, sino que también resulta relevante estudiar su biodisponibilidad, que se determina en base a los mecanismos que llevan a la absorción de dichos nutrientes, [7]. Así, por ejemplo, combinar proteínas animales y vegetales facilita la absorción de las proteínas de origen vegetal (aumenta la biodisponibilidad de las proteínas de fuente vegetal). Otro ejemplo se da en el caso de la absorción de hierro, que, en individuos con altos niveles de calcio o plomo, se dificulta enormemente (los niveles altos de calcio o plomo reducen la biodisponibilidad del hierro).

Por otra parte, la investigación sobre el aporte nutricional y el valor económico de los distintos grupos de alimentos ha sido la sección más compleja en la revisión del estado del arte. En lo que sigue se explicará el razonamiento conceptual en la búsqueda de datos, mientras que en el capítulo de “Datos de entrada al modelo” se expondrán los datos de partida y se explicará el tratamiento matemático que se ha realizado sobre dichos datos para convertirlos en datos con los que alimentar el modelo NUTROPT.

En primer lugar, hay que remarcar que el fundamento racional para los datos de entrada debe ajustarse al marco conceptual del modelo. Esto es, que en la obtención de los parámetros de los distintos grupos de alimentos que se tratan en el modelo (ver sección “Planteamiento del Problema” del siguiente capítulo para una mejor comprensión de lo que quiere decir “grupos de alimentos”), no es suficiente con realizar un promedio por grupos de entre **todos** los productos a la venta en el mercado español que se puedan categorizar dentro de cada uno de estos grupos, sino que, además, habría que ponderar cada uno de esos productos por su consumo. Este acercamiento resultaría tremendamente laborioso y por ello, se ha optado por buscar estudios representativos de las costumbres y los grupos de alimentos de consumo habitual en España.

En esta línea de pensamiento, se hace uso del estudio ANIBES [8], basado en encuestas de alimentación y nutrición sobre una muestra representativa de la población española (de 9 a 75 años). A partir de este estudio se obtienen los datos de entrada relacionados con el aporte de nutrientes promedio de cada uno de los distintos grupos alimenticios en la sociedad española.

En cuanto a la relación entre estos grupos alimenticios y el apartado económico, los costes de los alimentos que se han considerado en esta sección serán costes *medianos*¹ por grupo de alimentos. Si bien esto puede parecer carente de sentido, pudiendo parecer preferible concretar la cesta de la compra para productos específicos (ej. arroz blanco marca Brillante, o atún claro en aceite de oliva, marca Calvo), conviene recordar que 1) el modelo que se propone quiere representar en la medida de lo posible cierta “variabilidad” de forma que por ejemplo, en la compra de legumbres, no a todos los beneficiarios podrían gustarles, por ejemplo, los guisantes de la marca “Gigante Verde” y que por ello conviene contemplar cierta variabilidad en la elección de productos dentro de cada grupo de alimentos y 2) este trabajo no deja de ser una primera aproximación o acercamiento a la resolución de un problema mucho más complejo, que difícilmente se podría abordar en un solo trabajo fin de máster, con lo que hay que hacer uso de ciertas hipótesis simplificadoras para acotar la problemática.

¹ Se han adoptado precios medianos en lugar de precios promedio en vista de los resultados que se han presentado en la fuente [9] donde se aprecia una gran diferencia entre precios promedio y precios medianos (siendo los primeros mucho mayores a los segundos). Esto sugiere que un segmento de alto poder adquisitivo podría estar influyendo notablemente en los precios promedio, y se trata de un efecto del que se pretende escapar, para una mejor representación de los grupos socioeconómicos situados en los deciles de ingresos más bajos, que son los que configurarían la población de beneficiarios.

Por último, tras haber desarrollado cierto entendimiento de los requerimientos nutricionales de los distintos grupos sociológicos que constituyen la población y la manera de satisfacerlos a partir de los distintos grupos de alimentos, se han revisado los trabajos con un enfoque similar al que aquí se plantea, que busquen minimizar el coste del aprovisionamiento nutricional a la población en necesidad, haciéndose especial énfasis en la búsqueda orientada al caso español y a otros países en desarrollo.

En la literatura revisada, la cuestión de qué combinación de comidas es capaz de proveer una nutrición óptima al mínimo coste monetario se ha abordado, habitualmente, con técnicas de programación lineal, como el modelo que aquí se plantea. Como ejemplos de este tipo de enfoque, se encuentran los trabajos [10] y [11] mientras que un ejemplo de modelado con optimización no lineal se presenta en [12]. En estos trabajos se trabaja con una hipótesis muy relevante, basada en [13], que establece que la gente aun perteneciendo a la población desfavorecida (i.e. que se encuentra en los percentiles de ingresos más bajos) busca tener las mismas costumbres alimenticias que los de los colectivos más favorecidos. Por tanto, en los modelos matemáticos que abordan el abastecimiento nutricional, no hay que caer en el error de considerar que las necesidades alimenticias se pueden cubrir mediante el desarrollo de unos hábitos nutricionales distintos de los habituales del país, ya que no sería una fiel representación de la realidad. Una de las conclusiones más interesantes que se puede extraer de todos estos modelos de optimización en costes que abordan el problema del aprovisionamiento nutricional es que los modelos tienden a incentivar patrones de compras basados en alimentos con alta densidad energética, altos en lípidos, dulces y cereales refinados. Este es precisamente el hábito alimenticio habitual de los grupos poblacionales de menor estatus socioeconómico, justamente como se comenta en [14], lo que lleva a establecer a los modelos matemáticos de minimización de costes como una herramienta valiosa en el estudio del abastecimiento nutricional de las poblaciones desfavorecidas.

En cuanto al estudio de trabajos que abordan la optimización de la nutrición de los grupos socioeconómicos españoles se ha encontrado una gran ausencia de estudios al respecto, con lo que este trabajo sería pionero en la temática. Aún con todo, existen colaboraciones destacables con los Bancos de Alimentos de España como la establecida por la Universidad Politécnica de Madrid, a través de la Cátedra UPM de Ayuda a los Bancos de Alimentos, [15]. En esta cátedra se realizan trabajos como los que se presentan en [16]. Entre esos trabajos destaca el trabajo que tiene por título “Necesidades Nutricionales de la Población Española Perteneciente al Primer decil de Ingresos. Un estudio de partida para la planificación del Reparto de los Bancos

de Alimentos”, que, como su título indica, está íntimamente relacionado con el trabajo que aquí se pretende desarrollar. En dicho trabajo, los autores parten de la hipótesis de que los beneficiarios de los Bancos de Alimentos tendrán una estructura familiar alineada con la pirámide poblacional de las familias que se corresponden al primer decil de ingresos. Es una hipótesis razonable y sensata, que se empleará también en el proyecto que aquí se presenta. Las necesidades nutricionales propuestas por el estudio de la UPM se basan en analizar los requerimientos energéticos de distintos grupos poblacionales y después imponer rangos de ingesta de macronutrientes que encajen dentro de los AMDRS. Sin embargo, en el estudio de la UPM no se está teniendo en cuenta la procedencia de dichos macronutrientes (no se está contemplando con qué grupos alimenticios cubrir las necesidades), ni se está haciendo una representación suficientemente precisa o pormenorizada de las necesidades macronutricionales de los distintos grupos poblacionales. Tampoco aborda el aspecto económico del proyecto, con lo que acaba resultando en un proyecto con múltiples áreas de mejora que en este trabajo fin de máster se pretenden abordar.

El estado del arte descrito en esta sección permite identificar las deficiencias encontradas en trabajos de índole similar, que suelen estar relacionadas con 1) la falta de una representación pormenorizada de las necesidades macronutricionales de los distintos grupos poblacionales, y 2) con la ausencia de estudios económicos y de consumo, que permitan establecer un marco metodológico para abordar la problemática de la minimización del coste de aprovisionamiento de los alimentos a consumir.

Capítulo 3. MODELO NUTROPT

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El modelo NUTROPT de compras propuesto en este trabajo representa el gasto en una semana dada que habría de afrontar el Banco de Alimentos de Madrid (en materia de compras de alimentos, dejando fuera del alcance del proyecto los costes asociados a su distribución) para poder cubrir las necesidades nutricionales de los beneficiarios del banco de alimentos, atendiendo a las distintas necesidades que éstos puedan tener debido a motivos relacionados con el sexo o la edad. El criterio de decisión es la minimización de costes desde el punto de vista del Banco de Alimentos de Madrid, que se toma como decisor centralizado y se entiende como una organización social y solidaria.

Además de los costes asociados a la compra de alimentos, se ha incorporado una variable de penalización económica asociada a la cantidad de macronutriente no suministrado por grupo poblacional. Esta variable de penalización representaría el coste social ocasionado por la no satisfacción de un requerimiento nutricional dentro de un grupo poblacional determinado. Esto es, para el caso del déficit de ácidos grasos esenciales, la variable de penalización estaría constituida, entre otras, por la métrica cuantitativa que recogiese el coste asociado a los tratamientos que podrían requerirse para tratar las enfermedades que apareciesen debido al déficit del nutriente, como obstrucciones en el flujo sanguíneo, enfermedades de hígado, etc.

El planteamiento o marco conceptual del modelo es sencillo y a continuación se muestran los pasos seguidos en su planteamiento:

- 1) Inspección de los requerimientos nutricionales por grupo de población (cada grupo viene definido por un rango de edad y sexo).
- 2) Búsqueda del aporte nutricional de distintos grupos de alimentos con los cuales se hacen frente a las necesidades de nutrición de los distintos grupos poblacionales identificados en el paso 1.

- 3) Obtención del precio asociado a cada uno de los grupos nutricionales por kg de grupo de alimento identificados en el paso 2.
- 4) Minimización de los costes de compras (mencionados en el paso 3) y de los costes por kg de macronutriente no suministrado, sujeta a las restricciones que se explicarán en el apartado 5 de este capítulo de la memoria.

El modelo resultante se puede explicar visualmente mediante el siguiente esquema conceptual:

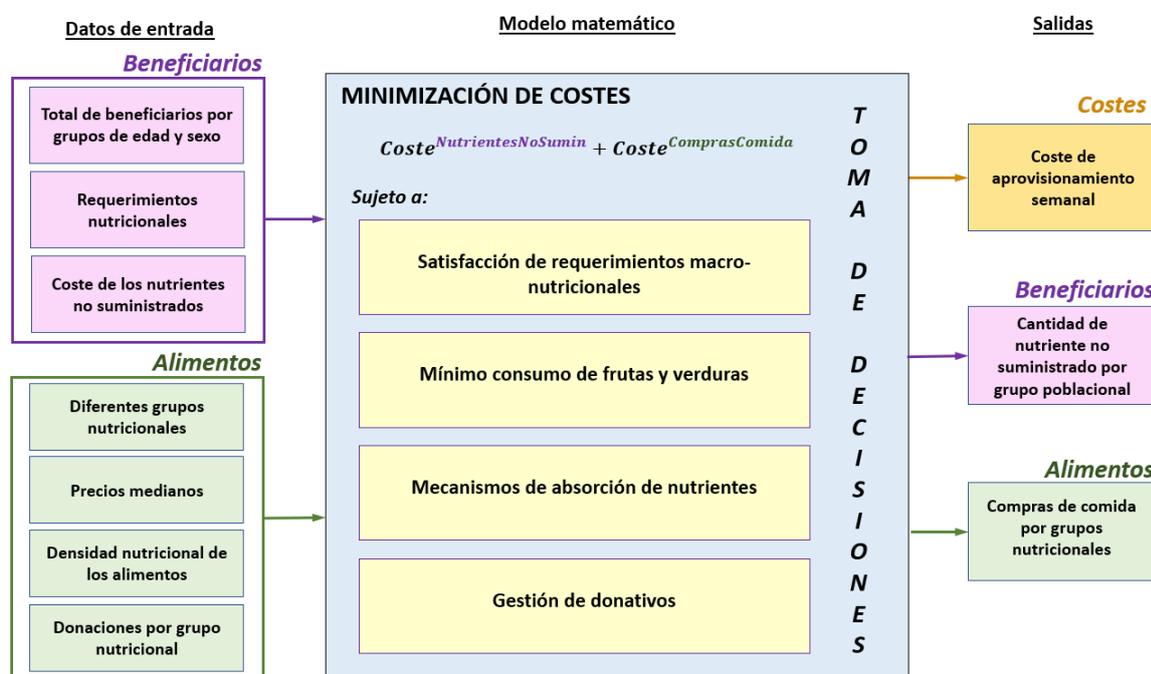


Figura 1 Representación conceptual del modelo NUTROPT

2. HIPÓTESIS DE MODELADO

En esta sección se describen las hipótesis que se han asumido en el modelado. Se formulan dos tipos de hipótesis, por un lado, están las hipótesis de modelado, que se establecen para simplificar la complejidad de la problemática bajo estudio y, por otro lado, están las hipótesis de ejecución, que son diseñadas por motivos computacionales o para simplificar los análisis a realizar. A continuación se presentan cada una de dichas hipótesis:

Hipótesis en el modelado de los requerimientos nutricionales:

- 1) Se considera un despacho de las necesidades nutricionales para una única semana. Esto se hace para poder capturar cierta variabilidad en los resultados generados por la dieta propuesta por el modelo. La compra se realizaría una única vez a la semana, al principio de ésta y cubriría las necesidades del resto de días.
- 2) En los costes de compra de alimentos no se contempla el coste asociado al almacenamiento o a la distribución y tampoco el relacionado con el coste de recursos energéticos (electricidad o agua) necesario para su preparación.
- 3) Para representar los distintos gustos alimenticios de la población, en lugar de usar productos concretos para satisfacer sus necesidades, se han usado grupos de alimentos. Esto es, en lugar de considerarse, por ejemplo, el jamón de Campofrío o los filetes de pollo de marca Sertina, de manera diferenciada, éstos se agregarían dentro de “Carnes”. Así, tanto los precios como las aportaciones por kg de alimento se están considerando sobre grupos de alimentos, en base a estudios estadísticos efectuados sobre la población española. Se consideran 12 grupos de alimentos distintos: {cereal, verdura, fruta, grasas y aceites, lácteos, pescado, carne, huevos, legumbres, dulces, salsas, bebidas}.
- 4) Se ha considerado que puede haber cantidades no suministradas de nutriente, que vendrán afectadas por una penalización en la función de costes que se pretende minimizar.
- 5) Se tiene en cuenta el efecto de las proteínas animales sobre la biodisponibilidad de las proteínas de origen vegetal.

Hipótesis de ejecución en el modelo:

- 1) La proporción de beneficiarios por grupo de edad se toman del primer decil de ingresos en España, en el año 2018.
- 2) Los requerimientos nutricionales se establecen a partir de las métricas de RDA cuando sea posible. En caso de no ser posible, se estiman con el rango inferior propuesto en los AMDRS.
- 3) Sólo se considerarán requerimientos nutricionales sobre las necesidades de macronutrientes y de energía. Esta hipótesis se debe a la dificultad de encontrar datos acerca de la aportación promedio o mediana de micronutrientes por grupo de alimentos.
- 4) Los precios usados por kg de alimento que se usan en el modelo se tratan de precios medianos por kg y grupo de alimento.
- 5) Se considerará un único coste por kg de nutriente no suministrado (1000€ por kg de nutriente no suministrado), para todos los grupos de población.
- 6) Se estudiarán únicamente los grupos de población de hombres y mujeres de 9 a los 75 años, dejando fuera a lactantes, infantes y la casuística del embarazo (mujeres embarazadas y en lactancia), en línea con [8].
- 7) Al modelarse una única semana del año, se considerará que las donaciones que se realizan durante todo un año se dan de manera continua, distribuida de manera uniforme a lo largo de todos los días del año. Esto es equivalente a decir que las donaciones en una semana cualquiera son las donaciones totales que se producen durante un año, divididas por el número de semanas del año en cuestión (tomándose como 52 el número de semanas por año).
- 8) Aunque la formulación conceptual admita 12 grupos de alimentos, para facilitar la interpretación de resultados en el caso de estudio 2, se eliminarán de la lista los dulces, salsas y bebidas. El motivo tiene que ver con que el modelo no captura el impacto perjudicioso de estos alimentos sobre los beneficiarios (que radica en motivos como el impacto en el índice glucémico).

En los siguientes apartados de este capítulo se presentará la formulación del modelo NUTROPT, que es un modelo de optimización lineal con variables continuas, desde la función objetivo a las restricciones a las que está sujeta la minimización. Para ello, primeramente, se presentará la nomenclatura empleada.

3. NOMENCLATURA

Esta sección recoge la nomenclatura empleada en la formulación del modelo. Variables endógenas e índices se representan con minúscula y variables exógenas (parámetros/datos de entrada), se representan con mayúscula.

Índices	Significado
a	Grupo de alimentos {cereal, verdura, fruta, grasas y aceites, lácteos, pescado, carne, huevos, legumbres, dulces, salsas, bebidas}
p	Grupo de población (definido por sexo y edad)
r	Requerimiento nutricional {carbohidratos, fibra, lípidos, omega-3, omega-6, proteínas, energía}
a^{ANI}	Subset de a que hace referencia a las fuentes de proteínas de origen animal {lácteos, pescado, carne, huevos}
a^{VEG}	Subset de a que hace referencia a las fuentes de proteínas de origen vegetal {cereal, verdura, fruta, legumbres}

Tabla 1: Subíndices. Fuente: Elaboración propia.

Parámetros	Significado
$NUT_{a,r}$	Aporte nutricional r por grupo de alimento a $\left[\frac{kg_{nut}}{kg_{alim}}; \frac{kcal}{kg_{alim}} \text{ para el caso } r = \text{energía} \right]$
$NEC_{p,r}$	Necesidades semanales de nutriente r por grupo poblacional p $\left[\frac{kg_{nut}}{pers}; \frac{kcal}{kg_{alim}} \text{ para el caso } r = \text{energía} \right]$
$COST_{p,r}^{NS}$	Coste por cantidad de nutriente p no suministrado a grupo p $[\text{€/kg}_{nut}; \text{€/kcal para } r = \text{energía}]$
$PRECIO_a$	Precio por kg de alimentos del grupo a $[\text{€/kg}_{alim}]$

DON_a	Donaciones semanalmente recibidas por grupo de alimento a [kg_{alim}]
$GENTE_p$	Número de personas del grupo de población p [$pers$]
CAL_r	Número de kcal por macronutriente r [$kcal/kg_{nut}$]
$AMDRS_r^{MAX}$	Máximo de calorías provenientes de un macronutriente r [%]

Tabla 2: Parámetros exógenos dependientes de un set. Fuente: Elaboración Propia

Parámetros	Significado
$FRUVER^{MIN}$	Mínimo de frutas y verduras a consumir en la semana [kg_{alim}]
$AVSP$	Ratio mínimo aceptable para la biodisponibilidad de proteínas vegetales, definido como la cantidad mínima de proteína animal que debe suministrarse para que la biodisponibilidad de las de origen vegetal sea del 100% [$kg_{Animal}^{Proteina} / kg_{Vegetal}^{Proteina}$]

Tabla 3: Parámetros exógenos independientes de un set. Fuente: Elaboración Propia

Variables	Significado
$c_{a,p}$	Cantidad distribuida a beneficiarios procedente de compras del grupo de alimentos a para satisfacer necesidades del grupo de población p [kg_{alim}]
$d_{a,p}$	Cantidad distribuida a beneficiarios procedente de donaciones del grupo de alimentos a para satisfacer necesidades del grupo de población p [kg_{alim}]
e_a	Excedente en donaciones del grupo de alimentos a [kg_{alim}]
$cns_{p,r}$	Cantidad de nutriente no suministrada al grupo de población p [kg_{nut} ; $kcal$ para el caso $r = energia$]

Tabla 4: Variables endógenas del modelo. Fuente: Elaboración Propia

Todas las variables presentadas en la Tabla 4 son variables positivas y continuas. El considerar las variables continuas facilita la compilación del modelo frente a trabajar con variables discretas y no empeora de manera apreciable la interpretación de resultados. Esto es porque las cantidades de comida suministradas por el Banco de Alimentos de Madrid se encontrarán en el orden

Optimización de recursos en el Banco de Alimentos de Madrid: Abordando las necesidades de compras y aprovisionamiento de las toneladas y por tanto los errores devenidos de tratar a las variables como continuas en lugar de como discretas son despreciables.

4. FUNCIÓN OBJETIVO

El modelo de compras propuesto minimiza, para una única semana de operación, la suma de los costes de compra de alimentos y por nutriente no suministrado, desde la perspectiva del Banco de Alimentos de Madrid que se entiende como una organización que busca ofrecer un servicio social y asume cierta responsabilidad en el bienestar alimenticio de sus beneficiarios. Las compras responden a la necesidad de cubrir los requerimientos nutricionales de distintos grupos poblacionales, aunque no atendiendo de forma explícita a sus preferencias.

Los costes a minimizar son los de la compra de víveres y los de la penalización por cantidad de nutriente no suministrado.

$$\text{Min} \left(\sum_{a,p} \text{PRECIO}_a \cdot c_{a,p} + \sum_{p,r} \text{COST}_{p,r}^{NS} \cdot cns_{p,r} \right) \quad (1)$$

Una hipótesis fundamental en la formulación de la función objetivo es que no se ha considerado el coste asociado al transporte, distribución y almacenamiento de los distintos productos alimenticios (desde el momento de su compra), que podrían tener unos requerimientos muy dispares. Por ejemplo, el coste de almacenamiento de productos como verduras u otros alimentos perecederos podría ser mucho mayor que el de otros alimentos, como los basados en cereal. Tampoco se ha considerado el coste de personal necesario para manipular los alimentos comprados, ni los costes asociados a preparar y cocinar los alimentos.

5. RESTRICCIONES

En esta sección se detalla la formulación de las ecuaciones a las que está sujeta la función objetivo detallada en el apartado anterior, con los comentarios oportunos para su comprensión.

Cumplimiento de los requerimientos nutricionales

La siguiente restricción define la condición que relaciona la cantidad de alimentos comprados y los donativos con la cantidad de nutriente no suministrado y los requerimientos nutricionales a satisfacer, de los distintos grupos poblacionales.

$$\sum_a ((c_{a,p} + d_{a,p}) \cdot NUT_{a,r}) + cns_{p,r} \geq NEC_{p,r} \cdot GENTE_p \quad \forall p, r \quad (2)$$

Esto es, representa que la suma de las compras y los donativos de alimentos efectuados multiplicados por su contenido nutricional y sumados a la cantidad de nutriente no suministrado, debe ser suficiente para cubrir las necesidades nutricionales de la población.

Limitación calórica proveniente de los distintos grupos de alimentos

Tal y como se comentó en la revisión del estado del arte, existen unos límites establecidos a la cantidad de energía que puede provenir de los distintos macronutrientes, que queda recogida en los AMDRS. Como se vio, estos sirven para poner unas cotas inferiores y superiores a la aportación calórica de cada uno de esos macronutrientes, aunque en esta limitación se contemplará únicamente el límite superior, ya que el límite inferior queda ya recogido en la ecuación (2).

$$\begin{aligned} CAL_r \cdot \left(\sum_a ((c_{a,p} + d_{a,p}) \cdot NUT_{a,r}) + cns_{p,r} \right) \\ \leq AMDRS_r^{MAX} \cdot NEC_{p,'energía'} \cdot GENTE_p \\ \forall p, r \in \{proteínas, lípidos, carbohidratos\} \end{aligned} \quad (3)$$

Se puede apreciar que dicha restricción aplica únicamente para los grupos de macronutrientes principales: proteínas, lípidos y carbohidratos, que son precisamente los únicos grupos de macronutrientes para los que existe un AMDRS definido, tal y como se puede comprobar en la revisión del estado del arte.

Condición de donativos y excedentes limitados:

La siguiente restricción define la condición que relaciona los donativos repartidos entre los distintos grupos poblacionales con la cantidad de donativos de cada grupo de alimentos disponible y los excedentes producidos.

$$\sum_p d_{a,p} = DON_a - e_a \quad \forall a \quad (4)$$

La variable e_a , cuantifica excedentes en donaciones², las cuales podrían en la práctica generar costes indeseables por almacenamiento, pudiendo resultar incluso conveniente trasladarlos a otros lugares de España donde dichos alimentos se pudiesen encontrar en menor cantidad. Por tanto, el exceso de donación mostraría ineficiencias en la toma de decisiones relativas a compras en los donativos. El análisis de esta problemática específica queda fuera del alcance de este estudio, aunque se propone como futuros desarrollos.

Consumo mínimo de frutas y vegetales

Es bien conocido que los organismos internacionales dedicados a la salud realizan recomendaciones orientadas a establecer un mínimo consumo de frutas y vegetales al día. Ese estándar se fija por la OMS en 400g/día [17], que se considera algo alto, debido entre otras a las dificultades logísticas relacionadas con el almacenamiento, el transporte y la conservación en buenas condiciones de dichos alimentos. Por eso, se establecerá un requerimiento algo menos estricto, de 2kg/semana de frutas y verduras, un valor recogido en el parámetro $FRUVER^{MIN}$, tal y como se presenta a continuación.

$$(c_{fruta,p} + d_{fruta,p}) + (c_{verdura,p} + d_{verdura,p}) \geq FRUVER^{MIN} \quad \forall p \quad (5)$$

Es importante destacar que, de cierta forma, dado que las verduras y las frutas son relevantes en la dieta debido a su aportación de micronutrientes y vitaminas, y no tanto por su aporte macronutricional, esta restricción sirve para abordar (al menos

² Los recursos donados se consideran en exceso cuando su consumo sería perjudicioso para la salud, que es una relación recogida en la ecuación (3). Nótese que la variable e_a introducida en la ecuación 4 tiene la función de cuantificar este exceso y permite que no se tenga que entregar a los beneficiarios todos los alimentos que se entregan en materia de donación.

Optimización de recursos en el Banco de Alimentos de Madrid: Abordando las necesidades de compras y aprovisionamiento de forma implícita) el cumplimiento de los requerimientos micronutricionales de los distintos segmentos de la población.

Condición de biodisponibilidad de proteínas de origen vegetal

Tal y como se comentó en la revisión del estado del arte, en la planificación de una dieta, no sólo es importante atender a la ingesta de nutrientes, sino que también resulta relevante prestar atención a los mecanismos que llevarían a su absorción por el organismo tal y como se sugiere en [5]. Si bien no hay constancia de haberse determinado un ratio óptimo entre la ingesta de proteína animal y vegetal, es habitual encontrar propuestas que, como poco, establecen que por cada 3g de proteína vegetal, habría que tomar 1g de proteína animal para potenciar su biodisponibilidad. Ese es precisamente el objetivo que se busca al imponer la siguiente restricción:

$$\sum_{a^{ANI}} \left((c_{a,p} + d_{a,p}) \cdot NUT_{a,'proteinas'} \right) \geq AVSP \cdot \sum_{a^{VEG}} \left((c_{a,p} + d_{a,p}) \cdot NUT_{a,'proteinas'} \right) \forall p \quad (6)$$

Es importante remarcar que otros estudios tratan de sugerir la relación en sentido opuesto, apoyando que se acote superiormente la cantidad consumida de proteína de origen animal por la cantidad ingerida de origen vegetal (ver [18]). Esos mismos trabajos suelen sugerir que un alto consumo de proteína animal está ligado al desarrollo de cardiopatías, sin embargo, en otros estudios recientes ([19],[20]) parece que el impacto negativo sobre la salud de los excesos de la proteína de origen animal solo se producen en caso de patologías previas. Debido a que es poco frecuente que una persona en estado de necesidad de ayuda alimenticia tenga un superávit de proteína de origen animal, no se ha considerado necesario valorar si era conveniente implementar la restricción en el sentido opuesto.

Capítulo 4. DATOS DE ENTRADA AL MODELO

En este capítulo se expone el detalle de las fuentes y el tratamiento de los datos de entrada al modelo, que han servido para generar los distintos escenarios evaluados en el estudio. Para la confección de las entradas al modelo se ha recurrido a publicaciones oficiales de organismos nacionales como el INE [21] o internacionales como la Organización Mundial de la Salud [3] y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [4]. También se ha recurrido al Harrison's, un manual de referencia internacional en el campo de la Medicina y la Salud, [5], y a otros trabajos de investigación publicados en revistas relevantes sobre la temática de la Nutrición y las Ciencias de la Salud.

Los datos se expondrán en el orden que se expuso en el planteamiento, esto es, en primer lugar, se muestran los datos de entrada para los requerimientos nutricionales de la población, en segundo lugar, se presentan los datos relativos al aporte nutricional de cada uno de los grupos de alimento bajo estudio y en tercer lugar se presentan los datos relativos al coste por kg de cada uno de los grupos de alimentos. En último lugar se presentan los datos relativos al segundo caso de estudio que se planteó en el apartado de "Motivación", esto es, el número de personas que constituyen cada uno de los grupos poblacionales, resultado de combinar informes del Instituto Nacional de Estadística, referentes al primer decil de población, con los datos referidos al número de beneficiarios del Banco de Alimentos de Madrid, además de la cantidad de alimentos donada durante el año 2018.

1. REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES DE LA POBLACIÓN

Como ya se ha comentado, los requisitos macronutricionales por grupo de población considerado se pueden obtener de [3], [4], [5] o [6] ya que en todos ellos se presentan las mismas cifras, reflejando consenso. Por otra parte, los requisitos calóricos de cada grupo se toman de [22], ya que presenta un estudio más detallado y pormenorizado de los requerimientos energéticos de los distintos grupos.

Es interesante remarcar que en los requerimientos nutricionales establecidos por [3], [4], [5] o [6], no se presenta una dosis mínima de lípidos, con lo que dicha dosis ha sido determinada a partir del rango inferior del AMDRS para lípidos.

En la tabla a continuación se presentan los datos desprendidos de la búsqueda en los informes mencionados, con un tratamiento matemático correspondiente al escalado de los requerimientos a una base semanal.

Tabla 5 Requerimientos macronutricionales y energéticos semanales para los distintos grupos poblacionales considerados en el estudio.
Fuentes: Elaboración Propia a partir de [3], [4], [5], [6] y [22]

Grupo de población	Edad	[kg/semana]					[kcal/semana]	
		Carbohidratos	Fibra total	Lípidos	Ácido linoleico (w-6)	Ácido alfa-linoleico (w-3)	Proteínas	Energía
Varones	9-13 años	0,910	0,217	0,389	0,084	0,008	0,238	17500
	14-18 años	0,910	0,266	0,529	0,112	0,011	0,364	23800
	19-30 años	0,910	0,266	0,436	0,119	0,011	0,392	19600
	31-50 años	0,910	0,266	0,389	0,119	0,011	0,392	17500
	51-70 años	0,910	0,210	0,319	0,098	0,011	0,392	14350
	>70 años	0,910	0,210	0,311	0,098	0,011	0,392	14000
Mujeres	9-13 años	0,910	0,182	0,342	0,070	0,007	0,238	15400
	14-18 años	0,910	0,182	0,389	0,077	0,008	0,322	17500
	19-30 años	0,910	0,175	0,342	0,084	0,008	0,322	15400
	31-50 años	0,910	0,175	0,303	0,084	0,008	0,322	13650
	51-70 años	0,910	0,147	0,272	0,077	0,008	0,322	12250
	>70 años	0,910	0,147	0,264	0,077	0,008	0,322	11900

2. APORTE NUTRICIONAL DE LOS DISTINTOS GRUPOS DE ALIMENTOS

Tal y como ya se ha comentado, en este estudio se han considerado 12 grupos de alimentos distintos, a saber, *cereales y derivados, verduras, frutas, grasas y aceites, lácteos, pescados, carnes y derivados, huevos, legumbres, dulces y azúcares, salsas y condimentos* y por último *bebidas distintas del agua*.

Como también se comentó en el estado del arte, el aporte nutricional de los distintos grupos de alimentos se tiene que desprender de un estudio que contemple el tipo de productos consumidos en el entorno español, para que de esta manera se refleje, por una parte, la calidad nutricional de los alimentos en el territorio y por otra, los hábitos de consumo del país. Es por ello que para la obtención de estos datos se ha recurrido al estudio ANIBES, [8]. En este estudio se presenta el aporte nutricional generado por cada uno de los distintos grupos alimenticios en un grupo representativo de la sociedad española, con gente en edades de 9 a los 75 años. A partir de esos datos, teniendo en cuenta la cantidad de comida ingerida de cada tipo de alimentos y su aporte macronutricional, se puede obtener el aporte nutricional por kg de cada uno de los grupos de alimentos. Sin embargo, hay que destacar que, debido (entre otras) a la baja resolución (entendida como la ausencia de suficientes cifras significativas) de los datos presentados por el estudio, al hacer el sumatorio de los aportes nutricionales (incluyendo el agua) por kg de alimento, las cantidades a menudo no llegaban a sumar el kg de alimento que debería sumar, o sumaban ligeramente por encima. Es por este motivo que ha habido que corregir los datos del informe, aplicando un coeficiente corrector uniforme sobre las aportaciones macronutricionales así como de agua y energía de cada uno de los grupos de alimentos.

Los resultados obtenidos sin corregir y corregidos se presentan en dos tablas a continuación, para ilustrar el efecto de la corrección (obsérvese la columna “Suma”).

Uno de los detalles que se podrían mejorar en la representación de los aportes nutricionales de los alimentos sería considerar sub-grupos de alimentos en lugar de grupos de alimentos. Es decir, realizar el desglose del grupo *cereales y derivados* en los subgrupos *arroz, pasta, pan*, etc, con sus respectivos aportes nutritivos. Esto no se ha realizado así, entre otras, porque obtener precios por kg de subgrupo implicaba realizar un gran esfuerzo de búsqueda de datos, que escapaba a los objetivos del TFM que aquí se presenta.

Tabla 6 Aporte macronutricional, energético y de agua de los distintos grupos de alimentos considerados en el estudio, SIN CORREGIR
Fuentes: Elaboración Propia a partir del estudio ANIBES, [8]

Grupos y subgrupos de alimentos	Valores nutricionales sin <i>corregir</i> por kg								
	Carbohidratos [g]	Fibra total [g]	Lípidos [g]	Ácido linoleico [g]	Ácido alfa-linoleico [g]	Proteínas [g]	Agua [ml]	Suma [g]	Energía [kcal]
Cereales y derivados	577.62	32.24	51.43	6.93	0.43	82.38	232.76	976.42	3155.23
Verduras	81.24	17.20	2.64	0.22	0.09	16.15	831.50	948.72	416.21
Frutas	107.25	15.37	10.24	1.13	0.10	9.97	684.00	826.84	605.81
Grasas y aceites	0.73	0.00	983.23	84.57	3.85	0.87	31.80	1016.63	8699.92
Lácteos y derivados	69.21	0.19	39.70	4.19	0.64	48.23	916.60	1073.93	806.02
Pescado y Marisco	2.16	0.00	54.75	18.28	5.60	131.86	598.34	787.11	1069.89
Carnes y derivados	3.60	0.00	113.91	27.82	3.22	159.90	659.22	936.63	1777.11
Huevos	0.00	0.00	96.83	7.72	0.73	114.97	734.55	946.36	1313.06
Legumbres	415.15	82.42	26.45	4.22	0.04	170.94	258.46	953.42	2814.57
Dulces y azúcares	734.77	5.25	66.46	3.64	0.49	38.04	118.60	963.13	3674.70
Salsas y condimentos	48.10	19.41	177.87	22.64	1.64	26.85	750.03	1022.26	2048.12
Bebidas no alcohólicas	20.36	0.09	0.35	0.00	0.00	1.15	1019.23	1041.19	93.93

Tabla 7 Aporte macronutricional, energético y de agua de los distintos grupos de alimentos considerados en el estudio, CORREGIDOS
Fuentes: Elaboración Propia a partir del estudio ANIBES, [8]

Grupos de alimentos	Valores nutricionales <i>corregidos</i> por kg								
	Carbohidratos [g]	Fibra total [g]	Lípidos [g]	Ácido linoleico (w-6) [g]	Ácido alfa-linoleico (w-3) [g]	Proteínas [g]	Agua [ml]	Suma [g]	Energía [kcal]
Cereales y derivados	591.57	33.02	52.67	7.10	0.44	84.37	238.38	1000.00	3231.42
Verduras	85.63	18.12	2.78	0.23	0.10	17.02	876.45	1000.00	438.70
Frutas	129.72	18.59	12.38	1.36	0.13	12.06	827.25	1000.00	732.68
Grasas y aceites	0.71	0.00	967.15	83.18	3.79	0.86	31.28	1000.00	8557.61
Lácteos y derivados	64.44	0.18	36.96	3.90	0.60	44.91	853.50	1000.00	750.53
Pescado y Marisco	2.75	0.00	69.56	23.22	7.12	167.53	760.17	1000.00	1359.27
Carnes y derivados	3.85	0.00	121.62	29.70	3.44	170.72	703.82	1000.00	1897.34
Huevos	0.00	0.00	102.32	8.16	0.77	121.49	776.19	1000.00	1387.49
Legumbres	435.43	86.44	27.74	4.43	0.04	179.29	271.09	1000.00	2952.08
Dulces y azúcares	762.90	5.45	69.01	3.78	0.51	39.50	123.14	1000.00	3815.37
Salsas y condimentos	47.06	18.98	174.00	22.15	1.60	26.26	733.70	1000.00	2003.52
Bebidas no alcohólicas	19.56	0.08	0.34	0.00	0.00	1.11	978.91	1000.00	90.22

3. PRECIO DE LOS ALIMENTOS

En la obtención de los precios por kg de alimento comprado, se han buscado estudios que no solo proveyeran precios para cada uno de los grupos de alimentos definidos en el apartado anterior, sino que también reflejara de una forma u otra la variabilidad de precios que se podrían llegar a encontrar dentro de cada uno de estos grupos de alimentos, debido a distintos perfiles socioeconómicos de consumo.

En esa línea de pensamiento, se han encontrado varios trabajos en los que se han realizado grandes esfuerzos de recopilación de datos de precios por grupo de alimentos, con muestras suficientemente representativas ($n \approx 200$ productos por grupo de alimentos).

La resolución de esta complicación se ha basado en utilizar los precios promedio por 100g obtenidos en [23], que son posteriormente transformados en precios medianos a través de la relación presentada en [9]. Esto se ha hecho para tener en cuenta que los precios promedios son poco representativos de la disposición a pagar de la población en los deciles de ingresos más bajos. Si bien aparentemente lo idóneo hubiera sido obtener los precios del primer decil para cada uno de estos grupos de alimentos, esto podría representar poca variabilidad dentro del grupo de alimentos, motivo por el cual se ha optado por recurrir al precio mediano en su lugar.

Tabla 8 Precio mediano de los distintos grupos de alimentos
Fuentes: Elaboración Propia a partir de [23] y [9]

Grupo de alimentos	[€/100g]
Cereales y derivados	0.270
Verdura	0.119
Fruta	0.101
Grasas y aceites	0.317
Lácteos y derivados	0.240
Pescados	0.318
Carnes	0.318
Huevos	0.200
Legumbres	0.290
Dulces	0.275
Salsas	0.254
Bebidas	0.275

4. NÚMERO DE BENEFICIARIOS (CASO ESTUDIO 2)

Tal y como se ha comentado, el segundo caso de estudio a realizar sobre el trabajo versa sobre la operación del Banco de Alimentos de Madrid durante el año 2018. Para eso hacen falta dos piezas de información a añadir sobre las ya aportadas en los apartados anteriores (1-3) de este capítulo, a saber, el número de beneficiarios por grupo poblacional que atendió el grupo poblacional (objeto de este apartado) y las donaciones por grupo de alimentos realizadas durante el año 2018 (objeto del siguiente apartado).

Para la obtención del número de beneficiarios del Banco de Alimentos de Madrid por grupo poblacional se considera por un lado el número de beneficiarios total atendido por el Banco de Alimentos de Madrid durante 2018, que se puede obtener de [24], y se le impondrá el reparto entre grupos poblacionales dado por el primer decil de ingresos, ofrecido por el INE en [21].

Así pues, el número total de beneficiarios por grupo de población bajo estudio vendría dado por la tabla que se presenta a continuación.

Tabla 9 Número de personas por grupo poblacional.
Fuentes: Elaboración Propia a partir de [21] y [24]

Grupo de población	[personas]
Hombres entre 9 y 13 años	7664
Mujeres entre 9 y 13 años	8920
Hombres entre 14 y 18 años	8292
Mujeres entre 14 y 18 años	9317
Hombres entre 19 y 30 años	20905
Mujeres entre 19 y 30 años	22996
Hombres entre 31 y 50 años	23217
Mujeres entre 31 y 50 años	24784
Hombres de entre 51 y 70	18543
Mujeres de entre 51 y 70	16774
Hombres de entre 70 y 75	2362
Mujeres de entre 70 y 75	2563

Resulta importante comentar que no a todos estos beneficiarios se les proporciona una ayuda alimenticia para cubrir el 100% de sus requerimientos nutricionales, ya que este servicio solo se ofrecería a gente sin ningún tipo de ingresos. De hecho, de acuerdo con la información recopilada a partir de entrevistas a personal responsable en el Banco de Alimentos, por cada dos beneficiarios, se cubren aproximadamente los requerimientos nutricionales completos de uno. Esto es

equivalente a decir que el número de beneficiarios “completos” atendidos vendría dado por un valor un 50% inferior al presentado.

5. CANTIDAD DE DONATIVOS (CASO ESTUDIO 2)

A partir de la Memoria Anual del Banco de Alimentos de Madrid para el año 2018 que se puede encontrar en [24], se puede obtener la cantidad total de alimentos donados entre particulares, retiradas de frutas y hortalizas, y el Fondo Europeo de Ayudas a Desfavorecidos (FEAD, [25]).

Resulta importante remarcar que las cifras encontradas en dicho documento son las cifras correspondientes a las cantidades anuales recibidas por el Banco de Alimentos mientras que en el modelo que se desarrolla en este trabajo fin de máster, se trabaja con una única semana del año. Para adaptar los datos de entrada al modelo se realiza un escalado sobre estos datos de entrada, dividiendo las donaciones totales recibidas a lo largo de un año entre el número de semanas totales del año (se han considerado 52 semanas en el año 2018). Este es precisamente el fundamento de la hipótesis de ejecución 7 comentada en el capítulo anterior. Se trata de una aproximación poco realista, teniendo en cuenta que buena parte de las donaciones se producen de forma muy concentrada en determinados picos del año. Por ejemplo, las donaciones del FEAD se producen en 3 ocasiones durante el año, y las operaciones kg o de “Gran Recogida” se producen, de igual manera, en momentos muy puntuales del año. Sin embargo, resulta verdaderamente facilitadora, porque permite no introducir cronología semanal al modelo, dejándose dicha labor para futuros desarrollos.

Tabla 10 Cantidad de donativos considerados para la semana de estudio
Fuentes: Elaboración Propia a partir de [24]

Grupo de alimentos	[kg/sem]
Cereales y derivados	51667
Verdura	68820
Fruta	93989
Grasas y aceites	12519
Lácteos y derivados	72742
Pescados	5790
Carnes	3712
Huevos	0
Legumbres	13178

Se recuerda que para este caso de estudio se ha impuesto la condición descrita por la Hipótesis 8 que establece que, debido a la complejidad conceptual añadida de este caso estudio, se eliminan de la lista de 12 grupos alimenticios, los dulces, salsas y bebidas. Entre otros motivos para excluir estos grupos, hay que destacar que la representación de estos grupos de alimentos es especialmente compleja, ya que una presencia incluso moderada de estos podría resultar dañina para los individuos que las consumen. Los motivos por los que esto sucede tienen raíz en cuestiones médicas y nutricionales que escapan de los objetivos de este estudio, como el impacto que tienen estos tres grupos de alimentos sobre el índice glucémico, una variable que no se controla en este trabajo.

Capítulo 5. CASOS DE ESTUDIO

En los capítulos anteriores se ha planteado y desarrollado, asumiendo ciertas hipótesis simplificadoras, un modelo matemático que representa las compras que tendría que realizar el Banco de Alimentos de Madrid en una semana de operación para que, complementando a los víveres recibidos por donativos, se pueda optar a cubrir los requisitos nutricionales de la población beneficiaria.

En esta línea de pensamiento, el modelo propuesto tiene cierto potencial para determinar (cuantitativa y cualitativamente) cómo se deberían de plantear las decisiones de compra para minimizar los gastos innecesarios. Debido a la manera en la que está formulado, también permitirá desprender conclusiones relevantes acerca de si se producen diversos tipos de ineficiencias en los donativos, lo cual podría ser muy importante de cara a las próximas campañas de recogidas y de donativos.

En este capítulo se presentan los casos de estudio de este trabajo, que sirven para poner a prueba y comprobar las sensibilidades del modelo.

Tal y como se ha comentado ya, se plantearán dos casos de estudio, a saber:

- 1) Estudio de la respuesta del modelo en un caso básico, donde se tenga un único beneficiario (o persona física) por grupo poblacional, que permita comprobar fácilmente la coherencia de los resultados y, por tanto, sirva para evaluar positiva o negativamente la formulación del modelo.
- 2) El estudio de la operación real del Banco de Alimentos de Madrid durante el año 2018. Consiste en usar como datos de entrada: 1) las donaciones que se produjeron en el año, escaladas al caso semanal y 2) el número real de beneficiarios del Banco de Alimentos de Madrid. Así, por un lado, se podrá comprobar la respuesta del modelo ante un caso realista de operación y por otro, el caso de estudio podría servir para identificar oportunidades de mejora en las decisiones del aprovisionamiento del Banco de Alimentos de Madrid.

1. CASO DE ESTUDIO 1: VALIDACIÓN DEL MODELO

El primer caso de estudio consiste simplemente en la comprobación de la respuesta del modelo ante el caso más simple posible que permita confirmar su correcto funcionamiento.

Los datos de entrada de requerimientos nutricionales abordados, aporte nutricional por grupo de alimentos y precio por cantidad de alimento son los correspondientes a los apartados 1-3 mostrados en el capítulo anterior. El número de beneficiarios atendidos es de 12, correspondiendo a un individuo por grupo poblacional, cuyas necesidades alimenticias se tienen que cubrir completamente. Por último, en este caso se considera que no hay ningún tipo de donación, esto es, que $DON_a = 0 \forall a$.

Como ya se ha dicho, el objetivo de este caso de estudio es validar el modelo, lo que quiere decir, comprobar que la respuesta del modelo es cualitativa y cuantitativamente razonable. Así, esta comprobación pasa por validar que variables como el coste total, o las cantidades y tipos de alimentos comprados sean razonables.

A continuación se muestran y se comentan los resultados más relevantes arrojados por el modelo. Los resultados se presentarán en el siguiente orden: en primer lugar, se presentarán las cantidades de alimento comprado (que en este primer caso coincidiría con las cantidades de alimento distribuidas a los beneficiarios al no haber donativos), y acto seguido se presentan las cantidades de nutriente no suministrado. En último lugar se presentarán y comentarán los resultados relacionados con el coste arrojado por el modelo.

Las compras realizadas en cantidad y tipo de alimento se presentan en la figura a continuación. Los resultados permiten comprobar la coherencia del ajuste de los datos de entrada, por varios motivos. Presenta cantidades muy razonables de comida con dietas de entre 700g y 1200g de comida diarios, mostrando sensibilidades apropiadas para los distintos grupos de edad (se observan picos de ingesta en la edad de la adolescencia, a partir de la cual los requerimientos se van reduciendo), y consumos mayores en el caso de los hombres que en el de las mujeres. En línea con lo esperado, la dieta propuesta es bastante variada, mostrando cantidades importantes de alimento de 7 de los 12 grupos de alimentos (dejando fuera a las verduras, los lácteos, los dulces, las salsas y las bebidas distintas del agua).

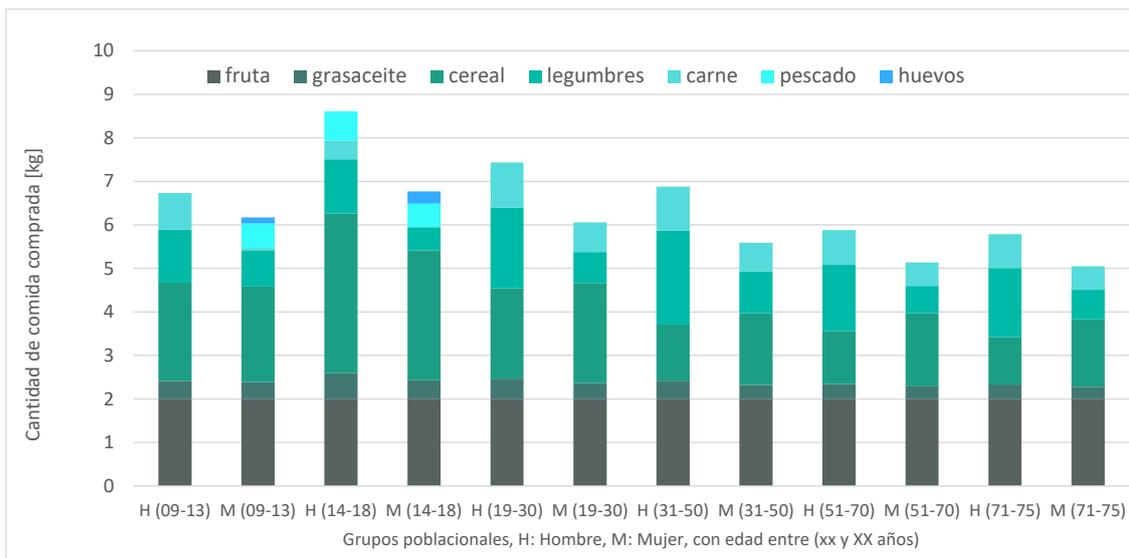


Figura 2. Cantidades de comida compradas para satisfacer los requerimientos nutricionales de los distintos grupos poblacionales. Caso 1: 1 beneficiario por grupo de población y sin donaciones

Si bien era sensato esperar que se produjera una ausencia de los grupos “dulces”, “salsas” y “bebidas distintas del agua” en el diseño de una dieta óptima, la ausencia de los grupos “verduras” y “lácteos”, puede requerir de una explicación adicional. En concreto, la ausencia de las verduras se explica porque éstas se consideran parte importante de una dieta saludable debido a su aporte de micronutrientes, que no se han considerado dentro del modelo de optimización con base en la hipótesis de ejecución número 3. De hecho, la ingesta de verduras y frutas necesaria se ha tenido que considerar a través de la ecuación (5), que fija una cantidad mínima de frutas y verduras a consumir durante la semana. Así, la fruta ha salido “favorecida” en comparación con la verdura debido a tener valores macronutricionales ligeramente superiores en la mayoría de las categorías, y un precio aproximadamente 20% menor, tal y como se puede apreciar en las tablas 7 y 8, respectivamente. Algo similar puede estar pasando con los lácteos, cuya participación en una dieta equilibrada se apoya tradicionalmente en el aporte de Calcio, un micronutriente no considerado en el estudio.

Entre otros resultados interesantes, el consumo de cereales parece cumplir principalmente con una función de aporte calórico en los grupos de edad más reducida (en los que las necesidades calóricas son más altas), sustituyéndose parcialmente su consumo por el de legumbres en los grupos de edad más avanzada. Además, es interesante que el consumo de pescado parece presentarse de manera más conveniente para el género femenino que para el masculino, ya que las únicas poblaciones en las que se propone la ingesta de pescado son en los grupos de

mujeres menores de edad. Los motivos para explicar este último fenómeno se basan en el hecho de que la razón entre los lípidos de la carne frente al pescado es mayor que la razón entre las proteínas de la carne y el pescado fuente animal. Así, debido a la mayor tolerancia de lípidos en el organismo para hombres que para mujeres, se desincentivaría el consumo de carnes para mujeres en favor de otras fuentes de proteína animal, como el pescado o los huevos.

A continuación se presentan los resultados de las cantidades de nutriente no suministradas:

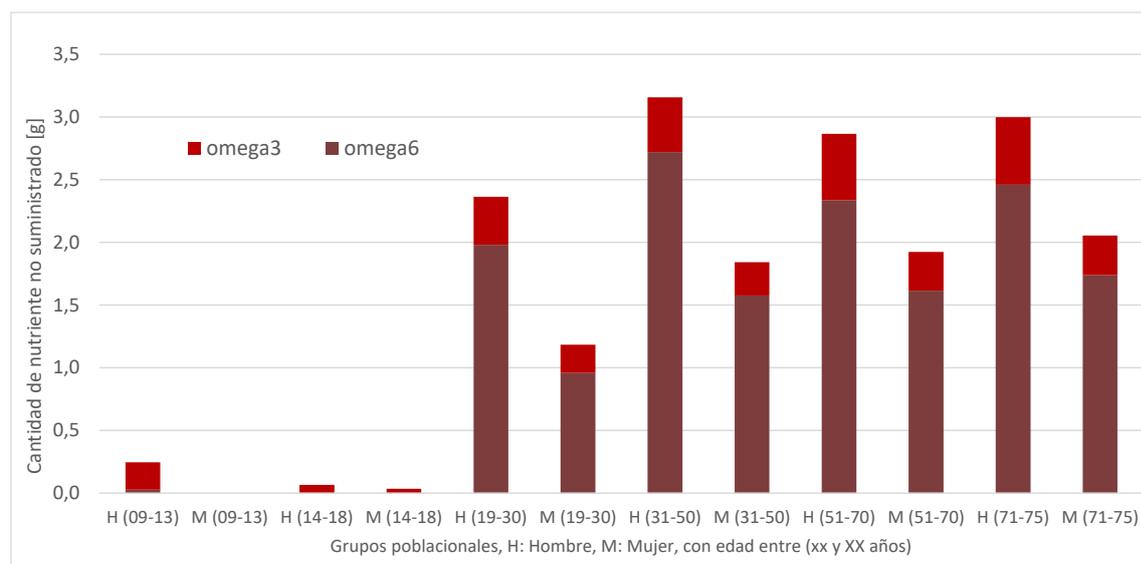


Figura 3. Cantidades de nutriente no suministradas para los distintos grupos poblacionales. Caso 1: 1 beneficiario por grupo de población y sin donaciones

En este caso se puede apreciar que los únicos nutrientes de los que aparece una demanda no suministrada son los grupos de ácidos grasos omega-3 y omega-6. Entre los motivos que se dan para explicar el fenómeno, hay que destacar que 1) son precisamente estos macronutrientes los que suponen requerimientos de menor cantidad (ver Tabla 5), y son por tanto los más susceptibles de presentar cantidades no suministradas y 2) las cantidades no suministradas de nutriente son verdaderamente bajas (nótese que son de tres órdenes de magnitud inferiores a los consumos de cualquiera de los alimentos consumidos: g frente a kg), y suponen un desajuste de menos de un 5% con respecto a los valores de referencia. Uno de los resultados más importantes a señalar es que la solución propuesta por el optimizador no conduce a la insatisfacción de requerimientos calóricos y que por tanto, se trata de una solución de “hambre cero”.

El hecho de que los grupos de población menores de edad presenten los valores más bajos de cantidad de nutriente no suministrado parece indicar que cubrir los requerimientos nutricionales de estos grupos de población es más sencillo que para el resto, ya que en todos los casos se ha considerado el mismo coste por nutriente no suministrado (ver hipótesis de ejecución número 5). Además, hay que recordar que los requerimientos nutricionales que se han impuesto están basados en la métrica RDA (criterio muy generoso, de acuerdo con la literatura) y, por tanto, ligeros incumplimientos de estos no supondrían una situación dañina para la salud de los beneficiarios. Los resultados parecen apuntar además a que la distribución de macronutrientes requerida por las mujeres es más sencilla de satisfacer que la de los hombres.

En cuanto al coste del aprovisionamiento: para la alimentación de 12 individuos durante una semana, con cada uno de ellos perteneciendo a un grupo poblacional distinto, ha sido de 192.72€, con lo que, de forma aproximada (dividiendo entre el número de personas (12) y multiplicando por el número de semanas en un mes (30/7)), se obtendría un coste promedio por persona de 68.83€/mes.

Teniendo en cuenta que en la información provista por los contactos de FESBAL se establece que actualmente, el coste asociado a satisfacer los requerimientos de una persona durante un mes tomaba un valor de referencia de 60€/mes, se puede considerar que el modelo arroja resultados bastante pertinentes.

La diferencia entre un valor y otro se puede justificar tomando como base que el modelo que aquí se presenta tiene en consideración el cumplimiento de los requerimientos nutricionales de manera más exhaustiva, vigilando la satisfacción de requerimientos nutricionales adicionales al de la energía (el análisis exclusivamente energético es habitual en organizaciones de tipo benéfico que típicamente abordan el problema de la erradicación de la hambruna, sin considerar aspectos que garanticen cantidades mínimas de nutrientes). Además, en este modelo se ha incluido una penalización severa para los casos en los que exista cantidad de nutriente no suministrado, algo de lo que no hay constancia que se tenga en consideración en otras herramientas similares (como la que usa FESBAL en la toma de decisiones, y que refiere un coste de 60€ por persona abastecida y mes).

2. CASO DE ESTUDIO 2: SIMULACIÓN AÑO 2018

Este segundo caso de estudio está orientado a analizar la operación del Banco de Alimentos de Madrid durante el año 2018, teniendo en cuenta el número de beneficiarios real del Banco de Alimentos, así como los donativos recibidos por el banco, escalados al caso semanal.

Al igual que en el caso anterior, los datos de entrada de requerimientos nutricionales de la población, aporte nutricional por grupo de alimentos y precio por kg de alimento son los correspondientes a los apartados 1-3 mostrados en el capítulo anterior. El número de beneficiarios atendidos es el que se presenta en la Tabla 9, multiplicado por un factor 0,5, para tener en cuenta el efecto de beneficiarios puntuales o de beneficiarios que no cubren el 100% de su manutención a través del Banco de Alimentos de Madrid.

En la gráfica siguiente se muestra la distribución del número de beneficiarios gráficamente, que servirá para entender con menor esfuerzo la presentación de resultados posterior.

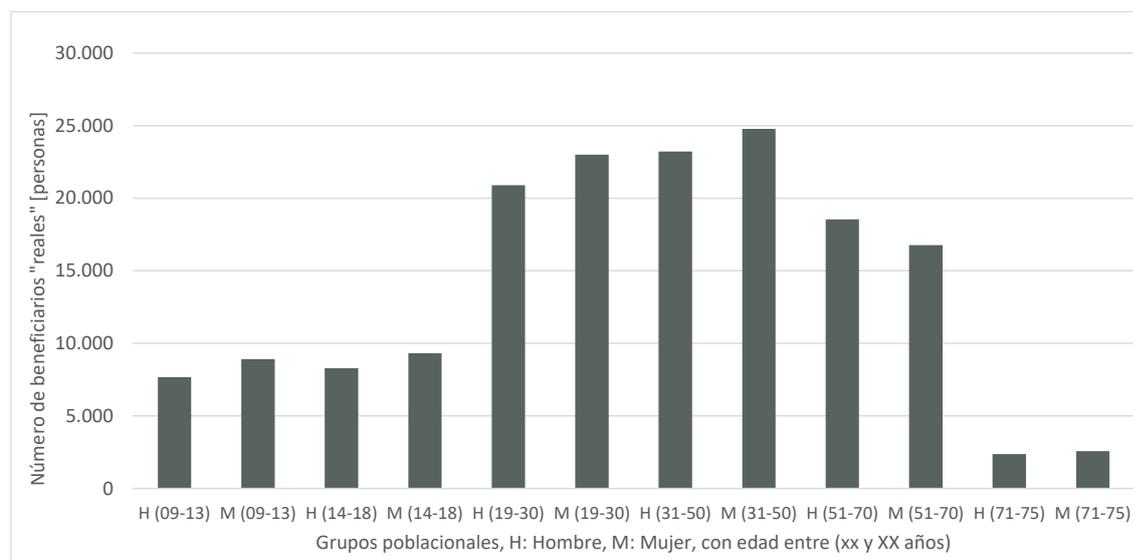


Figura 4. Número de beneficiarios “reales” del Banco de Alimentos de Madrid durante 2018.

De igual manera, a continuación se muestra una gráfica que representa los donativos por grupo de alimento, nuevamente con el objetivo de facilitar la interpretación de los resultados que se presenten más adelante. Esta gráfica simplemente representa en un gráfico de barras los donativos de la Tabla 10.

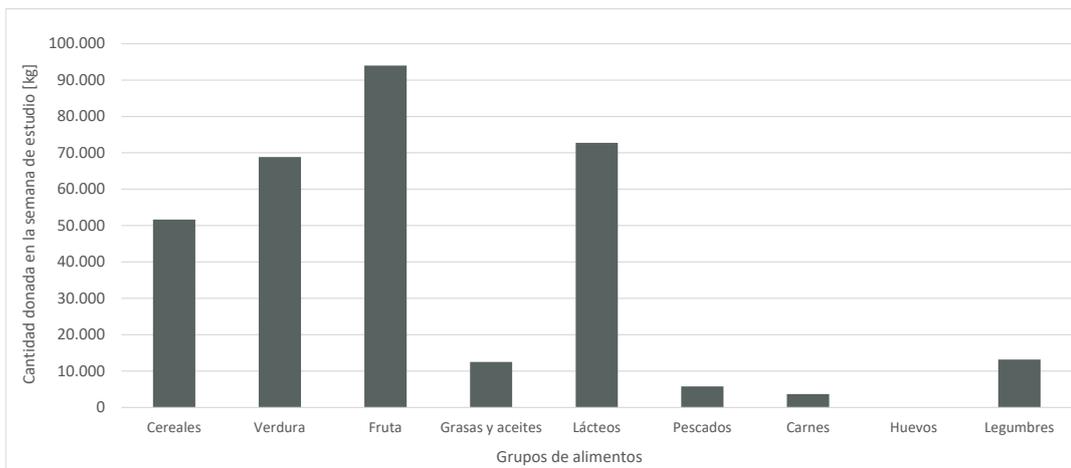


Figura 5. Donativos por grupo de alimentos en la semana de estudio

A continuación se presentan los resultados obtenidos para este caso de estudio, presentados en el siguiente orden: en primer lugar, se muestran los alimentos comprados para la semana de operación, a continuación, se muestra la distribución de donativos entre los distintos grupos de población y en tercer lugar se agregan ambos resultados para mostrar la cantidad de comida repartida a los beneficiarios entre compras y donaciones. Tras hacer los comentarios pertinentes sobre estos resultados, se mostrarán los resultados de las cantidades de nutriente no suministrado y se presentará el coste social total arrojado por el modelo, comentando las posibles ineficiencias que se producen cuando se realizan donaciones que no están controladas por un único decisor centralizado.

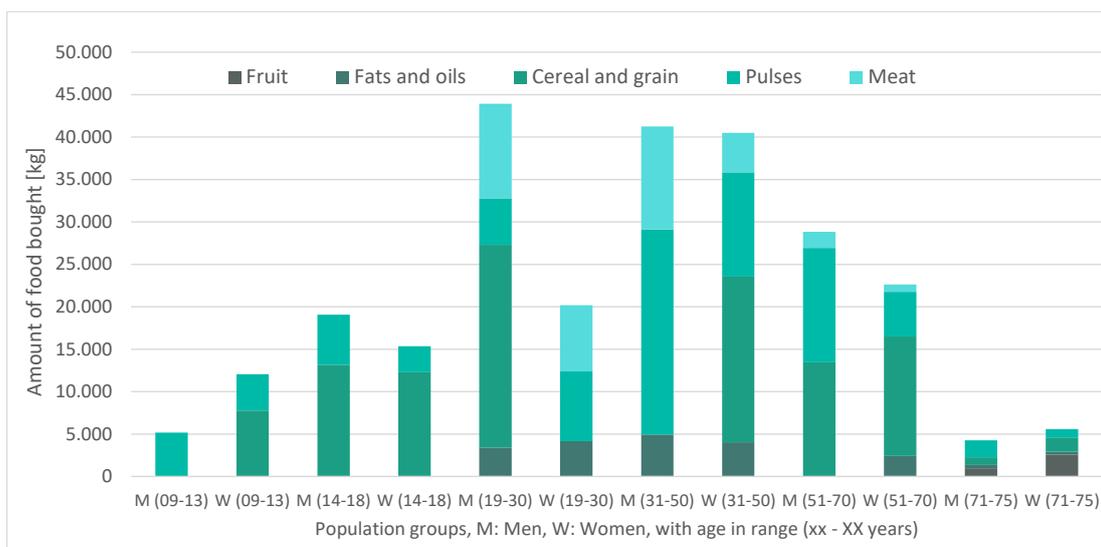


Figura 6. Cantidades de comida compradas para satisfacer los requerimientos nutricionales de los distintos grupos poblacionales. Caso 2: Simulación para el año 2018

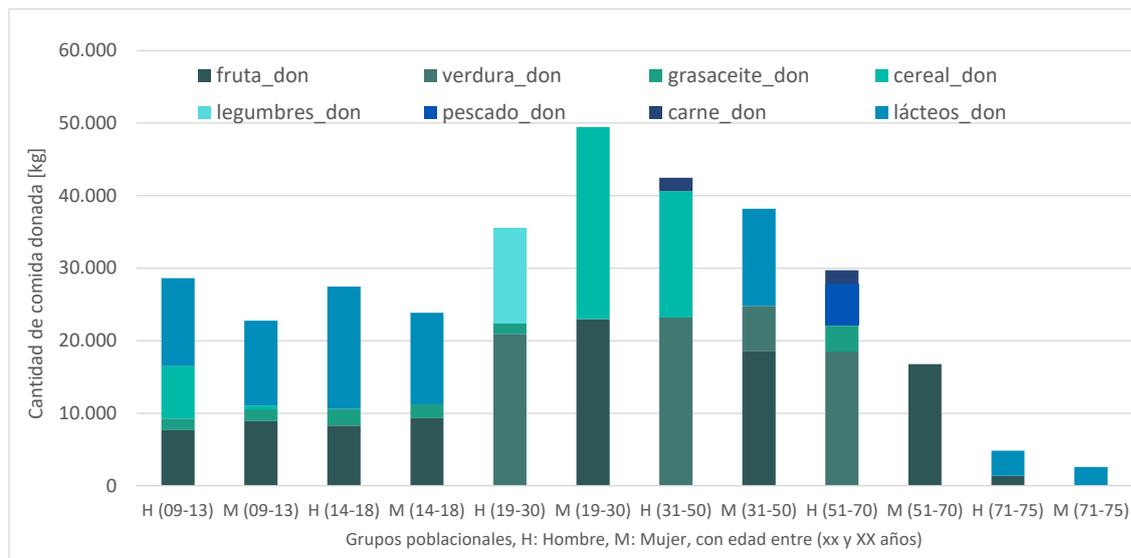


Figura 7. Cantidades de comida donadas para satisfacer los requerimientos nutricionales de los distintos grupos poblacionales. Caso 2: Simulación para el año 2018

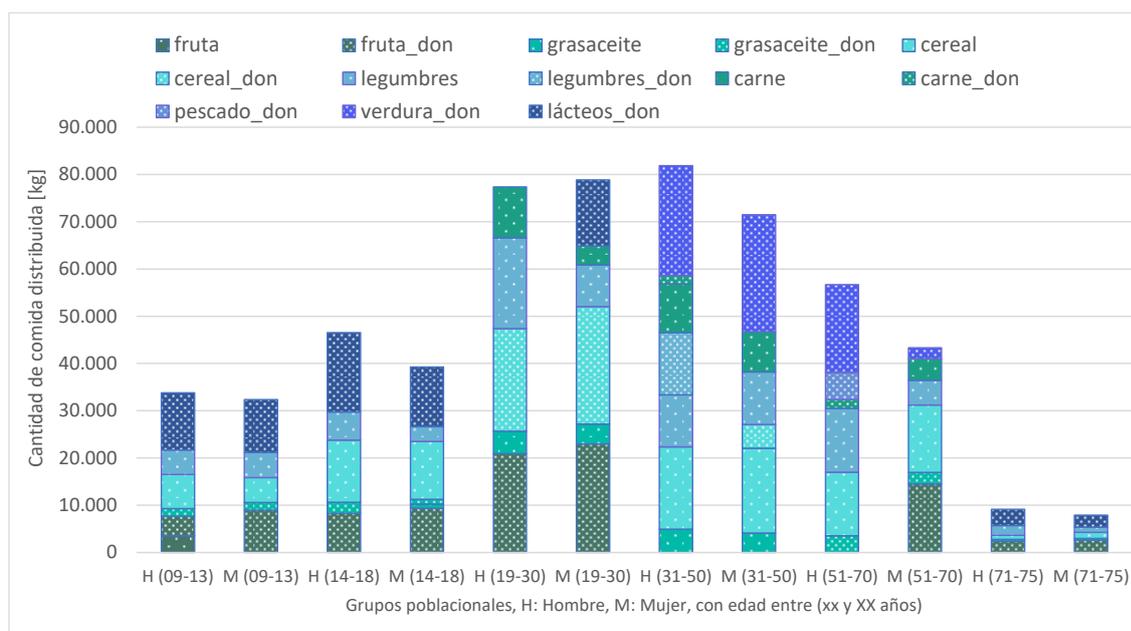


Figura 8. Cantidades de comida distribuida para satisfacer los requerimientos nutricionales de los distintos grupos poblacionales. Caso 2: Simulación para el año 2018

Con estos resultados se puede verificar que el agregado de compras y donaciones arrojado por el modelo (presentado en la Figura 8) responde coherentemente, ya que se puede comprobar fácilmente la proporcionalidad entre la cantidad de comida distribuida y el número de beneficiarios por grupo poblacional mostrado en la Figura 4, algo que cabía esperar.

Es relevante notar que los resultados de compras y de donativos resultan, hasta cierto punto, de difícil interpretación de forma desagregada. El motivo principal es que ambas variables están ligadas entre sí debido a las restricciones (2), (3), (5) y (6). De hecho, el análisis separado de las variables de compras y donaciones llevaría a desprender conclusiones desacertadas. Por ejemplo, en el caso de las legumbres, se puede apreciar que los donativos de este grupo de alimento aparecen concentrados en un solo grupo poblacional, el del grupo de hombres de entre 19 y 30 años, lo cual podría llevar a pensar que el consumo de legumbres le es particularmente beneficioso a este grupo de edad, mientras que, en realidad, existen compras de este grupo de alimentos para todos los demás grupos de edad, mostrando que esa conclusión sería inadecuada.

Resulta interesante señalar que la distribución de alimentos por grupo de edad para este segundo caso de estudio presenta fuertes similitudes y contrastes comparada con la distribución arrojada por el primer caso de estudio. En cuanto a las similitudes, en ambos casos se aprecia una fuerte presencia de los grupos nutricionales de cereales y legumbres a lo largo de todos los grupos poblacionales. También se puede apreciar la predominancia de la carne sobre el pescado como fuente de proteína animal. En cuanto a las diferencias, hay que destacar el rol que juegan los lácteos y las verduras. Nótese que se tratan de grupos de alimentos que tienen presencia en la Figura 8 sólo debido a las donaciones, y no por motivo de compra, con lo que tal y como parece reflejar el primer caso de estudio, podrían tratarse de una decisión subóptima frente a otras opciones de alimentos. Efectivamente, los lácteos y las verduras donadas desplazan el consumo de carne y de fruta, respectivamente, lo cual permite la satisfacción de las condiciones impuestas por las ecuaciones (5) y (6). Otra observación curiosa es que el hecho de que los lácteos estén fundamentalmente distribuidos entre los grupos de población constituidos por menores de edad y que los vegetales lo estén entre los hombres mayores de edad parece implicar que los aportes nutricionales de estos alimentos se ajustan particularmente bien a estos grupos de población.

En cuanto a la cantidad de nutriente no suministrado, los resultados se presentan a continuación. Como se puede comprobar, los resultados obtenidos para esta variable son muy similares a los presentados en la Figura 3, con la excepción de que en este caso, los resultados aparecen escalados en el factor dado por el número de beneficiarios por grupo poblacional presentado en la Figura 4. Por este motivo, no se incluyen comentarios adicionales sobre esta sección, sino que se remite al lector interesado a los que se hicieron con posterioridad a la Figura 3.

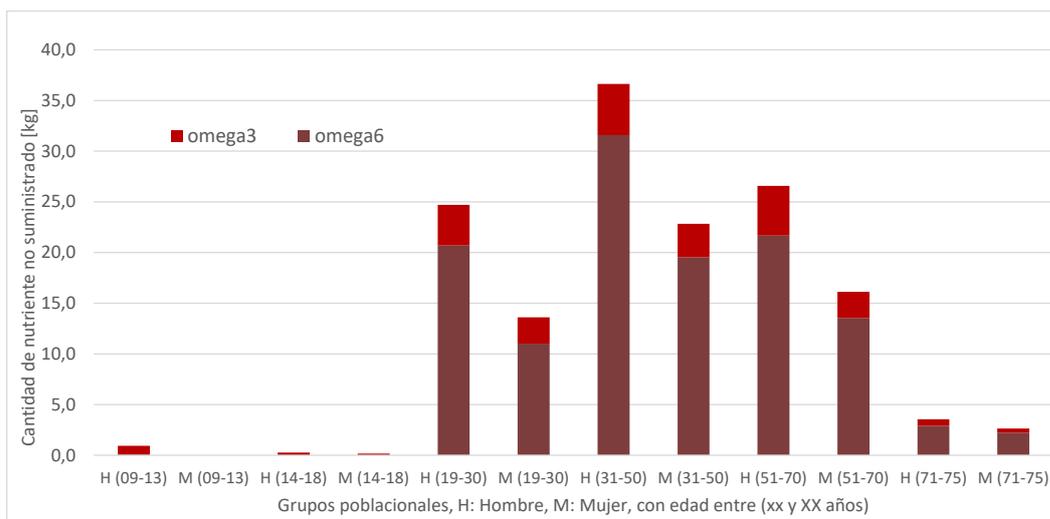


Figura 9. Cantidades de nutriente no suministradas para los distintos grupos poblacionales. Caso 2: Simulación para el año 2018

Por último, resulta muy interesante que la variable diseñada para la cuantificación de excedentes, e_a , toma valor cero para todos los alimentos y grupos de población. Esto indica que no existen ineficiencias en las donaciones, al menos en el sentido descrito en la nota a pie de página 2, en la página 23. Eso, sin embargo, no quiere decir que no se produzcan otro tipo de ineficiencias en las donaciones, especialmente en el sentido de que el dinero invertido en donativos podría ser mejor invertido en otros alimentos o, equivalentemente, ser donado directamente al Banco de Alimentos, para maximizar el beneficio social de los recursos económicos del conjunto donantes + Banco de Alimentos. La mejor forma de verlo es simulando nuevamente el caso de estudio, pero fijando las donaciones a cero, lo cual se presenta en la figura a continuación.

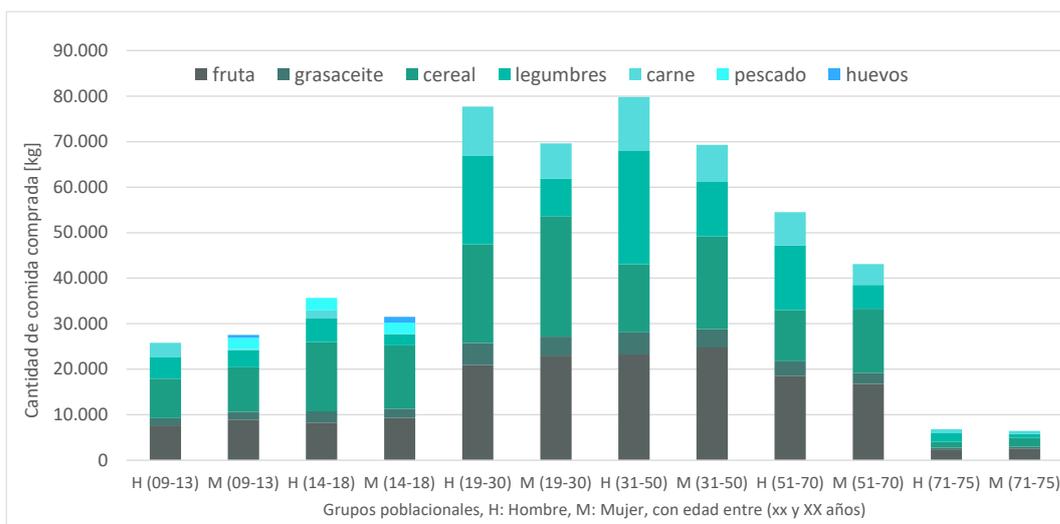


Figura 10. Cantidades de comida compradas para satisfacer los requerimientos nutricionales de los distintos grupos poblacionales. Caso 2: Simulación para el año 2018, sin donativos

Se puede apreciar a simple vista que las cantidades de comida a repartir serían significativamente menores (especialmente en los grupos de población menores de edad, comparar Figura 8 y Figura 10), si el criterio de decisión de las donaciones se basase también en la minimización de costes. Esto, por una parte, sugiere que una compra no optimizada en términos económicos resulta en cantidades innecesariamente grandes de alimentos, lo cual podría exacerbar los costes logísticos y de almacenamiento (aunque el estudio de este efecto escapa a los objetivos de este trabajo). Por otra parte, para saber si se producen ineficiencias desde un punto de vista económico, habría que comparar los costes económicos de una y otra aproximación (con y sin donativos), teniendo en cuenta en esta ocasión el coste asumido por los beneficiarios en la compra de los alimentos que posteriormente donarían. Así se lograría tener una perspectiva holística de la situación que incluyese la percepción en costes no solo del Banco de Alimentos, sino también la de los donantes.

De llevar a cabo este análisis, que consiste simplemente en multiplicar los precios por kg de alimento (ver Tabla 8) por las cantidades de alimentos presentadas en las Figuras Figura 8 y Figura 10 y añadir los costes por nutriente no suministrado, se obtiene que en el caso con donaciones, el coste total del sistema sería de 1.512.796 € (913.474 € por compras y nutrientes no suministrados, y 599.322 € por donaciones), mientras que en el caso sin donaciones, el coste total del sistema es de 1.358.066 €, lo que supondría una disminución de los costes totales del 10.3%. Además, las cantidades de comida manejadas en el caso con donaciones frente al caso con el 100% de los alimentos distribuidos provenientes de compras son de 581.254 kg frente a 527.902 kg, con lo que la optimización económica favorece la adquisición de un 9.2% menos de cantidad de comida, algo que podría estar alineado con un abaratamiento de costes de almacenamiento y logística. Estas son las dos conclusiones más relevantes del trabajo aquí desarrollado.

Capítulo 6. APORTACIÓN A LOS ODS

Tal y como se comentó en la sección de Objetivos, una de las metas de este trabajo de investigación es la contribución de forma relevante a los Objetivos de Desarrollo Sostenible [2], 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”.

Este trabajo toma por población objeto de estudio a aquellas personas con una severa escasez de recursos que acuden a las entidades benéficas como receptores de alimentos procedentes del Banco de Alimentos. Se trata de una población que se podría considerar en severo riesgo de pobreza y exclusión, que en ausencia de ayudas de carácter humanitario, podrían llegar a verse en grandes dificultades de desarrollar una vida sin percances de salud relacionados con la alimentación, con todo lo que eso conlleva (dificultades de encontrar empleo, impacto anímico...).

En este proyecto se ha desarrollado un modelo de optimización de costes para el desarrollo de las actividades de compras y aprovisionamiento que desempeñaría una organización humanitaria y caritativa como el Banco de Alimentos de Madrid. Con la implementación de un modelo como el aquí desarrollado se logra determinar cual es la forma de cubrir las necesidades nutricionales de la población beneficiaria, al menor coste económico posible. Dentro de estas necesidades nutricionales se contempla la satisfacción de los requerimientos energéticos necesarios para que se pueda desarrollar una actividad mental y física normal, lo cual se traduce a eliminar la sensación de hambre en los beneficiarios. Así pues, el modelo propone cómo maximizar la utilidad social de los recursos económicos disponibles, ofreciendo una manera optimizada de cumplir con el objetivo de “Hambre Cero”, o equivalentemente, de cómo ayudar a más personas con la misma cantidad de recursos económicos. De hecho, se ha podido comprobar en la sección de resultados que la solución propuesta por el modelo conduciría a la satisfacción de los requerimientos calóricos de todos los grupos poblacionales considerados, lo que se traduce a una solución de “hambre cero”.

El modelo aquí propuesto, sin embargo, no se centra únicamente en paliar el hambre de la población necesitada, sino que también tiene en consideración otro tipo de necesidades alimenticias, como las necesidades de proteínas, de ácidos grasos esenciales, o de micronutrientes, entre otras. Es decir, aborda otros detalles que resultan de crítica importancia en la alimentación por su impacto sobre la salud y el bienestar de los beneficiarios en el largo plazo. En concreto, la formulación del modelo contempla una penalización por kg de nutriente esencial no suministrado, para cada uno de los grupos poblacionales considerados, que pretende reflejar el

impacto sobre la sociedad derivado de la insatisfacción de las necesidades nutricionales de los beneficiarios. Ello podría tenerse en cuenta, por ejemplo, considerando el coste asociado a los tratamientos requeridos para paliar las posibles enfermedades que podrían llegar a desarrollarse, motivadas por la ausencia de nutrientes esenciales en la dieta de los beneficiarios, o por el superávit de elementos como aceites o grasas.

La inclusión de dicha penalización se trata, en última instancia, de una forma de evaluar el impacto económico-social de la desnutrición, o equivalentemente, de una forma de estimar las necesidades de ayudas económicas que podría llegar a necesitar el Banco de Alimentos para cubrir las necesidades fundamentales de los beneficiarios, en caso de que con sus fondos actuales no las pudieran afrontar. En este sentido se considera una aportación importante al objetivo de “Salud y Bienestar”.

Para comprender la contribución al objetivo de “Fin de la pobreza”, en primer lugar, hay que entender a que se refiere el término “pobreza”. De acuerdo con el criterio Eurostat [26], la pobreza está fijada en el 60% de la mediana de renta. Esto sin embargo hace alusión a niveles de pobreza relativos, o a niveles de desigualdad, pero no a niveles de pobreza absoluta ya que se trata de una medida que aumenta o disminuye según se desplace la mediana de ingresos, sin implicar necesariamente que por ello exista una mayor o menor dificultad de acceso a los alimentos. Sin embargo, entendiendo la pobreza en una dimensión más absoluta, por ejemplo, considerando carencias materiales severas como la incapacidad de permitirse una comida de carne, pollo o pescado cada dos días, la contribución de este trabajo al objetivo de “Fin de la Pobreza” es más clara, ya que ayuda a responder las necesidades más urgentes de una población necesitada.

Capítulo 7. CONCLUSIONES

En este proyecto se ha propuesto un modelo estratégico-cuantitativo de abastecimiento nutricional semanal que usado por el Banco de Alimentos de Madrid, podría permitir a la organización maximizar la utilidad social de los recursos económicos disponibles. El modelo tiene en cuenta factores de coste de origen puramente económico, como los precios a pagar por la comida, así como otros de origen sanitario y social, como los que se podrían producir en concepto de tratamientos médicos orientados a subsanar enfermedades con origen en una mala nutrición.

La función objetivo del modelo propuesto consiste en la minimización de la suma de los costes de compra de alimentos y de nutrientes no suministrados, desde la perspectiva del Banco de Alimentos de Madrid que se entiende como una organización que busca ofrecer un servicio social y asume cierta responsabilidad en el caso de que las necesidades nutricionales de sus beneficiarios no sean cubiertas. Las compras responden a la necesidad de cubrir los requerimientos nutricionales particulares de distintos grupos poblacionales, aunque no atendiendo de forma explícita a sus preferencias, y se complementan con los recursos obtenidos por el Banco de Alimentos en concepto de donaciones.

Las restricciones consideradas en la minimización tienen que ver con la satisfacción de los requerimientos nutricionales mínimos de distintos grupos de población configurados por sexo y edad, la variedad en la dieta y los mecanismos biológicos de absorción de nutrientes, entre otras.

El proceso de modelado ha sido transparente en su formulación y metodología de tratamiento de los datos de entrada, con el ánimo de facilitar futuras investigaciones en la problemática abordada. Para comprobar la robustez y coherencia del modelo desarrollado, a través de los casos-estudios planteados, éste se ha sometido a un análisis de coherencia y de sensibilidades, obteniéndose resultados satisfactorios.

El modelo tiene varios propósitos:

- Permitir computar cuál es la cesta de inversión semanal que se habría de realizar para casar las necesidades nutricionales de los beneficiarios con los recursos económicos disponibles, bajo un marco de decisión basado en la minimización de costes en el que se sitúa al Banco de Alimentos de Madrid como decisor centralizado.
- Identificar estrategias de aprovisionamiento que permitan reducir la brecha nutricional de la población desfavorecida desde una situación de precariedad a valores recomendados por organizaciones con entidad internacional como la OMS (con el mínimo desembolso posible), e incluso servir como fundamento para la evaluación de políticas de apoyo económico y social a los Bancos de Alimentos.
- La potencial evaluación del desempeño de las organizaciones caritativas que se proponen contribuir a satisfacer las necesidades nutricionales de los desfavorecidos, pudiendo llegar a servir para el desarrollo de mecanismos de subvenciones para aquellas organizaciones que cumplan su función de manera más optimizada. Puede además ser útil como complemento a otros modelos que afronten otras tareas en la cadena de valor de este tipo de organizaciones, como el almacenamiento o la distribución.

Los casos estudio que se han diseñado han estado orientados, por una parte, a la validación del modelo bajo distintos escenarios y por otra, a identificar posibles ineficiencias en los mecanismos de donación de alimentos a la organización, durante el caso real del año 2018. De estos casos se pueden desprender las siguientes conclusiones:

- La distribución de macronutrientes requerida por la población menor de edad es más sencilla de satisfacer que la asociada a las poblaciones mayores de edad y la de las mujeres es más sencilla de satisfacer que la de los hombres.
- La utilización de un modelo cuantitativo para la optimización de compras de alimentos en una organización como el Banco de Alimentos de Madrid podría usarse para reducir los costes de aprovisionamiento en un 10%.
- Podría existir una alineación de objetivos entre la minimización de costes de aprovisionamiento, y la minimización de costes de logística (entendida como almacenamiento y distribución), ya que la optimización del aprovisionamiento lleva a reducir las cantidades de víveres en un 9%.

- La solución propuesta por el modelo conduciría a un resultado de “hambre cero” en todos los grupos de población estudiados.

Futuros desarrollos del trabajo se orientarán a:

1. Mejorar la representación de los perfiles sociológicos de los distintos grupos poblacionales, incluyendo individuos de origen extranjero, ya que estos habitualmente mantendrán las costumbres alimenticias de su país de origen y corren mayor riesgo de exclusión.
2. Realizar un estudio más pormenorizado de los productos alimenticios de consumo habitual en el decil más bajo de ingresos, para mejorar la captura de los aportes nutricionales y precios de los alimentos consumidos.
3. Capturar aspectos de carácter psicosociológico que lleven a entender bajo qué circunstancias estarían los donantes dispuestos a realizar donativos de alimentos que vinieran comandados por una entidad centralizada, en lugar de poder ejercer sus donaciones de forma desvinculada, por ejemplo, a través de modelos de economía experimental o de racionalidad acotada (bounded rationality).
4. El modelado de otras actividades relevantes en la cadena de valor del Banco de Alimentos, especialmente las de almacenamiento y distribución. Esto a su vez permitiría realizar análisis relacionados con la gestión de las posibles ineficiencias que se produzcan con origen en donativos, por exceso de éstos para algún grupo de alimentos concretos.

REFERENCIAS

- [1] “Un grupo de universitarios lanzan la campaña de donaciones #JuntosEsPosible,” *Federación Española de Bancos de Alimentos*, Apr. 24, 2020. <https://www.fesbal.org/un-grupo-de-universitarios-lanzan-la-campana-de-donaciones-juntosesposible/> (accessed May 05, 2020).
- [2] M. J. Gamez, “Objetivos y metas de desarrollo sostenible,” *Desarrollo Sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/> (accessed Jul. 15, 2020).
- [3] “WHO | Nutrition,” *WHO*. <http://www.who.int/nutrition/en/> (accessed May 05, 2020).
- [4] “About FAO,” *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. <http://www.fao.org/about/en/> (accessed May 05, 2020).
- [5] “Harrison’s Principles of Internal Medicine, 20e | AccessMedicine | McGraw-Hill Medical.” <https://accessmedicine.mhmedical.com/book.aspx?bookID=2129> (accessed May 05, 2020).
- [6] “Food and Nutrition,” *The National Academies Press*. <http://www.nap.edu/topic/287/food-and-nutrition> (accessed May 06, 2020).
- [7] S. J. Fairweather-Tait and S. Southon, “BIOAVAILABILITY OF NUTRIENTS,” in *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition (Second Edition)*, B. Caballero, Ed. Oxford: Academic Press, 2003, pp. 478–484.
- [8] “Anibes,” *Anibes*. <https://www.fen.org.es/anibes/en/home/nav/inicio> (accessed May 06, 2020).
- [9] “(PDF) Contribution of food prices and diet cost to socioeconomic disparities in diet quality and health: A systematic review and analysis,” *ResearchGate*. https://www.researchgate.net/publication/281305480_Contribution_of_food_prices_and_diet_cost_to_socioeconomic_disparities_in_diet_quality_and_health_A_systematic_review_and_analysis (accessed May 08, 2020).
- [10] N. Darmon, E. L. Ferguson, and A. Briend, “A Cost Constraint Alone Has Adverse Effects on Food Selection and Nutrient Density: An Analysis of Human Diets by Linear Programming,” *J. Nutr.*, vol. 132, no. 12, pp. 3764–3771, Dec. 2002, doi: 10.1093/jn/132.12.3764.
- [11] N. Darmon, E. Ferguson, and A. Briend, “Do economic constraints encourage the selection of energy dense diets?,” *Appetite*, vol. 41, no. 3, pp. 315–322, Dec. 2003, doi: 10.1016/S0195-6663(03)00113-2.
- [12] M. Maillot, N. Darmon, and A. Drewnowski, “Are the lowest-cost healthful food plans culturally and socially acceptable?,” *Public Health Nutr.*, vol. 13, no. 8, pp. 1178–1185, Aug. 2010, doi: 10.1017/S1368980009993028.
- [13] “Dowler: Poverty and Food in Welfare Societies - Google Académico.” https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Poverty+and+Food+in+Welfare+Societies&publication+year=1997&author=K%C3%B6hler+B.&author=Feichtinger+E.&author=Barl%C3%B6sius+E.&author=Dowler+E. (accessed May 06, 2020).

- [14] N. Darmon and A. Drewnowski, "Does Social Class Predict Diet Quality?," *Am. J. Clin. Nutr.*, vol. 87, pp. 1107–17, Jun. 2008, doi: 10.1093/ajcn/87.5.1107.
- [15] "Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica, Alimentaria y de Biosistemas." http://www.etsiaab.upm.es/Investigacion/Catedras_empresa?id=230334df780bc510VgnVCM10000009c7648a___&fmt=detail&prefmt=articulo (accessed May 06, 2020).
- [16] "Legislación de interés y utilidad- FESBAL," *Federación Española de Bancos de Alimentos*. <https://www.fesbal.org/legislacion/> (accessed May 06, 2020).
- [17] "OMS | Fomento del consumo mundial de frutas y verduras," *WHO*. <https://www.who.int/dietphysicalactivity/fruit/es/> (accessed May 07, 2020).
- [18] G. Møller *et al.*, "A Protein Diet Score, Including Plant and Animal Protein, Investigating the Association with HbA1c and eGFR—The PREVIEW Project," *Nutrients*, vol. 9, no. 7, Jul. 2017, doi: 10.3390/nu9070763.
- [19] M. Song *et al.*, "Animal and plant protein intake and all-cause and cause-specific mortality: results from two prospective US cohort studies," *JAMA Intern. Med.*, vol. 176, no. 10, pp. 1453–1463, Oct. 2016, doi: 10.1001/jamainternmed.2016.4182.
- [20] I. Berrazaga, V. Micard, M. Gueugneau, and S. Walrand, "The Role of the Anabolic Properties of Plant- versus Animal-Based Protein Sources in Supporting Muscle Mass Maintenance: A Critical Review," *Nutrients*, vol. 11, no. 8, Aug. 2019, doi: 10.3390/nu11081825.
- [21] "Personas por decil de renta por unidad de consumo, por edad y periodo. Base 2013(10928)," *INE*. <https://www.ine.es/jaxiT3/Datos.htm?t=10928#!:tab=tabla> (accessed May 07, 2020).
- [22] "Human energy requirements." <http://www.fao.org/3/y5686e/y5686e09.htm> (accessed May 07, 2020).
- [23] A. Drewnowski, "The cost of US foods as related to their nutritive value," *Am. J. Clin. Nutr.*, vol. 92, no. 5, pp. 1181–1188, Nov. 2010, doi: 10.3945/ajcn.2010.29300.
- [24] "Banco de Alimentos." <https://bamadrid.org/transparencia/> (accessed May 08, 2020).
- [25] F. B. de A. de V. C. V. de Menchaca and N. 28-P. de A. Valladolid, "Fondo Europeo de Ayuda a Desfavorecidos (FEAD)," *Fundación Banco de Alimentos de Valladolid*, Jun. 08, 2016. <https://www.bancodealimentosdevalladolid.es/distribucion/fondo-europeo-ayuda-desfavorecidos-fead> (accessed May 08, 2020).
- [26] "Productos y Servicios / Publicaciones / Productos y Servicios / Publicaciones / Publicaciones de descarga gratuita." https://www.ine.es/ss/Satellite?L=es_ES&c=INESeccion_C&cid=1259941637944&p=1254735110672&pagename=ProductosYServicios/PYSLayout (accessed Jul. 16, 2020).