



COMILLAS

UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

**DISEÑO DE MENÚ ECO SALUDABLE PARA
DIVERSAS APLICACIONES**

Autor: Manzano García, Lucía

Director: Norverto Moriñigo, Juan

Madrid

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
Diseño de menú eco saludable para diversas aplicaciones
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2024/2025 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.: Lucía Manzano García Fecha: 27/12/2024



Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Juan Norverto Moriñigo Fecha://

DISEÑO DE MENÚ ECO SALUDABLE PARA DIVERSAS APLICACIONES

Autor: Manzano García, Lucía.

Director: Norberto Morínigo, Juan.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

Este proyecto desarrollo de una herramienta de diseño de menús de dos días completos para tres grupos poblacionales. Cumpliendo con las restricciones nutricionales, consigue minimizar el impacto ambiental con resultados de 2,69 kg de CO₂e y 1.280L de agua de media. Además, desarrolla una herramienta de evaluación de menús ya creados aportando puntuaciones para los criterios nutricionales y ambientales.

Palabras clave: menús eco-saludables, alimentación, impacto ambiental, salud, macronutrientes, herramientas, desarrollo.

1. Introducción

El sistema alimentario actual debido a sus características es complejo y enfrenta desafíos importantes a nivel de sostenibilidad. Características como la producción intensiva, el transporte internacional de alimentos, la gobernanza descentralizada, el consumo de alimentos procesados, cárnicos y procesados hacen que el modelo actual no sea viable a largo plazo. El sistema alimentario es el responsable de la destrucción del planeta y su biodiversidad, agotamiento de los recursos y contaminación. Además, está directamente vinculado con el aumento de enfermedades crónicas derivadas de dietas poco equilibradas y saludables.

2. Desarrollo

2.2 Base de datos

Este proyecto elabora dos herramientas relacionadas con los menús consumidos por consumidores que tienen como objetivo concienciar a los ciudadanos del problema actual y ofrecer soluciones que cambien el sistema alimentario actual. Para ello, se ha construido una base de datos que incluye los siguientes datos:

- Necesidades nutritivas (aporte energético, hidratos de carbono, proteínas y grasas) obtenidos de la Federación Española de Sociedades de Nutrición, Alimentación y Dietética.
- Composición nutricional (energía y macronutrientes) de los alimentos obtenidos de la Base de Datos Española de Composición de Alimentos (BEDCA).
- Huella de carbono asociada a cada alimento obtenida de un informe ejecutivo de la Fundación Ecología y Desarrollo (ECODES).
- Huella hídrica asociada a cada alimento obtenida de publicaciones de Water Footprint Network.

2.2 Herramienta de optimización de menús

Por una parte, se ha desarrollado una herramienta que diseña menús de dos días completos. Se ha desarrollado en GAMS como un problema de optimización con programación entera mixta que minimiza el impacto ambiental de los alimentos cumpliendo con los requerimientos nutricionales. El problema tiene como función objetivo la minimización de emisiones de GEI y consumo de agua al mismo tiempo. Además, incluye distintos tipos de restricciones cuya finalidad es el cumplimiento de los requisitos nutricionales y el acercamiento del menú a los hábitos de consumo de un español.

	Resultados de los menús generados				Estadística nacional	Reducción de impacto
	GP 1	GP 2	GP 3	Media	Media de un español	
Huella Carbono Diaria	2,80	3,33	1,95	2,69	5,33	49,44%
Huella Hídrica Diaria	1.467	1.467	908	1.920	5.360	64,17%

Tabla 1. Resultados de los menús generados. Fuente: Elaboración propia.

Tras elaborar menús para tres grupos poblacionales distintos, se obtienen combinaciones de alimentos que, cumpliendo con los requisitos de salud, reducen el gasto hídrico en un 67% y las emisiones de GEI en un 48% respecto a los valores medios de un ciudadano español. Además, tras el análisis de los mismos, se destaca la priorización de proteínas vegetales frente a las animales, reducir el consumo de frutos secos y utilizar aceite de oliva como fuente de grasa principal.

Además, se estudia el impacto de la inclusión de técnicas de cocinado en la optimización de menús obteniendo como resultado la importancia de incluir estas variables en la herramienta ya que incrementan las emisiones de CO₂e en un 16% en un caso.

2.3 Herramienta de evaluación

La segunda parte del proyecto se centra en una herramienta de evaluación de menús ya existentes. También desarrollado en GAMS, el código permite determinar el cumplimiento de los requisitos de macronutrientes y energía de un menú y calcular los litros de agua necesaria y GEI emitidos a la atmósfera. Por último, puntúa con un sistema de estrellas el menú en los dos enfoques para involucrar al consumidor y hacerlo más dinámico.

El proyecto evalúa un caso de uso real con un menú infantil publicado por la nutricionista Paola Cóser cuyos resultados aportan valores de energía y carbohidratos por debajo de los requerido y una puntuación ambiental de dos sobre tres estrellas.

3. Conclusión

En un futuro, las herramientas diseñadas pueden aumentar su calidad y precisión con una ampliación de la base de datos que integre más alimentos y más parámetros ambientales. Además, se puede beneficiar de la inteligencia artificial e integrarse en un agente que lleve la personalización y la optimización a un nivel superior.

El proyecto en su conjunto demuestra que es posible comer saludablemente siendo responsablemente con el planeta y supone un avance en la concienciación del problemático sistema alimentario actual.

ECO-HEALTHY MENU DESIGN FOR VARIOUS APPLICATIONS

Author: Manzano García, Lucía.

Supervisor: Norverto Morínigo, Juan.

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

ABSTRACT

This project developed a tool for the design of full two-day menus for three population groups. By complying with the nutritional restrictions, it manages to minimise the environmental impact with results of 2.69 kg CO₂e and 1,280L of water on average. In addition, it develops an evaluation tool for menus already created, providing scores for nutritional and environmental criteria.

Keywords: eco-healthy menus, food, environmental impact, health, macronutrients, tools, development.

1. Introduction

The current food system is complex due to its characteristics and faces significant sustainability challenges. Characteristics such as intensive production, international food transport, decentralised governance, consumption of processed, meat and processed foods make the current model unviable in the long term. The food system is responsible for the destruction of the planet and its biodiversity, resource depletion and pollution. It is also directly linked to the increase in chronic diseases resulting from unbalanced and unhealthy diets.

2. Development

2.2 Base de datos

This project develops two tools related to the menus consumed by consumers that aim to raise awareness of the current problem and offer solutions to change the current food system. To this end, a database has been constructed that includes the following data:

- Nutritional needs (energy intake, carbohydrates, proteins and fats) obtained from the Spanish Federation of Nutrition, Food and Dietetics Societies.
- Nutritional composition (energy and macronutrients) of foods obtained from the Spanish Database of Food Composition (BEDCA).

- Carbon footprint associated with each food obtained from an executive report by the Ecology and Development Foundation (ECODES).
- Water footprint associated with each food obtained from Water Footprint Network publications.

2.2 Menu optimisation tool

On the one hand, a tool has been developed that designs full two-day menus. It has been developed in GAMS as a mixed integer programming optimisation problem that minimises the environmental impact of food while meeting nutritional requirements. The problem has the objective function of minimising GHG emissions and water consumption at the same time. In addition, it includes different types of constraints aimed at meeting nutritional requirements and bringing the menu closer to the consumption habits of a Spaniard.

	Results of the generated menus				National statistics	
	GP 1	GP 2	GP 3	Average	Spanish average	Impact reduction
Daily carbon footprint	2,80	3,33	1,95	2,69	5,33	49,44%
Daily water footprint	1.467	1.467	908	1.920	5.360	64,17%

Tabla 2. Results of the generated menus. Source: Own elaboration.

After drawing up menus for three different population groups, food combinations were obtained which, while complying with health requirements, reduce water consumption by 67% and GHG emissions by 48% compared to the average values of a Spanish citizen. In addition, after analysing them, the prioritisation of vegetable proteins over animal proteins, reducing the consumption of nuts and using olive oil as the main source of fat are highlighted.

In addition, the impact of the inclusion of cooking techniques in the menu optimisation is studied, resulting in the importance of including these variables in the tool as they increase CO₂e emissions by 16% in one case.

2.3 Evaluation tool

The second part of the project focuses on an evaluation tool for existing menus. Also developed in GAMS, the code makes it possible to determine a menu's compliance with macronutrient and energy requirements and to calculate the litres of water needed and GHG emitted into the atmosphere. Finally, it scores the menu with a star system in both approaches to engage the consumer and make it more dynamic.

The project evaluates a real use case with a children's menu published by nutritionist Paola Cóser whose results provide energy and carbohydrate values below those required and an environmental score of two out of three stars.

3. Conclusion

In the future, the designed tools can increase their quality and accuracy with an extension of the database to integrate more food and more environmental parameters. Furthermore, it can benefit from artificial intelligence and be integrated into an agent that takes personalisation and optimisation to a higher level.

The project as a whole demonstrates that it is possible to eat healthily while being responsible to the planet and is a step forward in raising awareness of today's problematic food system.

Índice de la memoria

Capítulo 1. Introducción	5
1.1 Introducción.....	5
1.2 Motivación y Justificación	8
1.3 Objetivos	8
Capítulo 2. Estado de la Cuestión	11
2.1 Impacto del Sistema Alimentario en el Medio Ambiente	11
2.2 Impacto del Sistema Alimentario en la Salud	20
2.3 Metodologías de Evaluación Utilizadas	22
2.3.1 Información obligatoria en etiquetados.	23
2.3.2 Etiquetados Opcionales Nutricionales	23
2.3.3 Etiquetados Opcionales Ambientales	26
Capítulo 3. Metodología	30
Capítulo 4. Base de Datos.....	33
4.1 Necesidades Nutritivas	33
4.1.1 Tablas para Requerimientos Nutricionales	36
4.2 ALIMENTOS	38
4.2.1 Información Nutricional y de Clasificación	38
4.2.2 Información de Impacto Ambiental	39
Capítulo 5. Diseño de Menús Eco-Saludables	41
5.1 Planteamiento	41
5.2 Modelo Matemático	41
5.2.1 Conjuntos.....	42
5.2.2 Tablas	42
5.2.3 Parámetros	43
5.2.4 Variables	45
5.2.5 ecuaciones	46
5.3 Resultados	49
5.3.1 Menú Eco-Saludable para Grupo Poblacional 1	49

5.3.2 Menú Eco-Saludable para Grupo Poblacional 2	51
5.3.3 Menú Eco-Saludable para Grupo Poblacional 3	52
5.4 Análisis y Conclusiones	53
5.4.1 Huella Hídrica.....	53
5.4.2 Huella de Carbono	54
5.4.3 Proteínas Animales y Vegetales	54
5.4.4 Grasas	55
5.4.5 Ausencia de Frutos Secos.....	56
5.4.6 Frutas y Verduras.....	56
5.5 Análisis Comparativo: Impacto del cocinado en los Menús	57
Capítulo 6. Herramienta de Evaluación.....	59
6.1 Métricas de Evaluación	59
6.2 Código	61
6.3 Caso de Uso.....	65
Capítulo 7. Recomendaciones de Hábitos de Consumo.....	68
Capítulo 8. Trabajos Futuros.....	72
8.1 Mejora de las Herramientas Desarrolladas	72
8.2 Agente de Inteligencia Artificial	73
Capítulo 9. Conclusiones.....	76
Capítulo 10. Objetivos de Desarrollo Sostenible	79
10.1 ODS 3: Salud y Bienestar.....	79
10.2 ODS 12: Consumo y Producción Sostenibles	80
10.3 ODS 13: Acción por el Clima	81
Capítulo 11. Referencias	82
ANEXO I. Requerimientos Nutricionales	96
ANEXO II. Código GAMS: Creación de Menús Eco Saludables	98
ANEXO III. Código GAMS: Herramienta de Evaluación	112

Índice de figuras

Figura 1. Importancia de los tipos de alimentación sobre el total. Fuente: MAPA (2022)..	7
Figura 2. Impacto del sistema alimentario al medioambiente. Fuente: elaboración propia.	11
Figura 3. Consumo energético del sistema alimentario. Fuente: Global Alliance for the Future of Food.....	13
Figura 4. Alimentos con mayor huella de carbono en su producción. Fuente: elaboración propia.	15
Figura 5. Distribución del consumo de agua dulce. Fuente: Aque Fundación.....	17
Figura 6. Consumo de agua. Alimentos origen vegetal. Fuente: Fundación Heinrich Boll.	18
Figura 7. Consumo de agua. Alimentos origen animal. Fuente: Fundación Heinrich Boll.	19
Figura 8. Nutri-Score. Fuente: Mapfre.	24
Figura 9. Health Star Rating. Fuente: HSR.	25
Figura 10. Logotipos Ecológicos de la UE. Fuente: Comisión Europea.	27
Figura 11. Etiquetas de huella de carbono. Fuente: Carbon Trust.	28
Figura 12. Factores influyentes en las necesidades nutritivas. Fuente: elaboración propia.	35
Figura 13. Evaluación nutricional del menú evaluado. Fuente: elaboración propia.	67
Figura 14. mercaGPT. Fuente: Perfil LinkedIn Juan Carlos Cavero Gracia.	75

Índice de tablas

Tabla 1. Resultados de los menús generados. Fuente: Elaboración propia.	5
Tabla 1. Results of the generated menus. Source: Own elaboration.	8
Tabla 2. Huella de carbono según el método de cultivo. Fuente: ECODES.	16
Tabla 3. Huella de carbono según el envasado. Fuente: ECODES.	16
Tabla 4. Huella de carbono según el origen. Fuente: ECODES.	17
Tabla 5. Huella de carbono según el procesamiento. Fuente: ECODES.	17
Tabla 6. Aporte energético por macronutriente. Fuente: FAO.	38
Tabla 7. Requisitos nutricionales del grupo poblacional 1.	50
Tabla 8. Resultado Menús para Grupo Poblacional 1.	50
Tabla 9. Métricas nutricionales y ambientales de los menús del grupo poblacional 1.	51
Tabla 10. Requisitos nutricionales del grupo poblacional 2.	51
Tabla 11. Resultado Menús para Grupo Poblacional 2.	52
Tabla 12. Métricas nutricionales y ambientales de los menús del grupo poblacional 2.	52
Tabla 13. Requisitos nutricionales del grupo poblacional 3.	52
Tabla 14. Resultado Menús para Grupo Poblacional 3.	53
Tabla 15. Métricas nutricionales y ambientales de los menús del grupo poblacional 3.	53
Tabla 16. Evaluación del impacto ambiental del cocinado de los alimentos. Fuente: elaboración propia.	58
Tabla 17. Comparación entre un menú crudo y cocinado. Fuente: elaboración propia.	58
Tabla 18. Recomendaciones de parámetros nutritivos para el caso de uso. Fuente: elaboración propia.	65
Tabla 19. Menú original para niños de 6 a 12 años y adaptación a la herramienta. Fuente: elaboración propia.	66
Tabla 20. Comparación calabacín y lechuga. Fuente: elaboración propia.	66
Tabla 21. Parámetros ambientales y nutricionales del menú evaluado. Fuente: elaboración propia.	67
Tabla 22. Evaluación ambiental del menú evaluado. Fuente: elaboración propia.	67

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN

El término '**sistema alimentario**' engloba todas las actividades involucradas en la cadena alimentaria, desde la producción de los alimentos hasta su consumo y gestión de residuos. Incluye por lo tanto el procesamiento de las materias primas, el transporte y el consumo además de las mencionadas anteriormente. (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, s.f.).

El sistema alimentario actual es complejo y sus características hacen que **no sea sostenible** según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura. (FAO, s.f.). Priorizando la maximización de beneficios financieros y el agronegocio y sacrificando la calidad, el sistema tiene unas **características** que pone en riesgo la salud humana y del planeta. (Cascante, 2023).

- **Producción excesiva.** A pesar de que 700 millones carecen de seguridad alimentaria, la ONU señala que cada año 931 millones de toneladas de alimentos son desperdiciadas. (Elver, 2021). (Naciones Unidas, s.f.). Estos datos son un claro indicio del consumo y producción excesivos.
- **Producción intensiva.** Implica la explotación de la tierra con el objetivo de producir cantidades enormes de alimentos mediante la utilización de recursos externos químicos como pesticidas y energéticos. No obstante, aunque se consiga una mayor productividad, tiene un gran impacto negativo ambiental y también en la salud.
- **Sistema globalizado.** La globalización mundial permite conectar productores y consumidores de todo el mundo. Esto ha traído beneficios como poder disfrutar de una mayor variedad de alimentos, pero también ha generado dependencia al transporte y la producción a gran escala. Los desplazamientos de los alimentos los largos y requieren de una infraestructura de transporte enorme que contribuye a las emisiones de CO₂, consume combustibles fósiles y contamina el aire y el agua.

Demás, en estos desplazamientos se aumenta la probabilidad de tener pérdidas y desperdicios por alimentos dañados o descompuestos.

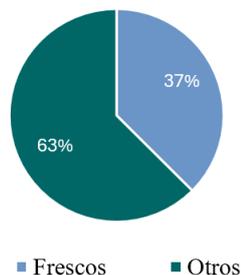
- **Gobernanza descentralizada.** Las regulaciones, normativas y decisiones sobre el sistema alimentario están divididas y fragmentadas a distintos niveles (local, nacional, global) y son distintos organismos los que lo regula por lo tanto la coordinación y la alineación de estrategias resulta complicada.
- **Impacto ambiental.** Durante todo el ciclo de vida de los productos, estos impactan de manera negativa al planeta. Especialmente en la etapa de producción, se consumen muchos recursos naturales, se debilita el suelo, se acelera la deforestación, se emiten gases nocivos a la atmósfera y se daña a la biodiversidad. Todos estos efectos serán descritos en futuros capítulos del trabajo.

A todas las consecuencias dañinas que produce el sistema alimentario, se unen los nuevos **hábitos de consumo** que han provocado la ingesta de dietas poco nutritivas resultantes en efectos negativos para la salud.

- **Falta de tiempo.** La vida acelerada y la oferta de alternativas han hecho que el tiempo dedicado a la cocina se vea reducido. (Sant Dalmai Food Company, s.f.). Los restaurantes envían comida a domicilio, cada vez hay más opciones de comidas rápidas y los supermercados ofrecer comidas preparadas. A menudo, estas comidas no son tan nutritivas como parece y abusar de ellas implica consumir un exceso de sal y azúcar, proteínas de baja calidad, grasas saturadas y tener un déficit de nutrientes básicos como vitaminas y fibra. (Ayuso, 2017).
- **Dietas ricas en alimentos de alto impacto ambiental.** Los últimos años especialmente en países desarrollados, el consumo de productos cárnicos ha alcanzado niveles insostenibles alarmantes. La carne procesada se ha clasificado como carcinógena para los humanos además de contribuir al cambio climático. (IARC, s.f.). La ganadería es un sector que emite el 14,5% de los gases de efecto invernadero destacando el CO₂, el metano y el óxido nitroso. (Greenpeace España, s.f.). Todos estos gases dañan la atmósfera y aceleran la crisis climática sin precedentes que se está viviendo.

- **Dietas ricas en alimentos procesados y calóricos.** Especialmente en áreas urbanas, se ha disparado el consumo de alimentos procesados debido a que cada vez son más económicos y cómodos. (FAO, 2023). Según un estudio de la Universidad de Sao Paulo, el 20,3% de los alimentos que se consumen en España son ultraprocesados. Esta ingesta tan extendida, está relacionada con un mayor riesgo de fallecimiento por enfermedades cardíacas, diabetes tipo 2 y obesidad. (Lane et al., 2022). Adicionalmente, el consumo de estos alimentos supone un riesgo también para la salud mental, incrementando las posibilidades de padecer depresión, ansiedad y deterioro cognitivo. (National Geographic, 2023).
- **Disminución del consumo de productos frescos.** Se recomienda la ingesta de comida fresca ya que requieren un menor procesamiento y transporte generando así menor impacto ambiental y son mucho más nutritivos y beneficiosos para la salud. (Academia de Nutrición y Dietética, s.f.). De todas formas, investigaciones afirman que cada vez se consumen menos productos frescos. En España, en 2022 el 37,5% del volumen de alimentos consumidos fueron frescos mientras que en 2021 el porcentaje fue mayor. Además, se destaca que este tipo de alimentos son más caros, motivo por el que los consumidores podrían preferir no comprarlos. (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2022).

% volumen por tipos de alimentos



% valor por tipos de alimentos

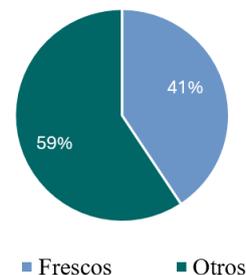


Figura 1. Importancia de los tipos de alimentación sobre el total. Fuente: MAPA (2022).

1.2 MOTIVACIÓN Y JUSTIFICACIÓN

Comer de manera saludable mejora el bienestar y la salud además de prevenir la malnutrición y diversas enfermedades. De todas formas, llevar una dieta sana actualmente se ha vuelto complicado debido al aumento de los alimentos procesados, la creciente urbanización, y el cambio de vida a un estilo muchos más rápido. Además, el actual sistema alimentario tampoco facilita el consumo responsable de alimentos y supone un riesgo para el medio ambiente. La forma de producir los alimentos, su procesado y transporte hasta el consumidor final, tiene relación directa con el cambio climático, agravándolo cada día más.

Preocupados por las consecuencias del actual sistema alimentario, la Organización de Naciones Unidas para la alimentación y la Organización Mundial de la Salud definieron el concepto de ‘**dieta saludable sostenible**’ para referirse a modelos de alimentación que mejoren el bienestar de las personas, tengan un reducido impacto en el medio ambiente, sean accesibles y económicos y adaptados a la cultura y costumbres. (BBVA, 2023).

Este proyecto nace con el objetivo de poder acercar a las personas esta realidad y mejorar la salud de todos al mismo tiempo que se cuida el planeta a través de dietas saludables sostenibles. Basado en las dietas saludables sostenibles y a través de dos herramientas que generen menús eco saludables y evalúen otros ya diseñados, y de un manual de buenas prácticas, el trabajo consigue avanzar en la transición hacia un sistema alimentario mucho más sostenible.

1.3 OBJETIVOS

Este trabajo está dirigido a **cambiar la industria alimentaria** ya que actualmente supone una amenaza para el planeta y para la salud humana. (Thomson, 2024). El objetivo de esta transformación se basa en la insostenibilidad del sistema actual para preservar el planeta y asegurar que las generaciones futuras tengan una vida saludable con menos enfermedades. Por ello, para conseguirlo, se deben de tomar muchas medidas como cambiar las prioridades

alimentarias o crear estándares de etiquetado de alimentos involucrando a las partes interesadas.

Por tanto, se establecen tres **objetivos generales** que impulsan la transformación alimentaria necesaria.

- **Fomentar y aumentar la concienciación de hábitos alimentarios saludables y sostenibles.** Los consumidores de alimentos tienen el poder de iniciar y conseguir la transformación. Para ello, se debe concienciar a las personas de la situación y fomentar buenos hábitos de consumo para que puedan tomar mejores decisiones alimentarias.
- **Minimizar el impacto ambiental de la industria alimentaria.** Este sector es uno de los impulsores del cambio climático. El ciclo de vida de los alimentos indica de qué manera afectan al planeta contribuyendo a la destrucción de la biodiversidad, agotamiento de recursos naturales, contaminación del aire y el agua. Por ello, su estudio permite identificar aquellos que son más respetuosos con el planeta.
- **Mejorar la salud de las personas.** El último objetivo general se enfoca en la salud de las personas. Se basa en la premisa de que una buena dieta permite disminuir las enfermedades no transmisibles como el cáncer o la diabetes mejorando así la salud y bienestar de la población.

Para alcanzar las metas anteriormente descritas, se exponen varios objetivos específicos que guiarán el desarrollo del proyecto. Estos objetivos se refieren a acciones concretas que guiarán el desarrollo del proyecto.

- **Creación de una base de datos robusta y fiable.** Se generará una base de datos que incluya características nutricionales y ambientales de distintas materias primas. Esto será indispensable para abordar los dos siguientes objetivos. Además, sirve para centralizar toda la información relevante sobre los alimentos y poder acceder a ella para hacer comparaciones y análisis.

- **Herramienta de diseño de menús eco saludables.** Este objetivo se centra en facilitar la creación de dietas que, cumpliendo con las necesidades nutricionales de cada grupo de personas, minimice el impacto ambiental.
- **Herramienta de evaluación de menús en cuanto a criterios de sostenibilidad y calidad nutricional.** Con la creación de una herramienta interactiva que evalúe diferentes combinaciones de alimentos, los consumidores serán capaces de comprobar la calidad de sus comidas. La herramienta analizará distintos menús comprobando el cumplimiento nutricional y calculará de qué manera los alimentos elegidos han contribuido negativamente al cambio climático para hacer una valoración final.
- **Elaboración de buenas prácticas y recomendaciones relacionadas con el consumo de alimentos, su preparación e ingesta.** Dar a conocer la delicada situación de los sistemas alimentarios actuales y las consecuencias de los mismos, es necesario para que la población sea consciente de la urgencia del cambio. Pero, además, se deben enseñar a las personas cómo pueden ayudar al objetivo con pequeñas acciones. Esto se consigue con una elaboración de buenas prácticas con carácter instructivo y a modo de guía práctica que enseñen y recomienden a las personas cómo comer y cocinar de forma más sostenible.

Capítulo 2. ESTADO DE LA CUESTIÓN

2.1 IMPACTO DEL SISTEMA ALIMENTARIO EN EL MEDIO AMBIENTE

El sistema alimentario actual es uno de los grandes impulsores del cambio climático, afectando a diversas partes del planeta y contribuyendo a su destrucción desde distintos enfoques. Este sector genera daños y costes aparentemente ocultos sanitarios y ambientales que suponen el 12% del PIB mundial de 2020, valorados entre 10 y 15 billones de dólares al año. (WWF España, 2024).

Actualmente, existen varias organizaciones e instituciones que investigan, analizan y cuantifican los efectos, riesgos y daños de las prácticas alimentarias de la humanidad. Algunas de ellas son: La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO), World Resources Institute (WRI), EAT-Lancet Commission o World Wildlife Fund (WWF). En este apartado, se destacan las seis principales áreas afectadas por el sistema alimentario actual.



Figura 2. Impacto del sistema alimentario al medioambiente. Fuente: elaboración propia.

Consumo de energía.

La FAO indica que el sector agroalimentario a nivel mundial **consume el 30% de la energía total del planeta**, la mayor parte proveniente de combustibles fósiles. (FAO, 2021). España se sitúa en la media, consumiendo un tercio de la energía en la cadena de valor de los alimentos.

El siguiente gráfico muestra el reparto de energía en el sistema alimentario global, dividido por cuatro etapas fundamentales. Para empezar, la producción de insumos incluye principalmente la fabricación de fertilizantes, químicos altamente contaminantes y perjudiciales para la salud cuyo uso se prevé que aumente entre un 40 y 50% en 2050. Siguiendo la cadena de valor, la siguiente etapa es la producción de los alimentos y el uso de la tierra que consume un 15% del total. Posteriormente, el procesamiento y envasado de los productos es la fase que más energía consume. Incluye los procesos de procesado de alimentos, los sistemas de conservación refrigerada, envases para preservar la comida y el transporte. Por último, la distribución a los puntos de venta, el cocinado de los alimentos y el desperdicio utiliza un 38% de toda la energía requerida en la cadena. Los trayectos cada vez son más largos lo que afecta al consumo y las técnicas de cocinado, así como los electrodomésticos utilizados contribuyen al gasto energético. De todas formas, en esta fase lo que más energía consume es la pérdida de alimentos. (Global Alliance for the Future of Food, s.f.). Un 14% de la totalidad de alimentos producidos se desecha en la producción o en la venta y un 17% por no ser consumido por los consumidores finales especialmente en los hogares. (Manos Unidas, 2023).

Distribución del consumo energético en las etapas del sistema alimentario global

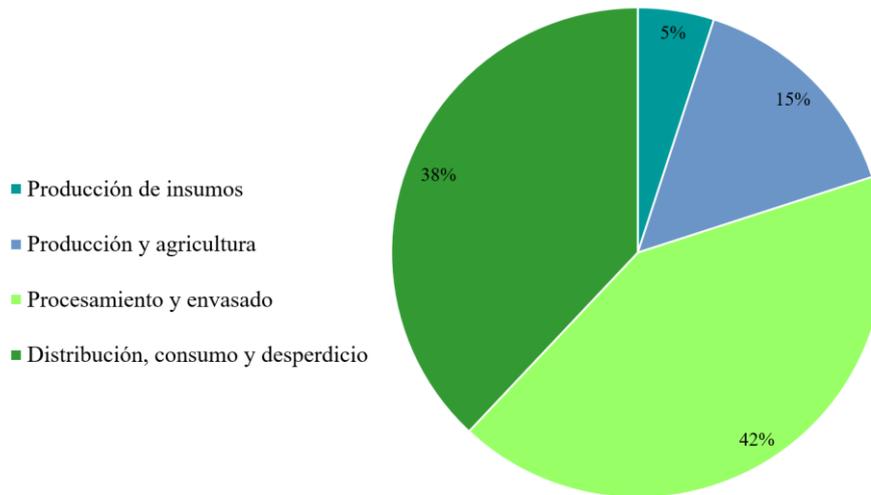


Figura 3. Consumo energético del sistema alimentario. Fuente: Global Alliance for the Future of Food.

Huella de carbono, emisiones de gases de efecto invernadero.

La huella carbono de los alimentos, evalúa la cantidad total de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) que emite en su ciclo de vida, es decir, desde sus primeras fases de producción, hasta su consumo o desecho. La unidad de medida utilizada es el kilogramo de dióxido de carbono equivalente (**Kg CO₂-eq**) por kilogramos de alimento. Es medición incluye la emisión de todos los gases GEI a través de conversiones que consideran tanto la masa de los gases como su capacidad de retener calor. (ECODES, 2023).

Aproximadamente, **un tercio de las emisiones totales de GEI** antropógenas provienen del sistema alimentario. (AlimentaODS, 2021). Este porcentaje ha ido disminuyendo a lo largo de los años, aunque realmente las emisiones han aumentado en valor absoluto. En todas las etapas del sistema, se emiten gases nocivos, destacando la producción como la que mayor impacto tiene.

- **Producción.** La fase de producción de las materias primas es la que representa las mayores emisiones. La cría de animales, incluyendo la ganadería y la pesca, el uso del terreno y los cultivos se incluyen en esta etapa. La liberación de metano

representa el 35% de las emisiones y proviene especialmente de la digestión del ganado bovino y el cultivo del arroz. (García, 2021). La emisión de gases nocivos para la atmósfera se está convirtiendo en un problema con urgente necesidad de solución e incluso países como Dinamarca están apostando por el famoso “impuesto al eructo” que obliga a los productores a pagar aproximadamente 40 euros por cada tonelada de metano emitida por el ganado, tasa que irá aumentando con los años. (Arce, 2024).

- Por otra parte, el uso de fertilizantes para mejorar los cultivos, y la gestión del estiércol libera óxido nitroso, un gas preocupante por su capacidad de atrapar calor, siendo su potencial de calentamiento global muy superior al del CO₂. (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, s.f.). Por último, la deforestación y la degradación del suelo liberan CO₂ almacenado en árboles y el suelo reduciendo además la captura del carbono en el futuro. (Naciones Unidas, s.f.).

Los productos alimenticios de origen animal tienen una huella de carbono mayor que los vegetales. El 66,3% de las emisiones por producción de alimentos son por origen animal mientras que el 33,6% son emitidas por las materias primas vegetales. (Marcos, 2021). Destacan las carnes rojas como el vacuno y el ovino debido al metano liberado en su digestión y la deforestación necesaria para cultivar el pasto que sirve como alimentación para los animales. Además, los derivados lácteos como el queso y la leche son otros de los alimentos que más GEIs emiten. (Nestlé, 2023). Por último, para producir el marisco, en numerosas ocasiones se construyen piscifactorías donde antes había manglares, encargados de absorber cantidades de carbono enormes. (Naciones Unidas. S.f.). Por su parte, los productos vegetales tienen un menor impacto al requerir menos recursos para su producción.

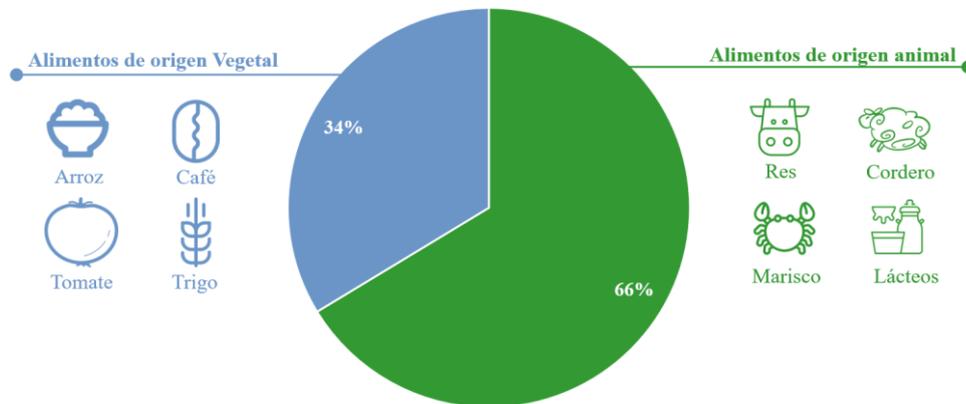


Figura 4. Alimentos con mayor huella de carbono en su producción. Fuente: elaboración propia.

- **Transporte.** Los alimentos al ser transportados en distintos medios de transporte como camiones, barcos o aviones emiten gases nocivos a la atmósfera en todos sus recorridos desde los puntos de producción, hasta los de procesamiento, distribución y venta final. En España, esta fase es una de las que más contamina emitiendo 16,6 millones de toneladas de CO₂ equivalente. (Aguilera et al., 2020). Se prevé que esto siga en aumento debido a que cada vez, los alimentos se transportan distancias más elevadas.
- **Procesamiento, envasado y almacenaje.** La generación de alimentos procesados implica distintos procesos de producción y manipulación que consumen mucha energía que genera muchas emisiones de CO₂ especialmente cuando proviene de fuentes no renovables. Por otra parte, la fabricación de los envases y los materiales utilizados como el plástico, supone un 5,4% de las emisiones de todo el sistema. (AlimentaODS, 2021). Algunos alimentos, especialmente los frescos y perecederos, requieren una refrigeración esencial que contribuye a la huella de carbono.
- **Consumo y desperdicio.** La manera en la que se preparan y consumen los alimentos también genera un impacto en la huella de carbono. Las fuentes de energía utilizadas en los procesos de cocinado impactan de manera distinta en el medio ambiente, resultando distinto utilizar gas natural o electricidad, por ejemplo. Además, la eficiencia de los electrodomésticos también tiene un papel importante en las emisiones. A esto, se le añade los métodos y tiempo de cocción y el desperdicio de

alimentos no solo por los gases emitidos para su preparación sino también por el metano que libera su descomposición. (WWF, s.f.).

Se han estudiado algunos alimentos y cómo, dependiendo de su procedencia, método de producción y tratamientos de procesado y envasado su impacto en la huella de carbono varía considerablemente.

- Existen muchas frutas y verduras que se cultivan en **invernaderos** y aunque estos suponen muchas ventajas como la protección de plantas, o la producción de productos fuera de temporada. Los productos de invernadero tienen un impacto mucho mayor, del orden de entre 5 y 10 veces superior al método natural de cultivo.

Natural - Invernadero kg CO₂e por 100gr de alimento

Alimento	Natural	Invernadero
Fresa	0,05	0,303
Tomate	0,047	0,256

Tabla 3. Huella de carbono según el método de cultivo. Fuente: ECODES.

- Los distintos **envasados** añaden emisiones de gases al ciclo de vida de los alimentos. Se han analizado dos productos si su venta se realiza sin ningún tipo de envase comparado con el mismo producto vendido enlatado.

Natural - Lata kg CO₂e por 100gr de alimento

Alimento	Natural	En lata
Zanahoria	0,024	0,160
Judías verdes	0,057	0,145

Tabla 4. Huella de carbono según el envasado. Fuente: ECODES

- La **procedencia** de los alimentos impacta directamente en el nivel de gases nocivos emitidos a la atmosfera. Al proceder de lugares lejanos, la etapa de transporte aumenta e impacta n la huella de carbono.

Nacional - Importado kg CO₂e por 100gr de alimento

Alimento	Natural	En lata
Granada	0,058	0,209
Aguacate	0,090	0,183

Tabla 5. Huella de carbono según el origen. Fuente: ECODES

- Los alimentos pueden sufrir distintas **transformaciones** antes de ser vendidos a los comercios o consumidores finales. Tratamientos como congelar las materias primas implican emisiones adicionales.

Natural - Congelado kg CO₂e por 100gr de alimento

Alimento	Natural	Congelado
Judías verdes	0,057	0,224
Frambuesas	0,063	0,118

Tabla 6. Huella de carbono según el procesamiento. Fuente: ECODES

Consumo de agua.

La huella hídrica es un indicador que aporta la cantidad de agua dulce utilizada para producir bienes servicios. Tiene en cuenta el agua azul, procedente de fuentes naturales, el agua verdad, de la lluvia o nieve y, el agua gris, que es agua contaminada por procesos anteriores. (Mutua Universal, 2024).

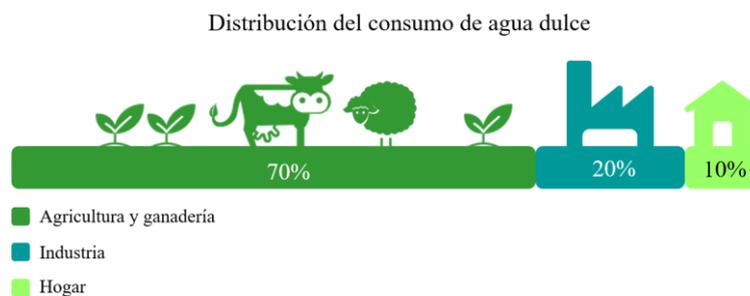


Figura 5. Distribución del consumo de agua dulce. Fuente: Aque Fundación.

De todo el **consumo mundial de agua dulce**, el **sistema alimentario es el responsable del 70%**. (ONU, s.f.). El ganado y los cultivos requieren agua para poder producir alimentos,

durante el procesamiento también se utilizan recursos hídricos para la limpieza y refrigerado de la materia prima y, por último, el consumo doméstico también contribuye al consumo de agua. Este elevado consumo afecta directamente a la disponibilidad de agua limpia para los humanos, problema cada vez mayor propiciado por el aumento demográfico. (FAO, 2020).

El riego agrícola es la principal fuente de consumo dentro de la cadena de valor. Además de ser necesario para el crecimiento de los cultivos, también hay parte que es perdida en el proceso. Una cantidad de agua que se extrae para el riego, se pierde en el transporte a las plantas o granjas por evaporación o filtraciones. Esta agua en ocasiones puede volver a reponer fuentes hídricas subterráneas, pero al fluir por la superficie, puede ser contaminada con pesticidas o fertilizantes haciendo que sea agua desperdiciada. (Fundación Aquae, s.f.) Especialmente, en las zonas áridas y semiáridas, el consumo de este recurso es mucho mayor debido a la falta de lluvias y a la evaporación del agua. En el caso de España, es el segundo país europeo con mayor huella hídrica y el más áridos de todo el continente. (Pérez, 2021). A continuación, se presenta un gráfico con los cultivos que más agua necesitan, destacando los cereales y especialmente el arroz que consume 3.400L aproximadamente para producir 1kg.

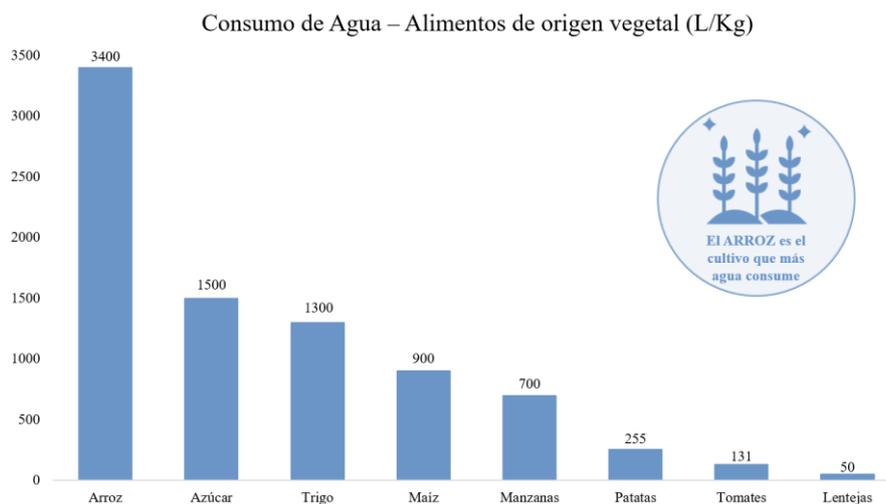


Figura 6. Consumo de agua. Alimentos origen vegetal. Fuente: Fundación Heinrich Boll.

Por otra parte, la ganadería también consume agua. Los animales necesitan para su crecimiento una gran cantidad de agua para beber y la refrigeración de los alimentos derivados de los animales suelen requerir más agua que los vegetales. Aunque, realmente, la mayor proporción de agua es utilizada para cultivar el alimento para los mismos. La carne bobina es la que más consume, y los alimentos derivados de la misma también destacando los lácteos.

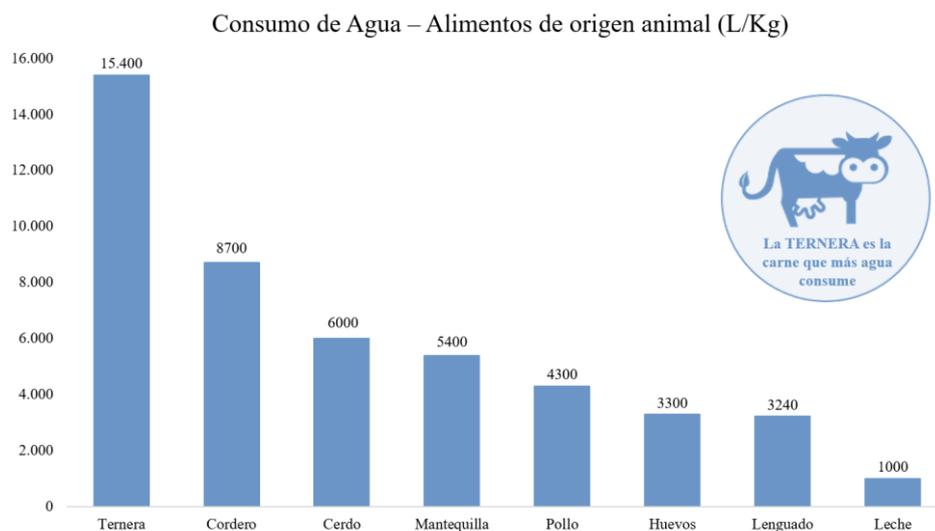


Figura 7. Consumo de agua. Alimentos origen animal. Fuente: Fundación Heinrich Boll

Pérdida de la biodiversidad.

Mundialmente, el sistema alimentario es el factor más determinante en la pérdida de la biodiversidad. La producción de alimentos **destruye el 80% de la diversidad biológica** del planeta Tierra. (WWF, s.f.). De todas las especies en peligro de extinción, el 86% se ven amenazadas por la agricultura, una cifra muy elevada y con tendencia positiva. (International Confederation of Dietetic Associations, 2023).

La destrucción de la vida se debe principalmente a la preparación del terreno para poder producir alimento. Actualmente, el **40% del terreno total habitable está destinado a alimentar a los seres humanos**. (WWF, 2024). Esas parcelas de tierra se generan a partir de la destrucción de ecosistemas y hábitats completos. Se talan bosques enteros destruyendo

ecosistemas completos, los monocultivos y la agricultura intensiva reducen la variedad de plantas, animales e insectos polinizadores y reducen las calidad y propiedades de los suelos. Este tipo de agricultura ha hecho que 9 cultivos representen el 66% de la producción total, cuando en la historia se han cultivado más de 6.000 especies distintas. (Enraíza Derechos, s.f.). Por último, el uso de químicos como fertilizantes contaminan recursos naturales como el agua y el suelo afectando a los seres vivos de la zona. (Chatham House, 2021).

Deforestación.

Según los estudios más recientes de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, **la expansión agrícola causa el 90% de la deforestación** a nivel global. La manera en la que se producen los alimentos contribuye de manera notable a la deforestación. Los monocultivos para la alimentación de los humanos y generación de pienso para los animales, representa el más de la mitad de estas pérdidas y el 40% se destinan a tierras para la ganadería. (FAO, 2021).

Esta degradación forestal tiene como principales determinantes la producción de carne de res, los cultivos de aceite de palma y soja, que supone la tala de aproximadamente 33.000 hectáreas de bosques tropicales cada año. (Enraíza Derechos, s.f.).

2.2 IMPACTO DEL SISTEMA ALIMENTARIO EN LA SALUD

Además de todas las implicaciones ambientales presentadas anteriormente, la alimentación también tiene un gran impacto en la salud de las personas. Para el correcto crecimiento y desarrollo de las personas, es necesario llevar una dieta saludable que cumpla con los **requerimientos nutricionales** adaptados a cada persona. Cada grupo de personas, según edad, género, nivel de actividad física y estado fisiológico, requiere unas cantidades específicas de calorías y nutrientes. (FAO, s.f.). A pesar de las recomendaciones de la OMS de ingerir dietas saludables y equilibradas con proteínas, carbohidratos, grasas, vitaminas y minerales, los hábitos alimenticios y el sistema actual están incrementando la malnutrición en todas sus formas.

El sistema alimentario en este siglo prioriza el beneficio económico y el agronegocio, produciendo así alimentos de poca calidad nutricional que afectan directamente a la salud humana. (Cascante, 2023). La población consume más alimentos ultraprocesados, que en la mayoría de las ocasiones tienen alto contenido en grasas, azúcares, sal y bajo contenido en nutrientes esenciales. Estas dietas insalubres derivan en un aumento de **enfermedades crónicas** incluyendo obesidad, diabetes tipo 2, enfermedades cardiovasculares y algunos tipos de cáncer. (Barca, 2021). Además, otra de las causas principales de estas afecciones es la elección de dietas ricas en alimentos de origen animal y con déficit de vegetales. (Instituto Danone, 2022). Adoptar hábitos saludables mediante dietas equilibradas, podría reducir un 97% los gastos derivados de las enfermedades relacionadas con la alimentación. (WWF, s.f).

Una de las enfermedades más extendidas es la **obesidad**. En 2022, 2.500 millones de personas padecen de sobrepeso u obesidad, derivador de un desequilibrio entre las calorías ingeridas y las gastadas. (World Health Organization, 2024). El estilo de vida sedentario, el aumento del consumo de comida rápida, alimentos de poca calidad, snacks y el coste más económico de este tipo de alimentación, han sido las causas de esta tendencia. (Silva, s.f.). Otra característica de este tipo de alimentación es su **bajo contenido en micronutrientes**. La carencia de vitaminas y minerales se llama hambre oculta y afecta a 2.000 millones de personas. (DF Grupo, 2022). Mundialmente, la falta de hierro que provoca anemia es la enfermedad más común relativa a la falta de micronutrientes. (AECOSAN, 2021).

Por otra parte, también se derivan problemas de salud de la producción de los alimentos. Por un lado, el uso de fertilizantes, plaguicidas y químicos, producen que el **44% de los agricultores se intoxiquen** y que 170.000 de ellos fallezcan por este motivo. (WHO, 2021). Además, otra de las prácticas que se realizan durante la producción de alimentos, especialmente en la ganadería es administrar antibióticos a los animales para que crezcan más rápido y más sanos. De todas formas, esta práctica favorece la **resistencia a los antimicrobianos**, una de las principales amenazas para la salud según la OMS que hace que las infecciones comunes se vuelvan más duraderas y difíciles de tratar. (EFSA, 2024).

2.3 METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN UTILIZADAS

Las necesidades nutritivas son las proporciones de nutrientes que necesita ingerir una persona para mantenerse saludable. Esto incluye proteínas, hidratos de carbono, grasas, vitaminas, minerales y agua. Las **ingestas dietéticas recomendadas (IDR)** desarrolladas por **organismos de la salud a nivel internacional**, determinan unos valores de referencia para que todos sepa qué es lo que deberían de ingerir a través de los alimentos. En este sentido, existen aplicaciones con softwares que incluyen estas bases de datos y según lo que una persona coma y su perfil, calcula de todos los macro y micronutrientes aquellos que ya se han completado y los faltantes para llegar a los valores recomendados. Un ejemplo de estas herramientas es la aplicación Myfitnesspal. (Myfitnesspal, 2024).

Por otro lado, actualmente, **no** existe un **criterio de evaluación** certificado que permita analizar diferentes menús en el **aspecto ecológico**. Existen aplicaciones que indican algunos aspectos del impacto ambiental de algunos productos por cantidades que el usuario escoja pero estas son muy escasas y sus bases de datos pueden variar.

La mayoría de las evaluaciones sobre la parte nutricional y ambiental se enfocan en **alimentos individuales** normalmente envasados. Para algunos alimentos, en especial los procesados, se utilizan distintos sistemas de etiquetado que aportan información sobre su calidad. Aunque las normativas respecto a esto varían dependiendo del continente, país y región.

Varias organizaciones e instituciones declaran la necesidad de un **etiquetado** obligatorio único en los envases de alimentos para poder ofrecer al consumidor información real para tomar decisiones mejores sobre sus dietas. Informar sobre las características de los alimentos hace que se consuman los alimentos de manera más saludable y responsable y por ello la agencia española de seguridad alimentaria y nutrición propone como medida unificar todo esto. (Instituto Danone, 2022). Además, la Organización Panamericana de la Salud apunta que ante la obligatoriedad de ser claros en el etiquetado de alimentos que muestren la calidad

de estos, incentivaría a las empresas productoras a reformular sus productos al hacerse pública la realidad nutricional de lo que venden. (APS, 2023).

2.3.1 INFORMACIÓN OBLIGATORIA EN ETIQUETADOS.

En la mayoría de países, se debe incluir **información nutricional básica** de manera obligatoria en los alimentos. Estos datos incluyen el valor energético, grasas, grasas saturadas, hidratos de carbono, azúcares, proteínas y sal. En la Unión Europea, por ejemplo, es obligatorio desde 2016 por normativa del Reglamento 1169/2011 y en Estados Unidos, la FDA es la que se encarga de regular el etiquetado obligatorio, pero, en otros como India o Rusia, estas regulaciones son menos estrictas. (AESAN, 2016).

Además, la lista de ingredientes, los alérgenos y las fechas de caducidad son también de requerimiento obligatorio en todos los territorios de la Unión Europea, excepto para algunos productos como las frutas frescas o productos de un solo ingrediente. Se deben incluir todos los ingredientes que conforman el alimento además de indicar expresamente si hay presencia de cualquiera de los catorce alérgenos: gluten, crustáceos, huevo, pescado, soja, lactosa, frutos secos, apio, mostaza, sésamo, sulfitos, altramuces y moluscos. (Oficina Económica y Comercial de España, s.f.).

2.3.2 ETIQUETADOS OPCIONALES NUTRICIONALES

Con el objetivo de promocionar aquellos alimentos que son más saludables e informar a los consumidores de una manera clara y atractiva, algunos productores optan por implementar sistemas de etiquetados adicionales. Mundialmente, destacan algunos sistemas que evalúan los productos clasificándolos por su valor y calidad nutricional.

Nutri-Score

Por un lado, en varios países europeos incluido España, la utilización del **Nutri-Score** está en aumento. Desarrollado por científicos franceses, este sistema de etiquetado frontal clasifica los alimentos en 5 categorías con letras de la A a la E y colores del verde al rojo para ofrecer información visual. (OCU, 2023). Para poder determinar la letra de cada

alimento, se realiza un cálculo a partir del contenido de nutrientes por cada 100 gramos asignando **puntos favorables** y **desfavorables** basándose en el perfil nutricional de estándares de la agencia británica FSA-NPS. (AECOSAN, 2023).



Figura 8. Nutri-Score. Fuente: Mapfre.

El cálculo del Nutri-Score sigue la siguiente fórmula. Los resultados pueden variar entre una puntuación de -15 puntos (alimento con alta calidad) hasta +40 puntos (alimento desfavorable).

$$\text{Ecuación 1. Nutri - Score} = \text{puntos desfavorables} - \text{puntos favorables}$$

Los puntos se relacionan con los nutrientes o alimentos que deben incluirse en una dieta saludable. Los negativos incluyen energía (KJ), grasas saturadas, azúcares y sal. Por el contrario, los puntos favorables consideran en la composición de los alimentos frutas, hortalizas, legumbres, proteínas y fibra. (Findus España, s.f.).

El Nutri-Score es como etiquetado frontal es muy útil y ayuda a mejorar la salud de las personas ya que ofrece de una manera sencilla y visual de saber qué alimentos son mejores o peores a nivel nutricional. Al basarse en un algoritmo matemático, es aplicable a la mayoría de los alimentos, exceptuando algunos como los productos frescos o los que solo tienen un ingrediente. Otra de las ventajas de este etiquetado es su gran potencial a la hora de comprar alimentos de una misma categoría. Por ejemplo, si un consumidor desea comprar un snack, entre todas las posibilidades, puede elegir el más sano nutricionalmente hablando con simplemente comparar las etiquetas de cada opción. Esta valoración junto al etiquetado HSR en Oceanía son los únicos que tienen en cuenta la composición de algunas vitaminas y minerales importantes. (Ethic, 2021).

A pesar de todas las ventajas que presenta este etiquetado, tiene algunos puntos negativos. Ha sido criticado especialmente por ser reduccionista y no ser útil a la hora de comparar distintos grupos o categorías de alimentos. Por ejemplo, el aceite de oliva se clasifica con una letra D mientras que algunos refrescos azucarados se señalan con la letra B. (ElDiario.es, 2021). Además, otro de sus mayores problemas es que no tiene en cuenta la cantidad real que se consume, sino que evalúa según el contenido de 100mg o 100ml de alimento. Esto genera que algunos alimentos consumidos en menor cantidad se vean desfavorecidos o productos que se ingieren en mayor cantidad sean favorecidos. (Estruch, 2022). Ante estas críticas y puntos de mejora, el algoritmo está siendo mejorado para adaptarse mejor a la realidad. Además, algunos especialistas en nutrición expresan la necesidad de incluir aspectos medioambientales en el cálculo de la puntuación ya que, sin estos, la valoración no es viable en la práctica.

Health Star Rating

El HSR es un sistema de etiquetado utilizado en Australia y Nueva Zelanda y es similar al Nutri-Score, con un algoritmo parecido y calculado sobre 100 gramos o miligramos de producto. Clasifica los productos a través de estrellas pudiendo obtener media estrella como calificación más baja, y cinco como la más alta.

Se basa en un algoritmo que valores algunos nutrientes como positivos, y otros como negativos, lo que ayuda considerablemente a comparar alimentos de una misma familia según explica el propio sistema aclarando que no sirve para comparar distintas categorías como salsas y pastas. (Health Star Rating, s.f.).

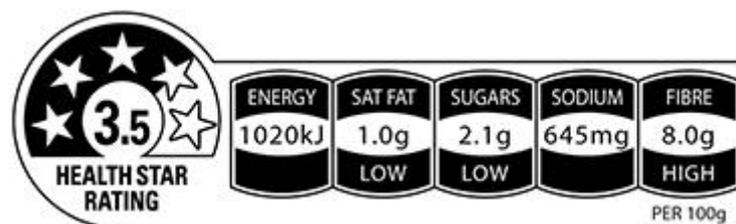


Figura 9. Health Star Rating. Fuente: HSR.

2.3.3 ETIQUETADOS OPCIONALES AMBIENTALES

Sello Eurohoja

El sello Eurohoja o sello de agricultura ecológica de la Unión Europea, es un distintivo voluntario que las empresas pueden añadir a sus productos alimentarios y que certifica que son **ecológicos**. Además, incluye el **organismo de control** que lo ha verificado y también el lugar de **origen** de producción de los ingredientes. (CPAEN, s.f.).

Este sello fue creado para que los consumidores puedan detectar manera rápida qué productos son ecológicos. La certificación aplica a alimentos, alimentos procesados, productos agrícolas y algunos piensos para animales. Evalúa las primeras fases del ciclo de vida de los productos, es decir, la producción y su manipulación. Se centra en estudiar la producción de los ingredientes y la transformación de los mismos para producir el alimento final. El cultivo, cría y procesamiento de las materias primas deben cumplir una serie de **requisitos** exigidos por la UE según el Reglamento (CE) 834/2007. (Ecocesta, s.f.).

- La composición del alimento debe ser como mínimo un 95% de ingredientes ecológicos.
- No contiene organismos modificados genéticamente, es decir, que no puede contener ningún ser vivo cuyo ADN haya sido modificado con el objetivo de incorporar características o mejorar propiedades. (MAGRAMA, s.f.).
- Para los alimentos de origen vegetal, en su producción no deben de haberse utilizado productos químicos como pesticidas, plaguicidas, herbicidas o fertilizantes.
- Para los alimentos de origen animal, se aplican varias normas de bienestar animal que incluyen uso limitado de medicamentos como antibióticos o alimentación basada en piensos naturales.
- El sistema de producción debe proteger el medio ambiente y respetar el crecimiento natural de la materia prima.



AB-CDE-999
Agricultura de la UE



AB-CDE-999
Agricultura Extracomunitaria



AB-CDE-999
Agricultura de la UE/Extracomunitaria

Figura 10. Logotipos Ecológicos de la UE. Fuente: Comisión Europea.

Al estar regulado por organismos europeos, este etiquetado es sólido y confiable y además, al tener una identificación clara en los envases, los consumidores pueden tomar decisiones de compras más respetuosas con el planeta. En cualquier caso, al no evaluar el impacto ambiental durante todo el ciclo de vida del alimento, la información aportada queda incompleta ya que puede indicar como ecológico algún producto que realmente en fases posteriores tenga un impacto negativo muy elevado en el medioambiente.

Etiquetas Carbon Trust.

Esta etiqueta, aporta información sobre la **huella de carbono** de un producto o servicio y se aplica también a algunos alimentos. Cuando un alimento la lleva incorporada, significa que la empresa ha realizado mediciones y verificaciones de las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a la fabricación de ese producto y, además, se compromete a reducir su valor.

Existen **varias etiquetas** con distintos propósitos. Algunas comunican afirmaciones de reducción de emisiones, otras son comparativas respecto a otros productos del mercado y otras de verificación de huella de CO₂e. Todas ellas presentan el logo del certificado Carbon Trust acompañado de una descripción. El objetivo de hacerlo de esa manera es fomentar la transparencia e incentivar a las empresas a mejorar sus prácticas. (Carbon Trust, s.f.).

Este etiquetado es muy útil y dos tercios de los consumidores lo apoyan según un estudio realizado por Carbon Trust. Al considerar todo el ciclo de vida del producto, aporta una información muy completa sobre su huella de carbono. (Carbon Trust, 2020).



Figura 11. Etiquetas de huella de carbono. Fuente: Carbon Trust.

Eco-Score

Es un etiquetado que tiene la función de comunicar el **nivel de sostenibilidad** del producto. Utiliza al igual que el Nutri-Score un sistema de colores y letras. Con cinco letras de la A a la E y cinco colores de verde oscuro hasta el rojo, indica a los consumidores la huella ecológica de los alimentos.

Para calificar cada alimento, el sistema francés se basa en catorce **indicadores** distintos de la base de datos Agribalyse, la cual fue establecida por la ADEME (Agence de la Transition Ecologique). Adicionalmente, considera otros **factores adicionales** que actúan como puntuaciones positivas o negativas y que completan el cálculo para la clasificación final. (Anafric, 2021). Realiza los cálculos basándose en el método de la huella ambiental del producto, que a su vez se basa en el **ciclo de vida** del mismo. Tiene en cuenta por lo tanto, todo el impacto ambiental desde que se produce el alimentos hasta que se consume. (Anafric, 2021).

El análisis y evaluación del **ciclo de vida** incluye seis etapas por las que un alimento pasa: producción agrícola o ganadera, procesamiento de la materia prima, envasado, transporte, distribución y almacenamiento y, por último, el consumo. Por otra parte, los **indicadores de impacto ambiental** son la huella de carbono; destrucción de la capa de ozono; radiación ionizante, consumo de tierra, agua y energía; contaminación de agua dulce agua marina por eutrofización y acidificación, contaminación del aire por partícula; y agotamiento de recursos. (Open Food Facts, s.f.).

Con el objetivo de completar el impacto ambiental de los productos en áreas a las que el ciclo de vida no alcanza, se introducen ajustes a través de **bonos y penalizaciones** para completar la puntuación de un producto alimentario. En relación al modo de producción, el sistema valora positivamente que el producto tenga etiquetas y/o certificaciones oficiales que muestren su compromiso con el medioambiente. Algunas de ellas se pueden relacionar con alimentos orgánicos, prácticas agrícolas con alto valor ambiental o con el comercio justo. Por otra parte, se considera el origen de los ingredientes que conforman los alimentos ya preparados incluyendo el transporte y las políticas medioambientales de los orígenes productores. Adicionalmente, se considera la biodiversidad, penalizando a aquellos productos que tienen implicación en la destrucción de ecosistemas y desaparición de especies en peligro de extinción. Por último, se beneficia a los envases fabricados con materiales reciclados, el sobreembalaje y la posibilidad de reciclaje después de su uso. (Open Food Facts, s.f.).

El Eco-Score, presenta alguna serie de desventajas o carencias. Una de las más importantes es que los productores no establecen este sistema de calificado como etiqueta frontal por lo que los consumidores no ven a primera vista su puntuación. Solo en el caso de tener inquietud por saberlo, pueden acceder a su puntuación escaneando el producto con la aplicación de Open Food Facts. Por lo tanto, al no ser tan cómoda su accesibilidad, muchos usuarios no llegan a recibir esta información. De todas formas, esta iniciativa es un gran avance e impulsa la posibilidad de incluir las puntuaciones en los propios envases de los productos. Además, al considerar el ciclo de vida completo, es una solución mucho más integral que otras evaluaciones mencionadas anteriormente como el etiquetado Carbon Trush.

Capítulo 3. METODOLOGÍA

Los objetivos principales del proyecto consisten en la creación de dos herramientas que diseñen menús eco saludables minimizando el impacto ambiental al mismo tiempo que cumple con los requisitos nutricionales y el desarrollo de una herramienta que permita evaluar menús diarios verificando su sostenibilidad y su correcta composición y aporte calórico. Para ello, en primer lugar, se debe generar **una base de datos fiable** y lo más extensa posible para que las decisiones estén fundamentadas en datos verificados y reales. Por ello, se eligen distintas **fuentes** de datos para obtener la información.

- Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria **EFSA**.
- **Sociedad Española de Nutrición**. Organización científica centrada en la nutrición en España.
- Base de Datos Española de Composición de Alimentos **BEDCA**. Una herramienta y base de datos del Gobierno de España que ofrece información nutricional sobre los alimentos consumidos por los españoles.
- **ECODES**. La fundación de ecología y desarrollo es una organización española que centra sus objetivos en impulsar una transición ecológica con soluciones a los problemas climáticos, ambientales y sociales.
- **EsAgua**. Red de entidades españolas comprometidas con el uso responsable del agua y la reducción de la huella hídrica.

Después de analizar las **variables y parámetros** sobre nutrición y medioambiente en relación con los alimentos que ofrecen todas estas organizaciones mencionadas, se han seleccionado algunos de ellos para diseñar las herramientas.

- **Parámetros nutricionales**. En lo relativo a nutrición y salud, se va a estudiar la **energía** aportada por cada alimento y la necesaria para las personas y los tres **macronutrientes** esenciales que son los hidratos de carbono, las proteínas y las grasas.

- **Parámetros ambientales.** Debido a la relevancia y preocupación actual, y en base a la cantidad de estudios previamente realizados para obtener información, se analiza la **huella de carbono** en cuanto a emisiones de GEI y **huella hídrica** como cantidad de agua utilizada para producir un producto.

El **desarrollo de los menús** se realizará con un **modelo de optimización** en el programa **GAMS**. Utilizando programación entera mixta **MIP**, se obtendrán un conjunto de 2 menús diarios completos con desayuno, comida y cena. La función objetivo consistirá en minimizar la huella ambiental de los alimentos, reduciendo el consumo de agua y las emisiones de gases de efecto invernadero al mismo tiempo. Como restricciones del problema, se incluirán los requisitos nutricionales, recomendaciones de frecuencia y cantidad de consumo y otras ecuaciones que ayuden a ofrecer un menú atractivo y variado.

En esta herramienta, no se tienen en cuenta las técnicas de cocinado ni los electrodomésticos utilizados para ello. Ante la posibilidad de que esta exclusión modifique los resultados del modelo, se realizará un análisis de uno de los menús obtenidos donde se incluirán técnicas de cocinado para poder estudiar la variación de huella ambiental.

En una segunda parte del documento, se ha desarrollado un **código** también en **GAMS**. Este código no es un modelo matemático, sino una herramienta que a partir de los datos de entrada de un menú calcule todos los parámetros tanto nutricionales como ambientales. Después de obtener esos totales, los comparará con los valores de recomendación alimentaria y los valores de referencia de los impactos ambientales. Dará una puntuación de entre una y tres estrellas para cada aspecto para poder informar al consumidor sobre la calidad del menú. Además, incluye la desviación respecto al rango que se considera adecuado para el nivel energético y de macronutrientes con el objetivo de que la persona pueda detectar qué carencias o excesos tiene su menú.

Por último, se **analizarán los datos** obtenidos y se obtendrán conclusiones sobre los mismos. Los menús diseñados permitirán establecer límites óptimos de consumo de alimentos responsables con el medioambiente y que permiten llevar una dieta saludable. Se identificarán aquellos que más conviene ingerir y los más necesarios para nuestra dieta.

Además, al evaluar con la herramienta otros menús ya diseñados, se pueden detectar áreas de mejora para tener una dieta comprometida con la salud y el planeta.

Capítulo 4. BASE DE DATOS

La creación de la base de datos es un elemento fundamental dentro del proyecto ya que permite crear las herramientas de diseño y evaluación de menús. Se ha estructurado en dos partes diferenciadas en cuanto a su propósito.

La primera parte de la base de datos se dirige a analizar las **necesidades nutritivas de cada persona**. Se considerarán la edad, el género, el nivel de actividad física y algunas características fisiológicas para categorizar a las personas. Para cada combinación de factores, se calcularán los requerimientos energéticos y de nutrientes. Esta primera base es fundamental para garantizar que los menús sean saludables y cumplan con los criterios y recomendaciones de los profesionales de la salud.

La segunda parte de la base de datos se centra en los **alimentos**. Proporciona información concreta sobre la composición nutricional de cada alimento, así como su huella ambiental y porción recomendada de consumo. Agrupa los alimentos en grupos según sus características y además los clasifica según las comidas dentro de un mismo día (desayuno, comida y cena).

4.1 NECESIDADES NUTRITIVAS

Las **necesidades nutritivas** son las cantidades de nutrientes y energía que permiten a las personas mantener su organismo sano y en correcto estado para desarrollar sus funciones. Los componentes esenciales estudiados en una dieta son: la energía; los macronutrientes (hidratos de carbono, proteínas y grasas) que son los que aportan la energía necesaria a través de los alimentos; y los micronutrientes (vitaminas y minerales).

- **Energía.** Este parámetro es uno de los más importantes para garantizar que los menús proporcionen la energía adecuada recomendada para mantener el metabolismo de las personas en correcto funcionamiento y se mide en kilocalorías diarias. Las necesidades energéticas varían además del género y edad, por el nivel de actividad.

Este nivel puede indicar una actividad ligera o sedentaria; moderada o activa; y alta o intensa ya que el gasto energético es mayor para aquellas personas con un nivel de actividad elevado. (Moreiras et al., 2016). En general, la etapa de la adolescencia es durante la cual se necesita ingerir más energía de los alimentos, y los hombres de media necesitan un 20% más de energía que las mujeres generalmente porque tienen mayor masa muscular.

- **Hidratos de carbono.** Son uno de los principales macronutrientes y sirven como fuente de energía de fácil utilización y forman parte de los tejidos conectivos y nervioso. Destaca su función energética ya que se metabolizan para proporcionar glucosa, utilizada por el cerebro y los músculos. (Fundación Española del Corazón, s.f.).
- **Proteínas.** Las proteínas son otro nutriente esencial del cuerpo y componentes de las células. Son esenciales para el crecimiento, ya que, a diferencia de las grasas y los hidratos de carbono, las proteínas contienen nitrógeno. (Guillén, 2024). Construye los tejidos de los músculos, la sangre, la piel y los huesos, forman los anticuerpos contra enfermedades y aseguran la correcta síntesis y mantenimiento de ciertos componentes del cuerpo. (FAO, s.f.).
- **Grasas.** Las grasas son esenciales ya que proporcionan ácidos grasos necesarios para el crecimiento y mantenimiento de los tejidos, el desarrollo cerebral y la visión. (FAO, s.f.). Además, sirven de transporte para vitaminas y realizan la función de protección del cuerpo ante golpes o traumas. Por último, las grasas no quemadas se almacenan para servir de combustible en momentos donde el cuerpo no pueda ingerir alimentos. (Children's Minnesota, s.f.).
- **Vitaminas.** Las vitaminas, a pesar de que no aporten energía, son necesarias para el organismo y el funcionamiento celular. Existen 13 vitaminas distintas esenciales y cada una de ellas mantiene una función específica en el cuerpo. (Clínica Universidad de Navarra, s.f.).
- **Minerales.** Al igual que las vitaminas, son micronutrientes y no aportan energía al cuerpo. Son necesarios para mantener un correcto funcionamiento del organismo,

regular el ritmo cardiaco, nivelar la producción de hormonas y la formación de huesos. (CuídatePlus, s.f.).

Las dietas son equilibradas si proporcionan la cantidad adecuada de macro y micronutrientes para mantener un buen estado de salud y bienestar. Las necesidades nutritivas varían en función de la **edad** y el **género** principalmente y del **estado fisiológico**, nivel de **actividad** física, hábitos alimentarios y antecedentes genéticos. Organizaciones como la Organización Mundial de la Salud o la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura estudian grandes datos, estudios, ensayos y análisis para poder ofrecer guías y recomendaciones relacionadas con la alimentación.

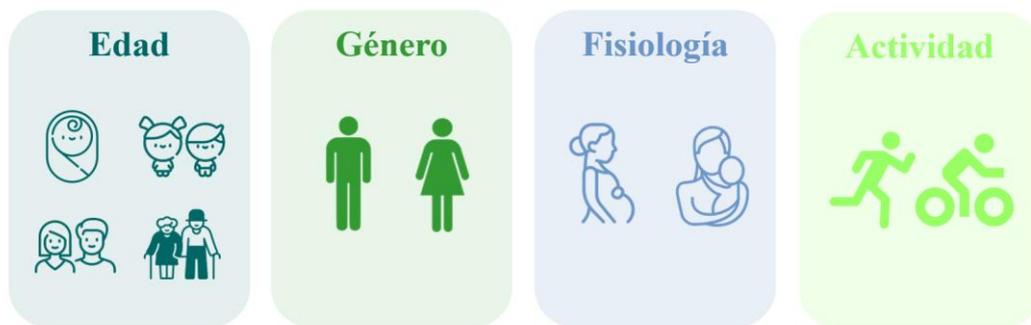


Figura 12. Factores influyentes en las necesidades nutritivas. Fuente: elaboración propia.

Concretamente, la **Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria** en Europa el Instituto de Medicina de los Estados Unidos establecen las ingestas dietéticas de referencia, indicadores de la cantidad de cada nutriente que debe ingerir cada persona según su edad, género y fisiología. En el caso de España, es la Federación Española de Sociedades de Nutrición, Alimentación y Dietética quien se encarga de las IDR nacionalmente. (AESAN, 2019).

Las **ingestas dietéticas de referencia** son un **conjunto de valores** de nutrientes que incluyen distintos datos con distintos significados y utilidades. (EFSA, 2024).

- **Necesidades medias** (NM). Representan la cantidad de nutrientes diarias que cubren las necesidades de la mitad de las personas de un grupo de edad concreto y un género determinado.
- **Ingestas de referencia para la población** (IRP). Valores de las cantidades concretas necesarias diariamente para satisfacer las necesidades de la mayoría de personas que tengan buen estado de salud (sin enfermedades específicas). Son los valores mayormente utilizados para las recomendaciones de consumo generales. Al basarse en una distribución estadística normal en el estudio de necesidades de nutrientes dentro de un grupo poblacional, estos valores de IRP incluyen al 97-98% de los individuos.
- **Ingestas adecuadas** (IA). Las cantidades recomendadas se establecen cuando no hay evidencia científica para poder calcular una necesidad media y aportan el valor de la cantidad recomendada de nutriente que se debe de ingerir. Por lo tanto, es un nivel medio que una población típica consume y considera adecuado para sus requerimientos alimentarios.
- **Rangos de ingesta de referencia para macronutrientes** (IR). Determinan rangos para proteínas, hidratos de carbono, y grasas como porcentaje de las calorías totales ingeridas.
- **Nivel superior de ingesta tolerable**. Indica la cantidad máxima de un nutriente o un contaminante concreto que puede consumirse sin riesgos de efectos dañinos toda la vida.

4.1.1 TABLAS PARA REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES

Esta primera base de datos empieza por identificar distintos grupos poblacionales para estudiar sus requerimientos nutritivos. Por un lado, se ha realizado una clasificación por **edad** ya que la demanda energética varía considerablemente a lo largo de la vida de una persona. Se distingue entre lactantes (desde medio año a un año de edad), niños (desde 1 hasta 17 años) y adultos (mayores de 18 años). Por otro lado, se han contemplado las diferencias según **género** masculino o femenino debido a que cada grupo de personas tiene un metabolismo y características específicas. Por último, se han considerado algunas

características fisiológicas para dos grupos de mujeres, las embarazadas, evaluando distintas necesidades dependiendo del trimestre de gestación y para mujeres lactantes (seis meses posteriores al parto). Estos dos últimos segmentos poblacionales, requieren demandas adicionales para que el cuerpo sea capaz de mantener el crecimiento del bebé junto con la producción de leche materna.

Tras seleccionar los grupos de personas según sus características, se indica primero los **requerimientos de energía** diarios de distintos grupos poblacionales. Los datos han sido obtenidos del libro Tablas de Composición de Alimentos, una publicación de la Sociedad Española de Nutrición y aportan el requerimiento de energía diaria para distintos rangos de edad y género medido en kilocalorías. Además, según el nivel de actividad física se aplica un factor de corrección, disminuyendo en un 10% las necesidades energéticas medias para una actividad ligera o sedentaria, y aumentándolas en un 20% para una actividad física elevada. Además de la edad, género y nivel de actividad, se han considerado como aspectos fisiológicos el embarazo y post parto de las mujeres. Haciendo distinción entre los tres trimestres del embarazo y los meses posteriores al parto, se han obtenido los datos sobre los suplementos energéticos para cada una de estas características de la base de datos de la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria. (EFSA).

A continuación, se recogen los datos de la EFSA divididos por los grupos anteriormente formados sobre los **requerimientos de macronutrientes** (hidratos de carbono, proteínas y grasas). Estos valores se han obtenido como rangos de ingesta de referencia, es decir, como porcentaje sobre el consumo energético total diario por falta de datos de otros indicadores. Para introducir estos requerimientos en el modelo y que sea coherente con la base de datos de alimentos, se ha realizado un cambio de unidades sabiendo la relación entre la masa de macronutrientes y la energía que aportan. Estos factores de conversión son los llamados números de Atwater y se muestran en la siguiente tabla.

Fuente de energía	kcal / gr
Hidratos de carbono	4
Proteínas	4
Grasas	9

Tabla 7. Aporte energético por macronutriente. Fuente: FAO.

Además, las mujeres embarazadas y lactantes, necesitan un aporte adicional de proteínas. Para obtener esos datos, se han utilizado los valores de las ingestas de referencia para la población (IRP) ya que son los valores que incluyen a la mayor parte de la población.

4.2 ALIMENTOS

4.2.1 INFORMACIÓN NUTRICIONAL Y DE CLASIFICACIÓN

La base de datos del proyecto incluye información sobre distintas materias primas que compondrán los menús. Cada alimento lleva asociado unos datos nutricionales, otros ambientales y otros de clasificación y recomendaciones de consumo.

Por un lado, se incluyen datos sobre la **composición nutricional de los macronutrientes** de cada uno de los alimentos además de su **aporte energético**. Esta información es necesaria para poder cumplir con los requerimientos nutricionales y conseguir que el menú sea saludable. Como parte de las Bases de datos AESAN, la BEDCA (base de datos española de composición de alimentos) incluye alimentos característicos de la dieta mediterránea, es decir, los más habitualmente consumidos por españoles.

Además, se han englobado todos los alimentos en **7 grupos**: lácteos; carnes, huevos y pescados; patatas, legumbres y frutos secos; verduras; frutas; cereales; y aceites y grasas. Esta clasificación se estableció en el programa Educación en la alimentación y nutrición (EDALNU) y agrupa los alimentos según su composición nutricional y función de los nutrientes. (Nestle Family Club, s.f.). Y, por cada grupo, se han establecido una **frecuencia de consumo** de los alimentos de cada categoría, expresado como número de porciones recomendadas objetivo del informe Recomendaciones dietéticas saludables y sostenibles de

AESAN además de indicar la **cantidad recomendada de cada ración** de alimento individual. (AESAN, 2022).

Con el objetivo de que los menús tengan sentido, se genera una nueva **clasificación** de alimentos **según el tipo de comida** donde se listan los alimentos que el consumidor español tiene hábito de ingerir en los momentos de desayuno, comida o cena. Esta clasificación permitirá que los menús sean más realistas y atractivos.

4.2.2 INFORMACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

Además de lo anteriormente mencionado, por cada alimento se ha investigado su **huella ambiental**. Concretamente, se ha identificado la huella de agua y huella de carbono. La huella de agua hace referencia a la cantidad total de agua dulce que se necesita para producir, transformar, elaborar y desechar cada materia prima, alimento o producto medido en litros. Por otra parte, la huella de carbono se refiere a la emisión de gases de efecto invernadero que afectan a la atmósfera y se expresa como masa de dióxido de carbono equivalente.

La **huella de carbono** asociada a los alimentos obtenida para elaborar la base de datos, ha sido obtenida del informe ejecutivo de ECODES elaborado por profesionales de la Facultad de Ciencias de la Salud y del Deporte de Huesca en colaboración con el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico y la Universidad de Zaragoza. Los datos del informe se refieren a la huella de carbono asociada a la ración recomendada de cada alimento comestible, unos datos homogéneos que permiten comparar entre distintos grupos de alimentos. La fuente de datos original del informe parte de un estudio sobre impacto ambiental de alimentos incluyendo productos procedentes de todo el mundo, aunque haciendo un trabajo de homogeneización para ofrecer una estimación media para cada alimento de sus emisiones durante su ciclo de vida, desde el cultivo o cría de animales hasta la fase de comercio minorista. Estos datos a su vez fueron obtenidos de estudios y análisis de la Fundación Barilla. Además, el informe más reciente completó la base de datos teniendo en cuenta el consumo español y calculando en casos necesarios el valor medio del transporte desde los países de producción de los alimentos. (Menal Puey et al., 2024).

La **huella hídrica de los alimentos** se ha obtenido de publicaciones de Water Footprint Network, la red de huella hídrica global. Estos estudios tienen estimaciones a nivel global del consumo de agua en litros necesario para producir un alimento. (EsAgua, s.f.). Los datos incluyen la suma total del agua verde, azul y gris necesaria para la producción de las materias primas.

Capítulo 5. DISEÑO DE MENÚS ECO-SALUDABLES

En este capítulo, se describe el modelo matemático diseñado capaz de diseñar menús saludables que minimicen el impacto ambiental. Se detallará la formulación del modelo incluyendo la función objetivo y restricciones que estructuran el problema de optimización. Además, se resolverá para tres grupos poblacionales distintos para poder observar los resultados y poder analizarlos.

5.1 PLANTEAMIENTO

El diseño de menús eco-saludables se ha planteado y desarrollado como un **problema matemático de optimización**. En él, el objetivo es minimizar el impacto ambiental de los alimentos de los que los menús están compuestos. Como restricciones del modelo, se han incluido los requisitos nutricionales y ecuaciones que favorezcan la variabilidad y que acerquen los menús a los hábitos de consumo de los españoles.

Se utiliza **GAMS** como lenguaje algebraico de modelado para resolver el problema de optimización planteado con un enfoque de **programación entera mixta** (MIP) debido a que se utilizarán variables binarias en el modelo para reflejar decisiones discretas.

El modelo tendrá incluida la base de datos generada y necesitará recibir datos sobre los requisitos energéticos y cantidades de macronutrientes para el grupo poblacional elegido. Como salida, ofrecerá **dos días completos de menús con tres comidas** cada uno (desayuno, comida y cena) además de los cálculos sobre los parámetros nutricionales y ambientales.

5.2 MODELO MATEMÁTICO

En el ANEXO II. Código GAMS: Creación de Menús Eco Saludables se muestra el código de GAMS completo utilizado para diseñar los menús eco saludables. En este subcapítulo, se describirá el modelo matemático y se explicarán las ecuaciones utilizadas en el mismo.

5.2.1 CONJUNTOS

- *i*: Lista de 47 alimentos disponibles para incluir en los menús. Cada elemento del conjunto *i* corresponde con una materia prima específica como pollo, pasta o leche de vaca.
- *j*: Conjunto de 4 elementos que representan la energía y los macronutrientes esenciales: carbohidratos, proteínas y grasas.
- *k*: Dos indicadores ambientales evaluados: huella de carbono como masa de CO₂ equivalente y huella de agua como volumen de H₂O.
- *m*: Incluye las tres comidas esenciales de un día: desayuno, comida y cena.
- *g*: Conjunto formado por los 7 grupos de alimentos: lácteos; carne, huevos y pescados; patatas, legumbres y frutos secos; verduras; frutas; cereales; y aceites y grasas.
- *d*: Representa el número de días para los que se va a realizar el menú. Se consideran 2 días para obtener dos menús diarios.

5.2.2 TABLAS

Las siguientes tablas incluyen información estructurada y organizada sobre los alimentos de la base de datos.

- ***TNUTRI (i, j)***: Contiene el valor energético (en kilocalorías) y de macronutrientes (en gramos) por cada 100gr de alimento de cada una de las materias primas de la base de datos.
- ***TAMBIENTAL (i, k)***: Representa el impacto ambiental de cada alimento. Por un lado, indica las emisiones de GEI medidas en kilogramos de CO₂e por cada 100 gramos de alimento. Por otro lado, mide el gasto hídrico medido en litros de agua necesarios para producir 100 gramos de alimento.

Estos datos han sido **normalizados** con el objetivo de no sesgar el modelo matemático y asegurar la comparabilidad de las dos huellas ambientales. El problema minimiza el impacto ambiental total de los alimentos incluidos en el menú y como estas métricas tienen unidades y escalas diferentes, para que ambas contribuyan

equitativamente al objetivo sin sesgarlo, se han normalizado para trabajar en una escala común. Si se utilizaran los datos en unidades reales, como los valores de gasto hídrico son mayores en valor absoluto, el modelo priorizaría este indicador ambiental.

Para realizar la normalización, se ha elegido la normalización Min-Max, escalando así los valores a un rango [0,1] indicando el 0 el mínimo impacto, y el 1 el máximo. Se ha elegido este método principalmente porque los datos originales no siguen una distribución específica. Además, este método preserva las relaciones de los datos de origen.

$$E. 1 \ x_{normalizado} = \frac{x-x_{min}}{x_{max}-x_{min}}$$

- **TAMBIENTAL_GR** (*i, k*): Esta tabla contiene los valores del impacto ambiental de los alimentos por cada gramo de producto y no están normalizados. Indica los kilogramos de dióxido de carbono equivalente que emite el ciclo de vida de 1 gramo de alimento, y el número de litros de agua necesaria para producir la misma cantidad de alimento.
- **TGRUPOS** (*i, g*): Recoge la clasificación de los alimentos por los grupos definidos según sus características, nutrientes y función en la dieta. Toma valor 1 si el alimento *i* pertenece al grupo *g*, y valor 0 en caso contrario.
- **TCOMIDAS** (*i, m*): Incluye la disponibilidad de cada alimento en las distintas comidas del día. Toma valor 1 si el alimento *i* puede estar incluido en la comida *m*, y toma valor 0 en caso contrario.

5.2.3 PARÁMETROS

Además de las tablas, se incluye información adicional necesaria para el modelo en forma de parámetros.

Primero, se establecen unos parámetros generales sobre los requisitos energéticos y nutricionales de las personas. Estos parámetros deberán ser introducidos como *inputs* para cada grupo poblacional sobre el que se quiera diseñar los menús.

- **ENE**: indica en kilocalorías la energía diaria que una persona debe ingerir según las recomendaciones.
- **CAR**: cantidad diaria de carbohidratos recomendada medida en gramos.
- **PRO**: cantidad diaria de proteínas recomendada medida en gramos.
- **GRA**: cantidad diaria de grasas recomendada medida en gramos.
- **DIS(m)** : define la proporción energética que debe ser consumida en cada comida del día.

Además, se incluyen parámetros de tolerancia para modificar los límites máximos y mínimos de ciertos valores en las ecuaciones. Estos parámetros aportan flexibilidad a las restricciones del modelo permitiendo así que se obtengan soluciones más realistas. En la práctica, alcanzar los valores recomendados exactos es complicado debido a las distintas combinaciones de alimentos y a otras restricciones nutricionales. Por ello, estas variaciones de los datos concretos, permiten unos menús más realistas. Además, mejora la factibilidad del modelo ya que al marcar valores exactos, el problema tiene más dificultades para obtener soluciones factibles. Estos márgenes de tolerancia aumentan las probabilidades de que el modelo cumpla con todas las restricciones introducidas.

- **LIM_MIN** : Límite inferior del margen de tolerancia establecido como el 90% del valor recomendado.
- **LIM_MAX** : Límite superior del margen de tolerancia establecido como un 10% superior al valor recomendado.

Parámetros de cantidades y frecuencia de consumo. Se añaden al modelo parámetros sobre las cantidades de ingesta de cada alimento y la frecuencia del consumo de cada categoría. Permiten al modelo general menús que respeten las recomendaciones de las dietas saludables y además mantengan una variedad de materias primas en los menús generados.

- **PORCION_RECOMENDADA**: cantidad de alimento en una ración en gramos.
- **LIM_NUMERO_ALIMENTOS (g)**: indica el número de raciones diarias recomendadas por cada grupo de alimentos.

5.2.4 VARIABLES

En el modelo, las variables son los valores que se ajustan para poder encontrar la solución óptima buscada. Estas variables incluyen tanto cantidades de alimentos seleccionadas como indicadores de su selección y cálculos de impacto ambiental y nutricional.

La primera variable que se define es la correspondiente a la función objetivo.

- z : representa la función objetivo que el modelo va a optimizar

Después se definen las variables principales que sirven como base para la generación de los menús de comidas.

- $x(i, m, d)$: Cantidad en gramos del alimento i que se incluye en la comida m del día d . Se define además como variable positiva.
- $y(i, m, d)$: Variable binaria que indica si el alimento i se incluye en la comida m del día d o no. La variable toma el valor 1 cuando el alimento se haya seleccionado, y 0 en caso contrario.

Por último, se incluyen variables de cálculo que permiten cuantificar los parámetros nutricionales y ambientales.

- $total_energia(d)$: Energía ingerida en el día d medida en kilocalorías.
- $total_carbohidratos(d)$: Carbohidratos ingeridos en el día d medidos en gramos.
- $total_proteinas(d)$: Proteínas ingeridas en el día d medidas en gramos.
- $total_grasas(d)$: Grasas ingeridas en el día d medidas en gramos.
- $impacto_hídrico(d)$: Litros de agua totales consumidos necesarios para elaborar el menú del día d .
- $impacto_gei(d)$: Kilogramos de CO₂ equivalente emitidos necesarios para elaborar el menú del día d .

5.2.5 ECUACIONES

Las ecuaciones del modelo se dividen en dos partes diferenciadas: la función objetivo y las restricciones. Por un lado, la función objetivo es la expresión que describe y cuantifica el objetivo a optimizar. Y, por otro lado, las restricciones son aquellas condiciones de necesario cumplimiento.

Ecuación función objetivo.

La función objetivo del modelo minimiza el impacto ambiental de los alimentos que integran el menú. Minimiza tanto las emisiones de gases de efecto invernadero como el gasto de agua. Ambos parámetros se encuentran normalizados para poder tomar la decisión de optimización dando la misma prioridad a cada categoría ambiental.

$$E.2. z = \sum_i \sum_m \sum_d \sum_k TAMBIENTAL(i, k) \cdot x(i, m, d)$$

Restricciones de requerimientos nutricionales.

Eq_energia(d). Expresión que limita el aporte energético que debe tener el menú de cada comida de cada día. Se utilizan los factores de tolerancia para ofrecer un margen de desviación de $\pm 10\%$.

$$E.3. DIS(m) \cdot ENE \cdot LIM_{MIN} \leq \sum_i \left(\frac{TNUTRI(i,j)}{100} \cdot x(i, m, d) \right) \leq DIS(m) \cdot ENE \cdot LIM_{MAX}$$

$$\forall j = \text{Energía}, \forall m \in M, \forall d \in D$$

Eq_carbohidratos(d). Expresión que indica las cantidades máximas y mínimas de carbohidratos que se deben consumir diariamente. Se utilizan los factores de tolerancia para ofrecer un margen de desviación de $\pm 10\%$ sobre el valor medio de recomendación.

$$E.4. CAR \cdot LIM_{MIN} \leq \sum_i \sum_m \left(\frac{TNUTRI(i,j)}{100} \cdot x(i, m, d) \right) \leq CAR \cdot LIM_{MAX}$$

$$\forall j = \text{Carbohidratos}, \forall d \in D$$

Eq_proteinas(d). Expresión que indica las cantidades máximas y mínimas de proteínas que se deben consumir diariamente. Se utilizan los factores de tolerancia para ofrecer un margen de desviación de $\pm 10\%$ sobre el valor medio de recomendación.

$$E.5. PRO \cdot LIM_{MIN} \leq \sum_i \sum_m \left(\frac{TNUTRI(i,j)}{100} \cdot x(i, m, d) \right) \leq PRO \cdot LIM_{MAX}$$

$$\forall j = Proteinas, \forall d \in D$$

Eq_grasas(d). Expresión que indica las cantidades máximas y mínimas de grasas que se deben consumir diariamente. Se utilizan los factores de tolerancia para ofrecer un margen de desviación de $\pm 10\%$ sobre el valor medio de recomendación.

$$E.6. GRA \cdot LIM_{MIN} \leq \sum_i \sum_m \left(\frac{TNUTRI(i,j)}{100} \cdot x(i, m, d) \right) \leq GRA \cdot LIM_{MAX}$$

$$\forall j = Grasas, \forall d \in D$$

Restricciones de selección y cantidades

Eq_cantidad. La siguiente ecuación controla la cantidad de alimento que se puede ingerir en una ración. Asegura que, si un alimento i está incluido en una comida m , es decir $y=1$, entonces su cantidad debe equivaler a la porción recomendada con una tolerando del 10%.

$$E.7. LIM_{MIN} \cdot PORCION_{RECOMENDADA}(i) \cdot y(i, m, d) \leq x(i, m, d) \leq$$

$$\leq LIM_{MAX} \cdot PORCION_{RECOMENDADA}(i) \cdot y(i, m, d)$$

$$\forall i \in I, \forall m \in M, \forall d \in D$$

c de raciones que se pueden consumir en un día de un determinado grupo de alimentos. Esta expresión asegura que el número de porciones de alimentos de un mismo grupo no supere ni esté por debajo el valor recomendado.

$$E.8. LIM_{NUMEROALIMENTOS}(g) - 1 \leq \sum_i \sum_m (TGRUPOS(i, g) \cdot y(i, m, d)) \leq$$

$$\leq LIM_{NUMEROALIMENTOS}(g) + 1$$

$$\forall g \in G, \forall d \in D$$

Restricciones de combinación y variedad

Eq_no_repetir_dia. Se limita la inclusión de un alimento un máximo de 1 vez (una porción) diaria con el objetivo de fomentar la variedad del menú.

$$E.9. \sum_i (y(i, m, d)) \leq 1$$

$$\forall i \in I, \forall d \in D$$

Eq_limite_proteinas. Se limita el número de alimentos pertenecientes al grupo formado por carnes, pescados y huevos a 1 porción máxima por cada comida.

$$E.10. \sum_i (y(i, m, d)) \leq 1$$

$$\forall g = \text{Carne_Huevos_Pescado}, \forall m \in M, \forall d \in D$$

Eq_grasas_pan_desayuno. Para que el menú sea atractivo a los consumidores españoles, se añade una restricción que obliga a la inclusión de algún tipo de pan en el desayuno cuando algún tipo de grasa (mantequilla, margarina o aceite de oliva) se haya decidido incluir.

$$E.11. y(\text{Aceite}_{\text{oliva}}, m, d) + y(\text{Mantequilla}, m, d) + y(\text{Margarina}, m, d) \leq$$

$$\leq y(\text{Pan_Barra}, m, d) + y(\text{Pan_Molde}, m, d)$$

$$\forall m = \text{Desayuno}, \forall d \in D$$

Eq_no_repetir_semana. Se establecen 4 ecuaciones para limitar a 1 vez las veces de alimento en los dos días de 4 grupos de alimentos: carne, huevos y pescado; frutas; verduras; y cereales.

$$E.12. \sum_i \sum_m (y(i, m, d)) \leq 1 \quad \forall i \in I, \forall g = \text{Carne_Huevos_Pescado}$$

$$E.3. \sum_i \sum_m (y(i, m, d)) \leq 1 \quad \forall i \in I, \forall g = \text{Frutas}$$

$$E.4. \sum_i \sum_m (y(i, m, d)) \leq 1 \quad \forall i \in I, \forall g = \text{Verduras}$$

$$E.5. \sum_i \sum_m (y(i, m, d)) \leq 1 \quad \forall i \in I, \forall g = \text{Cereales}$$

Ecuaciones de cálculo de parámetros

Calc_total. Cuatro ecuaciones para calcular de cada menú establecidos como óptimos, su valor energético (kcal), la cantidad (gramos) de hidratos de carbono, proteínas y grasas.

$$E.13. \text{ total}_{\text{energia}}(d) = \sum_i \sum_m \left(\frac{\text{TNUTRI}(i,j)}{100} \cdot x(i, m, d) \right) \quad \forall d \in D, \forall j = \text{Energia}$$

$$E.14. \text{ total}_{\text{carbohidratos}}(d) = \sum_i \sum_m \left(\frac{\text{TNUTRI}(i,j)}{100} \cdot x(i, m, d) \right) \quad \forall d \in D, \forall j = \text{Carbohidratos}$$

$$E.15. \text{ total}_{\text{proteinas}}(d) = \sum_i \sum_m \left(\frac{\text{TNUTRI}(i,j)}{100} \cdot x(i, m, d) \right) \quad \forall d \in D, \forall j = \text{Proteinas}$$

$$E.16. \text{ total}_{\text{grasas}}(d) = \sum_i \sum_m \left(\frac{\text{TNUTRI}(i,j)}{100} \cdot x(i, m, d) \right) \quad \forall d \in D, \forall j = \text{Grasas}$$

Calc_impacto_ambiental. Dos ecuaciones para calcular de cada menú establecidos como óptimos, su impacto ambiental. Una ecuación se destina al cálculo de los litros de agua necesarios para producir todos los alimentos del menú de cada día, y la otra ecuación para determinar los kilogramos de dióxido de carbono equivalente emitidos durante el ciclo de vida de los alimentos.

$$E.17. \text{ impacto}_{\text{hidrico}}(d) = \sum_i \sum_m \left(\text{TAMBIENTAL}_{GR(i,k)} \cdot x(i, m, d) \right)$$

$$\forall d \in D, \forall k = \text{Huella_Agua}$$

$$E.18. \text{ impacto}_{\text{gei}}(d) = \sum_i \sum_m \left(\text{TAMBIENTAL}_{GR(i,k)} \cdot x(i, m, d) \right)$$

$$\forall d \in D, \forall k = \text{Huella_Carbono}$$

5.3 RESULTADOS

5.3.1 MENÚ ECO-SALUDABLE PARA GRUPO POBLACIONAL 1

Se calcula el par de menús diarios que minimizan la huella de carbono e hídrica al mismo tiempo que cumple con los requerimientos nutricionales de **mujeres lactantes, de entre 20 y 39 años con un nivel de actividad física medio.**

Para estas características, se establecen los parámetros nutricionales necesarios como inputs del modelo.

Descripción	Energía (kcal)	Carbohidratos (gr)	Proteínas (gr)	Grasas (gr)
Mujer lactante, 20-39 años, nivel actividad física medio	2800	358	159	76

Tabla 8. Requisitos nutricionales del grupo poblacional 1.

El resultado del menú completo de dos días que cumple con las recomendaciones de salud y que minimiza el impacto ambiental es el mostrado a continuación.

DIA 1					
Desayuno		Comida		Cena	
Alimento	Cantidad (gr)	Alimento	Cantidad (gr)	Alimento	Cantidad (gr)
Leche_Vaca	220	Mejillones	176	Arroz	110
Pan_Blanco_Molde	77	Lechuga	159,562	Salmon	165
Aceite_Oliva	11	Cebolla	110	Tomate	157,895
Manzana	132	Zanahoria	110		
Uva	132	Garbanzos	77		
Melocoton	108	Maiz	88		
		Queso_Manchecho	55		
		Platano	132		

DIA 2					
Desayuno		Comida		Cena	
Alimento	Cantidad (gr)	Alimento	Cantidad (gr)	Alimento	Cantidad (gr)
Leche_Vaca	180	Atun	151,513	Huevo_Gallina	132
Avena_Copos	72	Guisantes	55	Pasta	110
Pan_Blanco_Barra	63	Brocoli	165	Aguacate	44
Aceite_Oliva	9	Quinoa	110	Naranja	132
		Garbanzos	77	Pera	131,7
		Queso_Manchecho	55		
		Pina	132		

Tabla 9. Resultado Menús para Grupo Poblacional 1.

Además, se comprueban los requisitos nutricionales y se obtiene el valor del impacto total ambiental para los menús definidos.

	Impacto Ambiental		Requerimiento Macronutrientes			Energía
	Huella Carbono (kg CO2e)	Huella Hídrica (L H2O)	Carbohidratos (gr)	Proteínas (gr)	Grasas (gr)	Energía (kcal)
Día1	2,78	1.542	351	149	71	2.520
Día2	2,82	1.391	358	143	77	2.527

Tabla 10. Métricas nutricionales y ambientales de los menús del grupo poblacional 1.

5.3.2 MENÚ ECO-SALUDABLE PARA GRUPO POBLACIONAL 2

En este subcapítulo, se calcula el par de menús diarios que minimizan la huella de carbono e hídrica al mismo tiempo que cumple con los requerimientos nutricionales de **chicos, de entre 10 y 12 años con un nivel de actividad física alto.**

Los requerimientos energéticos y de macronutrientes diarios se muestran en la tabla siguiente.

Descripción	Energía (kcal)	Carbohidratos (gr)	Proteínas (gr)	Grasas (gr)
Chico, 10-12 años, nivel actividad física alto	2695	371	101	90

Tabla 11. Requisitos nutricionales del grupo poblacional 2.

El resultado del menú completo de dos días que cumple con las recomendaciones de salud y que minimiza el impacto ambiental es el mostrado a continuación.

DIA 1

Desayuno		Comida		Cena	
Alimento	Cantidad (gr)	Alimento	Cantidad (gr)	Alimento	Cantidad (gr)
Requeson	45	Cordero	108	Huevo_Gallina	111,1
Leche_Vaca	181	Tomate	135	Aguacate	44
Pan_Blanco_Molde	66	Arroz	110	Cebolla	110
Aceite_Oliva	11	Garbanzos	77	Zanahoria	110
Platano	132			Maiz	88
Pina	132			Uva	132

DIA 2

Desayuno		Comida		Cena	
Alimento	Cantidad (gr)	Alimento	Cantidad (gr)	Alimento	Cantidad (gr)
Leche_Vaca	180	Cerdo	108	Mejillones	148
Avena_Copos	72	Lechuga	142	Patata	165
Pan_Blanco_Barra	63	Pasta	110	Guisantes	55
Aceite_Oliva	9	Quinoa	110	Pera	131
Manzana	132	Naranja	132	Melocoton	108
				Yogur_Griego	225

Tabla 12. Resultado Menús para Grupo Poblacional 2.

Además, se comprueban los requisitos nutricionales y se obtiene el valor del impacto total ambiental para los menús definidos.

	Impacto Ambiental		Requerimiento Macronutrientes			Energía
	Huella Carbono (kg CO2e)	Huella Hídrica (L H2O)	Carbohidratos (gr)	Proteínas (gr)	Grasas (gr)	Energía (kcal)
Día1	4,48	1.542	334	111	83	2.426
Día2	2,19	1.391	354	111	82	2.456

Tabla 13. Métricas nutricionales y ambientales de los menús del grupo poblacional 2.

5.3.3 MENÚ ECO-SALUDABLE PARA GRUPO POBLACIONAL 3

El último grupo de personas estudiado son **mujeres, de entre 50 y 59 años con un nivel de actividad física bajo.**

Se calcula en primer lugar los requerimientos nutritivos de estas personas.

Descripción	Energía (kcal)	Carbohidratos (gr)	Proteínas (gr)	Grasas (gr)
Mujer, 50-59 años, nivel actividad física bajo	1868	245	93	57

Tabla 14. Requisitos nutricionales del grupo poblacional 3.

El resultado del menú completo de dos días que cumple con las recomendaciones de salud y que minimiza el impacto ambiental es el mostrado a continuación.

DIA 1

Desayuno		Comida		Cena	
Alimento	Cantidad (gr)	Alimento	Cantidad (gr)	Alimento	Cantidad (gr)
Leche_Vaca	180	Mejillones	144	Huevo_Gallina	108
Pan_Blanco_Molde	63	Patata	135	Tomate	135
Aceite_Oliva	11	Zanahoria	105	Pasta	90
Manzana	108	Maiz	77		
		Queso_Manchecho	45		
		Pina	130		

DIA 2

Desayuno		Comida		Cena	
Alimento	Cantidad (gr)	Alimento	Cantidad (gr)	Alimento	Cantidad (gr)
Leche_Vaca	180	Salmon	141,385	Merluza	135
Margarina	9	Guisantes	55	Quinoa	99,186
Pan_Blanco_Barra	77	Garbanzos	77	Platano	129,772
Uva	126,221	Cebolla	110		
		Queso_Manchecho	45		

Tabla 15. Resultado Menús para Grupo Poblacional 3.

Además, se comprueban los requisitos nutricionales y se obtiene el valor del impacto total ambiental para los menús definidos.

	Impacto Ambiental		Requerimiento Macronutrientes			Energía
	Huella Carbono (kg CO2e)	Huella Hídrica (L H2O)	Carbohidratos (gr)	Proteínas (gr)	Grasas (gr)	Energía (kcal)
Día1	1,70	1.005	221	102	51	1.694
Día2	2,21	810	221	102	56	1.684

Tabla 16. Métricas nutricionales y ambientales de los menús del grupo poblacional 3.

5.4 ANÁLISIS Y CONCLUSIONES

5.4.1 HUELLA HÍDRICA

En relación con la **huella hídrica**, según investigaciones de Arjen Hoekstra, la alimentación en España representa el 80% de utilización de agua de una persona. En un día, un español aproximadamente tiene una huella hídrica de 6.700 litros lo que implica que 5.360 litros son gastados en el ciclo de vida de los productos. (EsAgua, s.f.). Según los datos obtenidos,

realizando una media de los datos, un español podría gastar **1.920 litros**. Esto supone una **reducción del 64% sobre el nivel medio** si se elaborasen los menús de tal forma que fueran más responsables con los recursos y la salud del planeta.

5.4.2 HUELLA DE CARBONO

En 2023, España tuvo unas emisiones totales de gases de efecto invernadero de 307Mt de CO₂equivalente. (Asociación Española de la Biomasa). Teniendo en cuenta una población de 48,37 millones de habitantes, cada persona promedio diario emite 17,4 kilogramo de CO₂ equivalente. Además, en promedio, el 30% de esas emisiones están asociadas a la alimentación de esa persona. (The Planet App, 2022). Por lo tanto, una persona **emite 5,33 kg de CO₂equivalente al día**.

El estudio de los menús optimizados que se han obtenido para los distintos grupos poblacionales arroja una cifra media de emisiones de GEI diaria de **2,69 kilogramos**, lo que supone una **reducción del 49% frente a la media**.

5.4.3 PROTEÍNAS ANIMALES Y VEGETALES

En los menús obtenidos, se analiza una tendencia y priorización de alimentos vegetales para conseguir proteínas. Esto es debido al menor impacto ambiental de las proteínas de origen vegetal ante las carnes y pescados, alimentos tradicionalmente proteicos en la dieta de los españoles. Aunque, recientemente, esta transición a las proteínas vegetales ha mostrado un crecimiento notable. Concretamente en 2022 el 64% de los españoles cambió su hábito de consumo siendo la sostenibilidad una de las razones principales para hacerlo además de la salud y el precio. (elEconomista, 2022).

Entre las distintas opciones, destacan las legumbres y la quinoa como principal fuente de proteína vegetal. En concreto, los garbanzos se sitúan como mejor opción de legumbre ya que además de cumplir con los requisitos de macronutrientes, presenta una menor huella hídrica en comparación con el resto de los alimentos de su grupo. Respecto a las emisiones de gases de efecto invernadero, todas las legumbres tienen un impacto similar por lo que el modelo elige por el gasto de agua.

De todas formas, la inclusión de alimentos animales sigue necesitándose para cumplir con los requerimientos nutritivos. Entre ellos, los **mejillones** y los **huevos** son las mejores opciones ya que el modelo los ha priorizado en diversas ocasiones. Esta elección hace que se aporten proteínas animales con bajo impacto ambiental (especialmente en CO2 equivalente). Además, su bajo contenido en grasas permite que el aporte de este macronutriente provenga de alimentos más sostenibles como el aceite de oliva.

Además, para promover la variedad, el modelo incluye otros alimentos animales, priorizando los **pescados antes que las carnes** ya que estos últimos son las materias primas que mayor impacto negativo tienen en el medioambiente. Pescados como salmón, atún y merluza son los que antes prioriza en la optimización.

A pesar de dirigir la alimentación hacia productos vegetales y prevaleciendo los pescados frente a las carnes, hay situaciones en las que el modelo incluye **carnes rojas** en los menús. En el caso del segundo grupo poblacional, los requerimientos de macronutrientes implican **mayores cantidades de proteínas y grasas** y menos de carbohidratos que en el resto de los casos. Las proteínas, se consiguieron gracias a la inclusión de carne de cerdo y de cordero en los menús. En estos casos, los alimentos vegetales no son una buena opción ya tienen un bajo porcentaje en grasas y alto en hidratos de carbono por lo que no se conseguiría cumplir con los requisitos alimentarios. Se eligen carnes frente a pescado porque de haber escogido pescados, se debería de haber incluido más cantidad de alimento para alcanzar los macronutrientes necesarios y en tal caso, el impacto ambiental sería mayor.

5.4.4 GRASAS

El **aceite de oliva** destaca en todos los menús diarios como la **principal fuente de grasas**. Esto se debe principalmente a su gran aporte energético y su bajo impacto ambiental.

Desde la perspectiva sostenible, el aceite es mucho más ecológico que la mantequilla o que la margarina. De estas tres fuentes de grasas, la mantequilla, debido a su procedencia tiene una huella de carbono elevada, siendo incluso superior que la huella de la carne de cerdo. Por su parte, la margarina tiene una huella hídrica elevada. Para producirla, se necesitan

aceites vegetales refinados como la palma o la soja y se deben de combinar el agua. El principal problema es que el cultivo de las materias primas, especialmente el aceite de palma requiere gran cantidad de agua

En cambio, el aceite de oliva es uno de los productos que **menor huella hídrica** tienen ya que el olivo es un árbol de secano que no requiere mucha agua para vivir y producir frutos. Además, el proceso de obtención del aceite es mucho más simple y requiere menos agua ya que se extrae directamente de las aceitunas.

5.4.5 AUSENCIA DE FRUTOS SECOS

Tras analizar los menús resultantes de la ejecución del modelo, se observa como característica común, la ausencia de frutos secos. Estos alimentos son una fuente excelente de energía y grasas, aunque su **impacto ambiental es muy elevado**.

Su huella de carbono se aproxima a la del pollo o los huevos. En referencia al gasto hídrico, son unos de los alimentos que más agua necesitan en su ciclo de vida, especialmente las almendras, requiriendo 1.000 litros por cada 100 gramos de alimento.

5.4.6 FRUTAS Y VERDURAS

A pesar de que tanto el grupo de frutas como el de verduras esté muy presente en los menús eco saludables, tienen **más protagonismo las frutas**.

Comparando su aspecto ambiental, ambos grupos emiten poco CO₂ equivalente y sus niveles en kilogramos son parecidos. En cuanto a impacto hídrico, son las frutas las que más litros necesitan para producirse. A pesar de esto, este grupo contiene más macronutrientes, especialmente hidratos de carbono por lo que su inclusión en los menús aporta cantidades necesarias de este nutriente esencial.

5.5 ANÁLISIS COMPARATIVO: IMPACTO DEL COCINADO EN LOS MENÚS

Tras mostrar el funcionamiento de la herramienta que diseña los menús diarios, cabe destacar que en ellos **no se han incluido las técnicas de cocinado** ya que queda fuera del alcance definido del proyecto. Sin embargo, en trabajos futuros se contempla incluirlo como una parte fundamental del desarrollo.

Se ha querido hacer una comparativa incluyendo las diferentes técnicas de cocinado y herramientas necesarias para elaborar un menú diario completo. El objetivo es poder hacer un **análisis y detectar en qué aspecto del impacto medioambiental influye más** la inclusión de estas nuevas variables y parámetros.

Para ello, se ha seleccionado el primer menú diario del primer grupo poblacional, cuyos resultados se muestra en Tabla 9. Se han detectado los alimentos que necesitan ser cocinados y para cada uno, se ha especificado la técnica que se necesita y el electrodoméstico que será utilizado. Se calculan las emisiones de gases GEI y los litros de agua adicionales necesarios para completar el menú.

Cada uno de los distintos electrodomésticos tiene una potencia determinada y todos ellos funcionan con electricidad. Es por ello que, para calcular las emisiones de GEI emitidas durante la preparación de las comidas, se ha considerado la emisión de los gases de efecto invernadero por cada kilovatio-hora de electricidad generado en España. Se ha utilizado un dato de 0,19 tCO₂e / MWh obtenido del factor de emisión promedio del sistema eléctrico español en 2019. (REE, 2021).

La siguiente tabla muestra los valores adicionales de emisiones de dióxido de carbono equivalente y agua consumida durante el cocinado del menú.

Alimento	Método de cocinado	Electrodoméstico	Potencia KWh	kg CO2e / kWh España	Tiempo h	Emisiones kg CO2e	Agua l
Leche de vaca	Calentar 1 minuto	Microondas	1	0,19	0,017	0,003	
Pan Blanco Molde	Tostadora 2 minutos	Tostadora	1	0,19	0,033	0,006	
Mejillones	Cocción 5 minutos	Vitroceraámica	2,5	0,19	0,083	0,040	0,05
Garbanzos	Cocción 45 minutos	Vitroceraámica	1,5	0,19	0,750	0,214	0,5
Arroz	Cocción 15 minutos	Vitroceraámica	1,5	0,19	0,250	0,071	0,25
Salmón	Al horno 20 minutos	Horno	2	0,19	0,333	0,127	
TOTAL						0,461	0,8

Tabla 17. Evaluación del impacto ambiental del cocinado de los alimentos. Fuente: elaboración propia.

Tras analizar detalladamente cada uno de los electrodomésticos utilizados y su tiempo de uso, se concluye que el impacto ambiental varía significativamente en una de las dos dimensiones evaluadas.

	Impacto Ambiental	
	Huella Carbono (kg CO2e)	Huella Hídrica (L H2O)
Sin técnicas de cocinado	2,78	1.542
Con técnicas de cocinado	3,43	1.543

Tabla 18. Comparación entre un menú crudo y cocinado. Fuente: elaboración propia.

Según los resultados, el aumento del gasto hídrico es marginal. No existen una variación significativa entre el menú con los alimentos en crudo y cocinado por lo que, **en términos de huella hídrica, la herramienta ofrece resultados fiables y realistas**. Por el contrario, el nivel de huella de carbono aumenta un 16%. Este dato muestra que la **herramienta subestima las emisiones de gases GEI** relacionadas con el cocinado por lo que afecta a la precisión del cálculo de la optimización.

Capítulo 6. HERRAMIENTA DE EVALUACIÓN

El desarrollo de una herramienta de evaluación es un componente clave del proyecto que involucra al consumidor con el objetivo de mostrarle la realidad de su alimentación. Esta herramienta diseñada en GAMS, proporciona una visión global del impacto en la salud y en el ambiente, sustentado en métricas concretas y valores de referencia sobre los que poder comparar. Otorga una puntuación basada en cantidad de estrellas para que, a simple vista, se pueda determinar la calidad de un conjunto de alimentos.

Este capítulo presenta una descripción detalladamente los principios básicos y las métricas más relevantes, el diseño y su implementación. Se evaluará un caso de uso para demostrar la efectividad y potencial de la herramienta, que destaca por su fácil uso y claros resultados.

6.1 MÉTRICAS DE EVALUACIÓN

Para poder evaluar los menús objetivamente y con criterios fijos, se han determinado unas métricas que permiten puntuar distintas combinaciones de alimentos desde un punto nutricional y desde un punto ambiental.

Parámetros nutricionales

La herramienta, obtendrá el valor energético total del menú diario introducido y obtendrá las cantidades de macronutrientes que este mismo aporta. Los valores obtenidos serán comparados con los valores medios de referencia recomendados para el grupo de personas que recibe el menú. Se considerarán cantidades adecuadas aquellas que **no difieran más del un 10%** en exceso o en defecto **de los valores medios**. Estas variaciones garantizan la flexibilidad de cada menú permitiendo valores que no comprometan los objetivos nutricionales.

Para aquellos macronutrientes que queden fuera de rango considerado como aceptablemente saludable, la herramienta proporciona al usuario el dato exacto del porcentaje de exceso o

defecto que tiene respecto al valor medio. Esta información es útil para poder mejorar las planificaciones de comidas y detectar áreas de mejora de hábitos de consumo.

Tras analizar los parámetros seleccionados (energía, hidratos de carbono, proteínas y grasas), el programa ofrecerá una puntuación a las comidas evaluadas. Siguiendo la estructura de las etiquetas de alimentos, la herramienta se basa en una **escala de puntuación de 1 a 3 estrellas**. El criterio de puntuación de estrellas es el siguiente:

- **1 estrella.** El menú no está bien definido. De los cuatro parámetros evaluados, al menos tres de ellos no cumplen con los valores esperados.
- **2 estrellas.** El menú tiene 1 o 2 parámetros con valores nutricionales que no siguen las recomendaciones de alimentación.
- **3 estrellas.** El menú cumple con todos los requisitos nutricionales, ningún macronutriente ni la energía proporcionada por los alimentos toma valores fuera de los rangos establecidos como adecuados.

Parámetros ambientales

El impacto ambiental de los menús se determina utilizando las dos métricas clave que se han señalado en el capítulo anterior: la huella de carbono y la huella hídrica. La herramienta calcula de manera total el número de litros de agua que supone la elaboración de todos los alimentos y los kilogramos de dióxido de carbono equivalente.

Los valores obtenidos son posteriormente comparados con dos cifras de referencia. Por un lado, se establecen como **valores óptimos** y mínimos, los valores medios de los dos impactos calculados en el capítulo anterior derivados de la ejecución de los 6 menús diarios obtenidos tras la minimización de las consecuencias ambientales. Por otro lado, se utilizan los **valores medios de impacto ambiental de un español** promedio en cuanto a su alimentación se refiere. Teniendo en cuenta esos valores, se otorgan de nuevo un máximo de 3 estrellas según los siguientes criterios:

- **1 estrella.** Tanto el consumo de agua como las emisiones de gases de efecto invernadero están por encima de los valores promedio de un español. Esto indica que el menú está por encima del impacto estándar el cual es considerablemente alto.
- **2 estrellas.** Se otorgará esta puntuación a los menús que no cumplan con los requisitos para obtener 1 o 3 estrellas.
- **3 estrellas.** El menú está comprometido con el medioambiente y ambos parámetros ambientales se sitúan en el rango comprendido entre los valores óptimos y 1,3 veces ese valor. Se ofrece un exceso de un 30% respecto a los valores mínimos.

6.2 CÓDIGO

El desarrollo de la herramienta de evaluación se ha realizado a través de un código en GAMS. Este, a partir de la base de datos de los alimentos y los parámetros de entrada que muestran los alimentos considerados en el menú diario y sus cantidades, calcula los parámetros nutricionales y ambientales para posteriormente compararlos con datos de referencia y obtener conclusiones sobre los mismos.

Conjuntos. Al igual que en el capítulo anterior, los sets definidos en el código hacen referencia a los alimentos y los parámetros nutricionales y los ambientales estudiados.

- *i*: Lista de 47 alimentos disponibles para incluir en los menús.
- *j*: Conjunto de 4 elementos que representan la energía y los macronutrientes esenciales: carbohidratos, proteínas y grasas.
- *k*: Dos indicadores ambientales evaluados: huella de carbono como masa de CO₂ equivalente y huella de agua como volumen de H₂O.

Tablas. Las tablas incluidas permiten obtener el impacto ambiental de cada alimento por cada gramo de materia prima, y la composición nutricional individual por cada 100gramos de producto.

- ***TNUTRI*** (i, j): Contiene el valor energético (en kilocalorías) y de macronutrientes (en gramos) por cada 100gr de alimento de cada una de las materias primas de la base de datos.
- ***TAMBIENTAL_GR*** (i, k): Esta tabla contiene los valores del impacto ambiental de los alimentos por cada gramo de producto y no están normalizados. Indica los kilogramos de dióxido de carbono equivalente que emite el ciclo de vida de 1 gramo de alimento, y el número de litros de agua necesaria para producir la misma cantidad de alimento.

Parámetros. Incluyen la información de entrada del menú que se evalúa, así como los valores de referencia de las métricas calculadas.

- ***Menu_evaluacion***. Incluye todos los alimentos que forman el menú y sus asociadas cantidades expresadas en gramos.
- Requerimientos nutricionales para el grupo poblacional al que va dirigido el menú introducido para evaluación.
 - ***ENE***. Ingesta energética diaria recomendada medida en kilocalorías.
 - ***CAR***. Cantidad de hidratos de carbono recomendados en gramos.
 - ***PRO***. Cantidad de proteínas recomendadas en gramos.
 - ***GRA***. Cantidad de grasas recomendadas en gramos.
- Valores óptimos (media de los resultados obtenidos en la elaboración de los 6 menús diarios eco saludables) y valores promedios españoles del impacto de la huella de carbono y de la huella hídrica para la alimentación correspondiente a un día.
 - ***impacto_carbono_opt*** e ***impacto_carbono_prom***.
 - ***impacto_hidrico_opt*** e ***impacto_hidrico_prom***.
- Variables donde se recogerán los valores calculados de los distintos parámetros.
 - ***energia*** y ***variacion_energia***. Aporte energético total del menú diario y su variación en porcentaje respecto al valor medio recomendado.
 - Carbohidratos. Gramos de carbohidratos aportados por el menú y su variación en porcentaje respecto al valor medio recomendado.

- *proteinas* y *variacion_proteinas*. Gramos de proteínas aportados por el menú y su variación en porcentaje respecto al valor medio recomendado.
- *grasas* y *variacion_grasas*. Gramos de grasas aportados por el menú y su variación en porcentaje respecto al valor medio recomendado.
- *impacto_carbono*. Kilogramos de CO2 equivalente emitidos durante la producción de los alimentos que componen el menú introducido.
- *impacto_hidrico*. Litros de agua necesarios para elaborar el menú completo.
- *contador_fuera_rango*. Variable que acumula el número de parámetros nutricionales que no pertenecen al intervalo de valores considerado como aceptable.
- Variables de salida del código que indican el número de estrellas asignadas como puntuación nutricional y ambiental.
 - *puntuacion_nutri*
 - *puntuacion_ambiental*

A continuación, se presenta la **descripción matemática de la parte principal del código**.

- Cálculo de las ingestas energéticas y macronutrientes a partir de los datos del menú.

$$E.19. \text{ingesta}(j) = \left(\frac{\sum_i \text{MENU_EVALUACION}(i) \cdot \text{TNUTRI}(i,j)}{100} \right)$$

$$\forall j \in J$$

- Cálculo de los impactos ambientales medidos en las unidades descritas anteriormente.

$$E.20. \text{impacto_carbono} = \sum_i (\text{MENU_EVALUACION}(i) \cdot \text{TAMBIENTAL_GR}(i,j))$$

$$\forall j \in \text{'Huella_Carbono'}$$

$$E.21. \text{impacto_hidrico} = \sum_i (\text{MENU_EVALUACION}(i) \cdot \text{TAMBIENTAL_GR}(i,j))$$

$$\forall j \in \text{'Huella_Agua'}$$

- Cálculo de las variaciones porcentuales de las métricas nutricionales.

$$E.22. \text{ variacion_energia} = \left(\frac{\text{energia}}{\text{ENE}} - 1 \right) \cdot 100$$

$$E.23. \text{ variacion_carbohidratos} = \left(\frac{\text{carbohidratos}}{\text{CAR}} - 1 \right) \cdot 100$$

$$E.24. \text{ variacion_proteinas} = \left(\frac{\text{proteinas}}{\text{PRO}} - 1 \right) \cdot 100$$

$$E.25. \text{ variacion_grasas} = \left(\frac{\text{grasas}}{\text{GRA}} - 1 \right) \cdot 100$$

- Mensajes de salida para el consumidor sobre la composición nutricional de su menú. Una parte del código está dirigida a comprobar si los valores de energía, carbohidratos, proteínas y grasas difieren en más de un 10% respecto de los valores recomendados. En el caso de cumplirse esta condición, se informa al usuario del porcentaje de variación respecto al valor recomendado, y se guarda en la variable “*contador_fuera_rango*” el número de veces que ocurre para posteriormente poder ofrecer una puntuación dependiente de ese total. Se mostrará el ejemplo con la variable “*energia*” ya que la lógica es extrapolada al resto de macronutrientes.

$$E.26. \text{ Si } |\text{variacion_energia}| > 10 \text{ entonces,}$$

$$\text{contador_fuera_rango} = \text{contador_fuera_rango} + 1$$

$$E.27. \text{ Si } \text{variacion_energia} > 0 \text{ entonces,}$$

“La ingesta de energía está un *variación_energia* % por encima de lo recomendado”

$$E.28. \text{ Si } \text{variacion_energia} < 0 \text{ entonces,}$$

“La ingesta de energía está un *variación_energia* % por debajo de lo recomendado”

- Puntuación final para la parte nutricional.

$$E.29. \text{ puntuacion_nutri} = \begin{cases} 3 & \text{si } \text{contador_fuera_rango} = 0 \\ 3 & \text{si } 1 \leq \text{contador_fuera_rango} \leq 2 \\ 3 & \text{si } \text{contador_fuera_rango} > 2 \end{cases}$$

- Puntuación final para el impacto ambiental.

$$E.30. \text{ puntuacion_ambiental} = \begin{cases} 3 & \text{si } \text{impacto_carbono} \leq 1.3 \cdot \text{impacto_carbono}_{opt} \text{ Y } \text{impacto_hidrico} \leq 1.3 \cdot \text{impacto_hidrico}_{opt} \\ 3 & \text{si } \text{impacto_carbono} < \text{impacto_carbono}_{rec} \text{ Y } \text{impacto_hidrico} < \text{impacto_hidrico}_{rec} \\ 1 & \text{en caso contrario} \end{cases}$$

6.3 CASO DE USO

Con el objetivo de poder ejemplificar el código desarrollado y mostrar el funcionamiento de la herramienta de evaluación, se ha elegido un menú para su análisis. La nutricionista Paola Cóser publicó en Guía Infantil un artículo donde incluyó un **menú infantil semanal para niños de 6 a 12 años**. Se busca analizar y evaluar el menú para comprobar la utilidad de la herramienta en un entorno real, aportando calificaciones nutricionales y ambientales.

Descripción	Energía (kcal)	Carbohidratos (gr)	Proteínas (gr)	Grasas (gr)
Niños, 6-12 años, actividad física media	2200	303	83	73

Tabla 19. Recomendaciones de parámetros nutritivos para el caso de uso. Fuente: elaboración propia.

El menú ha sido ligeramente modificado ajustándolo a la base de datos. Los cambios más importantes han sido: adaptar las galletas de avena por copos de avena; cambiar la gelatina de frutas por una pieza de fruta; albóndigas de ternera por carne de ternera; zumo de naranja por la materia prima sin exprimir; y cambio de verdura del calabacín a la lechuga. Estas adaptaciones garantizan la compatibilidad del menú con la herramienta diseñada a la vez que mantiene los valores nutricionales originales.

La siguiente tabla muestra el menú original con todos los alimentos y la adaptación realizada para compatibilizarlo con la base de datos disponible en el proyecto.

Menú original	Menú adaptado	Cantidad (gr)
Leche	Leche	180
Tostada de pan	Pan blanco barra	70
Aceite	Aceite	5
Tomate	Tomate	10
Macarrones con tomate y queso	Pasta	80
	Tomate	20
	Queso Manchego	20
Albóndigas de ternera	Ternera	120
Gelatina de frutas	Manzana	120
Galletas de avena	Copos de avena	80
Zumo de naranja natural	Naranja	120
Tortilla de calabacín	Huevo	120
	Lechuga	100
Ensalada de tomate con trocitos de queso	Tomate	80
	Queso Manchego	35
Fruta	Platano	120
Nueces	Nueces	10

Tabla 20. Menú original para niños de 6 a 12 años y adaptación a la herramienta. Fuente: elaboración propia.

Con el objetivo de intentar modificar el menú original lo menos posible y que los cambios generen el menor impacto posible, el cambio del calabacín ha sido minuciosamente estudiado y se ha hecho una comparativa con todas las materias primas dentro del grupo de verduras que forman la base de datos. Tras el análisis, se ha determinado que la lechuga es el alimento más similar en cuanto a energía y macronutrientes. Sus diferencias se muestran en la siguiente tabla.

Alimento	Cantidad	Energía (kcal)	Carbohidratos (gr)	Proteínas (gr)	Grasas (gr)
Calabacín	100gr	16	3,3	1,2	0,18
Lechuga	100gr	16	2,9	1,13	0,6

Tabla 21. Comparación calabacín y lechuga. Fuente: elaboración propia.

Los resultados de los seis parámetros calculados se muestran en la siguiente tabla:

Parámetros Calculados					
Huella Carbono (kg CO2e)	Huella Hídrica (L H2O)	Carbohidratos (gr)	Proteínas (gr)	Grasas (gr)	Energía (kcal)
4,47	2.803	171	78	77	1.621

Tabla 22. Parámetros ambientales y nutricionales del menú evaluado. Fuente: elaboración propia.

Tras hacer la comparación, la herramienta ofrece una puntuación final indicando los puntos de mejora. El menú para niños aporta los gramos de proteínas y grasas adecuados, pero sufre una carencia de hidratos de carbono lo que impacta negativamente en el cumplimiento de aporte energético necesario en un día. Es por ello, que la herramienta otorga una calificación de 2 estrellas.



Figura 13. Evaluación nutricional del menú evaluado. Fuente: elaboración propia.

Por otra parte, el menú recibe dos estrellas sostenibles. Aunque la huella hídrica mantiene un nivel bastante inferior al del promedio de un español, sigue siendo superior a 1,3 veces el número de litros de agua óptimo. Por otra parte, el nivel de CO2 equivalente es alto, aunque no sobrepasa el nivel promedio de los españoles.



Tabla 23. Evaluación ambiental del menú evaluado. Fuente: elaboración propia.

Capítulo 7. RECOMENDACIONES DE HÁBITOS DE CONSUMO

El sistema alimentario global plantea importantes desafíos. Los hábitos de consumo actuales acompañados de las técnicas de producción, tratamiento y comercialización de alimentos impactan directamente al planeta y a la salud de las personas. En este contexto, son los propios consumidores los que desempeñan un papel crucial ya que sus decisiones diarias repercuten significativamente al ecosistema alimentario completo.

La educación de los consumidores para que se alimenten de manera correcta y tomen decisiones informadas y responsables son el vehículo para poder cambiar el sistema alimentario actual. La adopción de hábitos de alimentación más sostenibles contribuye a la reducción de la huella ambiental e impulsa una vida más saludable coherente con los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Las decisiones individuales afectan a la salud de cada uno, pero además pueden generar cambios positivos a nivel mundial y de colectivo poblacional. Por ello, se presentan distintas recomendaciones fundamentadas en las conclusiones obtenidas tras el diseño de menús eco-saludables, gracias al cual se han identificado patrones y estrategias para modificar los menús asegurando una reducción del impacto ambiental. Además, se han fundamentado en la identificación de acciones dentro del sistema que tienen mayor impacto.

Consumo de alimentos de proximidad.

El mundo actual está muy globalizado, y también lo está el sistema alimentario. Consumir productos de partes lejanas del planeta hace que el impacto ambiental de los alimentos en su ciclo de vida se vea incrementado debido a la etapa de transporte. Durante esta etapa, los alimentos deben viajar de medias a largas distancias en vehículos altamente contaminantes, además del impacto del proceso de almacenamiento prolongado. Los alimentos necesitan

envases especiales para no ser dañados durante el transporte (evitar golpes, por ejemplo) y en algunos casos refrigeración para conservar los alimentos.

Además del impacto ambiental, consumir alimentos de proximidad también tiene consecuencias en la salud. Los alimentos locales conservan mejor sus propiedades nutritivas al estar más frescos. (Nestlé, s.f.). La manipulación de las materias primas es menor por lo que disminuye el riesgo de contaminación o pérdida de calidad.

Consumo de alimentos de temporada.

Como se ha visto anteriormente, las nuevas técnicas de producción de alimentos como la agricultura intensiva o la producción en invernaderos, afectan negativamente al planeta. El consumo de alimentos de temporada reduce la necesidad de utilizar estos métodos para producir alimentos ya que se utilizan los naturales. Gracias a este hábito, se respetan los ciclos naturales de cultivo y cosecha de alimentos asegurando alimentos con mejor calidad, más frescos y con mayor aporte nutricional.

Para producir materias primas en estaciones fuera de su ciclo natural, se requiere controlar de forma artificial las condiciones climáticas y de terreno, un uso exhaustivo de fertilizantes y pesticidas y uso intensivo de agua especialmente en zonas áridas. Todo ello, conlleva un aumento en la huella ambiental del sistema alimentario. Además, en el caso de consumirse alimentos que se deben producir en regiones lejanas, implica que la etapa de transporte tome mayor importancia en el ciclo de vida de esos alimentos, implicando el aumento de emisiones de gases de efecto invernadero por el transporte, tecnologías para su conservación y utilización de envases especiales.

Productos orgánicos.

Los alimentos orgánicos son aquellos que se producen sin utilizar químicos como fertilizantes o plaguicidas. Basado en los principios ecológicos y saludables, los productos orgánicos se producen únicamente con sustancias naturales. (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2016).

Al no utilizar estos productos, se reduce la contaminación del suelo, agua y atmósfera y además favorece la salud de las personas al ser alimentos de mayor calidad. Con estos hábitos, se promueve la biodiversidad y el equilibrio de los ecosistemas lo que ayuda al planeta y acercan el objetivo de los ODS.

Por otra parte, también resulta beneficioso para la salud. En primera instancia, la eliminación de químicos tóxicos mejora notablemente la calidad de vida de los agricultores expuestos a ellos incluso pudiendo disminuir el número de fallecimientos y enfermedades derivados de esta exposición. En segunda instancia, los alimentos orgánicos son una opción más segura ya que carecen de residuos químicos que en un consumo repetido en el tiempo hace que se acumule en el organismo a largo plazo y afecte negativamente a la salud.

Gestión y reducción de residuos.

La gestión de residuos es una etapa dentro del sistema alimentario cuyo impacto ambiental está experimentando un crecimiento en los últimos años. La cantidad de desechos derivados de la alimentación está en constante aumento y su gestión implica la pérdida de recursos naturales como el agua, la energía o el suelo en la etapa de producción de los mismos y también la emisión de GEI especialmente metano durante la descomposición en vertederos.

Mientras parte de la población se enfrenta al hambre y a la inseguridad alimentaria, otra parte desperdicia el 17% del total de los alimentos según un informe publicado por el PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente) en 2021. (Mena Roa, 2021). Este dato refleja la ineficiencia del sistema alimentario que afecta al medio ambiente y que afecta a millones de personas en el mundo.

Los consumidores deben reducir sus residuos para reducir la necesidad de gestionar los residuos. Comprar de forma consciente, cantidades no excesivas y adoptar hábitos responsables de gestión de residuos es de vital importancia para minimizar la huella ambiental.

Selección de alimentos.

Tras analizar los distintos tipos de alimentos en el mercado y su impacto ambiental respecto a huella de carbono y gasto hídrico, se recomienda a los consumidores tomar mejores decisiones en cuanto a la elección de alimentos. Concretamente, reducir el consumo de alimentos procesados y aumentar la compra de alimentos frescos vegetales son las elecciones necesarias para mejorar el sistema alimentario.

Por un lado, la producción de productos animales requiere grandes cantidades de agua, energía y superficies de terreno, además de las grandes cantidades de GEI emitidas por los animales criados, especialmente el metano. Por otro lado, los alimentos vegetales son más respetuosos con el ambiente y proteínas vegetales como las legumbres son alternativas más accesibles y menos agresivas.

Además, los alimentos procesados deben desaparecer de las dietas puesto que, debido a su alto contenido en azúcares, grasas y falta de macronutrientes necesarios para el organismo, afectan negativamente a la salud aumentando la probabilidad de enfermar. Además, su elaboración compleja, envasado excesivo y aumento de transporte para su tratamiento, hacen que el impacto ambiental sea mayor que otros alimentos.

Esta última recomendación promueve una dieta mucho más comprometida y respetuosa con el medioambiente y que al mismo tiempo asegura que se pueden cumplir con los objetivos nutricionales respecto a nutrientes necesarios.

Capítulo 8. TRABAJOS FUTUROS

Este capítulo presenta las futuras líneas de trabajo que permiten mejorar y ampliar el proyecto. Se dividen en dos dimensiones principales. La primera está alineada con el seguimiento de las herramientas ya diseñadas en este trabajo. Se centra en perfeccionar los dos códigos añadiendo nuevas restricciones y ampliando la base de datos. La segunda línea está orientada a la inteligencia artificial. Se plantea la creación de un agente que pueda comunicarse con los usuarios de forma interactiva y que genere menús ecológicos y saludables adaptándose a las peticiones o a los requerimientos nutricionales específicos de cada persona.

8.1 MEJORA DE LAS HERRAMIENTAS DESARROLLADAS

La elaboración de la base de datos ha supuesto un reto en el proyecto. Actualmente, existen limitadas bases de datos que incluyan alimentos y su impacto ambiental. Las metodologías de cálculo de huella hídrica y emisión de gases de efecto invernadero varían notablemente entre las fuentes de datos disponibles y es de extrema importancia mantener una consistencia en cuanto a ese cálculo. Por lo tanto, una de las principales líneas de continuación del trabajo es **ampliar y mejorar la base de datos** para conseguir **escalabilidad del modelo**.

Por un lado, se propone como línea futura de proyecto, realizar un **menú completo semanal** que minimice el impacto ambiental de los alimentos. Al escalar el modelo y tener una base de datos mucho más extensa, se pueden conseguir menús de siete días que aseguren la variación de los alimentos y cumplimiento de los requisitos nutritivos.

Por otro lado, se añadirá a la base de datos **platos preparados completos** con recetas para complementar las materias primas. Esto ampliará los diseños de los menús y permitirá hacerlos más realistas con opciones más completas como guisos, tartas y platos con distintos

alimentos. De esta manera, la herramienta se volverá más atractiva para los consumidores y será más reconocida y visible al tratar modos de consumo realistas y cotidianos.

Además, incluir la **dimensión económica** es realmente interesante y aporta mucho valor al proyecto. La economía es un factor que impacta en la sociedad y lo seguirá haciendo. Muchas de las decisiones de compra de alimentos se ven afectadas por el precio de las materias primas. De hecho, el precio de los alimentos

Según un estudio que realizó la OCU, comprar productos ecológicos supone un sobrecoste del 62% en comparación con los productos convencionales. (Pascua, 2023). Este aumento de precio impacta a las personas, las cuales no quieren impactar negativamente su economía a cambio de consumir alimentos más comprometidos con el medioambiente.

Para finalizar, se introducirán más **métricas de huella ambiental**. Se incluirán diferentes **técnicas de cocinado** para poder medir el impacto ambiental que aparece durante el consumo y preparación de los alimentos durante el periodo final del consumo de los mismos. Se incluirán como variables métodos como la cocción, fritura o cocinado en plancha además de la utilización de distintos aparatos de cocina como robots, hornos, batidoras... Se permite así acercar el modelo aún más a la realidad y poder cubrir de manera más precisa el impacto ambiental.

8.2 AGENTE DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL

En un futuro, la integración del proyecto con la inteligencia artificial es un paso y avance crucial para su evolución, mejora y éxito. La creación de **agentes inteligentes** aporta un enfoque de personalización y optimización de las herramientas descritas en este proyecto. Estos agentes, son programas de software autónomos capaces de realizar acciones de forma eficiente aprendiendo de manera continua a partir de su uso y de las interacciones con los usuarios. (AWS, s.f.).

Se plantea desarrollar un agente capaz de generar menús totalmente adaptados a los requerimientos individuales de los usuarios. Además de optimizar el impacto ambiental, al integrar otras variables, el agente será capaz de optimizar según otros criterios como minimizar el precio de la compra para poder elaborarlos y así hacer la herramienta mucho más versátil.

Debido a su **capacidad de aprendizaje**, el agente podrá, además de ofrecer recomendaciones cada vez más personalizadas, indicar los mejores métodos de preparación, menús con alternativas para que el usuario tenga más flexibilidad, adaptarlo según alergias o intolerancias alimentarias...

Por otra parte, también incluirá la opción de evaluación de los menús. Las ventajas en esta parte del proyecto son numerosas. Para empezar, el ingreso de los datos puede ser mucho más variable, ya que el agente puede aprender a interpretar distintas maneras en las que los usuarios pueden indicar sus menús. Algunos incluirán cantidades, otros pueden incluir grupos generales como “fruta” pero no indicar exactamente el alimento, etc. Todas estas opciones serán válidas y el agente se adaptará a ellas, lo cual no ocurre con la herramienta diseñada en GAMS ya que requiere unos datos de entrada en un formato específico. Además, el agente podrá recomendar distintas modificaciones o alternativas para alcanzar objetivos de minimización de coste o de impacto ambiental entre otras opciones predeterminadas por los propios usuarios. Otra ventaja es que puede no solo evaluar los menús sino también completarlos por ejemplo añadiendo las cantidades necesarias a partir de los alimentos seleccionados o la creación de recetas que los combinen de forma novedosa.

Actualmente, existen personas desarrollando este tipo de aplicaciones y los resultados vistos hasta el momento son prometedores. Unificando todos los conocimientos e ideas de mejora se puede lograr crear un chat interactivo que mejore la vida de las personas. Un ejemplo actual es el agente basado en chat GPT creado por Juan Carlos Cavero Gracia llamado **mercaGPT**. Juan Carlos se ha basado en los productos que vende Mercadona para crear menús semanales ajustados a los requerimientos nutricionales o especificaciones de intolerancias y a otros objetivos concretos como limitar el coste de la compra semanal. Tiene

en cuenta características de productos como su composición generando una lista de la compra completa.

mercaGPT ▾



Figura 14. mercaGPT. Fuente: Perfil LinkedIn Juan Carlos Cavero Gracia.

La implementación de un agente con características similares a MercaGPT o incluso la integración de la idea del proyecto con el agente ya creado por Juan Carlos, consigue, además de ofrecer mayor calidad y flexibilidad a los menús, aportar una experiencia al usuario mucho más dinámica y fácil de utilizar en el diseño de menús para su vida.

Capítulo 9. CONCLUSIONES

El **sistema alimentario** actual es complejo y, debido a sus características, la FAO lo describe como **no sostenible**. Aspectos como la producción excesiva e intensiva, la globalización que implica un transporte masivo de alimentos con largos recorridos, una gobernanza descentralizada que no establece pautas claras de regulación y su elevado impacto ambiental, señalan la urgente necesidad de transformar el modelo alimentario a uno más sostenible y respetuoso. La producción de los alimentos, su procesamiento, transporte, consumo y gestión de residuos, son uno de los principales agentes consumidores de energía, de emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero, consumo de agua dulce y tierra habitable y pérdida de la biodiversidad.

Además, los hábitos de consumo y alimentación predominantes en la sociedad han cambiado las dietas por completo. La falta de tiempo hace que las personas coman platos precocinados y altamente procesados, se ha incrementado el consumo de alimentos calóricos, productos cárnicos y cada vez se compran menos productos frescos. Todo esto, no solo contribuye al **deterioro del planeta**, sino que **afectan negativamente a la salud** de las personas, derivando en un alarmante incremento de enfermedades crónicas.

En este contexto, se han diseñado dos **herramientas que representan un avance significativo en la concienciación y solución de estos problemas**. Por una parte, el diseño de una herramienta que diseñe menús que respetan las recomendaciones nutricionales para llevar una dieta equilibrada y que minimizan al mismo tiempo el impacto ambiental según gases de efecto invernadero y gasto hídrico, establece un enfoque dual que ayuda a cumplir los objetivos de mejora del sistema alimentario y sanitario. Además, la herramienta de evaluación de menús involucra a los consumidores y aporta información útil para que puedan modificar sus elecciones de comidas a unas más sostenibles a largo plazo. Este diseño ha sido desarrollado como respuesta ante la falta de opciones que combinen los dos aspectos al evaluar comidas o alimentos y que sirve para educar e incentivar a los consumidores a tomar decisiones más conscientes.

El desarrollo de la **base de datos** ha supuesto uno de los **mayores desafíos** del proyecto. La fiabilidad, uniformidad y consistencia de los datos de los alimentos son las características más importantes de una base de datos real y robusta que genere resultados coherentes y útiles. Especialmente los parámetros ambientales son los que mayor reto presentan ya que las bases de datos disponibles que sigan los mismos criterios y cuya medición haya sido igual son reducidas.

A pesar de la limitación de la base de datos, se han obtenido menús de dos días completos con tres comidas distintas que han mostrado **resultados prometedores**. La **reducción promedio de gasto hídrico del 67% y del 48% en las emisiones de gases de efecto invernadero** frente a los valores medios de un ciudadano español indican que existen un amplio margen de mejora en las dietas actuales. Evidencia de esta forma, el impacto positivo que generan decisiones más responsables en la selección de combinación de alimentos. De los menús generados se obtienen conclusiones fundamentadas que establecen **prioridades en la elección** de unos alimentos u otros. Para empezar, se destacan los productos de origen vegetal frente a los cárnicos. Especialmente las proteínas vegetales son una buena alternativa a las carnes rojas ya que su impacto ambiental es mucho menor. Entre los productos animales destacan los huevos por su alta calidad nutricional y los mejillones. De todas formas, hay ocasiones en las que los productos vegetales no consiguen cumplir con los requerimientos de macronutrientes y en esos casos, la herramienta prioriza los pescados a las carnes exceptuando los casos donde los requerimientos de grasas y proteínas al mismo tiempo son más elevados respecto a los carbohidratos. Además, el aceite de oliva es el producto elegido como fuente principal de grasa especialmente por la condición del olivo de ser una planta de secano.

De todas formas, el **análisis adicional** que integra las **técnicas de cocinado** y su impacto ambiental reveló conclusiones a tener en cuenta. Los resultados mostraron un incremento del 16% en las emisiones de CO₂ equivalentes, concluyendo que debería ser considerado ese factor en futuros desarrollos, pues la herramienta actual infravalora este parámetro. Por otra parte, el código diseñado presenta resultados realistas en cuanto a la minimización de gasto hídrico puesto que el análisis no determina aumentos significativos.

El proyecto, cuenta con un **futuro sumamente prometedor**, lleno de oportunidades para mejorar y destacar como herramientas útiles a nivel mundial. La ampliación de la base de datos que incluya parámetros adicionales que describen con mayor precisión los alimentos, y variables que midan aspectos adicionales del impacto ambiental supone una posibilidad para mejorar la calidad y la usabilidad del modelo. Con esta ampliación, los menús serán mucho más atractivos a la vez que realistas y variados ya que las opciones de combinaciones aumentan exponencialmente. Además, al integrar otros aspectos ambientales como las técnicas de cocinado, los electrodomésticos utilizados o otras características como el uso de plaguicidas y químicos en la producción de las materias primas, acercan los menús resultantes al mundo real y al verdadero impacto negativo sobre el planeta.

En conclusión, el proyecto completo se presenta como una contribución a la solución de un cambio del sistema alimentario hacia uno mucho más sostenible a largo plazo y saludable. Además, sirve como precedente para nuevas posibilidades de innovación y mejora en el diseño de herramientas de este estilo. Su impacto ambiental y social, refuerza la importancia de poner esfuerzos en soluciones de dietas que mejoren la salud de las personas integrando la sostenibilidad en las decisiones.

Capítulo 10. OBJETIVOS DE DESARROLLO

SOSTENIBLE

Los 17 Objetivos del Desarrollo Sostenible son una iniciativa dentro de la Agenda 2030 que busca erradicar la pobreza, proteger el planeta y garantizar que todas las personas del planeta puedan vivir y prosperar sin comprometer los recursos de las generaciones futuras. (Naciones Unidas, s.f).

El proyecto de diseño de menús ecológicos y saludables contribuye al cumplimiento de varios ODS, aunque se pone especial atención en tres de ellos: ODS 3, Salud y Bienestar; ODS 12: Producción y Consumo Responsables; y ODS 13: Acción por el Clima.

10.1 ODS 3: SALUD Y BIENESTAR

El tercer objetivo de desarrollo sostenible se enfoca en la salud y el bienestar. Se quiere garantizar una vida más sana y promover el bienestar para todas las personas independientemente de su edad. Más específicamente, este objetivo busca reducir la mortalidad y las enfermedades, garantizar un acceso universal a servicios de salud y fortalecerlos y promover el bienestar a través de estilos de vida saludables. (Naciones Unidas, s.f.).

De manera global, algunos elementos clave que influyen y suponen un riesgo para la salud son la falta de actividad física y las dietas que no son saludables. (OMS, 2018). Por lo tanto, mejorar estos aspectos ayudaría a conseguir mayor salud mundialmente.

Gracias a la creación de menús equilibrados y nutritivos, el proyecto promueve buenos hábitos alimenticios mejorando así la vida de las personas. De esta forma, además de ser beneficioso para los individuos, también lo es para los sistemas sanitarios ya que una buena alimentación reduce enfermedades como la diabetes cardiopatías o cáncer. (OMS, 2018).

10.2 ODS 12: CONSUMO Y PRODUCCIÓN SOSTENIBLES

El objetivo 12 se centra en garantizar modelos de producción y consumo que sean capaces de sostener las generaciones actuales y futuras. Para conseguirlo, la población mundial debe cambiar sus hábitos de consumo y mejorar en actividades diarias. Algunos hábitos propuestos son la utilización de suministros energéticos más sostenibles, elegir productos con menor impacto ambiental o reducir la huella de carbono en las actividades cotidianas. (Naciones Unidas, s.f.).

El diseño de menús eco saludables considera varios factores relacionados con este objetivo como el ciclo de vida de distintos alimentos y el uso eficiente de recursos hidráulicos y energéticos. Más concretamente impacta en los hábitos mencionados anteriormente de la siguiente manera:

- Hábitos de consumo energético más sostenibles. Los menús se han diseñado reduciendo el consumo energético durante los procesos de cocina. El consumo de energía durante el cocinado, dependerá de los electrodomésticos utilizados y las técnicas de cocinado.
- Respecto a los productos con menor impacto ambiental, este proyecto se enfoca principalmente en alimentos. La industria alimentaria impacta negativamente al planeta a través de la deforestación, degradación del suelo, consumo de recursos hidráulicos y emisión de gases nocivos para la atmósfera. La metodología y criterios utilizados en la planificación de los menús tienen en cuenta estos factores y elige aquellos alimentos menos contaminantes.
- Por último, las recomendaciones de prácticas sostenibles incluidas en este proyecto como el consumo de productos de temporada, consumo de alimentos ayudan a la población a realizar prácticas positivas para mejorar la forma de consumo de los alimentos. El Capítulo 7. ayuda a completar algunas metas fijadas por la Agenda 2030 España como la reducción de desperdicios de alimentos u ofrecer educación para el desarrollo sostenible. (Estrategia 2023, s.f.).

10.3 ODS 13: ACCIÓN POR EL CLIMA

La crisis climática afecta a todo el planeta produciendo consecuencias cada vez devastadoras como el aumento de la temperatura, la escasez del agua y la aparición de fenómenos meteorológicos extremos. (Comisión Europea, s.f.). Este objetivo se enfoca en combatir el cambio climático y todos sus efectos.

La solución al problema implica que el mundo transforme la industria energética, las redes de transporte, el sector industrial y los sistemas alimentarios, agrícolas y forestales. (Naciones Unidas, s.f.). El proyecto desarrollado hace referencia al sistema alimentario principalmente que afecta de varias maneras negativas al planeta, destruyendo la biodiversidad y consumiendo mucha agua y emitiendo gases de efecto invernadero en grandes proporciones. De hecho, más de un tercio de todas las emisiones de estos gases emitidas por el humano están relacionadas con los alimentos.

Gracias a menús más comprometidos con el medioambiente, se consigue reducir la huella de carbono, las emisiones de gases nocivos, utilizar de manera más adecuada recursos naturales como el agua y reducir la escasez de agua.

Capítulo 11. REFERENCIAS

Academia de Nutrición y Dietética. (s. f.). Productos frescos. Academia de Nutrición y Dietética. Disponible oct-2024. <https://www.academianutricionydietetica.org/destacados-de-aldi/productos-frescos/>

Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. (s. f.). Emisiones de óxido nitroso. EPA en español. Disponible nov-2024. <https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/emisiones-de-oxido-nitroso>

Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición. (2016). Información nutricional obligatoria. AESAN. Disponible nov-2024. https://www.aesan.gob.es/AECOSAN/web/noticias_y_actualizaciones/noticias/2016/informacion_nutricional_obligatoria.htm#:~:text=A%20partir%20de%20ma%C3%B1ana%2013,%2C%20az%C3%BAcares%2C%20prote%C3%ADnas%20y%20sal

Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición. (2019). Informe sobre necesidades y recomendaciones nutricionales (INR). AESAN. Disponible dic-2025. https://www.aesan.gob.es/AECOSAN/docs/documentos/seguridad_alimentaria/evaluacion_riesgos/informes_comite/INR.pdf

Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición. (2021). Sistemas alimentarios y estrategia de nutrición de los VG (CFS VGFSyN). AESAN. Disponible nov-2025. https://www.aesan.gob.es/AECOSAN/docs/documentos/noticias/2021/CFS_VGs_Food_Systems_and_Nutrition_Strategy_ES.pdf

Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición. (2022, diciembre). Recomendaciones dietéticas. AESAN. Disponible dic-2025. https://www.aesan.gob.es/AECOSAN/docs/documentos/nutricion/RECOMENDACIONES_DIETETICAS.pdf

Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición. (2023, 27 de diciembre). Nutri-Score. AESAN. Disponible oct-2025. https://www.aesan.gob.es/AECOSAN/web/para_el_consumidor/seccion/informacion_Nutri_Score.htm

Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer. (s. f.). Monographs Q&A: Volume 114. Organización Mundial de la Salud. Disponible oct-2025. https://www.iarc.who.int/wp-content/uploads/2018/11/Monographs-QA_Vol114_S.pdf

Aguilera, E., Piñero, P., Infante Amate, J. U. A. N., González de Molina, M. A. N. U. E. L., Lassaletta, L., & Sanz Cobeña, A. L. B. E. R. T. O. (2020). Emisiones de gases de efecto invernadero en el sistema agroalimentario y huella de carbono de la alimentación en España. Real Academia de Ingeniería: Madrid, Spain. Disponible nov-2025. https://www.congreso.es/docu/docum/ddocum/dosieres/sleg/legislatura_14/spl_56/pdfs/46.pdf

AlimentaODS. (2021, 23 de marzo). Los sistemas alimentarios son responsables de más de un tercio de las emisiones globales de gases de efecto invernadero. AlimentaODS. Disponible nov-2025. <https://alimentaods.org/noticias/los-sistemas-alimentarios-son-responsables-de-mas-de-un-tercio-de-las-emisiones-globales-de-gases-de-efecto-invernadero/>

Amazon Web Services. (s. f.). ¿Qué son los agentes de inteligencia artificial?. AWS. Disponible dic-2025. <https://aws.amazon.com/es/what-is/ai-agents/>

Anafric. (2021, 18 de mayo). Eco-Score Vs Nutri-Score, según Rabobank. Anafric. Disponible nov-2025. <https://anafric.es/eco-score-vs-nutri-score-segun-rabobank/>

Anafric. (2021, 18 de mayo). Eco-Score Vs Nutri-Score, según Rabobank. Anafric. Disponible nov-2025. <https://anafric.es/eco-score-vs-nutri-score-segun-rabobank/>

Arce, M. (2024, 27 de noviembre). Dinamarca implanta el 'impuesto al eructo' de cerdos y vacas que retiró Nueva Zelanda. Libre Mercado. Disponible dic-2025.

<https://www.libremercado.com/2024-11-27/dinamarca-implanta-el-impuesto-al-eructo-de-cerdos-y-vacas-que-retiro-nueva-zelanda-7190690/>

Asociación Española de Valorización Energética de la Biomasa. (2024, 20 de septiembre). España reduce sus emisiones un 32% desde 2005, pero el mundo sigue aumentando los GEI en 2023. AVEBIOM. Disponible dic-2025. <https://www.avebiom.org/biomasanews/avebiom/espana-reduce-emisiones-32-desde-2005-pero-mundo-sigue-aumentando-GEI-2023>

Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria. (2024, 21 de febrero). El informe interinstitucional destaca la importancia de reducir el uso de antibióticos. EFSA. Disponible nov-2025. <https://www.efsa.europa.eu/es/news/multi-agency-report-highlights-importance-reducing-antibiotic-use>

Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria. (2024, 24 de septiembre). Valores de referencia dietéticos. EFSA. Disponible nov-2025. <https://www.efsa.europa.eu/es/topics/topic/dietary-reference-values>

Ayuso, M. (2017, 5 de mayo). Los platos precocinados ahorran tiempo, pero por esta razón no deberías comprarlos. El Confidencial. Disponible dic-2025. https://www.elconfidencial.com/alma-corazon-vida/2016-02-26/los-platos-precocinados-ahorran-tiempo-pero-por-esta-razon-no-deberias-comprarlos_1158775/

Banco Mundial. (2022, 17 de octubre). Lo que debes saber sobre la seguridad alimentaria y el cambio climático. Banco Mundial. Disponible oct-2025. <https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2022/10/17/what-you-need-to-know-about-food-security-and-climate-change>

BBVA. (2023, 13 de febrero). Así repercute el sistema alimentario en la sostenibilidad del planeta. BBVA. Disponible oct-2025. <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/asi-repercute-el-sistema-alimentario-en-la-sostenibilidad-del-planeta/>

Caballero, A. (2019). ¿Qué es la huella hídrica y por qué es importante? Planeta Inteligente. Disponible nov-2025. <https://planetainteligente.elmundo.es/2019/eco/que-es-la-huella-hidrica-y-por-que-es-importante.html>

Carbon Trust. (2020, abril). Etiquetado de la huella de carbono de los productos: Estudio del consumidor 2020. Carbon Trust. Disponible nov-2025. <https://www.carbontrust.com/es/nuestro-trabajo-e-impacto/guias-recursos-y-herramientas/etiquetado-de-la-huella-de-carbono-de-los-productos-estudio-del-consumidor-2020>

Carbon Trust. (s. f.). Etiqueta de la huella de carbono de producto. Carbon Trust. Disponible nov-2025. <https://www.carbontrust.com/es/que-hacemos/etiqueta-de-huella-de-carbono-de-producto/etiqueta-de-la-huella-de-carbono-de-producto>

Cascante, K. (2023, 4 de octubre). De cómo el sistema alimentario global amplía el problema del hambre. Somos Iberoamérica. Disponible dic-2025. <https://somosiberoamerica.org/tribunas/de-como-el-sistema-alimentario-global-amplia-el-problema-del-hambre/>

Cavero Gracia, J. C. (s. f.). Perfil profesional. LinkedIn. Recuperado el [2024, 20 de diciembre], de <https://www.linkedin.com/in/juan-carlos-cavero-gracia/>

Chatham House. (2021, febrero). Food system impacts on biodiversity loss. Chatham House. Disponible nov-2025. <https://www.chathamhouse.org/2021/02/food-system-impacts-biodiversity-loss>

Children's Minnesota. (s. f.). Grasas. Children's Minnesota. Disponible dic-2025. <https://www.childrensmn.org/educationmaterials/parents/article/13944/grasas/>

Clínica Universidad de Navarra. (s. f.). Vitaminas. Clínica Universidad de Navarra. Disponible dic-2025. <https://www.cun.es/chequeos-salud/vida-sana/nutricion/vitaminas>

Comisión Europea. (s. f.). El nuevo logotipo ecológico de la UE. Comisión Europea. Disponible nov-2025. https://agriculture.ec.europa.eu/document/download/6dfbef46-cb5f-43fb-8b79-f0796059285e_es

Comisión Europea. (s.f.). Consecuencias del cambio climático. Disponible oct-2025. https://climate.ec.europa.eu/climate-change/consequences-climate-change_es

Cóser, P. (s. f.). Menú semanal para niños de 6 a 12 años - Qué necesitan comer tus hijos. Guía Infantil. Disponible dic-2025. <https://www.guiainfantil.com/articulos/alimentacion/ninos/menu-infantil-semanal-para-ninos-de-6-a-12-anos/>

CPAEN. (s. f.). ¿Cómo identificamos un alimento eco? Consejo de la Producción Agraria Ecológica de Navarra. Disponible nov-2025. <https://www.cpaen.org/es/agricultura-ecologica/como-identificamos-un-alimento-eco>

CuídatePlus. (2020, 6 de agosto). ¿Qué son los minerales? Tipos, funciones y beneficios. CuídatePlus. Disponible dic-2025. <https://cuidateplus.marca.com/alimentacion/diccionario/minerales.html>

DF Grupo. (2022, 16 de diciembre). El hambre oculta. DF Grupo. Disponible oct-2025. <https://www.dfgrupo.com/el-hambre-oculta/#:~:text=La%20nutrici%C3%B3n%20de%20los%20cultivos&text=Es%20un%20fen%C3%B3meno%20que%20se,la%20calidad%20de%20la%20producci%C3%B3n>

Díaz Mohedano, J. D. (2024, 18 de abril). La agricultura consume el 72% del agua dulce en España: ¿Cuáles son los cultivos que necesitan más agua? Tiempo.com. Disponible oct-2025. <https://www.tiempo.com/noticias/actualidad/la-agricultura-consume-el-72-del-agua-dulce-en-espana-cuales-son-los-cultivos-que-necesitan-mas-agua.html>

ECODES. (2023). Huella de carbono asociada a los alimentos: Informe ejecutivo. Disponible oct-2025. https://ecodes.org/images/que-hacemos/MITERD-2023/InformeEjecutivo_Huella-de-carbono-sociada-alimentos.pdf

eldiario.es. (2021, 12 de marzo). Nutri-Score no convence: el sistema de etiquetado de alimentos. eldiario.es. Disponible nov-2025. https://www.eldiario.es/consumoclaro/nutri-score-no-convence-sistema-etiquetado-alimentos_1_7290702.html#:~:text=La%20principal%20cr%C3%ADtica%20a%20este,a%20expensas%20de%20su%20salud

elEconomista.es. (2022, 27 de junio). El 64% de los españoles ha aumentado este año su consumo de proteína vegetal. elEconomista.es. Disponible dic-2025. <https://www.eleconomista.es/retail-consumo/noticias/11840386/06/22/El-64-de-los-espanoles-ha-aumentado-este-ano-su-consumo-de-proteina-vegetal.html>

Elver, H. (2021, 13 de agosto). El sistema alimentario global no funciona. El País. Disponible oct-2025. <https://elpais.com/planeta-futuro/2021-08-13/el-sistema-alimentario-global-no-funciona.html>

EsAgua. (s. f.). La huella hídrica de los alimentos, el agua invisible detrás de nuestra dieta. Disponible oct-2025. EsAgua. <https://www.esagua.es/la-huella-hidrica-de-los-alimentos/>

Estrategia 2030. (s.f.). Objetivo 12: Producción y consumos responsables. Disponible oct-2025. <https://estrategia2030.es/objetivo-12-produccion-y-consumos-responsables/>

European Food Safety Authority. (s. f.). Dietary reference values: Interactive tool. EFSA. Disponible nov-2025. <https://multimedia.efsa.europa.eu/drvs/index.htm>

Findus España. (s. f.). ¿Cómo funciona la etiqueta Nutri-Score? Findus España. Disponible oct-2025. <https://www.findus.es/alimentacion-y-nutricion/nutriscore/como-funciona-nutriscore>

Fundación Aquae. (s. f.). 5.000 litros de agua, 1 kilo de arroz: el uso del agua en la agricultura. Fundación Aquae. Disponible nov-2025. <https://www.fundacionaquae.org/wiki/5-000-litros-de-agua-1-kilo-de-arroz-el-uso-del-agua-en-la-agricultura/>

Fundación Española del Corazón. (s. f.). Hidratos de carbono. Fundación Española del Corazón. Disponible dic-2025. <https://fundaciondelcorazon.com/nutricion/nutrientes/806-hidratos-de-carbono.html>

García, G. (2021, 17 de marzo). Sistemas alimentarios: responsables de emisiones de gases de efecto invernadero. The Food Tech. Disponible nov-2025. <https://thefoodtech.com/seguridad-alimentaria/sistemas-alimentarios-responsables-de-emisiones-de-gases-de-efecto-invernadero/>

Global Alliance for the Future of Food. (s. f.). Cambio de poder. Future of Food. Disponible oct-2025. <https://story.futureoffood.org/cambio-de-poder/>

GRAIN. (2021, 6 de julio). El sistema alimentario mundial: Un derroche de energía. GRAIN. Disponible oct-2025. <https://grain.org/es/article/6698-el-sistema-alimentario-mundial-un-derroche-de-energia>

Greenpeace España. (s. f.). Carne. Greenpeace España. Disponible oct-2025. <https://es.greenpeace.org/es/trabajamos-en/consumismo/carne/>

Guillén Valera, J. (2024, 24 de abril). ¿Qué son las proteínas? Tipos, alimentos y beneficios. CúdatePlus. Disponible dic-2025. <https://cuidateplus.marca.com/alimentacion/diccionario/proteinas.html>

Health Star Rating. (s. f.). How to use health stars. Health Star Rating. Disponible nov-2025. <http://www.healthstarrating.gov.au/internet/healthstarrating/publishing.nsf/Content/How-to-use-health-stars>

Instituto Danone. (2022, 26 de mayo). El impacto de la alimentación en la salud de las personas y el cuidado del medio ambiente centra los debates del II Simposio Alimentación, Salud y Sostenibilidad celebrado en Barcelona. Instituto Danone. Disponible oct-2025. <https://institutodanone.es/el-impacto-de-la-alimentacion-en-la-salud-de-las-personas-y-el-cuidado-del-medio-ambiente-centra-los-debates-del-ii-simposio-alimentacion-salud-y-sostenibilidad-celebrado-en-barcelona/>

Lane, M. M., Gamage, E., Travica, N., Dissanayaka, T., Ashtree, D. N., Gauci, S., ... & Marx, W. (2022). Ultra-processed food consumption and mental health: a systematic review and meta-analysis of observational studies. *Nutrients*, 14(13), 2568. Disponible oct-2025. <https://www.mdpi.com/2072-6643/14/13/2568>

Manos Unidas. (2023, 7 de junio). Día Mundial de la Inocuidad de los Alimentos 2023: 7 de junio, seguridad alimentaria. Manos Unidas. Disponible oct-2025. <https://www.manosunidas.org/noticia/dia-mundial-inocuidad-alimentos-2023-7-junio-seguridad-alimentaria>

Marcos, A. (2021, 15 de septiembre). La producción de alimentos genera un tercio de las emisiones globales de gases de efecto invernadero. Agencia SINC. Disponible nov-2025. <https://www.agenciasinc.es/Noticias/La-produccion-de-alimentos-genera-un-tercio-de-las-emisiones-globales-de-gases-de-efecto-invernadero>

Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2011). The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. UNESCO-IHE Institute for Water Education. Disponible dic-2025. <https://waterfootprint.org/resources/Mekonnen-Hoekstra-2011-WaterFootprintCrops.pdf>

Mena Roa, M. (2021, 29 de septiembre). 931 millones de toneladas de alimentos terminan en la basura cada año. Statista. Disponible dic-2025. <https://es.statista.com/grafico/24368/volumen-anual-estimado-de-alimentos-desperdiciados-en-los-hogares/>

Menal Puey, S., Marques Lopes, I., & Fajó Pascual, M. (2024, 20 de mayo). Informe de huella de alimentos 2024. ECODES. Disponible nov-2025. https://ecodes.org/images/que-hacemos/MITERD-2023/Informe-Huella-alimentos-2024_def_05062024.pdf

Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Dirección General de Producciones y Mercados Agrarios. (s. f.). Preguntas frecuentes sobre los organismos modificados genéticamente (OMG). Disponible nov-2025.

https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/biotecnologia/preguntasfrecuentesomg2_tcm30-189175.pdf

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. (2022). Informe del consumo alimentario en España 2022. Disponible oct-2025.

https://www.mapa.gob.es/es/alimentacion/temas/consumo-tendencias/informe-consumo-2022-baja-res_tcm30-655390.pdf

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. (s. f.). Sistemas alimentarios. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Disponible oct-2025.

<https://www.mapa.gob.es/es/ministerio/ministerio-exterior/cumbre-un-sistemas-alimentarios/sistemas-alimentarios/>

Moreiras O, A Carbajal, L Cabrera, C Cuadrado. Ingestas diarias recomendadas de energía y nutrientes para la población española. En: Tablas de composición de alimentos. Ediciones Pirámide (Grupo Anaya, SA). 18ª edición. 2016. Disponible dic-2025.

https://www.ucm.es/data/cont/docs/458-2016-07-02-IR-tablas-Moreiras-col-2016-web.pdf?utm_source=chatgpt.com

Mutua Universal. (2024, 22 de marzo). ¿Sabes qué es la huella hídrica? Mutua Universal. Disponible oct-2025. <https://www.mutuauniversal.net/gl/actualidad/noticias/noticia/Sabes-que-es-la-huella-hidrica/>

MyFitnessPal. (2024). MyFitnessPal. Disponible nov-2025. <https://www.myfitnesspal.com/es>

Naciones Unidas. (s. f.). Seguridad alimentaria y agricultura. Naciones Unidas. Disponible oct-2025. https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/food_security.shtml

Naciones Unidas. (s.f.). Cambio climático. Disponible sept-2025. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/climate-change-2/>

Naciones Unidas. (s.f.). Consumo y producción sostenibles. Disponible sept-2025.
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-consumption-production/>

Naciones Unidas. (s.f.). Salud y bienestar. Disponible sept-2025.
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/health/>

National Geographic. (2023, 11 de noviembre). Alimentos ultraprocesados: Peligros para el cerebro y la salud mental. National Geographic. Disponible nov-2025.
<https://www.nationalgeographic.es/ciencia/2023/11/alimentos-ultraprocesados-peligros-cerebro-salud-mental>

Nestlé España. (s. f.). Alimentos de proximidad y temporada. Nutriplato Nestlé. Disponible dic-2025.
<https://www.nutriplatonestle.es/nutrinanny/alimentos-proximidad-temporada.html>

Nestlé Family Club. (s. f.). Los grupos alimenticios: descubre su clasificación aquí. Nestlé Family Club. Disponible nov-2025. <https://nestlefamilyclub.es/articulo/los-grupos-alimenticios-descubre-su-clasificacion-aqui>

Nestlé. (2023, 25 de mayo). Huella de carbono de los alimentos. Nestlé Colombia. Disponible dic-2025. <https://www.nestle.com.co/ecocina/consumo/huella-de-carbono-de-los-alimentos>

Oficina Económica y Comercial de España. (s. f.). Etiquetado de alimentos. Ministerio de Industria, Comercio y Turismo. Disponible dic-2025. <https://comercio.gob.es/es-es/brexit-comercio/guiaaccesomercado/Gu%C3%ADas%20sector%20agroalimentario/Etiquetado%20alimentos.pdf>

Open Food Facts. (s. f.). Eco-Score: The environmental impact of food products. Open Food Facts. Disponible nov-2025. https://world.openfoodfacts.org/eco-score-the-environmental-impact-of-food-products#life_cycle_assessment_lca

Organización de Consumidores y Usuarios. (2023, 18 de agosto). Nutri-Score. OCU. Disponible nov-2025. <https://www.ocu.org/alimentacion/comer-bien/informe/nutriscore>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2020). El estado de la alimentación y la agricultura 2020. FAO. Disponible oct-2025. <https://www.fao.org/interactive/state-of-food-agriculture/2020/es/>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2021, 23 de junio). Tres soluciones energéticas sostenibles para la producción de alimentos y lugares donde se utilizan. FAO. Disponible nov-2025. <https://www.fao.org/newsroom/story/Three-sustainable-energy-solutions-for-food-production-and-places-where-they-are-used/es>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2021, 6 de noviembre). La expansión agrícola impulsa casi el 90% de la deforestación mundial. FAO. Disponible oct-2025. <https://www.fao.org/newsroom/detail/cop26-agricultural-expansion-drives-almost-90-percent-of-global-deforestation/es>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2023). The state of food security and nutrition in the world 2023: How urbanization affects agrifood systems. FAO. Disponible oct-2025. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/52c5a6a5-0c99-4350-99e5-b5ad0f01f61a/content/state-food-security-and-nutrition-2023/urbanization-affects-agrifood-systems.html#fig20>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (s. f.). Necesidades nutricionales. Disponible nov-2025. FAO. <https://www.fao.org/4/am401s/am401s03.pdf>

Organización Mundial de la Salud. (2018, 31 de agosto). Dieta saludable. Disponible nov-2025. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/healthy-diet>

Organización Panamericana de la Salud. (2023). Sistemas alimentarios para la salud. Resumen informativo. Organización Panamericana de la Salud. Disponible dic-2025.

https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/56525/9789275325520_spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Pascua, M. (2023, 12 de junio). Hacer la compra con productos ecológicos es un 62% más cara, según OCU. Onda Cero. Disponible dic-2025. https://www.ondacero.es/noticias/sociedad/hacer-compra-productos-ecologicos-62-mas-cara-segun-ocu_20230612648725cfea11350001f18a33.html

Pérez Vadillo, C. (2021, 2 de noviembre). España y su huella hídrica: El consumo de agua en el país. GNDiario. Disponible nov-2025. <https://www.gndiario.com/espana-huella-hidrica-consumo-agua>

Red Eléctrica de España. (2021, marzo). Emisiones de CO2 asociadas a la generación de electricidad en España. Red Eléctrica de España. Disponible dic-2025. <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei/>

Sant Dalmai Food Company. (s. f.). Población y hábitos de consumo. Sant Dalmai Food Company. Disponible dic-2025. <https://www.santdalmaifoodcompany.com/es/poblacion-y-habitos-de-consumo>

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2016, 17 de octubre). ¿Qué son los alimentos orgánicos? Gobierno de México. Disponible dic-2025. <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/que-son-los-alimentos-organicos-74320>

The Planet App. (2022, 12 de septiembre). ¿Cuánto CO₂ emitimos dependiendo de nuestro tipo de dieta? The Planet App. Disponible dic-2025. <https://theplanetapp.com/cuanto-co2-emitimos-dependiendo-de-nuestro-tipo-de-dieta/>

Thomson, E. (2024, 15 de marzo). El sistema alimentario mundial ya no satisface nuestras necesidades de salud: He aquí 4 cambios necesarios. Foro Económico Mundial. Disponible oct-2025. <https://es.weforum.org/agenda/2024/03/el-sistema-alimentario-mundial-ya-no-satisface-nuestras-necesidades-de-salud-he-aqui-4-cambios-necesarios/>

Universidad de Murcia. (s. f.). Cálculo del valor energético. OpenCourseWare - Universidad de Murcia. Disponible nov-2025. <https://www.um.es/web/innovacion/plataformas/ocw/listado-de-cursos/higiene-inspeccion-y-control-alimentario/practicas/calculo-del-valor-energetico>

World Health Organization. (2021). Sistemas alimentarios para una mejor salud: Resumen ejecutivo. Disponible dic-2025. <https://www.who.int/teams/nutrition-and-food-safety>

World Health Organization. (2024, 1 de marzo). Obesidad y sobrepeso. World Health Organization. Disponible nov-2025. <https://www.who.int/es/news-room/factsheets/detail/obesity-and-overweight#:~:text=Datos%20y%20cifras&text=En%202022%2C%202500%20millones%20de,de%205%20a%C3%B1os%20ten%C3%ADan%20sobrepeso>

World Wildlife Fund. (s. f.). Lucha contra el cambio climático evitando el desperdicio de alimentos. World Wildlife Fund. Disponible dic-2025. <https://www.worldwildlife.org/descubre-wwf/historias/lucha-contra-el-cambio-climatico-evitando-el-desperdicio-de-alimentos#:~:text=Cuando%20desperdiciamos%20alimentos%2C%20también%20desperdiciamos,que%20el%20dióxido%20de%20carbono>.

WWF España. (2024, 16 de octubre). El sistema alimentario industrial es el principal impulsor de la pérdida de la naturaleza. WWF España. Disponible nov-2025. <https://www.wwf.es/informate/actualidad/?68480/El-sistema-alimentario-industrial-es-el-principal-impulsor-de-la-perdida-de-la-naturaleza>

WWF España. (s. f.). Analizamos los sistemas alimentarios de más de 100 países. WWF España. Disponible nov-2025. <https://www.wwf.es/?68120/Analizamos-los-sistemas-alimentarios-de-mas-de-100-paises#:~:text=Los%20sistemas%20alimentarios%20insostenibles%20son,de%20gases%20de%20efecto%20invernadero>

WWF España. (s. f.). Una dieta para tu salud y la del planeta. WWF España. Disponible noviembre 2025. https://www.wwf.es/nuestro_trabajo/alimentos/una_dieta_para_tu_salud_y_la_del_planeta/

ANEXO I. REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES

ENERGÍA

Categoría	Grupo	Edad_min	Edad_max	Género	Energía (kcal/día) Actividad física media	Energía (kcal/día) Actividad física baja	Energía (kcal/día) Actividad física alta
Energía	Lactantes	0,5	1	Masculino	950	855	1140
Energía	Lactantes	0,5	1	Femenino	950	855	1140
Energía	Niños	1	3	Masculino	1250	1125	1500
Energía	Niños	1	3	Femenino	1250	1125	1500
Energía	Niños	4	5	Masculino	1700	1530	2040
Energía	Niños	4	5	Femenino	1700	1530	2040
Energía	Niños	6	9	Masculino	2000	1800	2400
Energía	Niños	6	9	Femenino	2000	1800	2400
Energía	Niños	10	12	Masculino	2450	2205	2940
Energía	Niños	10	12	Femenino	2300	2070	2760
Energía	Niños	13	15	Masculino	2750	2475	3300
Energía	Niños	13	15	Femenino	2500	2250	3000
Energía	Niños	16	19	Masculino	3000	2700	3600
Energía	Niños	16	19	Femenino	2300	2070	2760
Energía	Adultos	20	39	Masculino	3000	2700	3600
Energía	Adultos	20	39	Femenino	2300	2070	2760
Energía	Adultos	40	49	Masculino	2850	2565	3420
Energía	Adultos	40	49	Femenino	2185	1966,5	2622
Energía	Adultos	50	59	Masculino	2700	2430	3240
Energía	Adultos	50	59	Femenino	2075	1867,5	2490
Energía	Adultos	60	100	Masculino	2400	2160	2880
Energía	Adultos	60	100	Femenino	1875	1687,5	2250
Energía	Embarazada_Trimestre1			Femenino	70*	70*	70*
Energía	Embarazada_Trimestre2			Femenino	250*	250*	250*
Energía	Embarazada_Trimestre3			Femenino	500*	500*	500*
Energía	Mujer_Lactante			Femenino	500*	500*	500*

Nota: Los valores marcados con un asterisco (*) corresponden a un suplemento energético que debe ser añadido al requerimiento energético basal según el grupo de edad y género correspondiente.

MACRONUTRIENTES

Nutriente	Grupo	Edad	Género	AR	PRI	RI
Proteínas	Lactantes	7-11 meses	Masculino	1.12 g/kg bw al día	1.31 g/kg bw al día	NA
Proteínas	Lactantes	7-11 meses	Femenino	1.12 g/kg bw al día	1.31 g/kg bw al día	NA
Proteínas	Niños	12-17 meses	Masculino	0.95 g/kg bw al día	1.14 g/kg bw al día	NA
Proteínas	Niños	12-17 meses	Femenino	0.95 g/kg bw al día	1.14 g/kg bw al día	NA
Proteínas	Niños	18-23 meses	Masculino	0.85 g/kg bw al día	1.03 g/kg bw al día	NA
Proteínas	Niños	18-23 meses	Femenino	0.85 g/kg bw al día	1.03 g/kg bw al día	NA
Proteínas	Niños	2 años	Masculino	0.79 g/kg bw al día	0.97 g/kg bw al día	NA
Proteínas	Niños	2 años	Femenino	0.79 g/kg bw al día	0.97 g/kg bw al día	NA
Proteínas	Niños	3 años	Masculino	0.73 g/kg bw al día	0.9 g/kg bw al día	NA
Proteínas	Niños	3 años	Femenino	0.73 g/kg bw al día	0.9 g/kg bw al día	NA
Proteínas	Niños	4 años	Masculino	0.69 g/kg bw al día	0.86 g/kg bw al día	NA
Proteínas	Niños	4 años	Femenino	0.69 g/kg bw al día	0.86 g/kg bw al día	NA
Proteínas	Niños	5 años	Masculino	0.69 g/kg bw al día	0.85 g/kg bw al día	NA
Proteínas	Niños	5 años	Femenino	0.69 g/kg bw al día	0.85 g/kg bw al día	NA
Proteínas	Niños	6 años	Masculino	0.72 g/kg bw al día	0.89 g/kg bw al día	NA
Proteínas	Niños	6 años	Femenino	0.72 g/kg bw al día	0.89 g/kg bw al día	NA
Proteínas	Niños	7 años	Masculino	0.74 g/kg bw al día	0.91 g/kg bw al día	NA
Proteínas	Niños	7 años	Femenino	0.74 g/kg bw al día	0.91 g/kg bw al día	NA
Proteínas	Niños	8 años	Masculino	0.75 g/kg bw al día	0.92 g/kg bw al día	NA
Proteínas	Niños	8 años	Femenino	0.75 g/kg bw al día	0.92 g/kg bw al día	NA
Proteínas	Niños	9 años	Masculino	0.75 g/kg bw al día	0.92 g/kg bw al día	NA
Proteínas	Niños	9 años	Femenino	0.75 g/kg bw al día	0.92 g/kg bw al día	NA
Proteínas	Niños	10 años	Masculino	0.75 g/kg bw al día	0.91 g/kg bw al día	NA
Proteínas	Niños	10 años	Femenino	0.75 g/kg bw al día	0.91 g/kg bw al día	NA

Proteínas	Niños	11 años	Masculino	0.75 g/kg bw al día	0.91 g/kg bw al día	NA
Proteínas	Niños	11 años	Femenino	0.73 g/kg bw al día	0.9 g/kg bw al día	NA
Proteínas	Niños	12 años	Masculino	0.74 g/kg bw al día	0.9 g/kg bw al día	NA
Proteínas	Niños	12 años	Femenino	0.72 g/kg bw al día	0.89 g/kg bw al día	NA
Proteínas	Niños	13 años	Masculino	0.73 g/kg bw al día	0.9 g/kg bw al día	NA
Proteínas	Niños	13 años	Femenino	0.71 g/kg bw al día	0.88 g/kg bw al día	NA
Proteínas	Niños	14 años	Masculino	0.72 g/kg bw al día	0.89 g/kg bw al día	NA
Proteínas	Niños	14 años	Femenino	0.7 g/kg bw al día	0.87 g/kg bw al día	NA
Proteínas	Niños	15 años	Masculino	0.72 g/kg bw al día	0.88 g/kg bw al día	NA
Proteínas	Niños	15 años	Femenino	0.69 g/kg bw al día	0.85 g/kg bw al día	NA
Proteínas	Niños	16 años	Masculino	0.71 g/kg bw al día	0.87 g/kg bw al día	NA
Proteínas	Niños	16 años	Femenino	0.68 g/kg bw al día	0.84 g/kg bw al día	NA
Proteínas	Niños	17 años	Masculino	0.7 g/kg bw al día	0.86 g/kg bw al día	NA
Proteínas	Niños	17 años	Femenino	0.67 g/kg bw al día	0.83 g/kg bw al día	NA
Proteínas	Adultos	≥ 18 años	Masculino	0.66 g/kg bw al día	0.83 g/kg bw al día	NA
Proteínas	Adultos	≥ 18 años	Femenino	0.66 g/kg bw al día	0.83 g/kg bw al día	NA
Proteínas	Embarazada (1er trimestre)	≥ 18 años	Femenino	(+) 0.52 g/día	(+) 1 g/día	NA
Proteínas	Embarazada (2o trimestre)	≥ 18 años	Femenino	(+) 7.2 g/día	(+) 9 g/día	NA
Proteínas	Embarazada (3er trimestre)	≥ 18 años	Femenino	(+) 23 g/día	(+) 28 g/día	NA
Proteínas	Mujer_Lactante (0-6 meses post parto)	≥ 18 años	Femenino	(+) 15 g/día	(+) 19 g/día	NA
Proteínas	Mujer_Lactante (>6 meses post parto)	≥ 18 años	Femenino	(+) 10 g/día	(+) 13 g/día	NA
Carbohidratos	Lactantes	7-11 meses	Ambos	NA	NA	NA
Carbohidratos	Niños	1-17 años	Masculino	NA	NA	45-60 E%
Carbohidratos	Niños	1-17 años	Femenino	NA	NA	45-60 E%
Carbohidratos	Adultos	≥ 18 años	Masculino	NA	NA	45-60 E%
Carbohidratos	Adultos	≥ 18 años	Femenino	NA	NA	45-60 E%
Carbohidratos	Embarazada	≥ 18 años	Ambos	NA	NA	45-60 E%
Carbohidratos	Mujer_Lactante	≥ 18 años	Ambos	NA	NA	45-60 E%
Grasas	Lactantes	7-11 meses	Ambos	NA	NA	NA
Grasas	Niños	1 año	Ambos	NA	NA	35-40 E%
Grasas	Niños	2-3 años	Ambos	NA	NA	35-40 E%
Grasas	Niños	4-17 años	Ambos	NA	NA	20-35 E%
Grasas	Adultos	≥ 18 años	Ambos	NA	NA	20-35 E%
Grasas	Embarazada	≥ 18 años	Femenino	NA	NA	20-35 E%
Grasas	Mujer_Lactante	≥ 18 años	Femenino	NA	NA	20-35 E%

ANEXO II. CÓDIGO GAMS: CREACIÓN DE MENÚS

ECO SALUDABLES

SETS

i 'Lista de alimentos' /

Queso_Manchecho,
Requeson,
Leche_Vaca,
Yogur_Griego,
Mantequilla,
Margarina,
Huevo_Gallina,
Pollo,
Ternera,
Cerdo,
Cordero,
Lenguado,
Salmon,
Merluza,
Gambas,
Atun,
Mejillones,
Manzana,
Platano,
Naranja,
Pera,
Pina,
Uva,
Melocoton,
Aguacate,
Patata,
Cebolla,
Guisantes,
Tomate,
Judias_Verdes,
Lechuga,
Zanahoria,
Brocoli,

```

Setas,
Pan_Blanco_Barra,
Pan_Blanco_Molde,
Aceite_Oliva,
Arroz,
Pasta,
Quinoa,
Avena_Copos,
Lentejas,
Alubias,
Garbanzos,
Nueces,
Almendras,
Maiz
/
j 'Nutrientes'/Energia, Carbohidratos, Proteinas, Grasas/
k 'Impacto ambiental'/Huella_Carbono, Huella_Agua/
m 'Comidas' /Desayuno, Comida, Cena/
g 'Grupos de alimentos' / Lacteos, Carne_Huevos_Pescado,
Patatas_Legumbres_FrutosSecos, Verduras, Frutas, Cereales, Aceites_Grasas /
d 'dia' /Dia1, Dia2/
;

```

TABLE TNUTRI(i, j) 'Nutrientes de cada alimento'

	Energia	Carbohidratos	Proteinas	Grasas
Queso_Manchegeo	389	0.5	28.77	30.4
Requeson	102	3.3	12.31	4.3
Leche_Vaca	65	4.7	3.06	3.8
Yogur_Griego	139	5.4	6.4	10.2
Mantequilla	503	0	3.3	55.1
Margarina	363	0.4	1.62	40
Huevo_Gallina	150	0	12.5	11.1
Pollo	166	0	19.9	9.6
Ternera	255	0	16.7	21
Cerdo	272	0	16.6	23
Cordero	354	0	15.6	32.7
Lenguado	79	0	16.5	1.3
Salmon	182	0	18.4	12
Merluza	65	0	11.93	1.8
Gambas	75	0	16.5	0.86
Atun	119	0	22	3.3
Mejillones	61	0	10.8	1.9
Manzana	50	14	0.3	0

Platano	89	23.4	1.2	0.3
Naranja	38	10.6	0.8	0
Pera	45	12.9	0.4	0
Pina	49	12.7	0.5	0
Uva	68	17	0.6	0
Melocoton	39	10.4	0.6	0
Aguacate	137	6.7	1.5	12
Patata	73	16.9	2.2	0.2
Cebolla	26	7.1	1.125	0
Guisantes	67	13.06	5.6	0.5
Tomate	19	4.6	0.9	0.1
Judias_Verdes	12	3.13	1.188	0.1
Lechuga	16	2.9	1.125	0.6
Zanahoria	34	9.6	0.8	0.3
Brocoli	26	5.4	3	0.4
Setas	26	6.5	1.8	0.3
Pan_Blanco_Barra	240	50.5	8.3	1.6
Pan_Blanco_Molde	249	7.3	49.3	3.7
Aceite_Oliva	887	0	0	99.9
Arroz	387	86.2	7	0.9
Pasta	353	75.9	12.5	1.45
Quinoa	306	57.1	13.8	5.55
Avena_Copos	401	76.9	16.9	6.9
Lentejas	310	58.39	24.77	1.17
Alubias	250	61.34	22.23	1.34
Garbanzos	336	64.21	19.31	6.3
Nueces	595	8.5	14	63.28
Almendras	589	14.54	13.13	45.22
Maiz	392	88.3	8.4	0.92

;

TABLE AMBIENTAL(i, k) 'Impacto ambiental de cada alimento por 100gr de alimento normalizado'

	Huella_Carbono	Huella_Agua
Queso_Manchecho	0.268227065	0.211814121
Requeson	0.268227065	0.233282219
Leche_Vaca	0.043987086	0.065957731
Yogur_Griego	0.059402744	0.29995333
Mantequilla	0.334140436	0.370158011
Margarina	0.047619048	0.14994333
Huevo_Gallina	0.137745494	0.024268285
Pollo	0.13976325	0.286619108
Ternera	1.0	1.0

Cerdo	0.221818671	0.399959997
Cordero	1.0	0.579971998
Lenguado	0.780569007	0.003266884
Salmon	0.194158596	0.005267018
Merluza	0.1593523	0.006933796
Gambas	0.59569209	0.006933796
Atun	0.247124697	0.005267018
Mejillones	0.065274415	0.019934662
Manzana	0.003564703	0.046603107
Platano	0.012106538	0.052603507
Naranja	0.007667474	0.037269151
Pera	0.003564703	0.06060404
Pina	0.010963142	0.019934662
Uva	0.004909874	0.046603107
Melocoton	0.021051924	0.056603774
Aguacate	0.005649718	0.133275552
Patata	0.002421308	0.019067938
Cebolla	0.0	0.015934396
Guisantes	0.00968523	0.029935329
Tomate	0.010223298	0.014200947
Judias_Verdes	0.013989777	0.013267551
Lechuga	0.007801991	0.015734382
Zanahoria	0.000807103	0.014600973
Brocoli	0.028786656	0.015734382
Setas	0.115819209	0.039935996
Pan_Blanco_Barra	0.018025289	0.059937329
Pan_Blanco_Molde	0.038202852	0.107140476
Aceite_Oliva	0.209039548	0.0
Arroz	0.081920904	0.226615108
Pasta	0.025928168	0.166411094
Quinoa	0.029459241	0.086605774
Avena_Copos	0.018361582	0.106607107
Lentejas	0.027441485	0.003266884
Alubias	0.027441485	0.002933529
Garbanzos	0.027441485	0.002600173
Nueces	0.11622276	0.333288886
Almendras	0.11622276	0.666644443
Maiz	0.02259887	0.059937329

;

TABLE AMBIENTAL_GR(i, k) 'Impacto ambiental de cada alimento por 1gr de alimento'

Huella_Carbono Huella_Agua

Queso_Manchego	0.006866667	3.178
Requeson	0.006866667	3.5
Leche_Vaca	0.00131	0.9903
Yogur_Griego	0.001692	4.5
Mantequilla	0.0085	5.553
Margarina	0.0014	2.25
Huevo_Gallina	0.003633333	0.365
Pollo	0.003683333	4.3
Ternera	0.025	15
Cerdo	0.005716667	6
Cordero	0.025	8.7
Lenguado	0.0195625	0.05
Salmon	0.00503125	0.08
Merluza	0.00416875	0.105
Gambas	0.01498125	0.105
Atun	0.00634375	0.08
Mejillones	0.0018375	0.3
Manzana	0.000308333	0.7
Platano	0.00052	0.79
Naranja	0.00041	0.56
Pera	0.000308333	0.91
Pina	0.000491667	0.3
Uva	0.000341667	0.7
Melocoton	0.000741667	0.85
Aguacate	0.00036	2
Patata	0.00028	0.287
Cebolla	0.00022	0.24
Guisantes	0.00046	0.45
Tomate	0.000473333	0.214
Judias_Verdes	0.000566667	0.2
Lechuga	0.000413333	0.237
Zanahoria	0.00024	0.22
Brocoli	0.000933333	0.237
Setas	0.00309	0.6
Pan_Blanco_Barra	0.000666667	0.9
Pan_Blanco_Molde	0.001166667	1.608
Aceite_Oliva	0.0054	0.001
Arroz	0.00225	3.4
Pasta	0.0008625	2.497
Quinoa	0.00095	1.3
Avena_Copos	0.000675	1.6
Lentejas	0.0009	0.05
Alubias	0.0009	0.045

Garbanzos	0.0009	0.04
Nueces	0.0031	5
Almendras	0.0031	10
Maiz	0.00078	0.9
;		

TABLE TGRUPOS(i, g)'Clasificación de alimentos en grupos'

	Lacteos	Carne_Huevos_Pescado		
Patatas_Legumbres_FrutosSecos	Verduras	Frutas	Cereales	
Aceites_Grasas				
Queso_Mancheago	1	0		0
0 0 0		0		
Requeson	1	0		0
0 0 0		0		
Leche_Vaca	1	0		0
0 0 0		0		
Yogur_Griego	1	0		0
0 0 0		0		
Mantequilla	0	0		0
0 0 0		1		
Margarina	0	0		0
0 0 0		1		
Huevo_Gallina	0	1		0
0 0 0		0		
Pollo	0	1		0
0 0 0		0		
Ternera	0	1		0
0 0 0		0		
Cerdo	0	1		0
0 0 0		0		
Cordero	0	1		0
0 0 0		0		
Lenguado	0	1		0
0 0 0		0		
Salmon	0	1		0
0 0 0		0		
Merluza	0	1		0
0 0 0		0		
Gambas	0	1		0
0 0 0		0		
Atun	0	1		0
0 0 0		0		

	Mejillones		0		1		0
0	0	0	0	0			
	Manzana		0		0		0
0	1	0	0	0			
	Platano		0		0		0
0	1	0	0	0			
	Naranja		0		0		0
0	1	0	0	0			
	Pera		0		0		0
0	1	0	0	0			
	Pina		0		0		0
0	1	0	0	0			
	Uva		0		0		0
0	1	0	0	0			
	Melocoton		0		0		0
0	1	0	0	0			
	Aguacate		0		0		0
0	1	0	0	0			
	Patata		0		0		1
0	0	0	0	0			
	Cebolla		0		0		0
1	0	0	0	0			
	Guisantes		0		0		0
1	0	0	0	0			
	Tomate		0		0		0
1	0	0	0	0			
	Judias_Verdes		0		0		0
1	0	0	0	0			
	Lechuga		0		0		0
1	0	0	0	0			
	Zanahoria		0		0		0
1	0	0	0	0			
	Brocoli		0		0		0
1	0	0	0	0			
	Setas		0		0		0
1	0	0	0	0			
	Pan_Blanco_Barra		0		0		0
0	0	1	0	0			
	Pan_Blanco_Molde		0		0		0
0	0	1	0	0			
	Aceite_Oliva		0		0		0
0	0	0	0	1			

Arroz	0	0	0	0
0 0	1	0	0	0
Pasta	0	0	0	0
0 0	1	0	0	0
Quinoa	0	0	0	0
0 0	1	0	0	0
Avena_Copos	0	0	0	0
0 0	1	0	0	0
Lentejas	0	0	0	1
0 0	0	0	0	1
Alubias	0	0	0	1
0 0	0	0	0	1
Garbanzos	0	0	0	1
0 0	0	0	0	1
Nueces	0	0	0	1
0 0	0	0	0	1
Almendras	0	0	0	1
0 0	0	0	0	0
Maiz	0	0	0	0
0 0	1	0	0	0

TABLE TCOMIDAS(i, m) 'Disponibilidad de alimentos en diferentes tipos de comida'

	Desayuno	Comida	Cena
Queso_Manchecho	1	1	1
Requeson	1	0	0
Leche_Vaca	1	0	0
Yogur_Griego	0	0	1
Mantequilla	1	0	0
Margarina	1	0	0
Huevo_Gallina	1	1	1
Pollo	0	1	1
Ternera	0	1	1
Cerdo	0	1	1
Cordero	0	1	1
Lenguado	0	1	1
Salmon	0	1	1
Merluza	0	1	1
Gambas	0	1	1
Atun	0	1	1
Mejillones	0	1	1
Manzana	1	1	1

Platano	1	1	1
Naranja	1	1	1
Pera	1	1	1
Pina	1	1	1
Uva	1	1	1
Melocoton	1	1	1
Aguacate	1	1	1
Patata	0	1	1
Cebolla	0	1	1
Guisantes	0	1	1
Tomate	0	1	1
Judias_Verdes	0	1	1
Lechuga	0	1	1
Zanahoria	0	1	1
Brocoli	0	1	1
Setas	0	1	1
Pan_Blanco_Barra	1	1	1
Pan_Blanco_Molde	1	1	1
Aceite_Oliva	1	0	0
Arroz	0	1	1
Pasta	0	1	1
Quinoa	0	1	1
Avena_Copos	1	0	0
Lentejas	0	1	0
Alubias	0	1	0
Garbanzos	0	1	0
Nueces	1	1	0
Almendras	1	1	0
Maiz	0	1	1

;

PARAMETERS

ENE energia 'energia diaria recomendada' /2800/

CAR carbohidratos 'carbohidratos diarios recomendados' /358/

PRO proteinas 'proteinas diarias recomendadas' /159/

GRA grasas 'grasas diarias recomendadas' /76/

DIS(m) 'distribucion de la energia entre las comidas' /Desayuno 0.25, Comida 0.45, Cena 0.3 /

PORCION_RECOMENDADA 'porcion en gr recomendada' /

Queso_Manchecho 50

Requeson 50

Leche_Vaca 200

Yogur_Griego 250

Mantequilla	10
Margarina	10
Huevo_Gallina	120
Pollo	120
Ternera	120
Cerdo	120
Cordero	120
Lenguado	150
Salmon	150
Merluza	150
Gambas	150
Atun	150
Mejillones	160
Manzana	120
Platano	120
Naranja	120
Pera	120
Pina	120
Uva	120
Melocoton	120
Aguacate	40
Patata	150
Cebolla	100
Guisantes	50
Tomate	150
Judias_Verdes	150
Lechuga	150
Zanahoria	100
Brocoli	150
Setas	100
Pan_Blanco_Barra	70
Pan_Blanco_Molde	70
Aceite_Oliva	10
Arroz	100
Pasta	100
Quinoa	100
Avena_Copos	80
Lentejas	70
Alubias	70
Garbanzos	70
Nueces	20
Almendras	20
Maiz	80

```

/
LIM_MIN 'Factor de tolerancia para el límite inferior' /0.9/
LIM_MAX 'Factor de tolerancia para el límite inferior' /1.1/
LIM_NUMERO_ALIMENTOS(g) 'Número máximo de alimentos seleccionados por grupo por
día' /
    Lacteos                3
    Carne_Huevos_Pescado  3
    Patatas_Legumbres_FrutosSecos  0
    Verduras                3
    Frutas                  3
    Cereales                3
    Aceites_Grasas         2
/
LIM_NUMERO_ALIMENTOS_LEG /3/
;

VARIABLES
    x(i,m,d)              Gramos de alimento i en comida m
    z                      Funcion objetivo
    total_energia(d)      'Total de energía consumida'
    total_proteinas(d)    'Total de proteínas consumidas'
    total_grasas(d)       'Total de grasas consumidas'
    total_carbohidratos(d) 'Total de carbohidratos consumidos'
    impacto_hidraulico(d) 'huella hidráulica(L)'
    impacto_gei(d)        'huella emisiones co2e (kg)'
;

POSITIVE VARIABLES
    x(i,m,d)              Gramos de alimento i en comida m en dia d
;

BINARY VARIABLES
    y(i,m,d)              Indica si un alimento esta en una comida (1) o no lo
esta (0)
;

EQUATIONS
    obj 'funcion objetivo: minimizar el impacto ambiental',
    eq_energia_m_max(m,d) 'requerimiento de energia (maximo)',
    eq_energia_m_min(m,d) 'requerimiento de energia (minimo)',
    eq_carbohidratos_max(d) 'requerimiento maximo de carbohidratos',
    eq_carbohidratos_min(d) 'requerimiento minimo de carbohidratos',
    eq_proteinas_max(d) 'requerimiento maximo de proteinas',

```

```

eq_proteinas_min(d) 'requerimiento minimo de proteinas',
eq_grasas_max(d) 'requerimiento maximo de grasas',
eq_grasas_min(d) 'requerimiento minimo de grasas',
eq_disponibilidad(i, m, d) 'disponibilidad basada en TCOMIDAS',
eq_cantidad_minima(i, m, d) 'Cantidad minimasi el alimento está en la
comida',
eq_cantidad_maxima(i, m, d) 'Cantidad maxima si el alimento está en la
comida',
eq_limite_proteinas(m,d) 'maximo una proteina en cada comida',
eq_grasas_pan_desayuno(d) 'Si alguna grasa (aceite, mantequilla,
margarina), se requiere Pan_Blanco_Barra o Pan_Blanco_Molde en la comida',
eq_no_repetir_dia(i,d) 'No repetir ningun alimento en el mismo dia',
calc_total_energia(d) 'Ecuación para calcular el total de energía'
calc_total_proteinas(d) 'Ecuación para calcular el total de proteínas'
calc_total_grasas(d) 'Ecuación para calcular el total de grasas'
calc_total_carbohidratos(d) 'Ecuación para calcular el total de
carbohidratos'
eq_numero_alimentos_diario_min(g, d) 'Numero de porciones minimo de
alimentos por grupo diario',
eq_numero_alimentos_diario_max(g, d) 'Numero de porciones maximo de
alimentos por grupo diario',
eq_no_repetir_semana_carnes(i),
eq_no_repetir_semana_frutas(i),
eq_no_repetir_semana_verduras(i),
eq_no_repetir_semana_cereales(i),
calc_impacto_hidrico(d),
calc_impacto_gei(d);

obj..
z =E= SUM((i,m,d,k), AMBIENTAL(i, k) * x(i, m, d));

eq_energia_m_min(m,d)..
SUM(i, (TNUTRI(i, 'Energia') / 100) * x(i, m,d)) =G= DIS(m) * ENE *
LIM_MIN;

eq_energia_m_max(m,d)..
SUM(i, (TNUTRI(i, 'Energia') / 100) * x(i, m,d)) =L= DIS(m) * ENE *
LIM_MAX;

eq_carbohidratos_min(d)..
SUM((i,m), (TNUTRI(i, 'Carbohidratos') / 100) * x(i, m, d)) =G= CAR *
LIM_MIN;

```

eq_carbohidratos_max(d)..

$\text{SUM}((i,m), (\text{TNUTRI}(i, \text{'Carbohidratos'}) / 100) * x(i, m, d)) =L= \text{CAR} * \text{LIM_MAX};$

eq_proteinas_min(d)..

$\text{SUM}((i,m), (\text{TNUTRI}(i, \text{'Proteinas'}) / 100) * x(i, m, d)) =G= \text{PRO} * \text{LIM_MIN};$

eq_proteinas_max(d)..

$\text{SUM}((i,m), (\text{TNUTRI}(i, \text{'Proteinas'}) / 100) * x(i, m, d)) =L= \text{PRO} * \text{LIM_MAX};$

eq_grasas_min(d)..

$\text{SUM}((i,m), (\text{TNUTRI}(i, \text{'Grasas'}) / 100) * x(i, m, d)) =G= \text{GRA} * \text{LIM_MIN};$

eq_grasas_max(d)..

$\text{SUM}((i,m), (\text{TNUTRI}(i, \text{'Grasas'}) / 100) * x(i, m, d)) =L= \text{GRA} * \text{LIM_MAX};$

eq_disponibilidad(i, m, d)..

$x(i, m, d) =L= \text{TCOMIDAS}(i, m) * \text{PORCION_RECOMENDADA}(i) * \text{LIM_MAX};$

eq_cantidad_minima(i, m, d)..

$x(i, m, d) =G= \text{LIM_MIN} * \text{PORCION_RECOMENDADA}(i) * y(i, m, d);$

eq_cantidad_maxima(i, m, d)..

$x(i, m, d) =L= \text{LIM_MAX} * \text{PORCION_RECOMENDADA}(i) * y(i, m, d);$

eq_limite_proteinas(m,d)..

$\text{SUM}((i)\$TGRUPOS(i, \text{'Carne_Huevos_Pescado'}), y(i,m,d)) =L= 1;$

eq_grasas_pan_desayuno(d)..

$y(\text{'Aceite_Oliva'}, \text{'Desayuno'}, d) + y(\text{'Mantequilla'}, \text{'Desayuno'}, d) + y(\text{'Margarina'}, \text{'Desayuno'}, d) =L= y(\text{'Pan_Blanco_Barra'}, \text{'Desayuno'}, d) + y(\text{'Pan_Blanco_Molde'}, \text{'Desayuno'}, d);$

eq_no_repetir_dia(i,d)..

$\text{SUM}(m, y(i, m, d)) =L= 1;$

calc_total_energia(d)..

$\text{total_energia}(d) =E= \text{SUM}((i, m), (\text{TNUTRI}(i, \text{'Energia'}) / 100) * x(i, m, d));$

calc_total_proteinas(d)..

$\text{total_proteinas}(d) =E= \text{SUM}((i, m), (\text{TNUTRI}(i, \text{'Proteinas'}) / 100) * x(i, m, d));$

```
calc_total_grasas(d)..
    total_grasas(d) =E= SUM((i, m), (TNUTRI(i, 'Grasas') / 100) * x(i, m, d));
```

```
calc_total_carbohidratos(d)..
    total_carbohidratos(d) =E= SUM((i, m), (TNUTRI(i, 'Carbohidratos') / 100) *
x(i, m, d));
```

```
eq_no_repetir_semana_carnes(i)$ (TGRUPOS(i, 'Carne_Huevos_Pescado'))..
    SUM((m, d), y(i, m, d)) =L= 1;
```

```
eq_no_repetir_semana_frutas(i)$ (TGRUPOS(i, 'Frutas'))..
    SUM((m, d), y(i, m, d)) =L= 1;
```

```
eq_no_repetir_semana_verduras(i)$ (TGRUPOS(i, 'Verduras'))..
    SUM((m, d), y(i, m, d)) =L= 1;
```

```
eq_no_repetir_semana_cereales(i)$ (TGRUPOS(i, 'Cereales'))..
    SUM((m, d), y(i, m, d)) =L= 1;
```

```
eq_numero_alimentos_diario_min(g, d)..
    SUM((i, m)$ (TGRUPOS(i, g)), y(i, m, d)) =G= LIM_NUMERO_ALIMENTOS(g) - 1;
```

```
eq_numero_alimentos_diario_max(g, d)..
    SUM((i, m)$ (TGRUPOS(i, g)), y(i, m, d)) =L= LIM_NUMERO_ALIMENTOS(g) + 1;
```

```
calc_impacto_hidrico(d)..
    impacto_hidraulico(d) =E= SUM((i, m), AMBIENTAL_GR(i, 'Huella_Agua') *
x(i, m, d));
```

```
calc_impacto_gei(d)..
    impacto_gei(d) =E= SUM((i, m), AMBIENTAL_GR(i, 'Huella_Carbono') * x(i, m,
d));
```

* Modelo

```
MODEL MenuEcoSaludable /all/;
```

```
SOLVE MenuEcoSaludable USING MIP MINIMIZING z;
```

```
DISPLAY x.l, z.l, total_energia.l, total_proteinas.l, total_grasas.l,
total_carbohidratos.l, impacto_gei.l, impacto_hidraulico.l;
```

ANEXO III. CÓDIGO GAMS: HERRAMIENTA DE EVALUACIÓN

SETS

i 'Lista de alimentos' /

Queso_Manchecho,
Requeson,
Leche_Vaca,
Yogur_Griego,
Mantequilla,
Margarina,
Huevo_Gallina,
Pollo,
Ternera,
Cerdo,
Cordero,
Lenguado,
Salmon,
Merluza,
Gambas,
Atun,
Mejillones,
Manzana,
Platano,
Naranja,
Pera,
Pina,
Uva,
Melocoton,
Aguacate,
Patata,
Cebolla,
Guisantes,
Tomate,
Judias_Verdes,
Lechuga,
Zanahoria,
Brocoli,

```

Setas,
Pan_Blanco_Barra,
Pan_Blanco_Molde,
Aceite_Oliva,
Arroz,
Pasta,
Quinoa,
Avena_Copos,
Lentejas,
Alubias,
Garbanzos,
Nueces,
Almendras,
Maiz
/
j 'Nutrientes'/Energia, Carbohidratos, Proteinas, Grasas/
k 'Impacto ambiental'/Huella_Carbono, Huella_Agua/
;
```

TABLE TNUTRI(i, j) 'Nutrientes de cada alimento'

	Energia	Carbohidratos	Proteinas	Grasas
Queso_Manchecho	389	0.5	28.77	30.4
Requeson	102	3.3	12.31	4.3
Leche_Vaca	65	4.7	3.06	3.8
Yogur_Griego	139	5.4	6.4	10.2
Mantequilla	503	0	3.3	55.1
Margarina	363	0.4	1.62	40
Huevo_Gallina	150	0	12.5	11.1
Pollo	166	0	19.9	9.6
Ternera	255	0	16.7	21
Cerdo	272	0	16.6	23
Cordero	354	0	15.6	32.7
Lenguado	79	0	16.5	1.3
Salmon	182	0	18.4	12
Merluza	65	0	11.93	1.8
Gambas	75	0	16.5	0.86
Atun	119	0	22	3.3
Mejillones	61	0	10.8	1.9
Manzana	50	14	0.3	0
Platano	89	23.4	1.2	0.3
Naranja	38	10.6	0.8	0
Pera	45	12.9	0.4	0
Pina	49	12.7	0.5	0

Uva	68	17	0.6	0
Melocoton	39	10.4	0.6	0
Aguacate	137	6.7	1.5	12
Patata	73	16.9	2.2	0.2
Cebolla	26	7.1	1.125	0
Guisantes	67	13.06	5.6	0.5
Tomate	19	4.6	0.9	0.1
Judias_Verdes	12	3.13	1.188	0.1
Lechuga	16	2.9	1.125	0.6
Zanahoria	34	9.6	0.8	0.3
Brocoli	26	5.4	3	0.4
Setas	26	6.5	1.8	0.3
Pan_Blanco_Barra	240	50.5	8.3	1.6
Pan_Blanco_Molde	249	7.3	49.3	3.7
Aceite_Oliva	887	0	0	99.9
Arroz	387	86.2	7	0.9
Pasta	353	75.9	12.5	1.45
Quinoa	306	57.1	13.8	5.55
Avena_Copos	401	76.9	16.9	6.9
Lentejas	310	58.39	24.77	1.17
Alubias	250	61.34	22.23	1.34
Garbanzos	336	64.21	19.31	6.3
Nueces	595	8.5	14	63.28
Almendras	589	14.54	13.13	45.22
Maiz	392	88.3	8.4	0.92

;

TABLE AMBIENTAL_GR(i, k) 'Impacto ambiental de cada alimento por 1gr de alimento'

	Huella_Carbono	Huella_Agua
Queso_Mancheego	0.006866667	3.178
Requeson	0.006866667	3.5
Leche_Vaca	0.00131	0.9903
Yogur_Griego	0.001692	4.5
Mantequilla	0.0085	5.553
Margarina	0.0014	2.25
Huevo_Gallina	0.003633333	0.365
Pollo	0.003683333	4.3
Ternera	0.025	15
Cerdo	0.005716667	6
Cordero	0.025	8.7
Lenguado	0.0195625	0.05
Salmon	0.00503125	0.08

Merluza	0.00416875	0.105
Gambas	0.01498125	0.105
Atun	0.00634375	0.08
Mejillones	0.0018375	0.3
Manzana	0.000308333	0.7
Platano	0.00052	0.79
Naranja	0.00041	0.56
Pera	0.000308333	0.91
Pina	0.000491667	0.3
Uva	0.000341667	0.7
Melocoton	0.000741667	0.85
Aguacate	0.00036	2
Patata	0.00028	0.287
Cebolla	0.00022	0.24
Guisantes	0.00046	0.45
Tomate	0.000473333	0.214
Judias_Verdes	0.000566667	0.2
Lechuga	0.000413333	0.237
Zanahoria	0.00024	0.22
Brocoli	0.000933333	0.237
Setas	0.00309	0.6
Pan_Blanco_Barra	0.000666667	0.9
Pan_Blanco_Molde	0.001166667	1.608
Aceite_Oliva	0.0054	0.001
Arroz	0.00225	3.4
Pasta	0.0008625	2.497
Quinoa	0.00095	1.3
Avena_Copos	0.000675	1.6
Lentejas	0.0009	0.05
Alubias	0.0009	0.045
Garbanzos	0.0009	0.04
Nueces	0.0031	5
Almendras	0.0031	10
Maiz	0.00078	0.9
;		

PARAMETERS

```
MENU_EVALUACION 'menu a evaluar'/
Leche_Vaca      180
Pan_Blanco_Barra 70
Aceite_Oliva    5
Copos_Avena     80
Pasta           80
```

Queso_Manchecho 55
 Ternera 120
 Naranja 120
 Manzana 120
 Huevo_Gallina 120
 Lechuga 100
 Tomate 110
 Platano 120
 Nueces 10
 /

**Parámetros energéticos y de macronutrientes recomendados*

ENE energía 'energía diaria recomendada' /2200/

CAR carbohidratos 'carbohidratos diarios recomendados' /303/

PRO proteínas 'proteínas diarias recomendadas' /83/

GRA grasas 'grasas diarias recomendadas' /73/

impacto_carbono_opt /2.69/

impacto_carbono_prom /5.33/

impacto_agua_opt /1664/

impacto_agua_prom /6700/

energia

carbohidratos

proteinas

grasas

impacto_carbono

impacto_hidrico

variacion_energia

variacion_carbohidratos

variacion_proteinas

variacion_grasas

**Puntuación sobre 3 estrellas*

puntuacion_nutri

puntuacion_ambiental

;

SCALAR

contador_fuera_rango 'Contador de valores fuera del rango' /0/;

** Cálculo de cantidades de energía y macronutrientes*

```
energia=SUM(i, (MENU_EVALUACION(i) * TNUTRI(i, 'Energia') / 100));
carbohidratos = SUM(i, (MENU_EVALUACION(i) * TNUTRI(i, 'Carbohidratos') /
100));
proteinas = SUM(i, (MENU_EVALUACION(i) * TNUTRI(i, 'Proteinas') / 100));
grasas = SUM(i, (MENU_EVALUACION(i) * TNUTRI(i, 'Grasas') / 100));
```

**Cálculo de impacto ambiental*

```
impacto_carbono = SUM(i, (MENU_EVALUACION(i) * AMBIENTAL_GR(i,
'Huella_Carbono')));
impacto_hidrico = SUM(i, (MENU_EVALUACION(i) * AMBIENTAL_GR(i,
'Huella_Agua')));
```

SCALAR

```
porcentaje_energia, porcentaje_carbohidratos, porcentaje_proteinas,
porcentaje_grasas;
```

** Calcular las variaciones porcentuales*

```
variacion_energia = (energia / ENE - 1) * 100;
variacion_carbohidratos = ((carbohidratos) / CAR - 1) * 100;
variacion_proteinas = (proteinas / PRO - 1) * 100;
variacion_grasas = (grasas / GRA - 1) * 100;
```

** Actualizar el contador y generar mensajes*

**Energia*

```
IF (variacion_energia > 10 OR variacion_energia < -10,
    contador_fuera_rango = contador_fuera_rango + 1;
    IF (variacion_energia > 0,
        DISPLAY 'Energia está un' variacion_energia '% por encima de lo
recomendado.';
        ELSE
            variacion_energia = -1*variacion_energia;
            DISPLAY 'Energia está un' variacion_energia '% por debajo de lo
recomendado.';
    );
);
```

**Carbohidratos*

```
IF (variacion_carbohidratos > 10 OR variacion_carbohidratos < -10,
    contador_fuera_rango = contador_fuera_rango + 1;
    IF (variacion_carbohidratos > 0,
        DISPLAY 'Carbohidratos está un' variacion_carbohidratos '% por encima
de lo recomendado.';
```

```
ELSE
    variacion_carbohidratos = -1*variacion_carbohidratos;
    DISPLAY 'Carbohidratos está un' variacion_carbohidratos '% por debajo
de lo recomendado.';
);
);
*Proteinas
IF (variacion_proteinas > 10 OR variacion_proteinas < -10,
    contador_fuera_rango = contador_fuera_rango + 1;
    IF (variacion_proteinas > 0,
        DISPLAY 'Proteinas está un' variacion_proteinas '% por encima de lo
recomendado.';
    ELSE
        variacion_proteinas = -1*variacion_proteinas;
        DISPLAY 'Proteinas está un' variacion_proteinas '% por debajo de lo
recomendado.';
    );
);
*Grasas
IF (variacion_grasas > 10 OR variacion_grasas < -10,
    contador_fuera_rango = contador_fuera_rango + 1;
    IF (variacion_grasas > 0,
        DISPLAY 'Grasas está un' variacion_grasas '% por encima de lo
recomendado.';
    ELSE
        variacion_grasas = -1*variacion_grasas;
        DISPLAY 'Grasas está un' variacion_grasas '% por debajo de lo
recomendado.';
    );
);
);
*Puntuación nutritiva : Asignar puntuación nutritiva según el contador
IF (contador_fuera_rango = 0,
    puntuacion_nutri = 3;
);
IF (contador_fuera_rango >= 1 AND contador_fuera_rango <= 2,
    puntuacion_nutri = 2;
);
IF (contador_fuera_rango > 2,
    puntuacion_nutri = 1;
```

);

**Puntuación ambiental*

```
IF (impacto_carbono > impacto_carbono_prom AND impacto_hidrico >
    impacto_agua_prom,
    puntuacion_ambiental = 1;
```

ELSE

```
    IF (impacto_carbono <= 1.3 * impacto_carbono_opt AND impacto_hidrico <= 1.3
    * impacto_agua_opt,
        puntuacion_ambiental = 3;
```

ELSE

```
        puntuacion_ambiental = 2;
```

);

);

```
DISPLAY energia, carbohidratos, proteinas, grasas, puntuacion_ambiental,
    puntuacion_nutri, contador_fuera_rango, impacto_carbono, impacto_hidrico;
```