



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO DIAGNÓSTICO DE LA POBREZA ENERGÉTICA

Autor: Carla Zarzosa Ruiz

Director: Dr. Antonio García y de Garmendia

Madrid

Julio de 2025

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título Diagnóstico de la pobreza energética 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.: Carla Zarzosa Ruiz

Fecha: 09/ 07/ 2025

Autorizada la entrega del proyecto
EL DIRECTOR DEL PROYECTO



Fdo.: Dr. Antonio García y de Garmendia

Fecha: 09/ 07/ 2025



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO DIAGNÓSTICO DE LA POBREZA ENERGÉTICA

Autor: Carla Zarzosa Ruiz

Director: Dr Antonio García de Garmendia

Madrid

Julio de 2025

DIAGNÓSTICO DE LA POBREZA ENERGÉTICA

Autor: Zarzosa Ruiz, Carla.

Director: García y de Garmendia, Antonio.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas.

RESUMEN DEL PROYECTO

Introducción

La pobreza energética, entendida como la imposibilidad de un hogar para satisfacer sus necesidades energéticas básicas, se ha consolidado como uno de los desafíos sociales y energéticos más urgentes en Europa y, particularmente, en España. Este fenómeno, vinculado no solo a la falta de ingresos sino también a factores estructurales como la baja eficiencia térmica de las viviendas y el coste de la energía, presenta importantes consecuencias en la salud, el bienestar y la inclusión social de los ciudadanos. Uno de los principales impedimentos para hacer frente a este fenómeno radica en la dificultad de identificar a los hogares realmente afectados.

Planteamiento del problema

En la práctica, muchos hogares afectados no están registrados formalmente como vulnerables, no acceden a ayudas públicas o no cumplen con criterios administrativos clásicos. De este modo, millones de personas sufren el fenómeno sin ser detectadas, lo que impide una intervención efectiva. Los indicadores disponibles son útiles, pero insuficientes si no se integran en un enfoque diagnóstico más amplio. Las políticas públicas, por tanto, se enfrentan a un problema crítico: la identificación temprana y precisa de los hogares en pobreza energética, sin lo cual no es posible actuar de forma justa ni eficiente.

Estado de la técnica

La literatura académica y técnica ha propuesto múltiples enfoques para medir la pobreza energética, clasificados entre indicadores objetivos y subjetivos. También se han desarrollado modelos basados en el gasto insuficiente, el ingreso mínimo estándar (MIS), o la combinación de bajos ingresos con altos costes (LIHC). Sin embargo, existe una controversia metodológica sobre qué indicadores reflejan mejor el fenómeno en cada país, y se reconoce ampliamente que muchos enfoques no capturan adecuadamente las situaciones reales debido a limitaciones en los datos, diferencias climáticas o rigideces normativas. En España, a pesar de avances como la Estrategia Nacional contra la Pobreza Energética, persisten brechas significativas en la capacidad de detección, especialmente a nivel autonómico y municipal.

Objeto del proyecto

Ante esta situación, el presente Trabajo de Fin de Grado pretende elaborar un diagnóstico de la pobreza energética en España evaluando aspectos climáticos, legislativos y constructivos. Por otro lado, se pretende diseñar un proyecto de consultoría orientado a entidades del sector público, cuyo propósito es proporcionar un servicio eficaz para la identificación de hogares en situación de pobreza energética con entregables como mapas detallados o medidas adaptadas al contexto del proyecto.

El servicio se sirve de un modelo predictivo diseñado y validado específicamente en el marco de este trabajo de fin de grado, que permite estimar de forma automatizada la probabilidad de vulnerabilidad energética a partir de datos accesibles.

El modelo combina un análisis detallado de los principales indicadores oficiales de pobreza energética (objetivos y subjetivos), variables explicativas de tipo socioeconómico, climático y constructivo y una arquitectura estadística basada en regresión logística, entrenada con microdatos reales de encuestas del INE para garantizar su solidez.

El objetivo es ofrecer una solución técnica y operativa para la identificación y priorización de hogares vulnerables, facilitando la toma de decisiones en políticas públicas y la planificación de intervenciones.

Metodología

En primer lugar, se realizó una revisión crítica de la literatura y de los principales indicadores utilizados para medir la pobreza energética, destacando las limitaciones de los enfoques tradicionales y la importancia de adaptar las métricas al contexto español. Se analizaron los diferentes métodos de cuantificación, tanto objetivos como subjetivos, y se subrayó la necesidad de un enfoque multidimensional que contemple la diversidad de situaciones y territorios.

Después, el trabajo adoptó un enfoque cuantitativo multidimensional. Se recopiló información socioeconómica (ingresos familiares, tasas de empleo, nivel educativo, régimen de tenencia de la vivienda, etc.), datos climáticos (grados-día de calefacción y de refrigeración por zona) y constructivos provenientes de fuentes oficiales (Instituto Nacional de Estadística, Eurostat, catastro, entre otras). Se realizó un diagnóstico a nivel nacional y por comunidad autónoma.

Así mismo, se calcularon los principales indicadores oficiales para cada comunidad autónoma y a nivel nacional, para entender el contexto de la pobreza energética en el país en la actualidad.

Con esta información, se construyó una variable objetivo-binaria que identifica a un hogar en situación de pobreza energética. Dicha variable se define combinando indicadores objetivos y subjetivos oficialmente reconocidos, de modo que un hogar se considera pobre energéticamente si cumple ciertos criterios.

Esta variable permitió entrenar un modelo estadístico de clasificación. En concreto, se desarrolló un modelo de regresión logística estructurado en tres grupos de variables explicativas: dimensión socioeconómica, climática y constructiva. Este modelo estima la probabilidad de que un hogar sea pobre energéticamente.

A continuación, se examinó el marco normativo y las políticas públicas vigentes, tanto a nivel estatal como autonómico. Se estudiaron las principales estrategias y programas de apoyo, como el bono social eléctrico, las ayudas a la rehabilitación y las iniciativas europeas de lucha contra la pobreza energética. Este análisis permitió identificar los avances logrados y las carencias existentes en la protección de los hogares vulnerables, así como la relevancia de la coordinación entre administraciones y la adaptación de las políticas a las características locales.

También se estudiaron nuevas metodologías para la evaluación del confort térmico, adaptadas a las singulares condiciones climáticas en España, superando las limitaciones de los indicadores internacionales tradicionales.

Posteriormente, se elaboró un estudio más detallado de las características constructivas de las viviendas en España, aspecto fundamental para entender la incidencia de la pobreza energética. Se analizó el estado del parque de viviendas español en relación con variables

como la antigüedad del edificio, los materiales de construcción, el tipo de aislamiento, la orientación y los sistemas de calefacción y agua caliente sanitaria.

Seguidamente, se estiman los coeficientes de las variables explicativas del modelo estadístico empleando datos provenientes de la Encuesta de Presupuestos Familiares del INE. El proceso de modelado incluye técnicas de preprocesamiento y selección de variables para garantizar la robustez estadística. Ciertas variables categóricas se binarizan o recodifican (por ejemplo, se distinguió entre zonas urbanas y rurales, tipo de calefacción eléctrica vs. no eléctrica, etc.), y se normalizan variables numéricas continuas.

El modelo resultante se validó mediante métodos de validación cruzada y métricas de desempeño, confirmando su fiabilidad para identificar casos de pobreza energética. Adicionalmente, para aumentar la sensibilidad del diagnóstico, se implementó un mecanismo de clasificación extendida: en los casos en que la probabilidad estimada por el modelo caía en un intervalo intermedio (45–55%), se incorporó una pregunta adicional al usuario relativa a indicadores críticos. Si el hogar responde afirmativamente a alguna de estas cuestiones, se clasificaba finalmente como pobre energético, robusteciendo así la detección en situaciones límite.

Adicionalmente, se desarrolló un portal web interactivo que implementa el modelo propuesto mediante tecnologías open source (Python/Flask) para permitir que los usuarios introduzcan los datos de un hogar y obtengan automáticamente un diagnóstico sobre si dicho hogar se encuentra en pobreza energética. Para validar la utilidad del modelo, se aplicó a la Comunidad de Madrid.

Por otro lado, se analizaron diferentes soluciones innovadoras actualmente activas en el país, como la rehabilitación energética, el autoconsumo y el asesoramiento personalizado, valorando su impacto y viabilidad en el contexto nacional.

Finalmente, se presentó y evaluó un servicio de consultoría dirigido a administraciones públicas y entidades sociales. Este servicio incluye el diagnóstico de la situación energética de los hogares, la propuesta de intervenciones personalizadas y el acompañamiento en la gestión de ayudas y subvenciones. Se elaboró un estudio de viabilidad económica.

Resultados

- Se calcularon los principales indicadores de pobreza energética para cada CCAA con los últimos datos disponibles en el INE.
- Se desarrollaron y probaron 3 innovadores indicadores dinámicos del confort térmico que capturan las particularidades de España: el Índice de Confort Térmico Horario (ICTH), el Factor de Adaptación Estacional (FAE) y el Índice de Disconfort Acumulado (IDA).

$$ICTH = \frac{T_{int} - T_{base}}{\Delta T_{max}} * \left(1 + \frac{H_{rel}}{100}\right) \quad [Eq 10]$$

$$FAE = \frac{T_{ext,media} - T_{umbral}}{T_{umbral}} \quad [Eq 11]$$

- Se realizó un diagnóstico del parque de viviendas español relativo a eficiencia energética. Se pone de manifiesto que la baja calidad constructiva y la falta de eficiencia energética en el parque inmobiliario español, especialmente en viviendas antiguas o mal rehabilitadas, incrementan significativamente la

vulnerabilidad de los hogares frente a condiciones climáticas adversas y elevadas facturas energéticas.

- Se desarrolló un modelo estadístico capaz de calcular la probabilidad de que un hogar sufra pobreza energética a partir de una serie de variables socioeconómicas, constructivas y climáticas. El modelo tiene capacidad para identificar hogares no pobres (precisión del 74 %, recall del 77 %), y para identificar correctamente a los pobres energéticos (precisión del 43 %).

$$\begin{aligned}
 \text{logit}(P(Y_{EPFA} = 1)) &= 0.4685 - 0.0768 \cdot S1 + 0.0000 \cdot S2 + 0.0000 \cdot S4 \\
 &+ 0.0181 \cdot V3 + 0.0000 \cdot V4 + 0.0000 \cdot V6 - 0.0609 \\
 &\cdot ES_{PROPIETARIO} - 0.2345 \cdot ES_{EDIFICIO_{10PLUS}} + 0.1174 \\
 &\cdot ES_{RURAL} - 0.0348 \cdot CALEF_{ESELECTRICA} - 0.1010 \\
 &\cdot ACS_{ESELECTRICA} - 0.0001 \cdot CDD + 0.0000 \cdot HDD \text{ [Eq 13]}
 \end{aligned}$$

Tabla 1. Interpretación de coeficientes estimados. Fuente: Elaboración propia, 2025.

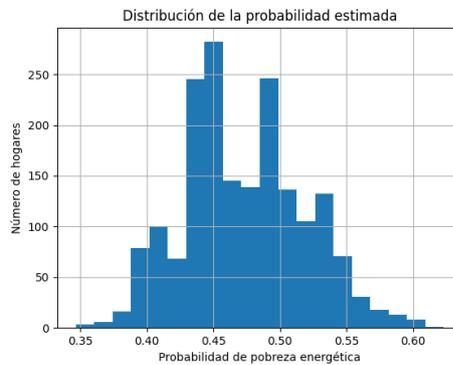
Variable	Coficiente	OR (e^{coef})	Interpretación estadística
S1 (ingresos)	-0.0768	0.926	Por cada nivel superior de ingresos, la razón de probabilidades se reduce un 7,4 %.
V3 (antigüedad)	+0.0181	1.018	Cada categoría más antigua de vivienda incrementa la razón de probabilidades en un 1,8 %.
ES_PROPIETARIO	-0.0609	0.941	Ser propietario reduce la razón de probabilidades en un 5,9 % respecto a quienes no lo son.
ES_EDIFICIO_10 PLUS	-0.2345	0.791	Vivir en un edificio con más de 10 viviendas reduce la razón de probabilidades en un 20,9 %.
ES_RURAL	+0.1174	1.124	Vivir en zona rural incrementa las probabilidades en un 12,4 %.

- Se implementó este modelo en una web para ser más accesible al usuario.

Figura 1. Captura de la web. Fuente: Elaboración propia, 2025.

- Se realizó un caso de uso de la Comunidad de Madrid. Se obtuvo que un 27,77 % de los hogares fueron clasificados como en situación de pobreza energética. En términos absolutos, se identificaron 512 hogares pobres energéticos frente a 1332 no pobres, sobre un total de 1844 observaciones.

Figura 2. Histograma generado con Python. Fuente: Elaboración propia, 2025.



- Se planteó y estudió un servicio de consultoría para las instituciones públicas con el objetivo de identificar personas que sufren pobreza energética, obteniendo un VAN superior a 430.000 € y una Tasa Interna de Retorno del 218 %, con un periodo de recuperación de la inversión de solo 1 año.

Figura 3. Diagrama de flujo del servicio. Fuente: elaboración propia, 2025.



Conclusiones

Este proyecto de fin de grado ha logrado diseñar una respuesta integral para enfrentar la pobreza energética en España, empleando una perspectiva técnica sustentada en los diversos campos de la Ingeniería Industrial.

Se ha desarrollado un modelo estadístico robusto, acompañado por una herramienta tecnológica operativa y la estructuración de un servicio de consultoría listo para aplicarse en entornos reales, cubriendo así los principales requerimientos de las entidades públicas en este ámbito. Todo el planteamiento se ha realizado bajo un enfoque multidimensional, garantizando viabilidad económica y facilidad de escalabilidad operativa.

La solución propuesta facilita una identificación y priorización más precisa de los hogares en situación de vulnerabilidad. Asimismo, pone de manifiesto la capacidad de trasladar

los avances académicos a la práctica, proporcionando instrumentos efectivos para la toma de decisiones.

DIAGNOSIS OF ENERGY POVERTY

Author: Zarzosa Ruiz, Carla.

Director: García y de Garmendia, Antonio.

Collaborating Entity: ICAI – Comillas Pontifical University

PROJECT SUMMARY

Introduction

Energy poverty, understood as the inability of a household to meet its basic energy needs, has become one of the most urgent social and energy-related challenges in Europe, particularly in Spain. This phenomenon is linked not only to a lack of income but also to structural factors such as poor thermal efficiency in housing and high energy costs, with significant consequences for citizens' health, well-being, and social inclusion. One of the main barriers to addressing this issue lies in the difficulty of identifying the truly affected households.

Problem Statement

In practice, many affected households are not formally registered as vulnerable, do not access public assistance, or do not meet classic administrative criteria. As a result, millions of people suffer from this condition without being detected, preventing effective intervention. Existing indicators are helpful but insufficient unless integrated into a broader diagnostic approach. Therefore, public policies face a critical challenge: the early and accurate identification of energy-poor households, without which fair and efficient action is not possible.

State of the Art

Academic and technical literature has proposed multiple approaches to measure energy poverty, classified into objective and subjective indicators. Models based on insufficient expenditure, Minimum Income Standards (MIS), or Low Income High Costs (LIHC) frameworks have also been developed. However, there is ongoing methodological debate about which indicators best reflect the phenomenon in each country, and it is widely acknowledged that many approaches fail to capture real-world situations due to data limitations, climatic differences, or regulatory constraints. In Spain, despite progress such as the National Strategy against Energy Poverty, significant gaps remain in detection capacity, especially at the regional and municipal levels.

Project Objective

Given this context, this Final Degree Project aims to develop a diagnosis of energy poverty in Spain by evaluating climatic, legislative, and construction-related aspects. Additionally, the goal is to design a consultancy service for public sector entities, aimed at providing an effective tool for identifying households in energy poverty, with deliverables such as detailed maps and project-context-specific measures.

The service relies on a predictive model specifically designed and validated within the framework of this project, which estimates the likelihood of energy vulnerability using accessible data.

The model combines an in-depth analysis of official energy poverty indicators (both objective and subjective), explanatory variables of a socioeconomic, climatic, and

construction nature, and a statistical architecture based on logistic regression, trained with real microdata from INE surveys to ensure robustness. The objective is to offer a technical and operational solution for identifying and prioritizing vulnerable households, supporting decision-making in public policy and intervention planning.

Methodology

The first step involved a critical review of the literature and the main indicators used to measure energy poverty, highlighting the limitations of traditional approaches and the need to adapt metrics to the Spanish context. Various quantification methods (objective and subjective) were analyzed, emphasizing the necessity for a multidimensional approach that accounts for diverse situations and territories.

Subsequently, a multidimensional quantitative approach was adopted. Socioeconomic information (household income, employment rates, education level, housing tenure, etc.), climatic data (heating and cooling degree days by zone), and construction data from official sources (INE, Eurostat, cadastre, among others) were collected. A national and regional diagnosis was conducted.

Official energy poverty indicators were calculated for each autonomous community and at the national level to understand the current context of the issue. With this information, a binary target variable was created to identify energy-poor households. This variable combines officially recognized objective and subjective indicators, such that a household is considered energy-poor if it meets certain criteria.

This variable allowed the training of a statistical classification model. Specifically, a logistic regression model was developed, structured around three groups of explanatory variables: socioeconomic, climatic, and construction-related. The model estimates the probability of a household experiencing energy poverty.

Next, the current legal framework and public policies were examined at both the national and regional levels. Key strategies and support programs, such as the electricity social tariff, renovation grants, and European anti-poverty initiatives, were analyzed. This review identified progress made and existing gaps in protecting vulnerable households, as well as the importance of coordination among administrations and policy adaptation to local characteristics.

New methodologies for assessing thermal comfort were also studied, tailored to Spain's unique climatic conditions, overcoming the limitations of traditional international indicators.

A detailed study of Spanish housing construction characteristics was then conducted—an essential aspect in understanding the impact of energy poverty. The state of Spain's housing stock was analyzed based on variables such as building age, construction materials, insulation type, orientation, and heating and domestic hot water systems.

Next, the model's explanatory coefficients were estimated using data from the INE Household Budget Survey. The modeling process included preprocessing and variable selection techniques to ensure statistical robustness. Certain categorical variables were binarized or recoded (e.g., urban vs. rural areas, electric vs. non-electric heating), and continuous numerical variables were normalized.

The resulting model was validated using cross-validation methods and performance metrics, confirming its reliability for identifying cases of energy poverty. To increase diagnostic sensitivity, an extended classification mechanism was implemented: when the

model's predicted probability fell in the intermediate range (45–55%), an additional user question about critical indicators was included. If answered affirmatively, the household was classified as energy-poor, strengthening detection in borderline cases.

An interactive web portal was also developed, implementing the proposed model using open-source technologies (Python/Flask), allowing users to input household data and automatically receive a diagnosis on energy poverty status. To validate the model's utility, it was applied to the Community of Madrid.

Furthermore, various innovative solutions currently active in Spain, such as energy renovations, self-consumption, and personalized advisory services, were analyzed for their impact and feasibility in the national context.

Finally, a consultancy service for public administrations and social entities was proposed and evaluated. This service includes diagnosing household energy situations, proposing tailored interventions, and assisting with managing grants and subsidies. A financial feasibility study was conducted.

Results

- Main energy poverty indicators were calculated for each autonomous community using the latest available INE data.
- Three innovative dynamic thermal comfort indicators were developed and tested, capturing Spain's specific conditions: Hourly Thermal Comfort Index (ICTH), Seasonal Adaptation Factor (FAE) and Cumulative Discomfort Index (IDA).

$$ICTH = \frac{T_{int} - T_{base}}{\Delta T_{max}} * \left(1 + \frac{H_{rel}}{100}\right) \quad [Eq 10]$$

$$FAE = \frac{T_{ext,media} - T_{umbral}}{T_{umbral}} \quad [Eq 11]$$

- A diagnosis of Spain's housing stock regarding energy efficiency was conducted. It revealed that poor construction quality and lack of energy efficiency, especially in old or poorly renovated homes, greatly increase household vulnerability to adverse weather and high energy bills.
- A statistical model was developed to estimate the probability that a household suffers from energy poverty based on socioeconomic, construction-related, and climatic variables. The model can identify non-poor households with 74% precision and 77% recall, and correctly identify energy-poor households with 43% precision.

$$\begin{aligned} \text{logit}(P(Y_{EPFA} = 1)) &= 0.4685 - 0.0768 \cdot S1 + 0.0000 \cdot S2 + 0.0000 \cdot S4 + 0.0181 \\ &\cdot V3 + 0.0000 \cdot V4 + 0.0000 \cdot V6 - 0.0609 \cdot IS_{OWNER} - 0.2345 \\ &\cdot IS_{BUILDING\ 10\ PLUS} + 0.1174 \cdot IS_{RURAL} - 0.0348 \\ &\cdot HEATER_{ISELECTRIC} - 0.1010 \cdot HOTWATER_{ISELECTRIC} - 0.0001 \\ &\cdot CDD + 0.0000 \cdot HDD \quad [Eq 13] \end{aligned}$$

Table 1. Interpretation of Estimated Coefficients. Source: Own Work, 2025

Variable	Coefficient	OR (e ^{coef})	Statistical Interpretation
S1 (income)	-0.0768	0.926	Each higher income level reduces the odds by 7.4%.

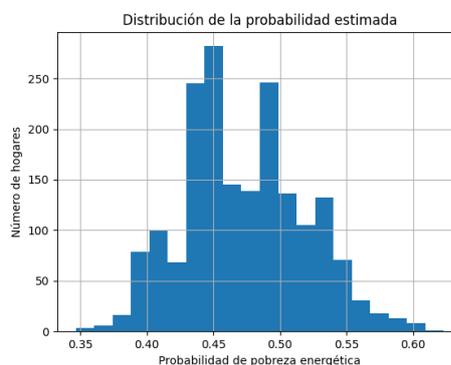
Variable	Coefficient	OR (e ^{coef})	Statistical Interpretation
V3 (building age)	+0.0181	1.018	Each older age category increases the odds by 1.8%.
IS_OWNER	-0.0609	0.941	Being a homeowner reduces the odds by 5.9%.
IS_BUILDING_10PLUS	-0.2345	0.791	Living in a building with over 10 units reduces the odds by 20.9%.
IS_RURAL	+0.1174	1.124	Living in a rural area increases the odds by 12.4%.

- The model was implemented on a website for user accessibility.

Figure 1. Web Screenshot – Source: Own Work, 2025.

- A case study in the Community of Madrid showed that 27.77% of households were classified as energy-poor. In absolute terms, 512 energy-poor households were identified versus 1,332 non-poor households, from a total of 1,844 observations.

Figure 2. Histogram generated with Python – Source: Own Work, 2025



- A consulting service proposal for public institutions was developed to identify people suffering from energy poverty, achieving a Net Present Value (NPV) of over €430,000 and an Internal Rate of Return (IRR) of 218%, with a payback period of just one year.

Figure 3. Service Flowchart – Source: Own Work, 2025



Conclusions

This final degree project successfully designed a comprehensive response to tackle energy poverty in Spain using a technical perspective grounded in various fields of Industrial Engineering.

A robust statistical model has been developed, accompanied by an operational technological tool and a consultancy service structure ready for real-world application, thus meeting the primary needs of public entities in this area. The entire approach follows a multidimensional strategy, ensuring economic viability and scalability. The proposed solution enables more accurate identification and prioritization of vulnerable households. It also demonstrates the ability to transfer academic advancements into practical tools, providing effective instruments for decision-making.

Contenido

Revisión bibliográfica	16
1. Indicadores de pobreza	16
2. Situación actual en España y comparativa con otros países europeos.....	20
3. Políticas y estrategias existentes para combatir la pobreza	24
4. Efectos de la pobreza energética	29
5. Características constructivas	30
6. Conclusiones	33
Cuantificación y Métrica	34
1. Delimitación y justificación del análisis.....	34
2. Planteamiento del modelo matemático.....	34
3. Selección de indicadores	35
4. Descripción de variables explicativas seleccionadas.....	38
5. Discusión de resultados de indicadores	43
6. Conclusión.....	48
Análisis de la legislación actual y ayudas sociales.....	50
1. Marco normativo en materia de eficiencia energética.....	50
2. Marco normativo sobre pobreza energética.....	52
3. Ayudas sociales y programas de apoyo vigentes.....	54
4. Evaluación crítica	59
5. Conclusión.....	60
Definición de estándares de medición de confort térmico	61
1. Estándares internacionales de referencia.....	61
2. Indicadores adaptados a España	63
3. Influencia de variables críticas en el confort térmico.....	63
4. Propuestas de posibles indicadores dinámicos para el territorio español.....	67
5. Integración de variables climáticas españolas.....	69
6. Recomendaciones de salud pública	70
7. Conclusión.....	71
Estudio de las características constructivas de las viviendas	72
1. Visión general del concepto de eficiencia energética.....	72
2. Descripción de variables explicativas seleccionadas.....	73
3. Descripción de otras características constructivas relevantes	82
4. Conclusión.....	84
Modelo estadístico y portal de acceso.....	85
1. Descripción del modelo.....	85
2. Descripción de la aplicación web.....	93

3.	Caso práctico: Comunidad de Madrid.....	95
4.	Conclusión.....	96
	Iniciativas innovadoras para la mitigación de la pobreza energética	98
1.	Tipos de Iniciativas.....	98
2.	Reflexión crítica	102
	Estudio de viabilidad de proyecto de consultoría.....	107
1.	Descripción del servicio técnico.....	107
2.	Organización técnica del equipo	109
3.	Planificación operativa y logística.....	111
4.	Análisis técnico-económico de recursos	116
5.	Análisis de rentabilidad del proyecto	117
6.	Riesgos técnicos y mitigaciones: dibujo abstracto	121
7.	Conclusiones de viabilidad técnica	124
	Conclusiones y siguientes pasos	126
1.	Síntesis del trabajo realizado	126
2.	Resultados principales obtenidos	126
3.	Ámbito del estudio	129
4.	Líneas futuras de desarrollo	129
5.	Conclusión final	130
	Bibliografía	131
	Anexo 142	
1.	Código del modelo estadístico	142
2.	Código para aplicación web	145
3.	Alineación con los objetivos ODS	148

Revisión bibliográfica

En este capítulo se llevará a cabo una exhaustiva revisión bibliográfica, que incluye estudios académicos, informes gubernamentales y publicaciones de organizaciones no gubernamentales. Asimismo, se revisarán los distintos indicadores utilizados para cuantificar la pobreza energética, su aplicabilidad en diferentes contextos y las controversias sobre su efectividad. Posteriormente, se analizarán las estrategias adoptadas en España y otros países para hacer frente a esta problemática, junto con un estudio comparativo de su impacto. Adicionalmente, se abordarán los efectos que la pobreza energética puede tener sobre la salud, la economía y la calidad de vida, proporcionando una visión holística sobre su alcance. Finalmente, se evaluarán la relación entre las características constructivas de distintas edificaciones y su relación con la pobreza energética.

1. Indicadores de pobreza

La definición consensuada de pobreza energética es la incapacidad de acceder a los servicios energéticos material y socialmente necesarios, como calentar un hogar o utilizar electrodomésticos. Los indicadores de pobreza energética son las herramientas utilizadas para medir y cuantificar este fenómeno¹. En la actual literatura, se distinguen distintas maneras de categorizarlos.

A nivel europeo, se emplean dos categorías: objetivos y subjetivos². Los indicadores objetivos se basan en datos cuantificables, como la proporción de ingresos que un hogar destina al consumo de energía. Estos están estrechamente relacionados con la pobreza económica, ya que generalmente, a medida que aumenta la renta disponible, disminuye el porcentaje destinado al gasto energético. Por otro lado, los indicadores subjetivos se basan en las percepciones y declaraciones de los propios hogares, obtenidas a través de encuestas. Estos indicadores consideran la pobreza energética como un fenómeno multidimensional y pueden clasificar como pobres energéticos a hogares de renta media.

La elección de los indicadores adecuados es crucial y depende de diversos factores, como la disponibilidad de datos, las características específicas del área objeto de estudio, y los aspectos de la pobreza energética que se deseen evaluar³.

Se observa un gran volumen de artículos científicos sobre este tema, siendo uno de los más tratados y polémicos dentro de la pobreza energética. La controversia existente en este campo es fruto del dilema entre expertos sobre qué indicadores utilizar y sobre la crítica hacia científicos que utilizan indicadores relevantes en el extranjero, pero no en el propio país de investigación⁴.

Es necesario un diagnóstico adecuado basado en indicadores confiables y efectivos que puedan capturar las diferentes facetas de este fenómeno multidimensional.⁵ En el contexto de los Planes Nacionales de Energía y Clima (PNEC) requeridos por la Comisión Europea, cobra cada vez más relevancia la disponibilidad de datos y la selección de indicadores adecuados a nivel europeo, nacional y local.

Los indicadores también pueden ser clasificados en primarios y secundarios⁶. Los indicadores primarios se entienden como aquellos que representan directamente la pobreza energética, mientras que los secundarios ayudan a caracterizar las circunstancias que conducen a una situación de vulnerabilidad.

Algunos ejemplos de indicadores popularmente analizados son: atrasos en el pago de facturas de servicios públicos, incapacidad para mantener el hogar adecuadamente cálido, alta proporción de

¹ Al Kez et al. 2024

² Costa - Campi 2024

³ Sareen et al. 2020

⁴ Sareen et al. 2020

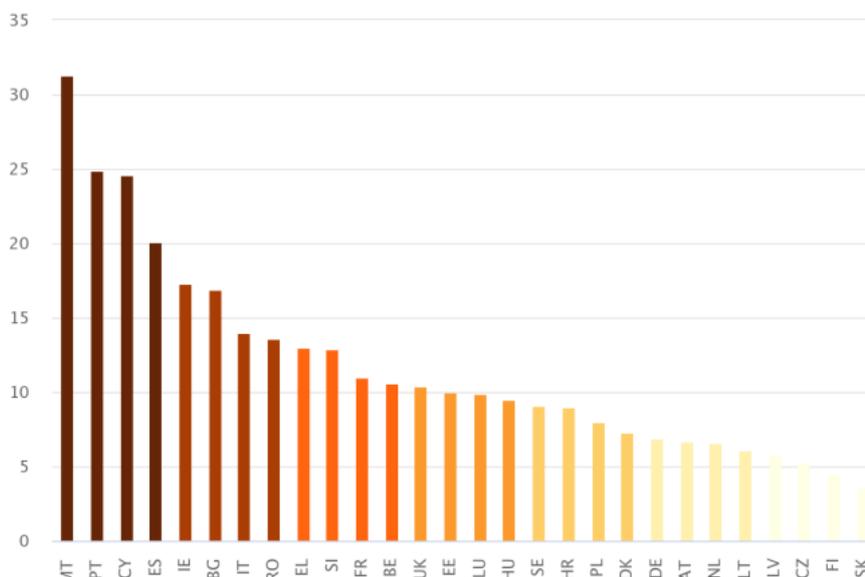
⁵ Pedro Gouveia et al. 2022

⁶ Pedro Gouveia et al. 2022

gastos energéticos en relación con los ingresos, bajo gasto energético absoluto, población que vive en viviendas con presencia de goteras, humedad y podredumbre, entre otros.

En la literatura existente, es común encontrar mapas y gráficos que ilustran la situación en los diferentes países de la UE, así como detalles técnicos sobre el cálculo e interpretación de cada indicador en particular. A continuación, se muestra un ejemplo:

Figura 4.. Exceso de mortalidad invernal de 2014. Fuente: EPAH



Como se observa, destaca principalmente la posición de España, siendo cuarta en el indicador de exceso de mortalidad invernal/muerte. La pobreza energética y las condiciones de vivienda inadecuadas podrían estar contribuyendo a un aumento de la mortalidad durante los meses de invierno⁷. Cabe destacar que este indicador puede verse influenciado por otros aspectos, como la prevalencia de enfermedades respiratorias, condiciones climáticas y calidad de atención médica. Aunque sería necesario un análisis más profundo, esta métrica es significativa a la hora de dotar al problema de la pobreza energética de la importancia que debe tener.

Existen desafíos actuales y futuros en la disponibilidad de datos y la selección de indicadores, debido a deficiencias, discrepancias e interpretaciones erróneas que están íntimamente relacionados con el cálculo de indicadores.

En cuanto a la disponibilidad de datos, es importante contar con información actualizada y completa para todos los países de la Unión Europea⁸. Sin embargo, se identifican brechas significativas en la cobertura de datos para ciertos indicadores y países. Algunos indicadores basados en la Encuesta de Presupuestos Familiares (HBS) solo tienen datos disponibles hasta 2015 para la mayoría de los países, lo que limita su utilidad para análisis actuales.

Por otra parte, es necesaria una revisión crítica de los indicadores existentes, ya que en ocasiones se producen errores en su cálculo o denominación. Se identifican casos donde los nombres de los indicadores pueden llevar a interpretaciones erróneas o no reflejan adecuadamente lo que se está midiendo como con el indicador "Gasto energético desproporcionado (2M)", que debería llamarse "Alto porcentaje de gasto energético en ingresos (2M)" para una mayor claridad.⁹ Otro ejemplo, es el indicador de "Precios de la electricidad para los hogares"¹⁰, que se presentaba anteriormente en euros por kilovatio-hora (€/kWh), pero en realidad se calculaba en euros por 100 kWh.

⁷ Pedro Gouveia et al. 2022

⁸ Pedro Gouveia et al. 2022

⁹ Pedro Gouveia et al. 2022

¹⁰ Pedro Gouveia et al. 2022

Para mejorar la precisión y relevancia de los indicadores, es aconsejable cambiar la organización y desagregación de los datos. En el caso del indicador "Número de habitaciones por persona según el régimen de tenencia", se podría calcular de manera desagregada para propietarios y arrendatarios, lo que permitiría un análisis más detallado de las condiciones de vivienda en relación con la pobreza energética.¹¹

Sería de gran utilidad una futura reformulación más completa del conjunto de indicadores utilizados comúnmente. Esto tiene como objetivo permitir un análisis multidimensional más completo y apoyar a los países y regiones en la evaluación y mitigación de la pobreza energética de manera más efectiva.

Los indicadores también se pueden clasificar atendiendo a otras metodologías como se mencionada anteriormente¹². Otro de los enfoques principales para medir la pobreza energética, es el basado en gastos, que compara el gasto energético de los hogares con sus ingresos, y el consensual, que utiliza indicadores autorreportados sobre la capacidad de los hogares para mantener una temperatura adecuada.

Las métricas basadas en gastos requieren decisiones metodológicas clave sobre la definición de ingresos (disponibles, equivalentes, etc.), el establecimiento de umbrales (fijos o relativos), el uso de gasto real en contraposición a requerido, y el enfoque en grupos de bajos ingresos. Se propone utilizar el ingreso disponible equivalente y el gasto energético real observado por razones prácticas, aunque lo ideal sería estimar el gasto requerido. Esto se debe a que reflejaría mejor las necesidades energéticas reales de los hogares, evitaría subestimar la pobreza energética en hogares que reducen su consumo por no poder pagarlo y permitiría identificar hogares que no alcanzan un nivel adecuado de servicios energéticos.¹³

En general, se recomienda un conjunto de métricas para pruebas en países seleccionados, incluyendo: gasto energético superior al doble de la mediana nacional (2M), gasto energético superior al 10% de los ingresos, bajos ingresos y altos costes (LIHC), y estándar de ingresos mínimos (MIS).

Se sugiere complementar las métricas principales con indicadores de apoyo para capturar la multidimensionalidad del fenómeno de la pobreza energética. Estos indicadores adicionales pueden ayudar a comprender mejor los factores que contribuyen al problema y orientar las intervenciones de política. Es importante que la elección final de indicadores equilibre la precisión conceptual con la disponibilidad de datos y la facilidad de implementación a nivel de la UE, ya que, de lo contrario, no sería posible llegar a ningún resultado tangible tras realizar los estudios.

También es común desarrollar marcos analíticos con los que examinar la metrología de la pobreza energética¹⁴. En estos casos, resulta de utilidad dividir el enfoque en distintas áreas, cómo pueden ser la histórica, el aplanamiento de datos, la identificación contextualizada y las nuevas formas de representación¹⁵.

La primera dimensión se centra en las trayectorias históricas. La medición de la pobreza energética tiene diferentes historias y enfoques en los países europeos, lo que influye en cómo se definen y miden actualmente los indicadores. Reino Unido fue pionero en desarrollar métricas de pobreza energética que luego se adoptaron en otros países, a veces de forma acrítica y sin considerar las diferencias contextuales, como es el caso del extendido indicador del 10%¹⁶. Esto resalta la importancia de entender la evolución histórica de las métricas en cada contexto.

La segunda dimensión es el aplanamiento de datos. La simplificación de datos a escala nacional puede perder detalles importantes sobre la pobreza energética a nivel local y regional¹⁷. Aunque

¹¹ Pedro Gouveia et al. 2022

¹² Rademaekers et al. 2016

¹³ Rademaekers et al. 2016

¹⁴ Sareen et al. 2020

¹⁵ Sareen et al. 2020

¹⁶ Sareen et al. 2020

¹⁷ Sareen et al. 2020

útil para comparaciones amplias, el monitoreo a gran escala suele implicar simplificaciones metodológicas y muestras pequeñas que no capturan la complejidad del fenómeno. Esto puede limitar la capacidad de diseñar acciones locales efectivas y realizar evaluaciones comparativas regionales dentro de un país¹⁸.

La tercera dimensión es la identificación contextualizada. Es necesario complementar los indicadores nacionales con métodos que identifiquen casos específicos de pobreza energética en contextos locales. Esto incluye medidas "en la puerta" (estrategias de identificación contextualizada de la pobreza energética que se realizan directamente en los hogares o comunidades afectadas) y esfuerzos para capturar aspectos ocultos de la pobreza energética que no se reflejan en los indicadores comparativos prevalentes. La identificación contextualizada es esencial para pasar de la focalización de políticas a la implementación de medidas concretas de alivio¹⁹.

La cuarta dimensión se refiere a las nuevas formas de representación. Están surgiendo metodologías innovadoras que capturan aspectos de la pobreza energética antes ignorados, como el uso de datos de medidores inteligentes. Sin embargo, debemos ser conscientes de que los nuevos métodos de medición ofrecen oportunidades, pero también riesgos de exclusión si no se implementan cuidadosamente²⁰. Es crucial involucrar a diversos actores, incluidos los ciudadanos, en el desarrollo y uso de métricas de pobreza energética.

La quinta dimensión es la adopción de políticas. La forma en que los indicadores se institucionalizan en políticas afecta cómo se reconoce y aborda la pobreza energética. El proceso de medición en sí mismo puede ser una oportunidad para movilizar actores y hacer que el sector energético sea más responsable públicamente²¹. Sin embargo, la institucionalización de nuevas métricas debe salvaguardarse contra la cooptación por intereses estrechos.

Finalmente, es necesario un enfoque reflexivo y participativo para medir la pobreza energética que reconozca las complejidades y política inherentes a este proceso. Es crucial que el desarrollo e implementación de métricas esté informado por un entendimiento de la política de los datos y las escalas, para institucionalizar métricas emergentes mientras se protege contra su cooptación para propósitos distintos a la profunda y rápida mitigación de la pobreza energética.

A continuación, se incluye una tabla con los indicadores más relevantes, según las distintas formas de organizarlos.

¹⁸ Palma et al. 2024

¹⁹ Global Covenant of Mayors for Climate & Energy 2023

²⁰ Casals et al. 2020

²¹ Heller et al. 2024

Tabla 1. Clasificación de indicadores. Fuente: Elaboración propia.

Categoría	Descripción		Indicadores
Objetivos	Basados en Ingresos y gastos	Gasto desproporcionado	10%, 2M, LIHC, MIS
		Gasto insuficiente	M/2, HEP
	Otros		
Subjetivos	Basados en percepciones de los hogares, recogidos a través de encuestas		Retraso en el pago de las facturas
			Incapacidad declarada para mantener temperatura adecuada
Primarios	Capturan aspectos básicos como asequibilidad y acceso a servicios energéticos esenciales		2M, M/2, Incapacidad declarada para mantener temperatura adecuada, retraso en el pago de las facturas
Secundarios	No miden directamente la pobreza energética, ayudan a contextualizarla		Precios de la energía, características de la vivienda (eficiencia térmica, tamaño del hogar)
Gastos	Gastos reales del hogar en energía		2M, M/2, LIHC
Consensual	Declaraciones subjetivas sobre dificultades para acceder a servicios energéticos adecuados		Incapacidad declarada para mantener temperatura adecuada, retraso en el pago de las facturas

2. Situación actual en España y comparativa con otros países europeos

Aunque existen distintos estudios sobre la situación de España en materia de pobreza energética, sin duda destaca el elaborado por la Universidad Pontificia de Comillas²² sobre el año 2023 en el que se ofrece un análisis exhaustivo y actualizado de la situación de la pobreza energética en el país.

Utilizando datos de la del Instituto Nacional de Estadística²³, se examina diversas dimensiones de la pobreza energética a través de indicadores tanto objetivos como subjetivos. Los resultados revelan un panorama complejo y contrastado.

Por un lado, los indicadores relativos de gasto desproporcionado (2M) e insuficiente (M/2) muestran un ligero empeoramiento, situándose en 17,01% y 12,53% respectivamente. Sin

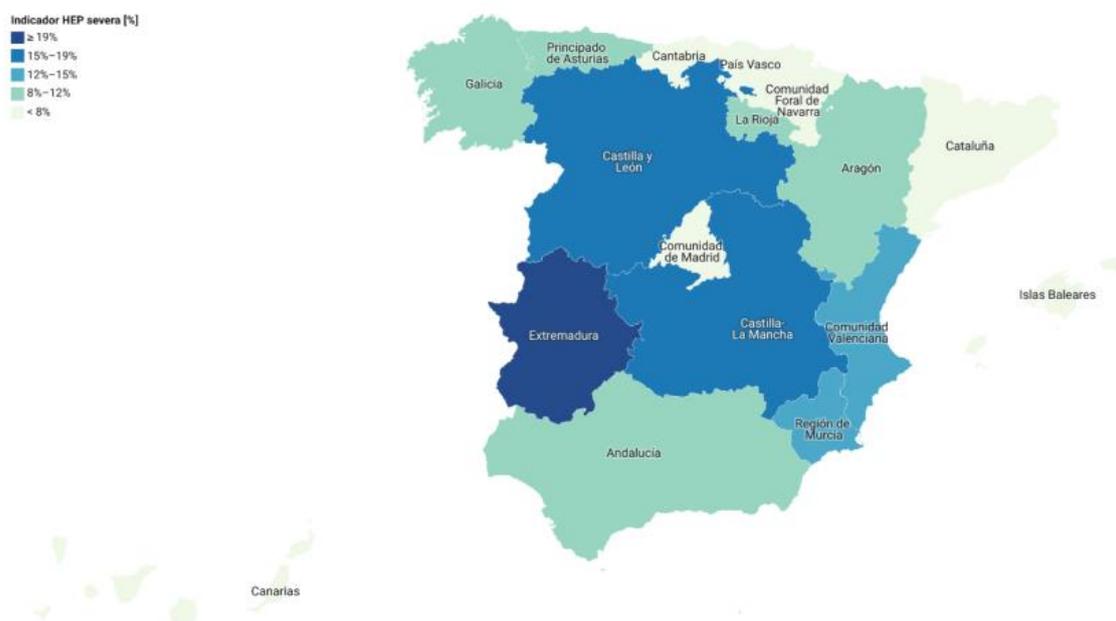
²² Romero et al. 2024

²³ Datos de la Encuesta de Presupuestos Familiares (EPF) y la Encuesta de Condiciones de Vida (ECV)

embargo, este incremento se debe principalmente a cambios en los umbrales relativos que definen estos indicadores, más que a un deterioro real de la situación. En contraposición, los indicadores absolutos, como el basado en el Ingreso Mínimo Estándar (MIS) y el de Pobreza Energética Oculta (HEP), presentan una mejora, reflejando de manera más precisa la evolución de la problemática en el país. Es particularmente preocupante el aumento significativo del indicador de temperatura inadecuada, que alcanza el 20,71% de la población, lo que equivale a aproximadamente 10 millones de personas. Este incremento merece un análisis más detallado para comprender sus causas subyacentes. Por otro lado, el indicador de retraso en pagos se mantiene estable en torno al 9,58%, lo cual, aunque no muestra un empeoramiento, sigue siendo un dato alarmante que requiere atención continua, especialmente si se consideran posibles cambios en las políticas de protección contra cortes de suministro.

Destaca principalmente la disparidad entre comunidades autónomas en todos los indicadores mencionados, con una gran diferencia entre comunidades como Canarias y Extremadura. Esta diferencia se observa en el siguiente mapa.

Figura 4. Indicador de pobreza energética oculta severa (HEP severa) por CC.AA. en España 2023. Fuente: UPCo. Año de publicación: 2024



2023 fue un año de contrastes en términos de pobreza energética²⁴. Algunos indicadores absolutos mejoraron, posiblemente debido a la disminución de los precios de la energía y el aumento de los ingresos medios. Sin embargo, los indicadores relativos empeoraron, lo que se explica por cambios en los umbrales que definen estos indicadores más que por un deterioro real de la situación.

Es relevante evaluar los resultados de las distintas herramientas puestas en marcha, como el bono social eléctrico y térmico. Estas medidas han tenido un efecto positivo, reduciendo la brecha de pobreza energética en los hogares beneficiarios en un 44% comparado con un escenario sin estas ayudas²⁵. Esto resalta la importancia de la identificación eficaz y rápida de hogares en situación de pobreza energética, ya que, de este modo, se pueden administrar medidas como las mencionadas, que como se ha demostrado, resultan altamente eficientes.

Aunque se observan algunas mejoras, la situación de la pobreza energética en España sigue siendo preocupante. Es necesario mantener y posiblemente ampliar las medidas de apoyo, como los bonos sociales y la prohibición de cortes de suministro. Además, destaca la importancia de

²⁴ Romero et al. 2024

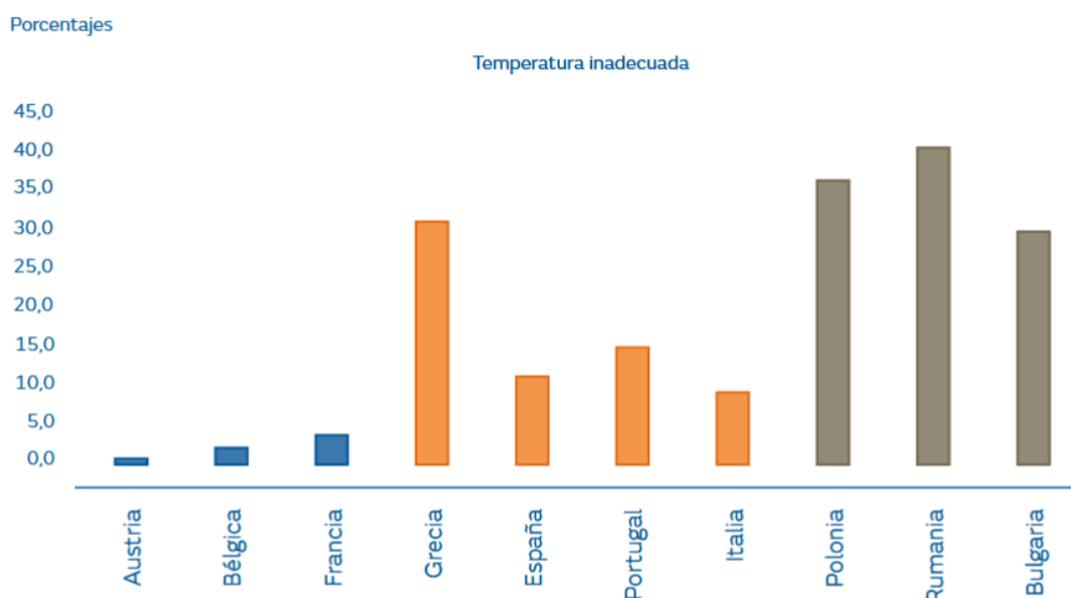
²⁵ Romero et al. 2024

abordar las disparidades regionales en la incidencia de la pobreza energética y de prestar especial atención a los hogares de los deciles de renta más bajos, donde se concentra la mayor parte del problema.

También es interesante comparar el comportamiento y evolución de la pobreza energética en España respecto a otros países de Europa. La incidencia de la pobreza energética varía significativamente entre regiones europeas²⁶. Los países de Europa del Este muestran los niveles más altos, seguidos por los del sur de Europa, mientras que Europa Central presenta los niveles más bajos.

Existe una clara persistencia de la pobreza energética, aunque su intensidad difiere entre países. En Europa Central, la persistencia es baja (0.9% - 3.9%). En el sur de Europa es moderada, destacando Grecia con cerca del 30% y España con alrededor del 10%. Europa del Este muestra la mayor persistencia, especialmente Rumania²⁷.

Figura 5. Impacto de la persistencia energética por países según el indicador de temperatura inadecuada. Fuente: Fundación Naturgy. Año de publicación: 2024



La mayoría de los hogares europeos nunca ha experimentado pobreza energética (50-70% dependiendo de la región). Sin embargo, entre un 3.9% y 9.4% la sufre de forma crónica durante 4 años consecutivos²⁸.

Estos hallazgos sugieren la necesidad de políticas diferenciadas a nivel europeo, dificultando la creación de un modelo estándar para la definición, medición y gestión de la pobreza energética.

En España, los determinantes de la pobreza energética crónica y transitoria son similares, pero con efectos más intensos en la crónica. Un hogar se considera en situación de pobreza energética crónica cuando experimenta pobreza energética durante 3 o 4 años consecutivos, además de sufrir efecto más intensos y sostenidos en el tiempo²⁹. Este tipo se asocia principalmente a hogares con bajos ingresos, bajo nivel educativo y viviendas en alquiler. Por el contrario, la pobreza energética transitoria se caracteriza por durar 1 o 2 años, tener un efecto menos pronunciado, aunque más extendido, pudiendo afectar a una gama más amplia de hogares, no solo a los de bajos ingresos.³⁰ Mayor riqueza y vivienda en propiedad reducen significativamente el riesgo de pobreza

²⁶ Costa - Campi 2024

²⁷ Costa - Campi 2024

²⁸ Costa - Campi 2024

²⁹ Costa - Campi 2024

³⁰ Costa - Campi 2024

energética crónica (se reduce la probabilidad de ser pobre energético crónico en 0.3 unidades y en 0.6 unidades respectivamente). La educación superior disminuye notablemente la probabilidad de pobreza energética persistente³¹. Los hogares con mujeres como sustentadoras principales tienen mayor riesgo de pobreza energética transitoria³².

Para la pobreza crónica, serían necesarias medidas a largo plazo enfocadas en mejorar ingresos y eficiencia energética. Para la transitoria, ayudas directas y rápidas, junto con estrategias para fortalecer la resiliencia. La UE debe implementar efectivamente su compromiso con la renovación de edificios, diseñando incentivos financieros dirigidos especialmente a las personas afectadas por la pobreza energética.

Por otra parte, algunos profesionales abogan por realizar diagnósticos de la pobreza energética a un nivel microscópico frente a la utilización de parámetros generalizados que se aplican a grandes volúmenes. De esta manera, algunos expertos deciden centrar sus diagnósticos en la comparación entre entornos rurales y urbanos, lo cual resulta de gran importancia a nivel español, ya que aproximadamente el 16% de la población española vive en áreas rurales³³.

Los hogares rurales tienden a ser más vulnerables a la pobreza energética debido a una combinación de múltiples factores³⁴. Estos incluyen ingresos más bajos, niveles educativos inferiores, mayor privación material, menos opciones de calefacción moderna y menor calidad de las viviendas. Sin embargo, en algunos casos, características específicas de las zonas rurales, como la mayor disponibilidad de recursos locales o el mayor índice de propiedad de viviendas, pueden mitigar parcialmente esta vulnerabilidad.

También es relevante la línea de estudio que evalúa el impacto del cambio climático en el fenómeno discutido³⁵. Se espera una disminución en los grados-día de calefacción tanto en áreas urbanas como rurales para 2050³⁶, con una reducción más significativa en las zonas rurales. Sin embargo, la demanda de calefacción seguirá siendo mayor en términos absolutos en las regiones rurales, lo que sugiere que la vulnerabilidad general relacionada con el clima y la demanda de energía podría disminuir en las ubicaciones rurales, pero no lo suficiente como para hacerlas menos vulnerables que las ubicaciones urbanas.

Por lo tanto, es necesario diseñar políticas diferenciadas que tengan en cuenta las características específicas de las zonas rurales y urbanas, así como las variaciones regionales. Además, la inclusión del análisis del impacto del cambio climático ofrece una perspectiva valiosa sobre cómo podrían evolucionar las vulnerabilidades energéticas en el futuro.

En el territorio español, se han realizado ciertos estudios microscópicos. En la comunidad de Madrid³⁷ se ha desarrollado una metodología para localizar áreas urbanas vulnerables a la pobreza energética.

Es también fruto de investigación la creación de indicadores para estudios en particular. En la comunidad de Madrid, se creó un indicador objetivo de pobreza energética basado en la renta, la demanda energética de calefacción y el coste de la factura energética. Se estima la demanda de calefacción por sección censal a partir de la calidad térmica de la edificación. Luego se calcula el coste energético considerando diferentes fuentes (gas y electricidad) y tarifas. Estos datos se cruzan con información sobre niveles de renta por sección censal, estableciendo el umbral de pobreza energética en el 10% de los ingresos destinados a energía.

La pobreza energética en Madrid se concentra en la periferia urbana, donde confluyen edificación de baja calidad térmica, sistemas de calefacción ineficientes y bajos niveles de renta³⁸. Los

³¹ Pourkhanali et al. 2023

³² Zamfir 2023

³³ Press 2021

³⁴ Dokupilová et al. 2024

³⁵ Dokupilová et al. 2024

³⁶ Dokupilová et al. 2024

³⁷ Martín-Consuegra, Hernández-Aja, Oteiza, & Alonso 2019

³⁸ Martín-Consuegra, Hernández-Aja, Oteiza, & Alonso 2019

hogares en los tramos de renta más bajos cuyas viviendas tienen clasificación energética C o inferior están en riesgo de pobreza energética. Además, la rehabilitación energética hasta alcanzar la clase D (exigencia del CTE) no garantiza erradicar la pobreza energética en los tramos de renta más bajos.

La estructura tarifaria penaliza los consumos más bajos, desincentivando el ahorro y la eficiencia energética, ya que deriva en un coste mayor por kWh para los consumos energéticos más bajos. Esto significa que los hogares que consumen menos energía pagan proporcionalmente más por cada unidad de energía consumida.³⁹ Esta situación penaliza tanto a los hogares que incorporan medidas de mejora de la eficiencia energética como a aquellos que se encuentran sufriendo situaciones de pobreza energética y carecen de recursos para hacer frente al coste de la energía suficiente para lograr el confort en sus viviendas.

Asimismo, el uso de gas natural resulta más económico que la calefacción eléctrica, favoreciendo el consumo de combustibles fósiles. Esto entra en conflicto con la perspectiva sostenible que tiene la pobreza energética. Se podría estudiar la introducción de combustibles fósiles como medida para dar una respuesta rápida a la pobreza energética transitoria.

Igualmente, se pueden comparar países de la Península Ibérica, debido a su alta similitud climática y comparar su situación respecto a la pobreza energética.

Tanto Portugal como España han adoptado definiciones conceptuales de pobreza energética, lo que permite una perspectiva más amplia del problema en comparación con definiciones más operativas. Sin embargo, se identifican áreas de mejora en ambos enfoques⁴⁰. Por ejemplo, la definición española se centra principalmente en los ingresos insuficientes como causa principal, mientras que la portuguesa incluye tres causas principales: ingresos bajos, precios elevados de la energía y baja eficiencia energética de las viviendas. Los autores sugieren que ambas definiciones podrían beneficiarse de una mayor especificidad en cuanto a los servicios energéticos esenciales y los niveles adecuados de consumo.

En cuanto a la medición, España utiliza un conjunto más sencillo de indicadores basados principalmente en el gasto energético, mientras que Portugal propone un marco más diverso que incluye indicadores primarios y complementarios. Ambos países emplean indicadores de gasto y consensuales, pero difieren en su enfoque para estimar los niveles de pobreza energética. Existen limitaciones en ambos marcos, como la falta de análisis cruzado entre indicadores en España y el uso de umbrales potencialmente inadecuados en Portugal⁴¹.

Por tanto, es necesario desarrollar marcos de medición más comprensivos e inclusivos, que consideren múltiples dimensiones de la pobreza energética y sean capaces de capturar diferentes manifestaciones del problema.

3. Políticas y estrategias existentes para combatir la pobreza

A nivel nacional destaca un documento clave que establece el marco de actuación para abordar la pobreza energética en España de manera integral⁴². Realiza un diagnóstico exhaustivo de la situación, define indicadores oficiales de medición, establece objetivos de reducción y propone medidas concretas para combatir este fenómeno.

A nivel gubernamental español, la pobreza energética se entiende como la situación en la que se encuentra un hogar en el que no pueden ser satisfechas las necesidades básicas de suministros de energía, como consecuencia de un nivel de ingresos insuficiente y que, en su caso, puede verse agravada por disponer de una vivienda ineficiente en energía.

Para el análisis, se utilizan cuatro indicadores principales: gasto desproporcionado en energía, pobreza energética escondida, incapacidad para mantener una temperatura adecuada en la

³⁹ Costa et al. 2021

⁴⁰ Palma et al. 2024

⁴¹ Palma et al. 2024

⁴² MITECO 2019

vivienda y retraso en el pago de facturas. Entre 3,5 y 8,1 millones de personas en España se encuentran en situación de pobreza energética, dependiendo del indicador utilizado⁴³. La estrategia establece objetivos ambiciosos de reducción de estos indicadores, buscando una disminución mínima del 25% y aspirando a alcanzar el 50% para 2025.

Para lograr estos objetivos, se articulan 19 medidas organizadas en 4 ejes de actuación: mejorar el conocimiento sobre la pobreza energética, mejorar la respuesta frente a la situación actual, implementar cambios estructurales a largo plazo, y adoptar medidas de protección a los consumidores.

Destaca el sistema de bonos en Italia y Portugal. En concreto, la existencia de una tarifa social de energía mediante la cual se aplica un descuento en la tarifa de luz y gas de forma automática, sin que los clientes tengan que solicitarlo.

En relación al campo legal, hallamos distintas medidas propuestas a nivel europeo. La Unión Europea ha establecido un marco normativo integral para mejorar la eficiencia energética y combatir la pobreza energética⁴⁴, enfocándose en acelerar la renovación de edificios existentes, implementar sistemas de automatización, promover la infraestructura para vehículos eléctricos y crear un indicador de inteligencia para edificios.

Adicionalmente, se establece un nuevo objetivo de eficiencia energética del 32,5% para 2030 y fortaleciendo las normas sobre contadores y facturación energética⁴⁵. El Reglamento sobre la Gobernanza de la Unión de la Energía exige a los Estados miembros evaluar y abordar la pobreza energética en sus planes nacionales. Por otra parte, la Directiva sobre el mercado interior de la electricidad establece medidas para proteger a los clientes vulnerables y en situación de pobreza energética, dejando al criterio de cada país definir el concepto de cliente vulnerable.

Además, se ha introducido un certificado adicional⁴⁶ que debe ser expedido por los servicios sociales para poder acreditar la condición de esencialidad que impide la suspensión del suministro en los hogares en los que el titular del contrato perciba el bono social y haya miembros de su unidad familiar con menos de dieciséis años, o el consumidor o alguno de los miembros de la unidad familiar se encuentre en situación de dependencia reconocida de grado II o III, o bien tenga una discapacidad reconocida igual o superior al 33%.

Entre las medidas legales destaca la creación de un nuevo bono social energético, caracterizado por su universalidad, automatización y gestión coordinada con otras administraciones públicas, así como el suministro mínimo vital que garantiza una reducción de potencia durante cuatro meses antes de permitir la interrupción del suministro en caso de impago. También se prohíbe la interrupción del suministro energético a consumidores vulnerables durante situaciones meteorológicas extremas⁴⁷.

En el ámbito económico, se incluyen ayudas para rehabilitaciones exprés de viviendas con medidas de bajo coste y rápida ejecución, el fomento del parque de vivienda pública en alquiler social con subvenciones para gastos energéticos destinados a colectivos especialmente vulnerables, y programas de sustitución de equipos por otros más eficientes energéticamente⁴⁸. Asimismo, se impulsa la rehabilitación integral de edificios en áreas urbanas o rurales donde residan consumidores vulnerables y se fomenta la creación de protocolos para que profesionales de atención primaria puedan detectar casos de pobreza energética.

Finalmente, sería de gran utilidad la creación de una base de datos unificada sobre prestaciones económicas relacionadas con este problema y mecanismos de sensibilización e información para los consumidores. Sin embargo, debido a la protección de datos de carácter personal del

⁴³ MITECO 2019

⁴⁴ Directiva (UE) 2018/844, que modifica las Directivas 2010/31/UE y 2012/27/UE

⁴⁵ Directiva (UE) 2018/2002, que modifica la Directiva 2012/27/UE

⁴⁶ Real Decreto-ley 15/2018

⁴⁷ MITECO 2019

⁴⁸ MITECO 2019

consumidor, la solicitud es extensa y compleja. Se necesitan distintos certificados para que la comercializadora pueda acceder a datos de las administraciones públicas relevantes, como el Ministerio para la Transición Ecológica, la Agencia Estatal Tributaria Española y Haciendas Forales. Adicionalmente, la aplicación existente solo comunica el resultado positivo o negativo, o la imposibilidad de consultar el nivel de renta del consumidor.

Aunque estas iniciativas son de gran valor, resulta imprescindible evaluar su implementación y el grado de cumplimiento de los objetivos planteados inicialmente. La siguiente infografía ilustra los distintos niveles de realización alcanzados.

Figura 6. Grado de implementación de las medidas contempladas en el segundo eje (mejorar la respuesta frente a la situación actual de pobreza energética) de la ENPE, 2024. Fuente: Fundación Naturgy



Como es lógico pensar, la eficiencia energética de los edificios está íntimamente relacionada con su consumo energético y por tanto con la pobreza energética.

Concretamente, alrededor del 40% de las inversiones del PRTR se dirigen a la transición ecológica, con el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) gestionando 15.339 millones de euros, lo que representa el 21,95% de la inversión total⁴⁹.

De esta cantidad, 10.756 millones se destinarán específicamente a la transición energética justa e inclusiva, lo que demuestra el compromiso del gobierno con la transformación del sector energético y la mitigación de sus impactos sociales.

El programa PREE 5000 apoya la rehabilitación energética en edificios existentes, con un enfoque especial en municipios de reto demográfico.

El Componente 2 del plan, centrado en la rehabilitación y mejora del parque edificatorio, tiene como uno de sus objetivos abordar la pobreza energética. Los programas de ayudas a la rehabilitación atienden a la realidad económica y social de los hogares, considerando sus circunstancias particulares. Se incluyen medidas como el aumento de la ayuda mínima del bono social térmico de 25 a 40 € y la aplicación de un descuento del 40% en la tarifa de último recurso para hogares de trabajadores con bajos ingresos⁵⁰

Al combinar medidas de rehabilitación de edificios, fomento de energías limpias y promoción de la movilidad sostenible, el plan adopta un enfoque holístico para enfrentar los desafíos energéticos y climáticos, al tiempo que presta especial atención a los colectivos más vulnerables. De esta manera, el PRTR no solo busca modernizar la infraestructura energética del país, sino también asegurar que los beneficios de esta transición alcancen a todos los segmentos de la sociedad, contribuyendo así a la reducción de la pobreza energética y a la mejora de la calidad de vida de los ciudadanos españoles.

Es importante destacar que el PRTR no opera de manera aislada, sino que se alinea y complementa otras estrategias nacionales relacionadas con la pobreza energética. Se integra con el Marco

⁴⁹ Gobierno de España 2021

⁵⁰ MITECO 2019

Estratégico de Energía y Clima, que incluye la Estrategia Nacional contra la Pobreza Energética 2019-2024, y refuerza los objetivos del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2021-2030. Esta coordinación entre diferentes iniciativas y planes estratégicos busca maximizar el impacto de las inversiones y asegurar una transición energética que no deje a nadie atrás.

Destaca también la comparativa entre las medidas tomadas a nivel europeo frente a nivel español. Se perciben los avances recientes, pero también las disparidades persistentes.⁵¹ A nivel de la UE, se han producido desarrollos significativos en el marco normativo, incluyendo disposiciones en el Paquete de Energía Limpia y el Pacto Verde Europeo. Estos han establecido definiciones comunes, requisitos de monitoreo y objetivos para abordar la pobreza energética.

Mientras que algunos países han adoptado estrategias integrales, otros aún no reconocen la pobreza energética como un fenómeno distinto. Es el caso de Dinamarca, Estonia, Finlandia, Países Bajos y Malta. Estos países no reconocen la pobreza energética como un fenómeno distinto en sus Planes Nacionales de Energía y Clima (PNECs). Suecia es el único país que no cubre la pobreza energética en absoluto en su PNEC.

España destaca por ser uno de los países comprometidos con un programa ambicioso y completo contra la pobreza energética. Respecto a la Estrategia Nacional contra la Pobreza Energética mencionada anteriormente, algunos expertos señalan que, aunque completa, debería haber sido más ambiciosa en el ámbito de la eficiencia energética. En su PNEC, España obtuvo una puntuación alta en los ejes de “acceso a la justicia” y “acceso a recursos”.

Los enfoques varían desde medidas de asistencia financiera directa hasta programas de eficiencia energética y renovación de viviendas. Sin embargo, persisten brechas en áreas como la desconexión del suministro energético y las necesidades de refrigeración en verano. El documento destaca la importancia de las iniciativas locales y de la sociedad civil en la implementación de medidas contra la pobreza energética. Proyectos piloto financiados por la UE y observatorios nacionales han desempeñado un papel crucial en el desarrollo de enfoques innovadores. No obstante, se señala la necesidad de una mayor participación de actores de diversos sectores y de mecanismos participativos más robustos para involucrar a los ciudadanos vulnerables.

Es importante tener en cuenta los posibles efectos de las distintas medidas legales que se incluyen en las distintas políticas discutidas con anterioridad. Si bien es cierto que los “energy vouchers” son de gran ayuda para individuos vulnerables, también puede hacer que sobrepasen el gasto estrictamente necesario para salir del umbral de pobreza. En relación a las políticas, es necesario estudiar si estas son eficacias y en qué medida. Aunque informes de este tipo no son frecuentes con el territorio español como objeto de estudio, sí que se han realizado en otros países como es el caso de la ciudad de Gyeonggi-do, Corea⁵².

Realizando mediciones y encuestas detalladas a largo plazo en 16 hogares de bajos ingresos en un complejo de apartamentos, se analizó la temperatura interior y el uso de energía de calefacción con y sin el vale de energía. Además, se analizaron los consumos anuales de energía de calefacción de los 1460 hogares en el mismo complejo de apartamentos.

Los beneficiarios elegibles eran hogares que recibían ayudas de subsistencia o médicas de acuerdo con la Ley de Seguridad Básica de Vida Nacional de Corea. El hogar debía tener al menos una persona mayor de 65 años, un niño menor de 6 años, una persona con discapacidad o una mujer embarazada.

En promedio, estos hogares experimentaron temperaturas interiores más elevadas en comparación con aquellos que no recibieron ayuda económica. Esto sugiere que estas políticas logran su objetivo principal de mejorar las condiciones térmicas en los hogares vulnerables.

Sin embargo, también encontramos un efecto secundario importante: un aumento en el consumo de energía para calefacción. Los hogares que reciben subsidios tienden a calentar más sus

⁵¹ Bouzarovski et al. 2021

⁵² Choi et al. 2022

viviendas, lo que lleva a un mayor gasto energético⁵³. Este patrón es más pronunciado en los hogares de nueva construcción con mejor rendimiento térmico, lo que indica que la disponibilidad de subsidios puede llevar a un uso menos eficiente de la energía. En edificios nuevos, los hogares con subsidios mantuvieron temperaturas superiores a 25°C en promedio, lo que indica sobrecalentamiento.

Aproximadamente el 75% de los hogares de bajos ingresos gastan más en calefacción que el importe recibido como subsidio⁵⁴. Este hallazgo subraya la insuficiencia de los subsidios actuales para cubrir las necesidades reales de calefacción de estos hogares, lo que sugiere que siguen experimentando dificultades para mantener un confort térmico adecuado sin incurrir en gastos significativos. Además, este dato podría indicar una posible ineficiencia en el uso de la energía, lo que podría ser abordado mediante programas de mejora de la eficiencia energética en las viviendas.

Figura 7. Tabla resumen de las políticas mencionadas. Fuente: Elaboración propia, 2025.

Ámbito	Política/ Estrategia	Descripción
Nacional	Estrategia Nacional contra la pobreza energética	Diagnóstico de la situación y 19 medidas de actuación.
	Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia	Inversión en transición ecológica, PREE 5000 (apoyo a la rehabilitación de edificios en municipios con reto demográfico) y bonificación de tarifas
	Bono Social Eléctrico y Bono Social Térmico	Ayudas económicas destinadas a reducir el coste de la electricidad y calefacción para hogares vulnerables. Incluyen descuentos automáticos y un suministro mínimo vital para evitar cortes en situaciones extremas
Internacional	Directiva UE 2018/844	Renovación de edificios y automatización de la energía
	Directiva UE 2018/2002	Objetivo de eficiencia energética del 32,5% para 2030
	Reglamento de Gobernanza de la Unión de la Energía	Obligación a los Estados miembros a evaluar y abordar la pobreza energética en sus planes nacionales.

⁵³ Choi et al. 2022

⁵⁴ Choi et al. 2022

4. Efectos de la pobreza energética

Otro de los campos en los que se concentra la mayor parte de los artículos relativos a la pobreza energética, es el de los efectos que esta tiene.

En España, existen informes en los que se analiza el impacto socioeconómico de la pobreza energética en hogares españoles, utilizando la provincia de Teruel como caso de estudio⁵⁵.

Los resultados muestran una tendencia creciente en las ayudas otorgadas para paliar la pobreza energética entre 2011 y 2017, tanto por organismos públicos como por ONG. En 2014, el 68% del total de ayudas fue proporcionado por ONG, evidenciando su papel crucial. A partir de 2016, con cambios en el marco regulatorio regional, aumentó el presupuesto público destinado a este problema. Se observan diferencias territoriales, siendo la pobreza energética más aguda en entornos urbanos que rurales. En áreas rurales, el promedio por ayuda es 65% mayor que en la capital provincial, sugiriendo mayor disponibilidad presupuestaria⁵⁶.

La percepción de los profesionales que trabajan con hogares afectados también fue analizada. El 71% considera la pobreza energética un problema grave y el 80% cree que no se debería cortar el suministro energético en invierno a hogares vulnerables⁵⁷. Existe un consenso generalizado sobre la necesidad de mayor atención política y mediática al problema.

Es importante considerar las diferencias territoriales y la percepción social al diseñar políticas energéticas locales. Se enfatiza la necesidad de un enfoque holístico que integre aspectos económicos, sociales y mediáticos para abordar eficazmente la pobreza energética. Este tipo de análisis proporciona información valiosa para profesionales y responsables políticos, contribuyendo a una comprensión más completa del problema y sus posibles soluciones.

Entre las consecuencias más graves ligadas a la pobreza energética, se encuentra la mortalidad⁵⁸. Existe una relación directa entre la eficiencia energética de las viviendas y la mortalidad invernal, así como los efectos negativos en la salud mental y física de niños, adultos y ancianos.

Además, los países con viviendas más eficientes energéticamente tienen menos muertes en exceso en invierno (EWDs)⁵⁹. Existe una relación entre las EWDs, la baja eficiencia térmica de las viviendas y las bajas temperaturas interiores. De hecho, las EWDs son casi tres veces más altas en el cuartil de viviendas más frías que en el más cálido⁶⁰. Se estima que un 21.5% de todas las EWDs son atribuibles al cuartil de viviendas más frías⁶¹.

En cuanto a la morbilidad, existe una fuerte relación entre las bajas temperaturas y las enfermedades cardiovasculares y respiratorias. Los niños que viven en casas frías tienen más del doble de probabilidades de sufrir problemas respiratorios. La salud mental también se ve afectada negativamente, con más de 1 de cada 4 adolescentes que viven en casas frías experimentando múltiples problemas de salud mental⁶².

La pobreza energética también tiene impactos indirectos, como el efecto negativo en el rendimiento educativo de los niños, las opciones dietéticas limitadas y el aumento del riesgo de accidentes en el hogar. Se destaca que invertir en la eficiencia energética de las viviendas puede estimular el mercado laboral y la economía.

Abordar la ineficiencia energética de las viviendas y mejorar la eficiencia térmica tendría un impacto positivo en la salud de los hogares más pobres. Es vital renovar programas que han

⁵⁵ Scarpellini et al. 2019

⁵⁶ Scarpellini et al. 2019

⁵⁷ Scarpellini et al. 2019

⁵⁸ Geddes et al. 2011

⁵⁹ Scarpellini et al. 2019

⁶⁰ Scarpellini et al. 2019

⁶¹ Scarpellini et al. 2019

⁶² Scarpellini et al. 2019

resultado eficientes⁶³, establecer estándares mínimos de eficiencia energética para viviendas de alquiler privado y garantizar que las políticas energéticas aborden las necesidades específicas de las comunidades rurales. En resumen, es necesaria una acción gubernamental concertada para mejorar la eficiencia energética de las viviendas y reducir la pobreza energética, con el objetivo de proteger la salud pública y mitigar el cambio climático.

No debemos olvidar que la pobreza energética no solo afecta a la salud, si no a muchos otros campos como la seguridad, el medio ambiente, la educación y la economía⁶⁴.

Desde una perspectiva económica, limita las oportunidades laborales y productivas al destinarse una parte significativa del ingreso familiar al pago de facturas energéticas elevadas. Esto puede llevar a un círculo vicioso de endeudamiento y exclusión social.

El impacto ambiental derivado del uso de fuentes energéticas ineficientes y contaminantes por parte de hogares vulnerables es significativo⁶⁵. Asimismo, destaca cómo factores externos, como el aumento global de los precios energéticos debido a conflictos geopolíticos (como la guerra en Ucrania), han exacerbado esta problemática, empujando a millones de hogares hacia una pobreza energética severa.

La pobreza energética es un problema complejo y multidimensional que afecta no solo a los niveles individuales y familiares, sino también al sistema económico y social en su conjunto. Su abordaje requiere políticas integrales que consideren factores económicos, sociales y ambientales para garantizar un acceso equitativo y sostenible a los servicios energéticos esenciales.

5. Características constructivas

Debido al reducido número de investigaciones centradas en la relación entre las características constructivas de parques de viviendas y su relación con la pobreza energética en territorio español, a continuación, se comentarán distintos artículos de otros países pero que resultan de gran interés por sus conclusiones.

A partir de datos⁶⁶, como si en España se utilizaran los del INE, se han realizado informes en la provincia de Buenos Aires⁶⁷. Se abordan variables relacionadas con las características constructivas, el acceso a servicios y las condiciones socioeconómicas para identificar patrones distintivos en los hogares afectados por esta problemática.

En términos de características constructivas, los hogares con pobreza energética presentan una mayor proporción de viviendas tipo casa (85,41%) frente a departamentos (13,22%), así como una mayor precariedad en el régimen de tenencia, con un 16,55% ocupando viviendas por préstamo o cesión. Además, estas viviendas tienden a estar construidas con materiales menos eficientes térmicamente. Por ejemplo, el 42,5% de los hogares con PE tienen cubiertas de chapa metálica, fibrocemento o cartón, frente al 35,2% en hogares sin PE. Estas deficiencias constructivas aumentan el consumo energético necesario para alcanzar condiciones térmicas adecuadas⁶⁸.

Figura 8. Pobreza energética según tipo de edificio. Fuente: Elaboración propia, 2025.

⁶³ Ejemplo: Warm Front Scheme

⁶⁴ Costa-Campi 2023

⁶⁵ Costa-Campi 2023

⁶⁶ Encuesta Nacional de Gasto de los Hogares (ENGHo) 2017/18

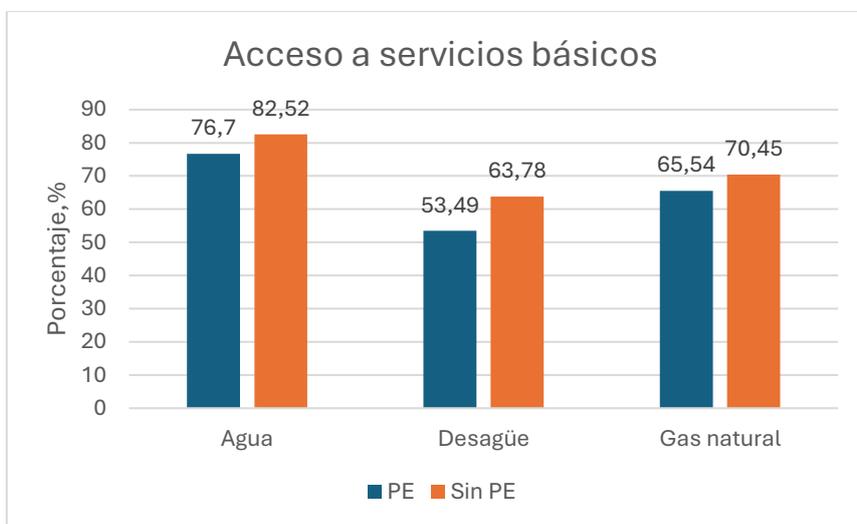
⁶⁷ Viñuela et al. s. f.

⁶⁸ Viñuela et al. s. f.



En cuanto al acceso a servicios básicos, aunque la cobertura eléctrica es casi universal en ambos grupos, los hogares con PE tienen menor acceso a redes públicas de agua (76,7% frente al 82,52%) y desagüe (53,49% frente al 63,78%). Además, estos hogares recurren más frecuentemente a métodos alternativos como pozos o cámaras sépticas. En relación al gas natural por red pública, solo el 65,54% de los hogares con PE tienen acceso, en comparación con el 70,45% en hogares sin PE⁶⁹. Esto obliga a muchos hogares afectados a depender de combustibles más costosos y contaminantes como garrafas o leña.

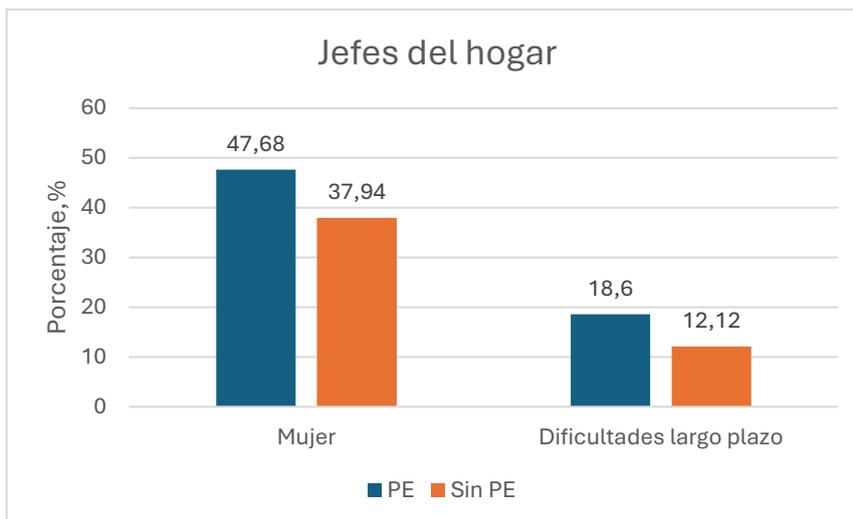
Figura 9. Acceso a servicios básicos en relación a pobreza energética. Fuente: Elaboración propia, 2025.



Desde una perspectiva socioeconómica, los hogares con PE presentan mayores niveles de vulnerabilidad. Los jefes de hogar en estos casos tienen niveles educativos más bajos: el 70,66% alcanza como máximo educación primaria o secundaria completa. Además, hay una mayor proporción de jefas mujeres (47,68% frente al 37,94%), así como un porcentaje más alto de jefes/as con dificultades a largo plazo (18,60% frente al 12,12%). Los índices de desocupación e inactividad laboral también son más elevados en los hogares con PE (6,57% y 35,17%, respectivamente), mientras que solo el 64,51% cuenta con cobertura médica frente al 78,36% en hogares sin PE. Asimismo, un 24,71% de los hogares con PE tiene al menos una necesidad básica insatisfecha (NBI), siendo la falta de acceso a agua corriente la principal carencia.

Figura 10. Características jefes de familia en relación a la pobreza energética. Fuente: Elaboración propia, 2025.

⁶⁹ Viñuela et al. s. f.



Se concluye que la pobreza energética es un fenómeno multidimensional que afecta tanto las condiciones materiales del hogar como las oportunidades socioeconómicas de sus habitantes. Las deficiencias constructivas y el acceso limitado a servicios básicos agravan esta problemática. Por ello, se propone revisar y complementar el indicador del "10%" para incorporar una perspectiva más integral que contemple aspectos constructivos y sociales. Este enfoque permitiría diseñar políticas públicas más efectivas para mitigar la pobreza energética y mejorar las condiciones de vida en los hogares afectados.

Por otro lado, también existen informes en los que se examina cómo el diseño y las características constructivas de la vivienda de interés social contribuyen a la problemática del gasto energético excesivo en un contexto de climas extremos⁷⁰. En México, este fenómeno afecta a un amplio porcentaje de la población, especialmente en regiones como Ciudad Juárez, donde las temperaturas pueden oscilar entre los 16 grados bajo cero en invierno y los 49 grados en verano. La investigación se enfoca en analizar un caso específico de vivienda de interés social, con el objetivo de identificar posibles soluciones a través de la reconversión energética.

Las viviendas construidas bajo el modelo de interés social suelen utilizar materiales que no favorecen el aislamiento térmico, lo que resulta en un alto consumo energético para mantener condiciones de confort interior⁷¹. En este sentido, se estima que el consumo anual promedio para calentar o enfriar una vivienda de 50.95 m² es de 9,561.76 kWh, lo que se traduce en un gasto proyectado a 30 años de aproximadamente 13633,08€. Este coste no solo representa una carga económica significativa para las familias, sino que también contribuye a una situación de vulnerabilidad económica.

Para abordar esta problemática, se proponen estrategias de reconversión que incluyen la implementación de materiales aislantes en muros y cubiertas. Se analizan tres alternativas, destacando dos: el aislamiento en la cubierta con poliuretano expandido y el aislamiento en los muros perimetrales. Los resultados del análisis de coste de ciclo de vida (ACCV) indican que estas intervenciones pueden reducir el consumo energético anual a 2586,40 kWh al aplicar aislamiento en la cubierta y a 1573,59 kWh al aislar los muros perimetrales. Esto se traduce en un ahorro significativo a largo plazo; por ejemplo, el coste total del consumo energético se reduciría a 3687,73€ con el aislamiento en la cubierta y a 2243,61€ con el aislamiento en los muros.

Las estrategias de reconversión no solo representan una solución viable para mitigar la pobreza energética, sino que también ofrecen una tasa de retorno atractiva para las familias afectadas. Aislar los muros perimetrales podría generar un rendimiento o tasa de retorno de aproximadamente 2196,41€ lo que subraya la importancia de considerar mejoras constructivas

⁷⁰ Gómez & Villalba 2024

⁷¹ Gómez & Villalba 2024

como parte integral del diseño habitacional. Además, se enfatiza que el diseño responsable debe tener en cuenta las características climáticas y materiales adecuados para cada región, así como la necesidad urgente de abordar estos problemas desde una perspectiva social y económica.

El diseño arquitectónico y los materiales utilizados en la construcción de viviendas sociales son de alta utilidad para enfrentar problemas como la pobreza energética. Las soluciones propuestas no solo mejoran el confort térmico y reducen costes energéticos a largo plazo, sino que también contribuyen al bienestar económico y social de las familias más vulnerables.

6. Conclusiones

La pobreza energética se revela como un fenómeno multidimensional y complejo que afecta a una parte significativa de la población española y europea. A través de esta revisión bibliográfica, se han identificado varios aspectos clave que merecen especial atención en el contexto de la lucha contra este problema.

En primer lugar, la definición y medición de la pobreza energética continúa siendo un desafío. Aunque se han desarrollado diversos indicadores, tanto objetivos como subjetivos, persiste la necesidad de un enfoque más integral que capture las múltiples facetas de este fenómeno. En el siguiente capítulo, se seleccionarán aquellos más adecuados para el contexto español, considerando factores como la disponibilidad de datos y la capacidad para reflejar las particularidades de la pobreza energética en España, para realizar una actualización de estos. Se elaborará un mapa detallado de la pobreza energética en España, considerando factores climáticos, económicos y sociales. Este mapa permitirá visualizar la distribución geográfica del problema.

El análisis de las políticas y estrategias existentes revela un panorama mixto. Mientras que iniciativas como el bono social eléctrico y térmico han demostrado cierta eficacia, su alcance y efectividad siguen siendo limitados.

Los efectos de la pobreza energética son amplios y profundos, extendiéndose más allá del ámbito puramente económico. Las consecuencias en la salud física y mental, especialmente en grupos vulnerables como niños y ancianos, son particularmente preocupantes. Además, el impacto en la educación, la productividad laboral y la cohesión social subraya la necesidad de abordar este problema desde una perspectiva holística que integre políticas de vivienda, salud, educación y empleo.

Las características constructivas de las viviendas emergen como un factor determinante en la incidencia de la pobreza energética. Los estudios revisados demuestran que las viviendas con baja eficiencia térmica no solo aumentan el consumo energético, sino que también exacerban las condiciones de vulnerabilidad de sus ocupantes. La rehabilitación energética de edificios se presenta como una estrategia prometedora para mitigar la pobreza energética, aunque su implementación a gran escala enfrenta desafíos financieros y logísticos significativos. En próximos capítulos, se estudiarán las características constructivas de las viviendas para comprender cómo la antigüedad, el tipo de construcción y la eficiencia energética de las viviendas influyen en la vulnerabilidad de los hogares.

En conclusión, la lucha contra la pobreza energética requiere un enfoque multidisciplinario que combine medidas a corto plazo para aliviar las situaciones más urgentes con estrategias a largo plazo orientadas a abordar las causas estructurales del problema. Es fundamental mejorar la eficiencia energética de las viviendas, promover el uso de energías renovables y desarrollar políticas sociales que protejan a los hogares más vulnerables. Asimismo, es crucial fomentar la investigación continua y la recopilación de datos precisos para informar la toma de decisiones y evaluar el impacto de las intervenciones.

La colaboración entre diferentes actores, incluyendo gobiernos, sector privado, organizaciones y comunidades afectadas, será esencial para desarrollar soluciones innovadoras y sostenibles. Solo a través de un esfuerzo coordinado y sostenido se podrá avanzar hacia un futuro en el que todos los ciudadanos tengan acceso a servicios energéticos asequibles, seguros y sostenibles, contribuyendo así a la mejora de la calidad de vida de la población en su conjunto.

Cuantificación y Métrica

En este capítulo se abordará la medición y análisis detallado de la pobreza energética en España, utilizando un enfoque multidimensional que combina indicadores objetivos y subjetivos. Se analizarán datos socioeconómicos y climáticos a nivel autonómico, con el objetivo de entender la distribución geográfica de la pobreza energética en el país y la creación de un modelo para identificar a aquellas personas en situación de pobreza energética.

1. Delimitación y justificación del análisis

El análisis en detalle de variables socioeconómicas (ingresos familiares, empleo, nivel formativo) y climáticas (grados-día) resulta un paso esencial para comprender por qué determinados hogares no pueden cubrir con facilidad sus necesidades energéticas. Al reunir datos de estas características, se logra un panorama global que sirve para explicar de manera rigurosa qué factores inciden en la capacidad de mantener una vivienda en condiciones térmicas adecuadas.

En primer lugar, evaluar la combinación de renta disponible y gasto energético permite estimar la parte del presupuesto familiar destinada a la energía, ofreciendo información sobre el peso que cobran las facturas de luz, gas o combustibles para la calefacción. La comparación entre distintos niveles de ingresos (deciles de renta) ayuda a visualizar de forma objetiva en qué medida el coste energético está ligado a la situación económica general y si ese coste empeora o mitiga la vulnerabilidad de los hogares. Además, incluir parámetros como la situación laboral o el nivel educativo ilumina aspectos como la estabilidad de los ingresos y las probabilidades de emprender reformas o mejoras de eficiencia.

En segundo lugar, la recolección de datos climáticos proporciona elementos para comprender en qué contextos resulta más alta la demanda de energía (bien sea por inviernos estrictos o veranos con elevadas temperaturas), lo cual conecta de modo directo con los indicadores de pobreza energética. Saber cuántos grados-día requiere cada zona, o el número de días de calefacción y refrigeración, aporta un criterio objetivo de referencia para entender la magnitud de las necesidades energéticas reales y, por tanto, las dificultades que pueden tener los hogares con menos recursos.

En definitiva, contar con un conjunto de datos tan completo no solo enriquece el diagnóstico, sino que allana el camino para los siguientes apartados del trabajo. Aportar una “radiografía” actualizada de los ingresos, gastos, condiciones climatológicas proporciona la base empírica necesaria para calcular de manera fundamentada los indicadores de pobreza energética, como el 2M, el M/2 o el retraso en facturas. Además, el cruce de esas variables con las ya mencionadas (educación, empleo, antigüedad de la vivienda) permitirá perfilar con mayor precisión quiénes son los colectivos más expuestos y qué medidas correctivas podrían resultar más efectivas, así como asegurar una implementación correcta de estas variables en el modelo matemático.

2. Planteamiento del modelo matemático

Este modelo matemático tiene como objetivo estimar la probabilidad de que un hogar se encuentre en situación de pobreza energética, a partir de un conjunto de variables socioeconómicas, climáticas y constructivas. La clasificación de los hogares como pobres energéticos se realiza con base en el cumplimiento de cuatro indicadores oficiales. Posteriormente, se estima un modelo de regresión logística en el que la variable dependiente binaria (pobreza energética sí/no) se explica mediante las variables mencionadas. Los coeficientes asociados a cada variable explicativa serán estimados estadísticamente mediante técnicas de regresión logística, utilizando una base de datos de microdatos de hogares. Estos coeficientes permitirán evaluar la influencia relativa de cada factor sobre la vulnerabilidad energética.

La condición de pobreza energética (Y) se establece claramente como una variable binaria derivada de la combinación de 4 indicadores específicos:

$$Y = \begin{cases} 1, & \text{si } I_1 + I_2 + I_3 + I_4 \geq 2 \\ 0, & \text{en otro caso} \end{cases} \quad [Eq 1]$$

Donde:

- I_i : Indicadores objetivos y subjetivos de pobreza energética.

Una vez definida claramente la variable dependiente binaria Y, esta se explica mediante tres grupos diferenciados de variables:

- S_j : Variables socioeconómicas.
- C_k : Variables climáticas.
- V_m : Variables constructivas y energéticas del hogar.

Dado que la variable dependiente Y es binaria, se utiliza un modelo estadístico de regresión logística, cuya ecuación general es:

$$P(Y = 1) = \frac{1}{1 + e^{-(\beta_0 + \sum_{j=1}^4 \beta_j S_j + \sum_{k=1}^2 \gamma_k C_k + \sum_{m=1}^8 \delta_m V_m)}} \quad [Eq 2]$$

Donde:

- $P(Y=1)$ es la probabilidad estimada de que un hogar esté en situación de pobreza energética.
- β_0 es la constante o intercepto.
- $\alpha_i, \beta_j, \gamma_k$: son los coeficientes estimados estadísticamente que indican la influencia de cada variable explicativa

3. Selección de indicadores

La cuantificación de la pobreza energética presenta un desafío metodológico significativo, requiriendo un equilibrio delicado entre el rigor académico, la disponibilidad de datos y la aplicabilidad en políticas públicas. La elección de indicadores adecuados es crucial para capturar la complejidad multidimensional de este fenómeno, que abarca aspectos económicos, técnicos y sociales. En el contexto español, la adopción de los cuatro indicadores recomendados por el Observatorio Europeo de Pobreza Energética (EPOV) en la Estrategia Nacional contra la Pobreza Energética (ENPE) marca un hito importante. Sin embargo, esta selección merece un análisis crítico en el marco de las alternativas metodológicas disponibles a nivel internacional.

Se examinarán brevemente las ventajas y limitaciones de ocho indicadores prominentes en la literatura científica, justificando la elección final de los cuatro adoptados en España. Esta revisión no solo busca fundamentar la decisión metodológica, sino también contextualizar estos indicadores dentro del debate académico actual y su relevancia para el caso español.

A continuación, se presentan indicadores mencionados anteriormente, pero que no se utilizarán en este análisis y los motivos.

- **Indicador del 10%:** Según este indicador, son pobres energéticamente aquellos grupos que dedican más del 10% de sus ingresos en energía para mantener el confort interior⁷².

⁷² Boardman, 1991.

Este indicador ha sido ampliamente utilizado durante décadas. Sin embargo, su simplicidad, que inicialmente fue una ventaja, se ha convertido en su principal limitación en contextos energéticos y socioeconómicos complejos. Este indicador falla en capturar la naturaleza multidimensional de la pobreza energética, especialmente en países con climas diversos como España⁷³.

- **Low Income High Costs (LIHC):** No se ha valorado este indicador ya que requiere datos de eficiencia energética de viviendas, solo disponibles para un bajo porcentaje del parque inmobiliario español lo que dificulta su cálculo. Por otro lado, se centra principalmente en la ineficiencia energética de las viviendas, obviando que los hogares con bajos ingresos pueden seguir teniendo problemas para pagar sus facturas incluso en viviendas eficientes.⁷⁴
- **Minimum Income Standard (MIS):** Según este indicador, un hogar será pobre energético si tiene un gasto energético excesivo, haciendo que priorice este gasto sobre otro e impidiéndole suplir otras necesidades básicas. De nuevo, este indicador ofrece una métrica para el gasto desproporcionado. No se empleará en este estudio ya que precisa establecer un estándar de ingreso mínimo, el cual dificulta una medición consistente ya que la Renta Mínima de Inserción o el Salario Mínimo Interprofesional son inestables y varían según decisiones políticas regionales y nacionales⁷⁵.
- **HEP:** Indicador de pobreza energética para el gasto insuficiente para identificar con mayor precisión aquellos hogares que están consumiendo menos energía de la que deberían debido a pobreza y no por otras razones. Se ha desestimado este novedoso indicador desarrollado por la Cátedra de Energía y Pobreza de la Universidad Pontificia de Comillas ya que emplea un modelo de gasto energético teórico desarrollado por la Cátedra y un filtro por deciles de renta.

Sin embargo, sí que se utilizarán los siguientes indicadores de carácter objetivo y subjetivo. De la primera clase, se utilizarán los indicadores:

- **Gasto energético desproporcionado (I₁):** Esta métrica declara a un hogar como pobre energético cuando para cubrir los gastos de su factura energética, destina una proporción de sus ingresos superior al doble de la mediana de los hogares en el país.⁷⁶ Identifica a aquellos hogares que están gastando más que un umbral variable, definido por el uso energético del conjunto de hogares del país, en un periodo de tiempo. Por lo tanto, en este análisis se empleará para identificar a aquellos hogares en pobreza energética por gasto desproporcionado.

Para calcularlo, se empleará la siguiente ecuación:

$$\%Gasto_{energético\ del\ hogar} > 2 * Mediana_{\%Gasto_{energético\ del\ hogar}} \quad [Eq\ 3]$$

Con:

$$\%Gasto_{energético\ del\ hogar} = \frac{Gasto_{energético\ del\ hogar}}{Ingresos_{totales\ del\ hogar}} \quad [Eq\ 4]$$

El cálculo de los ingresos por persona se realizará utilizando la escala de factores modificados de la OCDE.

$$UC2 = 1 + 0,5 * (\varphi - 1) + 0,3 * \theta \quad [Eq\ 5]$$

φ es la variable relativa al número de adultos y θ concierne los menores de 14 años en el hogar.

⁷³ Bouzarovski & Petrova 2015

⁷⁴ Castaño Rosa et al. 2020

⁷⁵ Costa et al. 2019

⁷⁶ Pedro Gouveia et al. 2022

Para el cálculo del gasto por persona equivalente en hogares de diferente tamaño se aplica el factor de equivalencia de la siguiente tabla:

Tabla 2. Factores de equivalencia para los gastos de energía doméstica. Fuente: Tirado et al, 2018

Tamaño del hogar	Factor de equivalencia
1 persona	1,00
2 personas	1,45
3 personas	1,68
4 personas	1,90
5 o más personas	1,99

- **Gasto energético insuficiente (I₂):** Según este indicador, un hogar es pobre energético cuando el importe que dedica a cubrir los gastos energéticos es inferior a la mitad de la mediana nacional. Dentro de este consumo inferior, es posible que se estén contando hogares no vulnerables. Por otro lado, se hace la suposición de que hay cierta homogeneización en el gasto energético adecuado de cada hogar y que depende de la mayoría, lo cual no es real.⁷⁷ No obstante, este indicador está respaldado tanto por la ENPE 2019-2024 como por el EPOV/EPAH como métrica para el gasto insuficiente, por lo que será incluido en el análisis. Para calcular este indicador se empleó la siguiente fórmula:

$$\%Gasto_{energético\ del\ hogar} > \frac{Mediana\ Gasto_{energético\ del\ hogar}}{2} \quad [Eq\ 6]$$

De la segunda clase se utilizarán los siguientes indicadores:

- **Retraso en el pago de las facturas (I₃):** recoge la respuesta a la pregunta de sobre si un hogar ha tenido retrasos en el pago de sus facturas de suministros básicos en los últimos 12 meses. Esta pregunta está incluida en la Encuesta de Condiciones de Vida (ECV)⁷⁸
- **Incapacidad declarada de mantener el hogar con una temperatura adecuada (I₄):** recoge la respuesta a la pregunta de si la temperatura en el hogar en invierno es adecuada o no. Esta pregunta también está incluida en la ECV⁷⁹

Mediante la selección de los 4 indicadores incluidos anteriormente, se busca cubrir las 4 dimensiones principales de la pobreza energética en el análisis a realizar⁸⁰, proporcionando una visión integral y multidisciplinaria:

- **Gasto desproporcionado:** hogares que destinan una proporción excesiva de sus ingresos a facturas energéticas, incluso si sus ingresos son relativamente altos. Un ejemplo de población en esta dimensión sería una familia en vivienda antigua con aislamiento deficiente en zona fría, obligada a gastar más para mantener temperaturas básicas.
- **Gasto insuficiente:** hogares que consumen menos energía de la necesaria por restricciones económicas. Una persona mayor puede reducir la calefacción en invierno para evitar deudas.

⁷⁷ Romero et al. 2024

⁷⁸ Romero et al. 2024

⁷⁹ Romero et al. 2024

⁸⁰ Pedro Gouveia et al. 2022

- Retraso en pagos: acumulación de deudas energéticas. En este caso, se podría tratar por ejemplo de un hogar que acumula deudas en invierno por priorizar alimentos sobre energía.
- Temperatura inadecuada: incapacidad de mantener la vivienda a una temperatura adecuada. Este caso se podría dar en viviendas en zonas húmedas donde los hogares declaran humedades y frío crónico.

Esta aproximación metodológica permite capturar la complejidad inherente a la pobreza energética, que va más allá de simples medidas de gasto o ingresos, y se centra en comprender cómo las condiciones de vida, el entorno climático y las decisiones financieras de los hogares interactúan para generar situaciones de vulnerabilidad energética.

En el modelo, se introducirán los indicadores seleccionados de la manera:

Figura 11. Indicadores seleccionados. Fuente: elaboración propia, 2025.

Variable (I _i)	Descripción	Tipo	Valores
I ₁	Gasto energético > doble de la mediana nacional	Binaria	1;0
I ₂	Gasto energético < mitad de la mediana nacional	Binaria	1;0
I ₃	Incapacidad declarada para mantener temperatura adecuada	Binaria	1;0
I ₄	Retrasos en pagos de energía en últimos 12 meses	Binaria	1;0

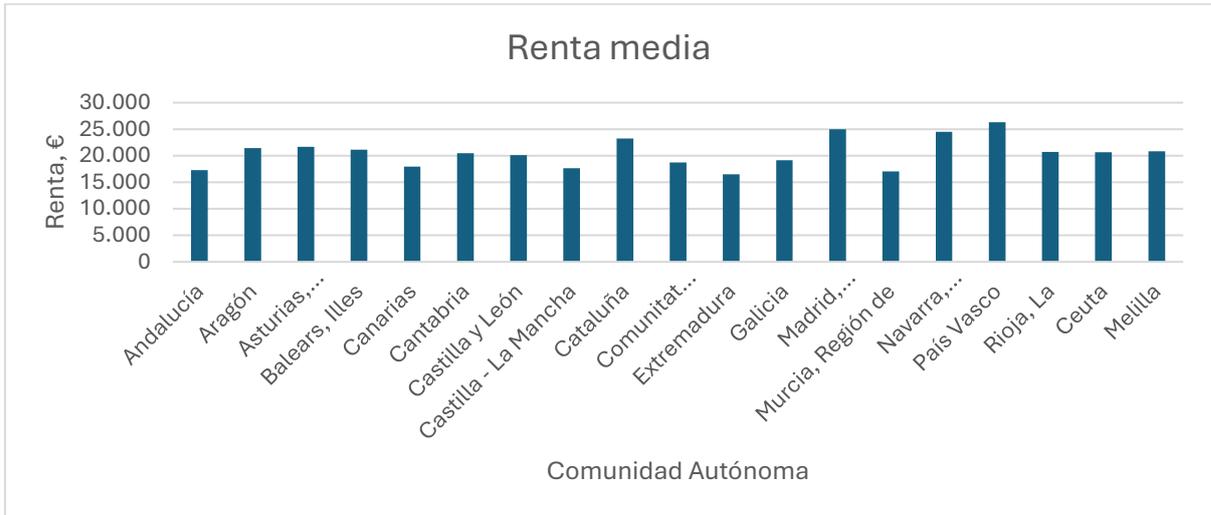
4. Descripción de variables explicativas seleccionadas

- Socioeconómicas

a. Renta media por hogar (S₁):

La renta media por hogar, proporcionada por el INE, permite contextualizar la capacidad económica de los hogares para afrontar los gastos energéticos. Madrid (24.991 €), el País Vasco (26.298 €), Navarra (24.495 €) y Cataluña (23.269 €) son las comunidades con mayor poder adquisitivo, lo cual les otorga una mayor resiliencia frente a los costes energéticos. En cambio, Extremadura (16.493 €), Andalucía (17.295 €), Castilla-La Mancha (17.634 €) y la Región de Murcia (17.069 €) presentan los valores más bajos de renta, lo que limita significativamente la capacidad de los hogares para mantener unas condiciones térmicas adecuadas, acentuando su vulnerabilidad.

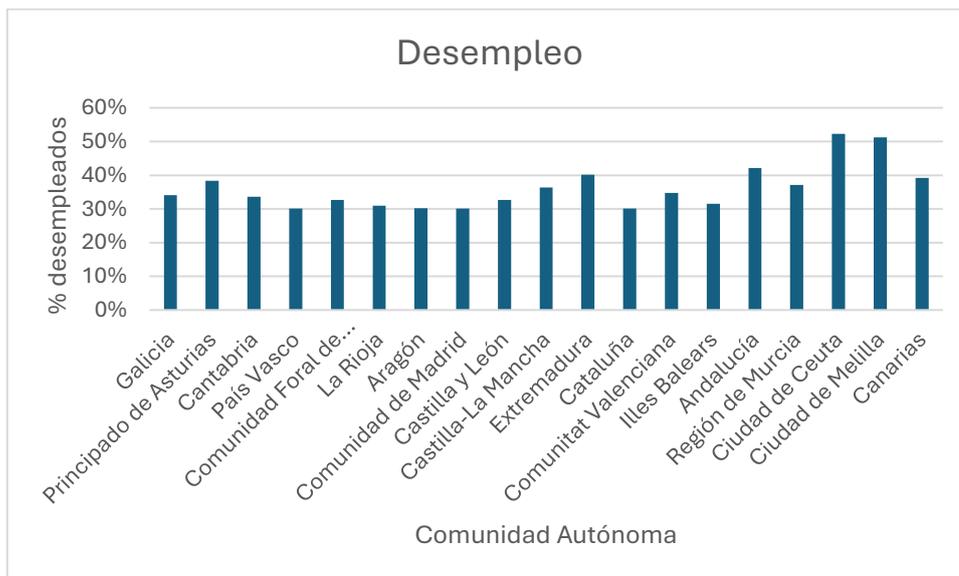
Figura 1. Renta media por hogar por Comunidad Autónoma. Fuente: Elaboración propia con datos del INE 2023.



b. Tasa de desempleo (S_2):

Las tasas de desempleo más altas se concentran en Ceuta, Melilla, Andalucía, Canarias y Murcia, superando el 40 %, lo que indica una elevada vulnerabilidad social y energética. En contraste, regiones como Aragón, País Vasco, Navarra, Castilla y León y La Rioja presentan tasas inferiores al 30 %, reflejando mayor estabilidad laboral. Comunidades como Madrid, Cataluña y la Comunitat Valenciana se sitúan en un nivel intermedio. En conjunto, el sur y los enclaves norteafricanos destacan por su mayor riesgo de pobreza energética debido a la combinación de desempleo, bajos ingresos y alta demanda energética.

Figura 2. Porcentaje de desempleo por Comunidad Autónoma. Fuente: Elaboración propia con datos de EUROSTAT 2023.

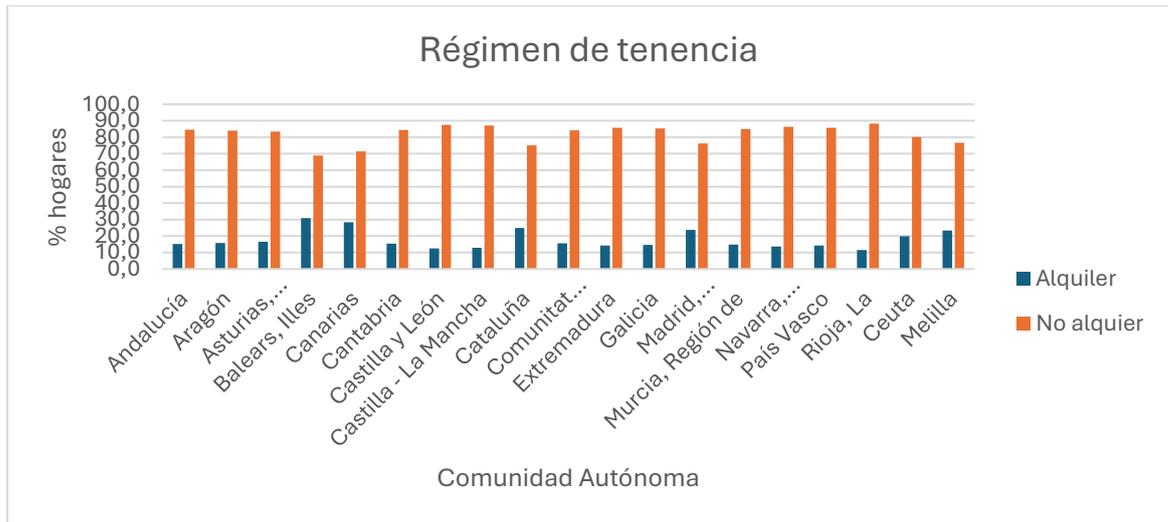


c. Régimen de tenencia (S_3):

En cuanto a la tenencia de la vivienda, se observa que el porcentaje de hogares en régimen de alquiler es significativamente más alto en las Islas

Baleares (30.9 %), Canarias (28.5 %), Cataluña (24.9 %) y Madrid (23.7 %), lo que refleja una mayor presión inmobiliaria en zonas turísticas y urbanas. El régimen de alquiler, especialmente cuando se vincula a vivienda antigua y mal acondicionada, incrementa el riesgo de pobreza energética, ya que los inquilinos tienen escasa capacidad de decisión sobre reformas de eficiencia energética. Por el contrario, comunidades como La Rioja, Castilla y León y Castilla-La Mancha muestran tasas de alquiler muy bajas, lo cual puede estar asociado a un mayor porcentaje de vivienda en propiedad, aunque no necesariamente a mejores condiciones de habitabilidad.

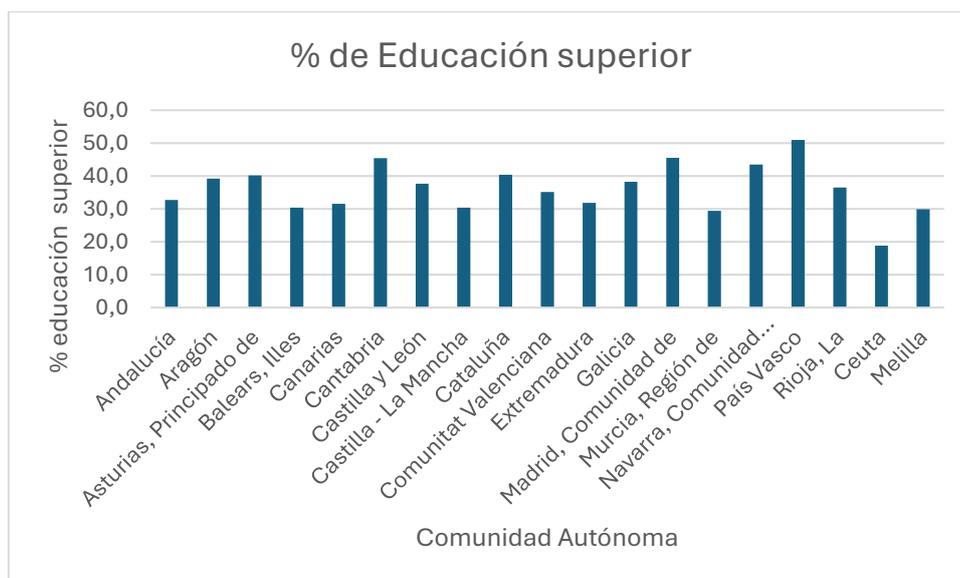
Figura 3. Porcentaje de hogares alquilados. Fuente: Elaboración propia con datos del INE 2023.



d. Nivel de formación académica (S₄):

Finalmente, el nivel de formación alcanzado, medido como el porcentaje de población entre 16 y 64 años con educación superior (niveles 5 a 8), refleja una notable desigualdad territorial. País Vasco (51 %), Madrid (45.6 %) y Navarra (43.5 %) destacan con los niveles más altos de formación, lo que correlaciona con mayores ingresos y una mejor capacidad para gestionar y reducir el consumo energético. En el extremo opuesto, Ceuta (18.9 %), Canarias (30.4 %) y Extremadura (31.8 %) presentan los niveles más bajos, lo que limita las oportunidades de empleo cualificado y, por ende, la posibilidad de adoptar medidas estructurales de eficiencia energética en los hogares. Este indicador resulta clave, ya que la formación está estrechamente relacionada con la toma de decisiones informadas respecto al consumo energético y con la capacidad de acceder a recursos y ayudas disponibles.

Figura 12. Porcentaje de población con nivel de educación superior (de 16 a 64 años). Fuente: Elaboración propia con datos del INE 2023.



Las variables socioeconómicas se introducirán de manera que:

Figura 13. Variables socioeconómicas. Fuente: elaboración propia, 2025.

Variable (Sj)	Descripción	Tipo	Valores
S ₁	Renta media mensual neta del hogar	Categórica ordinal (Rango de €)	1: <500 €, 2: 500–999 €, 3: 1000–1499 €, 4: 1500–1999 €, ..., 10: ≥9000 €
S ₂	Situación laboral del sustentador	Binaria	0: En paro / inactivo, 1: Ocupado
S ₃	Régimen de tenencia	Categórica	1: Propiedad, 2: Alquiler, 3: Cesión u otros
S ₄	Educación superior del sustentador	Binaria	0: No tiene estudios superiores, 1: Tiene estudios superiores

- **Climáticas**

- a. Grados- día de calefacción (C₁):

Los grados-día de calefacción, también proporcionados por EUROSTAT, muestran la necesidad térmica inversa, es decir, la cantidad de energía requerida para calefacción. Su cálculo se basa en una temperatura base, definida como la temperatura media diaria exterior por debajo de la cual se considera necesario calentar el interior de la vivienda. Aunque esta temperatura base depende de factores como el tipo de edificio o el entorno, en los estudios climatológicos se establece comúnmente en un valor constante de 15 °C. Se calculan siguiendo la siguiente ecuación:

$$\text{Si } T_m \leq 15 \text{ }^\circ\text{C} \text{ entonces: } HDD = \sum_i (18 \text{ }^\circ\text{C} - T_m^i) \quad [Eq 7]$$

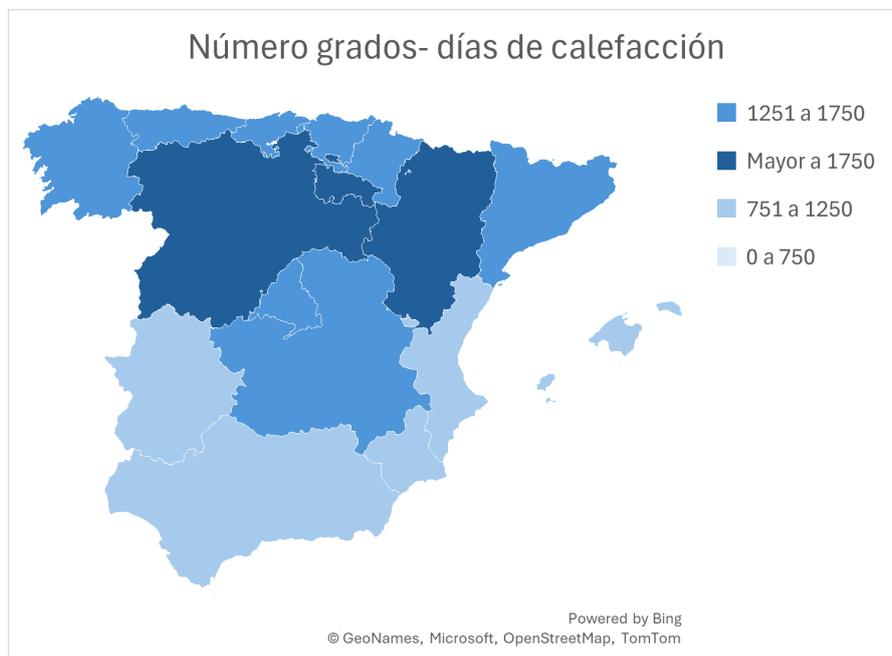
De lo contrario: $HDD = 0$

T_m^i es la media de la temperatura del aire para un día i

Estos cálculos se realizan de forma diaria, se acumulan por meses naturales y, posteriormente, por años naturales.

Aquí se observa una prevalencia clara de las regiones interiores y del norte, encabezadas por Castilla y León (2.097,18), Aragón (1.763,90), Navarra (1.738,05) y La Rioja (1.924,43). Este patrón refleja la rigurosidad de los inviernos en el interior peninsular, lo cual implica un mayor gasto energético durante los meses fríos. En contraposición, Canarias (93.41), Ceuta (315.81) y Andalucía (943.09) presentan una menor necesidad de calefacción, acorde con sus condiciones climáticas más suaves. Esta disparidad climática entre norte y sur se traduce directamente en distintas formas de expresión de la pobreza energética estacional.

Figura 14. Grados - día de calefacción por Comunidad Autónoma. Fuente: Elaboración propia con datos de EUROSTAT 2023.



b. Grados días de refrigeración (C_2):

Los grados-día de refrigeración, según datos de EUROSTAT, indican la necesidad energética para enfriar los espacios interiores en cada comunidad autónoma. En este caso, se aplica una temperatura base de 24 °C, usando la ecuación:

$$\text{Si } T_m \geq 24 \text{ }^\circ\text{C entonces: } CDD = \sum_i (T_m^i - 21 \text{ }^\circ\text{C}) \quad [Eq 8]$$

De lo contrario: $CDD = 0$

T_m^i es la media de la temperatura del aire para un día i

Estos cálculos se realizan de forma diaria, se acumulan por meses naturales y, posteriormente, por años naturales.

En este caso, destacan especialmente Andalucía (582.1), Extremadura (599.69) y la Región de Murcia (577.06), seguidas por la Comunidad Valenciana y Castilla-La Mancha, lo que refleja una mayor demanda de energía en verano debido a las altas temperaturas, propias del sur y sureste peninsular. Por el contrario, el norte

de España presenta valores considerablemente inferiores: Asturias (14.57), Galicia (34.65) y Cantabria (35.75), evidenciando un clima más templado y menor exposición al calor extremo, lo cual reduce los requerimientos energéticos para refrigeración en estas zonas.

Figura 15. Grados - día de refrigeración por Comunidad Autónoma. Fuente: Elaboración propia con datos de EUROSTAT 2023.



Las variables climáticas se emplearán en el modelo de la siguiente manera:

Variables (C_k)	Descripción	Tipo	Valores [°C]
C_1	Días-grado calefacción	Continua decimal	1: 0–750, 2: 751–1250, 3: 1251–1750, 4: >1750
C_1	Días-grado refrigeración	Continua decimal	1: 0–160.85, 2: 160.86–307.13, 3: 307.14–453.41, 4: >453.41

- **Constructivas**

Se realizará un análisis en profundidad de las variables constructivas un capítulo posterior.

5. Discusión de resultados de indicadores

Para el cálculo de los indicadores relacionados con la vulnerabilidad energética se ha empleado Python como lenguaje de programación, utilizando el entorno integrado PyCharm debido a su versatilidad y capacidad para manejar y procesar grandes volúmenes de datos de manera eficiente. La información proviene principalmente de los archivos proporcionados por la Encuesta de Presupuestos Familiares (EPF) y la Encuesta de Condiciones de Vida (ECV) del Instituto

Nacional de Estadística (INE). Posteriormente, se ha aplicado la técnica de normalización mediante Z-score con el objetivo de estandarizar los resultados, permitiendo así realizar una comparación directa y rigurosa de la vulnerabilidad energética entre las distintas comunidades autónomas, facilitando la interpretación e identificación de aquellas regiones que presentan situaciones significativamente diferentes del promedio nacional de manera que:

- $n=1,2$
- μ_{I_n} es la media nacional del indicador
- σ_{I_n} es la desviación típica nacional del indicador

Se aplica la fórmula:

$$Z_{I_n} = \frac{I_n - \mu_{I_n}}{\sigma_{I_n}} \quad [Eq\ 9]$$

- **Gasto energético insuficiente (I_1).**

En 2023, el indicador I_1 a nivel nacional se situó en torno al 12,5% de los hogares, el valor más elevado registrado hasta la fecha⁸¹. Esta cifra creciente (en 2020 era ~11%) refleja que más hogares han reducido su consumo energético por debajo de lo considerado mínimo adecuado, posiblemente como respuesta al encarecimiento de la energía en los últimos años.

A diferencia del indicador I_2 , el I_1 pone de relieve una forma más oculta de pobreza energética, pero no por ello menos grave, ya que suele implicar condiciones térmicas inadecuadas que repercuten en la salud y bienestar de los habitantes. Ahora bien, la interpretación territorial de I_1 resulta más compleja, pues intervienen factores climáticos y de eficiencia que pueden inflar o atenuar este indicador al margen de la vulnerabilidad económica.

Según los datos presentados, se destacan Ceuta ($Z_{I1} = 2.60$), Melilla ($Z_{I1} = 2.30$), y Andalucía ($Z_{I1} = 1.96$) como las comunidades autónomas con mayor desviación positiva respecto a la media nacional, es decir, con una proporción muy superior de hogares que se encuentran por debajo del umbral de gasto considerado mínimo. Este patrón puede interpretarse como un indicio de pobreza energética estructural en su vertiente más silenciosa, y guarda coherencia con las condiciones sociales observadas previamente. En primer lugar, Ceuta y Melilla presentan las tasas de desempleo más elevadas del país, superiores al 50 %, lo que, combinado con rentas medias notablemente bajas (315.81 € en Ceuta y 568.50 € en Melilla, según los datos de renta anual disponible por hogar), limita gravemente la capacidad de los hogares para mantener un nivel mínimo de consumo energético. En ambos casos, el clima cálido podría mitigar parcialmente la necesidad de calefacción, pero esta variable no explica por sí sola unos Z_{I1} tan elevados. Cabe considerar, además, que estas regiones presentan niveles de educación superior muy bajos: 18.9 % en Ceuta y 29.9 % en Melilla, lo cual puede influir en una menor concienciación sobre el confort térmico y el uso eficiente de la energía.

En el caso de Andalucía, con un Z_{I1} de 1.96, la explicación se encuentra en una convergencia de factores: elevada tasa de desempleo (alrededor del 45 %), baja renta media (17.295 €), y una alta proporción de hogares en régimen de alquiler (15.3 %), lo cual limita la capacidad para realizar reformas energéticas o invertir en equipamiento eficiente. Aunque Andalucía presenta una de las mayores cargas de

⁸¹ Romero et al. 2024

refrigeración (582.1 grados-día), el consumo energético es bajo, lo que sugiere una privación voluntaria del uso de climatización por razones económicas, revelando así un caso típico de pobreza energética encubierta.

En el otro extremo, con Z_{I1} negativos significativos, encontramos Navarra ($Z_{I1} = -1.69$), el País Vasco ($Z_{I1} = -1.41$), la Comunidad de Madrid ($Z_{I1} = -1.08$) y Cataluña ($Z_{I1} = -0.97$). Estas comunidades muestran niveles notablemente bajos de hogares con gasto energético inferior al umbral crítico, lo que indica un uso más adecuado o al menos suficiente de los recursos energéticos. En todas ellas se observa una renta media por hogar elevada: Navarra con 24.495 €, Madrid con 24.991 € y País Vasco con 26.298 €, a lo que se suma un nivel alto de educación superior, superando el 40 % en todas ellas (con el País Vasco alcanzando el 51 %). Esta combinación de factores parece favorecer tanto la conciencia sobre el uso energético como la posibilidad de adoptar tecnologías más eficientes o mejorar las condiciones de la vivienda.

Cabe señalar que algunas regiones con climas rigurosos en invierno, como Castilla y León o Aragón, no presentan desviaciones especialmente altas en este indicador. Sus Z_{I1} se sitúan en valores cercanos a cero (por ejemplo, Castilla y León con $Z_{I1} = 0.19$), lo cual sugiere que, si bien la demanda energética puede ser elevada, el nivel de gasto se mantiene dentro de parámetros normales, probablemente porque el bajo nivel de renta no impide completamente el uso mínimo de calefacción gracias a factores como una mayor cultura de ahorro energético, apoyo institucional o condiciones de propiedad que permiten mejor adaptación de la vivienda.

Otro aspecto destacable es Canarias, que muestra un Z_{I1} negativo moderado ($Z_{I1} = -0.73$), pese a presentar una de las rentas más bajas del país (93.41 € en términos de renta media anual por hogar, el valor más bajo de todas las comunidades). La explicación probablemente reside en su clima excepcionalmente benigno, con grados-día de calefacción y refrigeración muy reducidos (78.4 y 350.8 respectivamente), lo que permite a los hogares mantener un consumo energético bajo sin comprometer gravemente el confort térmico.

En conjunto, el análisis del indicador I_1 revela que la pobreza energética por infraconsumo está fuertemente asociada a la combinación de bajos ingresos, desempleo estructural, menor nivel educativo y dificultades de acceso a vivienda en propiedad. Esta modalidad de pobreza energética afecta de forma más intensa a territorios del sur y a los enclaves africanos, y exige un enfoque político diferente al del gasto excesivo. Aquí, el reto está en garantizar un consumo energético mínimo necesario para la salud y el bienestar, promoviendo a la vez la rehabilitación de viviendas, el acceso a sistemas eficientes y ayudas específicas que permitan a los hogares más vulnerables alcanzar niveles básicos de confort térmico sin recurrir a la privación.

- **Gasto energético desproporcionado (I_2).**

El indicador I_2 refleja el porcentaje de hogares cuyo gasto energético se sitúa por encima del doble de la mediana nacional, considerado como un umbral objetivo de pobreza energética por exceso de gasto.

En 2023, aproximadamente un 17% de los hogares españoles se encontró en esta situación de gasto desproporcionado (el valor más alto de la serie histórica reciente)⁸². Esto significa que cerca de 1 de cada 6 hogares destina una fracción de sus ingresos

⁸² Romero et al. 2024

a la energía muy por encima de lo habitual, reflejando casos graves de pobreza energética relacionada con costos elevados.

Al observar los Z_{12} asociados a este indicador, destacan Castilla-La Mancha ($Z_{12} = 2.52$) y Castilla y León ($Z_{12} = 2.06$) como las comunidades autónomas con un nivel significativamente superior al promedio nacional en cuanto a este tipo de pobreza energética. Esta situación se puede relacionar de manera clara con sus condiciones climáticas. Ambas regiones presentan elevados valores de grados-día de calefacción, lo que implica una alta necesidad energética durante los meses fríos. En particular, Castilla y León es la comunidad con mayor carga térmica invernal, superando los 2.000 grados-día, lo que evidencia una gran demanda de calefacción, y por tanto, un riesgo elevado de gasto excesivo en energía para mantener un nivel de confort térmico.

Sin embargo, este elevado gasto energético no se corresponde con una alta capacidad económica. Castilla-La Mancha y Castilla y León presentan rentas medias por hogar por debajo de la media nacional, situándose entre los territorios con menor poder adquisitivo. Esta combinación de necesidades térmicas altas y rentas bajas constituye un caldo de cultivo propicio para que se dispare el porcentaje de hogares en situación de pobreza energética medida por el I_1 . A esto se suma el bajo nivel de educación superior alcanzado por su población, especialmente en Castilla-La Mancha, donde apenas un 30.4 % de los adultos tiene estudios terciarios. Este menor nivel educativo se asocia a un mercado laboral más precario y a un acceso limitado a empleos bien remunerados, lo cual refuerza la incapacidad de los hogares para absorber gastos energéticos elevados.

Por otro lado, resulta relevante que algunas comunidades con climas extremos no presenten un Z_{12} elevado en este indicador. Es el caso de Andalucía, Murcia o Extremadura, que, pese a registrar necesidades significativas de refrigeración en verano (más de 500 grados-día en algunos casos), no alcanzan niveles preocupantes en términos de sobre coste energético. Esto podría explicarse en parte por la arquitectura tradicional más adaptada al calor, pero también por la posible presencia de situaciones de infrautilización energética, es decir, hogares que, pese a necesitar refrigeración, no la usan por falta de recursos. De hecho, Andalucía y Murcia presentan Z_{12} próximos a cero o incluso negativos, lo que sugiere que el problema en estas regiones puede expresarse más en términos de gasto insuficiente que de gasto desproporcionado, un fenómeno que se analiza con más precisión a través de I_2 .

Otro hallazgo destacable es el caso de Canarias, con un Z_{12} de -1.71, el más bajo del conjunto. Esta región combina bajos grados-día tanto de calefacción como de refrigeración, gracias a su clima subtropical, lo cual reduce de forma natural la demanda energética de los hogares. Además, aunque la renta media es también baja, y el desempleo elevado, la carga térmica reducida compensa parcialmente estas debilidades estructurales. A ello se suma que el régimen de tenencia de vivienda presenta una de las tasas más altas de alquiler, lo cual podría reducir los gastos energéticos si los arrendadores han efectuado inversiones en eficiencia, aunque también limita las posibilidades de intervención directa por parte de los inquilinos.

En el extremo opuesto, Madrid, Comunidad Valenciana, País Vasco y Canarias presentan Z_{12} claramente negativos. En estas regiones, la combinación de renta elevada (como en el caso de Madrid y País Vasco) o de clima benigno (como en Canarias) contribuye a un menor porcentaje de hogares con gasto energético excesivo. Este resultado refuerza la idea de que las condiciones estructurales, tanto

climáticas como socioeconómicas, tienen un peso determinante en la aparición de pobreza energética por exceso de gasto, y que el indicador I_2 capta de manera efectiva la carga económica derivada del uso necesario de la energía para garantizar el confort térmico en contextos de elevada demanda.

La pobreza energética por gasto excesivo se manifiesta especialmente en las regiones frías con rentas medias bajas y bajo nivel educativo, como Castilla-La Mancha y Castilla y León. Al mismo tiempo, permite identificar regiones con una exposición mínima a este tipo de vulnerabilidad gracias a una combinación favorable de clima y renta, como es el caso de Madrid o Canarias. Esta información es clave para dirigir políticas públicas específicas que contemplen el clima, la renta y las capacidades estructurales de los hogares en la lucha contra la pobreza energética.

- **Retraso en el pago de facturas (I_3).**

El retraso en el pago de las facturas de suministros del hogar es un indicador directo de dificultad económica, definido como el porcentaje de población que no puede pagar a tiempo las facturas de energía (electricidad, gas, calefacción) u otros gastos de vivienda⁸³. A diferencia de I_1 e I_2 , que se calculan a partir de estadísticas de renta y gasto energético, este es un indicador subjetivo obtenido por encuesta, donde los hogares declaran si han acumulado retrasos o deudas en pagos por problemas económicos. En 2023 alrededor del 9,6% de la población en España reportó retrasos en el pago de sus facturas de la vivienda⁸⁴, lo que equivale aproximadamente a 4,6 millones de personas afectadas. Este valor ha permanecido relativamente estable en torno al 9-10% en los últimos años, sin cambios drásticos incluso durante la reciente crisis energética.

Desde el punto de vista territorial, el indicador de retrasos de pago no se desglosa oficialmente por comunidad autónoma para 2023, pero es previsible que exista cierta variabilidad regional ligada a las condiciones socioeconómicas locales. Las regiones con mayores tasas de paro y menor renta media tienden a mostrar más hogares incapaces de afrontar puntualmente los recibos. Por ejemplo, estudios previos identifican que la probabilidad de caer en pobreza energética aumenta si el sustentador del hogar está desempleado o tiene bajo nivel educativo factores que presentan distribuciones desiguales en España (tradicionalmente, Andalucía o Extremadura han registrado mayor desempleo que, digamos, Navarra o Madrid)⁸⁵.

Asimismo, comunidades con mayor incidencia de pobreza en general suelen reflejarlo en este indicador: de hecho, el retraso en pagos es considerado una manifestación de la privación material del hogar. Así, cabe inferir que en comunidades como Andalucía, Canarias o Murcia (que según datos del INE encabezan porcentajes de población en riesgo de pobreza) los retrasos en facturas de energía sean más frecuentes que en regiones más acomodadas como País Vasco o Comunidad de Madrid.

No obstante, el panorama no depende solo de la renta: también influyen los precios energéticos regionales (tarifas eléctricas, costes de calefacción diferentes) y las políticas de apoyo locales. Por ejemplo, durante 2022-2023, el gobierno central y autonómico implementó moratorias y bonos sociales que pudieron contener un aumento de impagos pese al alza de precios energéticos. Este podría ser el motivo

⁸³ Costa et al. 2019

⁸⁴ Costa et al. 2019

⁸⁵ Costa et al. 2019

por el que, a nivel nacional, los retrasos en pagos no aumentaron significativamente en 2023 frente a 2021, a diferencia de otros indicadores de pobreza energética que sí empeoraron. En suma, el retraso en pago de facturas nos alerta de focos de vulnerabilidad económica (familias que no consiguen pagar la electricidad o el gas a tiempo) y suele converger con las regiones de menor renta, aunque amortiguado por ayudas y estructuras familiares (p. ej., hogares que priorizan pagar la factura energética incluso a costa de otros gastos, para evitar cortes de suministro).

- **Incapacidad para mantener la vivienda a temperatura adecuada (I₄).**

El indicador de incapacidad para mantener la vivienda a una temperatura adecuada cuantifica la proporción de población que declara no poder permitirse mantener su hogar con una temperatura confortable en los meses fríos (y/o calurosos). Es otro indicador subjetivo derivado de encuestas (como la EU-SILC en Europa), estrechamente vinculado a la sensación de confort térmico y salud. En 2023 este indicador alcanzó un valor alarmante en España: cerca del 20,7% de la población – es decir, aproximadamente 10 millones de personas– manifestó no poder mantener su vivienda adecuadamente caliente en invierno (o fresca en verano)⁸⁶. Esta cifra supone prácticamente uno de cada cinco españoles, el doble del porcentaje que se registraba apenas tres años atrás (10,9% en 2020)

El fuerte encarecimiento de la electricidad, el gas y otros combustibles durante 2022-2023 provocó que muchos hogares redujeran la calefacción o el aire acondicionado por no poder costearlos, disparando el porcentaje de población pasando frío o calor extremos en casa. Este indicador encapsula el rostro más crudo de la pobreza energética, pues tiene consecuencias directas en la salud (p. ej., más enfermedades respiratorias en hogares mal calentados).

Aunque los datos de 2023 se presentan como promedio nacional, la realidad territorial de la “incapacidad térmica” es muy dispar. En general, las mismas condiciones que afectan a I₁ e I₂ se reflejan aquí, quizás de forma más evidente: las regiones con climas más fríos en invierno y población con menos recursos exhiben mayores porcentajes de personas que no logran un confort térmico adecuado.

La incapacidad de mantener el hogar en condiciones óptimas se ceba en el interior peninsular y áreas económicamente deprimidas. En 2023 es previsible que Extremadura, Castilla-La Mancha, Andalucía o Murcia, por sus temperaturas extremas y rentas más bajas, estén entre las comunidades con mayor proporción de familias pasando frío en invierno, mientras que Asturias, País Vasco, Navarra o Cataluña estén entre las menos afectadas (gracias a ingresos mayores, mejor aislamiento de las viviendas o climas más benignos).

En definitiva, el indicador de incapacidad térmica nos muestra dónde vivir en condiciones dignas se vuelve inasequible, y obliga a una respuesta tanto inmediata (ayudas de emergencia a los hogares que no pueden calentar su casa) como estructural (mejorar la eficiencia energética y apoyar rentas) considerando la geografía de la pobreza energética en España.

6. Conclusión

El modelo matemático desarrollado en este capítulo ha permitido establecer una base metodológica sólida para la identificación de hogares en situación de pobreza energética.

⁸⁶ Costa - Campi 2024

Mediante la utilización de indicadores objetivos y subjetivos oficialmente reconocidos, se ha logrado construir una variable dependiente binaria representativa de esta condición, sobre la cual se articula un modelo de regresión logística estructurado en tres dimensiones explicativas: socioeconómica, climática y constructiva. Esta aproximación facilita la interpretación de los factores estructurales que inciden en la vulnerabilidad energética de los hogares, y permite evaluar la influencia relativa de cada uno de ellos a través de sus coeficientes estimados.

Este trabajo metodológico servirá como punto de partida para el análisis que se desarrollará en el siguiente capítulo, centrado específicamente en las características constructivas de las viviendas. A partir de datos procedentes del Catastro y otras fuentes oficiales, se examinarán elementos como la antigüedad de los edificios, los materiales predominantes, la disponibilidad de sistemas de calefacción y agua caliente, así como el nivel de aislamiento térmico. El objetivo de dicho análisis será evaluar en qué medida estas características físicas del parque inmobiliario condicionan la eficiencia energética de los hogares y, en consecuencia, su exposición al riesgo de pobreza energética. Este análisis constructivo permitirá finalizar el modelo matemático, implementando las variables consecuentes.

Finalmente, el modelo matemático alimentará el desarrollo de una herramienta web de diagnóstico energético en un capítulo posterior. Su finalidad será identificar con precisión los hogares pobres energéticamente.

Análisis de la legislación actual y ayudas sociales

El marco legal español ha ido evolucionando para abordar la pobreza energética desde dos frentes complementarios: por un lado, mediante normativas de eficiencia energética que reducen estructuralmente el consumo de energía en edificios; por otro, mediante normativas y ayudas sociales que protegen a los consumidores vulnerables, garantizando su acceso a servicios energéticos básicos.

A continuación, el capítulo examina la legislación vigente tanto a nivel nacional como autonómico sobre eficiencia energética y sobre pobreza energética. Seguidamente, se describen las principales ayudas sociales y programas de apoyo actualmente vigentes para aliviar la pobreza energética. Posteriormente se realiza una evaluación crítica identificando brechas entre la normativa y la realidad, así como propuestas de mejora.

1. Marco normativo en materia de eficiencia energética

- **Normativa europea**

El impulso normativo de la Unión Europea ha sido fundamental para mejorar la eficiencia energética y, indirectamente, combatir la pobreza energética en los Estados miembros. En primer lugar, la Directiva (UE) 2018/844 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de mayo de 2018, modificó las directivas europeas previas sobre eficiencia energética de los edificios y eficiencia energética en general⁸⁷. Esta directiva actualiza la normativa para el periodo 2020–2030, introduciendo objetivos más exigentes de eficiencia en edificación (por ejemplo, edificios de consumo casi nulo) y obligando a cada país a elaborar una estrategia a largo plazo de rehabilitación energética de su parque inmobiliario. Derivada de lo anterior, España elaboró la Estrategia a Largo Plazo para la Rehabilitación Energética en el Sector de la Edificación (ERESEE), presentada en 2020, con horizonte 2050.

En segundo lugar, la Comisión Europea lanzó en 2020 la iniciativa conocida como “Renovation Wave” (Ola de Renovación). Esta estrategia europea busca duplicar, al menos, la tasa anual de rehabilitación de edificios en la década de 2020, con el objetivo de que para 2030 se hayan renovado energéticamente 35 millones de edificios en toda Europa. La Renovation Wave se enmarca en el Pacto Verde Europeo, la gran hoja de ruta de la UE hacia la neutralidad climática en 2050. El Pacto Verde, adoptado en 2019, prioriza la eficiencia energética y la mejora del rendimiento energético de los edificios, bajo el principio de “primero, la eficiencia energética”. Asimismo, por primera vez la agenda climática europea reconoce explícitamente la necesidad de abordar la pobreza energética: uno de los objetivos de la política energética del Green Deal es *“empoderar a los consumidores y ayudar a los países de la UE a atajar la pobreza energética”*⁸⁸. En suma, la normativa y estrategia europeas (Directiva 2018/844, Renovation Wave, Pacto Verde) han establecido el marco y los objetivos que España debe cumplir, influyendo directamente en su legislación nacional.

- **Normativa estatal**

España ha desarrollado un conjunto amplio de normas para transponer las directrices europeas y mejorar la eficiencia energética en el ámbito nacional. Un pilar central es el Código Técnico de la Edificación (CTE), marco regulatorio de la construcción de edificios. En particular, se establecen las exigencias de

⁸⁷ Directiva (UE) 2018/844 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de mayo de 2018, por la que se modifica la Directiva 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética de los edificios y la Directiva 2012/27/UE relativa a la eficiencia energética (Texto pertinente a efectos del EEE) 2018

⁸⁸ *Energy and the Green Deal 2022*

eficiencia energética en edificios nuevos y reformas, además de aislamientos mínimos, sistemas eficientes y uso de energías renovables⁸⁹. En línea con los objetivos europeos, el CTE fue actualizado en 2019: el Real Decreto 732/2019, de 20 de diciembre modificó el CTE (aprobado originalmente por RD 314/2006) para elevar las exigencias del Documento Básico HE en materia de ahorro de energía⁹⁰. Con esta reforma se incorporaron los requisitos de la Directiva 2018/844, avanzando hacia edificios de consumo casi nulo y previendo también infraestructuras para la electromovilidad (posteriormente desarrolladas mediante RD 450/2022).

Otro instrumento clave es la regulación de la certificación de eficiencia energética de edificios, mencionada en el capítulo “Estudio de las características constructivas de las viviendas” de este propio trabajo de fin de grado. Desde 2013, España exige un certificado de eficiencia energética para viviendas y locales que se vendan o alquilen, informando de su clasificación energética. Esta materia se ha revisado con el Real Decreto 390/2021, de 1 de junio, que aprueba el nuevo procedimiento básico para la certificación energética de los edificios⁹¹. El RD 390/2021 actualiza metodologías de cálculo, requisitos de control y el formato de la etiqueta de eficiencia energética, buscando proporcionar a usuarios y propietarios información fiable y promover la rehabilitación.

En el plano de la política energética general, destaca la aprobación de la Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética. Esta ley establece el marco legal para lograr los objetivos de descarbonización a 2030 y 2050, incorporando principios del Pacto Verde Europeo. Si bien su contenido se orienta principalmente a la reducción de emisiones y el fomento de energías renovables, la Ley 7/2021 también reconoce la importancia de una transición justa e inclusiva, por lo que refuerza compromisos que contribuyen indirectamente a aliviar la pobreza energética (por ejemplo, mejoras en rehabilitación de viviendas, movilidad sostenible asequible,). La ley mandató la integración de objetivos de equidad energética en los planes nacionales (como el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima) y respalda la necesidad de proteger a los colectivos vulnerables en el proceso de transición.

Por último, como desarrollo de la Directiva 2010/31/UE (EPBD) y sus modificaciones, España elaboró la mencionada Estrategia a Largo Plazo de Rehabilitación Energética en la Edificación (ERESEE), actualizada en 2020. Esta estrategia, de carácter programático, analiza el estado del parque edificatorio español y define medidas para reducir su consumo energético en las próximas décadas. La ERESEE 2020 fue bien valorada por la Comisión Europea por su ambición y concreción. Incluye, entre otros, programas específicos para rehabilitar viviendas de colectivos vulnerables, reconociendo la relación entre hogares energéticamente ineficientes y situaciones de pobreza energética.

- **Normativas autonómicas relevantes**

En el Estado autonómico español, las Comunidades Autónomas tienen competencias en materias como vivienda, asuntos sociales, energía (compartidas) y protección de los consumidores. Esto ha dado lugar a desarrollos normativos autonómicos específicos, que complementan la normativa estatal y, en algunos casos, van más allá de ella, adaptándose a las particularidades territoriales. Cataluña fue pionera en legislar sobre pobreza energética: el Parlament de Catalunya aprobó la Llei 24/2015, del 29 de julio, de medidas urgentes para hacer

⁸⁹ Ministerio de Vivienda y Agenda Urbana 2022c

⁹⁰ *Actuaciones de transposición* s. f.

⁹¹ *BOE-A-2021-9176 Real Decreto 390/2021, de 1 de junio, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios.* s. f.

frente a la emergencia en el ámbito de la vivienda y la pobreza energética. Esta ley, fruto también de una Iniciativa Legislativa Popular, estableció la prohibición de cortar los suministros de electricidad, gas o agua a aquellas familias en situación de vulnerabilidad acreditada, obligando a las empresas suministradoras y a la administración a coordinar mecanismos para garantizar un mínimo suministro. Aunque partes de la Llei 24/2015 fueron recurridas ante el Tribunal Constitucional, su espíritu se ha mantenido vigente en Cataluña mediante posteriores acuerdos y normativas, convirtiéndose en un referente de protección frente a los cortes de energía por impago.

En el País Vasco, la normativa autonómica ha puesto más énfasis en la eficiencia energética y la sostenibilidad, si bien también incorpora la vertiente social. La Ley 4/2019, de 21 de febrero, de Sostenibilidad Energética de la Comunidad Autónoma Vasca establece obligaciones de eficiencia en edificios públicos, promoción de energías renovables y planes de ahorro energético. Aunque su foco principal es el sector público e industrial, esta ley y su desarrollo reglamentario incluyen como objetivo la reducción de la pobreza energética, impulsando convenios con entidades locales para identificar consumidores vulnerables y mejorar la eficiencia en sus hogares. Adicionalmente, el Gobierno Vasco cuenta con planes y programas (gestionados a través del Ente Vasco de la Energía) que ofrecen ayudas para la rehabilitación energética de viviendas e implantación de energías renovables de autoconsumo, con atención prioritaria a familias de bajos ingresos.

También Andalucía y Comunidad Valenciana, entre otras, han desarrollado marcos normativos y programas propios. Andalucía aprobó la Ley 8/2018, de 8 de octubre, de medidas frente al cambio climático y para la transición hacia un nuevo modelo energético, en la cual se reconoce la pobreza energética como un reto a abordar en la comunidad. Esta ley andaluza mandata la elaboración de una estrategia específica de pobreza energética y establece la coordinación con los servicios sociales para proteger a las personas más vulnerables ante subidas de precios energéticos o olas de frío/calor extremas. Por su parte, la Generalitat Valenciana incorporó en su normativa de servicios sociales y vivienda el concepto de suministro energético como *derecho básico*. Por ejemplo, la Ley valenciana 3/2019 de servicios sociales inclusivos contempla la garantía de suministros mínimos en casos de vulnerabilidad, y la Generalitat ha puesto en marcha programas como el “*Cheque Energía*” para ayudar a pagar facturas a hogares de bajos ingresos. Además, comunidades como la Valenciana y la Catalana han aprovechado fondos europeos para la rehabilitación de viviendas sociales, mejorando su eficiencia térmica.

En síntesis, el panorama autonómico es diverso: algunas comunidades autónomas han legislado específicamente para impedir la desconexión de suministros a hogares vulnerables (Cataluña, Valencia), otras han adoptado estrategias integrales que combinan eficiencia energética y ayudas sociales (Andalucía, País Vasco), y todas gestionan programas territoriales (bonos, subvenciones a la rehabilitación,) adaptados a su realidad. Esta aplicación territorial diferenciada implica que, si bien existe un marco común estatal, las medidas concretas pueden variar de una región a otra, incidiendo en el nivel de protección efectiva según el territorio. La coordinación interadministrativa resulta, por tanto, crucial para asegurar una protección homogénea en todo el país frente a la pobreza energética.

2. Marco normativo sobre pobreza energética

- **Estrategias y definiciones oficiales**

El reconocimiento explícito de la pobreza energética como problema social a escala estatal es relativamente reciente. Un hito fue la aprobación de la Estrategia Nacional contra la Pobreza Energética 2019–2024 (ENPE), adoptada por el Gobierno de España en abril de 2019. Esta Estrategia, elaborada por el Ministerio para la Transición Ecológica, surgió en cumplimiento del Real Decreto-ley 15/2018, de 5 de octubre, que en sus medidas urgentes para la transición energética incluyó el mandato de desarrollar una estrategia nacional de pobreza energética. Se estableció por primera vez una definición oficial de “pobreza energética” en España, entendiéndola como la situación en que un hogar es incapaz de pagar los servicios energéticos mínimos para cubrir sus necesidades domésticas⁹². Asimismo, se definió al consumidor vulnerable y se tipificó distintos indicadores para medir la pobreza energética (gasto desproporcionado, incapacidad de mantener la vivienda a temperatura adecuada,).

Cabe destacar que la Estrategia Nacional supuso el reconocimiento legal del término pobreza energética, incorporándolo al lenguaje jurídico y de políticas públicas. Además, la problemática se integró en otras planificaciones estratégicas en las que se incluye por vez primera consideraciones y medidas dirigidas a disminuir la pobreza energética en su componente de eficiencia y vivienda⁹³, y el Plan Estatal de Vivienda ha priorizado actuaciones de rehabilitación para hogares vulnerables. Igualmente, la Ley 7/2021 de Cambio Climático alude a la necesidad de garantizar una transición energética equitativa, reforzando la idea de que las políticas climáticas deben contemplar medidas contra la pobreza energética. En el ámbito autonómico, varias comunidades han elaborado sus propias estrategias de pobreza energética (por ejemplo, Cataluña presentó en 2019 un Pla per a l’Eradicació de la Pobresa Energètica, y la Comunidad de Madrid cuenta con un Plan Estratégico de Subvenciones para combatir la pobreza energética). Estas estrategias regionales, alineadas con la ENPE estatal, han permitido adaptar las definiciones y objetivos a las realidades locales.

En resumen, a partir de 2018-2019 España consolidó un marco estratégico que reconoce formalmente la pobreza energética, la diagnostica con indicadores oficiales y la incorpora transversalmente en las políticas de energía, clima y vivienda. Este marco conceptual es fundamental para dar coherencia a las respuestas normativas y de ayuda social, evitando basarse en meras inferencias y dotando de legitimidad legal a las acciones contra la pobreza energética.

- **Marco legal y regulaciones específicas**

Más allá de las estrategias, existen normas jurídicas concretas que abordan la protección de los consumidores vulnerables y la garantía de los suministros energéticos básicos.

La principal figura en este ámbito es el Bono Social, un mecanismo de tarifa eléctrica reducida creado para amparar a ciertos colectivos. Originalmente implantado en 2009, el bono social eléctrico fue reformulado tras la Ley 24/2013, del Sector Eléctrico. Esta Ley 24/2013, de 26 de diciembre introdujo en la legislación española la categoría de consumidores vulnerables y sentó las bases para su protección, indicando, por ejemplo, que determinados consumidores no pueden sufrir la suspensión del suministro eléctrico (suministros esenciales) incluso ante impagos⁹⁴. En desarrollo de esta ley, el Gobierno aprobó el Real Decreto 897/2017, de 6 de octubre, que regula la figura del consumidor vulnerable, el bono social eléctrico y otras medidas de protección a los

⁹² MITECO 2019

⁹³ Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico 2020

⁹⁴ *Cortes de suministro y Suministro Mínimo Vital* s. f.-a

consumidores domésticos de energía eléctrica ⁹⁵. El RD 897/2017 estableció los criterios socioeconómicos para acceder al bono social, diferenciando categorías: vulnerable (descuento estándar), vulnerable severo (mayor descuento) y vulnerable en riesgo de exclusión social (casos más graves, susceptibles de subsidio completo vía servicios sociales). También fijó las condiciones generales (por ejemplo, que el solicitante tenga contratado el Precio Voluntario para el Pequeño Consumidor : PVPC) y los procedimientos de solicitud y renovación del bono social.

Otra regulación destacada es el Real Decreto-ley 15/2018, ya citado, que además de originar la estrategia nacional, implementó medidas inmediatas de protección. Entre ellas, creó el Bono Social Térmico, una ayuda anual para paliar los gastos de calefacción, agua caliente y cocina de los consumidores vulnerables. Este bono social térmico está regulado en el propio RDL 15/2018 y ordena que se financie con presupuestos del Estado, aunque su gestión esté delegada a las comunidades autónomas. A diferencia del bono eléctrico (descuento en la factura), el bono térmico consiste en una transferencia económica directa una vez al año, cuyo importe depende de la zona climática y la situación de vulnerabilidad del hogar. Los beneficiarios son automáticamente todos aquellos que tengan vigente el bono social eléctrico a 31 de diciembre de cada año, simplificando así su tramitación (no requiere solicitud adicional).

Por último, dentro del marco legal cabe mencionar la normativa sobre cortes de suministro y suministros mínimos. El Real Decreto 897/2017, junto con posteriores normas (como el RDL 14/2019 y RDL 6/2022), reforzaron la protección contra cortes de luz: se estableció que los consumidores vulnerables severos en riesgo de exclusión (acreditados por servicios sociales) no pueden ser objeto de interrupción de suministro por impago, debiendo las compañías suministradoras mantener el servicio mientras intervienen los mecanismos de ayuda. En 2022 se introdujo la figura del Suministro Mínimo Vital (SMV), que asegura una potencia mínima (3,5 kW) durante 6 meses adicionales para beneficiarios del bono social eléctrico que agoten los plazos de impago, antes de un eventual corte⁹⁶. Este suministro mínimo vital, incorporado mediante la Ley 24/2013 (artículo 45 bis añadido en 2022), representa un “último recurso” de protección legal para que ningún hogar vulnerable quede completamente a oscuras de forma repentina.

En conclusión, el **marco jurídico español contra la pobreza energética** se articula principalmente a través de: (a) **bonos sociales** (eléctrico y térmico) regulados por ley, que proporcionan condiciones económicas ventajosas a consumidores vulnerables; (b) **normas de garantía de suministro**, que prohíben o retrasan cortes en casos de vulnerabilidad; y (c) **mandatos de coordinación institucional**, que exigen la implicación de servicios sociales, comercializadoras de energía y administraciones en la identificación y protección de los afectados. Todo ello bajo el paraguas de definiciones y estrategias oficiales que guían la interpretación y aplicación de estas medidas.

3. Ayudas sociales y programas de apoyo vigentes

- **Bonos sociales estatales (eléctrico y térmico)**

La herramienta principal de ayuda social frente a la pobreza energética en España son los bonos sociales a nivel estatal, que actúan directamente sobre el coste de la energía para el consumidor vulnerable.

⁹⁵ Bono social eléctrico | CNMC s. f.

⁹⁶ Cortes de suministro y Suministro Mínimo Vital s. f.-b

El Bono Social Eléctrico consiste en un descuento porcentual en la factura de electricidad de la vivienda habitual. Actualmente (tras las reformas mencionadas), dicho descuento es del 25% para consumidores vulnerables estándar y del 40% para vulnerables severos, aplicados sobre el precio regulado (PVPC) hasta un tope de kWh consumidos al mes. Adicionalmente y durante situaciones excepcionales, como la crisis de precios de 2021-2022, el Gobierno elevó temporalmente estos porcentajes al 60% y 70% respectivamente, lo que refleja su flexibilidad como instrumento de política social.

Para acogerse al bono social eléctrico, el consumidor debe cumplir criterios de renta (por ejemplo, ingresos familiares inferiores a 1,5 veces el IPREM con determinados coeficientes por miembros del hogar, para la categoría vulnerable estándar, o inferiores a la mitad de ese umbral para vulnerables severos), o bien pertenecer a ciertos colectivos automáticamente protegidos: pensionistas con renta mínima, familias numerosas, o dependientes de grado alto, entre otros, siempre que cumplan las condiciones generales. La tramitación se realiza ante la comercializadora de referencia de electricidad, presentando la documentación acreditativa (DNI, certificado de empadronamiento, libro de familia e ingresos, según el caso). El bono se concede por un periodo de 2 años (o indefinido si el beneficiario es pensionista jubilado con mínima). Según datos oficiales, más de un millón de hogares en España se benefician actualmente del bono social eléctrico, si bien se estima que aún existe un porcentaje significativo de hogares vulnerables que no lo han solicitado por desconocimiento o trámites complejos. Para mejorar su alcance, en los últimos años se han simplificado formularios y habilitado la renovación automática en ciertos supuestos⁹⁷.

Tabla 3. Condiciones para acceder al Bono Social Eléctrico en España. Elaboración propia a partir de datos de MITECO, 2025.

Categoría	Requisitos	Descuento actual
Consumidor Vulnerable	Renta \leq 1,5 veces IPREM (12.600€/año en 2024 aprox.). Familias numerosas. Pensionistas con pensión mínima. Beneficiarios del Ingreso Mínimo Vital.	25% de descuento en la factura
Consumidor Vulnerable Severo	Renta \leq 50% del límite anterior (0,75 veces IPREM). Familias numerosas con renta \leq 2 veces IPREM. Pensionistas con pensión mínima y renta \leq 1 vez IPREM.	40% de descuento en la factura
Consumidor en Riesgo de Exclusión Social	Consumidor vulnerable severo atendido por Servicios Sociales (con informe acreditativo de vulnerabilidad extrema).	Hasta el 100% de descuento (cubierto parcialmente por Servicios Sociales).

⁹⁷ Consulta pública previa sobre la Estrategia Nacional contra la Pobreza Energética 2025-2030 s. f.

Categoría	Requisitos	Descuento actual
Condiciones comunes	Tener contratado el Precio Voluntario para el Pequeño Consumidor (PVPC). Potencia contratada ≤ 10 kW (vivienda habitual). Solicitud directa ante la comercializadora de referencia.	Revisión cada 2 años (renovación automática en ciertos casos).

En paralelo, el Bono Social Térmico complementa al eléctrico al cubrir necesidades de calefacción y agua caliente (energía térmica, que puede provenir de gas natural, butano, gasóleo y biomasa). Es una ayuda anual en forma de pago único, financiada por el Ministerio para la Transición Ecológica y canalizada a través de las comunidades autónomas. Todos los beneficiarios del bono eléctrico pasan a ser beneficiarios del bono térmico sin trámites adicionales. La cuantía individual varía según la zona climática (a zonas más frías corresponde mayor ayuda) y la situación de vulnerabilidad (severa o no) del hogar, oscilando por ejemplo entre aproximadamente 25€ y 125€ anuales en zonas templadas, y entre 40€ y casi 375€ en zonas frías, tras las últimas actualizaciones extraordinarias por la crisis energética. Esta ayuda se ingresa normalmente en el primer trimestre del año directamente en la cuenta bancaria del beneficiario (la misma donde domicilia la electricidad) y se notifica por carta, ofreciendo incluso la posibilidad de renuncia. El bono térmico, por tanto, brinda un alivio económico adicional en invierno, época en que los gastos de energía se disparan.

Ambos bonos sociales (eléctrico y térmico) constituyen el núcleo de la respuesta social estatal a la pobreza energética. Su impacto real se refleja en la reducción de la factura energética de las familias vulnerables: por ejemplo, un hogar acogido al bono eléctrico estándar puede ahorrar unos 200 € al año en electricidad, cifra nada desdeñable para economías precarias, y el bono térmico añade otro ahorro medio que depende de la zona (en 2022, con ayudas reforzadas, osciló entre 60 € y 375 € por hogar). No obstante, presentan también limitaciones: el proceso de identificación y solicitud ha resultado engorroso históricamente, provocando que muchos posibles beneficiarios no accedieran a la ayuda; además, el descuento eléctrico se aplica solo sobre la tarifa regulada PVPC, dejando fuera a vulnerables con contratos en mercado libre a menos que migren de tarifa. Para abordar estos problemas, la administración ha impulsado campañas de información, ha involucrado a los servicios sociales municipales en la detección de familias que pueden solicitar el bono, y ha exigido a las eléctricas mayor difusión. A pesar de ello, estudios muestran que sigue habiendo un porcentaje de hogares en pobreza energética que no se acogen al bono social, sea por barreras burocráticas, falta de conocimiento o incluso desconfianza hacia el procedimiento. Estos aspectos se analizan críticamente en el apartado 4.3 y en la evaluación final.

- **Programas autonómicos y locales de apoyo**

Junto a las ayudas estatales, existen diversos programas de apoyo a nivel autonómico y local orientados a reducir la pobreza energética, ya sea mediante ayudas económicas directas, mejoras en viviendas o servicios de asesoramiento. Muchas Comunidades Autónomas han implementado sus propios bonos o cheques energéticos complementarios. Por ejemplo, la Generalitat de Cataluña,

además de gestionar los bonos estatales, cofinancia un fondo de atención solidaria con las empresas suministradoras para cubrir deudas de familias en riesgo de corte de suministro (derivado del Acuerdo voluntario con compañías, en cumplimiento de la Llei 24/2015). La Junta de Andalucía, por su parte, durante algunos años ofreció un bono social autonómico para sufragar parte del recibo eléctrico de familias con ingresos bajo un cierto umbral, complementando el bono estatal. La Comunidad de Madrid subvenciona a través de sus ayuntamientos la adquisición de equipos de climatización eficientes para hogares vulnerables (programa Cambia 360), y así existen otros ejemplos.

Asimismo, los fondos europeos de recuperación han sido canalizados hacia proyectos relacionados. Bajo el instrumento REACT-EU (Ayuda a la Recuperación para la Cohesión Europea tras la pandemia), varias comunidades han recibido recursos adicionales que destinaron, entre otras cosas, a reforzar la protección social energética. Un caso ilustrativo: en 2021-2022, parte de los fondos REACT-EU en algunas regiones se utilizaron para ampliar programas de rehabilitación energética de viviendas sociales y para incrementar la cuantía de ayudas de emergencia social para pagos de suministros.

Un programa de alcance nacional, ejecutado territorialmente, es el Programa de Rehabilitación Energética de Edificios (PREE). Regulados por el Real Decreto 737/2020, los programas PREE ofrecieron subvenciones para acometer mejoras de eficiencia (aislamiento térmico, cambio de ventanas, calderas eficientes, energías renovables) en edificios existentes. Estos fondos, gestionados por cada comunidad autónoma, han priorizado a menudo las solicitudes de comunidades de propietarios o viviendas habitadas por personas en situación de vulnerabilidad o con bajos ingresos. Una variante específica, el PREE 5000, se centró en municipios pequeños del reto *demográfico* (menos de 5.000 habitantes), donde suele haber viviendas antiguas y rentas bajas. Gracias a estas iniciativas, miles de hogares han podido realizar reformas que reducen su consumo energético permanente, lo cual complementa las ayudas económicas directas.

A nivel local, muchos ayuntamientos han desarrollado iniciativas innovadoras. Un modelo destacado son los Puntos de Asesoramiento Energético (PAE) municipales, como los creados por el Ayuntamiento de Barcelona. Estos puntos ofrecen información y acompañamiento personalizado a las familias en pobreza energética: ayudan a optimizar sus contratos de luz y gas, tramitan el acceso al bono social, median con las comercializadoras en caso de impago y potencian pequeñas medidas de eficiencia en el hogar. Experiencias similares de oficinas de energía existen en ciudades como Madrid, Valencia o Cádiz, a menudo en colaboración con ONG especializadas. Por otro lado, las entidades del tercer sector (ONG, fundaciones) complementan la acción institucional: Cáritas, Cruz Roja y otras organizaciones mantienen programas de pago de facturas atrasadas con fondos propios o de donantes, reparten kits de eficiencia (bombillas LED, burletes, mantas) y realizan talleres formativos para familias en riesgo. Estas actuaciones de la sociedad civil, aunque no son “legislación” ni ayudas públicas formales, forman parte del *ecosistema de apoyo* con el que muchas familias vulnerables cuentan en la práctica.

En suma, el nivel autonómico y local en España ofrece una capilaridad de apoyos que refuerza o implementa la normativa nacional. Los instrumentos van desde ayudas económicas directas (bonos autonómicos, pagos de emergencia) hasta inversiones en eficiencia (programas de rehabilitación con fondos europeos) y servicios de proximidad (asesoramiento, educación energética). Esta diversidad refleja necesidades distintas, pero también pone de manifiesto la importancia de coordinar y compartir buenas prácticas entre territorios.

- **Limitaciones e impacto real de las ayudas**

A pesar del amplio catálogo de ayudas descrito, persisten importantes retos para lograr un impacto real y suficiente en la erradicación de la pobreza energética. Un primer aspecto es la cobertura: si bien los bonos sociales han crecido en número de beneficiarios (especialmente tras 2020, cuando el Gobierno amplió criterios y descuentos como “escudo social” frente a la crisis energética)⁹⁸, todavía no alcanzan a la totalidad de hogares que objetivamente sufren pobreza energética. Esto apunta a obstáculos burocráticos y de información: muchos posibles beneficiarios no conocen el bono social, no saben que califican para recibirlo, o encuentran compleja su solicitud (especialmente personas mayores que viven solas, inmigrantes con barrera idiomática,). La dependencia del canal telemático o de las compañías eléctricas para tramitarlo ha sido señalada como un impedimento, pese a los esfuerzos de simplificación⁹⁹.

Otro límite es la suficiencia de las ayudas. Los descuentos del bono social eléctrico, aunque apreciables, pueden verse anulados por fuertes incrementos en el precio de la energía en el mercado (como ocurrió en 2021). Del mismo modo, el bono térmico cubre solo una fracción del gasto anual en calefacción de un hogar promedio. Esto significa que, aun recibiendo las ayudas, muchas familias vulnerables siguen dedicando un porcentaje muy alto de sus ingresos a la energía o se ven forzadas a la autoprivación (mantener la calefacción al mínimo, por ejemplo). En paralelo, los programas de rehabilitación energética de viviendas tardan tiempo en materializarse y a menudo no llegan a propietarios de muy bajos ingresos si estos no cuentan con cofinanciación o apoyo técnico para gestionar la obra. La brecha entre la normativa y la realidad se percibe, por ejemplo, en casos de cortes de suministro que han ocurrido pese al marco legal prohibitivo, debido a dificultades en la identificación del estatus vulnerable o a trámites no concluidos.

La coordinación interadministrativa es otro desafío crítico. Idealmente, la detección y protección de un hogar en pobreza energética requiere la acción conjunta y ágil de: servicios sociales municipales (que pueden identificar la vulnerabilidad económica), comunidades autónomas (que gestionan ayudas de emergencia y bonos térmicos, y median con compañías), y Estado (que regula y aporta fondos a los bonos). Si cualquiera de estos eslabones falla o se retrasa, el resultado puede ser que la familia no reciba la ayuda a tiempo o que se produzcan situaciones indeseadas (cortes, acumulación de deudas). Algunos ayuntamientos han reclamado mayor agilidad en la comunicación de datos de beneficiarios del bono social por parte de las eléctricas, para poder actuar preventivamente. A su vez, el Estado insta a las autonomías a invertir los fondos de rehabilitación con criterios sociales claros. La pluralidad de iniciativas (estatales, autonómicas, locales, privadas) es positiva, pero arriesga dispersión: actualmente no existe un sistema único de ventanilla donde un ciudadano pueda resolver integralmente sus problemas energéticos, sino que debe interactuar con varias entidades.

En términos de equidad territorial, las diferencias en los programas autonómicos antes mencionadas implican que la protección que recibe un hogar vulnerable puede ser mayor o menor según su lugar de residencia. Por ejemplo, en Cataluña un consumidor en apuros cuenta con la ley que impide su corte de suministro y con oficinas locales activas, mientras que en otra región sin esa red, podría depender solo del bono estatal. Esto plantea una reflexión: aunque la materia energética es competencia del Estado, la acción complementaria (o su ausencia) a nivel regional influye en la eficacia real de la lucha contra la pobreza energética.

⁹⁸ Consulta pública previa sobre la Estrategia Nacional contra la Pobreza Energética 2025-2030 s. f.

⁹⁹ MITECO 2019

Una propuesta de mejora sería fortalecer la cooperación multinivel, de modo que toda persona vulnerable, viva donde viva, tenga garantizada un mínimo homogéneo de apoyo, sin perjuicio de que luego cada territorio añada medidas adicionales.

Finalmente, las recomendaciones a corto y largo plazo sería: simplificar aún más el acceso a los bonos (por ejemplo, automatizar la concesión del bono social al otorgar cualquier prestación social de renta mínima, evitando trámites duplicados), aumentar la difusión pública de las ayudas disponibles (campañas informativas barriales, implicando centros de salud, escuelas, para detectar y derivar casos), y avanzar en soluciones estructurales (con un sistema más estandarizado y siempre para la identificación de personas pobres energética, como se realiza en este trabajo de fin de grado). Entre estas últimas, destaca la rehabilitación masiva de viviendas antiguas y la dignificación energética de los hogares vulnerables: aislar techos y muros, sustituir aparatos obsoletos, instalar energías renovables de autoconsumo en viviendas sociales, lo cual requiere inversiones sostenidas, pero tiene retornos sociales y ambientales muy altos.

4. Evaluación crítica

En pocos años se ha pasado de la ausencia del concepto en las leyes, a una situación en la que existe una estrategia nacional, objetivos claros y múltiples instrumentos legales y financieros. No obstante, persiste una brecha entre la normativa y la realidad que es preciso cerrar. Las leyes y programas, por sí solos, no garantizan resultados si no alcanzan efectivamente a la población diana o si su implementación presenta fallos. A continuación, se realiza una evaluación crítica señalando algunas brechas e ineficiencias, seguida de propuestas de mejora.

Una primera constatación crítica es que tener derechos reconocidos (p.ej., derecho a no sufrir un corte de luz en determinadas condiciones) no siempre se traduce en el ejercicio pleno de esos derechos. Ha habido situaciones de cortes a personas que podrían ser vulnerables, pero no tenían formalizado el bono social ni constaban en las bases de datos, o familias que siguieron pagando facturas elevadas por desconocer que tenían derecho a descuentos. Ello apunta a que la difusión y aplicación efectiva de la normativa aún encuentran obstáculos. Quizá el eslabón más débil ha sido la identificación proactiva: se ha confiado principalmente en que el propio consumidor solicite la ayuda (modelo reactivo), cuando muchos de los más necesitados no lo hacen por las barreras ya señaladas. En este sentido, una propuesta sería mover hacia un modelo más proactivo y automático. Por ejemplo, cruzar datos de renta (Hacienda), consumo energético (distribuidoras) y geográficos para pre-detectar posibles casos de pobreza energética, aplicando directamente descuentos o visitas de asistencia sin esperar la solicitud formal. Esta idea plantea desafíos de protección de datos y coordinación, pero técnicamente es viable y socialmente justificable dado que el objetivo es garantizar un derecho básico.

Otra brecha identificada es la falta de coordinación plena entre políticas sociales y políticas energéticas. Tradicionalmente han corrido en paralelo: los servicios sociales atendían la “pobreza”, y el regulador energético la “tarifa”. La creación del bono social unió ambos mundos parcialmente, pero aún hoy se notan desajustes. Por ejemplo, los umbrales de renta para ayudas sociales generales (como el Ingreso Mínimo Vital, IMV) no siempre encajan con los umbrales para el bono social, pudiendo haber beneficiarios de IMV que no sean automáticamente beneficiarios del bono (aunque en 2022 se corrigió en parte, incluyendo a perceptores del IMV como vulnerables reconocidos).

En cuanto a equidad territorial, la evaluación muestra que la disparidad en medidas autonómicas puede generar inequidades. Una solución propuesta es establecer unos estándares mínimos nacionales de protección: por ejemplo, un protocolo unificado de aviso y gestión de impagos que todas las comunidades y empresas apliquen, evitando que en unas regiones se espere 4 meses y en otras 6 antes de actuar, o que unas tengan fondo solidario y otras no. El artículo 52 de la Ley del Sector Eléctrico y desarrollos como el Suministro Mínimo Vital van en esa línea

(homogeneizar la salvaguarda básica). Si se consideran insuficientes, se podría estudiar a nivel estatal la implantación de un bono social de agua y gas similar al eléctrico, para que no dependa solo de cada municipio tener o no bonificaciones en esos servicios. De hecho, la pobreza energética abarca todos los suministros del hogar; actualmente el eléctrico está bastante protegido, pero el gas natural (aunque tiene una Tarifa de Último Recurso, TUR, regulada) carece de un bono específico más allá de algunas ayudas puntuales, y el gas butano o propano envasado tampoco tiene descuento social (más allá de su precio regulado). Una propuesta de mejora sería extender el concepto de bono social a otros combustibles de calefacción, quizás mediante cheques canjeables o acuerdos con distribuidores locales, para cubrir esos casos que hoy quedan fuera (hogares rurales que usan bombonas).

5. Conclusión

El análisis desarrollado en este capítulo permite extraer varios hallazgos clave. En primer lugar, España dispone hoy de un marco legal sólido, influido por la normativa europea, que abarca tanto medidas de eficiencia energética (reduciendo estructuralmente el consumo de los hogares) como medidas de protección social (aliviando el gasto energético de las familias vulnerables). La combinación de ambos enfoques es indispensable: la eficiencia energética de los edificios aborda la raíz física del problema (viviendas mal aisladas, sistemas ineficientes), mientras que las ayudas sociales abordan la raíz económica (bajos ingresos para pagar la energía). Solo la suma de soluciones estructurales y paliativas puede garantizar resultados duraderos.

En segundo lugar, se ha institucionalizado la lucha contra la pobreza energética como una política pública reconocida. La existencia de definiciones oficiales, estrategias nacionales y observatorios de indicadores supone un avance respecto a la situación de hace una década, cuando el fenómeno apenas era objeto de atención gubernamental.

No obstante, también se constató que persisten desafíos importantes para llevar la normativa a su máxima efectividad. Quedan lagunas en la detección de todos los hogares necesitados, en la agilidad para evitar cortes de suministros en la práctica y en la homogeneidad territorial de la protección.

Resulta valioso apoyar las decisiones en herramientas de análisis rigurosas, como modelos matemáticos y estadísticos que permitan simular escenarios y orientar las medidas. Incorporar un modelo matemático en el estudio de la pobreza energética; por ejemplo, un modelo de predicción de hogares en riesgo a partir de datos socio-demográficos y de consumo como se ha planteado en capítulos anteriores, puede ayudar a optimizar el diseño de las ayudas, focalizándolas mejor donde logran mayor reducción de pobreza energética por euro invertido. Del mismo modo, modelos de simulación pueden evaluar el impacto a largo plazo de invertir en rehabilitación versus subsidiar facturas, dando insumos objetivos a los responsables políticos.

Definición de estándares de medición de confort térmico

El confort térmico en viviendas es fundamental para garantizar la salud física y mental, así como el bienestar general de las personas. Un ambiente térmico adecuado ayuda a prevenir enfermedades respiratorias, cardiovasculares y psicológicas, especialmente en grupos vulnerables como niños, ancianos y personas con enfermedades crónicas¹⁰⁰. Este capítulo tiene como objetivo integrar estándares internacionales reconocidos con las especificidades climáticas y socioeconómicas propias de España, generando indicadores adaptados al contexto regional y las recomendaciones de expertos en salud pública.

1. Estándares internacionales de referencia

Existen distintos organismos oficiales que han hecho recomendaciones sobre los estándares de temperatura adecuados para viviendas. Entre ellos, encontramos:

- OMS: La Organización Mundial de la Salud recomienda mantener temperaturas interiores entre 18 y 24°C, destacando que temperaturas inferiores o superiores pueden afectar negativamente a la salud, especialmente en periodos prolongados. Estos rangos están vinculados a la prevención de enfermedades y a la reducción del estrés térmico y mortalidad relacionada con temperaturas extremas¹. Temperaturas inferiores a 18°C pueden aumentar el riesgo de enfermedades respiratorias y cardiovasculares, mientras que temperaturas superiores a 24°C pueden provocar estrés térmico, deshidratación e incluso problemas cardiovasculares¹⁰¹.
- ISSO 7730: propone el método PMV-PPD (Predicted Mean Vote - Predicted Percentage of Dissatisfied) para evaluar el confort térmico global y local. Fue desarrollado por P.O. Fanger en la década de 1970 y representa uno de los avances más significativos en la cuantificación del confort térmico. Este modelo se fundamenta en ecuaciones de balance térmico y estudios empíricos sobre la temperatura de la piel para definir estados de confort¹⁰².

Este modelo se fundamenta en ecuaciones de balance térmico y estudios empíricos sobre la temperatura de la piel para definir estados de confort. El PMV es un índice que predice la sensación térmica promedio en una escala desde frío (-3) hasta calor (+3), siendo 0 el estado neutro ideal. Este índice integra seis variables fundamentales: temperatura del aire, temperatura radiante media, velocidad del aire, humedad relativa, nivel de actividad metabólica y aislamiento de la vestimenta¹⁰³. La ecuación determina todas las combinaciones de estas variables que resultan en una sensación térmica neutral.

Por otro lado, el PPD establece una relación no lineal con el PMV, estimando el porcentaje de personas que experimentarían disconfort en determinadas condiciones térmicas. Estima el porcentaje de personas insatisfechas con un determinado ambiente térmico, proporcionando una herramienta cuantitativa para el diseño y evaluación de espacios interiores confortables¹⁰⁴. Un aspecto crucial de esta relación es que incluso en condiciones térmicas óptimas (PMV=0), aproximadamente un 5% de los ocupantes experimentarán algún grado de insatisfacción térmica¹⁰⁵. Esta relación se expresa gráficamente mediante una curva en forma de U, donde el

¹⁰⁰ Organización Panamericana de la Salud 2022a

¹⁰¹ Organización Panamericana de la Salud 2022a

¹⁰² Charles 2003

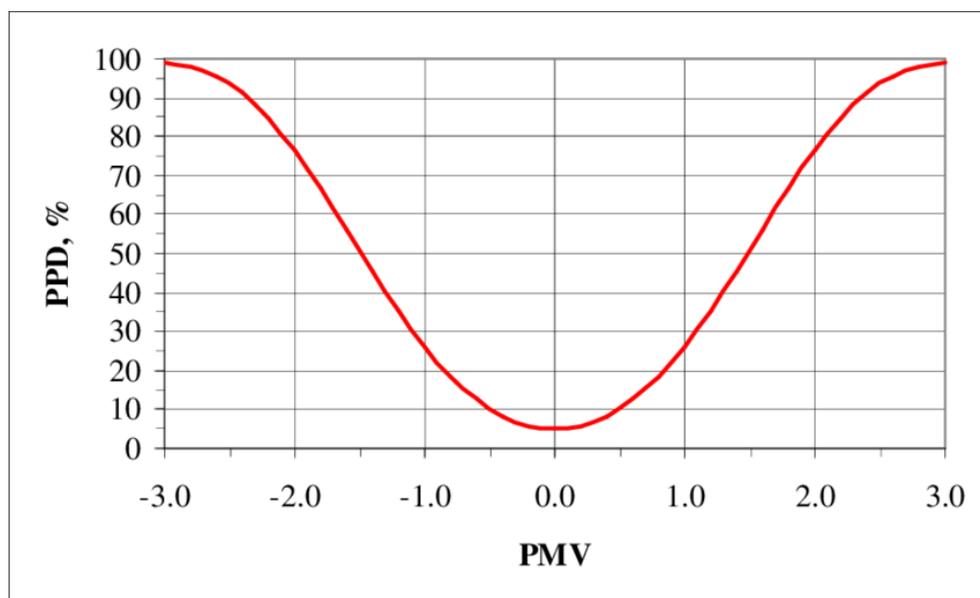
¹⁰³ ISO s. f.

¹⁰⁴ Angel Sánchez de Vera Quintero s. f.

¹⁰⁵ Quadco Engineering s. f.

porcentaje de insatisfechos aumenta exponencialmente a medida que el PMV se aleja del valor neutral.

Figura 16. Predicted percentage dissatisfied (PPD) como una función de predicted mean. Fuente: PRACTICAL EVALUATION OF THE THERMAL COMFORT de Detelin Markov, 2022



Este modelo ha sido incorporado en estándares internacionales como ASHRAE 55, ISO 7730 y EN 16798, estableciendo categorías de confort basadas en rangos aceptables de PMV y sus correspondientes valores de PPD. Por ejemplo, la norma EN 16798 define cuatro categorías, donde la categoría II (considerada estándar) establece un rango de PMV entre -0.5 y +0.5, correspondiente a un PPD máximo del 10%¹⁰⁶.

A pesar de su amplia utilización, diversos estudios de campo han identificado discrepancias significativas entre las predicciones del modelo PMV-PPD y las sensaciones térmicas reales, especialmente en edificios con ventilación natural y en regiones con climas variables¹⁰⁷. El modelo muestra un error absoluto medio de aproximadamente una unidad en la escala de sensación térmica, revelando limitaciones importantes en contextos reales¹⁰⁸.

El enfoque adaptativo surge como respuesta a estas limitaciones, reconociendo que los ocupantes interactúan dinámicamente con su entorno térmico mediante adaptaciones conductuales, fisiológicas y psicológicas¹⁰⁹. Este modelo establece que la temperatura de confort interior está directamente relacionada con la temperatura exterior media, especialmente en edificios ventilados naturalmente¹¹⁰

- EN 16798-1: establece criterios para el confort adaptativo en edificios residenciales y no residenciales para climas templados. Este estándar contempla variaciones naturales de temperatura, la adaptación fisiológica y psicológica de los ocupantes y tiene en cuenta las condiciones climáticas exteriores, promoviendo un enfoque más realista y sostenible en la gestión térmica de los edificios¹¹¹.

¹⁰⁶ Yao et al. 2022

¹⁰⁷ Yao et al. 2022

¹⁰⁸ Cheung et al. 2019

¹⁰⁹ Schweiker et al. 2018

¹¹⁰ Yao et al. 2022

¹¹¹ CEN 2019

2. Indicadores adaptados a España

Para una mejor adaptación al contexto español, resulta pertinente ajustar el método PMV-PPD propuesto por ISO 7730, integrando variaciones horarias especialmente relevantes en regiones mediterráneas, donde las temperaturas pueden variar considerablemente entre el día y la noche. Esta adaptación facilitaría una evaluación más precisa del confort térmico real experimentado por los ocupantes.

Además, el confort adaptativo, según la EN 16798-1, podría enriquecerse mediante modelos específicos que incorporen hábitos locales como la ventilación natural durante noches frescas y el uso frecuente de persianas, prácticas comunes en el clima mediterráneo.

Asimismo, es crucial considerar variables climáticas regionales específicas como la humedad elevada en las zonas costeras o la aridez en las regiones interiores. La amplitud térmica diaria notable, especialmente en zonas continentales como Madrid en comparación con áreas mediterráneas como Valencia, debe ser parte integral de estos indicadores adaptados.

3. Influencia de variables críticas en el confort térmico

- Amplitud térmica máxima diaria

La amplitud térmica diaria es la diferencia entre la temperatura máxima y mínima experimentada en un día. Esta variación, si es muy grande, puede afectar significativamente el confort térmico humano. Un espacio interior sin sistemas de climatización tiende a seguir (aunque atenuada) la oscilación térmica exterior: días muy cálidos seguidos de noches frías implican que los ocupantes estén expuestos a fluctuaciones térmicas considerables dentro de sus viviendas. Fisiológicamente, el cuerpo debe ajustar constantemente su termorregulación: por ejemplo, dilatando vasos sanguíneos y sudando durante el pico de calor diurno, y tiritando o reduciendo la circulación periférica en la madrugada fría; lo que incrementa la sensación de estrés térmico y fatiga. Un cambio brusco de unos 10 °C en poco tiempo puede producir notable disconfort e incluso riesgo para la salud, ya que el organismo sufre un shock térmico: al pasar de un ambiente exterior muy cálido a un interior climatizado (diferencias cercanas a 10 °C) se genera malestar térmico e incluso posibles trastornos en personas vulnerables.¹¹²

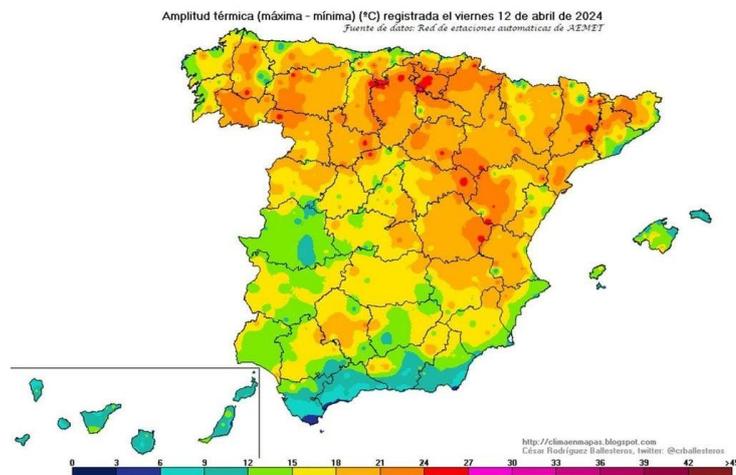
No todas las variaciones térmicas son igualmente problemáticas. Si la oscilación ocurre gradualmente a lo largo del día, el cuerpo tiene más oportunidad de adaptarse. Sin embargo, en contextos de pobreza energética, las viviendas suelen tener escasa inercia térmica o aislamiento, lo que agrava la amplitud térmica interior: por el día pueden sobrecalentarse y por la noche enfriarse rápidamente. Esto significa que las personas en hogares energéticamente pobres experimentan extremos térmicos más marcados y pasan más tiempo fuera de la “zona de confort”, ya sea pasando calor durante la tarde o frío durante la madrugada. Desde el punto de vista perceptivo, los ocupantes sienten un “contraste térmico” pronunciado entre diferentes horas del día, lo cual genera incomodidad porque el cuerpo no alcanza un estado de equilibrio confortable sostenido.

¹¹² Zhong & Meng 2025

La adaptación al clima local influye en cómo se tolera la amplitud térmica. En regiones de clima extremo, donde las temperaturas exteriores tienen gran oscilación diaria y estacional (p. ej., clima desértico cálido-seco), las personas desarrollan una mayor amplitud de su rango de confort térmico. En viviendas de clima cálido-seco, la temperatura neutral preferida por los habitantes es más elevada de lo esperado, y los rangos de confort se expandían en entornos con gran amplitud térmica diaria y anual¹¹³. Esto demuestra un fenómeno de aclimatación: el cuerpo y la percepción se ajustan al contexto térmico recurrente. No obstante, esta adaptación tiene límites, cuando ΔT sobrepasa ciertas magnitudes o se combina con condiciones internas inadecuadas (ej., humedad alta, ventilación insuficiente), el confort se ve comprometido. Minimizar las oscilaciones térmicas interiores (mediante aislamiento térmico, masa térmica en la construcción o calefacción/refrescamiento adecuados) es crucial para mejorar el confort: las viviendas deben mantener una temperatura lo más estable posible, evitando descensos nocturnos excesivos por debajo de los umbrales de confort y picos diurnos de sobrecalentamiento.

En España, este factor es especialmente notorio en zonas del interior, llegando a superar los 20°C. Se aprecia en la siguiente figura, relativa al 12 de Abril de 2024, día en que la diferencia entre la temperatura máxima y mínima fue especialmente acusada en nuestro país.

Figura 17. Amplitud térmica registrada el viernes 12 de abril de 2024. Fuente: AEMET, 2024.



- Humedad relativa

La humedad constituye uno de los factores más determinantes del confort térmico, con efectos variables según la temperatura ambiente. Si bien la temperatura del aire suele ser la variable dominante, la HR modula los mecanismos de pérdida de calor del cuerpo humano y las sensaciones asociadas. A temperaturas elevadas, valores altos de humedad relativa aumentan significativamente la sensación de calor, el disconfort térmico y reducen la aceptabilidad del ambiente¹¹⁴. Fisiológicamente, el cuerpo regula su temperatura evaporando sudor a través de la piel; este proceso de

¹¹³ Marincic 2012

¹¹⁴ De Oliveira et al. 2021

enfriamiento evaporativo es eficaz cuando el aire circundante no está saturado de vapor de agua. Por tanto, en ambientes de alta humedad (HR elevada), la capacidad de evaporación disminuye (el aire ya contiene casi todo el vapor que puede retener) y el sudor no se evapora con facilidad, provocando una sensación pegajosa y de *bochorno* porque el cuerpo no puede disipar calor. Esto explica por qué, por ejemplo, 30 °C con 85% de humedad resultan mucho más agobiantes que 30 °C con 30% de humedad: en el primer caso el individuo rápidamente alcanza un estado de estrés térmico por calor, pudiendo sobrevenir fatiga e incluso golpes de calor debido a la reducción de la disipación de calor latente.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) sugiere que mantener la humedad en torno al 60% en climas secos es beneficioso para la salud, ya que reduce la propagación de patógenos en el aire y la proliferación de ácaros y moho. En general, mantener la HR entre aproximadamente 30% y 60% minimiza problemas tanto de sequedad como de exceso de humedad.¹¹⁵

Mediante un estudio en el que se evaluó específicamente el mecanismo subyacente a la influencia de la humedad en el confort térmico, encontrando que en ambientes de 33°C, se observó que una humedad relativa del 60% (comparada con 30%) provocaba: Elevación de la temperatura media de la piel y temperatura corporal central, un incremento significativo de la sensación de calor y disconfort térmico y una disminución de la actividad del nervio parasimpático, indicando mayor estrés fisiológico¹¹⁶.

Es importante destacar que dentro de un rango moderado de 20% a 70% de HR, la influencia sobre la sensación térmica es relativamente pequeña. De hecho, la norma europea UNE-EN 16798-1 clasifica como *categoría III* (confort moderado) cualquier humedad en ese intervalo, asumiendo que no provoca un efecto apreciable en el bienestar térmico. La contribución de la HR al índice PMV (Voto Medio Predicho) es secundaria mientras la temperatura y otros factores estén en rangos cómodos. Sin embargo, *fuera* de ese rango, el impacto se vuelve notable. Por encima de ~70% HR, especialmente a temperaturas altas, crece exponencialmente la incomodidad por calor – el cuerpo se siente “sofocado” porque el sudor no evapora, aumentando rápidamente el índice de calor (*heat index*). De igual modo, humedades extremas por encima de ~80–90% favorecen la formación de moho y condensación, deteriorando la calidad ambiental. En el extremo opuesto, por debajo de ~20% HR, la sensación de sequedad se hace muy marcada y también empeora la percepción térmica: el aire muy seco puede dar una sensación de fresco incómodo (aire “áspero”) incluso si la temperatura es templada.

Es importante también, tener en cuenta la relación existente entre estas dos variables y su papel conjunto en el confort térmico.

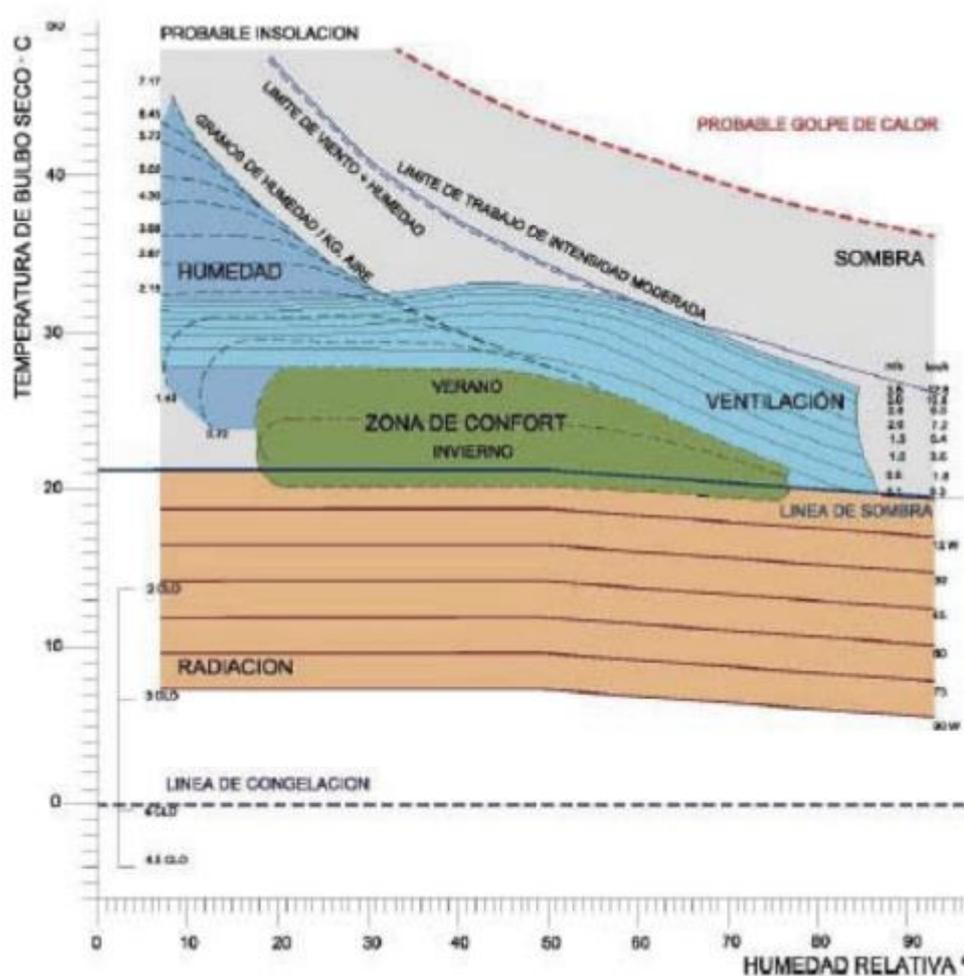
En la Figura adjunta se ilustra la zona de confort térmico en función de la temperatura del aire (eje vertical) y la humedad relativa (eje horizontal), basada en el diagrama bioclimático de Olgyay. La región coloreada representa combinaciones de temperatura y HR donde la mayoría de las personas en reposo se sienten confortables, mientras que las áreas grises y coloradas fuera

¹¹⁵ Kudo et al. 2019

¹¹⁶ Watanabe et al. 2024

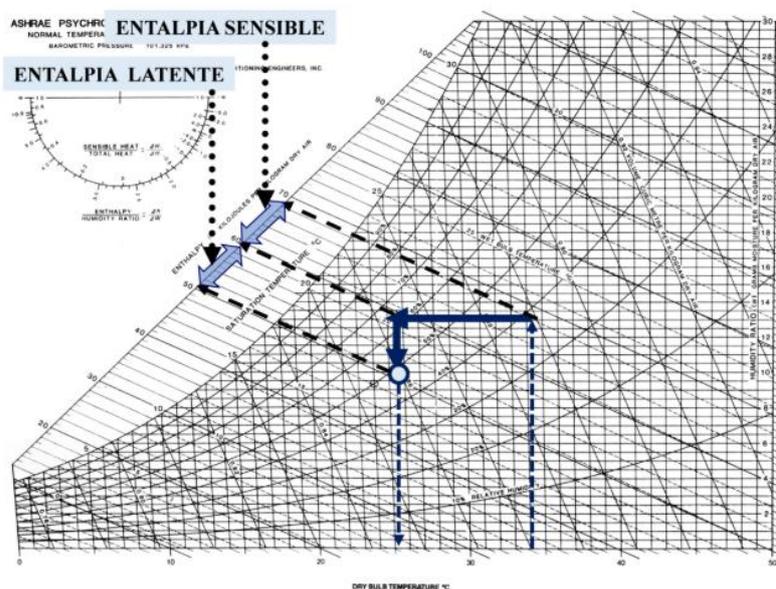
de esa zona indican condiciones de *estrés térmico* por frío o por calor. Se puede apreciar que el intervalo de humedad confortable abarca aproximadamente de 20% a 80%, pero a humedades extremas (cercasas al 100% o al 0%) las temperaturas tolerables se estrechan. Además, a mayor humedad, la temperatura máxima aceptable disminuye (la curva superior desciende hacia la derecha), reflejando que el calor húmedo se soporta peor; y a muy baja humedad, la temperatura mínima confortable sube ligeramente (no se tolera tanto frío seco). Este tipo de gráfica visualiza claramente por qué controlar la humedad interior es importante: fuera del rango higrotérmico óptimo, el cuerpo humano experimenta discomfort aunque la temperatura esté dentro de valores habituales.

Figura 18. Diagrama bioclimático de confort térmico. Fuente: adaptado de Olgyay, 2025.



También podemos ver el efecto conjunto de la temperatura del aire y la humedad relativa en el siguiente gráfico. Se observa que pequeños ajustes en la humedad relativa pueden mejorar notablemente el confort sin necesidad de aumentar la temperatura del aire, lo que permite reducir el consumo energético en climatización.

Figura 19. Evolución aire de ventilación en refrigeración. Fuente: Atecyr 2025.



Al elevar la humedad relativa en invierno (dentro de los rangos higiénicos aceptables), es posible alcanzar niveles de confort más altos con temperaturas del aire ligeramente inferiores, ya que se reduce la sensación de sequedad ambiental. Del mismo modo, en verano, mediante el uso de ventiladores que aumentan la velocidad del aire, se puede generar una sensación de frescor aún con temperaturas del aire algo superiores, al favorecer la evaporación del sudor. Esto permite mantener el confort térmico sin recurrir al uso intensivo de sistemas de refrigeración.

Estas estrategias pasivas (como el control higrotérmico, el sombreado, la ventilación natural o el empleo de ventiladores—)son especialmente relevantes en el contexto de la rehabilitación energética y la lucha contra la pobreza energética. Permiten mejorar el confort sin incrementar el gasto energético ni las emisiones asociadas, y resultan particularmente útiles en climas mediterráneos, donde la humedad relativa y la temperatura presentan variaciones estacionales marcadas.

Estos enfoques evidencian que el confort térmico no depende únicamente de la temperatura del aire, sino también de su interacción con la humedad.

4. Propuestas de posibles indicadores dinámicos para el territorio español.

La evaluación del confort térmico en España enfrenta un reto único debido a su diversidad climática y a la antigüedad del parque residencial.

Los estándares internacionales, como el PMV-PPD (ISO 7730) o las directrices estáticas de la OMS (18-24°C), no capturan adecuadamente las fluctuaciones horarias y estacionales propias de climas mediterráneos, continentales o subtropicales. Por ejemplo, en ciudades como Sevilla o Madrid, la amplitud térmica diaria puede superar los 15°C en verano, mientras que, en zonas costeras como Valencia, la humedad relativa nocturna agrava la sensación de desconfort. Esto exige indicadores dinámicos que reflejen la realidad española, integrando no solo parámetros físicos, sino también hábitos culturales (ventilación natural, uso de persianas) y variaciones geográficas. Por ello, se han desarrollado los siguientes:

- Índice de Confort Térmico Horario (ICTH)

$$ICTH = \frac{T_{int} - T_{base}}{\Delta T_{max}} * \left(1 + \frac{H_{rel}}{100}\right) \quad [Eq 10]$$

Donde:

- Tint: Temperatura interior horaria.
- T: Temperatura base según zona climática (ej.: 18°C en invierno para zona E).
- ΔTmax Amplitud térmica máxima admisible (ej.: 4°C en zonas continentales).
- Hrel: Humedad relativa horaria.

El ICTH penaliza las oscilaciones bruscas de temperatura y humedad, comunes en climas como el continental (Madrid) o mediterráneo (Barcelona). A diferencia del PMV, que promedia condiciones, este índice identifica periodos críticos (ej.: 14:00-18:00 en verano), permitiendo ajustes en tiempo real.

Este gráfico muestra cómo varía el confort térmico interior a lo largo de un día típico de verano en Madrid. Se utilizaron datos horarios estimados de temperatura interior (entre 22 °C y 30 °C) y de humedad relativa (entre 20% y 40%) basados en condiciones reales proporcionadas por AEMET. El objetivo del gráfico es identificar las horas del día en las que el confort térmico se ve comprometido, especialmente durante la tarde (14:00–18:00), cuando se alcanzan los picos de calor. Esto permite planificar medidas de ventilación, sombreado o uso de climatización de forma más precisa.

Figura 20. ICTH para día típico de verano en Madrid. Fuente: elaboración propia, 2025.



- Factor de Adaptación Estacional (FAE)

$$FAE = \frac{T_{ext,media} - T_{umbral}}{T_{umbral}} \quad [Eq 11]$$

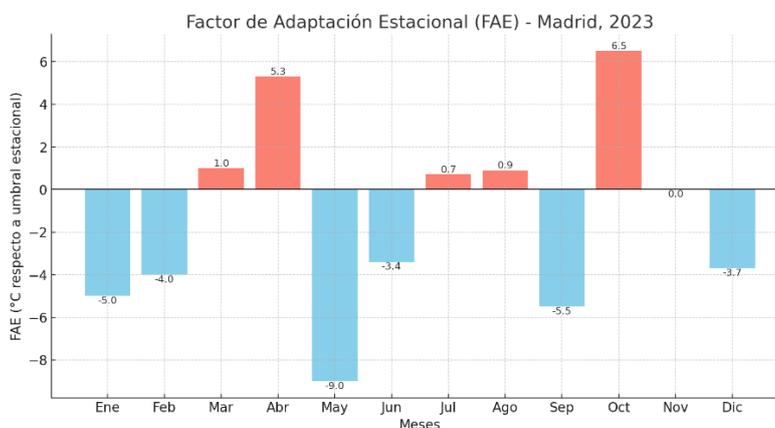
- Text,media: Temperatura exterior media mensual.
- Tumbral: Umbral regional (ej.: 10°C en invierno para Galicia, 25°C en verano para Sevilla).

En invierno, un FAE negativo en Soria (zona E1) exigiría mayor aislamiento, mientras que en verano, un FAE positivo en Murcia (zona B4) priorizaría protecciones solares.

Este gráfico representa el nivel de adaptación térmica requerida en cada mes del año 2023 en Madrid, comparando la temperatura media mensual con umbrales de confort (10 °C para invierno, 25 °C para verano). Los datos utilizados fueron las temperaturas mensuales reales publicadas por AEMET. El objetivo de esta gráfica

es identificar qué meses requieren mayor intervención climática en las viviendas (ej., aislamiento en invierno o ventilación/refrescamiento en verano). Un valor positivo indica exceso de calor, mientras que uno negativo refleja frío significativo.

Figura 21. FAE mensual para Madrid. Fuente: Elaboración propia, 2023.



- Índice de Discomfort Acumulado (IDA) [h/año]

Número de horas al año en que Tint supera los límites de confort. Este indicador ajusta los estándares de confort según la estación y la zona climática. En Málaga (zona A3), el IDA revelaría sobrecalentamiento nocturno en verano, a pesar de cumplir con la media diaria de la OMS

Clasificación:

- IDA < 100 h/año: Confort óptimo.
- IDA 100-300 h/año: Confort aceptable.
- IDA > 300 h/año: Intervención prioritaria.

5. Integración de variables climáticas españolas.

España se clasifica en 12 zonas climáticas¹¹⁷ (ej.: D3 para Madrid, A4 para Canarias), definidas por severidad invernal (A-E) y estival (1-4). Sin embargo, estas zonas no consideran factores como:

- Humedad costera: En Valencia (B3), Hrel>70% reduce el confort estival, incluso con Tint=25°C.
- Amplitud térmica diaria: En Burgos (D1), las variaciones de 20°C en verano exigen ventanas con control solar dinámico.
- Microclimas urbanos: El efecto "isla de calor" en Madrid incrementa Text nocturna en 3-5°C respecto a zonas rurales.

Para dar respuesta a estas particularidades del territorio español, los indicadores propuestos incorporan las siguientes medidas:

- Zonas costeras (Cantábrico, Mediterráneo): ICTH con ponderación de humedad (ej.: Hrel>70% reduce el confort en verano).
- Zonas continentales (Madrid, Castilla y León): FAE con amplitudes térmicas diarias > 15°C en verano.

¹¹⁷ Ministerio de Vivienda y Agenda Urbana 2022b

- Canarias: IDA centrado en sobrecalentamiento nocturno (noches tropicales > 25°C).

A continuación, se han calculado los indicadores propuestos con datos reales para distintas zonas. Para el ICTH, se han tomado ΔT_{max} de 4°C para continental, 3°C costera, y 2°C para subtropical.

Tabla 4. Cálculo de ICTH para zonas ejemplo. Fuente: Elaboración propia, 2025.

Zona	Tbase	Tmax	HR	ΔT_{max}	ICTH
Valencia (B3)	17°C	34°C	70%	3°C	9,63
Madrid (D3)	14°C	38°C	55%	4°C	9,3
Canarias (A4)	21°C	30°C	75%	2°C	7,875

Para el FAE, se han elegido los valores de *Tumbral*: de 20°C para costa mediterránea, 25°C para subtropical y 14°C para continental.

Atendiendo a un criterio de $-0,2 < FAE < 0,2$; todas las zonas cumplen con este rango.

Tabla 5. Cálculo de FAE para zonas ejemplo. Fuente: Elaboración propia, 2025.

Zona	Tumbral	FAE
Valencia (B3)	20°C	-0.15
Madrid (D3)	14°C	0.00
Canarias (A4)	25°C	-0.16

A continuación, teniendo en cuenta el IDA; Madrid acumula 250 h/año de desconfort por su alta estival (38°C), mientras Canarias mantiene estabilidad térmica.

Tabla 6. Cálculo de FAE para zonas ejemplo. Fuente: elaboración propia, 2025.

Zona	Horas/año	Clasificación
Valencia (B3)	150	Aceptable
Madrid (D3)	250	Aceptable (límite)
Canarias (A4)	100	Óptimo (límite)

6. Recomendaciones de salud pública

La armonización de estándares internacionales con las particularidades climáticas españolas presenta desafíos técnicos y normativos. Aunque España se clasifica en 12 zonas climáticas¹¹⁸, no considera variables críticas como la humedad costera o las islas de calor urbanas. Además, la antigüedad del parque residencial, limita la aplicación de soluciones pasivas modernas. A futuro, será clave incorporar modelos dinámicos que reflejen la variabilidad horaria y estacional, como el Índice de Desconfort Acumulado (IDA), en las normativas autonómicas. El Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) ya promueve el uso de sensores IoT para

¹¹⁸ Ministerio de Vivienda y Agenda Urbana 2022b

monitorizar condiciones térmicas en tiempo real, una herramienta prometedora para ajustar estándares a microclimas específicos. Sin embargo, su implementación masiva requerirá financiación pública y colaboración interadministrativa, especialmente en regiones con alta pobreza energética, como Extremadura y Murcia.

La vinculación entre el confort térmico y la salud pública es un eje central en la lucha contra la pobreza energética. La exposición prolongada a temperaturas inadecuadas incrementa el riesgo de enfermedades respiratorias, cardiovasculares y mentales, especialmente en grupos vulnerables como ancianos, niños y personas con patologías crónicas¹¹⁹. En España, se evidencia la necesidad de protocolos autonómicos que garanticen mínimos térmicos adaptados a cada clima. Por ejemplo, Cataluña ha implementado directrices para asegurar 20°C en invierno en viviendas sociales, mientras que Andalucía prioriza la ventilación natural en verano para mitigar el sobrecalentamiento en zonas de alta humedad. Estas medidas deben integrarse con políticas de rehabilitación energética, ya que el 54% de las viviendas españolas carecen de aislamiento térmico adecuado, agravando la vulnerabilidad sanitaria.

7. Conclusión

Se ha establecido un marco metodológico para definir estándares de medición del confort térmico adaptados al contexto español, integrando criterios internacionales con variables climáticas y socioeconómicas locales. La propuesta de indicadores dinámicos, como el ICTH y el IDA, permite superar las limitaciones de los modelos estáticos de la OMS o ISO 7730, ofreciendo una evaluación más precisa de la vulnerabilidad térmica en zonas con alta amplitud diaria (ej.: clima continental) o humedad persistente (ej.: litoral mediterráneo).

Estos avances son esenciales para priorizar intervenciones en viviendas con clasificación energética E, F o G, que representan el 80% del parque residencial español¹²⁰. La estandarización propuesta no solo mejora la diagnosis de la pobreza energética, sino que orienta políticas públicas hacia soluciones técnicas viables.

Este capítulo sirve como base técnica para identificar y cuantificar las condiciones térmicas inadecuadas que perpetúan la pobreza energética en España. Al establecer estándares de medición adaptados a la diversidad climática del país, se proporciona una herramienta objetiva para evaluar la eficacia de las políticas de rehabilitación energética y priorizar recursos en los hogares más vulnerables.

La integración de variables horarias y estacionales en los indicadores propuestos permite diagnosticar no solo la incapacidad económica para climatizar viviendas, sino también las deficiencias estructurales del parque residencial.

¹¹⁹ Organización Panamericana de la Salud 2022b

¹²⁰ IDAE s. f.

Estudio de las características constructivas de las viviendas

Este capítulo analiza el papel de las características físicas del parque residencial español en la determinación de su eficiencia energética y la consiguiente exposición de los hogares a situaciones de pobreza energética. Se estudiarán las variables consideradas en el modelo matemático para la determinación de pobreza energética mencionado en capítulos anteriores, así como otros aspectos en materia de edificación también de interés para la comprensión del estado de la pobreza energética en el contexto nacional.

1. Visión general del concepto de eficiencia energética.

La eficiencia energética es la capacidad que tienen las edificaciones para consumir la menor cantidad posible de energía sin renunciar a las condiciones de confort y funcionalidad. Este concepto se evalúa oficialmente a través de la calificación energética, un sistema regulado por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO), que clasifica los edificios en una escala de la A (más eficiente) a la G (menos eficiente), según su consumo de energía y sus emisiones de CO₂. La certificación energética es obligatoria para todas las viviendas que se vendan o alquilen, así como para los edificios de nueva construcción, y se basa en procedimientos reconocidos inscritos en el registro general estatal.

Figura 22. Modelo de etiqueta de eficiencia energética. Fuente: MITECO 2010

El modelo de etiqueta de eficiencia energética (Modelo-CER06) se divide en varias secciones:

- DATOS DEL EDIFICIO:** Incluye campos para Normativa vigente (construcción / rehabilitación), Tipo de edificio, Dirección, Municipio, Referencia catastral, CP, y C. Autónoma.
- ESCALA DE LA CALIFICACIÓN ENERGÉTICA:** Una escala de colores que va de verde (A) a rojo (G). A la izquierda de la escala se indican los rangos de consumo de energía (kWh/m²/año) y emisiones de CO₂ (kg CO₂/m²/año).
- REGISTRO:** Campos para el número de expediente (Nº Expte.) y el número de inscripción (Nº Insc.), con un espacio para el valor hash de inscripción.
- Logotipos:** El Gobierno de España y el Ministerio de Transición Ecológica y Reto Demográfico, así como el logo de España y la referencia a la Directiva 2010/31/UE.

Existen varios tipos de eficiencia energética en función de las características del edificio y las soluciones aplicadas. Los edificios con calificación A o B son los más eficientes y suelen incorporar medidas como aislamiento térmico avanzado, sistemas de climatización eficientes, energías renovables y automatización, haciendo que tengan un consumo inferior que el 55% (calificación A) o entre el 55% y el 75% (calificación B) de la media. Por el contrario, la mayoría del parque inmobiliario español se sitúa en las clases E, F o G, lo que indica un alto potencial de mejora. Más del 80% de los edificios y viviendas en España reciben actualmente una calificación energética E, F o G, lo que los convierte en "ineficientes"¹²¹. Esta situación se debe principalmente a que más de la mitad de las viviendas fueron construidas antes de 1980, cuando aún no existía una normativa que exigiera mínimos de eficiencia energética.

¹²¹ Green Building Council España 2023

En los últimos años, España ha avanzado en la regulación y promoción de la eficiencia energética, impulsando programas de ayudas a la rehabilitación y la mejora del parque edificado¹²². Sin embargo, el reto sigue siendo considerable: la nueva Directiva Europea de Eficiencia Energética de la Edificación prevé que, para 2040, todos los edificios tengan al menos una calificación B, y para 2050, alcancen la categoría A, es decir, sean de cero emisiones¹²³.

Para alcanzar estos objetivos, será necesario acelerar la rehabilitación energética, mejorar el aislamiento y modernizar las instalaciones en millones de viviendas.

La eficiencia energética de un edificio está directamente relacionada con la pobreza energética. Cuando una vivienda es poco eficiente (por ejemplo, tiene un mal aislamiento térmico, ventanas antiguas o sistemas de calefacción obsoletos) requiere un mayor consumo energético para alcanzar temperaturas confortables en invierno o en verano. Esto se traduce en facturas más elevadas, lo que puede suponer un esfuerzo económico excesivo para familias con bajos ingresos.

La mejora de la eficiencia energética de los edificios es una de las vías más eficaces para reducir la pobreza energética¹²⁴.

2. Descripción de variables explicativas seleccionadas.

- Constructivas (V_m)
 - a) Tipo de edificio (V_1)

El tipo de edificio es una variable determinante en términos energéticos, ya que establece diferencias claras en la demanda energética. Según el Ministerio de Fomento (2014), el 68,6% de las viviendas en España pertenecen a edificios plurifamiliares, mientras que el restante 31,4% corresponde a viviendas unifamiliares¹²⁵.

La distribución de hogares unipersonales en España presenta diferencias geográficas significativas. En líneas generales, se observa una mayor proporción de hogares unipersonales en las provincias del norte y centro-noroeste del país, especialmente en zonas interiores y envejecidas, frente a menores proporciones en áreas del sur y zonas costeras del mediterráneo.

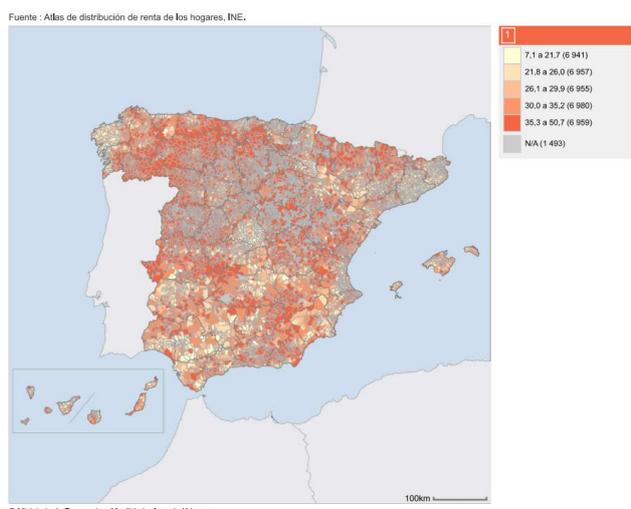
¹²² Ministerio de Vivienda y Agenda Urbana 2022a

¹²³ Green Building Council España 2023

¹²⁴ Roberto Barrella & José Carlos Romero Mora 2023

¹²⁵ Ministerio de Fomento 2014

Figura 23. Porcentaje de hogares unipersonales en la sección censal. Fuente: INE 2018



Se observan valores especialmente elevados, superiores al 25%, en provincias como Ourense, Lugo, León, Zamora, Salamanca y Ávila. Estas zonas se caracterizan por un notable envejecimiento de la población, asociado con procesos migratorios hacia grandes núcleos urbanos que dejan atrás poblaciones envejecidas en viviendas frecuentemente antiguas y sobredimensionadas para una sola persona. Madrid, Barcelona, Valencia o Zaragoza tienen porcentajes que oscilan entre el 20% y 25%. Zonas del sur como Sevilla, Málaga, Cádiz, así como la mayor parte de Extremadura y Castilla-La Mancha presentan porcentajes inferiores al 20%, indicando una estructura familiar más tradicional con hogares de mayor tamaño.

La mayor parte de las viviendas plurifamiliares se localizan en áreas urbanas y se caracterizan por una envolvente térmica menos expuesta, beneficiándose del efecto térmico producido por viviendas colindantes. En contraste, las viviendas unifamiliares poseen una superficie perimetral mayor, que incrementa notablemente las pérdidas energéticas en invierno y las ganancias indeseadas de calor en verano, incrementando su exposición a la pobreza energética.

Además, el parque unifamiliar, concentrado en zonas rurales o periurbanas, tiende a ser más antiguo y presenta mayores carencias en términos de aislamiento y eficiencia energética. El reducido cambio en la proporción de estas tipologías refleja una inercia constructiva que perpetúa la vulnerabilidad energética asociada a los edificios individuales más antiguos.

La prevalencia significativa de hogares unipersonales es especialmente relevante desde la perspectiva de la pobreza energética. Las personas que viven solas suelen tener que afrontar individualmente los costes energéticos totales de su vivienda, lo que implica un mayor peso relativo sobre sus ingresos, especialmente en casos de hogares con personas mayores o con bajos ingresos económicos.

b) Zona de residencia (V_2)

Es fundamental subrayar que la distribución de la zona de residencia en España presenta marcadas desigualdades territoriales. Estas desigualdades están íntimamente ligadas al nivel de renta, la estructura productiva, el envejecimiento demográfico y la disponibilidad de servicios, factores que a su vez condicionan la incidencia de la pobreza energética. Así, mientras las grandes áreas metropolitanas concentran la mayor parte de las zonas urbanas de lujo y altas, las zonas rurales y urbanas inferiores muestran mayor vulnerabilidad, especialmente

en comunidades autónomas del interior y sur peninsular. La relación entre zona de residencia y pobreza energética es clara: la ruralidad, la baja densidad y la antigüedad del parque de viviendas incrementan significativamente el riesgo de pobreza energética, aunque existen matices según la comunidad autónoma y el tipo de ruralidad o urbanidad analizado.¹²⁶

La distribución de la población española según la zona de residencia muestra un claro predominio de la urbanización, aunque con importantes diferencias entre comunidades autónomas. Sin embargo, la superficie ocupada por las zonas rurales es abrumadoramente mayor, abarcando cerca del 90% del territorio nacional, lo que evidencia un marcado desequilibrio entre población y espacio¹²⁷.

Las zonas urbanas de lujo y altas se concentran en las grandes ciudades y sus áreas metropolitanas, especialmente en Madrid, Barcelona, Valencia, Bilbao, San Sebastián y algunas capitales de provincia. Las zonas urbanas medias e inferiores se distribuyen por todo el territorio, aunque son más frecuentes en ciudades medianas y pequeñas, así como en barrios periféricos de las grandes urbes¹²⁸. Las zonas rurales industriales se localizan principalmente en el norte (País Vasco, Asturias, Cantabria) y el este (Cataluña, Comunidad Valenciana), las pesqueras en Galicia, Andalucía y Canarias, y las agrarias en Castilla y León, Castilla-La Mancha, Extremadura y Andalucía.

En la Comunidad de Madrid predominan claramente las zonas urbanas de lujo y alta densidad, especialmente en la capital y su área metropolitana, que concentran la mayor parte de la población y el parque residencial moderno. Cataluña también destaca por su diversidad, combinando áreas urbanas de lujo y alta renta en Barcelona y su entorno metropolitano, junto con zonas urbanas medias y barrios periféricos, además de áreas rurales e industriales en el interior. Andalucía, la comunidad más poblada, muestra una dualidad entre grandes ciudades con zonas urbanas medias y altas (Sevilla, Málaga) y extensas áreas rurales agrarias en el interior, mientras que la Comunidad Valenciana, con importantes núcleos urbanos como Valencia y Alicante, presenta una mezcla de zonas urbanas medias y altas en la costa y zonas rurales en el interior.

Por otra parte, Castilla y León y Castilla-La Mancha se caracterizan por un gran predominio de zonas rurales agrarias y baja densidad de población, con ciudades de tamaño medio y escasa presencia de áreas urbanas de lujo. Galicia, aunque cuenta con ciudades importantes como A Coruña y Vigo, mantiene una fuerte presencia de zonas rurales y dispersión poblacional. Canarias y Baleares presentan una estructura particular, con áreas urbanas densas en las capitales insulares y zonas rurales y turísticas en el resto del territorio. Estas diferencias reflejan la gran variedad en la distribución de tipos de residencia en el territorio español, condicionada por el peso de las grandes ciudades, la estructura económica y la densidad de población en cada comunidad autónoma.

El análisis de los determinantes de la pobreza energética revela que la localización en zonas rurales incrementa en 2,4 puntos porcentuales la probabilidad de sufrir este problema, en comparación con la residencia en áreas urbanas¹²⁹. La antigüedad de la vivienda, la baja eficiencia energética, el tamaño del hogar y la estructura familiar (hogares unipersonales, monoparentales) son factores que aumentan la vulnerabilidad, característicos de zonas rurales.

¹²⁶ Trujillo-Baute 2020

¹²⁷ Agenda Urbana Española 2021

¹²⁸ NGD 2022

¹²⁹ Trujillo-Baute 2020

Las zonas rurales agrarias y urbanas inferiores son, por tanto, las más afectadas, mientras que las zonas urbanas de lujo y altas presentan una incidencia mínima, gracias a la elevada renta y a la calidad de las viviendas¹³⁰. No obstante, existen excepciones, como barrios degradados en grandes ciudades o áreas rurales con elevada renta (enclaves turísticos o residenciales), donde la incidencia es menor.

La relación entre zona de residencia y pobreza energética es robusta: la ruralidad, la baja densidad y la antigüedad de la vivienda incrementan significativamente el riesgo, mientras que la urbanización, la elevada renta y la eficiencia energética actúan como factores protectores. No obstante, la heterogeneidad interna de las comunidades autónomas y la existencia de áreas urbanas degradadas o rurales de alta renta matizan esta relación, exigiendo políticas públicas adaptadas a la diversidad territorial.

c) Tipo de vivienda (V₃)

El estudio de las características de esta variable ha puesto de manifiesto su gran similitud con la variable V1 (Tipo de edificio). Debido a esto y con el objetivo de evitar redundancia en el modelo, se omitirá esta variable de ahora en adelante.

d) Antigüedad del edificio (V₄)

La antigüedad de los edificios constituye una de las variables críticas en términos de pobreza energética, debido a su directa relación con la eficiencia térmica y la normativa constructiva vigente al momento de construcción. Más del 55% de las viviendas actuales fueron construidas antes de 1980, lo que implica la ausencia generalizada de criterios normativos en eficiencia energética durante su construcción¹³¹.

Provincias enteras continúan dominadas por parques edificatorios construidos antes de la introducción de normativas energéticas más estrictas. Esta antigüedad elevada se traduce en mayores consumos energéticos para calefacción y refrigeración, lo que incrementa la probabilidad de pobreza energética en hogares con menores ingresos. Para evaluar esta variable, solo se disponen de datos hasta el año 2011. Debido a que se trata de examinar obra antigua, estos datos siguen siendo de interés para el apartado.

Viviendas construidas antes de 1940

Los porcentajes más elevados aparecen concentrados principalmente en zonas del interior norte peninsular y provincias periféricas del noroeste, destacando especialmente Galicia, Castilla y León, Asturias, Cantabria y País Vasco, con cifras superiores al 20%. Estas viviendas, debido a su antigüedad, carecen completamente de criterios constructivos modernos, especialmente en términos de aislamiento térmico y eficiencia energética. La ausencia casi total de aislamiento en muros, ventanas y techos implica un alto consumo energético para lograr condiciones mínimas de confort, exacerbando notablemente los riesgos asociados a la pobreza energética.

¹³⁰ Tirado Herrero, Sergio et al. 2016

¹³¹ Ministerio de Fomento & Observatorio de Vulnerabilidad 2014

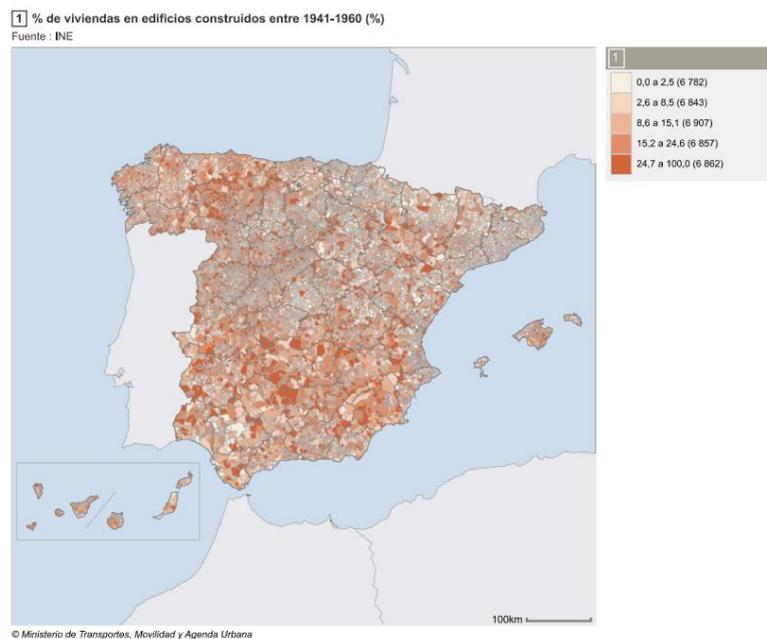
Figura 24. Porcentaje de viviendas en edificios construidos antes de 1940. Fuente: INE 2011



Viviendas construidas entre 1941 y 1960

Los mayores porcentajes aparecen en provincias que experimentaron un crecimiento urbano acelerado durante este periodo, destacando áreas industriales o grandes ciudades que absorbieron migraciones internas, como Madrid, Barcelona, Zaragoza, Bilbao y Valencia. Estas provincias presentan frecuentemente valores entre 15% y 25%. El periodo 1941-1960 estuvo marcado por una construcción rápida, con pocos recursos y estándares muy bajos de calidad constructiva. Estas viviendas suelen presentar deficiencias graves en materiales constructivos y aislamiento térmico. La baja calidad constructiva de este periodo implica serias dificultades para mantener la vivienda en condiciones térmicas adecuadas sin incurrir en altos costes energéticos.

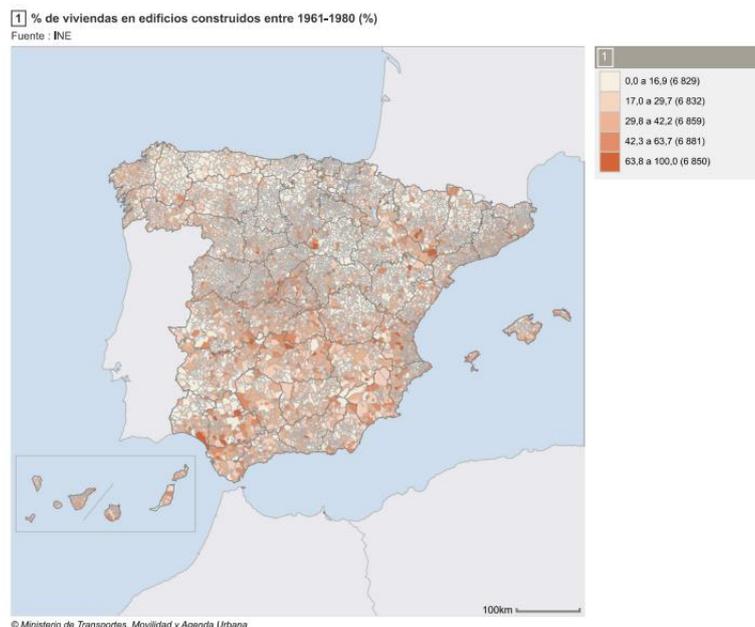
Figura 25. Porcentaje de viviendas en edificios construidos entre 1941 y 1960. Fuente: INE 2011.



Viviendas construidas entre 1961 y 1980

Prácticamente todas las provincias españolas presentan cifras elevadas, especialmente en áreas metropolitanas (Madrid, Barcelona, Valencia, Sevilla) y provincias del interior peninsular como Toledo, Guadalajara y Albacete, alcanzando frecuentemente porcentajes superiores al 30%. Las viviendas de este periodo, anteriores a la primera normativa energética española (NBE-CT 79), constituyen la mayor parte del parque residencial obsoleto desde el punto de vista energético. Presentan una calidad constructiva algo mejor que las de las décadas previas, pero siguen careciendo de un aislamiento adecuado y sistemas eficientes de calefacción y agua caliente sanitaria (ACS). Por esta razón, continúan suponiendo un gran desafío energético para España.

Figura 26. Porcentaje de viviendas en edificios construidos entre 1961 y 1980. Fuente: INE 2011



Viviendas construidas entre 1981 y 2007

Las mayores concentraciones (superiores al 58,6%) se observan predominantemente en provincias del arco mediterráneo (Murcia, Alicante, Almería), en gran parte de Andalucía (especialmente provincias de Cádiz, Málaga y Sevilla), y en zonas próximas a grandes áreas metropolitanas como Madrid, Barcelona o Valencia. Este patrón se relaciona con el crecimiento urbano, turístico e inmobiliario experimentado durante el auge económico de finales del siglo XX y principios del siglo XXI.

En estas zonas existe una proporción significativa de viviendas construidas bajo ciertos criterios de eficiencia energética básicos, aunque previos al Código Técnico de la Edificación (CTE) de 2006, por lo que su eficiencia energética sigue siendo limitada en comparación con las exigencias actuales.

En contraste, áreas del interior peninsular (Castilla y León, Galicia interior, Aragón interior, Castilla-La Mancha, Extremadura y norte de Andalucía), así como zonas del norte (Asturias, Cantabria, País Vasco interior y Navarra) presentan porcentajes claramente inferiores, a menudo inferiores al 30%. En estas regiones predomina un parque residencial más envejecido, en gran medida anterior a 1980, lo que implica una elevada antigüedad y peores condiciones estructurales y energéticas.

Este envejecimiento del parque habitacional implica serias carencias constructivas, especialmente relacionadas con el aislamiento térmico, generando

mayores demandas energéticas y aumentando la vulnerabilidad energética de las poblaciones que habitan estas viviendas.

Figura 27. Porcentaje de viviendas en edificios construidos entre 1981 y 2007. Fuente: INE 2011



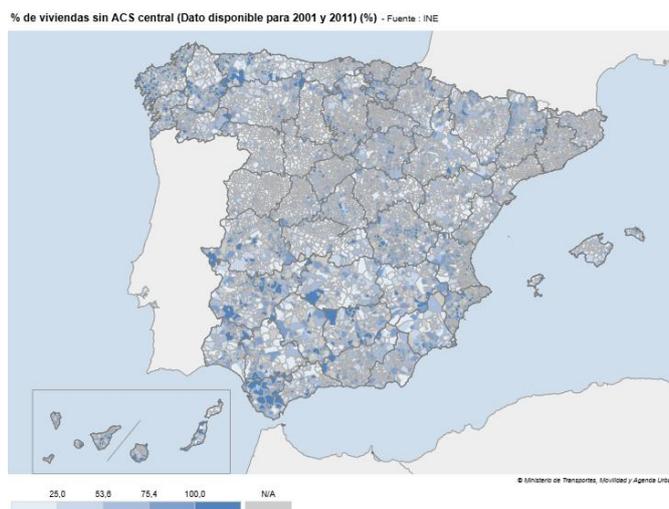
e) Disponibilidad y fuente energética para ACS (V₅ - V₆)

Los municipios rurales e interiores, especialmente en Castilla-La Mancha, Extremadura y Andalucía, presentan porcentajes muy elevados (superiores al 75%) de viviendas sin ACS central. Por el contrario, grandes áreas metropolitanas y núcleos urbanos como Madrid, Barcelona o Valencia registran cifras mucho menores, reflejando mejores condiciones de acceso a infraestructuras energéticas.

La ausencia de ACS centralizado guarda una relación directa con la pobreza energética, ya que los sistemas individuales suelen ser menos eficientes y generan mayores costes energéticos por hogar. Esta situación afecta especialmente a áreas rurales, donde la población envejecida, los hogares unipersonales y viviendas antiguas incrementan la vulnerabilidad energética, generando importantes dificultades económicas y de confort para los habitantes.

No obstante, existe una limitación importante en el análisis debido a la falta de datos sobre las fuentes energéticas específicas utilizadas para producir ACS. Esta información resulta crucial porque el tipo de fuente energética influye significativamente en el coste económico y en la eficiencia energética del suministro doméstico. Por tanto, aunque el mapa revela claramente una asociación entre la ausencia de ACS centralizado y la pobreza energética en España, para una evaluación más completa sería esencial disponer de información más detallada sobre las fuentes energéticas predominantes.

Figura 28. Porcentaje de viviendas sin ACS central. Fuente: INE 2011.



f) Disponibilidad y fuente energética para la calefacción (V₇ -V₈)

Los mapas analizados muestran que los sistemas de calefacción colectiva tienen una presencia muy limitada en España, restringida principalmente a las grandes ciudades y áreas urbanas, como Madrid, Barcelona o Valladolid. Aun así, incluso en estas áreas, su uso es moderado, raramente superando el 30% de las viviendas. Por el contrario, la calefacción individual presenta una distribución mucho más extensa, dominando claramente tanto en zonas rurales como urbanas, especialmente en el norte y centro peninsular.

Esta predominancia generalizada de la calefacción individual implica importantes desafíos energéticos. Aunque estos sistemas ofrecen mayor autonomía a los hogares, generalmente presentan una eficiencia energética inferior respecto a los sistemas colectivos bien gestionados. Esto puede provocar mayores consumos y costes energéticos, incrementando el riesgo de pobreza energética especialmente en hogares con bajos ingresos y en regiones rurales menos desarrolladas o aisladas.

La vulnerabilidad energética asociada a sistemas individuales es especialmente significativa en áreas rurales e interiores, donde el acceso a infraestructuras energéticas eficientes es limitado y los hogares dependen en mayor medida de fuentes energéticas costosas o menos eficientes, como electricidad, gasóleo o combustibles sólidos. Esto supone un problema añadido para los habitantes de estas zonas, especialmente en climas más fríos, aumentando considerablemente su exposición a la pobreza energética.

Finalmente, la ausencia de información específica sobre las fuentes energéticas empleadas en ambos tipos de sistemas de calefacción constituye una limitación importante para el análisis.

Esta carencia dificulta la evaluación precisa del impacto real sobre la pobreza energética.

Figura 29. Porcentaje de viviendas principales con calefacción colectiva. Fuente: INE 2011.

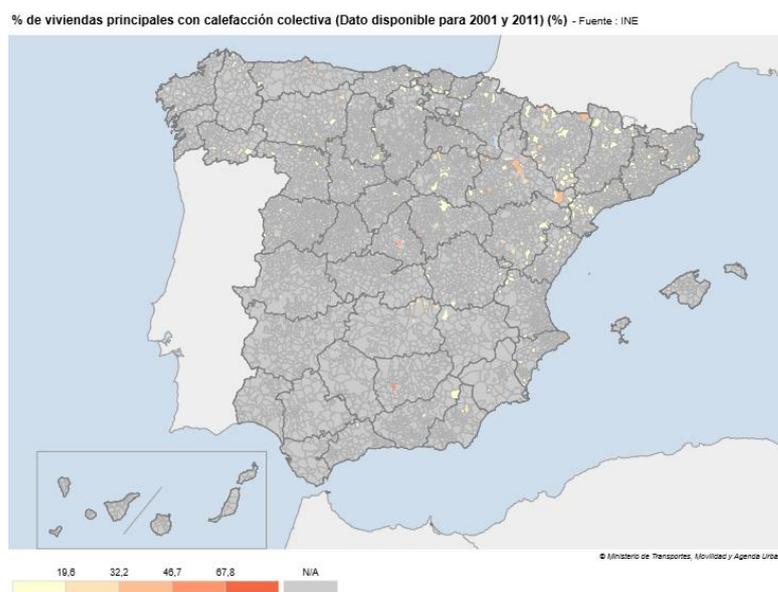
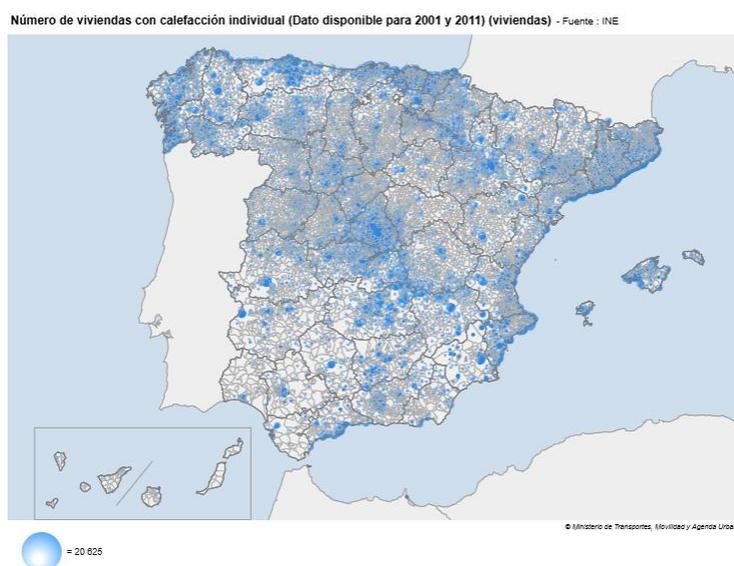


Figura 30. Número de viviendas con calefacción individual. Fuente: INE 2011.



Finalmente, las variables constructivas se introducirán en el modelo de la siguiente manera:

Tabla 7. Resumen de las variables constructivas. Fuente: elaboración propia, 2025.

Variable (V _m)	Descripción	Tipo	Valores
Tipo de edificio (V ₁)	Forma del edificio según estructura	Categórica	1: Unifamiliar independiente; 2: Adosada o pareada; 3: Edificio <10 viv.; 4: Edificio ≥10 viv.; 5: Otros; -9: No consta
Zona de residencia (V ₂)	Tipo de área residencial	Categórica	1: Urbana lujo; 2: Urbana alta; 3: Urbana media; 4: Urbana inferior; 6: Rural industrial; 7: Rural pesquera; 8: Rural agraria; -9: No consta

Variable (V _m)	Descripción	Tipo	Valores
Antigüedad de la vivienda (V ₃)	Antigüedad aproximada del edificio	Categórica	1: <25 años; 6: ≥25 años; -9: No consta
Agua caliente sanitaria (V ₄)	Dispone o no de sistema de ACS	Binaria	1: Sí; 2: No
Fuente de ACS (V ₅)	Energía utilizada para calentar el agua	Categórica	1: Electricidad; 2: Gas natural; 3: Gas licuado; 4: Otros líquidos; 5: Combustibles sólidos; 6: Otras; -9: No consta; <i>No aplicable si CALEF=6</i>
Disposición de calefacción (V ₆)	Dispone o no de sistema de calefacción	Binaria	1: Sí; 2: No
Fuente de calefacción (V ₇)	Energía utilizada para calefacción	Categórica	1: Electricidad; 2: Gas natural; 3: Gas licuado; 4: Otros líquidos; 5: Combustibles sólidos; 6: Otras; -9: No consta; <i>No aplicable si CALEF=2</i>

3. Descripción de otras características constructivas relevantes

A continuación, se estudiará la situación del aislamiento térmico, que no se incluirá en el modelo matemático mencionado anteriormente para el estudio de la pobreza energética. Sin embargo, resulta de interés para entender el estado de la edificación española.

- Aislamiento térmico

El aislamiento térmico en España presenta marcadas desigualdades territoriales, directamente vinculadas a la antigüedad del parque de viviendas, las normativas autonómicas y las condiciones climáticas.

La transmitancia térmica (U) máxima permitida varía entre 0,19 W/m²K en zonas frías (D y E) y 3,0 W/m²K en áreas cálidas (A y B)¹³².

El CTE clasifica España en 5 zonas climáticas de invierno (A-E) y 4 de verano (1-4), determinando los requisitos de aislamiento. La transmitancia térmica (U), calculada como:

$$U = \frac{1}{R_{total}} \quad [Eq\ 12]$$

donde R_{total} es la resistencia térmica total del cerramiento. Valores bajos de U indican mejor aislamiento. Por ejemplo, en zonas frías (E), la transmitancia máxima

¹³² Ministerio de Vivienda y Agenda Urbana 2022

permitida para muros es de 0,46 W/m²K, mientras que en zonas cálidas (A) es de 1,22 W/m²K.

Tabla 8. Transmitancia térmica máxima de cerramientos y particiones interiores de la envolvente térmica U en W/m²K. Fuente: Ministerio de Vivienda y Agenda Urbana.

Cerramientos y particiones interiores	ZONAS				
	A	B	C	D	E
Muros de fachada, <i>particiones interiores</i> en contacto con <i>espacios no habitables</i> , primer metro del perímetro de suelos apoyados sobre el terreno (1) y primer metro de muros en contacto con el terreno	1,22	1,07	0,95	0,86	0,74
Suelos (2)	0,69	0,68	0,65	0,64	0,62
Cubiertas (3)	0,65	0,59	0,53	0,49	0,46
Vidrios y marcos	5,70	5,70	4,40	3,50	3,10
Medianerías	1,22	1,07	1,00	1,00	1,00

Estos límites, establecidos en el CTE-DB-HE 2019, exigen espesores de aislamiento variables: hasta 14-17 cm en zonas E para cubiertas.

Sin embargo, más del 50% de las viviendas españolas carecen de aislamiento térmico, y otro 39% tiene niveles insuficientes¹³³. Solo el 6% del parque cumple con estándares modernos, ya que el 55% de las viviendas se construyeron antes de 1980, cuando no existían normativas térmicas estrictas¹³⁴. Esto se traduce en transmitancias medias elevadas, como en Andalucía ($U_{\text{medio}}=2,3\text{W/m}^2\text{K}$)¹³⁵, muy por encima de los límites actuales.

Los requisitos recientes del CTE-DB-HE 2019 priorizan el uso de materiales como poliestireno expandido, lana de roca o poliuretano, con conductividades térmicas entre 0,028–0,036 W/m·K. Además, para rehabilitaciones que afecten al 25% de la envolvente, se exigen espesores mínimos de 3–8 cm según la zona climática

La relación entre aislamiento, eficiencia energética y pobreza energética es directa. Las viviendas mal aisladas requieren hasta un 40% más de energía para climatización¹³⁶, lo que eleva el gasto en hogares con bajos ingresos. Mejorar la transmitancia térmica no solo reduce el consumo energético, sino que es una herramienta clave para garantizar el acceso a condiciones básicas de confort y equidad social.

Entre los materiales aislantes más utilizados en la edificación española destacan las lanas minerales (lana de roca y lana de vidrio), los paneles de poliestireno expandido (EPS) y extrusionado (XPS), y las espumas de poliuretano (rígidas o proyectadas). También se emplean fibra de madera, corcho o celulosa en proyectos más ecológicos. Todos ellos se seleccionan por su baja conductividad térmica (λ) y su adecuada durabilidad. Según el material elegido y su espesor, se logra la resistencia térmica

¹³³ CGATE 2020

¹³⁴ Javier Espada 2024

¹³⁵ Secretaría General de Agenda Urbana y Vivienda & Dirección General de Agenda Urbana y Arquitectura 2020

¹³⁶ IDAE s. f.

necesaria para reducir la transmitancia U al nivel fijado por la normativa en cada zona climática.

4. Conclusión

El análisis de las características constructivas ha permitido profundizar en la dimensión física de la pobreza energética en España, destacando cómo determinados elementos del parque residencial, como el tipo de edificio, la antigüedad, la zona de residencia o la disponibilidad de sistemas de calefacción y ACS, condicionan significativamente la eficiencia energética de los hogares. Se ha evidenciado que la mayoría de las viviendas españolas fueron construidas en periodos anteriores a la normativa térmica, lo que explica en gran medida su bajo rendimiento energético. Esta deficiencia estructural, unida a la falta de aislamiento, contribuye de forma directa a aumentar la demanda energética y, por ende, el gasto necesario para mantener condiciones mínimas de confort térmico.

El capítulo ha tenido un doble propósito. Por un lado, ha ofrecido una caracterización técnica del parque edificado nacional, que permite entender mejor las causas materiales de la vulnerabilidad energética. Por otro, ha definido y operacionalizado las variables constructivas que serán implementadas en el modelo matemático desarrollado en el capítulo anterior. Estas variables actuarán como predictores en la estimación de la probabilidad de pobreza energética, integrándose junto a las dimensiones socioeconómica y climática para conformar un enfoque multidimensional robusto y coherente.

En este sentido, los resultados obtenidos aquí no solo enriquecen el análisis empírico del fenómeno, sino que aportan una base sólida para el diseño de herramientas diagnósticas y políticas públicas más precisas y territorialmente adaptadas. La incorporación de estas variables al modelo permitirá captar con mayor fidelidad las desigualdades estructurales del parque residencial, contribuyendo a mejorar la identificación de los hogares vulnerables y la planificación de intervenciones efectivas para reducir la pobreza energética en España.

Modelo estadístico y portal de acceso

En este capítulo, se discutirá el modelo estadístico desarrollado para calcular la probabilidad de que una persona sea pobre energéticamente como se discutió en capítulos anteriores. Posteriormente, se procederá a mostrar su implementación en una web.

1. Descripción del modelo.

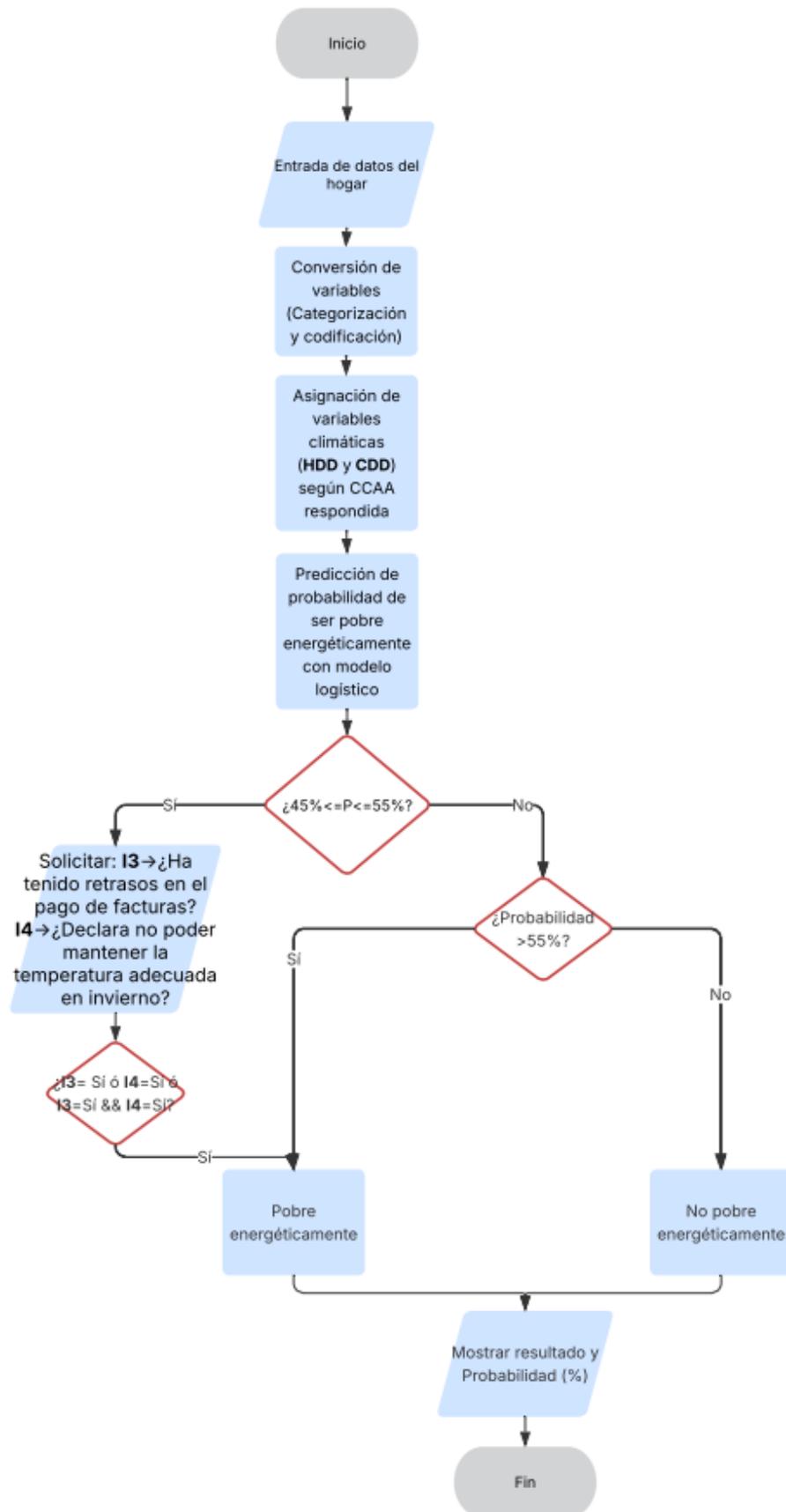
El modelo codificado es una implementación rigurosa de un enfoque cuantitativo para identificar hogares en situación de pobreza energética, basado en una combinación de indicadores objetivos y subjetivos.

Ha sido desarrollado íntegramente en Python, utilizando el entorno de desarrollo integrado PyCharm, una de las herramientas más versátiles y potentes para el análisis de datos y programación científica.

Esta elección responde a la necesidad de manejar grandes volúmenes de microdatos de forma eficiente, aplicar transformaciones complejas, entrenar el modelo estadístico y realizar visualizaciones o informes personalizados.

A continuación, se muestra el diagrama de flujo que sigue el programa desde su acceso por el usuario.

Figura 31. Diagrama de Flujo. Fuente: elaboración propia, 2025.



En los siguientes apartados se explica en detalle su funcionamiento, estructura y relevancia metodológica.

a. Preparación y enriquecimiento de los datos

El modelo se basa en microdatos procedentes de la Encuesta de Presupuestos Familiares (EPF) y, complementariamente, incorpora información derivada de la Encuesta de Condiciones de Vida (ECV). Inicialmente, se cargan ambas bases. Se extrae el gasto energético (códigos que comienzan por "045") y se calcula su valor anual ponderado por el factor de expansión muestral y ajustado mediante escalas de equivalencia de consumo y de renta, como se explica en el capítulo "Cuantificación y métrica".

Este tratamiento es clave para obtener una estimación precisa del esfuerzo económico relativo que cada hogar destina a energía, lo cual sienta las bases para la identificación de situaciones de vulnerabilidad energética por exceso o insuficiencia de gasto.

b. Definición de indicadores oficiales de pobreza energética (I1–I4)

El modelo utiliza los cuatro indicadores propuestos en el capítulo de "Cuantificación y Métrica":

- **I1:** Gasto energético desproporcionado (más del doble de la mediana nacional).
- **I2:** Gasto energético insuficiente (menos de la mitad de la mediana).
- **I3:** Incapacidad declarada de mantener la vivienda en condiciones térmicas adecuadas.
- **I4:** Retraso en el pago de facturas energéticas.

A partir de los indicadores I1 e I2, calculados con datos cuantitativos, se genera una variable binaria (Y_{EPFA}) que define si un hogar se encuentra en situación de pobreza energética. Esta variable es la base para la modelización estadística posterior.

c. Selección de variables explicativas

Se introducen variables de tres grandes bloques:

- **Socioeconómicas:** nivel de ingresos, situación laboral, nivel educativo y régimen de tenencia.
- **Constructivas:** antigüedad de la vivienda, disponibilidad de agua caliente y calefacción, así como el tipo de combustible utilizado y si la ubicación es rural.
- **Climáticas:** a través del cruce con los grados-día de calefacción (HDD) y refrigeración (CDD) por comunidad autónoma más recientes, lo que permite ajustar la vulnerabilidad energética según el contexto térmico local.

Los Grados día de refrigeración es la unidad de medida del grado de rigor climático de un lugar, en la temporada cálida, ya que relaciona la temperatura media con una cierta temperatura de confort para refrigeración. Se define como la suma de las diferencias horarias de la temperatura máxima media del aire exterior superior a una temperatura

base de refrigeración, con respecto a este valor para todos los días del año.¹³⁷

El grado-día de calefacción es una unidad que se utiliza para medir el nivel del rigor invernal en una localidad, y que relaciona la temperatura media exterior durante la época fría del año con una cierta temperatura de confort para calefacción en interiores.¹³⁸

Tabla 9. Variables presentes en el modelo. Elaboración propia, 2025.

Variable	Descripción	Tipo	Valores posibles
S1	Nivel de ingresos del hogar	Catagórica ordinal	1 = <500 €, 2 = 500–999 €, ..., 10 = ≥9000 €
S2	Situación laboral del sustentador	Binaria	1 = Ocupado, 0 = Parado/inactivo
S4	Nivel educativo superior	Binaria	1 = Tiene estudios superiores, 0 = No tiene
V3	Antigüedad de la vivienda (categoría de años)	Ordinal simplificada	6 = datos faltantes o anterior a 1980, 3 = 1980–1999, 1 = 2000 o más
V4	Dispone de agua caliente sanitaria	Binaria	1 = Sí, 0 = No
V6	Dispone de sistema de calefacción	Binaria	1 = Sí, 0 = No
ES_PROPIETARIO	Régimen de tenencia: propietario o no	Binaria	1 = Propietario, 0 = Alquiler, cesión, otros
ES_EDIFICIO_10PLUS	¿Vive en un edificio con más de 10 viviendas?	Binaria	1 = Sí, 0 = No
Variable	Descripción	Tipo	Variables posibles

¹³⁷ Wikipedia 2023

¹³⁸ Wikipedia 2023

ES_RURAL	Localización rural	Binaria	1 = Zona rural (códigos INE 6, 7, 8), 0 = Urbana
CALEF_ES_ELECTRICA	Fuente de calefacción eléctrica	Binaria	1 = Sí, 0 = Otra fuente
ACS_ES_ELECTRICA	Fuente de agua caliente eléctrica	Binaria	1 = Sí, 0 = Otra fuente
CDD	Cooling Degree Days (grados-día de refrigeración)	Continua	Depende de la CCAA. Ej: desde 14.57 (Asturias) hasta 599.69 (Extremadura)
HDD	Heating Degree Days (grados-día de calefacción)	Continua	Depende de la CCAA. Ej: desde 93.41 (Canarias) hasta 2097.18 (Castilla y León)

Se realizaron ciertos cambios a las variables originales para facilitar su inclusión en el modelo:

Variables convertidas a binario

Estas variables eran originalmente categóricas o con varios niveles, y se recodificaron como **variables binarias (0/1)** para simplificar su inclusión en el modelo:

Tabla 10. Variables convertidas a binario. Elaboración propia, 2025.

Variable original	Variable binaria creada	Descripción	Criterio de codificación
REGTEN	ES_PROPIETARIO	Régimen de tenencia de la vivienda	1 si es propietario, 0 si no
TIPOEDIF	ES_EDIFICIO_10PLUS	Tipo de edificio según número de viviendas	1 si edificio ≥ 10 viviendas, 0 si no
ZONARES	ES_RURAL	Localización del hogar (urbana/rural)	1 si zona rural (códigos 6, 7, 8), 0 si no
FUENCALE	CALEF_ES_ELECTRICA	Fuente principal de calefacción	1 si es eléctrica, 0 si no

FUENAGUA	ACS_ES_ELECTRICA	Fuente de agua caliente sanitaria	1 si es eléctrica, 0 si no
SITSOCI	S2	Situación laboral del sustentador	1 si trabaja, 0 si no (paro o inactivo)
ESTUDREDSP	S4	Nivel de formación del sustentador	1 si tiene estudios superiores (niveles 07–08)

Estas variables fueron transformadas para capturar efectos específicos en forma simplificada. Por ejemplo, en lugar de usar todos los tipos de fuente de calefacción, se analiza específicamente si es eléctrica o no, ya que este dato puede reflejar consumos diferentes o condiciones de eficiencia.

Variables categóricas ordinales recodificadas como numéricas

Tabla 11. Variables categóricas ordinales recodificadas como numéricas. Elaboración propia, 2025.

Variable original	Variable derivada	Tipo	Descripción
IMPEXAC	S1	Ordinal	Nivel de ingreso mensual del hogar agrupado en deciles
ANNOCON	V3	Numérica categorizada	Año de construcción de la vivienda, codificada por rangos o imputaciones

En estos casos no se usan variables binarias, sino **números enteros que reflejan una progresión ordenada**, como rangos de ingresos (S1) o antigüedad de vivienda (V3). Esto permite al modelo captar tendencias: por ejemplo, que cuanto menor el ingreso, mayor la probabilidad de pobreza energética.

Variables climáticas tratadas como numéricas continuas

Tabla 12. Variables tratadas como numéricas continuas. Fuente: Elaboración propia, 2025.

Variable original	Tipo	Descripción
CDD	Continua	Grados-día de refrigeración
HDD	Continua	Grados-día de calefacción

Estas variables ya están en formato numérico decimal y reflejan condiciones climáticas reales a nivel regional. No requieren transformación adicional para ser utilizadas directamente en el modelo como regresores continuos.

Las modificaciones previas se realizaron debido a las siguientes razones:

- i. Compatibilidad matemática: Los modelos de regresión lineal o logística necesitan que las variables explicativas sean numéricas.
- ii. Interpretabilidad: Las variables binarias permiten interpretar claramente el efecto de una condición específica (p. ej., “ser propietario reduce la probabilidad de pobreza energética”).
- iii. Evitar colinealidad y redundancia: Al convertir una variable categórica en una o más ficticias, se puede evitar sobreajuste y multicolinealidad eliminando una categoría base (por ejemplo, no se usa simultáneamente "propietario", "alquiler" y "cesión", sino solo algunas ficticias).
- iv. Simplificación del modelo: En lugar de introducir múltiples niveles categóricos, se seleccionan los más relevantes y se transforman a binario para facilitar el análisis y la interpretación de los coeficientes.

d. Modelización estadística

Se construye un modelo de **regresión logística**, adecuado para una variable dependiente binaria (pobreza energética sí/no). Este modelo estima la probabilidad de que un hogar esté en situación de pobreza energética en función de las variables explicativas descritas.

El modelo se entrena utilizando una partición de los datos en conjunto de entrenamiento y de prueba. Se emplea ponderación balanceada de clases para corregir la desproporción entre hogares pobres energéticos y no pobres, lo que mejora la capacidad predictiva en presencia de clases desbalanceadas.

El resultado incluye:

- La estimación de los coeficientes de cada variable.
- La función logística en forma explícita.
- La métrica de rendimiento mediante el informe de clasificación (precisión, recall, F1-score).

$$\begin{aligned}
 \text{logit}(P(Y_{EPFA} = 1)) &= 0.4685 - 0.0768 \cdot S1 + 0.0000 \cdot S2 + 0.0000 \cdot S4 + 0.0181 \cdot V3 \\
 &+ 0.0000 \cdot V4 + 0.0000 \cdot V6 - 0.0609 \cdot ES_{PROPIETARIO} - 0.2345 \\
 &\cdot ES_{EDIFICIO_{10PLUS}} + 0.1174 \cdot ES_{RURAL} - 0.0348 \cdot CALEF_{ESELECTRICA} \\
 &- 0.1010 \cdot ACS_{ESELECTRICA} - 0.0001 \cdot CDD + 0.0000 \cdot HDD
 \end{aligned}$$

[Eq 13]

e. Interpretación del modelo

El modelo generado permite comprender el peso relativo de cada variable en la probabilidad de pobreza energética. Por ejemplo:

- Un coeficiente positivo indica que la presencia de esa característica incrementa la probabilidad de ser pobre energético.
- Un coeficiente negativo sugiere un efecto protector, es decir, que disminuye la probabilidad de ser pobre energético.

Este enfoque proporciona no solo una herramienta predictiva, sino también una guía interpretativa para políticas públicas, al evidenciar qué factores estructurales (climáticos, socioeconómicos o constructivos) influyen más.

Para interpretar cada coeficiente, debemos calcular el Odds Ratio. El modelo logístico predice el logit, es decir, el logaritmo de la razón de probabilidades. Para pasar de un coeficiente β a un efecto interpretable, calculamos:

$$\text{Odds ratio} = e^{\beta} \quad [\text{Eq 11}]$$

La variación porcentual en la razón de probabilidades se calcula:

$$\text{Cambio porcentual} = (e^{\beta} - 1) \times 100 \quad [\text{Eq 12}]$$

De esta manera, obtenemos la interpretación para cada coeficiente:

Tabla 13. Interpretación de coeficientes estimados. Fuente: Elaboración propia, 2025.

Variable	Coeficiente	OR (e^{coef})	Interpretación estadística
Intercepto	0.4685	1.597	Valor inicial del logit cuando todas las variables explicativas son cero.
S1 (ingresos)	-0.0768	0.926	Por cada nivel superior de ingresos, la razón de probabilidades de estar en pobreza energética se reduce un 7,4 %.
S2 (empleo)	0.0000	1.000	Estar ocupado no tiene efecto sobre la probabilidad estimada de pobreza energética.
S4 (educación sup.)	0.0000	1.000	Tener estudios superiores no modifica la razón de probabilidades.
V3 (antigüedad)	+0.0181	1.018	Cada categoría más antigua de vivienda incrementa la razón de probabilidades en un 1,8 %.
V4 (ACS disponible)	0.0000	1.000	No se observa efecto estadístico de tener agua caliente sanitaria.
V6 (calefacción)	0.0000	1.000	Disponer de calefacción no cambia la probabilidad.

ES_PROPIETARIO	-0.0609	0.941	Ser propietario reduce la razón de probabilidades en un 5,9 % respecto a quienes no lo son.
ES_EDIFICIO_10PLUS	-0.2345	0.791	Vivir en un edificio con más de 10 viviendas reduce la razón de probabilidades en un 20,9 % .
ES_RURAL	+0.1174	1.124	Vivir en zona rural incrementa las probabilidades en un 12,4 % .
CALEF_ES_ELECTRICA	-0.0348	0.966	Tener calefacción eléctrica reduce la razón de probabilidades en un 3,4 % .
ACS_ES_ELECTRICA	-0.1010	0.904	Tener agua caliente eléctrica reduce la razón de probabilidades en un 9,6 % .
CDD (refrigeración)	-0.0001	≈1.000	Cada grado-día adicional de refrigeración reduce muy levemente la razón de probabilidades.
HDD (calefacción)	0.0000	1.000	Los grados-día de calefacción no tienen efecto observable sobre la probabilidad.

f. Mecanismo de clasificación extendida (I3/I4)

Se añade una lógica adicional para mejorar la clasificación en los casos límite (probabilidades entre 45–55 %), integrando los indicadores I3 e I4 (retrasos en pago y temperatura inadecuada). Esto añade robustez y sensibilidad a la detección de vulnerabilidad energética en situaciones donde el modelo puro no es concluyente.

Por tanto, si el usuario responde al formulario inicial (respuestas a las preguntas sobre las variables explicativas) y se encuentra en el umbral límite:

$$0.45 \leq P(PE) \leq 0.55 \quad [Eq 14]$$

Donde P(PE) es la probabilidad de ser pobre energéticamente, aparecerán dos preguntas adicionales (indicadores I3 e I4). Si el usuario responde sí a alguna de las preguntas (retrasos en el pago o temperatura inadecuada) o a ambas preguntas; será identificado como pobre energéticamente.

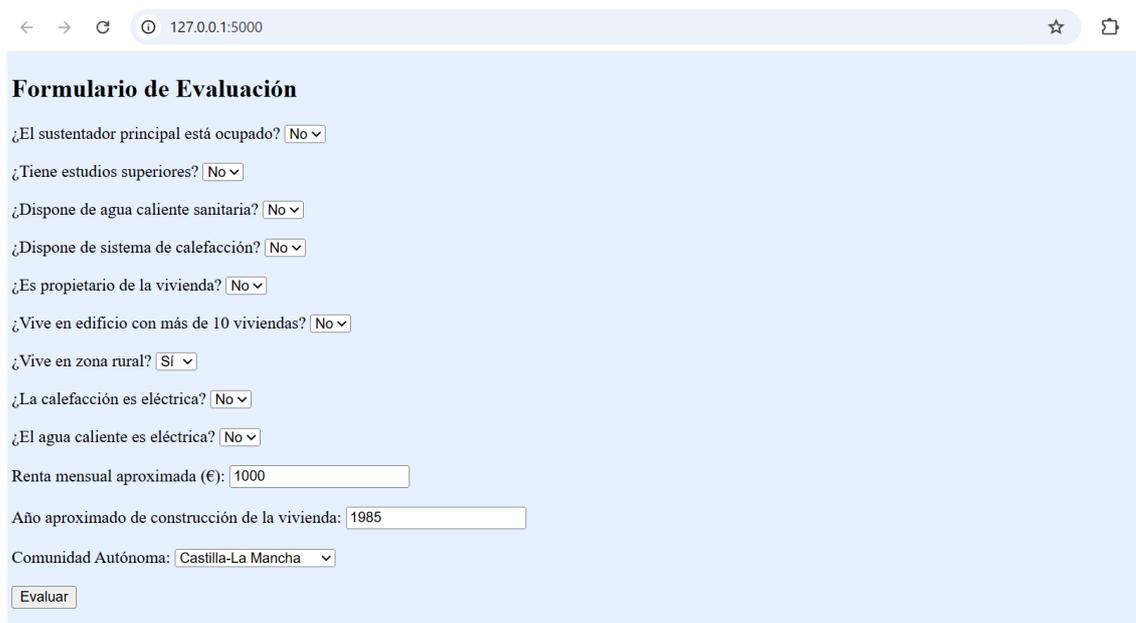
2. Descripción de la aplicación web.

Con el fin de ampliar la aplicabilidad del modelo matemático de estimación de pobreza energética, se ha desarrollado una aplicación web interactiva que permite evaluar casos individuales de forma accesible, rápida y automatizada. Esta implementación se orienta tanto a la divulgación como al uso práctico por parte de administraciones locales, personal técnico, investigadores u hogares que deseen conocer su situación energética.

La aplicación se ha desarrollado en Python utilizando el microframework Flask, lo cual facilita la creación de interfaces web ligeras integradas con lógica estadística. El modelo de regresión logística, previamente entrenado, ha sido guardado mediante joblib y cargado dinámicamente por el servidor Flask. Para la interfaz de usuario se ha utilizado HTML con formularios dinámicos gestionados por Jinja2, el motor de plantillas incorporado en Flask. Actualmente, el acceso a la web solo es posible desde la propia terminal del ordenador.

El usuario accede a un formulario web que solicita información clave sobre su hogar: nivel de ingresos, situación laboral, características de la vivienda, tipo de calefacción, localización geográfica, entre otros. Las preguntas se presentan en forma de desplegables estandarizados, minimizando errores de entrada.

Figura 32. Captura de la web. Fuente: Elaboración propia, 2025.

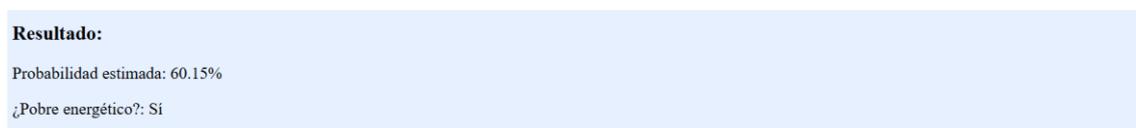


The screenshot shows a web browser window with the address bar displaying '127.0.0.1:5000'. The page title is 'Formulario de Evaluación'. The form contains the following elements:

- ¿El sustentador principal está ocupado?
- ¿Tiene estudios superiores?
- ¿Dispone de agua caliente sanitaria?
- ¿Dispone de sistema de calefacción?
- ¿Es propietario de la vivienda?
- ¿Vive en edificio con más de 10 viviendas?
- ¿Vive en zona rural?
- ¿La calefacción es eléctrica?
- ¿El agua caliente es eléctrica?
- Renta mensual aproximada (€):
- Año aproximado de construcción de la vivienda:
- Comunidad Autónoma:
-

Estos datos se transforman internamente en las variables predictoras requeridas por el modelo. El sistema asigna automáticamente los valores de grados-día de calefacción y refrigeración en función de la comunidad autónoma seleccionada. El modelo calcula la probabilidad estimada de que el hogar se encuentre en situación de pobreza energética y una clasificación binaria interpretada ("Sí" o "No ") para mostrárselo al usuario.

Figura 33. Captura de la web. Fuente: Elaboración propia, 2025.



The screenshot shows the result of the evaluation. The text displayed is:

Resultado:
Probabilidad estimada: 60.15%
¿Pobre energético?: Sí

Si esta probabilidad cae dentro de un rango de incertidumbre (entre el 45 % y el 55 %), el sistema solicita dos indicadores adicionales: si ha habido retrasos en el pago de facturas (I3) y si el hogar declara no poder mantener una temperatura adecuada en invierno (I4). Solo tras completar estas preguntas se presenta el diagnóstico final.

Figura 34. Captura de la web. Fuente: Elaboración propia, 2025.

La probabilidad estimada está en un rango dudoso. Por favor, responde a estas preguntas adicionales para completar el diagnóstico:

¿Ha tenido retrasos en el pago de facturas?

¿Declara no poder mantener la temperatura adecuada en invierno?

Resultado:

Probabilidad estimada: 49.68%

¿Pobre energético?: Si

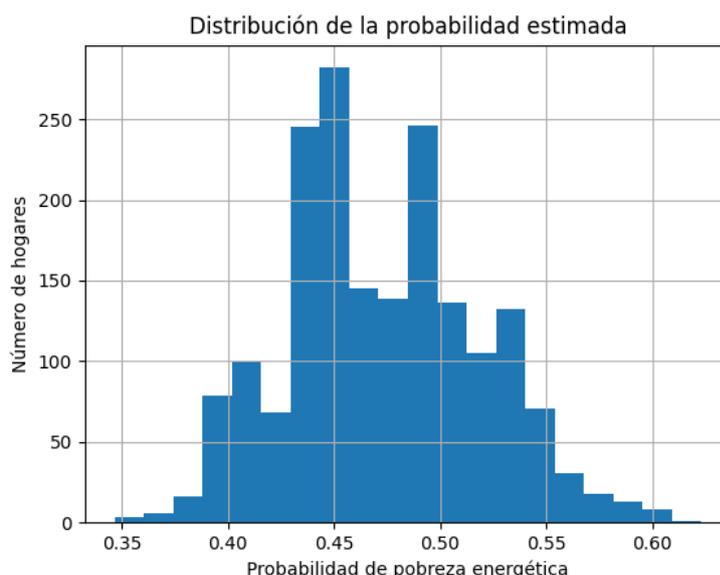
3. Caso práctico: Comunidad de Madrid.

Para evaluar el funcionamiento del modelo estadístico, se ha seleccionado una muestra dentro de los microdatos de la Encuesta de Presupuestos Familiares: la comunidad de Madrid.

Al aplicar el modelo logístico entrenado sobre microdatos de la EPF a los hogares residentes en la Comunidad de Madrid, se obtuvo que un **27,77 %** de los hogares fueron clasificados como en situación de pobreza energética. Este resultado proviene del modelo estimado a partir de las variables explicativas que se ha mostrado anteriormente. En términos absolutos, se identificaron 512 hogares pobres energéticos frente a 1332 no pobres, sobre un total de 1844 observaciones.

A continuación, se muestra distribución:

Figura 35. Histograma generado con Python. Fuente: Elaboración propia, 2025.



Para evaluar el rendimiento del modelo, se utilizó la variable Y_{EPFA} como indicador real de pobreza energética. Esta variable fue construida con criterios objetivos (indicadores I1 y I2), donde:

- $I1 = 1$ si el gasto energético ajustado supera el doble del valor mediano nacional (situación de sobreesfuerzo),
- $I2 = 1$ si el gasto energético es inferior a la mitad de la mediana (posible infraconsumo por restricciones económicas),
- $Y_{EPFA} = 1$ cuando se cumple al menos uno de los dos.

El contraste entre las predicciones del modelo y la realidad observada (Y_{EPFA}) se llevó a cabo mediante una matriz de confusión, obtenida con la función `confusion_matrix` de `sklearn.metrics`. En esta matriz se resume el número de aciertos y errores:

Figura 36. Matriz de confusión. Fuente: Elaboración propia, 2025.

	Predicho No (0)	Predicho Sí (1)
Realmente No (0)	Verdaderos negativos (990)	Falsos positivos (290)
Realmente Sí (1)	Falsos negativos (342)	Verdaderos positivos (222)

Esto se interpreta como:

- 990 hogares fueron correctamente clasificados como no pobres (verdaderos negativos),
- 222 hogares fueron correctamente clasificados como pobres energéticos (verdaderos positivos),
- 290 hogares fueron falsos positivos (el modelo los clasificó como pobres, pero no lo eran según Y_EPFA),
- 342 hogares fueron falsos negativos (el modelo no detectó su situación de pobreza energética).

A partir de esta matriz se derivan varias métricas relevantes. Para la clase “pobre energético” (Y_EPFA = 1), el modelo presenta una precisión del 43 %, es decir, cuando predice pobreza energética, acierta en el 43 % de los casos.

La sensibilidad o recall es del 39. El F1-score, que combina precisión y recall en una sola métrica, alcanza un valor de 0.41 para esta clase. Estos valores son modestos, pero esperables en un problema de clasificación con clases desbalanceadas y sin variables subjetivas como I3 o I4.

Los resultados muestran que el modelo tiene una mayor capacidad para identificar hogares no pobres (precisión del 74 %, recall del 77 %), que para identificar correctamente a los pobres energéticos. Esto implica que, aunque el modelo puede ser útil para reducir el conjunto de población objetivo a priorizar en intervenciones, también presenta un riesgo de exclusión (falsos negativos), que podría mitigarse con la incorporación de indicadores adicionales subjetivos (I3: retraso en el pago de facturas, I4: frío en invierno). En este caso, no era posible ya que la Encuesta de Presupuestos Familiares no incluye estas preguntas y por tanto, no se disponía de esta información para aplicar el modelo en su totalidad. Sin embargo, es probable que las métricas mejoraran gracias a esta medida adicional aplicada a los caso de umbral dudoso, como se explica en el apartado: Mecanismo de clasificación extendida (I3/I4).

4. Conclusión.

El Eje II de la Estrategia Nacional contra la Pobreza Energética 2019–2024 tiene como objetivo mejorar la respuesta institucional ante la situación actual, reforzando instrumentos existentes, optimizando la asignación de ayudas y asegurando que lleguen de forma efectiva a los hogares vulnerables.

En este marco, el modelo desarrollado puede desempeñar un papel fundamental como herramienta técnica de apoyo. Permite estimar la probabilidad de que un hogar esté en situación de pobreza energética a partir de microdatos, lo cual facilita una mejor focalización de las ayudas públicas, como el bono social eléctrico o térmico. Además, puede servir como sistema de alerta temprana y como base para mapas territoriales que identifiquen zonas prioritarias de actuación.

También puede integrarse en oficinas de atención social como herramienta de cribado inicial, o emplearse en sistemas automatizados de prediagnóstico accesibles a través de aplicaciones o plataformas web, permitiendo que los ciudadanos evalúen su nivel de riesgo energético. Esto ayudaría a reducir las barreras de acceso y mejorar la eficacia de campañas informativas dirigidas a grupos especialmente vulnerables.

Por otro lado, el modelo puede contribuir a mejorar la coordinación entre administraciones públicas, actuando como lenguaje común de evaluación y permitiendo desarrollar indicadores homogéneos de seguimiento que reflejen con rigor la evolución del fenómeno.

Asimismo, puede utilizarse para evaluar el impacto de medidas ya implementadas, comparando la probabilidad de pobreza energética antes y después de una intervención. Esto es útil para medir el efecto de rehabilitaciones, ayudas económicas o reformas regulatorias, y para generar escenarios contrafactuales que orienten futuras decisiones.

Iniciativas innovadoras para la mitigación de la pobreza energética

En este capítulo, se analizan iniciativas desarrolladas en España, orientadas a mitigar la pobreza energética. Se abordan sus dimensiones técnicas (eficiencia, digitalización, renovables, autoconsumo), económicas (costes, ahorro y viabilidad) y sociales (aceptación, accesibilidad y protección de colectivos vulnerables). Finalmente, se ofrecerá una reflexión crítica sobre el potencial de escalabilidad y replicabilidad de estas soluciones innovadoras en el contexto nacional.

1. Tipos de Iniciativas

- Iniciativas de eficiencia energética y educación al consumidor

Mejorar la eficiencia energética de los hogares vulnerables es una de las vías más directas para reducir la pobreza energética a largo plazo. Las iniciativas de rehabilitación y educación energética buscan reducir el consumo de energía sin disminuir el bienestar, mediante mejoras tecnológicas en las viviendas y cambios en los hábitos de los usuarios.

Las iniciativas de transferencia de conocimiento se basan en el principio de que el empoderamiento de los hogares vulnerables a través de la información y formación puede generar cambios duraderos en los hábitos de consumo energético. Estas iniciativas reconocen que existe un elevado grado de "analfabetismo energético" entre la población española.

Las administraciones públicas, especialmente a nivel local, juegan un papel trascendental financiando los programas y ayudando a identificar las familias vulnerables principalmente a través de servicios. El empresariado y las cooperativas participan mediante voluntariado corporativo y donación de material y recursos.

Las ONGs, fundaciones y asociaciones colaboran identificando hogares vulnerables y prestando trabajo voluntario, mientras que las asociaciones vecinales actúan como agentes catalizadores. Los centros universitarios contribuyen con la realización de estudios y la explotación de información, además de aportar conocimiento para el diseño de programas.

Un ejemplo destacado es el proyecto "Soluciones para el Ahorro Energético en el Hogar" de la Asociación Provivienda en Canarias, galardonado en 2025 por su impacto social¹³⁹. Este proyecto realiza un diagnóstico energético de cada hogar vulnerable e implementa medidas de eficiencia (desde pequeños arreglos, iluminación LED y electrodomésticos eficientes, hasta aislamiento básico), a la vez que forma a las familias en hábitos de consumo más sostenibles y las asesora en la optimización de sus facturas (por ejemplo, ajustando potencia contratada o tramitando el bono social eléctrico). Gracias a este enfoque integral, Provivienda ha ayudado desde 2018 a más de 2.300 personas, logrando reducir significativamente sus facturas energéticas tras la implantación de medidas de ahorro, y mejorando su confort térmico. Además de los ahorros inmediatos en consumo, el proyecto genera un cambio duradero en las rutinas de los usuarios al inculcar buenos hábitos energéticos, empoderándolos para mantener bajos sus gastos sin sacrificar bienestar.

¹³⁹ Naturgy 2025

Otro enfoque innovador en eficiencia es la capacitación de “agentes energéticos” comunitarios. Por ejemplo, la Fundación Tomillo en Madrid implementa el proyecto “Jóvenes Vulnerables, Agentes de Cambio Social”, donde jóvenes en riesgo de exclusión reciben formación profesional básica en electricidad, electrónica e informática orientada a eficiencia energética¹⁴⁰. Tras su formación teórica, estos alumnos realizan prácticas en hogares de familias vulnerables, llevando a cabo auditorías energéticas básicas, identificando riesgos eléctricos y asesorando en medidas de ahorro. Esta iniciativa doblemente innovadora mejora la eficiencia en viviendas vulnerables y brinda oportunidades de empleo verde a jóvenes, aunando impacto social y energético.

Además de las intervenciones físicas, muchas ciudades han establecido servicios de asesoramiento energético para consumidores vulnerables. Destacan las oficinas de información energética municipales y proyectos del tercer sector como la Ventanilla Energética de la Asociación Socaire en Madrid, que operan como “puntos únicos” donde cualquier ciudadano puede recibir asesoramiento personalizado para ahorrar energía, optimizar sus contratos y ejercer sus derechos energéticos¹⁴¹. Estas ventanillas trabajan en coordinación con servicios sociales para identificar y asistir a hogares en pobreza energética. Desde 2019, la Ventanilla Energética de Socaire ha atendido a más de 1.600 hogares, logrando ahorros medios del 33% en sus facturas (unos 192 € al año por vivienda) gracias a cambios tarifarios, eficiencia y ayudas disponibles¹⁴². Iniciativas así evidencian que la alfabetización energética y el acompañamiento en trámites (p.ej. solicitar el Bono Social) pueden tener un impacto económico inmediato, reduciendo el indicador de gasto desproporcionado al aliviar la carga de las facturas, y previniendo el impago mediante una gestión más eficiente de los recursos familiares.

- Comunidades energéticas y autoconsumo solar solidario

El desarrollo de energías renovables distribuidas ofrece oportunidades innovadoras para mitigar la pobreza energética, al proveer energía más barata (o incluso gratuita) a colectivos vulnerables. En España han surgido proyectos pioneros de autoconsumo colectivo solidario, donde comunidades enteras comparten la energía solar generada localmente, con un modelo inclusivo que reserva parte de esa energía para hogares vulnerables.

La cooperación entre administración pública y empresas energéticas resulta intensa en estas iniciativas. Las administraciones locales juegan un papel central participando mediante financiación, cesión de terrenos y superficies para instalaciones fotovoltaicas, identificación y asesoramiento a familias destinatarias, y validación de procesos.

Las empresas privadas del sector energético aportan un rol fundamental, realizando instalaciones y conexiones a la red, proporcionando apoyo para el desarrollo de aplicaciones de autoconsumo, y ejecutando la parte técnica de las obras. Las cooperativas contribuyen con conocimientos técnicos, recursos materiales y facilitación del contacto con los hogares

Barrio Solar (Zaragoza)

Una de las primeras iniciativas de este tipo es Barrio Solar en Zaragoza, lanzada en 2020 por ECODES, el Ayuntamiento de Zaragoza y la empresa EDP. Se trata de la primera instalación de autoconsumo colectivo urbano en España concebida con un criterio

¹⁴⁰ Naturgy 2025

¹⁴¹ SOCAIRE s. f.

¹⁴² SOCAIRE 2025

solidario¹⁴³. Sobre el tejado de un edificio municipal en el barrio del Actur se instalaron alrededor de 300 paneles fotovoltaicos (100 kWp de potencia, producción estimada 150.000 kWh/año). A esta planta solar comunitaria se suscribieron inicialmente unos 200 hogares y pequeños comercios de la zona, de los cuales un 10% son familias vulnerables seleccionadas por entidades sociales. El modelo financiero es innovador: los participantes no vulnerables aportan una cuota mensual asequible (en torno a 6,9 €) a cambio de recibir aproximadamente un 30% de ahorro en su factura de la luz gracias a la electricidad solar compartida. Por su parte, las familias vulnerables no pagan nada, pero igualmente se benefician de una porción de la energía generada (aprox. 700 kWh anuales por familia) que les reduce el coste de la luz a coste cero¹⁴⁴. En otras palabras, una parte de la energía producida por el barrio solar se destina gratuitamente a quienes más lo necesitan, financiada por la aportación solidaria de los demás participantes y los patrocinadores del proyecto.

Figura 37. Configuración del barrio solar en Zaragoza. Fuente: ECODES, 2024.



Aunque Barrio Solar no se constituyó formalmente como una comunidad energética en sentido jurídico estricto, funciona de manera similar: una entidad (Ecodes) gestiona la instalación colectiva y el reparto de energía, en colaboración con los vecinos. Además de la planta solar, el proyecto estableció una Oficina Barrio Solar en el barrio, que actúa como punto de encuentro y educación ambiental, ofreciendo charlas sobre autoconsumo, eficiencia y tramitación de ayudas como el bono social. Los resultados iniciales han sido muy positivos: se estima un ahorro de ~90 € al año en la factura por hogar participante y mejoras de eficiencia en las viviendas vulnerables. El éxito de Zaragoza ha llevado a planificar su réplica en otros barrios: el Ayuntamiento anunció planes para expandir el modelo a siete barrios solares adicionales en la ciudad¹⁴⁵, y otras localidades españolas están estudiando iniciativas similares.

Comunidad energética “Torreblanca Ilumina” (Sevilla)

Otro caso emblemático es Torreblanca Ilumina en Sevilla, una comunidad energética piloto creada en 2022 en el barrio de Torreblanca, uno de los de menor renta de la ciudad. Este proyecto surgió en el marco del proyecto europeo POWERTY (Interreg Europe), liderado por la Agencia Andaluza de la Energía, que buscaba facilitar el acceso de

¹⁴³ SOSTENIBLES 2020b

¹⁴⁴ SOSTENIBLES 2020b

¹⁴⁵ Portella 2021

colectivos vulnerables a las energías renovables¹⁴⁶. La experiencia de Torreblanca Ilumina se constituyó como la primera comunidad energética en un entorno vulnerable en España, integrando a vecinos con bajos ingresos en la generación y uso de energía solar. Con apoyo del gobierno regional, la asociación local Torreblanca Ilumina y cooperativas energéticas, se instalaron dos plantas solares fotovoltaicas de autoconsumo en las cubiertas de dos colegios públicos del barrio agenciaandaluzadelaenergia.es. La energía generada se reparte entre equipamientos comunitarios y quince familias vulnerables de la zona, que gracias a ello dispondrán de una parte significativa de su suministro eléctrico de forma gratuita.

Figura 38. Configuración del barrio solar en Zaragoza. Fuente: ECODES, 2024.



El caso de Torreblanca pone de relieve la importancia de combinar la innovación tecnológica (paneles solares, medición de consumos) con la innovación social (cooperación entre administración, empresas y comunidad local). La Agencia Andaluza de la Energía, además de coordinar el piloto, elaboró una guía jurídica para facilitar la réplica de este tipo de comunidades energéticas en entornos vulnerables, y ha incidido en la necesidad de simplificar trámites administrativos para escalarlos.¹⁴⁷

- Digitalización y herramientas inteligentes para el ahorro energético

La transformación digital también está aportando soluciones novedosas para luchar contra la pobreza energética. La monitorización inteligente del consumo energético permite identificar ineficiencias e intervenir tempranamente en hogares vulnerables. Por ejemplo, varios proyectos piloto de comunidades energéticas en España están incorporando sistemas de gestión y apps móviles que muestran a los usuarios su producción y consumo en tiempo real, fomentando así un uso más eficiente de la energía¹⁴⁸. Estas aplicaciones pueden enviar alertas si el consumo de una vivienda es anormalmente alto (posible indicador de un electrodoméstico ineficiente o de malos hábitos) o excesivamente bajo (posible señal de que el hogar está infraconsumiendo energía por miedo a la factura, situación típica de la pobreza energética oculta). Con datos de contadores inteligentes, se pueden diseñar algoritmos para detectar hogares en riesgo (por ejemplo, familias que apenas encienden la calefacción en días fríos) y dirigirles apoyo específico antes de que caigan en morosidad o problemas de salud.

Asimismo, la digitalización facilita la tramitación de ayudas y la difusión de información. Plataformas en línea como la del Observatorio Europeo o el propio Ministerio para la

¹⁴⁶ Agencia Andaluza de la Energía 2024

¹⁴⁷ Bocarando 2023

¹⁴⁸ Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia 2024

Transición Ecológica publican mapas interactivos y visores de indicadores actualizados, que ayudan a las administraciones a localizar “puntos calientes” de pobreza energética y evaluar la efectividad de las medidas. Algunas empresas energéticas han lanzado también aplicaciones educativas y juegos de “gamificación” para enseñar a niños y adultos sobre eficiencia energética de forma amena, promoviendo cambios de comportamiento que reducen el consumo sin perder confort.

En el terreno de la vivienda, surgen iniciativas de hogar inteligente asequible: termostatos y sensores de bajo coste conectados a Internet que regulan la climatización de forma óptima, o que avisan a los servicios sociales si en la vivienda de una persona mayor la temperatura cae a niveles peligrosos. Aunque aún son pilotos aislados, estas tecnologías podrían masificarse en el futuro cercano, complementando las soluciones físicas (rehabilitación, renovables) con soluciones de “soft tech” para asegurar que cada hogar pueda mantener condiciones dignas de habitabilidad al mínimo coste posible.

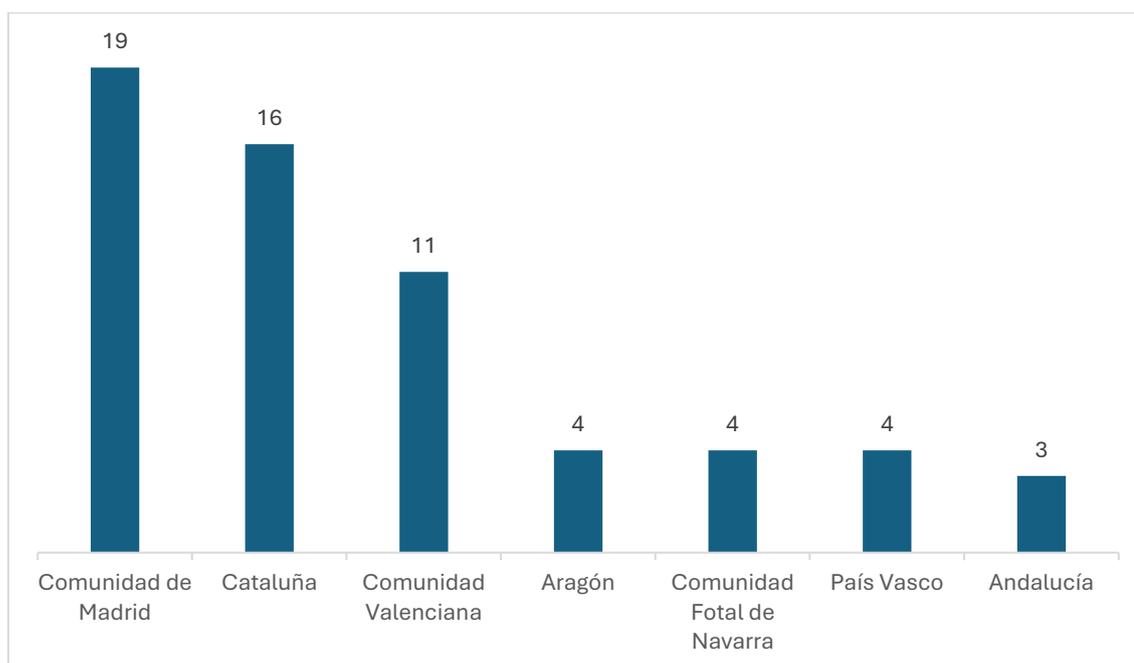
2. Reflexión crítica

Los casos analizados muestran un alto potencial innovador para aliviar la pobreza energética, pero también enfrentan desafíos importantes para escalarse y replicarse ampliamente. En el aspecto técnico, muchas de estas iniciativas han comprobado su eficacia a pequeña escala: se han logrado ahorros significativos (20–30% en facturas, como en Barrio Solar¹⁴⁹), mejoras de confort y participación de los usuarios. Sin embargo, la escala del problema es grande, por lo que el impacto actual de estos proyectos aún es limitado geográficamente. Lograr su escalabilidad requerirá articularlos con políticas públicas de mayor alcance. Por ejemplo, los programas de rehabilitación energética de viviendas (PREE, programas de los Next Generation EU, etc.) podrían incorporar las lecciones de Provivienda para asegurar que las ayudas lleguen efectivamente a los hogares más vulnerables, combinando subvenciones para obra física con acompañamiento social personalizado.

Por otro lado, se observa una distribución territorial muy desigual entre provincias. El análisis de 56 iniciativas identificadas en España por Naturgy en 2023, revela una distribución geográfica desigual. Madrid, Cataluña y la Comunidad Valenciana concentran el mayor número de iniciativas documentadas, con 19, 16 y 11 respectivamente, mientras que otras comunidades como Aragón, Navarra y País Vasco presentan un número significativamente menor.

¹⁴⁹ SOSTENIBLES 2020a

Figura 39. Las 7 CCAA con mayor número de proyectos, finalizados o en curso. Fuente: EPAH ATLAS, 2023.



Así mismo, también se observa una tendencia en el tipo de proyectos. Las intervenciones más frecuentes se centran en el asesoramiento, protección y capacitación de los consumidores (30 iniciativas), seguidas por la rehabilitación y eficiencia energética de los hogares (22 iniciativas). El bajo coste y potencial de efectos inmediatos de largo plazo hacen que el asesoramiento sea la tipología más frecuentemente utilizada.

Un reto común es el financiamiento sostenible. Muchos proyectos piloto dependen de subvenciones europeas, premios o responsabilidad social empresarial (p. ej., el apoyo de fundaciones como Naturgy, Endesa, EDP en varios casos). Para pasar del piloto a una implantación masiva, deben integrarse en modelos de negocio o presupuestos públicos permanentes. Por ejemplo, el Bono Social estatal alivia temporalmente la factura de millones de hogares vulnerables, pero no ataja las causas de fondo (viviendas ineficientes, dependencia de combustibles caros)¹⁵⁰. Las iniciativas innovadoras atacan esas causas, pero para llegar a todos los hogares necesitados podrían requerir, por ejemplo, fondos de inversión de impacto que escalen proyectos de autoconsumo solidario, o mecanismos regulatorios que obliguen a las comercializadoras a destinar parte de sus ingresos a programas de eficiencia para sus clientes vulnerables (similares a los Certificados de Ahorro Energético con componente social).

Desde el punto de vista técnico, la replicabilidad es factible pero requiere adaptación local. No todos los barrios tienen un polideportivo o colegio con tejado disponible para montar un barrio solar como en Zaragoza; sin embargo, el concepto puede adaptarse usando otras infraestructuras (aparcamientos solares, cubiertas industriales) o mediante comunidades energéticas virtuales compartiendo parques solares en su periferia. Las comunidades locales deben estar involucradas desde el diseño del proyecto para garantizar la aceptación. La experiencia muestra que la confianza es clave: contar con mediadores comunitarios (asociaciones de vecinos, ONG locales) facilita que los hogares vulnerables vencan posibles reticencias y participen activamente. La gobernanza inclusiva debe ser un principio: por ejemplo, incorporar a representantes de

¹⁵⁰ OCCET 2022

colectivos vulnerables en la gestión de la comunidad energética, o a jóvenes formados del barrio como técnicos, refuerza la sostenibilidad social de la iniciativa.

Otro aspecto crítico es la simplificación administrativa y regulatoria. Varios proyectos piloto han evidenciado trabas burocráticas: conectar instalaciones de autoconsumo colectivo puede ser lento por trámites con la distribuidora, o la concesión de licencias y subvenciones puede retrasarse. Para escalar, las administraciones deben crear ventanillas únicas (integrando lo urbanístico, eléctrico y social) que agilicen la puesta en marcha de estos proyectos. La reciente regulación española de comunidades energéticas renovables y autoconsumo colectivo ha sido un paso positivo, pero aún se debe afinar la normativa para facilitar la participación de consumidores vulnerables (por ejemplo, permitiendo modelos de compartición de energía más flexibles y asegurando que las ayudas públicas cubran un porcentaje alto de la inversión en barrios de renta baja).

En el siguiente análisis DAFO, se observan las particularidades según distintos sectores de actuación: Público, privado y tercer sector, este último incluye ONGs y asociaciones. El análisis DAFO (Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades) es una herramienta estratégica que permite identificar y valorar los factores internos y externos que afectan a un proyecto o iniciativa. Esta matriz facilita la toma de decisiones al mostrar claramente dónde residen las ventajas y los puntos críticos que requieren atención.

Tabla 14. Análisis DAFO del Ecosistema de Iniciativas contra la Pobreza Energética. Fuente: Fundación Naturgy, 2023.

FORTALEZAS	DEBILIDADES
Sector Público	
<ul style="list-style-type: none"> • Entorno regulatorio nacional amplio con la Estrategia Nacional contra la Pobreza Energética desde 2019 • Proliferación de oficinas específicas de atención a la energía que representan un lugar de referencia en el barrio • Disponibilidad de información en servicios sociales para identificación de personas en situación de pobreza energética 	<ul style="list-style-type: none"> • Procesos administrativos lentos y tediosos que limitan capacidad operativa • Bajo nivel de cooperación entre distintos niveles de administración • Fondos económicos insuficientes ya que el bono social no alcanza a toda la población vulnerable • Reducida inclusión de perspectiva de género en diseño de instrumentos • Falta de datos representativos sobre pobreza energética organizados y estructurados • Cortoplacismo electoral que condiciona significativamente los tiempos de ejecución
Sector Privado	
<ul style="list-style-type: none"> • Amplio conocimiento del sector energético que puede ser de gran interés para trabajadores sociales • Capacidad innovadora con apuesta por proyectos sociales innovadores 	<ul style="list-style-type: none"> • Ausencia de relación de confianza entre sector energético y ciudadanía vulnerable • Falta de cooperación entre empresas del sector energético

<ul style="list-style-type: none"> • Información valiosa sobre consumos energéticos a través de contadores digitales 	<ul style="list-style-type: none"> • Reducida cantidad de recursos económicos privados destinados a iniciativas • Falta de instrumentos financieros que apoyen iniciativas para población vulnerable
Tercer Sector	
<ul style="list-style-type: none"> • Movimientos sociales y vecinales activos con larga experiencia • Elevada trayectoria en iniciativas sociales con know-how trasladable • Elevado nivel de cooperación con predisposición a colaboraciones • Relación de confianza con familias vulnerables mediante equipos con formación social 	<ul style="list-style-type: none"> • Datos infrautilizados por falta de mecanismos de recopilación y procesamiento • Elevada heterogeneidad regional y reducido alcance de las iniciativas • Falta de recursos humanos especializados y alta rotación del voluntariado • Falta de visión estratégica que permita tratamiento integral de la problemática
OPORTUNIDADES	AMENAZAS
<ul style="list-style-type: none"> • Pobreza energética como prioridad política dentro de la Unión Europea con despliegue regulatorio sin precedentes • Disponibilidad de fuentes de financiación europea a través de programas de investigación e innovación • Aumento de conciencia colectiva sobre el problema debido a la escalada de precios energéticos • Cambio de paradigma tecnológico con mayor eficiencia de energías renovables y reducción de costes 	<ul style="list-style-type: none"> • Coyuntura internacional con efectos de COVID-19, inflación y guerra de Ucrania que agravan los niveles de pobreza • Baja cultura energética con solo el 42,6% de hogares conociendo opciones de contratación energética • Condiciones climáticas cambiantes con aumento de olas de calor que incrementan consumo eléctrico • Parque de viviendas envejecido con España caracterizada por inmuebles anteriores a 1980

Cabe destacar que se detecta una clara ausencia de iniciativas que empleen ciencia de datos o modelos predictivos avanzados para la identificación proactiva de hogares en riesgo de pobreza energética. La mayoría de los proyectos se centran en la intervención directa o el asesoramiento, pero carecen de herramientas de diagnóstico preventivo basadas en análisis masivo de datos socioeconómicos, constructivos y climáticos. En este contexto, se hace evidente la necesidad de desarrollar soluciones innovadoras basadas en inteligencia artificial o modelos estadísticos, que permitan priorizar geográficamente los recursos, anticipar situaciones de vulnerabilidad energética y diseñar políticas públicas más focalizadas. Este vacío justifica el enfoque del modelo presentado anteriormente, donde se propone un modelo predictivo propio para identificar hogares en riesgo, como complemento fundamental a las intervenciones físicas y sociales ya existentes.

En conclusión, las iniciativas tecnológicas y sociales analizadas demuestran que es posible mitigar la pobreza energética de forma innovadora, combinando renovables, eficiencia, digitalización y solidaridad. Su potencial de escalabilidad es real, siempre que se aborden los retos de financiación, adaptación local y apoyo institucional. Si se logran integrar estos proyectos en estrategias nacionales (como la próxima ENPE 2025-2030) y en las agendas municipales de

transición energética justa, podrían pasar de beneficiar a cientos de hogares a beneficiar a cientos de miles. Al final, combatir la pobreza energética requiere un enfoque multidimensional sostenido en el tiempo: ninguna tecnología por sí sola resolverá el problema, pero la suma de mejoras en las viviendas, acceso a energía limpia asequible, educación al consumidor y políticas sociales focalizadas, puede garantizar que el derecho a una energía asequible, segura y sostenible (ODS 7) sea una realidad para todos los hogares, evitando que nadie se quede atrás en la transición energética.

Estudio de viabilidad de proyecto de consultoría

Este capítulo desarrolla, en primer lugar, una descripción detallada del servicio propuesto y de los objetivos técnicos que persigue. A continuación, se expone la arquitectura del modelo predictivo y la organización del equipo encargado de implementarlo. También se aborda la planificación operativa y logística necesaria para llevar a cabo el servicio de consultoría en la práctica. Posteriormente, se realiza un análisis técnico-económico de los recursos requeridos, seguido de un análisis de rentabilidad del proyecto mediante indicadores financieros clave. Finalmente, se identifican los principales riesgos técnicos junto con sus estrategias de mitigación, para concluir con una síntesis sobre la viabilidad técnica del proyecto.

1. Descripción del servicio técnico

El servicio propuesto consiste en una consultoría técnica especializada que asistirá a ayuntamientos y otras administraciones públicas en la identificación y mitigación de la pobreza energética en sus territorios.

Se ofrecerá la elaboración de planes técnicos anuales que diagnostican la vulnerabilidad energética de la población en una localidad determinada y proponen medidas de actuación. Cada plan se basa en un análisis predictivo exhaustivo: mediante un modelo estadístico de regresión logística binaria, se estima la probabilidad de que hogares o zonas específicas se encuentren en situación de pobreza energética en función de diversas variables socioeconómicas, constructivas y climáticas. Este enfoque predictivo permite anticipar escenarios de riesgo y focalizar recursos en las áreas y colectivos más necesitados. El servicio técnico abarca desde la recopilación y procesamiento de datos locales hasta la generación de mapas de riesgo y la formulación de recomendaciones.

En primer lugar, se recolectan datos relevantes de la zona de estudio. Con esta información, el equipo de consultoría aplica el modelo predictivo para estimar el nivel de pobreza energética en cada unidad territorial (ya sea a nivel de sección censal, municipio o región, según la escala solicitada).

Es importante destacar el carácter territorial y escalable del servicio. El modelo estadístico permite aplicar el análisis a distintos niveles: desde identificar barrios o secciones censales más vulnerables dentro de una ciudad, hasta comparar el riesgo entre varios municipios de una región. Se han identificado secciones censales vulnerables en ciudades como Barcelona¹⁵¹ o Madrid¹⁵², lo que confirma la utilidad de los datos espaciales detallados para dimensionar el fenómeno. El servicio técnico aprovechará estas metodologías probadas, adaptándolas a la realidad de cada administración cliente.

Figura 40. Diagrama de flujo del servicio. Fuente: elaboración propia, 2025.



En resumen, la consultoría proporcionará a las administraciones una herramienta rigurosa de diagnóstico y planificación. Al finalizar cada proyecto, el organismo público dispondrá de un plan técnico que incluye:

- Un análisis cuantitativo del riesgo de pobreza energética en su territorio, representado en mapas temáticos.
- La identificación de los factores clave que explican la vulnerabilidad energética local (por ejemplo, si predomina el factor renta vs. la ineficiencia de las viviendas).

¹⁵¹ Desvallees 2021

¹⁵² Martín-Consuegra, Hernández-Aja, Oteiza, Alonso, et al. 2019

- Un conjunto de recomendaciones técnicas y estratégicas.

Estas recomendaciones pueden abarcar medidas de eficiencia energética en edificios municipales o viviendas sociales, campañas de concienciación y formación... En definitiva, el servicio técnico actúa como intermediario de conocimiento: traduce datos complejos en información accionable, facilitando que los responsables públicos tomen decisiones informadas para reducir la pobreza energética en su comunidad.

1. Arquitectura técnica del servicio

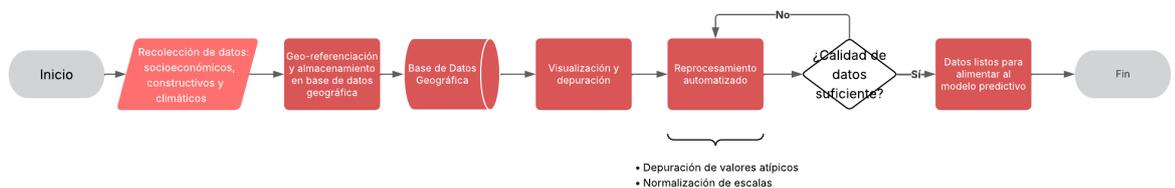
La arquitectura técnica del servicio se basa en un flujo de trabajo de análisis de datos respaldado por herramientas digitales (principalmente Python y sistemas de información geográfica) y un modelo estadístico central de predicción. A grandes rasgos, la arquitectura consta de tres componentes principales: la entrada de datos, el modelo predictivo y la generación de resultados (visualizaciones y reportes).

1.1. Adquisición y gestión de datos

El proceso inicia con la recopilación de datos relevantes. Muchos de estos datos son de carácter público o fácilmente accesible: estadísticas socioeconómicas provenientes del Instituto Nacional de Estadística (INE) u observatorios regionales (población por edad, ingresos medios, tasa de paro, etc.), datos de vivienda del catastro o registros municipales (año de construcción, superficie de las viviendas, disponibilidad de aislamiento o sistemas de calefacción), e información climática de agencias meteorológicas (por ejemplo, la Agencia Estatal de Meteorología para temperaturas y días de calefacción). Adicionalmente, en caso necesario, se integran datos energéticos como consumos medios residenciales (cuando el municipio los facilite o mediante estimaciones). Todos estos datos heterogéneos se geo-referencian y almacenan en una base de datos geográfica, asociando cada registro a una unidad territorial (sección censal, distrito, municipio, etc.). Se emplean herramientas de GIS/SIG para manejar esta información espacial; por ejemplo, QGIS o ArcGIS para visualizar y depurar datos, y bibliotecas Python como GeoPandas para el procesamiento automatizado de capas geográficas.

Antes de alimentar el modelo, se lleva a cabo una fase de preprocesamiento de datos: depuración de valores atípicos, imputación de datos faltantes (si una variable importante tiene lagunas, se pueden estimar o suplir con promedios de zonas similares), y normalización de escalas cuando proceda. Asimismo, se construyen indicadores compuestos útiles para la predicción.

Figura 41. Diagrama de flujo sobre la adquisición y gestión de datos. Fuente: elaboración propia, 2025.



1.2. Modelo predictivo (regresión logística binaria)

Esta técnica estadística es adecuada cuando la variable objetivo es dicotómica (en este caso, determinar si un hogar o unidad territorial está en situación de pobreza energética, sí o no). La regresión logística estima la probabilidad de ocurrencia del evento (ser pobre energético) en función de las variables explicativas disponibles, a través de la función logística (logit). En términos matemáticos, el modelo calcula el log-odds de estar en pobreza energética como una combinación lineal de las variables independientes y aplica la función para convertir ese valor en una probabilidad entre 0 y 1 (es decir, 0% a 100% de riesgo).

La consultoría no solo entregará predicciones, sino también un análisis de sensibilidad. Estas inferencias proporcionan información valiosa a las administraciones para entender las causas locales de la vulnerabilidad.

Figura 42. Diagrama de flujo sobre el modelo predictivo. Fuente: elaboración propia, 2025.



1.3. Generación de resultados y entrega

Una vez ejecutado el modelo predictivo sobre los datos territoriales, el resultado se materializa en salidas gráficas y documentales. Por un lado, se generan mapas temáticos que muestran la distribución espacial del riesgo de pobreza energética. Normalmente, cada unidad territorial (p. ej., sección censal) se colorea según su nivel de riesgo (por ejemplo, bajo, medio, alto), facilitando una visualización clara de los puntos calientes en el municipio o región. Por otro lado, se elabora un informe técnico escrito donde se presentan los hallazgos principales: se incluirán tablas de resultados del modelo (con coeficientes y significancia estadística para las variables, si es pertinente), gráficas que relacionen variables (por ejemplo, riesgo estimado vs. renta media), y explicaciones narrativas. Este informe también contendrá una discusión de las limitaciones técnicas (por ejemplo, si hubo dificultades de datos en alguna zona, o el grado de incertidumbre del modelo) y de las implicaciones prácticas de los hallazgos. Finalmente, el informe culmina con recomendaciones personalizadas: pueden ser medidas de eficiencia energética (p. ej., plan de aislamiento de viviendas en barrio X donde se detectó alto riesgo y edificaciones antiguas), sugerencias de políticas sociales (p. ej., ampliar bonificaciones de tarifa eléctrica a hogares identificados en ciertas zonas), o propuestas de monitoreo continuo (establecer indicadores que la administración pueda seguir anualmente para evaluar la evolución de la pobreza energética).

En la entrega del servicio, el equipo consultor normalmente realiza una presentación técnica ante la administración contratante, donde expone el mapa de riesgo y el plan de acción sugerido. Se procura que los resultados sean accesibles y útiles: por ejemplo, se pueden proporcionar los datos georreferenciados en formatos compatibles con los SIG municipales para que el ayuntamiento pueda integrarlos en sus sistemas. La arquitectura técnica, en suma, está pensada para maximizar la reproducibilidad y transferencia: los análisis pueden repetirse anualmente para medir progresos, o adaptarse a otros municipios con la misma metodología, lo que da escalabilidad al servicio de consultoría.

Figura 43. Diagrama de flujo de la generación de resultados y entrega. Fuente: elaboración propia, 2025.

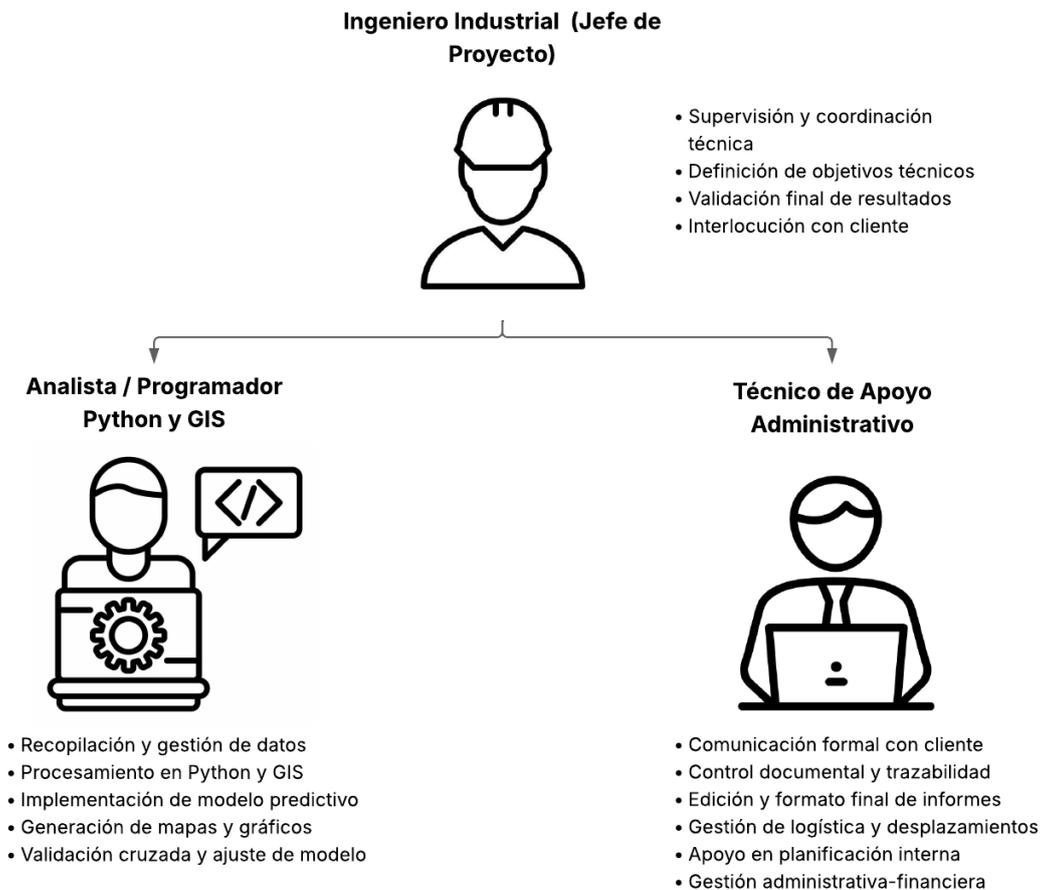


2. Organización técnica del equipo

Para llevar a cabo este servicio de consultoría especializada, se conformará un equipo técnico multidisciplinar de pequeña escala pero altamente cualificado. En concreto, se plantea un equipo central de tres perfiles profesionales complementarios, encargados de cubrir todas las etapas del proceso desde la gestión de datos hasta la interacción con el cliente público:

- **Ingeniero/a Superior (Jefe de proyecto):** Un profesional con formación de máster en ingeniería industrial y experiencia en proyectos energéticos o análisis de datos. Este perfil asume la dirección técnica del proyecto y la interlocución principal con la administración cliente. Sus funciones incluyen definir el diseño general del estudio, supervisar la calidad de los datos y resultados, e interpretar los hallazgos para traducirlos en recomendaciones viables. También se encarga de coordinar al resto del equipo, establecer el calendario de entregables y asegurar el cumplimiento de los objetivos técnicos. Dada la temática, es ideal que el ingeniero jefe tenga conocimientos en eficiencia energética, políticas públicas energéticas y estadísticas básicas para entender el modelo predictivo. Este rol, además, será responsable de la validación final de cada plan técnico entregado, garantizando que las conclusiones sean coherentes y estén respaldadas por los datos.
- **Analista/Programador en Python y GIS:** Un especialista técnico enfocado en el manejo de datos, programación y cartografía digital. Este miembro del equipo domina herramientas de ciencia de datos así como sistemas de información geográfica. Sus responsabilidades abarcan la recopilación de datos brutos de distintas fuentes (incluida la automatización de descargas de datos abiertos), la depuración y organización de esos datos en bases de datos o estructuras adecuadas, y la implementación práctica del modelo predictivo. En la fase de análisis, el programador ejecuta la regresión logística, realiza validaciones cruzadas o ajustes necesarios y genera las salidas gráficas (mapas de riesgo, gráficos estadísticos). También diseña los mapas finales y los elementos visuales que se incluirán en el informe. Este perfil asegura el rigor técnico del análisis y la correcta aplicación de las metodologías cuantitativas. Debe trabajar en estrecha colaboración con el ingeniero jefe para alinear el trabajo técnico con los objetivos sustantivos del proyecto.
- **Técnico de Apoyo Administrativo:** Un perfil dedicado a tareas de soporte operativo, administración y logística del proyecto. Si bien no participa directamente en el análisis de datos, su rol es crucial para el buen funcionamiento global. Entre sus tareas se encuentran: coordinar las comunicaciones con el cliente (por ejemplo, solicitar formalmente datos municipales, agendar reuniones de seguimiento, preparar órdenes del día), llevar el control documental (archivar versiones de informes, mapas, bases de datos, asegurar la trazabilidad de la información utilizada), y apoyar en la edición final de los entregables (revisión ortográfica y de formato del informe técnico, preparación de presentaciones gráficas, impresión de mapas en gran formato si es necesario para exposiciones). Además, este perfil gestiona la logística de desplazamientos o talleres (en caso de que el equipo deba viajar al municipio para recopilar información in situ o presentar resultados), y colabora en la planificación interna (calendario de trabajo, registro de horas dedicadas a cada tarea, etc.). Es habitual que esta persona también supervise aspectos de gestión financiera básica del proyecto (control de gastos menores, facturación al cliente al finalizar cada plan).

Figura 44. Organigrama con principales responsabilidades. Fuente: elaboración propia, 2025.



La carga de trabajo se distribuye de manera que varios proyectos puedan solaparse en distintas fases: mientras un plan está en fase de recopilación de datos, otro puede estar en análisis y un tercero en redacción del informe. El ingeniero jefe y el programador gestionan su tiempo para atender, de forma escalonada, múltiples proyectos. En momentos de alta carga, el técnico de apoyo puede encargarse de algunas tareas preparatorias sencillas (por ejemplo, formatear hojas de datos, obtener mapas base) para agilizar el trabajo de los analistas. Esta organización flexible permite optimizar la productividad del equipo núcleo de 3 personas y cumplir con la meta de estudios anuales sin comprometer la calidad técnica.

Finalmente, conviene mencionar que el equipo podría ampliarse temporalmente si la demanda creciera: por ejemplo, subcontratando a consultores externos o pasantes para tareas de campo o encuestas (si algún estudio requiriera datos primarios), o colaborando con expertos académicos en casos específicos. No obstante, la base de la viabilidad técnica radica en que, con un equipo compacto de tres personas dedicadas, es posible abordar el volumen previsto de trabajo gracias a las eficiencias de la metodología establecida (gran parte del proceso es replicable y automatizable una vez configurado el modelo y la estructura de datos inicial).

3. Planificación operativa y logística

La ejecución efectiva de este servicio de consultoría requiere una cuidadosa planificación operativa, que detalle las fases de cada proyecto, su duración estimada y los recursos

logísticos necesarios en cada etapa A continuación se describe la planificación típica para un proyecto estándar (elaboración de un plan técnico para una administración local).

Fases de un proyecto tipo: Cada plan técnico de pobreza energética sigue una secuencia de fases, generalmente con una duración total de alrededor de 6 a 8 semanas. Las etapas principales son:

3.1. Inicio y acopio de información (1–2 semanas):

En esta fase inicial, el equipo define junto al cliente el alcance preciso del estudio (ámbito geográfico, nivel de detalle, disponibilidad de datos locales). Se realizan reuniones de arranque para comprender las necesidades específicas del ayuntamiento o entidad y obtener datos propios que pueda proporcionar (por ejemplo, registros de ayudas sociales relacionadas con energía, consumos municipales, etc.). Logísticamente, esta etapa implica coordinar la solicitud de datos a distintas fuentes: descarga de datos abiertos del INE, contacto con departamentos municipales para datos de vivienda o padrón, etc. El técnico administrativo juega un rol activo aquí, gestionando oficios o convenios de confidencialidad si se requiere para acceder a ciertos datos. Al final de esta etapa se espera contar con la mayor parte de la información recopilada y aclaradas las dudas de alcance.

3.2. Análisis y modelado (2–3 semanas):

Con los datos en mano, el analista programador realiza la limpieza, integración y análisis exploratorio inicial de los datos. Seguidamente implementa el modelo de regresión logística sobre el conjunto de datos georreferenciados. Esta fase es iterativa: se pueden ajustar variables, probar distintas especificaciones del modelo y validar resultados parciales con el ingeniero superior. Si surgen brechas de datos o valores anómalos, se podría retroalimentar al cliente solicitando aclaraciones o complementos. Durante esta fase, la carga computacional es moderada; un ordenador de gama media-alta es suficiente para manejar bases de algunos miles de registros (número de secciones censales, por ejemplo) con decenas de variables predictoras. El equipo trabaja principalmente de forma remota desde la oficina central, pudiendo requerir alguna visita de campo corta en esta etapa solo si es necesario reconocer alguna característica local especial (por ejemplo, comprobar in situ condiciones en un barrio identificadas como outliers, aunque generalmente no es imprescindible). A nivel logístico, es esencial el manejo de versiones de los datos y código: el programador utilizará control de versiones para asegurar que los scripts del modelo y los datos originales queden almacenados y documentados, facilitando reproducibilidad.

3.3. Elaboración del informe y mapas (1–2 semanas):

Una vez obtenidos los resultados modelizados, el ingeniero superior y el analista colaboran en la preparación del informe técnico. El ingeniero redacta la interpretación de resultados y las recomendaciones, mientras el analista genera las figuras (mapas de riesgo, gráficas comparativas) que irán incluidas. El técnico administrativo revisa y formatea el documento para que cumpla con los estándares de presentación. En paralelo, se produce material de apoyo para la presentación final, como diapositivas con los hallazgos clave. En esta fase final, puede programarse una reunión de pre-cierre con el cliente para mostrar hallazgos preliminares, recoger retroalimentación y afinar las recomendaciones de acuerdo con consideraciones prácticas locales aportadas por el cliente. Esto mejora la calidad y la acogida del plan final.

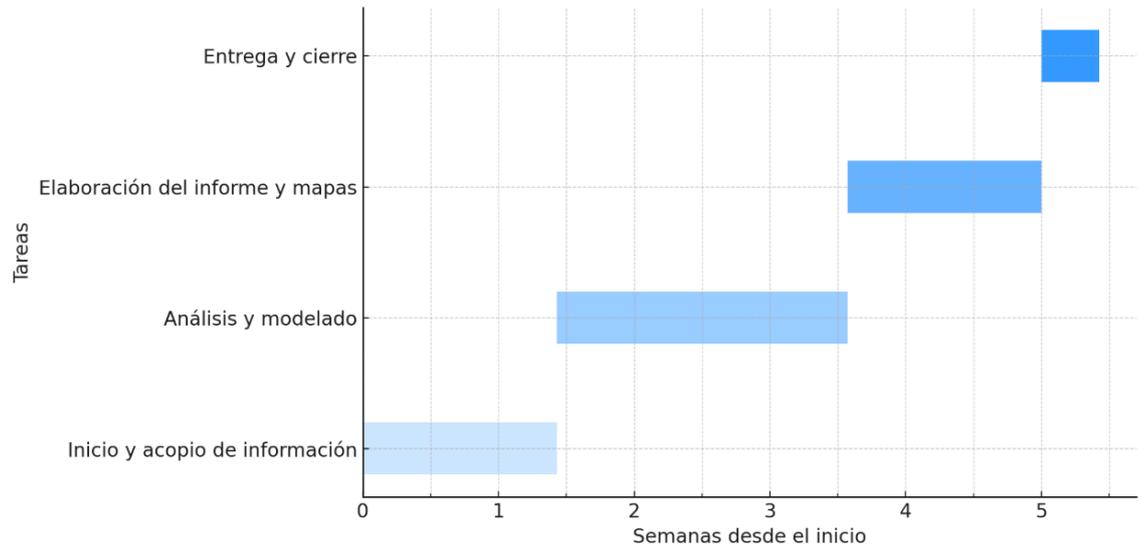
3.4. Entrega y cierre (últimos días):

Se entrega formalmente el informe y los mapas al cliente, tanto en formato digital como, si se requiere, impresiones de alta calidad de los mapas de riesgo para su uso en oficinas o sesiones plenarias. Se realiza una presentación final ante los técnicos y responsables políticos de la administración contratante, explicando el diagnóstico y las propuestas. Operativamente, el cierre incluye también pasos internos: archivar todos los materiales

del proyecto en el repositorio interno, emitir la factura correspondiente, y hacer una breve reunión interna para documentar lecciones aprendidas o mejoras para futuros estudios. Tras la entrega, el equipo queda disponible para resolver dudas o realizar un seguimiento ligero de la implementación de recomendaciones (aunque esto ya excede el alcance principal y podría formar parte de servicios adicionales ofrecidos).

Aparece representado en la siguiente figura:

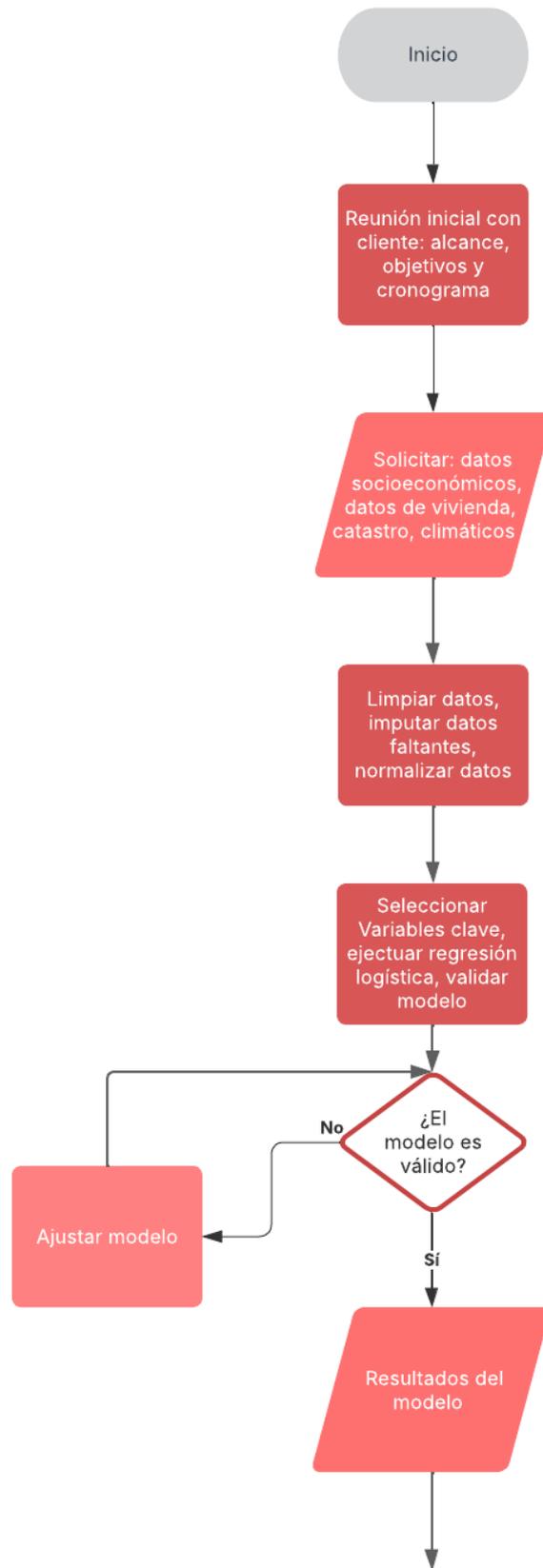
Figura 45. Cronograma del proyecto con las fases y su duración. Fuente: elaboración propia, 2025.

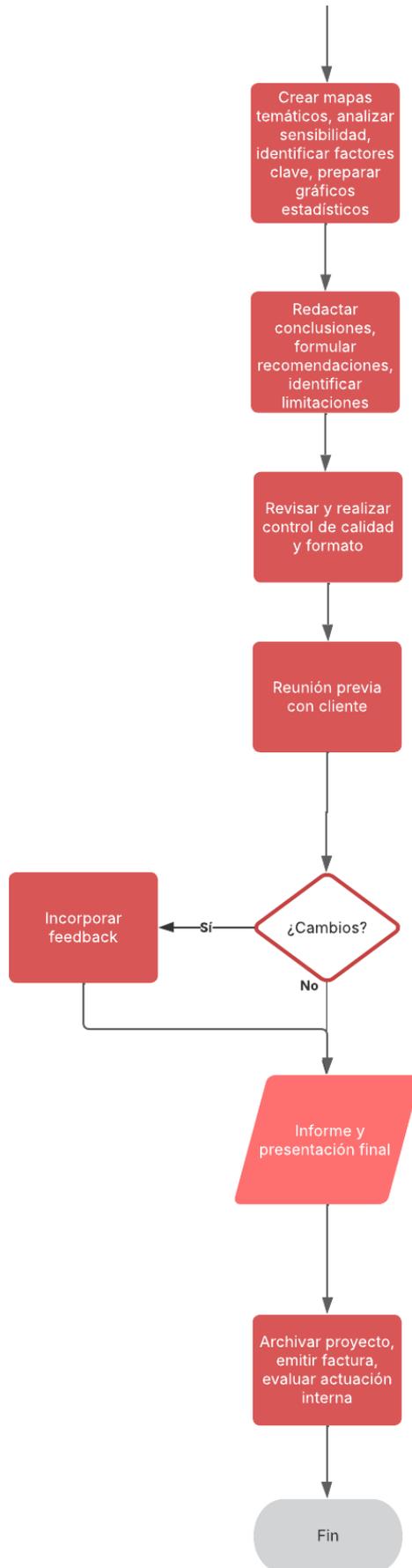


En cuanto a la logística de desplazamientos, la mayor parte del trabajo se realiza en oficina mediante herramientas informáticas. Sin embargo, se contemplan visitas puntuales a los municipios clientes: típicamente al inicio (reunión de arranque, conocimiento del terreno) y al final (presentación de resultados). Estas visitas se planifican con antelación para optimizar tiempos (por ejemplo, combinando dos presentaciones de proyectos en una misma semana de viajes si geográficamente es viable). El coste asociado a viajes se incluye normalmente en los contratos o se limita a un par de visitas breves, por lo que no perturba la planificación general.

Teniendo en cuenta el servicio comentado, a continuación se muestra un diagrama de flujo con las diferentes fases del proyecto.

Figura 46. Diagrama de flujo del proyecto. Fuente: elaboración propia, 2025.





4. Análisis técnico-económico de recursos

4.1. Recursos humanos y costes de personal

Como se describió en la organización del equipo, se cuenta con tres perfiles profesionales. La estimación de costes anuales de personal se ha ajustado para reflejar salarios más realistas, situándose en torno a 94.000 € en total. Desglosando orientativamente, podría asignarse:

- 42.000 €/año para el ingeniero jefe.
- 32.000 €/año para el analista programador.
- 20.000 €/año para el perfil administrativo.

Estos valores son coherentes con salarios de mercado para profesionales con algunos años de experiencia en cada rol y con un enfoque técnico especializado¹⁵³.

Para estimar con precisión los costes, se ha considerado el coste por hora de cada perfil profesional, dividiendo los salarios anuales por las horas laborales legales anuales (1800 h).

- Ingeniero Superior: 23,33 €/hora
- Analista/Programador: 17,78 €/hora
- Técnico Administrativo: 11,11 €/hora

Aplicando estos costes horarios a las horas reales estimadas por proyecto (Ingeniero Superior: 80 h; Analista/Programador: 100 h; Técnico Administrativo: 60 h), se obtiene un coste total por proyecto de **4.311,00 €**.

4.2. Software, licencias y herramientas tecnológicas

Se ha estimado un coste de 10.000 € anuales para cubrir gastos de software y estructura operativa. Aunque se prioriza el uso de herramientas de código abierto (Python, librerías libres, QGIS, etc.), este rubro contempla varias partidas: posibles licencias de software específico (por ejemplo, si se requiere utilizar ArcGIS Pro para alguna cartografía avanzada o acceder a bases de datos de pago), servicios en la nube o servidores (en caso de alojar datos sensibles o realizar computación en nube para proyectos más pesados), y equipamiento básico de TI.

No obstante, siguiendo un criterio de imputación proporcional, no se ha asignado el 100% de dicho coste al proyecto, ya que estos recursos se utilizan también para otros fines (proyectos internos, desarrollo metodológico, formación, etc.). Por ello, se ha imputado el **75% del coste anual**, lo cual representa un uso intensivo pero compartido de estas herramientas. Esta fracción se ha dividido entre los **10 proyectos anuales previstos**, resultando un coste imputado por proyecto de **750 €**. En este último punto, se considera la renovación periódica de ordenadores y periféricos: por ejemplo, dotar al analista de un ordenador de altas prestaciones para manejo de SIG y cálculo (esta inversión podría imputarse parcialmente cada año). También se incluyen suscripciones o compra de datos si hiciera falta información no gratuita, aunque en principio la mayoría de datos socioeconómicos y climáticos son públicos.

4.3. Modelo operativo híbrido:

El modelo de prestación del servicio se basa en un enfoque organizativo de tipo híbrido, caracterizado por una estructura ligera, sin sede física permanente y con un uso intensivo de herramientas digitales. Esta decisión responde a la naturaleza altamente técnica,

¹⁵³ Preparadores 2023

modular y deslocalizada del trabajo, que permite operar de forma eficiente sin necesidad de alquilar oficinas fijas ni mantener infraestructura inmobiliaria costosa.

El equipo trabaja principalmente de forma remota, utilizando estaciones de trabajo personales y herramientas colaborativas en la nube. Las reuniones de coordinación interna, desarrollo de modelo y preparación de informes se realizan digitalmente. Si se requieren encuentros presenciales con clientes o visitas técnicas puntuales, se contemplan espacios compartidos o coworkings contratados de forma puntual.

Dado que estos espacios no se destinan exclusivamente a un único cliente o proyecto, sino que son compartidos en el tiempo por el conjunto de la actividad consultora, se ha aplicado también una **imputación proporcional del 75% del gasto anual**. Esta proporción refleja un uso intensivo durante los meses activos del proyecto, manteniendo coherencia con la carga operativa real. Al dividir este importe entre los **10 proyectos anuales previstos**, se obtiene un coste por proyecto de **375 €** en concepto de espacio de coworking.

4.4. Inversión inicial:

Antes de iniciar la operación a pleno rendimiento, se prevé una inversión inicial de **30.000 €**. Esta inversión cubre los gastos de puesta en marcha del servicio. Entre los que se encuentran:

- La compra de equipos informáticos profesionales para el equipo: tres ordenadores de alto rendimiento, un servidor de almacenamiento central y dispositivos auxiliares como monitores especializados o impresoras. Aproximadamente **6000€**.
- La configuración inicial de la infraestructura: instalación de software necesario, desarrollo o adaptación del modelo predictivo base, contratación de asesoría para validación técnica o diseño gráfico. Aproximadamente **10000€**.
- Gastos de constitución de la empresa consultora o marketing inicial: registro legal, diseño de imagen corporativa y creación de una página web de presentación de servicios. Aproximadamente **10000€**.
- Formación especializada del personal en caso necesario (por ejemplo, cursos avanzados en análisis de datos o certificaciones en eficiencia energética, para asegurar que el equipo esté al día en metodologías). Aproximadamente **4000€**.

4.5. Viabilidad técnica de los recursos

Desde una perspectiva de viabilidad, el análisis de recursos muestra que el servicio no requiere inversiones excesivas ni infraestructura compleja. El mayor recurso es el capital humano especializado, que se puede asegurar con los costes previstos. Las herramientas tecnológicas críticas (hardware de cómputo, software analítico) son accesibles y relativamente económicas gracias al uso de software libre y a la baja necesidad de activos físicos.

Esto implica que el proyecto tiene una barrera de entrada técnica y económica baja: la consultora puede iniciar operaciones con una inversión modesta (**30.000 €**) y sostener su actividad con costes operativos razonables (**5.436,00 € por proyecto**), lo cual es una señal de viabilidad.

5. **Análisis de rentabilidad del proyecto**

En este apartado se evalúa la rentabilidad financiera del proyecto de consultoría, considerando los flujos de caja esperados a lo largo de su vida útil (10 años) y aplicando criterios clásicos de evaluación de inversiones: Valor Actual Neto (VAN), Tasa Interna de Retorno (TIR) y Periodo de Recuperación (Payback), Para el cálculo de estos indicadores

se utiliza una tasa de descuento del 7%, correspondiente al Costo Promedio Ponderado de Capital (WACC).

5.1. Proyecciones de flujos de caja

Según las estimaciones revisadas, el proyecto requiere una inversión inicial de 30.000 € (desembolso en el año 0). A partir del primer año, se estiman ingresos anuales de 120.000 €, derivados de la venta de 10 planes técnicos/año a un precio de 12.000 € cada uno. Los costes operativos anuales se han ajustado a 54.360 €.

Esto genera un flujo de caja neto anual de 65.640 € durante los años 1 al 10. Se asume que no existen variaciones sustanciales en precios ni costes, y que la vida útil del proyecto es de 10 años. No se considera valor residual.

Tabla 15. Flujos de caja. Fuente: elaboración propia, 2025.

Año	Ingreso (€)	Costes operativos (€)	Flujo neto (€)
0	€ -	€ 30.000	€ -30.000
1	€ 120.000	€ 54.360,00	€ 65.640,00
2	€ 120.000	€ 54.360,00	€ 65.640,00
3	€ 120.000	€ 54.360,00	€ 65.640,00
4	€ 120.000	€ 54.360,00	€ 65.640,00
5	€ 120.000	€ 54.360,00	€ 65.640,00
6	€ 120.000	€ 54.360,00	€ 65.640,00
7	€ 120.000	€ 54.360,00	€ 65.640,00
8	€ 120.000	€ 54.360,00	€ 65.640,00
9	€ 120.000	€ 54.360,00	€ 65.640,00
10	€ 120.000	€ 54.360,00	€ 65.640,00

5.2. Valor Actual Neto (VAN)

El VAN se calcula con la siguiente fórmula:

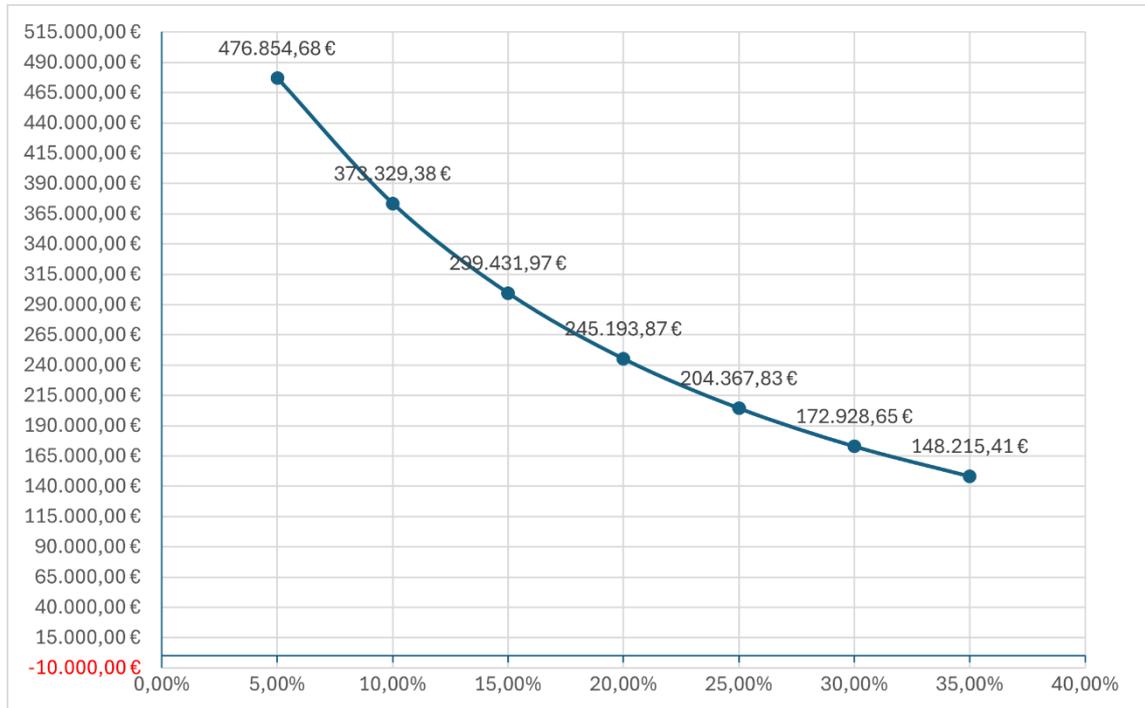
$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+r)^t} \quad [Eq15]$$

Donde:

- $I_0=30.000€$ (inversión inicial)
- $FC_t= € 65.640,00€$ (flujo neto constante)
- $r=0,07$
- $n=10$

Aplicando la fórmula, se obtiene un VAN positivo de 431.028 €. El proyecto genera valor presente superior al capital invertido.

Figura 47. VAN según tasa de descuento. Fuente: Elaboración propia, 2025.



El análisis del Valor Actual Neto (VAN) frente a diferentes tasas de descuento muestra que el proyecto presenta una alta viabilidad económica. Incluso con tasas elevadas del 25% o 35%, el VAN se mantiene claramente positivo, lo que indica una baja sensibilidad al coste del capital y una rentabilidad muy robusta. A la tasa de referencia del 7%, el proyecto genera un VAN superior a 430.000 €, muy por encima de la inversión inicial de 30.000 €, lo que refuerza su atractivo financiero. En conjunto, estos resultados permiten concluir que el proyecto es altamente rentable y ofrece un amplio margen de seguridad ante escenarios financieros adversos.

5.3. Tasa Interna de Retorno (TIR)

La TIR es la tasa de descuento que hace que el VAN sea igual a cero. Con los flujos proyectados (30.000 € de inversión inicial, € 65.640,00 año durante 10 años), la TIR resulta del 218,80%. Este valor es coherente con proyectos de baja inversión inicial, ciclos de caja estables y baja exposición a riesgo de mercado.

$$0 = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+r)^t} \quad [Eq16]$$

5.4. Periodo de Recuperación de la Inversión (Payback)

El periodo de recuperación simple (Payback) se calcula dividiendo la inversión inicial entre el flujo neto anual:

$$PR = \frac{I_0}{FC} = \frac{30000}{65640} \approx 0,4570 \text{ años} < 1 \text{ AÑO} \quad [Eq17]$$

El proyecto recupera completamente la inversión inicial de 30.000 € en su primer año de operación, lo que evidencia una rentabilidad y liquidez excepcionales.

5.5. Análisis de sensibilidad

Se han analizado los efectos de cambios en variables clave, como es el número de proyectos realizados al año. Se han obtenido los siguientes resultados:

Tabla 16. Resultados según escenarios. Fuente: elaboración propia, 2025.

Proyectos/año	Ingresos anuales (€)	Costes anuales (€)	Flujo neto anual (€)	VAN (€)
2	24.000,00	10.872,00	13.128,00	62.205,58
5	60.000,00	27.180,00	32.820,00	200.513,95
7	84.000,00	38.052,00	45.948,00	292.719,52
12	144.000,00	65.232,00	78.768,00	523.233,47
15	180.000,00	81.540,00	98.460,00	661.541,84

El análisis de sensibilidad del VAN según el número de proyectos anuales confirma que el modelo económico del proyecto es rentable incluso en escenarios de baja carga de trabajo. Con tan solo 2 proyectos al año, se obtiene un VAN positivo de 62.205 €, lo que implica que se recupera la inversión y se genera valor desde el primer año. Al aumentar a 5 proyectos anuales, el flujo neto anual asciende a 32.820 €, y el VAN se eleva hasta 200.514 €, consolidando la viabilidad del modelo en un escenario base. Con 7 proyectos al año, el beneficio crece notablemente, alcanzando un VAN de casi 293.000 €, lo cual representa una situación de buena rentabilidad sin necesidad de llegar a la saturación operativa. En el caso de 12 proyectos anuales, se alcanza un flujo neto de 78.768 € al año y un VAN de más de 523.000 €, representando una fase de expansión avanzada y altamente beneficiosa. Finalmente, con 15 proyectos anuales, el VAN se sitúa en torno a 661.542 €, situando el proyecto en un escenario de máxima explotación de recursos.

No obstante, este crecimiento encuentra un límite operativo en el perfil de Analista/Programador, cuya dedicación por proyecto es de 100 horas. Dado que la jornada laboral legal es de 1.800 horas anuales, este perfil solo puede asumir hasta 18 proyectos al año sin superar el umbral legal. Así, aunque el análisis muestra una fuerte escalabilidad, debe considerarse esta restricción para dimensionar adecuadamente la plantilla o planificar contrataciones adicionales en caso de querer crecer más allá de ese punto.

5.6. Análisis del apalancamiento financiero

El proyecto contempla una inversión inicial de **30.000 €**, que puede ser financiada total o parcialmente mediante recursos propios y deuda. En este contexto, resulta útil analizar el **efecto del apalancamiento financiero**, es decir, el impacto que tiene el uso de deuda sobre la rentabilidad esperada de los fondos propios.

El apalancamiento permite aumentar la rentabilidad del accionista siempre que la **rentabilidad del proyecto (TIR)** supere el **coste de la deuda**. En este caso, la Tasa Interna de Retorno obtenida para el proyecto es del **218,8 %**, una cifra extraordinariamente superior al coste típico de financiación bancaria (normalmente entre el 3 % y el 7 %). Esto implica que incluso con un alto grado de endeudamiento, el proyecto no solo cubre holgadamente el coste de la deuda, sino que genera un **excedente muy significativo** para el inversor.

Además, como el periodo de recuperación de la inversión es de **1 año**, el riesgo financiero derivado del uso de apalancamiento es muy reducido. El proyecto genera flujo de caja suficiente para devolver rápidamente el capital prestado, lo que lo convierte en un candidato ideal para una financiación parcialmente apalancada.

En resumen, el uso de apalancamiento en este proyecto no solo es viable, sino que resulta recomendable desde una perspectiva financiera, ya que permite **multiplicar la rentabilidad del capital propio** sin comprometer la sostenibilidad económica ni la liquidez operativa.

5.7. Interpretación de resultados financieros

Con una inversión inicial relativamente baja de 30.000 €, el proyecto genera ingresos anuales estables de 120.000 € con costes operativos de 54.360 €, lo que proporciona un flujo de caja neto anual constante de 65.640 €.

El Valor Actual Neto (VAN), calculado con una tasa de descuento del 7%, asciende a 431.028 €, confirmando que el proyecto es altamente rentable al generar un valor muy superior a la inversión inicial. Esta cifra del VAN también indica que el proyecto tiene una baja sensibilidad ante variaciones de la tasa de descuento, mostrando resiliencia frente a escenarios financieros adversos.

La Tasa Interna de Retorno (TIR) del proyecto es excepcionalmente alta, alcanzando un 218,8%. Este resultado refleja un rendimiento extraordinariamente superior al coste promedio de financiación (entre el 3% y el 7%), lo cual abre oportunidades significativas para utilizar apalancamiento financiero sin comprometer la liquidez o la estabilidad económica del proyecto.

Además, el periodo de recuperación (Payback) es extremadamente corto, menor a un año (aproximadamente 0,46 años), destacando la alta liquidez y rápida recuperación de la inversión inicial. Este aspecto es especialmente positivo, ya que minimiza considerablemente el riesgo financiero asociado al proyecto.

El análisis de sensibilidad realizado muestra que incluso en escenarios con un número reducido de proyectos anuales, el proyecto mantiene su rentabilidad. Por ejemplo, con tan solo dos proyectos al año, el VAN sigue siendo positivo (62.205 €). Esto resalta la robustez y viabilidad financiera del modelo de negocio incluso bajo condiciones menos favorables.

En conclusión, los resultados financieros actualizados refuerzan significativamente la viabilidad económica del proyecto, ofreciendo una rentabilidad excepcional, una recuperación muy rápida de la inversión inicial y una sólida capacidad para soportar diferentes escenarios operativos y financieros. Estos factores hacen que el proyecto sea especialmente atractivo para inversores, y altamente recomendable desde el punto de vista financiero.

6. Riesgos técnicos y mitigaciones: dibujo abstracto

A pesar de la solidez técnica y financiera del proyecto, es crucial identificar los riesgos potenciales que podrían afectar su éxito y planificar estrategias de mitigación. A continuación, se enumeran los principales riesgos de naturaleza técnica (y algunos operativos) junto con las medidas previstas para minimizarlos:

- **Riesgo de disponibilidad y calidad de datos:** El modelo predictivo depende de la recopilación de datos socioeconómicos, de vivienda y climáticos suficientemente detallados y confiables. Existe la posibilidad de que en algunos municipios pequeños o poco digitalizados no se disponga de datos actualizados a nivel de sección censal, o que haya reticencias a compartir cierta información (p. ej., consumos energéticos locales). *Mitigación:* Se priorizará el uso de fuentes oficiales abiertas (ej. censo, padrones, catastros) que cubren todo el territorio nacional con datos homogéneos. Si faltase algún dato clave, se emplearán técnicas de estimación (por ejemplo, extrapolar datos de regiones análogas o utilizar promedios provinciales). Asimismo, se

establecerán convenios de colaboración con las administraciones de forma que faciliten datos internos bajo confidencialidad cuando sea posible. El equipo también implementará rigurosos procesos de validación de datos: revisión cruzada de fuentes, detección de outliers y contrastación con expertos locales para asegurar que los insumos del modelo sean fiables. De ser necesario, se podría complementar con encuestas o trabajo de campo específico en zonas críticas, aunque esto último sería excepcional.

- Riesgo en el modelo predictivo (limitaciones técnicas del modelo): Aunque la regresión logística es apropiada y probada, todo modelo tiene supuestos y puede haber factores no considerados que influyan en la pobreza energética. Por ejemplo, el modelo podría tener un desempeño menor en contextos muy distintos a los datos con los que fue calibrado (problemas de generalización) o presentar colinealidad entre variables que dificulte la interpretación. *Mitigación:* Se dedicará una atención especial a la fase de calibración del modelo. Se usarán datos históricos (por ejemplo, la Encuesta de Condiciones de Vida incluye si no se puede mantener la casa caliente, indicador de pobreza energética) para verificar que las predicciones concuerdan con la realidad observada. Si la logística simple resultara insuficiente en algún caso, se valorará incorporar modelos complementarios (p. ej., árboles de decisión o técnicas de aprendizaje automático más complejas) para contrastar resultados. También se mantiene la opción de ajustar manualmente algunas conclusiones con criterio experto: por ejemplo, si el modelo subestima el riesgo en una zona por no tener en cuenta una circunstancia puntual (como cortes de suministro frecuentes), el equipo técnico podrá señalarlo en el informe cualitativamente.
- Riesgo de escala y capacidad operativa: El plan de negocio asume poder realizar 10 proyectos anuales con el equipo base. Un riesgo es subestimar la carga de trabajo real por proyecto – si cada estudio demandara más horas de lo previsto, el equipo podría saturarse y no cumplir plazos, afectando la credibilidad del servicio. *Mitigación:* Se ha incorporado un margen temporal en la. Además, se prevé solapamiento controlado y la posibilidad de contratar apoyo puntual en picos de trabajo. El equipo administrativo también puede absorber algunas tareas de baja complejidad para aliviar a los técnicos. Una gestión proactiva del cronograma, con seguimiento semanal del avance de cada proyecto, permitirá detectar a tiempo cualquier retraso y reasignar recursos. En última instancia, si la demanda creciera más allá de la capacidad, se contempla la ampliación del equipo (por ejemplo, incorporando un segundo analista freelance por proyecto, cuyos costes se cubrirían con los ingresos adicionales).
- Riesgo de cumplimiento de los ingresos (riesgo comercial): Desde el punto de vista técnico-económico, un riesgo crítico es no lograr vender los 10 planes por año a los clientes previstos. Si la demanda de administraciones públicas es menor (por falta de presupuesto, cambios políticos, etc.), los ingresos reales podrían quedarse cortos, comprometiendo la sostenibilidad. *Mitigación:* Aunque es un factor más comercial, tiene impacto técnico en la utilización de recursos. Para mitigarlo, se diversificarán las vías de ingreso: por ejemplo, ofrecer variantes del servicio a distintos niveles (planes más sencillos y baratos para municipios pequeños, servicios de actualización anual de datos a clientes existentes, consultorías específicas en eficiencia energética derivadas del plan principal). Asimismo, se propone iniciar con un par de proyectos piloto subvencionados o a precio reducido, que generen casos de éxito demostrables para publicitar a otros municipios. En caso de un año con menor demanda, se puede reducir temporalmente costos (no renovar algún software de pago ese año, aplazar inversiones no esenciales) para capear el bache, sin comprometer la viabilidad a largo plazo.
- Riesgo de competencia o cambios tecnológicos: El nicho de consultoría en pobreza energética podría atraer a otros competidores, quizá grandes consultoras o

universidades, que ofrezcan servicios similares, lo cual presionaría precios o reduciría la cuota de mercado. También existe la posibilidad de avances tecnológicos que automaticen parte del trabajo (por ejemplo, plataformas en línea del gobierno que generen mapas de vulnerabilidad directamente). *Mitigación:* La estrategia para enfrentar esto es la diferenciación técnica y la innovación continua. Nuestro servicio se destacará por la personalización y acompañamiento cercano a la administración, algo que las soluciones genéricas no brindan. Se invertirá en I+D para que el modelo predictivo esté siempre a la vanguardia (por ejemplo, incorporando datos de teledetección, imágenes satelitales de nocturnidad como proxy de pobreza, etc., si suman valor). Además, se puede buscar alianzas con centros de investigación o con ONG especializadas en pobreza energética para fortalecer la propuesta con respaldo científico y social. En cuanto a precio, el coste relativamente bajo y la alta rentabilidad permiten tener margen para ajustar precios si fuera necesario para ser competitivos sin incurrir en pérdidas.

- **Riesgo operativo y de equipo humano:** Al ser un equipo pequeño, la ausencia prolongada o pérdida de uno de los miembros clave (especialmente el analista o el ingeniero) supondría un serio inconveniente operacional. *Mitigación:* Se implementará un plan de contingencia de personal, que incluye documentar bien los procesos, el código fuente del modelo, y las bases de datos, de forma que otro técnico pudiera retomar el trabajo si alguien falta. También se podrían tener acuerdos con colaboradores externos de confianza que conozcan el proyecto (por ejemplo, consultores asociados o ex-compañeros) para intervenir temporalmente si hiciera falta cubrir una vacante de emergencia. Adicionalmente, se procurará retener al talento clave mediante incentivos adecuados, buen ambiente de trabajo y oportunidades de crecimiento profesional dentro del proyecto, reduciendo la probabilidad de rotación.
- **Riesgos de seguridad y privacidad:** El manejo de datos de hogares y vulnerabilidad puede implicar información sensible. Aunque usamos principalmente datos agregados (no personales), puede haber preocupación por la privacidad (por ejemplo, señalar un barrio como "vulnerable" podría estigmatizarlo si no se maneja con tacto). *Mitigación:* Se cumplirán estrictamente las normativas de protección de datos (GDPR en su caso), asegurando que ningún dato personal individual sea usado sin anonimización.

Figura 48. Infografía sobre riesgos y mitigaciones. Fuente: elaboración propia, 2025.

Riesgos	Mitigaciones
<p>Disponibilidad y calidad de datos</p> <p>Inexactitud del modelo por falta o baja calidad de datos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Uso prioritario de fuentes abiertas oficiales. • Técnicas de estimación y extrapolación. • Convenios con administraciones locales. • Validación rigurosa de datos.
<p>Limitaciones técnicas del modelo predictivo</p> <p>Menor desempeño del modelo en contextos no previstos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Validación del modelo con datos históricos. • Incorporación de métodos alternativos (árboles, ML). • Ajuste cualitativo con criterio experto.
<p>Riesgo de escala y capacidad operativa</p> <p>Retrasos en entregas y saturación del equipo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Márgenes de tiempo y solapamiento controlado. • Contratación puntual de apoyo externo. • Seguimiento semanal y reasignación de recursos.
<p>Riesgo de cumplimiento de ingresos</p> <p>Menor ingreso y posible insostenibilidad económica.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Diversificación de servicios. • Ofertas piloto para generar casos de éxito. • Ajuste temporal de costos en años de menor demanda.
<p>Riesgo operativo y de equipo humano</p> <p>Inestabilidad operativa por pérdida de personal clave.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Documentación exhaustiva de procesos y código. • Acuerdos con consultores externos para apoyo. • Retención de talento (incentivos, ambiente positivo).
<p>Riesgos de seguridad y privacidad</p> <p>Problemas éticos y legales por manejo de datos sensibles.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Cumplimiento estricto de normativas GDPR. • Anonimización total de datos sensibles. • Comunicación ética para evitar estigmatización. ción de talento (incentivos, ambiente positivo).

En resumen, aunque existen diversos riesgos inherentes a la naturaleza del proyecto, ninguno de ellos es insalvable. Con medidas de mitigación proactivas, el equipo puede reducir significativamente la probabilidad de ocurrencia o el impacto de estos riesgos. La viabilidad técnica incluye demostrar que se tiene un plan no solo para las condiciones ideales, sino también para escenarios adversos. Este análisis evidencia que se han considerado tales escenarios y se han preparado respuestas razonables para garantizar que el proyecto pueda continuar y cumplir sus objetivos incluso frente a dificultades.

7. Conclusiones de viabilidad técnica

Tras el análisis detallado de los aspectos técnicos, organizativos y económicos, se puede afirmar que el proyecto de servicio de consultoría basado en un modelo predictivo de pobreza energética es técnicamente viable. A modo de síntesis, se destacan las conclusiones clave que sustentan esta viabilidad:

- Adecuación del enfoque técnico: El uso de un modelo de regresión logística binaria alimentado con variables socioeconómicas, de edificación y climáticas resulta pertinente y eficaz para el objetivo propuesto. El modelo permite generar resultados accionables (probabilidades de riesgo por zona) a partir de datos disponibles, lo que confirma su factibilidad técnica en el contexto español. Además, la aplicación territorial (hasta nivel de sección censal) proporciona la granularidad necesaria para

que las administraciones tomen medidas focalizadas, algo fundamental en la lucha contra la pobreza energética.

- Capacidad operativa realista y bien dimensionada: El equipo base (ingeniero superior, analista/programador y administrativo) puede asumir hasta 18 proyectos anuales dentro de los límites legales de dedicación horaria, lo que garantiza la viabilidad operativa del objetivo de 10 planes por año. Los recursos materiales (software, hardware) están correctamente ajustados al volumen previsto, y los costes operativos totales son sostenibles respecto a los ingresos generados.
- Sostenibilidad financiera y rentabilidad: El análisis económico actualizado arroja un VAN superior a 430.000 € y una Tasa Interna de Retorno del 218 %, con un periodo de recuperación de la inversión de solo 1 año. Estos indicadores reflejan no solo sostenibilidad, sino una alta rentabilidad, con margen suficiente para absorber contingencias o inversiones futuras.
- Contribución y alineamiento con necesidades públicas: Es relevante señalar que, además de la factibilidad interna, el proyecto está alineado con una necesidad real de las administraciones públicas. La pobreza energética es un tema prioritario en políticas sociales y energéticas, reconocido en estrategias oficiales ¹⁵⁴. El servicio aquí evaluado ofrece una solución técnica innovadora para abordar esa necesidad, proporcionando conocimiento localizado y recomendaciones concretas. Esto aumenta las probabilidades de adopción por parte de municipios y regiones, lo cual a su vez realimenta la viabilidad (no es un servicio desconectado de la demanda del mercado, sino muy pertinente).
- Gestión de riesgos y garantía de calidad: Finalmente, se han identificado posibles riesgos técnicos (datos, modelo, capacidad, etc.) y en ninguno de ellos se encontró un impedimento insuperable. Para cada riesgo, se definieron estrategias de mitigación viables que el equipo puede implementar. Esto demuestra un nivel de madurez en la planificación técnica: el proyecto no depende de supuestos frágiles, sino que ha previsto cómo adaptarse a diferentes circunstancias. Adicionalmente, el compromiso con la calidad técnica está presente: desde validar el modelo con datos reales, hasta asegurar la confidencialidad de la información manejada, todo ello redundando en confianza hacia el servicio ofrecido.

En conclusión, el estudio realizado a lo largo de este capítulo permite concluir que el proyecto de consultoría es viable. La conjunción de un enfoque metodológico adecuado, un plan operacional sólido, recursos bien dimensionados y un análisis financiero favorable configura un panorama propicio para el éxito del proyecto.

¹⁵⁴ MITECO 2019

Conclusiones y siguientes pasos

1. Síntesis del trabajo realizado

Este trabajo ha abordado de forma integral y multidimensional la pobreza energética en España, aunando tres niveles complementarios: el análisis conceptual y normativo del fenómeno, el desarrollo técnico de un modelo predictivo, y su aplicación práctica mediante una propuesta de servicio de consultoría especializada.

2. Resultados principales obtenidos

Se ha partido de una revisión bibliográfica exhaustiva, que ha permitido establecer las bases teóricas de la pobreza energética desde una perspectiva multidimensional. Se han sistematizado los **principales indicadores internacionales**, como el umbral del 10 %, el LIHC, el 2M o los indicadores subjetivos (retraso en el pago de facturas, sensación de disconfort térmico).

Además, se ha revisado la evolución histórica del concepto, las controversias metodológicas y los enfoques nacionales frente a modelos internacionales, aportando una visión crítica y contextualizada. Se ha concluido que una medición efectiva requiere indicadores mixtos y adaptables al contexto territorial.

Así mismo, se ha realizado un estudio por Comunidad Autónoma, calculando los indicadores de pobreza energética que se han considerado relevantes a partir del estudio anterior, obteniendo resultados que se alinean con los de organismos oficiales.

Posteriormente, se ha realizado un meticuloso análisis de las características constructivas de las viviendas, integrando variables como la antigüedad del edificio, el tipo de calefacción, la zona residencial o el tipo de edificación.

Se ha evidenciado que una gran parte del parque inmobiliario español fue construido antes de la entrada en vigor de exigencias térmicas mínimas, y que la mayoría de viviendas se sitúan en clases E, F o G de eficiencia energética. Este hecho ha permitido concluir que la vivienda española conlleva altas demandas energéticas y bajos niveles de confort térmico, agravando la pobreza energética estructural. El modelo matemático desarrollado ha incorporado estas variables como predictores principales

Por otro lado, se ha realizado un análisis comparativo de los principales modelos normativos, como el rango de temperatura recomendado por la OMS (18–24 °C), y el método PMV-PPD (Predicted Mean Vote - Predicted Percentage of Dissatisfied), recogido en la norma ISO 7730 y la EN 16798. Mediante este análisis se han podido averiguar los principales fallos de estos indicadores a la hora de capturar la situación en España.

Debido a esto, se ha propuesto la formulación de nuevos indicadores dinámicos: el Índice de Confort Térmico Horario (ICTH), el Factor de Adaptación Estacional (FAE) y el Índice de Disconfort Acumulado (IDA). Estos indicadores totalmente nuevos permiten detectar horas críticas de disconfort térmico en función de la temperatura interior, la amplitud térmica diaria y la humedad relativa, factores especialmente relevantes en climas mediterráneos o continentales, como el de nuestro país.

- Índice de Confort Térmico Horario (ICTH)

$$ICTH = \frac{T_{int} - T_{base}}{\Delta T_{max}} * \left(1 + \frac{H_{rel}}{100}\right) \quad [Eq 10]$$

Donde:

- Tint: Temperatura interior horaria.
- T: Temperatura base según zona climática (ej.: 18°C en invierno para zona E).
- ΔTmax Amplitud térmica máxima admisible (ej.: 4°C en zonas continentales).
- Hrel: Humedad relativa horaria.

- Factor de Adaptación Estacional (FAE)

$$FAE = \frac{T_{ext,media} - T_{umbral}}{T_{umbral}} \quad [Eq 11]$$

- Text,media: Temperatura exterior media mensual.
- Tumbral: Umbral regional (ej.: 10°C en invierno para Galicia, 25°C en verano para Sevilla).

- Índice de Discomfort Acumulado (IDA) [h/año]

Número de horas al año en que Tint supera los límites de confort.

Clasificación:

- IDA < 100 h/año: Confort óptimo.
- IDA 100-300 h/año: Confort aceptable.
- IDA > 300 h/año: Intervención prioritaria.

Por último, estos indicadores se han vinculado a criterios de priorización territorial. Se ha demostrado, por ejemplo, que, en zonas como Madrid o Soria, donde las amplitudes térmicas pueden superar los 15 °C diarios, se requiere una mayor atención a los picos de discomfort en horarios específicos. En otras regiones como Málaga o Valencia, la humedad relativa nocturna agrava el sobrecalentamiento, lo que refuerza la utilidad de incorporar el ICTH y el IDA como herramientas de diagnóstico y planificación.

Estas nuevas métricas mejoran sustancialmente la capacidad de evaluación y diagnóstico, ofreciendo una lectura más precisa, contextual y operativa de la pobreza energética. Además, estos resultados abren nuevas posibilidades para la generación de protocolos térmicos mínimos por comunidad autónoma, que podrían integrarse en futuras normativas de habitabilidad o en planes de rehabilitación energética.

Relativo a la legislación actual, se ha realizado un análisis profundo del marco legal estatal y autonómico, destacando los pilares normativos como la Ley 24/2013, el Real Decreto 897/2017 y el RDL 15/2018, que regulan el bono social eléctrico y térmico.

A ello se suman medidas recientes como el Suministro Mínimo Vital (2022) y el impacto de fondos europeos a través del programa PREE y PREE 5000. Se ha valorado la diversidad autonómica (Cataluña, Andalucía, Madrid), señalando la importancia de la coordinación institucional y la necesidad de adaptar las ayudas a todos los vectores energéticos.

En el ámbito europeo, se ha recogido la influencia de la Directiva 2018/844 y del Reglamento de Gobernanza, que obliga a integrar la pobreza energética en los PNIEC.

En cuanto a la definición operativa de pobreza energética, se ha logrado codificar un modelo predictivo desarrollado que estima la probabilidad de que un hogar se encuentre en pobreza energética con base en un sistema de regresión logística. Este modelo se ha realizado mediante el uso de Python en la herramienta PyCharm. Este modelo cuenta con tres bloques explicativos: variables socioeconómicas (S), climáticas (C) y constructivas (V).

$$\begin{aligned}
 \text{logit}(P(Y_{EPFA} = 1)) &= 0.4685 - 0.0768 \cdot S1 + 0.0000 \cdot S2 + 0.0000 \cdot S4 + 0.0181 \cdot V3 \\
 &+ 0.0000 \cdot V4 + 0.0000 \cdot V6 - 0.0609 \cdot ES_{PROPIETARIO} - 0.2345 \\
 &\cdot ES_{EDIFICIO_{10PLUS}} + 0.1174 \cdot ES_{RURAL} - 0.0348 \cdot CALEF_{ESELECTRICA} \\
 &- 0.1010 \cdot ACS_{ESELECTRICA} - 0.0001 \cdot CDD + 0.0000 \cdot HDD
 \end{aligned}$$

[Eq 13]

Los coeficientes de las variables explicativas se han estimado basándose en microdatos reales que provienen de la Encuesta de Presupuestos Familiares del INE. El modelo se ha validado estadísticamente, resultando eficaz y con buena capacidad predictiva. Además, permite comprender el peso relativo de cada variable en la probabilidad de pobreza energética.

Como caso de prueba, en la Comunidad de Madrid, se aplicó el modelo a una muestra de 1844 hogares, clasificando al 27,77 % como pobres energéticos, lo que equivale a 512 hogares.

Adicionalmente, el modelo incorpora una medida adicional cuando la probabilidad calculada se sitúa entre 0,45 y 0,55, activándose un mecanismo de clasificación extendida basado en los indicadores I3 e I4 (retrasos en el pago de facturas y falta de confort térmico), mejorando la detección en situaciones ambiguas.

Asimismo, se ha desarrollado una herramienta web, con Flask y HTML, que transforma las respuestas del usuario en variables predictoras del modelo y asigna automáticamente los grados-día según la ubicación geográfica.

Finalmente, se ha calculado un análisis detallado de viabilidad técnica, operativa y financiera de un servicio de consultoría focalizado en la pobreza energética. Este servicio provee diagnósticos y planes de actuación que incluyen tanto mapas de riesgo energético como análisis territoriales y recomendaciones específicas. La ejecución de un proyecto tipo contempla una fase de recogida de datos (1–2 semanas), análisis y modelado (2–3 semanas) y redacción del informe técnico (2–3 semanas), sumando un total de 6 a 8 semanas de trabajo por proyecto.

El estudio concluye que con una inversión inicial de 30.000 €, es posible poner en marcha un servicio funcional, capaz de ejecutar hasta 10 planes técnicos anuales, gracias a un equipo compacto de 3 individuos, con un Ingeniero en Tecnologías Industriales como líder.

Desde el punto de vista financiero, el proyecto presenta una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 218 % y un Valor Actual Neto (VAN) superior a 430.000 €, con un periodo de recuperación de solo un año. Estos resultados reflejan no solo la sostenibilidad del proyecto, sino también su alta rentabilidad.

Para evaluar la viabilidad económica del proyecto se han realizado distintos análisis como el cálculo del VAN según distintas tasas de descuento y el estudio de distintos escenarios de demanda según el número de proyectos.

Figura 49. Resultados según escenarios. Fuente: elaboración propia, 2025.

Proyectos/año	Ingresos anuales (€)	Costes anuales (€)	Flujo neto anual (€)	VAN (€)
2	24.000,00	10.872,00	13.128,00	62.205,58
5	60.000,00	27.180,00	32.820,00	200.513,95
7	84.000,00	38.052,00	45.948,00	292.719,52
12	144.000,00	65.232,00	78.768,00	523.233,47
15	180.000,00	81.540,00	98.460,00	661.541,84

3. **Ámbito del estudio**

Entre las principales limitaciones del estudio destaca la disponibilidad y actualización insuficiente de microdatos desagregados, tanto a nivel geográfico como temático. Este aspecto ha restringido la granularidad del análisis y, en consecuencia, la capacidad del modelo para capturar variaciones locales con mayor precisión.

Desde el punto de vista operativo, también se ha identificado como área de mejora la **limitación actual del acceso a la herramienta web**, que solo puede ejecutarse en entorno local.

4. **Líneas futuras de desarrollo**

Una prioridad clara sería el despliegue completo de la herramienta web en un entorno online, dotándola de acceso público, un backend seguro y una capacidad de gestión multiusuario. Esto permitiría su integración en plataformas institucionales y su uso directo por técnicos municipales, trabajadores sociales o incluso ciudadanos, facilitando así su implementación real como herramienta de apoyo a políticas públicas.

Asimismo, se considera esencial habilitar la funcionalidad de carga masiva de datos mediante la propia interfaz web. En la versión actual, los datos deben ser introducidos manualmente uno a uno, lo que limita la operatividad en estudios poblacionales. La incorporación de esta funcionalidad permitiría analizar grandes volúmenes de hogares de forma simultánea, agilizando diagnósticos por barrio, municipio o región, y adaptándose a las necesidades de las administraciones locales.

Otra línea de mejora clave es la integración del modelo predictivo con sistemas de información geográfica. Esto facilitaría la generación automática de mapas temáticos a nivel de sección censal, distrito o municipio, mejorando la representación espacial de los resultados. Esta capacidad de visualización geográfica permitiría identificar zonas prioritarias de intervención con mayor precisión y apoyar la toma de decisiones en procesos de rehabilitación energética o asignación de recursos.

Desde el punto de vista operativo, una etapa crucial sería la ejecución de un proyecto piloto del servicio de consultoría, en colaboración con una o varias administraciones locales. Este piloto permitiría validar el funcionamiento completo del sistema en condiciones reales, desde la recolección de datos hasta la

entrega de recomendaciones técnicas, y generaría retroalimentación directa por parte de los equipos municipales y agentes sociales implicados.

Además, se plantea como mejora fundamental la incorporación de encuestas de campo dentro del servicio de consultoría. Esto permitiría obtener datos primarios de alta calidad en áreas donde las estadísticas oficiales son escasas, están desactualizadas o carecen de granularidad suficiente. De esta forma, se podrían afinar las estimaciones en contextos concretos, especialmente en entornos rurales o barrios con alta diversidad constructiva y socioeconómica.

Otras mejoras complementarias podrían consistir en el desarrollo de una API interoperable con bases de datos oficiales como el INE, el IDAE o el catastro y la automatización de las actualizaciones anuales del modelo a medida que se publiquen nuevas ediciones de encuestas como la EPF o la ECV.

Estas propuestas permitirían consolidar el modelo como una herramienta técnica robusta y flexible, capaz de ofrecer diagnósticos precisos y accionables en diferentes escalas y contextos territoriales. De este modo, el sistema pasaría de ser un prototipo académico a constituirse como una solución integral para la lucha contra la pobreza energética, basada en evidencia, orientada a la acción pública y adaptable a la realidad cambiante del territorio.

5. Conclusión final

Este trabajo de fin de grado ha desarrollado con éxito una solución integral para abordar la pobreza energética en España desde una perspectiva técnica basada en conocimientos de distintas ramas de la Ingeniería Industrial.

Se ha construido un modelo estadístico fiable, se ha implementado una herramienta tecnológica funcional y se ha definido un servicio de consultoría preparado para su ejecución en contextos reales, satisfaciendo las necesidades principales que tienen los organismos públicos en materia de pobreza energética. Todo ello con un enfoque multidimensional, económicamente viable y operativamente escalable.

La propuesta permite identificar y priorizar hogares vulnerables con mayor precisión. Además, demuestra que es posible conectar la investigación académica con la acción directa, generando herramientas útiles para la toma de decisiones.

Bibliografía

- Actuaciones de transposición.* (s. f.). Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Recuperado 30 de abril de 2025, a partir de <https://www.miteco.gob.es/es/energia/eficiencia/epbd2024/actuaciones-transposicion-epbd.html>
- Agencia Andaluza de la Energía. (2024, 08). *La iniciativa de la Junta para combatir la pobreza energética, distinguida con el premio NovaGob* | Agencia Andaluza de la Energía. <https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/en/node/3468>
- Agenda Urbana Española. (2021, julio). *DATOS DESCRIPTIVOS DE LA AGENDA URBANA ESPAÑOLA.* https://www.aue.gob.es/recursos_aue/2021-07-28_anexo_datos_descriptivos.pdf
- Al Kez, D., Foley, A., Lowans, C., & Del Rio, D. F. (2024). Energy poverty assessment: Indicators and implications for developing and developed countries. *Energy Conversion and Management, 307*, 118324. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2024.118324>
- Angel Sánchez de Vera Quintero. (s. f.). *Bienestar térmico en un espacio climatizado* | Idae. Recuperado 1 de mayo de 2025, a partir de <https://www.idae.es/articulos/bienestar-termico-en-un-espacio-climatizado>
- Bocarando, J. J. (2023, octubre 20). *Proyecto Powerty: combatir la pobreza energética con renovables.* Endesa. <https://www.endesa.com/es/la-cara-e/comunidad/jose-juan-bocarando-endesa-powerty-combatir-pobreza-energetica-renovables>
- BOE-A-2021-9176 Real Decreto 390/2021, de 1 de junio, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios.* (s. f.). Recuperado 30 de abril de 2025, a partir de <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2021-9176>
- Bono social eléctrico* | CNMC. (s. f.). Recuperado 30 de abril de 2025, a partir de <https://www.cnmc.es/facil-para-ti/que-hace-la-cnmc-para-consumidores/bono-social-electrico>

- Bouzarovski, S., & Petrova, S. (2015). A global perspective on domestic energy deprivation: Overcoming the energy poverty–fuel poverty binary. *Energy Research & Social Science*, *10*, 31-40. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2015.06.007>
- Bouzarovski, S., Thomson, H., & Cornelis, M. (2021). Confronting Energy Poverty in Europe: A Research and Policy Agenda. *Energies*, *14*(4), 858. <https://doi.org/10.3390/en14040858>
- Calculate PMV and PPD | Quadco Engineering. (s. f.). Recuperado 10 de mayo de 2025, a partir de <https://www.quadco.engineering/en/know-how/cfd-calculate-pmv-and-ppd.htm>
- Casals, L. C., Herrero, S. T., Barbero, M., & Corchero, C. (2020). Smart Meters Tackling Energy Poverty Mitigation: Uses, Risks and Approaches. *2020 IEEE Electric Power and Energy Conference (EPEC)*, 1-6. <https://doi.org/10.1109/EPEC48502.2020.9320062>
- Castaño Rosa, R., Solís Guzmán, J., Marrero, M., Castaño Rosa, R., Solís Guzmán, J., & Marrero, M. (2020). MIDIENDO LA POBREZA ENERGÉTICA. UNA REVISIÓN DE INDICADORES. *Revista hábitat sustentable*, *10*(1), 9-21. <https://doi.org/10.22320/07190700.2020.10.01.01>
- CEN. (2019). *EN 16798-1:2019 - Energy performance of buildings - Ventilation for buildings - Part 1: Indoor*. <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/b4f68755-2204-4796-854a-56643dfcfe89/en-16798-1-2019?srsId=AfmBOord2lCU5fyh3Nofy1h6LDTK6SYzyBYVJreMw9CN8D-jRdtp9iF4>
- CGATE. (2020). *INFORME REHABILITACIÓN ENERGÉTICA EN ESPAÑA: Una oportunidad de mejorar el parque edificado en España*. <https://www.cgate.es/pdf/Informe%20Rehab.Energ.pdf>
- Charles, K. E. (2003). *Fanger's thermal comfort and draught models*.
- Cheung, T., Schiavon, S., Parkinson, T., Li, P., & Brager, G. (2019). Analysis of the accuracy on PMV – PPD model using the ASHRAE Global Thermal Comfort Database II. *Building and Environment*, *153*, 205-217. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.01.055>

- Choi, Y., Song, D., Ozaki, A., Lee, H., & Park, S. (2022). Do energy subsidies affect the indoor temperature and heating energy consumption in low-income households? *Energy and Buildings*, 256, 111678. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111678>
- Consulta pública previa sobre la Estrategia Nacional contra la Pobreza Energética 2025-2030.* (s. f.). Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Recuperado 30 de abril de 2025, a partir de <https://www.miteco.gob.es/es/energia/participacion/2025/detalle-participacion-publica-k-725.html>
- Cortes de suministro y Suministro Mínimo Vital.* (s. f.-a). Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Recuperado 30 de abril de 2025, a partir de <https://www.miteco.gob.es/es/energia/energia-electrica/electricidad/contratacion-suministro/cortes-suministro.html>
- Cortes de suministro y Suministro Mínimo Vital.* (s. f.-b). Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Recuperado 30 de abril de 2025, a partir de <https://www.miteco.gob.es/es/energia/energia-electrica/electricidad/contratacion-suministro/cortes-suministro.html>
- Costa - Campi, M. T. (2024). *Comprendiendo la pobreza energética: Un análisis de persistencia.*
- Costa, M. T., Jové-Llopis, E., & Trujillo-Baute, E. (2019). *La pobreza energética en España. Aproximación desde una perspectiva de ingresos.* https://ieb.ub.edu/wp-content/uploads/2020/02/Estudio-pobreza-energetica_ieb-ub_fundacion-naturgy.pdf
- Costa, M. T., Llopis, E. J., Baute, E. T., & Suárez-Varela, M. (2021). *EsadeEcPol Brief #18 Octubre 202.*
- Costa-Campi, M. T. (2023). *El problema de la pobreza energética en el marco de la transición. Factores determinantes.*
- De Oliveira, C. C., Rupp, R. F., & Ghisi, E. (2021). Influence of environmental variables on thermal comfort and air quality perception in office buildings in the humid subtropical

- climate zone of Brazil. *Energy and Buildings*, 243, 110982.
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110982>
- Desvallees, L. (2021). Identificación, localización y caracterización de la vulnerabilidad energética a nivel de sección censal en el municipio de Barcelona. *Scripta Nova. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, 25(1).
<https://doi.org/10.1344/sn2021.25.30257>
- Directiva (UE) 2018/844 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de mayo de 2018, por la que se modifica la Directiva 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética de los edificios y la Directiva 2012/27/UE relativa a la eficiencia energética (Texto pertinente a efectos del EEE), CONSIL, EP, 156 OJ L (2018).
<http://data.europa.eu/eli/dir/2018/844/oj/spa>
- Dokupilová, D., Stojilovska, A., Palma, P., Gouveia, J. P., Paschalidou, E. G., Barrella, R., Feenstra, M., Horta, A., Sánchez-Guevara, C., Kádár, J., Tesanovic, M., Thomaidis, N. S., & Hamed, T. A. (2024). Exploring Energy Poverty in Urban and Rural Contexts in the Era of Climate Change: A Comparative Analysis of European Countries and Israel. *Energies*, 17(12), 2939. <https://doi.org/10.3390/en17122939>
- Energy and the Green Deal*. (2022, abril 8). https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/energy-and-green-deal_en
- Geddes, I., Bloomer, E., & Allen, J. (2011). *The health impacts of cold homes and fuel poverty*. Friends of the Earth & the Marmot Review Team.
- Global Covenant of Mayors for Climate & Energy. (2023). *Unlocking-Urban-Energy-Access-and-Poverty_Research-Report*. *Research Report*.
- Gobierno de España. (2021). *160621-Plan_Recuperacion_Transformacion_Resiliencia*. https://www.lamoncloa.gob.es/temas/fondos-recuperacion/Documents/160621-Plan_Recuperacion_Transformacion_Resiliencia.pdf
- Gómez, L. K. A., & Villalba, E. A. R. (2024). Análisis del Gasto y Pobreza Energética en la Vivienda de Interés Social. Caso de estudio en Ciudad Juárez, Chihuahua. *NovaRua*, 16(29), Article 29. <https://doi.org/10.20983/novarua.2024.29.6>

- Green Building Council España. (2023, marzo). *Todas las viviendas de España deberán tener como mínimo un certificado de eficiencia D en 2033*. <https://gbce.es/todas-las-viviendas-de-espana-deberan-tener-como-minimo-un-certificado-de-eficiencia-d-en-2033/>
- Heller, P., Schittekatte, T., & Batlle, C. (2024). *EU and US Approaches to Address Energy Poverty: Classifying and Evaluating Design Strategies*.
- IDAE. (s. f.). *Guía práctica de la energía para la rehabilitación de edificios. El aislamiento, la mejor solución*. | *Idae*. Recuperado 29 de abril de 2025, a partir de <https://www.idae.es/tecnologias/eficiencia-energetica/edificacion/aislamiento-en-edificacion/guia-practica-de-la-energia>
- ISO. (s. f.). *ISO_7730_2005_EN.pdf*. Recuperado 10 de mayo de 2025, a partir de https://static1.squarespace.com/static/569711e642f552f123ce31d2/t/5c8fa259b208fcd0ef88e264/1552917082795/ISO_7730_2005_EN.pdf.pdf
- Javier Espada. (2024, febrero 25). *La mitad de las viviendas españolas tiene un aislamiento térmico deficiente*. <https://climatizacion-y-comfort.cdecomunicacion.es/noticias/sectoriales/51632/la-mitad-de-las-viviendas-espanolas-tiene-un-aislamiento-termico-deficiente>
- Kudo, E., Song, E., Yockey, L. J., Rakib, T., Wong, P. W., Homer, R. J., & Iwasaki, A. (2019). Low ambient humidity impairs barrier function and innate resistance against influenza infection. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(22), 10905-10910. <https://doi.org/10.1073/pnas.1902840116>
- Marincic, I. (2012). Confort Térmico Adaptativo Dependiente De La Temperatura y La Humedad. *Ace Architecture City and Environment*. https://www.academia.edu/59196224/Confort_T%C3%A9rmico_Adaptativo_Dependiente_De_La_Temperatura_y_La_Humedad
- Martín-Consuegra, F., Hernández-Aja, A., Oteiza, I., & Alonso, C. (2019). Distribución de la pobreza energética en la ciudad de Madrid (España). *EURE (Santiago)*, 45(135), 133-152. <https://doi.org/10.4067/S0250-71612019000200133>

- Martín-Consuegra, F., Hernández-Aja, A., Oteiza, I., Alonso, C., Martín-Consuegra, F.,
Hernández-Aja, A., Oteiza, I., & Alonso, C. (2019). Distribución de la pobreza
energética en la ciudad de Madrid (España). *EURE (Santiago)*, 45(135), 133-152.
<https://doi.org/10.4067/S0250-71612019000200133>
- Ministerio de Fomento & Observatorio de Vulnerabilidad. (2014). *Análisis de las
características de la edificación residencial en España en 2011*.
[https://www.transportes.gob.es/recursos_mfom/pdf/AC9B43D8-942F-493D-A291-
C09D6885F28A/135888/TomoI_Informe_.pdf](https://www.transportes.gob.es/recursos_mfom/pdf/AC9B43D8-942F-493D-A291-C09D6885F28A/135888/TomoI_Informe_.pdf)
- Ministerio de Vivienda y Agenda Urbana. (2022a, marzo 16). *Programa de ayuda a las
actuaciones de mejora de la eficiencia energética en viviendas*. Ministerio de Vivienda
y Agenda Urbana. [https://www.mivau.gob.es/ministerio/proyectos-
singulares/prtr/vivienda-y-agenda-urbana/programa-de-ayuda-las-actuaciones-de-
mejora-de-la-eficiencia-energetica-en-viviendas](https://www.mivau.gob.es/ministerio/proyectos-singulares/prtr/vivienda-y-agenda-urbana/programa-de-ayuda-las-actuaciones-de-mejora-de-la-eficiencia-energetica-en-viviendas)
- Ministerio de Vivienda y Agenda Urbana. (2022b, junio 14). *DBHE*.
<https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/HE/DBHE.pdf>
- Ministerio de Vivienda y Agenda Urbana. (2022c, junio 14). *Documento Básico Ahorro de
Energía*. <https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/HE/DBHE.pdf>
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2020, enero 20). *PLAN
NACIONAL INTEGRADO DE ENERGÍA Y CLIMA 2021-2030*.
[https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/images/es/pnieccompleto_tcm30-
508410.pdf](https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/images/es/pnieccompleto_tcm30-508410.pdf)
- MITECO. (2019). *Estrategia nacional contra la pobreza energética 2019 - 2020*.
- Naturgy. (2025, junio 17). *Fundación Naturgy premia un proyecto de reducción de la pobreza
energética de los hogares más vulnerables en la sexta edición de su 'Premio a la mejor
iniciativa social en el ámbito energético' - Naturgy*. [https://www.naturgy.com/notas-de-
prensa/fundacion-naturgy-premia-un-proyecto-de-reduccion-de-la-pobreza-energetica-
de-los-hogares-mas-vulnerables-en-la-sexta-edicion-de-su-premio-a-la-mejor-iniciativa-
social-en-el-ambito-energetico/](https://www.naturgy.com/notas-de-prensa/fundacion-naturgy-premia-un-proyecto-de-reduccion-de-la-pobreza-energetica-de-los-hogares-mas-vulnerables-en-la-sexta-edicion-de-su-premio-a-la-mejor-iniciativa-social-en-el-ambito-energetico/)

- NGD. (2022). *Atlas de Distribución de Renta de los Hogares. Año 2022*. NGD - Noticias y Gestión de la Dependencia.
<https://gestionydependencia.com/noticia/5795/actualidad/atlas-de-distribucion-de-renta-de-los-hogares.-ano-2022.html>
- OCCET. (2022, agosto 28). *OCCET*. <https://occet.es/observatorio-pobreza-energetica/estrategia-nacional-pobreza-energetica/>
- Organización Panamericana de la Salud. (2022a). *Directrices de la OMS sobre vivienda y salud*. Organización Panamericana de la Salud.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK583399/>
- Organización Panamericana de la Salud. (2022b). Temperaturas interiores altas. En *Directrices de la OMS sobre vivienda y salud*. Organización Panamericana de la Salud.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK583392/>
- Palma, P., Barrella, R., Gouveia, J. P., & Romero, J. C. (2024). Comparative analysis of energy poverty definition and measurement in Portugal and Spain. *Utilities Policy*, 90, 101770.
<https://doi.org/10.1016/j.jup.2024.101770>
- Pedro Gouveia, J., Palma, P., Bessa, S., & Mahoney, K. (2022). *EPAH Energy Poverty National Indicators Report*. https://energy-poverty.ec.europa.eu/system/files/2024-05/EPAH_Energy%20Poverty%20National%20Indicators%20Report_0.pdf
- Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia. (2024, marzo 27). *Conoce el programa CE Implementa para el impulso de las Comunidades Energéticas en España | Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia Gobierno de España*.
<https://planderecuperacion.gob.es/noticias/conoce-programa-ce-implementa-impulso-comunidades-energeticas-Espana-perte-erha-prtr>
- Portella, G. P. (2021, julio 19). *Zaragoza quiere impulsar otros siete barrios solares además del situado en el Actur*. <https://www.aragondigital.es/articulo/zaragoza/zaragoza-quiere-impulsar-otros-siete-barrios-solares-ademas-del-situado-en-el-actur/20210719132820791574.html>

- Pourkhanali, A., Kholghi, D., Llorca, M., & Jamasb, T. (2023). *Persistent and Transient Energy Poverty: A Multi-Level Analysis in Spain*.
<https://research.cbs.dk/en/publications/persistent-and-transient-energy-poverty-a-multi-level-analysis-in>
- Preparadores, I. E. (2023, febrero 17). *https://www.ingenierosdeestado.es/post/sobre-el-sueldo-de-los-de-los-ingenieros-industriales-del-estado*. IE Preparadores.
<https://www.ingenierosdeestado.es/post/sobre-el-sueldo-de-los-de-los-ingenieros-industriales-del-estado>
- Press, E. (2021, diciembre 27). *La población de áreas rurales en España supera los 7,5 millones de personas, el 16% de la población española*. Europa Press.
<https://www.europapress.es/economia/noticia-poblacion-areas-rurales-espana-supera-75-millones-personas-16-poblacion-espanola-20211227123103.html>
- Rademaekers, K., Yearwood, J., Ferreira, A., & Pye, S. (2016, mayo 18). *Selecting indicators to measure energy poverty*. https://energy.ec.europa.eu/document/download/8038caf1-c91c-41cb-ac9a-3f113437f9df_en?filename=Selecting%20Indicators%20to%20Measure%20Energy%20Poverty.pdf
- Roberto Barrella & José Carlos Romero Mora. (2023). *Evaluación del impacto de la rehabilitación exprés en la pobreza energética: análisis de casos reales*.
<https://www.comillas.edu/noticias/a-mas-rehabilitacion-menos-pobreza-energetica/>
- Romero, J. C., Barrella, R., & Centeno, E. (2024). *Informe de Indicadores de pobreza energética en España 2023*.
https://www.iit.comillas.edu/documentacion/informetecnico/IIT-24-303I/Informe_de_Indicadores_de_pobreza_energ%C3%A9tica_en_Espa%C3%B1a_2023.pdf
- Sareen, S., Thomson, H., Tirado Herrero, S., Gouveia, J. P., Lippert, I., & Lis, A. (2020). European energy poverty metrics: Scales, prospects and limits. *Global Transitions*, 2, 26-36. <https://doi.org/10.1016/j.glt.2020.01.003>

- Scarpellini, S., Alexia Sanz Hernández, M., Moneva, J. M., Portillo-Tarragona, P., & Rodríguez, M. E. L. (2019). Measurement of spatial socioeconomic impact of energy poverty. *Energy Policy*, 124, 320-331. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.10.011>
- Schweiker, M., Huebner, G. M., Kingma, B. R. M., Kramer, R., & Pallubinsky, H. (2018). Drivers of diversity in human thermal perception – A review for holistic comfort models. *Temperature: Multidisciplinary Biomedical Journal*, 5(4), 308-342. <https://doi.org/10.1080/23328940.2018.1534490>
- Secretaría General de Agenda Urbana y Vivienda & Dirección General de Agenda Urbana y Arquitectura. (2020). *ERESEE 2020*. https://energy.ec.europa.eu/document/download/1eb814d1-6f41-460f-9994-c9181fccc185_en?filename=es_ltrs_2020.pdf
- SOCAIRE. (s. f.). *La ventanilla energética ¡coge número y ahorra!* - SOCAIRE. Recuperado 17 de junio de 2025, a partir de <https://www.socaire.es/ventanilla-energetica/>
- SOCAIRE. (2025, mayo 18). *Socaire en Instagram: «¿Sabías que desde 2019 la Ventanilla Energética ha ayudado a más de 1600 hogares consiguiendo ahorros medios del 33% (192 euros por vivienda) en las facturas de luz ⚡ agua 💧 y gas 🔥? Esto ha supuesto un total de 6714 personas beneficiarias directas durante 6 años tanto en temas de eficiencia energética como en cuanto a sus derechos energéticos 🏠 Este servicio se ofrece en colaboración con entidades sociales con arraigo en el territorio, porque la energía también se defiende en red 🤝 🔗 Descubre cómo funciona uno de los pilares de la misión de Socaire y del que emanan otros proyectos complementarios en la lucha contra la pobreza energética en el enlace de nuestra bio #VentanillaEnergética #CogeNumeroYAhorra #PobrezaEnergética #TransiciónEnergética #AhorroEnergético #JusticiaEnergética #ViviendaDigna»*. Instagram. https://www.instagram.com/socairenergia/p/DJy_Lzcoar4/
- SOSTENIBLES. (2020a, junio 16). Barrios Solares: energía renovable y solidaridad comunitaria. *SOSTENIBLES*. <https://sostenibles.org/2020/06/16/barrio-solar-zaragoza/>

- SOSTENIBLES. (2020b, junio 16). *Barrios Solares: energía renovable y solidaridad comunitaria - SOSTENIBLES*. <https://sostenibles.org/2020/06/16/barrio-solar-zaragoza/>
- Tirado Herrero, Sergio, Luis Jiménez Meneses, José Luis López Fernández, Eduardo Perero Van Hove, Víctor Manuel Irigoyen Hidalgo, & Paul Savary. (2016). *Pobreza, vulnerabilidad y desigualdad energética. Nuevos enfoques de análisis*. Asociación de Ciencias Ambientales.
https://www.cienciasambientales.org.es/docpublico/pobrezaenergetica/2016_Estudio_Pobreza_Energetica.pdf
- Trujillo-Baute, E. (2020). *POBREZA ENERGÉTICA EN ESPAÑA: CONTEXTO, ANÁLISIS Y ESTRATEGIA*. https://funseam.com/wp-content/uploads/2020/02/k2_attachments_Informe_FUNSEAM_022020Pobreza_energetica_en_Espana_contexto_analisis_y_estrategia_2.pdf
- Viñuela, J., Chévez, P., Martini, I., & Juan, G. S. (s. f.). *ANÁLISIS Y CARACTERIZACIÓN DE HOGARES EN POBREZA ENERGÉTICA, A PARTIR DE LA ENCUESTA NACIONAL DE GASTO DE LOS HOGARES*.
- Watanabe, H., Sugi, T., Saito, K., & Nagashima, K. (2024). Mechanism underlying the influence of humidity on thermal comfort and stress under mimicked working conditions. *Physiology and Behavior*, 285(114653). <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2024.114653>
- Wikipedia. (2023). Grados día de calefacción. En *Wikipedia, la enciclopedia libre*.
https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Grados_d%C3%ADa_de_calefacci%C3%B3n&oldid=152064085
- Yao, R., Zhang, S., Du, C., Schweiker, M., Hodder, S., Olesen, B. W., Toftum, J., Romana d'Ambrosio, F., Gebhardt, H., Zhou, S., Yuan, F., & Li, B. (2022). Evolution and performance analysis of adaptive thermal comfort models – A comprehensive literature review. *Building and Environment*, 217, 109020.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109020>
- Zamfir, I. (2023). *Gender aspects of energy poverty*.

Zhong, T., & Meng, X. (2025). Effect of air temperature in indoor transition spaces on the thermal response of occupant during summer. *Scientific Reports*, *15*(1), 919.
<https://doi.org/10.1038/s41598-025-85533-x>

Anexo

1. Código del modelo estadístico

```
import pandas as pd
import numpy as np
from sklearn.linear_model import LogisticRegression
from sklearn.model_selection import train_test_split
from sklearn.metrics import classification_report

# Cargar datos
hogares = pd.read_csv("EPFhogar_2023.tab", sep="\t")
gastos = pd.read_csv("EPFgastos_2023.tab", sep="\t")

# Preparar gasto energético
gastos_energia =
gastos[gastos['CODIGO'].astype(str).str.startswith("045")].copy()
gasto_por_hogar =
gasto_energia.groupby('NUMERO')['GASTO'].sum().reset_index()
gasto_por_hogar.rename(columns={'GASTO': 'GASTO_ENERGETICO'},
inplace=True)

hogares = hogares.merge(gasto_por_hogar, on='NUMERO', how='left')
hogares['GASTO_ENERGETICO'] = hogares['GASTO_ENERGETICO'].fillna(0)
hogares['GASTO_ENERGETICO'] = hogares['GASTO_ENERGETICO'] /
hogares['FACTOR']

# Escala de equivalencia y renta ajustada
def factor_eq(n):
    if n == 1: return 1.00
    elif n == 2: return 1.45
    elif n == 3: return 1.68
    elif n == 4: return 1.90
    elif n >= 5: return 1.99
    else: return np.nan

hogares['FACTOR_EQ'] = hogares['NMIEMB'].apply(factor_eq)
hogares['GASTO_EQ'] = hogares['GASTO_ENERGETICO'] /
hogares['FACTOR_EQ']
hogares['UC2'] = 1 + 0.5 * (hogares['NMIEM1'] - 1) + 0.3 *
hogares['NMIEM2']

hogares = hogares[hogares['IMPEXAC'] > 0]
hogares['INGRESO_ANUAL'] = hogares['IMPEXAC'] * 12
hogares['INGRESO_EQ'] = hogares['INGRESO_ANUAL'] / hogares['UC2']

hogares['PORCENTAJE_EQ'] = hogares['GASTO_EQ'] / hogares['INGRESO_EQ']
hogares_sorted = hogares.sort_values('PORCENTAJE_EQ').copy()
hogares_sorted['FACTOR_ACUM'] = hogares_sorted['FACTOR'].cumsum()
peso_total = hogares_sorted['FACTOR'].sum()
hogares_sorted['CUANTIL'] = hogares_sorted['FACTOR_ACUM'] / peso_total

mediana_pct = hogares_sorted[hogares_sorted['CUANTIL'] >=
0.5].iloc[0]['PORCENTAJE_EQ']
umbral_2M = 2 * mediana_pct
umbral_M2 = 0.5 * mediana_pct

hogares['I1'] = (hogares['PORCENTAJE_EQ'] > umbral_2M).astype(int)
hogares['I2'] = (hogares['PORCENTAJE_EQ'] < umbral_M2).astype(int)
hogares['Y_EPFA'] = ((hogares['I1'] == 1) | (hogares['I2'] ==
1)).astype(int)
```

```

# Variables socioeconómicas y constructivas
hogares['S1'] = hogares['IMPEXAC'].apply(lambda r: 1 if r<500 else 2
if r<1000 else 3 if r<1500 else 4 if r<2000 else 5 if r<2500 else 6 if
r<3000 else 7 if r<4000 else 8 if r<5000 else 9 if r<9000 else 10)
hogares['S2'] = hogares['SITSOCI'].apply(lambda x: 1 if str(x).strip()
== '01' else 0)
hogares['S4'] = hogares['ESTUDREDSP'].apply(lambda x: 1 if
str(x).strip() in ['07', '08'] else 0)
hogares['V3'] = hogares['ANNOCON'].replace(-9, np.nan).fillna(6)
hogares['V4'] = hogares['AGUACALI'].apply(lambda x: 1 if
str(x).strip() == '01' else 0)
hogares['V6'] = hogares['CALEF'].apply(lambda x: 1 if str(x).strip()
== '01' else 0)

# Binarias específicas
hogares['ES_PROPIETARIO'] = (hogares['REGTEN'] == 1).astype(int)
hogares['ES_EDIFICIO_10PLUS'] = (hogares['TIPOEDIF'] == 4).astype(int)
hogares['ES_RURAL'] = hogares['ZONARES'].astype(str).isin(['6', '7',
'8']).astype(int)
hogares['CALEF_ES_ELECTRICA'] = (hogares['FUENCALE'] == 1).astype(int)
hogares['ACS_ES_ELECTRICA'] = (hogares['FUENAGUA'] == 1).astype(int)

# Diccionario de códigos CCAA a nombres
codigo_to_nombre = {
    "01": "Andalucía", "02": "Aragón", "03": "Asturias, Principado
de", "04": "Balears, Illes",
    "05": "Canarias", "06": "Cantabria", "07": "Castilla y León",
"08": "Castilla-La Mancha",
    "09": "Cataluña", "10": "Comunitat Valenciana", "11":
"Extremadura", "12": "Galicia",
    "13": "Madrid, Comunidad de", "14": "Murcia, Región de", "15":
"Navarra, Comunidad Foral de",
    "16": "País Vasco", "17": "Rioja, La", "18": "Ceuta", "19":
"Melilla"
}
hogares['CCAA_NOMBRE'] =
hogares['CCAA'].astype(str).str.zfill(2).map(codigo_to_nombre)

# CDD y HDD por comunidad
df_cdd_hdd = pd.DataFrame({
    "CCAA": list(codigo_to_nombre.values()),
    "CDD": [582.11, 265.69, 14.57, 493.51, 350.80, 35.75, 88.00,
432.35, 312.64, 457.66,
    599.69, 1521.50, 423.42, 577.06, 155.78, 75.96, 122.79,
378.31, 429.50],
    "HDD": [943.09, 1763.90, 1601.40, 763.01, 93.41, 1634.02, 2097.18,
1595.94, 1580.28,
    1080.39, 1075.59, 1521.50, 1581.25, 929.57, 1738.05,
1533.80, 1924.43, 315.81, 568.50]
})
hogares = hogares.merge(df_cdd_hdd, left_on='CCAA_NOMBRE',
right_on='CCAA', how='left')

# Modelo logístico
X =
hogares[['S1', 'S2', 'S4', 'V3', 'V4', 'V6', 'ES_PROPIETARIO', 'ES_EDIFICIO_1
0PLUS',
'ES_RURAL', 'CALEF_ES_ELECTRICA', 'ACS_ES_ELECTRICA', 'CDD', 'HDD']]
y = hogares['Y_EPFA']

```

```

X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(X, y,
test_size=0.2, random_state=42)
modelo = LogisticRegression(max_iter=1000, class_weight='balanced')
modelo.fit(X_train, y_train)

y_proba = modelo.predict_proba(X_test)[:, 1]
y_pred = (y_proba >= 0.5).astype(int)

print(classification_report(y_test, y_pred, zero_division=0))

# Mostrar modelo matemáticamente
intercepto = modelo.intercept_[0]
coeficientes = modelo.coef_[0]
variables_modelo = X.columns

print("Modelo logístico:")
print(f"logit(P(Y_EPFA = 1)) = {intercepto:.4f} ", end="")
for var, coef in zip(variables_modelo, coeficientes):
    signo = "+" if coef >= 0 else "-"
    print(f"{signo} {abs(coef):.4f} · {var} ", end="")

# Función de clasificación con I3/I4
def clasificar_con_indicadores(probabilidad, I3, I4):
    if 0.45 <= probabilidad <= 0.55:
        return 1 if I3 == 1 or I4 == 1 else 0
    return 1 if probabilidad >= 0.5 else 0

import joblib

# Guardar el modelo entrenado en un archivo .pkl
joblib.dump(modelo, 'modelo_pobreza_energetica.pkl')

```

2. Código para aplicación web

```
from flask import Flask, request, render_template_string
import pandas as pd
import joblib

app = Flask(__name__)
modelo = joblib.load('modelo_pobreza_energetica.pkl')

# Diccionario CCAA a CDD y HDD
cdd_hdd_por_ccaa = {
    "Andalucía": (582.11, 943.09),
    "Aragón": (265.69, 1763.90),
    "Asturias": (14.57, 1601.40),
    "Balears": (493.51, 763.01),
    "Canarias": (350.80, 93.41),
    "Cantabria": (35.75, 1634.02),
    "Castilla y León": (88.00, 2097.18),
    "Castilla-La Mancha": (432.35, 1595.94),
    "Cataluña": (312.64, 1580.28),
    "Comunitat Valenciana": (457.66, 1080.39),
    "Extremadura": (599.69, 1075.59),
    "Galicia": (1521.50, 1521.50),
    "Madrid": (423.42, 1581.25),
    "Murcia": (577.06, 929.57),
    "Navarra": (155.78, 1738.05),
    "País Vasco": (75.96, 1533.80),
    "La Rioja": (122.79, 1924.43),
    "Ceuta": (378.31, 315.81),
    "Melilla": (429.50, 568.50)
}

HTML_FORM = """
<!DOCTYPE html>
<html style='background-color: #e6f0ff;'>
<head>
  <title>Diagnóstico de Pobreza Energética</title>
</head>
<body>
  <h2>Formulario de Evaluación</h2>
  <form method="post">
    {% for campo, valor in valores.items() %}
      {% if campo == 'renta' %}
        <label>Renta mensual aproximada (€):</label>
        <input type="number" name="renta" value="{{ valor }}"
required><br><br>
      {% elif campo == 'annocon' %}
        <label>Año aproximado de construcción de la
vivienda:</label>
        <input type="number" name="annocon" value="{{ valor
}}> required><br><br>
      {% elif campo == 'ccaa' %}
        <label>Comunidad Autónoma:</label>
        <select name="ccaa" required>
          {% for region in regiones %}
            <option value="{{ region }}" {% if region ==
valor %}selected{% endif %}>{{ region }}</option>
          {% endfor %}
        </select><br><br>
      {% else %}
        <label>{{ etiquetas[campo] }}</label>

```

```

        <select name="{{ campo }}">
            <option value="sí" {% if valor == 'sí'
%}selected{% endif %}>Sí</option>
            <option value="no" {% if valor == 'no'
%}selected{% endif %}>No</option>
        </select><br><br>
        {% endif %}
    {% endfor %}

    {% if mostrar_indicadores %}
    <p><strong>La probabilidad estimada está en un rango dudoso.
Por favor, responde a estas preguntas adicionales para completar el
diagnóstico:</strong></p>
    <label>¿Ha tenido retrasos en el pago de facturas?</label>
    <select name="I3">
        <option value="sí">Sí</option>
        <option value="no">No</option>
    </select><br><br>

    <label>¿Declara no poder mantener la temperatura adecuada en
invierno?</label>
    <select name="I4">
        <option value="sí">Sí</option>
        <option value="no">No</option>
    </select><br><br>

    <input type="hidden" name="I_enviado" value="1">
    {% endif %}

    <button type="submit">Evaluar</button>
</form>

    {% if resultado is not none %}
    <h3>Resultado:</h3>
    <p>Probabilidad estimada: {{ resultado.probabilidad }}%</p>
    <p>¿Pobre energético?: {{ 'Sí' if
resultado.es_pobre_energetico else 'No' }}</p>
    {% endif %}
</body>
</html>
"""

@app.route('/', methods=['GET', 'POST'])
def formulario():
    regiones = list(cdd_hdd_por_ccaa.keys())
    resultado = None
    mostrar_indicadores = False

    etiquetas = {
        "empleo": "¿El sustentador principal está ocupado?",
        "educacion": "¿Tiene estudios superiores?",
        "agua": "¿Dispone de agua caliente sanitaria?",
        "calefaccion": "¿Dispone de sistema de calefacción?",
        "propietario": "¿Es propietario de la vivienda?",
        "edificio": "¿Vive en edificio con más de 10 viviendas?",
        "rural": "¿Vive en zona rural?",
        "calef_elec": "¿La calefacción es eléctrica?",
        "acs_elec": "¿El agua caliente es eléctrica?"
    }

    valores = {campo: '' for campo in etiquetas}

```

```

valores.update({"renta": '', "annocon": '', "ccaa": regiones[0]})

if request.method == 'POST':
    for campo in valores:
        valores[campo] = request.form.get(campo, '')

    renta = float(valores['renta'])
    empleo = 1 if valores['empleo'].lower() == 'sí' else 0
    educacion = 1 if valores['educacion'].lower() == 'sí' else 0
    annocon = int(valores['annocon'])
    agua = 1 if valores['agua'].lower() == 'sí' else 0
    calefaccion = 1 if valores['calefaccion'].lower() == 'sí' else
0
0
    propietario = 1 if valores['propietario'].lower() == 'sí' else
0
0
    edificio = 1 if valores['edificio'].lower() == 'sí' else 0
    rural = 1 if valores['rural'].lower() == 'sí' else 0
    calef_elec = 1 if valores['calef_elec'].lower() == 'sí' else 0
    acs_elec = 1 if valores['acs_elec'].lower() == 'sí' else 0
    ccaa = valores['ccaa']
    cdd, hdd = cdd_hdd_por_ccaa[ccaa]

    if renta < 500: S1 = 1
    elif renta < 1000: S1 = 2
    elif renta < 1500: S1 = 3
    elif renta < 2000: S1 = 4
    elif renta < 2500: S1 = 5
    elif renta < 3000: S1 = 6
    elif renta < 4000: S1 = 7
    elif renta < 5000: S1 = 8
    elif renta < 9000: S1 = 9
    else: S1 = 10

    V3 = 6 if annocon < 1980 else 3 if annocon < 2000 else 1

    df = pd.DataFrame([
        'S1': S1,
        'S2': empleo,
        'S4': educacion,
        'V3': V3,
        'V4': agua,
        'V6': calefaccion,
        'ES_PROPIETARIO': propietario,
        'ES_EDIFICIO_10PLUS': edificio,
        'ES_RURAL': rural,
        'CALEF_ES_ELECTRICA': calef_elec,
        'ACS_ES_ELECTRICA': acs_elec,
        'CDD': cdd,
        'HDD': hdd
    ])

    prob = modelo.predict_proba(df)[0][1]
    mostrar_indicadores = 0.45 <= prob <= 0.55

    if mostrar_indicadores and request.form.get("I_enviado"):
        I3 = 1 if request.form.get('I3', 'no').lower() == 'sí'
else 0
        I4 = 1 if request.form.get('I4', 'no').lower() == 'sí'
else 0

    def clasificar_con_indicadores(probabilidad, I3, I4):

```

```

        if 0.45 <= probabilidad <= 0.55:
            return 1 if I3 == 1 or I4 == 1 else 0
        return 1 if probabilidad >= 0.5 else 0

    clasificacion = clasificar_con_indicadores(prob, I3, I4)

    resultado = {
        'probabilidad': round(prob * 100, 2),
        'es_pobre_energetico': bool(clasificacion)
    }

    elif not mostrar_indicadores:
        clasificacion = 1 if prob >= 0.5 else 0
        resultado = {
            'probabilidad': round(prob * 100, 2),
            'es_pobre_energetico': bool(clasificacion)
        }

    return render_template_string(HTML_FORM, regiones=regiones,
resultado=resultado, mostrar_indicadores=mostrar_indicadores,
valores=valores, etiquetas=etiquetas)

if __name__ == '__main__':
    app.run(debug=True)

```

3. Alineación con los objetivos ODS

Este trabajo de Fin de Grado se alinea con varios Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), especialmente con el ODS 1 (Fin de la pobreza), el ODS 3 (Salud y bienestar), el ODS 11 (Ciudades y comunidades sostenibles) y el ODS 13 (Acción por el clima).

En cuanto al ODS 1, el proyecto identifica y busca mitigar la pobreza energética como una dimensión específica de la pobreza general. Se proporcionan métricas claras para la medición de este fenómeno y herramientas para identificarlo, como el servicio de consultoría a instituciones públicas. Adicionalmente, se analiza el panorama actual de medidas disponibles para las personas que sufren este fenómeno.

El ODS 3 también está claramente presente, dado que el proyecto examina y evidencia los efectos adversos de la pobreza energética en la salud física y mental de las personas. Se presta especial atención a la correlación entre condiciones inadecuadas en la vivienda (bajas temperaturas, humedad, aislamiento insuficiente) y problemas de salud como enfermedades respiratorias, cardiovasculares y deterioro en la salud mental. Las estrategias propuestas para la rehabilitación energética de viviendas contribuyen directamente a mejorar la calidad del entorno doméstico y, por tanto, la salud de sus ocupantes.

Respecto al ODS 11, el proyecto contribuye a la sostenibilidad de las ciudades y comunidades mediante propuestas para mejorar la eficiencia energética de edificios residenciales, especialmente en áreas urbanas vulnerables. La incorporación de indicadores constructivos y climáticos en la evaluación permite identificar zonas específicas donde la intervención en rehabilitación energética generaría mayores beneficios sociales, económicos y ambientales, promoviendo así la resiliencia urbana y comunitaria. Por otra parte, se examinan iniciativas innovadoras respecto a proyectos sostenibles en España que han tenido un gran éxito en combatir la pobreza energética.

Finalmente, en relación al ODS 13, el proyecto promueve acciones concretas contra el cambio climático al incentivar mejoras en la eficiencia energética de las viviendas y reducir el consumo excesivo e ineficiente de energía. Al fomentar políticas públicas integradas y rehabilitaciones energéticas a gran escala, el proyecto no solo combate la pobreza energética, sino que también contribuye a reducir emisiones de gases de efecto invernadero, alineándose plenamente con la agenda climática global.