COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA
ICAI

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

ANÁLISIS DEL IMPACTO DE INSTALACIONES SOLARES FOTOVOLTAICAS EN LA REDUCCIÓN DE LA POBREZA ENERGÉTICA

Autor: Juan Cervera Lostao

Director: Ester Sevilla García

Madrid

Julio de 2026

Declaración de originalidad

Declaro bajo mi responsabilidad que el Proyecto presentado con el título Análisis del impacto de instalaciones solares fotovoltaicas en la reducción de la pobreza energética de la ETS de Ingeniería – ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el curso académico 2025/2026 es de mi autoría 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.

Uso de Inteligencia Artificial[1]

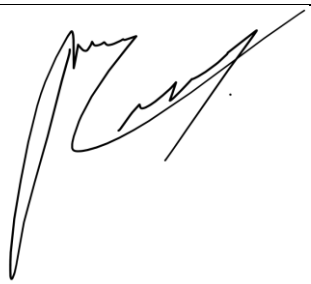
Declaro bajo mi responsabilidad que (indicar la opción correcta):

☐ No he utilizado Inteligencia Artificial en la elaboración del presente documento.

X He utilizado Inteligencia Artificial en la elaboración del presente documento y/o del Anexo B siempre en las condiciones permitidas por la Universidad Pontificia Comillas, es decir, aplicando el Nivel 2 de la Escala de Evaluación de Perkins et al. (2024): "*La IA puede utilizarse para actividades previas a la tarea, como la lluvia de ideas, la descripción y la investigación inicial. Este nivel se centra en el uso de la IA para la planificación, las síntesis y la generación de ideas, pero las evaluaciones deben hacer hincapié en la capacidad de desarrollar y refinar estas ideas de forma independiente*". En concreto, las Inteligencia Artificial ha sido empleada para:

Ayuda en la búsqueda y revisión de fuentes bibliográficas, apoyo en el desarrollo de código de programación (DAX) y automatización de la extracción y prorrateo mensual de los datos de facturación como parte del modelo creado.

[1] Esta declaración se refiere al uso de la Inteligencia Artificial generativa para realizar los documentos del Proyecto (Anexo B y Memoria). No aplica a Proyectos donde, por su naturaleza, deban emplear inteligencia artificial como parte de los mismos (aplicación de técnicas de aprendizaje automático, redes neuronales, análisis de datos…)


Firmado (alumno): Juan Cervera Lostao
Fecha: 30 junio 2026

Autorización para la entrega del Proyecto

El Director del Proyecto	El co-Director del Proyecto (si aplica)
	
Fdo: Ester Sevilla García	Fdo:
Fecha: 03 julio 2026	Fecha:

COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA
ICAI

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

ANÁLISIS DEL IMPACTO DE INSTALACIONES SOLARES FOTOVOLTAICAS EN LA REDUCCIÓN DE LA POBREZA ENERGÉTICA

Autor: Juan Cervera Lostao

Director: Ester Sevilla García

Madrid

Julio de 2026

Agradecimientos

Quiero agradecer principalmente a Ester, por haberme brindado la oportunidad de llevar a cabo un estudio que supone una mejora para el mundo en el que vivimos y haberme acompañado en todo el proceso. Además, a todos los responsables de las sedes de Cáritas que han invertido su tiempo en proporcionarme datos que han sido imprescindibles para la realización del trabajo.

ANÁLISIS DEL IMPACTO DE INSTALACIONES SOLARES FOTOVOLTAICAS EN LA REDUCCIÓN DE LA POBREZA ENERGÉTICA

Autor: Cervera Lostao, Juan
Director: Sevilla García, Ester
Entidad Colaboradora: Fundación Naturgy

RESUMEN DEL PROYECTO

Este Trabajo Fin de Grado desarrolla una metodología para evaluar el impacto real de instalaciones solares fotovoltaicas en centros de Cáritas distribuidos por España. A partir del análisis de facturas eléctricas, datos climáticos y documentación técnica, se cuantifican los ahorros energéticos y económicos alcanzados, comparándolos con las estimaciones iniciales de las empresas instaladoras y determinando en qué medida han contribuido a la mejora de la actividad social de cada sede.

Palabras clave: Autoconsumo fotovoltaico, Pobreza energética, Power BI, Auditoría energética, TOPSIS, Cáritas, Vulnerabilidad, Energía renovable.

1. Introducción

La implantación de instalaciones fotovoltaicas se ha consolidado como una herramienta para reducir el consumo eléctrico y mejorar la eficiencia energética de edificios y organizaciones. En el ámbito del tercer sector, Fundación Naturgy ha impulsado la instalación de sistemas de autoconsumo en distintos centros de Cáritas con el objetivo de disminuir el gasto energético y liberar recursos para su actividad social. Sin embargo, verificar el ahorro realmente obtenido requiere metodologías que permitan evaluar el rendimiento de las instalaciones de forma objetiva.

2. Definición del proyecto

El objetivo principal del trabajo ha sido desarrollar una metodología que permita auditar el rendimiento real de instalaciones fotovoltaicas a partir de facturas eléctricas, contrastando los resultados obtenidos con las previsiones elaboradas antes de la instalación. Para ello se recopilaron datos de 11 centros de Cáritas distribuidos por distintas provincias españolas: consumo eléctrico histórico, documentación técnica de las instalaciones y respuestas a cuestionarios dirigidos a los responsables de cada sede.

La metodología desarrollada abarca cuatro aspectos: cuantificar el ahorro energético y económico tras la instalación; normalizar los resultados para descontar la influencia de la climatología y del precio de la electricidad; evaluar el desempeño relativo de cada sede mediante el método multicriterio TOPSIS; y analizar el impacto social del ahorro a través de la reinversión que los centros han realizado con los recursos liberados.

3. Descripción del modelo/sistema/herramienta

El modelo desarrollado cubre todo el proceso de tratamiento y análisis necesario para evaluar el comportamiento de las instalaciones fotovoltaicas.

El punto de partida fue un proceso ETL aplicado a las facturas eléctricas, que permitió extraer, con el apoyo de la Inteligencia Artificial, la información relevante y prorratear los datos por meses naturales. Toda esa información se integró después en un modelo relacional implementado en Power BI mediante el lenguaje DAX, sobre el que se construyeron los indicadores de análisis.

Para el análisis energético se aplicó una normalización por grados-día de calentamiento, con el fin de eliminar el efecto de las diferencias climáticas entre años; y para el análisis económico se normalizó mediante los precios reales facturados en cada periodo, aislando así el impacto de la volatilidad del mercado eléctrico y de las diferencias contractuales. Por último, se implementó un análisis multicriterio basado en el método TOPSIS para comparar el rendimiento global de las sedes considerando simultáneamente criterios energéticos, económicos y ambientales.

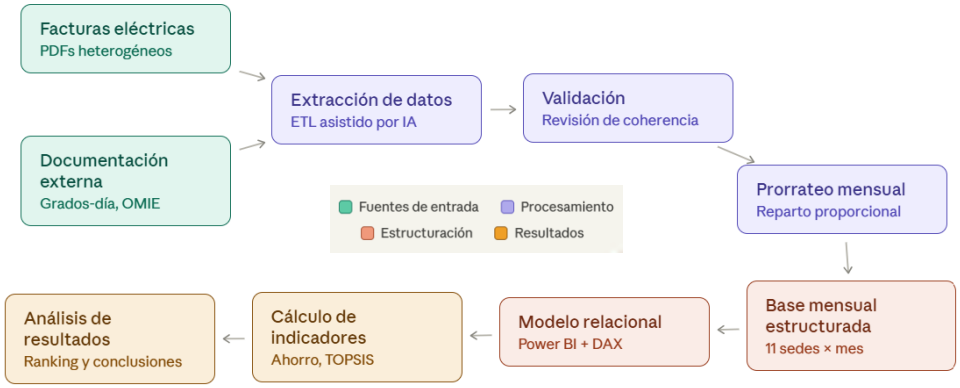


Figura 1. Arquitectura general del modelo

4. Resultados

En términos generales, la mayoría de las instalaciones han generado reducciones significativas del consumo eléctrico y de la factura energética, con ahorros que en varios centros superan el 30%, aunque con diferencias importantes entre sedes derivadas del perfil de consumo, las características de cada instalación y las condiciones de contratación. La normalización climática y económica ha resultado imprescindible para realizar comparaciones objetivas entre periodos.

La comparación entre ahorros reales y estimaciones iniciales ha puesto de manifiesto que algunas instalaciones superan las previsiones mientras que otras se quedan por debajo, con causas que varían en cada caso. El análisis TOPSIS ha permitido sintetizar todos los indicadores en un único índice de rendimiento y elaborar un ranking global de las sedes.

Por último, el estudio confirma que los ahorros económicos obtenidos se están destinando mayoritariamente a reforzar la actividad social de las entidades, ampliando los recursos disponibles para la atención de personas en situación de vulnerabilidad.

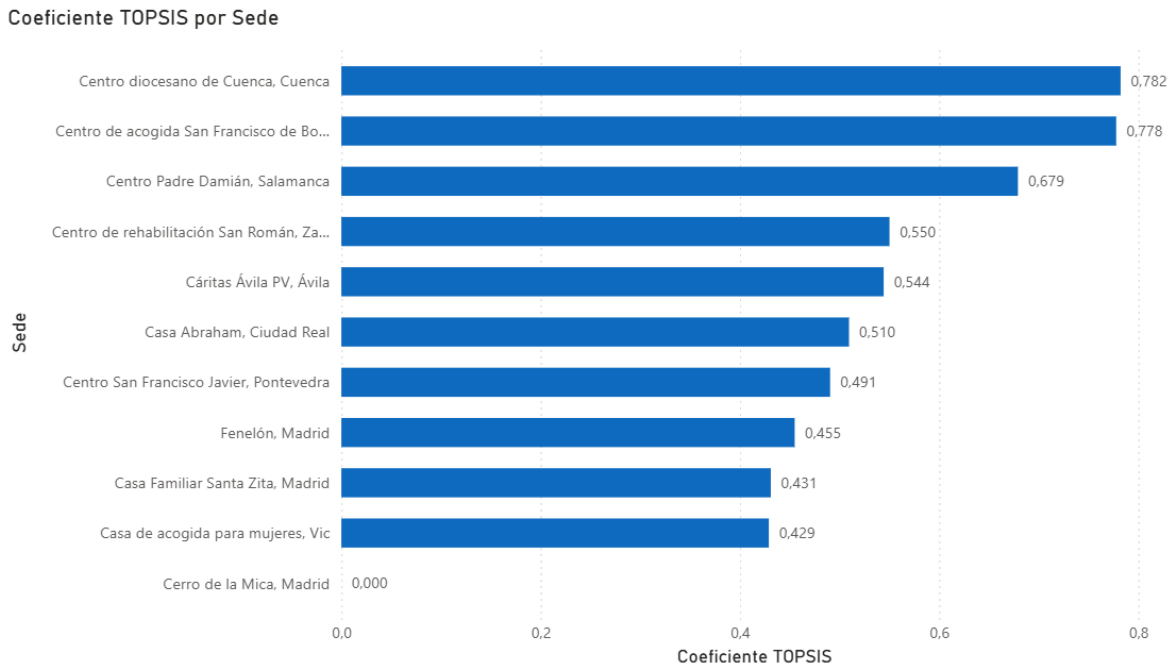


Figura 2. Coeficiente TOPSIS por sede

5. Conclusiones

Los resultados confirman que las instalaciones fotovoltaicas promovidas por Fundación Naturgy en los centros de Cáritas han cumplido su función energética: la mayoría de las sedes ha reducido tanto el consumo eléctrico como el coste de la factura. El comportamiento, sin embargo, no es homogéneo. La evolución de la actividad de cada centro, las condiciones climáticas y los términos del contrato eléctrico condicionan de forma notable el ahorro final, lo que hace necesario un análisis más cuidadoso que una simple comparación de consumos entre dos periodos.

La normalización climática y económica ha sido clave para aislar el efecto real del autoconsumo de otras variables externas. La comparación entre los ahorros reales y las previsiones de las empresas instaladoras ha mostrado además que esas estimaciones deben leerse como una aproximación y no como una garantía: en varias sedes aparecen desviaciones que solo se explican revisando el comportamiento real de la instalación una vez en funcionamiento.

Desde el punto de vista social, el trabajo permite responder afirmativamente a la pregunta que lo ha guiado: las instalaciones fotovoltaicas sí contribuyen a reducir la pobreza energética, porque el menor gasto energético libera recursos que las sedes destinan a ampliar su atención a personas vulnerables. Y demuestra también que es posible auditar ese rendimiento real a partir de facturas, datos climáticos y documentación técnica, con una metodología replicable que puede servir de base para futuras evaluaciones en otras organizaciones del tercer sector.

6. Referencias

Fuentes Freixanet, V. A. (2010). Los grados-día como herramienta de diseño bioclimático para el ahorro de energía en las edificaciones. Asociación Nacional de Energía Solar (ANES).

Fundación Naturgy. (2026). Fundación Naturgy y Cáritas atienden a 80.000 personas en su lucha contra la pobreza energética. https://www.naturgy.com/notas-de-prensa/fundacion-naturgy-y-caritas-atienden-a-80-000-personas-en-su-lucha-contra-la-pobreza-energetica/

Gobierno de España. (2019). Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica. Boletín Oficial del Estado, núm. 83.

Roszkowska, E. (2011). Multi-Criteria Decision Making Models by Applying the TOPSIS Method to Crisp and Interval Data. Multiple Criteria Decision Making, 6, 200–230.

ANALYSIS OF THE IMPACT OF SOLAR PHOTOVOLTAIC INSTALLATIONS ON ENERGY POVERTY REDUCTION

Author: Cervera Lostao, Juan.
Supervisor: Sevilla García, Ester.
Collaborating Entity: Fundación Naturgy

ABSTRACT

This Bachelor's Thesis develops a methodology to assess the real impact of solar photovoltaic installations in Cáritas centres across Spain. Drawing on electricity bills, climate data and technical documentation, the energy and economic savings achieved are quantified, compared against the initial estimates provided by the installation companies, and evaluated in terms of their contribution to the social activity of each centre.

Keywords: Photovoltaic self-consumption, Energy poverty, Power BI, Energy audit, TOPSIS, Cáritas, Vulnerability, Renewable energy.

1. Introduction

The growth of photovoltaic self-consumption has taken place in the context of energy transition aimed at reducing emissions and cutting dependence on conventional electricity generation. Furthermore, rising electricity prices in recent years have increased the financial burden on social organisations with high consumption levels and limited budgets, for whom energy costs compete directly with their capacity to support vulnerable people. Against this backdrop, Fundación Naturgy promoted the installation of photovoltaic systems in several residential Cáritas centres, with the goal of reducing their energy costs and allowing more resources to be allocated to their social work. Verifying whether those savings have materialised, however, requires more than comparing bills: climate conditions, electricity price trends and the specific contractual terms of each centre all need to be considered.

2. Project Definition

The main objective of this work has been to develop a methodology for auditing the real performance of photovoltaic installations using electricity bills, comparing the results against the estimates provided before installation. Data were collected from 11 Cáritas centres across different Spanish provinces, including historical electricity consumption records, technical installation documentation and responses to a questionnaire sent to each centre.

The methodology covers four aspects: quantifying the energy and economic savings achieved after installation; normalising the results to remove the influence of climate conditions and electricity prices; evaluating the relative performance of each centre using the TOPSIS multicriteria method; and analysing the social impact of the savings through the reinvestment carried out by each centre.

3. Model Description

The model developed covers the complete data processing and analysis workflow needed to evaluate the performance of the photovoltaic installations.

The process began with an ETL process applied to the electricity bills, which, assisted by Artificial Intelligence, extracted the relevant information and allocated the billing data to calendar months on a pro-rata basis. All that information was then integrated into a relational model built in Power BI using the DAX language, from which the analysis indicators were constructed.

For the energy analysis, a heating degree-day normalisation was applied to remove the effect of climate differences between years. The economic analysis was normalised using the actual billed electricity prices in each period, isolating the impact of electricity market volatility and contractual differences between periods. Finally, a multicriteria analysis based on the TOPSIS method was implemented to compare the overall performance of the centres simultaneously across energy, economic and environmental criteria.

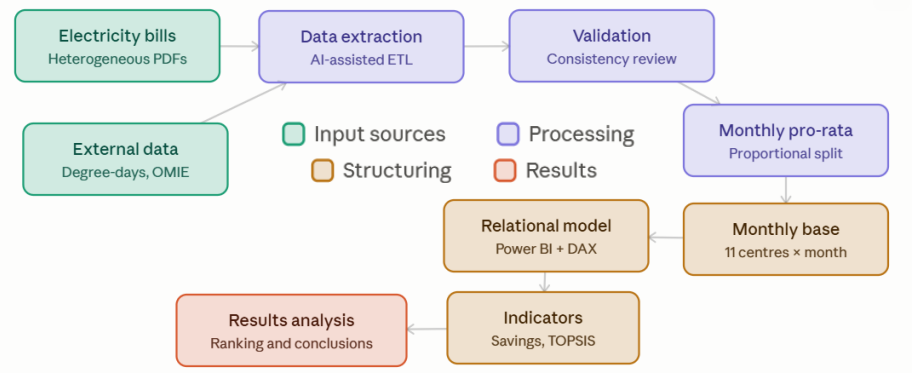


Figure 1. General scheme of the model

4. Results

In general terms, most installations have generated significant reductions in electricity consumption and energy costs, with savings that in multiple centres reach 30%, although with notable differences between centres depending on their consumption profile, installation characteristics and contracting conditions. Climate and economic normalisation proved essential for making objective comparisons across periods.

The comparison between actual savings and initial estimates revealed that some installations exceeded expectations while others did not meet the estimated savings, with causes varying in each case. The TOPSIS analysis synthesised all indicators into a single performance index and produced an overall ranking of the centres.

The study also confirms that the economic savings obtained are being directed mainly towards supporting the organisations' social activities, expanding the resources available for supporting people in vulnerable situations.

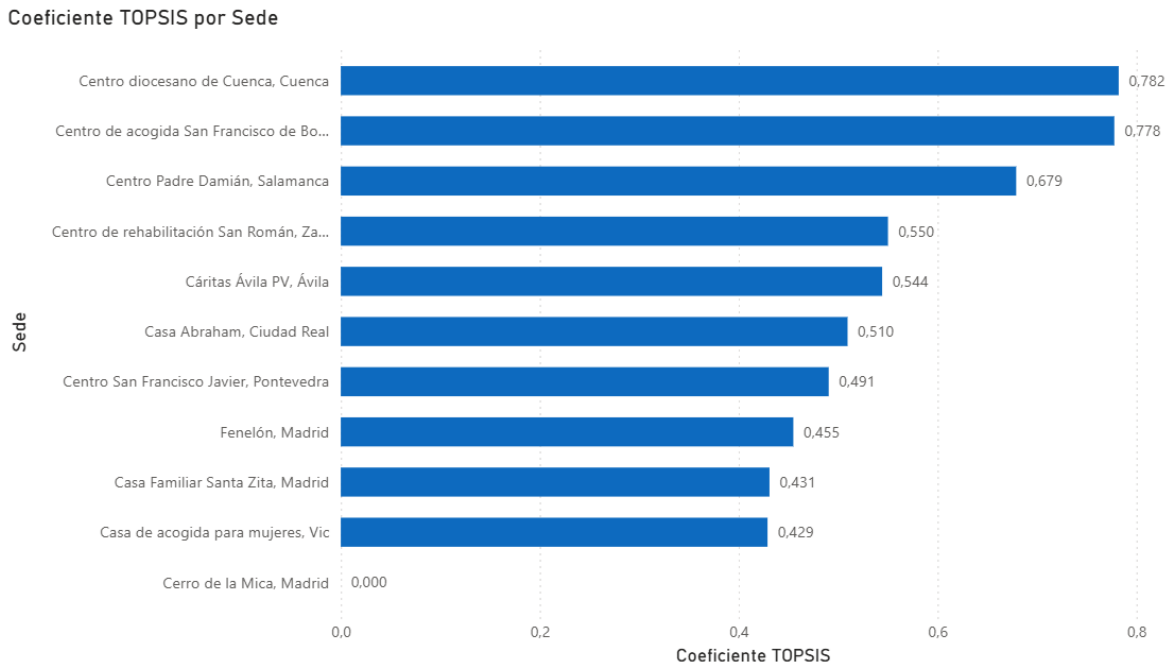


Figure 2. TOPSIS coefficient by centre

5. Conclusions

The results confirm that the photovoltaic installations promoted by Fundación Naturgy in the Cáritas centres have achieved their intended energy objectives: most centres have reduced both electricity consumption and costs. Performance, however, is not uniform. The evolution of each centre's activity, climate conditions and the terms of the electricity contract all have a significant influence on the final savings, making a careful analysis necessary rather than a simple consumption comparison between two periods.

Climate and economic normalisation proved key to isolating the real effect of self-consumption from external variables. The comparison between actual savings and the installation companies' forecasts showed that those estimates should be regarded as approximations, not guarantees: in several centres, deviations appear and can only be explained by reviewing the real behaviour of the installation once it has been running.

From a social perspective, the work allows an affirmative answer to the question that has guided it: photovoltaic installations do contribute to reducing energy poverty, because lower energy expenditure frees up resources that the centres direct towards expanding their support for vulnerable people. It also demonstrates that auditing this real performance from bills, climate data and technical documentation is feasible, with a replicable methodology that can provide a basis for future evaluations in other third-sector organisations.

6. References

Fuentes Freixanet, V. A. (2010). Los grados-día como herramienta de diseño bioclimático para el ahorro de energía en las edificaciones. Asociación Nacional de Energía Solar (ANES).

Fundación Naturgy. (2026). Fundación Naturgy y Cáritas atienden a 80.000 personas en su lucha contra la pobreza energética. https://www.naturgy.com/notas-de-prensa/fundacion-naturgy-y-caritas-atienden-a-80-000-personas-en-su-lucha-contra-la-pobreza-energetica/

Gobierno de España. (2019). Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica. Boletín Oficial del Estado, núm. 83.

Roszkowska, E. (2011). Multi-Criteria Decision Making Models by Applying the TOPSIS Method to Crisp and Interval Data. Multiple Criteria Decision Making, 6, 200–230.

Índice de la memoria

Capítulo 1. Introducción 5

1.1 Motivación del proyecto 6

1.1.1 Alineación con los objetivos de desarrollo sostenible 7

1.2 Contexto energético y climático 8

1.3 Alcance y enfoque del trabajo 8

Capítulo 2. Descripción de las Tecnologías 10

2.1 Grados-día de calentamiento 10

2.1.1 Definición y justificación de uso 10

2.1.2 Cálculo de los Grados-Día de calentamiento 12

2.2 Power BI y el lenguaje DAX 12

2.3 Método TOPSIS 13

2.4 Cuantificación de emisiones CO2 evitadas 15

Capítulo 3. Estado de la Cuestión 16

3.1 Autoconsumo fotovoltaico y ahorro energético 16

3.2 Autoconsumo y dimensión social 17

3.3 Limitaciones de los enfoques existentes 18

3.4 Brecha identificada y aportación del trabajo 18

Capítulo 4. Definición del Trabajo 20

4.1 Justificación 20

4.2 Objetivos 21

4.3 Metodología 23

4.4 Planificación y Estimación Económica 24

Capítulo 5. Sistema/modelo desarrollado 26

5.1 Análisis del sistema 26

5.2 Diseño del modelo 27

5.2.1 Arquitectura general del modelo 27

5.2.2 Recopilación de datos 28

5.2.3 Proceso ETL 28

5.2.4 Modelo relacional en Power BI e indicadores definidos 29

5.3 Implementación 30
5.3.1 ETL mediante Claude 30
5.3.2 Carga e integración de datos en Power BI 33
5.3.3 Implementación del análisis energético 35
5.3.4 Implementación del análisis económico 38
5.3.5 Método TOPSIS 40
5.3.6 Comparación con propuestas previas a la instalación 44

Capítulo 6. Análisis de Resultados 46
6.1 Análisis energético de las instalaciones 46
6.1.1 Ahorro energético porcentual bruto por sede 47
6.1.2 Efecto de la normalización climática 48
6.1.3 Casos destacables 49
6.2 Análisis económico de las instalaciones 51
6.2.1 Ahorro económico bruto por sede 51
6.2.2 Efecto de la normalización por precio de la energía 52
6.2.3 Casos destacables 53
6.3 Evaluación multicriterio mediante TOPSIS 56
6.4 Comparación con propuestas previas a la instalación 59
6.5 Impacto social y reinversión del ahorro energético 64

Capítulo 7. Conclusiones y Trabajos Futuros 66
7.1 Conclusiones generales 66
7.2 Líneas de trabajo futuro 68

Capítulo 8. Bibliografía 71

ANEXO I: Formulario (recopilación de datos) 74

ANEXO II: Prompts para la extracción y tratamiento de datos mediante IA 78

ANEXO III: Respuestas del formulario 82

ANEXO IV: Compensación por excedentes 87

ANEXO IV: Compensación por excedentes 88

Índice de figuras

Figura 1. Arquitectura general del modelo 9
Figura 2. Coeficiente TOPSIS por sede 10
Figura 3. Grados-día: calentamiento y enfriamiento según la temperatura exterior 11
Figura 4. Arquitectura general del modelo 27
Figura 5. Modelo relacional del sistema de análisis implementado en Power BI 34
Figura 6. Comparación del precio medio de energía facturada antes y después de instalación en Ávila 53
Figura 7. Comparación del precio medio de energía facturada antes y después de instalación en Vic 54
Figura 8. Comparación del precio medio de energía facturada antes y después de instalación en Pontevedra 55
Figura 9. Comparación entre consumo esperado y real posterior en Ciudad Real 60
Figura 10. Comparación entre consumo esperado y real posterior en Gandía 60
Figura 11. Comparación entre consumo esperado y real posterior en Cuenca 61
Figura 12. Comparación entre consumo esperado y real posterior en Salamanca 62
Figura 13. Comparación entre consumo esperado y real posterior en Pontevedra 63
Figura 14. Propuesta de procedimiento para el seguimiento y evaluación de instalaciones fotovoltaicas 70

Índice de tablas

Tabla 1. Temperaturas medias mensuales por sede y umbrales de demanda térmica 11
Tabla 2. Planificación temporal del trabajo desarrollado 25
Tabla 3. Indicadores de evaluación utilizados en el modelo de análisis 29
Tabla 4. Criterios, pesos y tipo de optimización empleados en el método TOPSIS 41
Tabla 5. Ahorro energético porcentual bruto por sede y mes 47
Tabla 6. Ahorro energético porcentual normalizado por grados-día por sede y mes 48
Tabla 7. Ahorro económico porcentual bruto por sede y mes 51
Tabla 8. Ahorro económico porcentual normalizado por precio de la energía por sede y mes 52
Tabla 9. Matriz ponderada de criterios del método TOPSIS 57
Tabla 10. Resultados del ranking TOPSIS por sede 57
Tabla 11. Desviación media entre consumo real posterior y consumo esperado por sede .. 59

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

La transición energética es uno de los retos mundiales más importantes y complejos del siglo XXI. La necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y conseguir una descarbonización del sistema eléctrico está trazando un camino hacia las energías renovables y sostenibles. En este contexto, el autoconsumo renovable está adquiriendo un rol cada vez más relevante y su desarrollo está permitiendo a hogares y empresas acceder a una energía más limpia, asequible, estable y competitiva. Este crecimiento no se hubiese dado sin una evolución normativa, que, eliminando barreras regulatorias y favoreciendo nuevos modelos de generación distribuida y energía compartida, ha comenzado a consolidar el autoconsumo como una herramienta accesible para diferentes grupos sociales (La Corriente, 2026).

Uno de los sectores potencialmente beneficiados tras la aplicación de nuevos reglamentos, es el tercer sector. Para las entidades sociales sin ánimo de lucro, el gasto energético representa un coste fijo que limita los recursos destinados a su actividad principal. A diferencia de una empresa convencional, este tipo de organizaciones no disponen de un margen comercial que pueda hacer frente a este coste tan fácilmente. Es debido a esta evolución normativa que las entidades del tercer sector tienen la posibilidad de destinar una mayor parte de sus recursos a su acción social y atender a las personas que dependen de ellas.

En este contexto, Fundación Naturgy ha promovido la instalación de sistemas de autoconsumo fotovoltaico en múltiples sedes de Cáritas distribuidas por distintas provincias de España. Las instalaciones fueron acompañadas de estimaciones técnicas y económicas por parte de las empresas instaladoras, en las que se proyectaba un ahorro esperado para cada sede (Fundación Naturgy, 2026). Sin embargo, verificar si ese ahorro se ha producido realmente y en qué medida se ha ajustado a la oferta realizada en un principio requiere un análisis detallado. Las facturas eléctricas provienen de distintas comercializadoras, con formatos diferentes y períodos de facturación que no siempre coinciden. A eso se suma que los años antes y después de la instalación no son directamente comparables: las condiciones

climáticas varían de un año a otro y el precio de la electricidad en España ha sufrido fluctuaciones muy significativas, especialmente durante 2021 y 2022 (OMIE, 2021, 2022).

Este trabajo parte de esa necesidad y propone una metodología para abordarla. El objetivo no es solo calcular un ahorro, sino hacerlo de una manera que sea replicable, que aísle los factores externos que no tienen que ver con las placas y que permita comparar sedes con perfiles de consumo muy distintos entre sí.

1.1 MOTIVACIÓN DEL PROYECTO

En España, la pobreza energética supone un problema estructural que durante los últimos años ha alcanzado récords. En el año 2025, casi 8 millones de personas en España no consiguieron mantener su hogar a una temperatura adecuada para la salud y bienestar durante las épocas frías del año. Es decir, aproximadamente un 16% de la población española sufrió las consecuencias de la pobreza energética (EAPN-ES, 2026).

Fundación Naturgy ha sido pionera en tomar acción contra este desafío social y de la mano de Cáritas, ha impulsado proyectos para reducir la pobreza energética en la medida de lo posible. En concreto, se han llevado a cabo 15 proyectos en centros residenciales de Cáritas en toda España con el objetivo de extender los beneficios de la energía solar a los grupos más vulnerables (Fundación Naturgy, 2026). Estos proyectos consisten en la instalación de placas solares para la reducción del consumo de los centros, de tal manera que mayor parte de los recursos de estos centros puedan ser destinados a su actividad social principal.

Actualmente, existe una necesidad de realizar un análisis profundo de la eficiencia de estos proyectos. Por ende, el objetivo principal del presente trabajo es realizar un estudio riguroso del impacto real que han tenido las instalaciones fotovoltaicas, evaluando en qué medida han contribuido al ahorro energético y si éste ha sido similar al prometido por las comercializadoras en su propuesta de instalación.

La motivación de este trabajo tiene dos vertientes. Por un lado, la vertiente técnica nace de la ausencia de una herramienta que, de forma sistemática, permita auditar el rendimiento de

estas instalaciones solares en las entidades sociales, cuyas facturas provienen de múltiples comercializadoras, con diferentes formatos y períodos de facturación irregulares. Gestionar este volumen de datos de distinta procedencia requiere un tiempo y esfuerzo que estas organizaciones no siempre pueden permitirse invertir, lo que lleva a en algunas ocasiones a dar por sentado el ahorro, evitando un análisis con un nivel de profundidad requerido para confirmar la eficiencia de las instalaciones fotovoltaicas. Por otro lado, existe indirectamente una motivación social: si el ahorro esperado gracias al autoconsumo no se produce o se produce en menor medida de lo esperado, las sedes de Cáritas están perdiendo recursos que podrían invertir en su labor social y alcanzar a más personas en situación de vulnerabilidad.

1.1.1 ALINEACIÓN CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

El presente trabajo se enmarca en la Agenda 2030 de Naciones Unidas, basado principalmente en tres de sus Objetivos de Desarrollo Sostenible (Naciones Unidas, s. f.).

1.1.1.1 ODS 7: Energía asequible y no contaminante.

El objetivo 7 tiene como propósito fundamental garantizar el acceso a una energía limpia, asequible, fiable y sostenible. Al validar que las instalaciones fotovoltaicas en las sedes de Cáritas, según lo previsto, funcionan y consiguen generar ahorro, implícitamente se garantiza un acceso más asequible y sostenible a la energía para todas las entidades sociales, por lo tanto, también para los grupos más vulnerables.

1.1.1.2 ODS 10: Reducción de las desigualdades.

El proyecto combate la brecha existente entre diferentes sectores. Opta por que la transición energética suponga un beneficio para todas las clases sociales y no solo para las más privilegiadas económicamente. Mediante el ahorro energético de las entidades sociales, es más viable aumentar el número de recursos que van destinados a la reducción de desigualdades.

1.1.1.3 ODS 13: Acción por el clima.

El presente trabajo, lejos de estar únicamente enfocado en brindar ayuda a los grupos más vulnerables, también pretende realizar una acción por el clima. Para ello, otro de los

objetivos es fomentar el uso de la energía solar mediante la auditoría de su rendimiento. De esta manera, se asegura la viabilidad de los proyectos de autoconsumo, promoviendo así la descarbonización y ayudando al medioambiente. Además, esta actuación se alinea con la estrategia de Cáritas de cuidado de la casa común, que constituye su forma de trasladar el compromiso climático a la acción social y energética (Cáritas Diocesana de Cuenca, 2019).

1.2 CONTEXTO ENERGÉTICO Y CLIMÁTICO

Durante la última década, España se ha visto inmersa en una transición energética orientada hacia las fuentes renovables y sostenibles, que actualmente representan un 55,5% de la producción de electricidad (Roca, 2026). Uno de los principales factores que favoreció este cambio fue la aprobación del Real Decreto 244/2019 que, en relación con la energía fotovoltaica, introdujo medidas tales como la eliminación del conocido "impuesto al sol" o la aplicación de la compensación simplificada de excedentes, entre otras (Gobierno de España, 2019). Esta normativa ha supuesto un crecimiento significativo de las instalaciones solares y el autoconsumo fotovoltaico en España, alcanzando así sectores que hasta el momento habían permanecido al margen de esta transición.

Pese a la mejora en el marco administrativo, sigue habiendo factores a tener en cuenta que no siempre suponen un apoyo en el ámbito del autoconsumo fotovoltaico. El período reciente ha estado marcado por una variabilidad de precios alta y por diferencias climatológicas entre años. Estos son factores que dificultan el análisis del consumo energético y que se tendrán en cuenta en capítulos posteriores.

1.3 ALCANCE Y ENFOQUE DEL TRABAJO

El presente trabajo tiene como objetivo el análisis de instalaciones de autoconsumo ya instaladas en diferentes sedes de Cáritas y que han sido promovidas por los convenios con Fundación Naturgy. El estudio no pretende diseñar nuevas instalaciones ni realizar un dimensionamiento técnico de las ya existentes, sino analizar el impacto real que han tenido tras su instalación.

El presente trabajo se sitúa en ese espacio, al plantear un análisis posterior a la instalación basado en datos reales de consumo y facturación, abordando tanto la dimensión energética y económica como el impacto social del ahorro generado.

Lejos de ser un análisis de casos aislados y concretos, el trabajo busca crear una herramienta que pueda servir como base para futuros estudios de otros proyectos similares. En los capítulos posteriores, se explicará con más detalle el estado actual del análisis, las tecnologías implicadas, el modelo desarrollado y los resultados obtenidos.

Capítulo 2. DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS

Antes de entrar en el desarrollo del modelo, conviene explicar brevemente los métodos, herramientas y conceptos sobre los que se apoya el trabajo, ya que aparecerán de forma recurrente en los capítulos siguientes. Se abordan cuatro elementos: la corrección del consumo eléctrico en función de la climatología, Power BI como plataforma de modelado y medidas DAX como parte del análisis, el método TOPSIS para obtener una clasificación comparativa de las sedes, y la cuantificación de emisiones de dióxido de carbono evitadas por el autoconsumo.

2.1 GRADOS-DÍA DE CALENTAMIENTO

El consumo eléctrico de un edificio no depende solo de su actividad o de sus instalaciones. La temperatura exterior juega un papel importante, especialmente en centros con sistemas de climatización, donde una parte del consumo varía de un año a otro simplemente por haber tenido un invierno más o menos frío, sin que eso refleje ningún cambio en el comportamiento de los usuarios ni en el funcionamiento de las placas solares. Esto supone un problema a la hora de comparar periodos: si un centro consume más en un año que en otro, no es fácil saber a primera vista si se debe a las placas, al clima o a ambos a la vez. Para separar ese efecto climático del resto, este trabajo recurre a los grados-día.

2.1.1 DEFINICIÓN Y JUSTIFICACIÓN DE USO

Los grados-día miden la diferencia acumulada entre la temperatura exterior y una temperatura base de referencia, que representa el umbral a partir del cual un edificio necesita climatización. Según en qué sentido se dé esa diferencia, se distinguen dos tipos: los grados-día de calentamiento, que se acumulan cuando la temperatura exterior cae por debajo del límite inferior de confort (habitualmente 18 °C) y el edificio necesita calefacción; y los de enfriamiento, que se acumulan cuando la supera por encima del límite superior (habitualmente 26 °C) y entra en juego la refrigeración (Fuentes Freixanet, 2010).

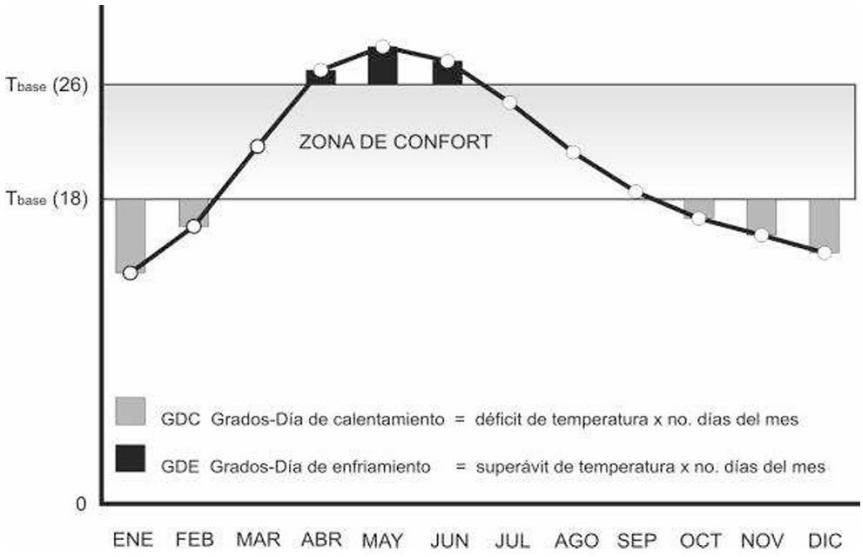


Figura 3. Grados-día: calentamiento y enfriamiento según la temperatura exterior

La normalización se aplicó únicamente con grados-día de calentamiento. El motivo principal es que las temperaturas medias de las sedes analizadas, como se observa en la Tabla 1, apuntan claramente hacia una demanda de calefacción y no de refrigeración, ya que la mayoría de los meses se sitúan por debajo de 18 °C, mientras que los meses que superan los 26 °C son pocos y lo hacen por un margen reducido.

Sede	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
Cáritas Ávila PV, Ávila	3,40	6,95	6,95	9,20	15,15	19,05	24,40	22,35	17,10	11,65	9,20	6,05
Casa Abraham, Ciudad Real	7,20								22,45	17,75	11,50	7,20
Casa de acogida para mujeres, Vic	8,70	10,70	11,15				25,35	26,05	20,45	17,95	12,80	9,30
Casa Familiar Santa Zita, Madrid	6,30	9,50	11,85	16,80								
Centro de acogida San Francisco de Borja, Gandía	13,75	14,90	16,40		20,35		27,90	28,40	25,00	21,95	18,45	14,85
Centro de rehabilitación San Román, Zamora	6,80	8,40	10,75	14,00	16,10	21,35	24,70	25,55	19,30		9,40	7,15
Centro diocesano de Cuenca, Cuenca	5,90	8,85	9,70	12,45	16,35	21,05	25,60	26,05	19,50	15,25	9,65	7,25
Centro Padre Damián, Salamanca	7,75	8,85	9,55	13,20	15,70		24,00	25,05	19,60	16,80	10,30	
Centro San Francisco Javier, Pontevedra	11,20	12,15	12,30				21,20	22,40	19,35	17,85	15,85	10,50
Cerro de la Mica, Madrid	5,35	10,45	10,30	13,95	18,70	24,75	27,60	27,00	21,60	16,35	10,85	7,50
Fenelón, Madrid	4,45	9,40	10,20	13,85	18,35	24,30	27,30	26,55	21,00	15,45	9,95	6,95

T > 26 [°C] | 26 ≥ T ≥ 18 [°C] | T <18 [°C]

Tabla 1. Temperaturas medias mensuales por sede y umbrales de demanda térmica

Esto, además, es coherente con lo que recoge el estudio SECH-SPAHOUSEC del IDAE (2011): la calefacción representa el 47,0 % del consumo medio por hogar en España, frente a un 0,8 % de la refrigeración. Por estas dos razones, añadir la corrección por enfriamiento habría complicado el modelo sin aportar nada sustancial.

2.1.2 CÁLCULO DE LOS GRADOS-DÍA DE CALENTAMIENTO

De forma genérica, los grados-día mensuales se calculan como:

$$GD = \sum (T_{Base} - T)$$

donde GD son los grados-día (°C), T_{Base} es la temperatura base y T es la temperatura media diaria (°C), sumados a lo largo de todos los días del periodo considerado. Dado que en la práctica no siempre se dispone de información diaria, cuando no se cuenta con información diaria se utilizan los datos medios de temperatura en un mes multiplicados por el número de días de ese mes. La fórmula general para el cálculo de los grados-día de calentamiento es:

$$GD_{calentamiento} = N_{Días\ mes} \cdot (T_{Base} - T_{Media\ mes})$$

Cuando la temperatura media mensual supera la temperatura base, el valor de grados-día se toma como cero. Por ello, el resultado es siempre un valor no negativo: cuanto mayor es el déficit de temperatura respecto a la base de confort, mayor es el valor de grados-día de calentamiento y, por tanto, mayor es la demanda energética asociada a la calefacción.

En este trabajo, los grados-día de calentamiento se calcularon mes a mes para cada sede, tomando 18 °C como temperatura base y usando las temperaturas medias mensuales de cada periodo de facturación. Los datos proceden de AEMET. Como las sedes están repartidas por distintas provincias, se identificó previamente la estación meteorológica más cercana a cada una de ellas, con el fin de que las temperaturas empleadas reflejen las condiciones climáticas reales de cada instalación y no introduzcan un sesgo geográfico en la normalización. El valor resultante se usa después como variable de corrección climática en el modelo de Power BI, tal y como se detalla en el capítulo 5.

2.2 POWER BI Y EL LENGUAJE DAX

Para el desarrollo del modelo de análisis se utilizó Power BI, herramienta de Microsoft para el modelado y tratamiento de datos mediante un sistema de tablas relacionadas entre sí.

Sobre este modelo de datos, los cálculos se construyen mediante DAX (Data Analysis Expressions), el lenguaje de fórmulas propio de Power BI. DAX permite crear medidas, que son cálculos dinámicos que se recalculan automáticamente en función del contexto de filtro en el que se evalúan (como la sede o el periodo seleccionado en un informe), a diferencia de un cálculo estático realizado una única vez. Esta característica es la que permite que, en este trabajo, una misma medida definida una sola vez (como el ahorro de consumo o el coeficiente TOPSIS) se recalcule automáticamente para cada sede sin necesidad de repetir la fórmula manualmente.

2.3 MÉTODO TOPSIS

Roszkowska (2011) describe TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) como un método de decisión multicriterio que permite ordenar un conjunto de alternativas en función de varios criterios de evaluación simultáneos. Su fundamento consiste en comparar cada alternativa con dos referencias teóricas: una solución ideal positiva, formada por los mejores valores posibles de cada criterio, y una solución ideal negativa, formada por los peores. La alternativa preferida será aquella que se encuentre simultáneamente más próxima a la solución ideal positiva y más alejada de la solución ideal negativa.

El procedimiento parte de una matriz de decisión, en la que cada fila i representa una alternativa y cada columna j un criterio de evaluación, de forma que x_{ij} es el valor que toma la alternativa i en el criterio j. Dado que los distintos criterios pueden expresarse en unidades diferentes, el primer paso consiste en normalizar la matriz para hacer sus valores comparables entre sí. La normalización empleada es la normalización vectorial, que consiste en dividir cada valor entre la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de todos los valores de su columna:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} {x_{ij}}^2}}$$

A continuación, cada valor normalizado se pondera multiplicándolo por el peso w_j asignado a su criterio correspondiente, donde la suma de los pesos de todos los criterios es igual a 1:

$$v_{ij} = r_{ij} \cdot w_j$$

Una vez obtenida la matriz normalizada y ponderada, se determinan la solución ideal positiva (A^+) y la solución ideal negativa (A^-). Para un criterio de beneficio, en el que un valor más alto representa un mejor resultado, la solución ideal positiva se forma con el valor máximo de cada columna y la solución ideal negativa con el valor mínimo; para un criterio de coste, en el que un valor más bajo es preferible, el criterio se invierte:

$$A^+ = \{ {v_1}^+, {v_2}^+, \dots, {v_n}^+ \}, \quad {v_j}^+ = máx(v_{ij}) \text{ si el criterio es de beneficio}$$
$$A^- = \{ {v_1}^-, {v_2}^-, \dots, {v_n}^- \}, \quad {v_j}^- = mín(v_{ij}) \text{ si el criterio es de beneficio}$$

A partir de estas referencias se calcula, para cada alternativa, su distancia euclídea respecto a la solución ideal positiva (${D_i}^+$) y respecto a la solución ideal negativa (${D_i}^-$):

$${D_i}^+ = \sqrt{\sum (v_{ij} - {v_j}^+)^2}$$

$${D_i}^- = \sqrt{\sum (v_{ij} - {v_j}^-)^2}$$

Finalmente, se calcula el coeficiente de cercanía relativa a la solución ideal, C_i, como el cociente entre la distancia a la solución ideal negativa y la suma de ambas distancias:

$$C_i = \frac{{D_i}^-}{({D_i}^+ + {D_i}^-)}$$

El coeficiente C_i toma valores entre 0 y 1. Un valor próximo a 1 indica que la alternativa se encuentra muy cerca de la solución ideal positiva y muy lejos de la negativa, es decir, que presenta un comportamiento globalmente favorable según los criterios considerados; un valor próximo a 0 indica lo contrario. Ordenando las alternativas de mayor a menor valor de C_i se obtiene el ranking final del método.

2.4 CUANTIFICACIÓN DE EMISIONES CO2 EVITADAS

Para cuantificar el impacto ambiental de las instalaciones, se estimaron las emisiones de CO_2 evitadas gracias al autoconsumo fotovoltaico. El enfoque habitual en ingeniería energética consiste en aplicar el factor de emisión del mix eléctrico nacional, que establece una equivalencia entre la energía eléctrica consumida y las emisiones de dióxido de carbono equivalente asociadas a su generación.

En este trabajo se utiliza el factor de emisión oficial del sistema eléctrico peninsular español publicado por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (2026), con un valor de 0,258 kg CO_2/kWh. La lógica es sencilla: cada kWh generado y consumido localmente desplaza la necesidad de activar generación de origen fósil, principalmente ciclos combinados de gas natural, evitando las emisiones asociadas.

Capítulo 3. ESTADO DE LA CUESTIÓN

3.1 AUTOCONSUMO FOTOVOLTAICO Y AHORRO ENERGÉTICO

Ordóñez Mendieta y Sánchez Hernández (2021) analizan el comportamiento de instalaciones fotovoltaicas de autoconsumo en edificios educativos y de oficinas en España y concluyen que la rentabilidad de estas instalaciones depende en gran medida del grado de autoconsumo alcanzado y de la coincidencia entre la producción fotovoltaica y el perfil de demanda del edificio. En los casos estudiados, el índice de autoconsumo directo oscila entre el 34 % y el 58 %, lo que pone de manifiesto la influencia que tiene el patrón de consumo sobre el aprovechamiento de la energía generada y, en consecuencia, sobre el ahorro energético y económico obtenido. Estos resultados son útiles, pero el estudio da por sentada la disponibilidad de curvas de carga horarias de un único propietario. La realidad de múltiples sedes dispersas, con facturas de distintas comercializadoras y formatos heterogéneos, no constituye el foco de este análisis.

Algo parecido ocurre con las auditorías post-instalación de carácter puramente técnico. Ayompe et al. (2011), en un análisis de instalaciones en Irlanda, miden con detalle la eficiencia de los componentes y las pérdidas de los equipos, concluyendo que el rendimiento real de una instalación puede diferir del esperado debido a las pérdidas del sistema y a las condiciones reales de operación. Es un hallazgo relevante pero la metodología requiere sistemas de monitorización que requieren personas con experiencia, que el Tercer Sector, en general, no tiene disponibles. Las entidades de Cáritas necesitan una metodología más accesible: una forma de comprobar, con las facturas disponibles, si los ahorros prometidos en los proyectos iniciales se han materializado.

3.2 AUTOCONSUMO Y DIMENSIÓN SOCIAL

Romero-Jordán y del Río (2022) analizan la eficiencia del consumo eléctrico de los hogares españoles mediante técnicas econométricas y concluyen que, aunque los niveles de eficiencia son generalmente elevados, existen diferencias significativas asociadas a factores socioeconómicos y a las características de las viviendas. El estudio pone de manifiesto que la mejora de la eficiencia energética no depende únicamente de la incorporación de tecnologías más eficientes, sino también de las condiciones particulares de cada consumidor, por lo que recomienda complementar las medidas tecnológicas con evaluaciones que permitan comprobar su impacto real. Estas conclusiones refuerzan la importancia de analizar el comportamiento de instalaciones en contextos específicos, más allá de las estimaciones teóricas o de los análisis agregados.

Asimismo, Lowitzsch y Hanke (2019) señalan que el autoconsumo renovable puede reducir entre un 25% y un 40% el gasto energético neto de consumidores vulnerables, entendido como la reducción de la factura final tras descontar la energía autoconsumida y, en su caso, la compensación o venta de excedentes. Este dato resulta relevante porque muestra el potencial económico del autoconsumo en contextos de vulnerabilidad, aunque el análisis se plantea desde una perspectiva principalmente teórica y agregada. No ofrece, por tanto, un modelo que permita a una organización con múltiples sedes comprobar si esos porcentajes se alcanzan en cada instalación concreta ni comparar el desempeño entre centros con condiciones distintas.

Esta relación entre autoconsumo y acción social tiene un reflejo directo en el convenio entre Fundación Naturgy y Cáritas (Fundación Naturgy, 2026). En el marco de esa colaboración se han instalado sistemas fotovoltaicos en centros residenciales de Cáritas con el objetivo de que el ahorro generado revierta en las personas atendidas. El fin no es solo energético: lo que se busca es que la reducción de la factura libere recursos que la entidad pueda destinar a su actividad social. Es precisamente en ese punto donde se enmarca este trabajo, que trata de verificar si ese ahorro se ha producido realmente y en qué medida.

3.3 LIMITACIONES DE LOS ENFOQUES EXISTENTES

La revisión de la literatura permite identificar dos limitaciones que aparecen de forma recurrente cuando se intenta aplicar los modelos existentes a organizaciones del Tercer Sector.

La primera es la dependencia de infraestructuras de monitorización avanzadas. Los métodos técnicos analizados (Ordóñez Mendieta & Sánchez Hernández, 2021; Ayompe et al., 2011) parten de curvas de carga horarias continuas o sistemas de telemedida que estas entidades no tienen. Además, requieren personal especializado en el ámbito energético, lo cual tampoco poseen. Los estudios revisados no ofrecen una solución específica para escenarios donde la única información disponible son facturas comerciales heterogéneas: emitidas por distintas comercializadoras, con formatos de desglose diferentes y periodos de facturación que no coinciden con meses naturales.

La segunda limitación tiene que ver con el nivel de análisis de los estudios socioeconómicos revisados. Los trabajos sobre vulnerabilidad energética (Romero-Jordán & del Río, 2022; Lowitzsch & Hanke, 2019) analizan el problema desde una perspectiva general, centrada en hogares, consumidores vulnerables o marcos regulatorios, pero no descienden al comportamiento concreto de instalaciones fotovoltaicas individuales. Por ello, aunque aportan un contexto útil sobre la relación entre energía, vulnerabilidad y reducción de costes, no ofrecen una herramienta que permita comparar, sede por sede, el ahorro real obtenido, la evolución del precio de la energía y la inversión realizada bajo un mismo convenio (Fundación Naturgy, 2026).

3.4 BRECHA IDENTIFICADA Y APORTACIÓN DEL TRABAJO

De la revisión realizada se desprende que hay literatura sobre autoconsumo fotovoltaico, sobre ahorro energético y sobre pobreza energética, pero no existe un enfoque que combine las tres desde los datos reales. Ninguno de los trabajos analizados evalúa, a partir de facturas, el impacto de instalaciones ya en funcionamiento en sedes de entidades sociales, ni plantea

una metodología para comparar ese impacto entre múltiples centros con información heterogénea. Esta es la brecha metodológica a la que pretende responder el presente trabajo.

Capítulo 4. DEFINICIÓN DEL TRABAJO

4.1 JUSTIFICACIÓN

La revisión del capítulo anterior muestra que el autoconsumo fotovoltaico puede contribuir a reducir el consumo de red y aliviar el coste energético de edificios y entidades. Pero conocer la potencia instalada o el ahorro que se estimó al inicio no es suficiente. Lo que este trabajo plantea es comprobar si, una vez puestas en funcionamiento las instalaciones fotovoltaicas, el ahorro energético y económico se ha producido realmente.

Esta necesidad es especialmente importante en entidades como Cáritas, donde el gasto eléctrico es un coste fijo que reduce los recursos disponibles para la atención social. El ahorro económico obtenido no solo supone una mejora de rentabilidad, sino una oportunidad para destinar el presupuesto a programas de ayuda, acogida o mejora de las condiciones de los centros.

Uno de los principales problemas detectados es la dificultad de trabajar con la información disponible. Las facturas eléctricas proceden de distintas comercializadoras con diferentes formatos y no siempre cubren meses naturales completos. Además, las sedes están repartidas en distintas provincias, con distintos perfiles de consumo y condiciones contractuales que en algunos casos cambiaron entre el periodo anterior y el posterior a la instalación. Una comparación directa de facturas, sin más, no daría resultados fiables.

A esto debe sumarse que el ahorro económico no depende solo del rendimiento de las placas. La factura puede cambiar por variaciones en el precio de la energía, cambios de comercializadora, modificaciones en la compensación de excedentes o diferencias en las potencias contratadas. El consumo también puede verse alterado por razones ajenas a la instalación o términos del contrato: cambios en la ocupación de los centros, reformas, nuevas necesidades de climatización o simplemente que un invierno fue más frío que otro. Por ello,

resulta necesario aplicar una metodología que ordene y contextualice los datos antes de sacar conclusiones.

La justificación de este trabajo se basa, por tanto, en la necesidad de transformar documentación energética dispersa en un modelo de análisis común. Para ello, se desarrolla un proceso que permite extraer datos de facturas, validarlos, convertirlos a una estructura mensual comparable e integrarlos en Power BI junto con variables externas como la temperatura y el precio de la energía. Esto permite evaluar el ahorro bruto observado, pero también identificar en qué medida ese resultado puede estar condicionado por factores externos.

El trabajo incluye además una comparación entre los resultados reales y las estimaciones de las propuestas iniciales de instalación. Antes de ejecutar cualquier proyecto de este tipo, se elaboran unas previsiones de ahorro que sirven para justificar la inversión. Este trabajo permite contrastar si esas previsiones se han cumplido, para poder orientar futuras propuestas de instalación.

Finalmente, el modelo desarrollado no se limita a una única sede, sino que se aplica a varios centros con información no uniforme. Esto permite construir una metodología que podría utilizarse en el futuro para analizar nuevas instalaciones fotovoltaicas en otras entidades sociales, por lo que el trabajo no solo permite evaluar el caso concreto de las sedes de Cáritas estudiadas, sino que también aporta una base práctica para futuras auditorías energéticas de proyectos similares.

4.2 OBJETIVOS

El objetivo principal de este trabajo es evaluar el impacto real de las instalaciones fotovoltaicas instaladas en distintas sedes de Cáritas, analizando si han contribuido a reducir el consumo eléctrico, el coste energético y, de forma indirecta, a mejorar la capacidad económica de las entidades para desarrollar su labor social y contribuir indirectamente a la atención de situaciones de pobreza energética.

Para ello, se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Recopilar y organizar la información disponible de cada sede: facturas eléctricas anteriores y posteriores a la instalación, documentación técnica de los proyectos y respuestas al formulario enviado a los centros.
- Emplear herramientas de Inteligencia Artificial como apoyo en la extracción y transformación de datos de facturas heterogéneas, manteniendo en todo caso una validación manual posterior que garantice la fiabilidad de la información.
- Transformar los datos originales de facturación en una estructura mensual comparable, que permita analizar de forma ordenada la evolución del consumo y del coste energético antes y después de la instalación de las placas solares.
- Construir un modelo en Power BI que integre los datos de facturación con variables externas, como la temperatura media mensual y los precios del mercado eléctrico, para contextualizar los resultados obtenidos.
- Calcular indicadores de ahorro energético y económico, distinguiendo entre el ahorro bruto observado en factura y el ahorro normalizado una vez descontados los efectos climáticos y las variaciones del precio de la energía.
- Contrastar los resultados reales con las estimaciones de las propuestas iniciales de instalación, con el fin de comprobar en qué medida las previsiones planteadas antes de ejecutar los proyectos se han cumplido en la práctica.
- Aplicar el método de análisis multicriterio TOPSIS, que permita clasificar las sedes según su desempeño global.
- Explorar la dimensión social del ahorro, recogiendo cómo los propios centros han percibido e interpretado la reducción del gasto eléctrico y qué uso han hecho de los recursos liberados.

- Proponer una metodología replicable que pueda servir como base para futuras evaluaciones de instalaciones fotovoltaicas en entidades sociales u organizaciones con características similares.

4.3 METODOLOGÍA

Para alcanzar los objetivos planteados, se ha seguido una metodología dividida en las siguientes fases:

1. **Recopilación de información**. Se envió un formulario a las sedes de Cáritas para recopilar facturas anteriores y posteriores a la instalación, documentación técnica, datos de generación disponibles y respuestas sobre cambios en el uso del centro e impacto social del ahorro.

2. **Extracción de datos de facturas**. Se utilizó Inteligencia Artificial como apoyo para extraer de las facturas las variables necesarias: fechas, consumos, costes energéticos, importes, excedentes, precios por periodo y potencias contratadas.

3. **Validación manual de la información**. Los datos extraídos se revisaron manualmente, comprobando especialmente la coherencia entre consumos, precios y coste energético variable, para corregir posibles errores de la extracción con IA antes de continuar el análisis.

4. **Prorrateo mensual de los datos**. La mayoría de facturas no coinciden con meses naturales, por lo que los consumos, importes y excedentes se redistribuyeron proporcionalmente para construir una serie mensual comparable entre sedes y periodos.

5. **Integración en Power BI**. La base mensual se cargó en Power BI junto con tablas auxiliares de sedes, calendario, temperaturas y precios del mercado eléctrico, creando un modelo relacional para el análisis.

6. **Cálculo de indicadores**. Se calcularon los ahorros de consumo y coste antes y después de la instalación, tanto en términos brutos como normalizados por clima y por variaciones del precio de la energía.

7. **Evaluación multicriterio de las sedes**. Se aplicó el método TOPSIS para clasificar las sedes según su desempeño global, combinando criterios energéticos, económicos, ambientales y de inversión.

8. **Comparación con propuestas iniciales**. En las sedes de las que se disponía de propuesta técnica previa, se contrastaron los resultados reales con las estimaciones de ahorro planteadas antes de ejecutar la instalación.

9. **Análisis del impacto social**. Finalmente, se analizaron las respuestas del formulario para valorar cómo los centros perciben el ahorro energético en la actividad social de las sedes y en la reinversión de recursos.

4.4 PLANIFICACIÓN Y ESTIMACIÓN ECONÓMICA

Las actividades principales realizadas durante el desarrollo del trabajo han sido las siguientes:

Enero 2026	Revisión del contexto del autoconsumo fotovoltaico, pobreza energética y evaluación de ahorros energéticos, junto con la búsqueda de bibliografía. Delimitación de los objetivos y el alcance del trabajo.
Febrero 2026	Creación del formulario de recopilación de información para las sedes de Cáritas.
Marzo 2026 – Mayo 2026	Recopilación y organización de facturas eléctricas, documentación técnica y respuestas cualitativas de las sedes.

Marzo 2026	Creación inicial del modelo en Power BI y del Excel base asociado para facilitar la carga posterior de datos.
Abril 2026	Búsqueda, tratamiento y carga de datos externos: temperaturas, grados-día y precios del mercado eléctrico.
Mayo 2026	Extracción, validación, homogeneización y transformación de los datos de facturación.
Mayo 2026	Carga de los datos definitivos, actualización del modelo y creación de visualizaciones para el análisis.
Mayo 2026 – Junio 2026	Aplicación del modelo y análisis de los resultados obtenidos.
Junio 2026	Interpretación de resultados, elaboración de conclusiones y redacción final de la memoria.

Tabla 2. Planificación temporal del trabajo desarrollado

Desde el punto de vista económico, el proyecto no ha supuesto una inversión específica ni la contratación de recursos externos, ya que se enmarca dentro de la realización de un Trabajo de Fin de Grado. El desarrollo se ha apoyado en herramientas ya disponibles para el estudiante, principalmente Excel y Power BI, por lo que el coste material del trabajo puede considerarse nulo. Esta elección permite, además, que la metodología propuesta pueda reproducirse fácilmente en otros estudios sin requerir herramientas de monitorización avanzadas o de difícil acceso.

Capítulo 5. SISTEMA/MODELO DESARROLLADO

El presente capítulo explica el modelo desarrollado para evaluar el impacto energético y económico de las instalaciones fotovoltaicas en las sedes de Cáritas. Para realizar la transformación de datos de las facturas a una base estructurada y comparable, se diseñó un flujo de trabajo compuesto por varias fases: recopilación de documentación, extracción de datos, validación, transformación mensual, integración en Power BI y cálculo de indicadores. El capítulo se centra en explicar la lógica y estructura del modelo, mientras que la interpretación de los resultados obtenidos se desarrolla posteriormente en el Capítulo 6.

5.1 ANÁLISIS DEL SISTEMA

El punto de partida del sistema es una información dispar: facturas de distintas comercializadoras, periodos de facturación que no coinciden con meses naturales, cambios tarifarios entre el periodo anterior y el posterior a la instalación de las placas, y niveles de detalle muy diferentes según la sede y la documentación recibida.

Por este motivo, el modelo debía cumplir tres requisitos principales. En primer lugar, debía permitir la extracción de los datos relevantes de cada factura. En segundo lugar, debía transformar dichos datos en una estructura mensual comparable entre sedes y periodos. Por último, debía integrar variables externas, como la temperatura media y el precio del mercado eléctrico, para contextualizar el análisis posterior.

Conviene aclarar que el sistema no está pensado para diseñar nuevas instalaciones ni para evaluar el rendimiento técnico interno de los equipos. Su función es construir una herramienta de medida y comparación a partir de los datos de facturación disponibles.

5.2 DISEÑO DEL MODELO

El diseño del modelo se plantea como un proceso por capas, en el que cada una prepara la información para la siguiente. El objetivo del diseño es garantizar que todas las sedes puedan analizarse bajo una estructura común. De este modo, el modelo permite calcular indicadores energéticos, económicos y climáticos uniformemente.

5.2.1 ARQUITECTURA GENERAL DEL MODELO

La arquitectura del modelo sigue un flujo secuencial. En primer lugar, se recopila la documentación de cada sede. A continuación, se extraen los datos de las facturas y se organizan en una base inicial en Excel. Posteriormente, esta información se valida, se transforma a una estructura mensual, en un nuevo Excel, y se carga en Power BI junto con las tablas auxiliares necesarias.

De forma esquemática, el modelo se organiza en las siguientes fases:

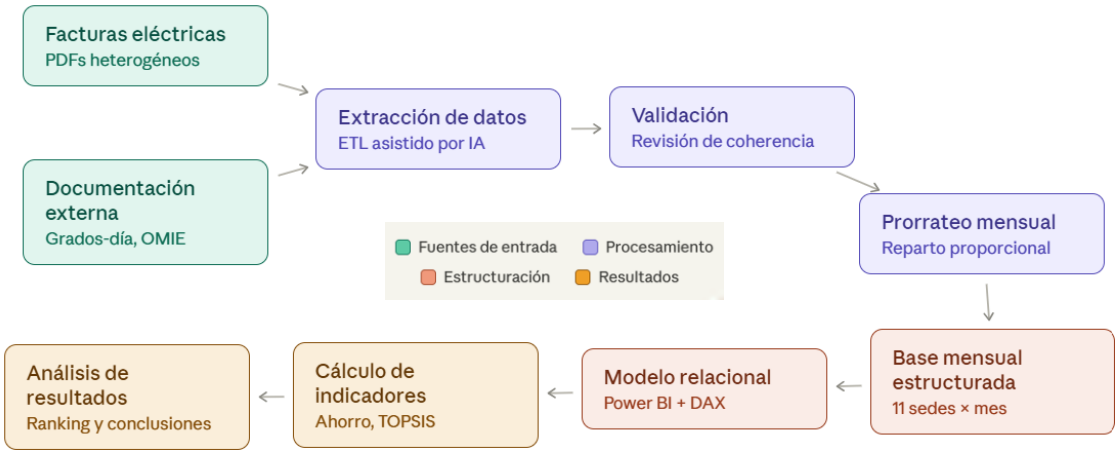


Figura 4. Arquitectura general del modelo

Esta arquitectura permite mantener la trazabilidad entre los documentos originales y los indicadores finales utilizados en el análisis.

5.2.2 RECOPILACIÓN DE DATOS

La recopilación de datos se realizó mediante un formulario de Google Forms enviado a las sedes de Cáritas incluidas en el estudio. El formulario solicitaba la identificación del centro, un año de facturas eléctricas del periodo anterior a la instalación fotovoltaica y un año, a poder ser, de facturas del periodo posterior. También se pidió documentación técnica de la instalación, como propuestas, proyectos, ofertas finales o certificados de instalación eléctrica con el fin de poder contrastar, en caso de que estuviera disponible, los resultados reales con las estimaciones iniciales del proyecto. Además, el formulario incluía preguntas sobre datos de generación y autoconsumo, posibles cambios en el perfil de consumo y sobre el impacto del ahorro energético en la actividad principal del centro, que se utilizó posteriormente para el análisis social del estudio. El formulario completo se incluye en el Anexo I del trabajo.

Junto con la información facilitada por las sedes, se incorporaron datos climáticos procedentes de AEMET. En concreto, se buscó la estación meteorológica más cercana a cada sede y se recopiló la temperatura media correspondiente a los meses y años de los que se disponía información de facturación eléctrica.

Por último, se obtuvieron los precios medios mensuales del mercado eléctrico de los informes anuales de OMIE (Operador del Mercado Ibérico de Energía), encargado de gestionar el mercado mayorista de electricidad en España y Portugal. Estas fuentes externas se utilizaron para contextualizar el comportamiento energético y económico de las sedes.

5.2.3 PROCESO ETL

Una vez recopilada la documentación, se diseñó un proceso ETL (del inglés Extract, Transform, Load) compuesto por cinco fases secuenciales: extracción de datos de las facturas, transformación y validación de la información obtenida, prorrateo mensual de los registros, y carga final en Power BI. Cada fase prepara la información para la siguiente y garantiza que todas las sedes puedan analizarse bajo una estructura común. Los procedimientos concretos aplicados en cada fase se describen en el apartado 5.3.

5.2.4 MODELO RELACIONAL EN POWER BI E INDICADORES DEFINIDOS

El modelo se diseñó en Power BI a partir de una tabla principal de facturación mensual, vinculada a tablas auxiliares de calendario, sedes, datos climáticos, precios del mercado eléctrico y producción esperada. Esta estructura permite relacionar cada registro mensual con su contexto temporal, geográfico, climático y económico. Las relaciones concretas entre tablas y la aplicación de los indicadores definidos sobre este modelo se desarrollan en el apartado 5.3. Los indicadores utilizados para el análisis se muestran en la siguiente tabla.

Indicador de evaluación	Tipo	Unidad	Descripción
Ahorro consumo bruto	Energético	%	Variación porcentual del consumo eléctrico tras la instalación fotovoltaica.
Ahorro consumo normalizado	Energético	%	Ahorro energético corregido mediante grados-día de calentamiento.
Ahorro coste bruto	Económico	%	Variación porcentual del coste energético entre los periodos anterior y posterior a la instalación.
Ahorro coste normalizado	Económico	%	Ahorro económico corregido utilizando el precio medio de la energía facturada.
Emisiones de CO_2 evitadas	Ambiental	kg CO_2	Estimación de las emisiones evitadas gracias al autoconsumo fotovoltaico.
Ahorro por euro invertido	Económico	%	Relación entre el ahorro obtenido y la inversión inicial realizada en la instalación.
Coeficiente TOPSIS	Multicriterio	—	Índice sintético utilizado para clasificar el rendimiento global de las sedes.
Desviación media entre consumo esperado y real	Validación	%	Diferencia porcentual media entre el consumo esperado según la propuesta inicial y el consumo realmente registrado.
Reutilización del ahorro económico	Social	Cualitativo	Identificación del destino dado por las sedes a los recursos liberados mediante el ahorro energético.

Tabla 3. Indicadores de evaluación utilizados en el modelo de análisis

5.3 IMPLEMENTACIÓN

Con el diseño del modelo definido, el siguiente paso fue llevarlo a la práctica. Esto implicó aplicar el flujo de trabajo descrito en el apartado anterior a la documentación real recibida de las sedes.

Este apartado no pretende describir la estructura del modelo, sino las acciones concretas realizadas para construirlo: los procedimientos aplicados, las decisiones tomadas durante el tratamiento de los datos y cómo se materializó el modelo relacional en Power BI. Los prompts utilizados para cada fase del proceso se recogen íntegramente en el Anexo II.

5.3.1 ETL MEDIANTE CLAUDE

El proceso ETL se implementó con el apoyo de Claude, herramienta de inteligencia artificial generativa empleada en dos fases concretas: la extracción inicial de datos desde las facturas eléctricas y el prorrateo mensual posterior. La elección de esta herramienta se debió a su capacidad para procesar documentos extensos, interpretar facturas con formatos diferentes y devolver la información en una estructura tabular definida previamente (Anthropic, 2025).

Conviene aclarar el papel que jugó Claude en el proceso: no se usó para interpretar resultados ni para sacar conclusiones sobre la eficiencia de las instalaciones. Su función fue estrictamente de tratamiento documental y en todo momento estuvo supervisada por una revisión humana posterior.

5.3.1.1 Extracción inicial de las facturas a Excel

La primera fase fue extraer la información relevante de las facturas recibidas en PDF y volcarla en un archivo Excel común. Para ello se elaboraron instrucciones específicas para Claude, indicando que cada factura debía traducirse en una fila del archivo de salida (Anexo II).

Las variables solicitadas fueron: sede, fecha de inicio y fecha de fin del periodo de facturación, número de días facturados, clasificación del periodo como anterior o posterior a la instalación fotovoltaica, consumo total, consumos por periodos horarios P1 a P6, coste

total de energía variable, importe total de la factura, excedentes, precios unitarios por periodo del término de energía variable y potencias contratadas por periodo. Esta estructura permitió unificar facturas procedentes de distintas comercializadoras en una misma base de datos inicial.

Las instrucciones también recogían criterios concretos para evitar los errores más habituales en la lectura de facturas. El más importante: diferenciar el coste energético variable de otros conceptos como potencia contratada, impuestos, alquiler de equipos o servicios adicionales. Asimismo, se especificó que los precios por periodo debían incluir los componentes del término de energía: peajes y cargos incluidos cuando aparecían desglosados en la factura.

5.3.1.1.1 Validación humana

Una vez obtenida la primera base de datos en Excel, se realizó una validación manual de la información extraída. Para ello, se añadió una columna de control en la que se calculaba el coste energético variable a partir de los consumos y precios unitarios de cada periodo, según la siguiente expresión:

$$C_{E_{calc}} = \sum_{i=1}^{6} E_i \cdot P_i$$

donde E_i es el consumo eléctrico del período horario en kWh y P_i el precio unitario del término de energía variable de dicho periodo en €/kWh.

Posteriormente, se comparaba este valor calculado con el coste energético variable extraído de cada factura mediante la IA. Cuando ambos valores no coincidían dentro de un margen razonable de redondeo definido en torno a 1€, la fila se revisaba manualmente contra la factura original.

Esta validación permitió detectar varios tipos de errores. En algunos casos, el consumo se había extraído de forma incorrecta, por ejemplo, al sumar energía reactiva o al interpretar mal la diferencia de contadores. En otros casos, el coste de energía se había copiado incluyendo conceptos que no correspondían, como impuestos u otros cargos. También se

detectaron errores en el cálculo del precio unitario de algunos periodos, especialmente cuando no se habían tenido en cuenta los componentes de energía facturada, peajes o cargos. Por último, en determinadas facturas se identificó la inclusión indebida del coste de potencia, cuando el análisis debía limitarse al término de energía variable.

Gracias a esta revisión, la base inicial de facturas pudo depurarse antes de pasar a la siguiente fase del proceso ETL.

5.3.1.2 Prorrateo mensual de las facturas

Una vez validada la base de datos factura a factura, se utilizó de nuevo Claude para realizar el prorrateo mensual de los datos. Esta fase era necesaria porque los periodos de facturación no coincidían siempre con meses naturales, mientras que el análisis posterior en Power BI requería una estructura mensual homogénea.

Para ello, se proporcionó a Claude el archivo Excel validado y se le indicó que transformara cada periodo de facturación en registros mensuales. El objetivo era que cada fila final representase una combinación única de sede, mes y año. Los consumos se calcularon a partir del consumo medio diario de cada factura y del número de días correspondientes a cada mes. Del mismo modo, el importe total de la factura y los excedentes se distribuyeron proporcionalmente según los días incluidos en cada mes. Las potencias contratadas se mantuvieron según los valores disponibles en la factura correspondiente (Anexo II).

El resultado fue una base mensual lista para integrarse en Power BI junto con los datos climáticos, los precios de mercado y las tablas de calendario.

5.3.1.2.1 Validación humana

Tras el prorrateo, se llevó a cabo una segunda revisión manual para comprobar que la transformación mensual se había realizado correctamente. Para ello, se seleccionaron diez combinaciones aleatorias de sede, mes y año, y se reprodujo manualmente el prorrateo a partir del Excel inicial de facturas ya validado.

La revisión consistió en calcular manualmente, para cada caso seleccionado, qué parte de la factura correspondía al mes analizado en función del número de días incluidos en dicho periodo. A partir de este criterio se comprobaron los consumos mensuales prorrateados, así como la distribución proporcional de importes y excedentes cuando correspondía.

Los valores obtenidos manualmente se compararon con los generados por Claude en la base mensual. En los diez casos revisados, los resultados coincidieron con el criterio de prorrateo definido, por lo que se consideró validado el procedimiento aplicado para transformar la base factura a factura en una base mensual.

5.3.2 CARGA E INTEGRACIÓN DE DATOS EN POWER BI

Con la base mensual validada, el siguiente paso fue cargarla en Power BI e integrarla con el resto de fuentes de información necesarias para el análisis: información de las sedes, calendario, datos climáticos, precios del mercado eléctrico y producción esperada recogida en las propuestas iniciales disponibles.

La tabla principal del modelo es la base mensual de facturación, generada a partir del proceso de prorrateo descrito anteriormente. Esta tabla contiene, para cada sede y mes, las principales variables energéticas y económicas extraídas de las facturas: consumo total, consumos por periodos horarios, coste energético variable, importe total, excedentes, precio medio, potencias contratadas y clasificación del periodo como anterior o posterior a la instalación fotovoltaica.

Junto a esta tabla principal se incorporaron varias auxiliares. En primer lugar, se creó una tabla de calendario, utilizada para ordenar los registros por mes y año y permitir el uso de diferentes medidas asociadas a cada fecha. En segundo lugar, se incorporó la tabla “Mapeo sedes” cuyo objetivo es relacionar el nombre de cada sede con su estación meteorológica más cercana y consecuentemente con los datos climáticos procedentes de AEMET. También se integró una tabla climática mensual, a partir de la cual se incorporó la temperatura media de cada mes. Además, se cargó una tabla de precios mensuales del mercado eléctrico procedentes de OMIE, para contextualizar la evolución del precio medio facturado en

algunos casos. Por último, se añadió una tabla de producción esperada para las sedes en las que se disponía de propuestas iniciales de instalación (Ciudad Real, Gandía, Cuenca, Salamanca y Pontevedra), con la que poder comparar posteriormente el consumo real tras la instalación con las previsiones del proyecto.

Las relaciones entre tablas se establecieron a través de campos comunes: sede, mes, año, fecha mensual e indicativo de estación meteorológica. Esta estructura mantiene separadas las fuentes originales, evita duplicidades y permite aplicar filtros de forma coherente en todo el modelo. La Figura 5 muestra el esquema relacional resultante implementado en Power BI.

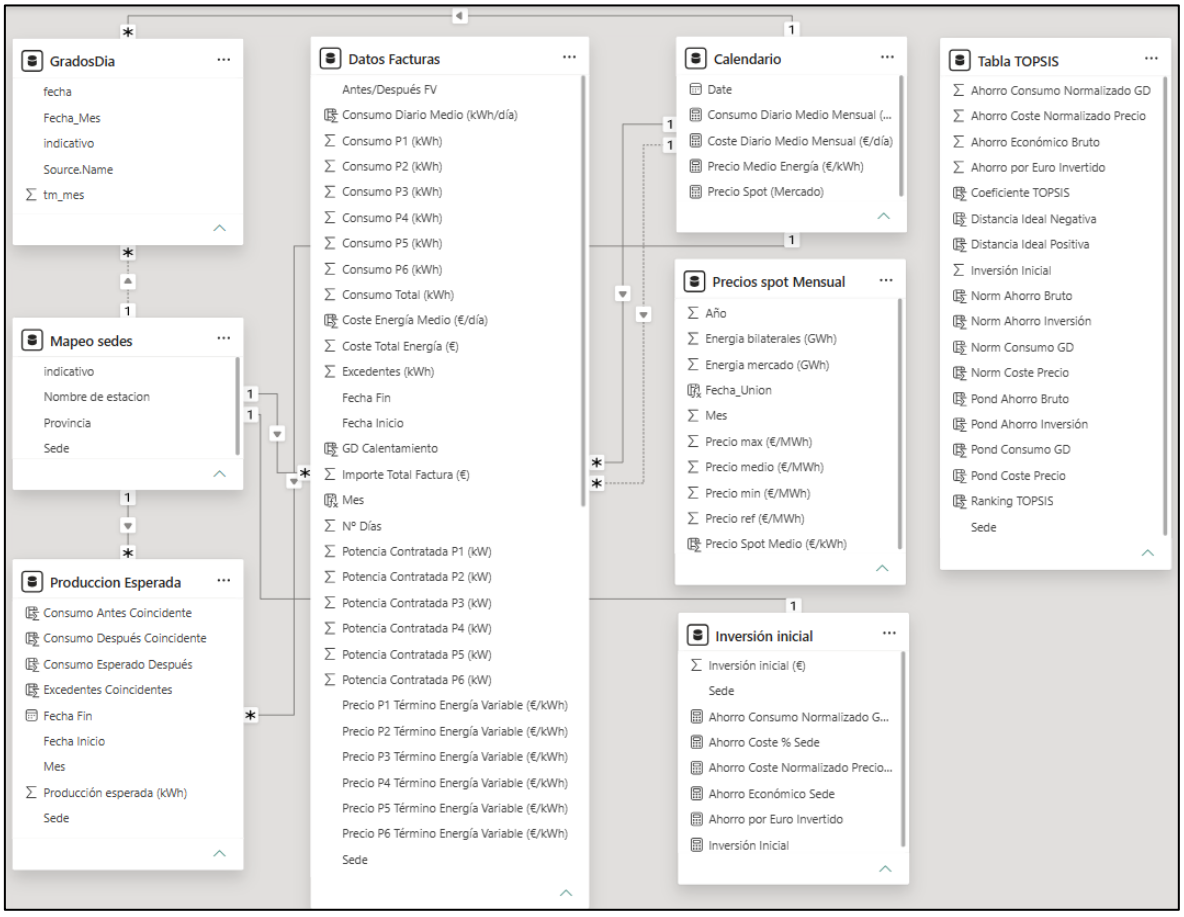


Figura 5. Modelo relacional del sistema de análisis implementado en Power BI

Sobre este modelo se construyeron después las medidas DAX que calculan los indicadores del análisis. Además de las medidas principales que se describen en los apartados siguientes,

fue necesario crear otras auxiliares para garantizar el correcto funcionamiento de filtros, relaciones y cálculos intermedios. Estas no son indicadores finales sino piezas de soporte del modelo.

5.3.3 IMPLEMENTACIÓN DEL ANÁLISIS ENERGÉTICO

Una vez cargados los datos en Power BI, se implementaron las medidas necesarias para evaluar el comportamiento energético de cada sede antes y después de la instalación. El objetivo de este bloque es cuantificar la reducción del consumo eléctrico procedente de la red y comprobar si esa reducción se mantiene al corregir las diferencias climáticas entre los periodos comparados.

El análisis energético se estructuró en dos niveles. Por un lado, se calculó el ahorro de consumo bruto, comparando directamente el consumo mensual anterior y posterior. En segundo lugar, se calculó aplicando a este ahorro la normalización climática mediante grados-día de calentamiento, con el fin de ajustar el consumo posterior a las condiciones térmicas del periodo anterior.

5.3.3.1 Medidas de ahorro de consumo bruto

El primer indicador implementado fue el ahorro calculado a partir de los consumos brutos después y antes de la instalación de las placas. Se utilizó esta fórmula:

$$\%\ Ahorro\ Consumo\ Bruto = \frac{Consumo_{Antes} - Consumo_{Después}}{Consumo_{Antes}} \cdot 100$$

Para su implementación en el modelo, se crearon dos medidas DAX que filtran la tabla de facturación mensual según la clasificación del periodo como “Antes” o “Después” de la instalación. Por un lado, el ahorro absoluto de consumo medido en kWh y, por otro lado, el ahorro de consumo porcentual. El código implementado es el siguiente:

```
Ahorro Consumo Bruto kWh =
[Consumo Bruto Antes] - [Consumo Bruto Después]

Ahorro Consumo Bruto % =
```

```
DIVIDE(
    [Ahorro Consumo Bruto kWh],
    [Consumo Bruto Antes]
) * 100
```

Estas dos medidas permiten comparar, para cada sede y mes, el consumo registrado antes de la instalación con el registrado tras la puesta en marcha de las placas.

5.3.3.2 Normalización climática mediante grados-día de calentamiento

Para evitar que la comparación de consumos estuviera condicionada por diferencias de temperatura entre los periodos comparados, se incorporó una normalización climática basada en grados-día de calentamiento. A partir de la formulación descrita en el apartado 2.1.2, se implementó en Power BI la siguiente columna calculada:

```
GD Calentamiento =
'Datos Facturas'[Nº Días] *
MAX(0, 18 - 'Datos Facturas'[Temperatura Media Mes])
```

Posteriormente, se calculó un factor de ajuste climático que compara los grados-día del periodo anterior con los del periodo posterior. Esta decisión se debe a que, cuando los grados-día son muy bajos, pequeños cambios en la temperatura media pueden generar factores de corrección desproporcionados, aunque en la práctica la demanda de calefacción del edificio sea poco significativa. Para evitarlo, el factor solo se aplica cuando ambos periodos superan un umbral mínimo de 50 grados-día:

```
Factor GD Calentamiento =
VAR GD_Antes = [GD Calentamiento Antes]
VAR GD_Despues = [GD Calentamiento Después]
RETURN
IF(
    GD_Antes > 50 && GD_Despues > 50,
    DIVIDE(GD_Antes, GD_Despues),
    1
)
```

A partir de este factor, se calculó el consumo posterior normalizado por temperatura, aplicando el coeficiente de sensibilidad climática del 47% justificado en el apartado 2.1.1:

$$Consumo_{Después\ Norm\ (GD)} = Consumo_{Después} \cdot \left[1 + 0{,}47 \cdot \left(\frac{GD_{Antes}}{GD_{Después}} - 1\right)\right]$$

```
Consumo Después Normalizado GD =
VAR Alfa = 0.47
VAR Factor = [Factor GD Calentamiento]
RETURN
[Consumo Bruto Después] * (1 + Alfa * (Factor - 1))
```

Finalmente, se calculó el ahorro de consumo normalizado por grados-día:

$$\%\ Ahorro\ Consumo\ Norm\ (GD) = \frac{Consumo_{Antes} - Consumo_{Después\ Norm\ (GD)}}{Consumo_{Antes}} \cdot 100$$

```
Ahorro Consumo Normalizado GD % =
DIVIDE(
    [Consumo Bruto Antes] - [Consumo Después Normalizado GD],
    [Consumo Bruto Antes]
) * 100
```

Esta medida permite comparar el consumo anterior con el consumo posterior ajustado a las condiciones climáticas del periodo base, ofreciendo una lectura más homogénea del ahorro energético asociado a la instalación fotovoltaica.

5.3.3.3 Cuantificación de emisiones de CO_2 evitadas

Para incorporar una dimensión ambiental al modelo, se implementó en Power BI una medida que convierte el ahorro de consumo eléctrico en emisiones de CO_2 evitadas, aplicando el factor oficial del MITECO de 0,258 kg CO_2/kWh (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2026):

$$CO_2\ \text{Evitado}\ (kg) = (\text{Ahorro Consumo Bruto} + \text{Excedentes Compensados}) \times 0{,}258$$

La medida parte de que en las sedes cuyo contrato no contempla compensación de excedentes, la energía solar sobrante no se vierte a la red. Al no desplazar generación fósil, no tiene efecto ambiental real, pese a que se haya producido más de lo que se ha consumido. Por eso el modelo calcula las emisiones evitadas únicamente a partir del ahorro neto de consumo de red, y no de la producción fotovoltaica total. Las sedes sin compensación de excedentes quedan así penalizadas de forma natural por esa limitación contractual.

5.3.4 IMPLEMENTACIÓN DEL ANÁLISIS ECONÓMICO

Junto al análisis energético, se implementaron en Power BI las medidas necesarias para evaluar el impacto económico de las instalaciones. La reducción del coste energético es relevante no solo en términos de ahorro, sino porque puede liberar recursos que las sedes destinen a su actividad social, que es el objetivo del convenio entre Fundación Naturgy y Cáritas.

El análisis se estructuró en dos niveles: el ahorro de coste bruto, comparando directamente el coste energético variable antes y después de la instalación; y una normalización por precio, para separar el efecto de la reducción del consumo del efecto provocado por la variación del precio de la energía entre periodos.

5.3.4.1 Medidas de ahorro de coste bruto

El primer indicador económico implementado fue el coste energético bruto antes y después de la instalación. Para ello, se utilizaron los importes correspondientes al término de energía variable extraídos de las facturas, excluyendo otros conceptos como potencia contratada, impuestos, alquiler de equipos u otros cargos adicionales.

El ahorro de coste bruto se calculó mediante la siguiente expresión y se implementó con el código posterior:

$$\%\ Ahorro\ Coste\ Bruto = \frac{Coste_{Antes} - Coste_{Después}}{Coste_{Antes}} \cdot 100$$

```
Ahorro Coste Bruto € =
[Coste Bruto Antes] - [Coste Bruto Después]

Ahorro Coste Bruto % =
DIVIDE(
    [Ahorro Coste Bruto €],
    [Coste Bruto Antes]
) * 100
```

Este indicador permite conocer la variación real del coste energético soportado por cada sede tras la instalación fotovoltaica. Sin embargo, al tratarse de un valor económico, puede verse afectado no solo por la reducción del consumo, sino también por cambios en el precio de la energía entre el periodo anterior y posterior.

5.3.4.2 Normalización por precio de la energía

Para aislar el efecto del precio de la energía, se implementó una medida de coste posterior normalizado que estima cuánto habría costado el consumo posterior si se hubiese facturado al precio medio del periodo anterior.

En un primer momento se valoró una normalización más detallada por periodos horarios, multiplicando el consumo posterior de cada tramo P1-P6 por el precio equivalente del periodo anterior. Esta opción se descartó porque no todas las facturas incluían precios para todos los periodos y los tramos temporales antes y después no siempre coincidían. Se optó por el precio medio facturado como referencia común, aplicable de forma homogénea a todas las sedes.

En primer lugar, se calculó el precio medio facturado de la energía en el periodo anterior:

```
Precio Medio Energía Antes =
DIVIDE(
    [Coste Bruto Antes],
    [Consumo Bruto Antes]
)
```

A continuación, se estimó el coste posterior normalizado por precio:

$$Coste_{Después\ Norm\ (€)} = [Consumo_{Después}] \cdot [Precio_{Medio\ Energía\ Antes}]$$

Finalmente, se calculó el ahorro de coste normalizado por precio:

$$\%\ Ahorro\ Coste\ Norm\ (€) = \frac{Coste_{Antes} - Coste_{Después\ Norm\ (€)}}{Coste_{Antes}} \cdot 100$$

```
Ahorro Coste Normalizado Precio % =
DIVIDE(
    [Coste Bruto Antes] - [Coste Después Normalizado Precio],
    [Coste Bruto Antes]
) *100
```

El resultado es una comparación del coste anterior frente a un coste posterior calculado bajo el mismo precio de referencia, lo que permite ver qué parte del ahorro económico se explica por la reducción del consumo y qué parte por la evolución del precio de la energía.

Debe tenerse en cuenta que, al aplicar el mismo precio medio de referencia al consumo posterior, el ahorro de coste normalizado por precio coincide con el ahorro de consumo bruto. Esto se debe a que la normalización elimina el efecto de la variación del precio y convierte el análisis económico en una comparación basada principalmente en la energía consumida. Por ello, esta medida no sustituye al ahorro de coste bruto, sino que lo complementa y ayuda a interpretar si la variación económica observada se debe al efecto de las placas solares o a cambios en el precio de la energía.

5.3.5 MÉTODO TOPSIS

Para completar el análisis comparativo entre sedes, se implementó el método TOPSIS dentro del modelo de Power BI, cuyo objetivo es obtener una clasificación global que sintetice el comportamiento conjunto de las sedes a partir de criterios energéticos, económicos, ambientales y de inversión. El fundamento teórico de este método se describe en el capítulo 2.

5.3.5.1 Selección y ponderación de criterios de evaluación

Los criterios utilizados en el modelo se recogen en la Tabla 4. Todos se tratan como criterios de beneficio (un valor mayor implica mejor resultado), lo que simplifica la aplicación del método al no ser necesario invertir ninguno de ellos.

Criterio	**Peso**	**Tipo**
Ahorro de consumo normalizado por grados-día	30%	Beneficio
Ahorro de coste normalizado por precio	30%	Beneficio
Emisiones de CO_2 evitadas	25%	Beneficio
Ahorro económico por euro invertido	15%	Beneficio

Tabla 4. Criterios, pesos y tipo de optimización empleados en el método TOPSIS

Los dos primeros criterios reciben el mayor peso porque están directamente relacionados con el objetivo principal del trabajo: evaluar si las instalaciones fotovoltaicas han reducido el consumo energético y el coste asociado, corrigiendo además factores externos como la temperatura y la variación del precio de la energía. La reducción de emisiones de CO_2 recibe un peso del 25%, ya que representa el impacto ambiental absoluto de cada instalación y permite cuantificar la descarbonización real conseguida por la sede. Finalmente, el ahorro por euro invertido recibe un peso del 15%. Aunque permite evaluar la eficiencia de la inversión realizada, su peso es menor porque las instalaciones no fueron financiadas directamente por Cáritas, por lo que el análisis prioriza el efecto conseguido en las sedes frente a la recuperación económica de la inversión.

5.3.5.2 Implementación en Power BI

La implementación se construyó sobre una tabla específica del modelo: la Tabla TOPSIS, donde cada fila corresponde a una sede y cada columna a uno de los cuatro criterios. Esta tabla toma los valores directamente de las medidas DAX ya descritas en los apartados

anteriores, sin necesidad de duplicar ningún cálculo, sino únicamente referenciar las medidas existentes para cada sede.

A partir de esta tabla se crearon de forma encadenada las medidas necesarias para reproducir el procedimiento de cálculo del método. Dado que el procedimiento se repite de forma idéntica para los cuatro criterios, cambiando únicamente el indicador de origen y el peso aplicado, se muestra a continuación el código completo correspondiente al criterio de ahorro de coste normalizado por precio. El mismo código se aplicó al resto de criterios, sustituyendo la consulta y el peso correspondientes en cada caso.

En primer lugar, se normalizaron los valores de cada criterio respecto al resto de criterios:

```
Norm Coste Precio =
DIVIDE(
    'Tabla TOPSIS'[Ahorro Coste Normalizado Precio],
    SQRT(
        SUMX(
            ALL('Tabla TOPSIS'),
            POWER('Tabla TOPSIS'[Ahorro Coste Normalizado Precio], 2)
        )
    )
)
```

A continuación, se aplicó a cada valor normalizado el peso correspondiente definido en el apartado anterior:

```
Pond Coste Precio =
'Tabla TOPSIS'[Norm Coste Precio] * 0.30
```

Una vez obtenida la matriz normalizada y ponderada, se calculó directamente la distancia de cada sede a la solución ideal positiva y a la solución ideal negativa, obteniéndose, para cada criterio, el mejor y el peor valor ponderado entre todas las sedes mediante las funciones MAXX y MINX sobre la totalidad de la tabla, y comparándolo en cada caso con el valor correspondiente a la sede evaluada:

```
Distancia Ideal Positiva =
SQRT(
    POWER('Tabla TOPSIS'[Pond Consumo GD] - MAXX(ALL('Tabla TOPSIS'), 'Tabla
TOPSIS'[Pond Consumo GD]), 2)
    + POWER('Tabla TOPSIS'[Pond Coste Precio] - MAXX(ALL('Tabla TOPSIS'), 'Tabla
TOPSIS'[Pond Coste Precio]), 2)
    + POWER('Tabla TOPSIS'[Pond CO2 Evitado] - MAXX(ALL('Tabla TOPSIS'), 'Tabla
TOPSIS'[Pond CO2 Evitado]), 2)
    + POWER('Tabla TOPSIS'[Pond Ahorro Inversión] - MAXX(ALL('Tabla TOPSIS'), 'Tabla
TOPSIS'[Pond Ahorro Inversión]), 2)
)


Distancia Ideal Negativa =
SQRT(
    POWER('Tabla TOPSIS'[Pond Consumo GD] - MINX(ALL('Tabla TOPSIS'), 'Tabla
TOPSIS'[Pond Consumo GD]), 2)
    + POWER('Tabla TOPSIS'[Pond Coste Precio] - MINX(ALL('Tabla TOPSIS'), 'Tabla
TOPSIS'[Pond Coste Precio]), 2)
    + POWER('Tabla TOPSIS'[Pond CO2 Evitado] - MINX(ALL('Tabla TOPSIS'), 'Tabla
TOPSIS'[Pond CO2 Evitado]), 2)
    + POWER('Tabla TOPSIS'[Pond Ahorro Inversión] - MINX(ALL('Tabla TOPSIS'), 'Tabla
TOPSIS'[Pond Ahorro Inversión]), 2)
)
```

Finalmente, se obtuvo el coeficiente de cercanía a la solución ideal mediante la relación entre la distancia a la solución ideal negativa y la suma de ambas distancias:

```
Coeficiente TOPSIS =
DIVIDE(
    'Tabla TOPSIS'[Distancia Ideal Negativa],
    'Tabla TOPSIS'[Distancia Ideal Positiva] + 'Tabla TOPSIS'[Distancia Ideal Negativa]
)
```

El coeficiente TOPSIS toma valores entre 0 y 1. Cuanto más próximo sea el valor a 1, mayor será la cercanía de la sede a la solución ideal y mejor su desempeño global según los criterios seleccionados. A partir de este coeficiente se construyó una medida de ranking que ordena las sedes de mayor a menor puntuación:

```
Ranking TOPSIS =
```

```
RANKX(
    ALL('Tabla TOPSIS'),
    'Tabla TOPSIS'[Coeficiente TOPSIS],
    ,
    DESC,
    Dense
)
```

Esta implementación permite integrar el análisis multicriterio dentro del propio modelo de datos y visualizar de forma clara, mediante una tabla en el informe, qué sedes presentan un comportamiento general más favorable.

5.3.6 COMPARACIÓN CON PROPUESTAS PREVIAS A LA INSTALACIÓN

Además de los indicadores energéticos, económicos y multicriterio, el modelo incorpora una comparación entre el consumo real posterior a la instalación y las estimaciones de las propuestas iniciales. Esta comparación solo fue posible en las cinco sedes de las que se disponía información sobre la producción fotovoltaica mensual prevista o estimada antes de la instalación.

El objetivo de este análisis es comprobar si el consumo real registrado después de la instalación se aproxima al consumo que cabría esperar según la producción fotovoltaica estimada inicialmente. Para ello, se parte del consumo anterior a la instalación y se descuenta la parte de energía que la instalación fotovoltaica debería cubrir. El matiz importante es que no toda la producción fotovoltaica reduce directamente el consumo de red, ya que una parte puede convertirse en excedente, por lo que deben sumarse al consumo esperado. La fórmula utilizada es:

$$Producción\ FV = Autoconsumo\ FV + Excedentes$$

Y, sustituyendo en la comparación:

$$Consumo_{Esperado\ Después} = Consumo_{Antes} - Autoconsumo_{FV}$$

$$Consumo_{Esperado\ Después} = Consumo_{Antes} - Producción_{FV} + Excedentes$$

En las sedes cuyo contrato no contempla compensación de excedentes, la energía sobrante no se vierte a la red y no se compensa, perdiéndose así en forma de calor. En esos casos los excedentes aparecen como cero, y cuando la producción mensual estimada supera el consumo de referencia, el consumo esperado puede llegar a cero.

La comparación tiene un carácter aproximado, ya que trabaja con valores mensuales. Para conocer con precisión el aprovechamiento real de la producción fotovoltaica harían falta curvas horarias de generación y consumo. Aun así, el cálculo ofrece una referencia útil para contrastar las previsiones iniciales con los datos reales de facturación.

Capítulo 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Este capítulo recoge los resultados obtenidos a partir del modelo desarrollado en Power BI y los interpreta teniendo en cuenta las condiciones reales de cada sede. El objetivo es evaluar qué impacto han tenido las instalaciones fotovoltaicas en el consumo y el coste eléctrico de los centros de Cáritas analizados. Para ello, se han creado diferentes visualizaciones en el modelo que muestran adecuadamente los principales resultados obtenidos.

Los resultados no se presentan solo como cifras: el objetivo es interpretarlos con criterio, reconociendo las limitaciones de los datos disponibles, la disparidad entre facturas y las hipótesis adoptadas durante el tratamiento de la información.

6.1 ANÁLISIS ENERGÉTICO DE LAS INSTALACIONES

El análisis energético parte de dos tablas: el porcentaje de ahorro en consumo bruto y el porcentaje de ahorro en consumo normalizado por grados-día de calentamiento. Ambas medidas se definieron en el capítulo anterior.

El ahorro bruto compara directamente el consumo antes y después de la instalación, mientras que la versión normalizada introduce una corrección climática para reducir el efecto de las diferencias de temperatura entre periodos. Esta segunda medida no está pensada para mejorar los resultados, sino para aislar un factor externo que puede distorsionar la lectura del ahorro real y ofrecer una explicación a casos en los que el consumo bruto no ha evolucionado como cabría esperar.

Para facilitar la interpretación visual de los resultados, se aplicó una escala de colores basada en distintos umbrales de ahorro. Los valores positivos se representan en tonos verdes, ya que indican una reducción del consumo eléctrico tras la instalación fotovoltaica. Se considera especialmente relevante el umbral del 25%, al representar un ahorro mensual significativo, mientras que los valores superiores al 50% se destacan en verde intenso al reflejar

reducciones superiores a la mitad del consumo respecto al periodo anterior. Por el contrario, los valores negativos se representan en tonos rojizos, ya que indican que el consumo posterior a la instalación de las placas fue superior al consumo anterior. En este caso, se considera que un ahorro inferior a -15% supone un aumento relevante del consumo, mientras que valores inferiores a -50% se marcan en rojo intenso por tratarse de desviaciones especialmente críticas que requieren un análisis específico. Estos umbrales no provienen de ninguna norma externa; son un criterio interno de interpretación diseñado para identificar rápidamente los meses y sedes con resultados más favorables o más problemáticos.

6.1.1 AHORRO ENERGÉTICO PORCENTUAL BRUTO POR SEDE

Sede	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	Total
Cáritas Ávila PV, Ávila	10,80	12,81	27,17	33,00	35,54	21,91	64,42	61,80	50,64	28,20	21,04	21,14	**33,79**
Casa Abraham, Ciudad Real	8,45								20,36	40,57	31,85	17,64	**23,54**
Casa de acogida para mujeres, Vic	20,56	39,27	42,86				-231,32	-111,64	-18,22	66,05	79,42	65,47	**12,98**
Casa Familiar Santa Zita, Madrid	-0,81	7,41	25,40	41,94									**18,10**
Centro de acogida San Francisco de Borja, Gandía	39,77	36,12	33,36		41,81		67,57	48,94	49,89	49,73	49,86	41,94	**47,15**
Centro de rehabilitación San Román, Zamora	-7,21	11,21	31,34	33,79	24,89	22,75	8,93	7,75	17,79		-15,76	-3,04	**13,33**
Centro diocesano de Cuenca, Cuenca	34,19	26,92	35,89	43,79	46,77	44,14	46,30	29,92	22,87	25,21	27,65	-1,77	**31,70**
Centro Padre Damián, Salamanca	33,28	37,89	51,19	35,52	40,25		59,01	41,75	43,31	39,33	33,89		**42,03**
Centro San Francisco Javier, Pontevedra	18,49	33,04	25,69				22,90	20,03	14,35	14,93	0,03	12,79	**19,17**
Cerro de la Mica, Madrid	-25,60	-25,43	15,65	18,52	13,21	-41,12	-17,15	-25,30	-0,51	10,36	-18,60	-18,72	**-9,70**
Fenelón, Madrid	-12,72	2,03	-34,86	13,68	28,33	9,13	31,73	19,46	23,69	26,98	-2,49	-9,67	**7,90**

Ahorro ≥ 50 % | 50 > Ahorro ≥ 25 % | 25 > Ahorro > 0 % | 0 > Ahorro > -15 % | -15 ≥ Ahorro > -50 % | Ahorro ≤ -50 %

Tabla 5. Ahorro energético porcentual bruto por sede y mes

En términos generales, la tabla de ahorro bruto muestra un resultado general favorable: la mayoría de sedes y meses aparecen en verde, lo que confirma que el consumo eléctrico se redujo tras la instalación de las placas en la mayor parte de los casos.

En concreto, algunas de las instalaciones presentan reducciones destacables, como el Centro de acogida San Francisco de Borja, en Gandía, con un ahorro bruto total del 47,15 %, el Centro Padre Damián, en Salamanca, con un 42,03 %, Cáritas Ávila PV, con un 33,79 %, o el Centro diocesano de Cuenca, con un 31,70 %.

También se observan sedes con ahorros positivos, pero más moderados, como Casa Abraham, con un 23,54 %, Casa Familiar Santa Zita, con un 18,10 %, Zamora, con un 13,33 %, Vic, con un 12,98 %, o Fenelón, con un 7,90 %. En estos casos, la instalación parece

haber contribuido a reducir el consumo, aunque con menor intensidad que en las sedes anteriores, lo cual será analizado más adelante.

El caso que se sale del patrón es Cerro de la Mica, con un ahorro bruto total negativo del -9,70%. Esto significa que en el periodo posterior a la instalación el consumo fue superior al anterior, un resultado que no se corresponde con el efecto esperado de una instalación fotovoltaica y que merece un análisis más detallado.

6.1.2 EFECTO DE LA NORMALIZACIÓN CLIMÁTICA

Sede	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	Total
Cáritas Ávila PV, Ávila	5,93	16,69	29,27	38,25	35,54	21,91	64,42	61,80	50,64	19,16	23,49	11,70	**31,95**
Casa Abraham, Ciudad Real	12,98								20,36	40,57	42,53	14,66	**25,52**
Casa de acogida para mujeres, Vic	25,08	35,07	42,46				-231,32	-111,64	-18,22	66,05	82,54	62,63	**14,11**
Casa Familiar Santa Zita, Madrid	1,56	4,23	29,17	41,94									**16,95**
Centro de acogida San Francisco de Borja, Gandía	29,55	35,23	33,36		41,81		67,57	48,94	49,89	49,73	49,86	52,44	**50,14**
Centro de rehabilitación San Román, Zamora	-5,45	6,32	35,11	44,17	24,89	22,75	8,93	7,75	17,79		-9,11	11,71	**19,17**
Centro diocesano de Cuenca, Cuenca	23,38	27,74	35,89	34,24	46,77	44,14	46,30	29,92	22,87	26,46	5,52	2,89	**27,08**
Centro Padre Damián, Salamanca	35,35	39,08	54,93	36,76	28,42		59,01	41,75	43,31	39,33	40,39		**44,51**
Centro San Francisco Javier, Pontevedra	18,49	37,52	21,81				22,90	20,03	14,35	14,93	2,16	11,68	**20,14**
Cerro de la Mica, Madrid	-33,04	-19,25	23,94	17,56	13,21	-41,12	-17,15	-25,30	-0,51	10,36	-8,02	-22,00	**-11,54**
Fenelón, Madrid	-23,48	0,94	-20,46	14,64	28,33	9,13	31,73	19,46	23,69	26,98	1,52	-14,04	**4,54**

Ahorro ≥ 50 % | 50 > Ahorro ≥ 25 % | 25 > Ahorro > 0 % | 0 > Ahorro > -15 % | -15 ≥ Ahorro > -50 % | Ahorro ≤ -50 %

Tabla 6. Ahorro energético porcentual normalizado por grados-día por sede y mes

La normalización climática mediante grados-día de calentamiento permite comprobar si parte de las diferencias de consumo entre el periodo anterior y posterior puede explicarse por variaciones de temperatura. Era esperable que esta corrección no cambiase de forma radical los resultados ni los mejorase necesariamente, sino que sirviese para eliminar parcialmente un factor externo que puede afectar al consumo eléctrico en los meses con mayor demanda de calefacción.

Si se promedia el ahorro obtenido por cada sede, el resultado pasa del 21,82% en consumo bruto al 22,05% normalizado por grados-día. La diferencia entre ambos valores es mínima, lo que confirma que la corrección climática apenas altera el resultado: el clima no es el factor que explica las diferencias de comportamiento observadas entre sedes.

Los cambios más notables se concentran, como cabría esperar, en enero, febrero, marzo, noviembre y diciembre, que son los meses con mayor demanda potencial de calefacción y donde las diferencias de temperatura entre años tienen más peso sobre el consumo.

La comparación entre la tabla bruta y la normalizada resulta útil para interpretar casos concretos. Cuando la normalización mejora el porcentaje de ahorro, indica que el periodo posterior estuvo condicionado por temperaturas más desfavorables que el anterior. Cuando lo reduce, sugiere que parte del ahorro bruto se debía a unas condiciones climáticas más suaves tras la instalación, no al efecto de las placas.

6.1.3 CASOS DESTACABLES

Uno de los casos más llamativos es el de la Casa de acogida para mujeres de Vic. En julio y agosto los ahorros brutos registrados son de -231,32% y -111,64% respectivamente, y en septiembre el resultado sigue siendo negativo, aunque bastante menos acusado (-18,22%). Resulta especialmente relevante que en octubre el ahorro pasa a ser positivo, un 66,05%, en apenas unos meses y que esta tendencia se mantenga durante el resto del año. La normalización climática apenas altera estos valores, por lo que las diferencias de temperatura no son la causa. La explicación la aporta la propia sede en el formulario: coincidiendo con la puesta en marcha de la instalación fotovoltaica, se instalaron dos nuevos equipos de aire acondicionado, aprovechando la capacidad de autoconsumo generada (Anexo III). El aumento del consumo eléctrico durante los meses de verano por el uso de esos equipos superó el ahorro de las placas, de ahí los valores negativos. A partir de octubre, con la climatización ya sin uso, el ahorro de la instalación empieza a reflejarse con claridad.

El Centro de rehabilitación San Román, en Zamora, presenta un comportamiento diferente. Aquí la temperatura sí tuvo un efecto apreciable en los resultados: el ahorro total pasa del 13,33% en consumo bruto al 19,17% tras la normalización climática, y varios meses que aparecían en negativo en la tabla bruta mejoran al aplicar la corrección por grados-día. Esto se debe a que el periodo posterior a la instalación de las placas tuvo condiciones térmicas más exigentes que el anterior, lo que incrementó el consumo y ocultó parte del ahorro real de las placas. La normalización corrige ese efecto y ofrece una imagen más fiel del impacto energético de la instalación.

Fenelón, en Madrid, merece atención pese a que el resultado total es positivo: 7,90% de ahorro bruto y 4,54% normalizado. El problema es que varios meses individuales muestran

ahorro negativo, lo que indica que en esos periodos concretos el consumo posterior fue superior al anterior. Para una instalación cuyo objetivo es reducir el consumo de red, esos meses son una señal que conviene no ignorar.

El caso más preocupante es el Cerro de la Mica, también en Madrid. Esta sede presenta ahorro total negativo tanto en la tabla bruta (-9,70%) como en la normalizada (-11,54%), y solo cuatro meses registran una reducción del consumo respecto al periodo anterior. Los datos no permiten concluir que la instalación haya conseguido reducir el consumo eléctrico de forma clara en el periodo analizado.

La explicación de los resultados de Fenelón y Cerro de la Mica puede interpretarse a partir de dos posibles factores. La primera es el tamaño del consumo: mientras ninguna de las demás sedes supera los 5.000 kWh de consumo medio mensual, estas dos superan los 15.000 kWh cada una. Con un consumo tan elevado, es posible que la generación fotovoltaica represente una proporción menor del consumo total y que, por tanto, su efecto sea menos visible en la factura. No obstante, al no haberse recibido las ofertas o propuestas previas a la instalación de estas sedes, no es posible contrastar esta hipótesis con la producción fotovoltaica estimada inicialmente. La segunda tiene que ver con el tipo de centro. Ambas son viviendas de acogida, donde el nivel de uso puede variar considerablemente de un año a otro. Cabe destacar que en las respuestas del formulario analizado no se mencionó por parte de ninguna de las dos sedes ningún cambio significativo en el consumo de un año a otro. No obstante, tras consultar a la sede, se constató que no se dispone de un registro histórico sobre los niveles de ocupación de las viviendas. Por lo tanto, al no contar con estos registros, no es posible extraer una conclusión definitiva. A esto se suma que entre los datos anteriores y posteriores a la instalación hay una diferencia de aproximadamente cinco años, un periodo suficientemente largo como para que se hayan producido cambios relevantes en el centro que no quedaron reflejados en el formulario.

En conjunto, el análisis energético muestra que las instalaciones fotovoltaicas han contribuido a reducir el consumo eléctrico, mostrando un ahorro bruto medio de 21,82%, aunque con diferencias importantes entre centros. La normalización climática, con un ahorro

medio de 22,05%, no altera de forma significativa el resultado global, pero sí permite interpretar mejor determinados casos concretos.

6.2 ANÁLISIS ECONÓMICO DE LAS INSTALACIONES

El análisis económico parte de dos indicadores: el porcentaje de ahorro en coste bruto en euros, y el porcentaje de ahorro en coste normalizado por precio medio del término de energía variable. El primero compara directamente el coste energético antes y después de la instalación. El segundo estima cuánto habría costado el consumo posterior si se hubiera facturado al precio medio del periodo anterior, lo que permite separar el efecto de la reducción del consumo del efecto de la variación del precio de la energía.

A diferencia de lo ocurrido en el análisis energético, la normalización por precio provoca variaciones mucho más significativas en los resultados, como se verá en las Tablas 7 y 8. Esto puede explicarse porque cuando se instala un sistema de autoconsumo es habitual que se produzcan cambios contractuales (renegociaciones, cambios de comercializadora o nuevas tarifas), de modo que el periodo posterior a la instalación no solo recoge el efecto de las placas sino también unas condiciones de contratación distintas. En varias de las sedes analizadas esto afecta de forma positiva y en otras supone un coste mayor. Este es uno de los motivos por los que la normalización por precio resulta especialmente útil para interpretar los resultados económicos.

6.2.1 AHORRO ECONÓMICO BRUTO POR SEDE

Sede	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	**Total**
Cáritas Ávila PV, Ávila	-0,88	-3,50	14,43	23,78	30,34	27,55	40,41	23,45	-1,09	-61,17	-84,35	-82,44	**-1,60**
Casa Abraham, Ciudad Real	19,33								23,79	24,19	52,00	30,98	**30,64**
Casa de acogida para mujeres, Vic	47,36	60,31	63,66				-129,05	-52,24	19,71	75,58	85,23	75,86	**40,81**
Casa Familiar Santa Zita, Madrid	18,96	31,64	0,73	19,06									**18,26**
Centro de acogida San Francisco de Borja, Gandía	43,82	42,69	44,57		63,64		76,92	45,55	46,59	48,97	55,70	47,40	**52,13**
Centro de rehabilitación San Román, Zamora	-7,93	11,16	35,29	67,96	63,70	60,96	48,28	53,16	58,41		-12,21	-2,42	**34,73**
Centro diocesano de Cuenca, Cuenca	6,62	-15,75	47,77	68,75	61,09	48,74	52,98	31,94	50,75	64,24	50,51	40,78	**45,33**
Centro Padre Damián, Salamanca	21,11	-12,18	14,59	5,80	25,07		61,71	48,30	54,81	36,85	25,56		**32,28**
Centro San Francisco Javier, Pontevedra	-8,95	-0,85	-63,53				26,38	21,36	27,45	25,10	-40,19	-24,30	**-6,62**
Cerro de la Mica, Madrid	-97,25	32,84	50,49	52,23	48,78	-128,77	-96,88	-102,67	-50,36	-52,00	-64,24	-92,98	**-30,59**
Fenelón, Madrid	-53,29	29,53	-31,32	42,63	51,39	-11,21	18,58	7,41	14,66	-3,73	-22,56	-53,49	**-1,61**

Ahorro ≥ 50 % | 50 > Ahorro ≥ 25 % | 25 > Ahorro > 0 % | 0 > Ahorro > -15 % | -15 ≥ Ahorro > -50 % | Ahorro ≤ -50 %

Tabla 7. Ahorro económico porcentual bruto por sede y mes

En términos de ahorro económico bruto, varias sedes presentan resultados positivos relevantes. Destacan el Centro de acogida San Francisco de Borja, en Gandía, con un ahorro total del 52,13 %, el Centro diocesano de Cuenca, con un 45,33 %, la Casa de acogida para mujeres de Vic, con un 40,81 %, Zamora, con un 34,73 %, el Centro Padre Damián, con un 32,28 %, y Casa Abraham, con un 30,64 %. En estos casos, el coste energético variable disminuye de forma clara tras la instalación fotovoltaica.

Sin embargo, también aparecen sedes con resultados económicos negativos. Cáritas Ávila PV presenta un ahorro bruto total ligeramente negativo, del -1,60 %, a pesar de que en el análisis energético mostraba una reducción clara de consumo. Fenelón también presenta un resultado negativo del -1,61 %, y Cerro de la Mica alcanza un valor mucho más desfavorable, del -30,59 %. Son casos que ilustran algo importante: una reducción del consumo no siempre se traduce en ahorro económico si el precio de la energía ha incrementado lo suficiente entre el periodo anterior y el posterior.

6.2.2 EFECTO DE LA NORMALIZACIÓN POR PRECIO DE LA ENERGÍA

Sede	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	Total
Cáritas Ávila PV, Ávila	10,80	12,81	27,17	33,00	35,54	21,91	64,42	61,80	50,64	28,20	21,04	21,14	**33,79**
Casa Abraham, Ciudad Real	8,45								20,36	40,57	31,85	17,64	**23,54**
Casa de acogida para mujeres, Vic	20,56	39,27	42,86				-231,32	-111,64	-18,22	66,05	79,42	65,47	**12,98**
Casa Familiar Santa Zita, Madrid	-0,81	7,41	25,40	41,94									**18,10**
Centro de acogida San Francisco de Borja, Gandía	39,77	36,12	33,36		41,81		67,57	48,94	49,89	49,73	49,86	41,94	**47,15**
Centro de rehabilitación San Román, Zamora	-7,21	11,21	31,34	33,79	24,89	22,75	8,93	7,75	17,79		-15,76	-3,04	**13,33**
Centro diocesano de Cuenca, Cuenca	34,19	26,92	35,89	43,79	46,77	44,14	46,30	29,92	22,87	25,21	27,65	-1,77	**31,70**
Centro Padre Damián, Salamanca	33,28	37,89	51,19	35,52	40,25		59,01	41,75	43,31	39,33	33,89		**42,03**
Centro San Francisco Javier, Pontevedra	18,49	33,04	25,69				22,90	20,03	14,35	14,93	0,03	12,79	**19,17**
Cerro de la Mica, Madrid	-25,60	-25,43	15,65	18,52	13,21	-41,12	-17,15	-25,30	-0,51	10,36	-18,60	-18,72	**-9,70**
Fenelón, Madrid	-12,72	2,03	-34,86	13,68	28,33	9,13	31,73	19,46	23,69	26,98	-2,49	-9,67	**7,90**

Ahorro ≥ 50 % | 50 > Ahorro ≥ 25 % | 25 > Ahorro > 0 % | 0 > Ahorro > -15 % | -15 ≥ Ahorro > -50 % | Ahorro ≤ -50 %

Tabla 8. Ahorro económico porcentual normalizado por precio de la energía por sede y mes

Al aplicar la normalización por precio, los resultados económicos se alinean en mayor medida con el comportamiento energético real de las sedes. Esto se debe a que se reduce el efecto de haber pagado la energía a un precio distinto en el periodo posterior. Por ejemplo, Cáritas Ávila PV pasa de un ahorro económico bruto negativo del -1,60% a un ahorro normalizado del 33,79%. Esto indica que la causa principal no parece estar en el consumo, ya que energéticamente sí hubo ahorro, sino el encarecimiento del precio de la energía en los meses posteriores.

En general, esta comparación permite separar dos efectos que en la factura aparecen mezclados: por un lado, la reducción del consumo gracias al autoconsumo fotovoltaico y, por otro, la variación del precio unitario de la energía. Por ello, el ahorro económico bruto representa el impacto real en la factura, mientras que el ahorro normalizado por precio permite valorar mejor el efecto atribuible a la reducción de consumo.

6.2.3 CASOS DESTACABLES

En Cáritas Ávila PV se observa un comportamiento especialmente claro. En los meses de octubre, noviembre y diciembre, el ahorro de coste bruto es muy negativo, con valores de -61,17 %, -84,35 % y -82,44 %, respectivamente. Sin embargo, en la tabla normalizada por precio esos mismos meses pasan a valores positivos: 28,20 %, 21,04 % y 21,14 %. Esto indica que el deterioro económico no se debe a un aumento del consumo, sino a un incremento muy importante del precio medio facturado después de la instalación.

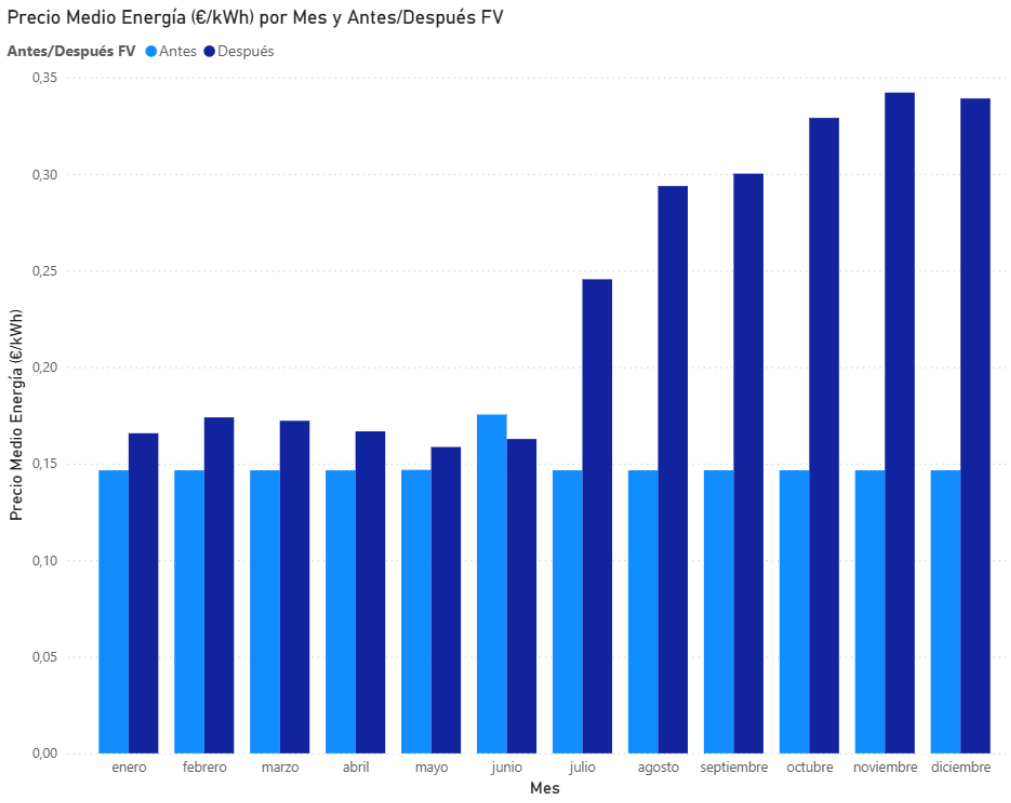


Figura 6. Comparación del precio medio de energía facturada antes y después de instalación en Ávila

La Figura 6 confirma esta hipótesis. En el periodo posterior en Cáritas Ávila PV, especialmente a partir de julio y hasta diciembre de 2022, el precio medio de energía después aumenta de forma acusada respecto al precio anterior. Además, el precio spot del mercado, mostrado en el Anexo IV, también muestra niveles elevados en parte de ese periodo, aunque no explica por sí solo todos los valores facturados. Con esta información no puede afirmarse que la tarifa estuviera totalmente indexada al mercado, pero los datos sugieren que el contrato posterior se firmó en un contexto de precios altos o bajo condiciones menos favorables que el anterior. Los ahorros negativos de esos meses son, por tanto, consecuencia del precio de la energía, no de un mal comportamiento de la instalación.

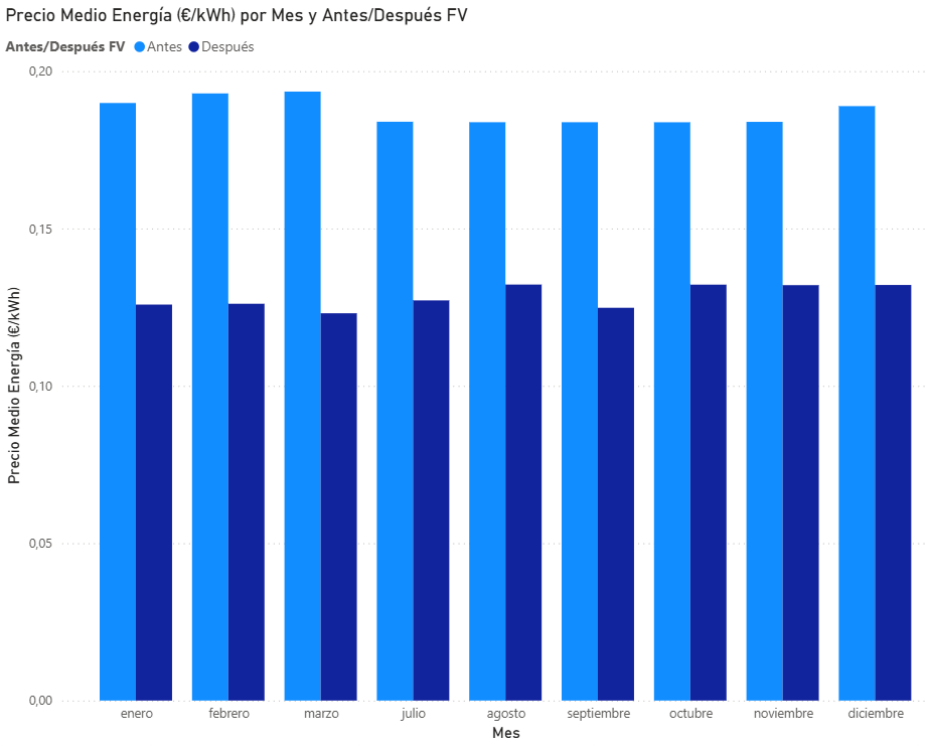


Figura 7. Comparación del precio medio de energía facturada antes y después de instalación en Vic

En Vic ocurre lo contrario. Aunque julio y agosto presentan valores negativos en el ahorro de coste bruto, de -129,05 % y -52,24 %, la normalización por precio muestra que parte de este resultado económico está influido por las condiciones del mercado eléctrico. La Figura 7 muestra que el precio medio de la energía en el periodo posterior es notablemente inferior

al anterior, lo que favorece el resultado económico de la sede independientemente del consumo. Puede deberse a un nuevo contrato más vinculado al mercado en un momento de precios bajos, o a una renegociación favorable tras el cambio de comercializadora. En cualquier caso, el resultado económico de Vic no puede leerse solo desde el consumo: el cambio en las condiciones de precio tiene un peso muy relevante en la explicación.

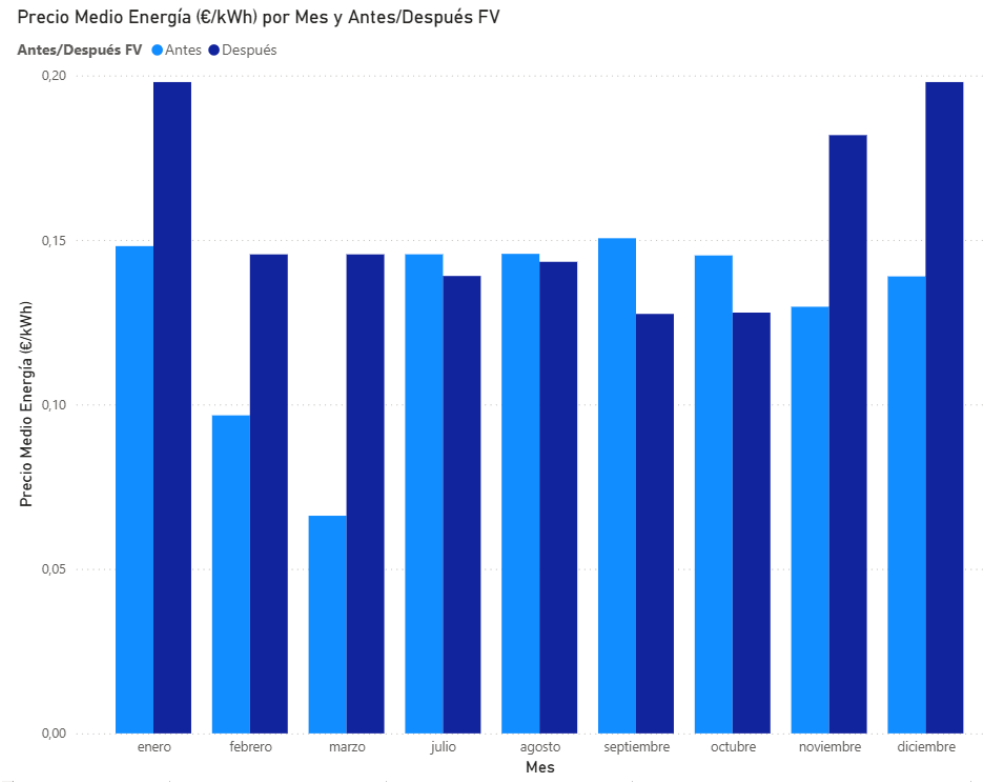


Figura 8. Comparación del precio medio de energía facturada antes y después de instalación en Pontevedra

En el Centro San Francisco Javier, en Pontevedra, el efecto es el opuesto al de Vic. En varios meses (especialmente enero, febrero, marzo, noviembre y diciembre) el ahorro de coste bruto queda muy por debajo del normalizado, llegando a valores como el -63,53% de marzo. La Figura 8 muestra que el precio medio de la energía en el periodo posterior superó al del periodo anterior en varios meses, lo que encareció la factura, aunque el consumo no empeorase en la misma proporción. Por tanto, en esta sede el aumento del precio de la energía reduce o incluso anula parte del ahorro económico que cabría esperar por la reducción del consumo.

Fenelón y Cerro de la Mica, que ya presentaban resultados energéticos desfavorables, empeoran en el análisis económico. En Cerro de la Mica, el ahorro de coste bruto supera el umbral crítico en 8 de los 12 meses, con valores como -97,25% en enero, -128,77% en junio, -102,67% en agosto o -92,98% en diciembre. Tras la normalización por precio el resultado sigue siendo negativo en varios meses y el total se queda en -9,70%, lo que indica que el precio de la energía no es la única causa: hay un aumento real del consumo respecto al periodo anterior, como ya se analizó en el apartado energético.

Fenelón sigue el mismo patrón, aunque con menor intensidad. El ahorro de coste bruto total es del -1,61%, y la normalización lo lleva a un positivo del 7,90%, lo que indica que parte del mal resultado económico sí responde al precio. Pero el ahorro energético de la sede sigue siendo limitado. En ambos casos la explicación apunta en la misma dirección que en el análisis energético: son centros de viviendas de acogida con consumos muy superiores al resto de sedes, donde el autoconsumo fotovoltaico representa una fracción pequeña del total y posibles cambios de ocupación o equipamiento entre los años comparados pueden haber incrementado el consumo de forma independiente a la instalación.

El análisis económico deja claro que el ahorro en factura no depende solo de las placas. El precio medio facturado, los cambios de comercializadora y las nuevas condiciones contractuales pueden tener un peso similar o incluso superior que el consumo en muchos de los casos analizados. Por eso las dos tablas se complementan: el ahorro bruto refleja el impacto económico real en la factura de cada sede; el normalizado por precio ayuda a discernir si ese resultado viene de consumir menos o de pagar la energía a un precio diferente.

6.3 *EVALUACIÓN MULTICRITERIO MEDIANTE TOPSIS*

Una vez analizados por separado los resultados energéticos y económicos, se presentan a continuación los resultados de la evaluación multicriterio TOPSIS aplicada sobre las once sedes.

Sede	Pond Coste Precio	Pond Consumo GD	Pond CO2 Evitado	Pond Ahorro Inversión
Cáritas Ávila PV, Ávila	0,11	0,11	0,02	0,00
Casa Abraham, Ciudad Real	0,08	0,08	0,02	0,02
Casa de acogida para mujeres, Vic	0,04	0,05	0,03	0,01
Casa Familiar Santa Zita, Madrid	0,06	0,06	0,01	0,00
Centro de acogida San Francisco de Borja, Gandía	0,16	0,16	0,10	0,03
Centro de rehabilitación San Román, Zamora	0,05	0,06	0,04	0,11
Centro diocesano de Cuenca, Cuenca	0,11	0,09	0,16	0,08
Centro Padre Damián, Salamanca	0,14	0,15	0,06	0,02
Centro San Francisco Javier, Pontevedra	0,06	0,07	0,05	-0,01
Cerro de la Mica, Madrid	-0,03	-0,04	-0,10	-0,03
Fenelón, Madrid	0,03	0,01	0,09	0,00

Tabla 9. Matriz ponderada de criterios del método TOPSIS

Sede	Distancia Ideal Positiva	Distancia Ideal Negativa	Coeficiente TOPSIS	Ranking TOPSIS
Centro diocesano de Cuenca, Cuenca	0,10	0,34	0,782	1
Centro de acogida San Francisco de Borja, Gandía	0,10	0,35	0,778	2
Centro Padre Damián, Salamanca	0,14	0,30	0,679	3
Centro de rehabilitación San Román, Zamora	0,19	0,24	0,550	4
Cáritas Ávila PV, Ávila	0,20	0,24	0,544	5
Casa Abraham, Ciudad Real	0,20	0,21	0,510	6
Centro San Francisco Javier, Pontevedra	0,21	0,21	0,491	7
Fenelón, Madrid	0,24	0,20	0,455	8
Casa Familiar Santa Zita, Madrid	0,23	0,18	0,431	9
Casa de acogida para mujeres, Vic	0,24	0,18	0,429	10
Cerro de la Mica, Madrid	0,41	0,00	0,000	11

Tabla 10. Resultados del ranking TOPSIS por sede

Los resultados muestran que la sede con mejor comportamiento global es el Centro diocesano de Cuenca, con un coeficiente TOPSIS de 0,782. Su primera posición se explica por el equilibrio que presenta en todos los criterios considerados. Aunque no obtiene el valor máximo en ahorro de consumo ni en ahorro económico, registra la mayor contribución en emisiones de CO_2 evitadas y un elevado ahorro por euro invertido, lo que le permite situarse como la alternativa más próxima a la solución ideal.

En segunda posición se encuentra el Centro de acogida San Francisco de Borja, en Gandía, con un coeficiente de 0,778. Esta sede obtiene los mejores valores ponderados tanto en ahorro de consumo normalizado como en ahorro de coste normalizado. Sin embargo, su contribución en emisiones de CO_2 evitadas y su ahorro por euro invertido son inferiores a los de Cuenca, lo que explica la ligera diferencia entre ambas en el coeficiente TOPSIS final.

El tercer lugar corresponde al Centro Padre Damián en Salamanca, con un coeficiente de 0,679. Su posición refleja un buen equilibrio entre ahorro energético y económico, aunque con un impacto ambiental más moderado que las dos primeras sedes y un rendimiento relativo de la inversión algo inferior.

A continuación, aparecen el Centro de rehabilitación San Román (Zamora) y Cáritas Ávila PV, con coeficientes de 0,550 y 0,544, respectivamente. En ambos casos se observa un comportamiento homogéneo en los criterios principales, sin destacar especialmente en ninguno de ellos. Zamora se ve favorecida por el elevado ahorro por euro invertido, mientras que Ávila obtiene buenos resultados en los criterios energético y económico, aunque los otros dos criterios desfavorecen su puntuación final.

En el tramo intermedio aparecen Casa Abraham en Ciudad Real (0,510), el Centro San Francisco Javier en Pontevedra (0,491) y Fenelón en Madrid (0,455). Ciudad Real y Pontevedra presentan un comportamiento bastante equilibrado, pero sin valores que destaquen en ningún criterio. En el caso de Fenelón, su posición debe interpretarse con cautela: aunque en términos porcentuales es una de las instalaciones con peor comportamiento, solo por delante de Cerro de la Mica, su elevado consumo bruto hace que incluso un ahorro reducido entre el periodo de antes y después, suponga una cantidad relevante de emisiones de CO_2 evitadas. Por ello, el criterio ambiental mejora su posición dentro del ranking, aunque no implica que la instalación sea especialmente eficiente en proporción.

Casa Familiar Santa Zita en Madrid y la Casa de acogida para mujeres en Vic cierran el grupo intermedio, con coeficientes de 0,431 y 0,429. Ninguna arrastra resultados especialmente negativos, pero tampoco destacan en los criterios con mayor peso del modelo, lo que las mantiene alejadas de las posiciones superiores.

Por último, Cerro de la Mica (Madrid) ocupa claramente la última posición, con un coeficiente TOPSIS igual a 0. Esta sede presenta los peores valores en prácticamente todos los criterios considerados, obteniendo incluso valores negativos en ahorro de consumo,

ahorro económico y emisiones evitadas. Como consecuencia, coincide con la solución ideal negativa del modelo y se sitúa como la instalación con peor comportamiento global.

6.4 COMPARACIÓN CON PROPUESTAS PREVIAS A LA INSTALACIÓN

Una vez calculado el consumo esperado después de la instalación, se comparó dicho valor con el consumo real registrado en las facturas posteriores. Este análisis se realizó únicamente para las cinco sedes con información disponible en las propuestas iniciales: Casa Abraham (Ciudad Real), Centro de acogida San Francisco de Borja (Gandía), Centro diocesano de Cuenca, Centro Padre Damián (Salamanca) y Centro San Francisco Javier (Pontevedra).

Para cuantificar la similitud entre el consumo esperado o estimado por las propuestas iniciales y el que hubo realmente, se calculó la desviación media ambos. Para ello, se compararon únicamente los meses coincidentes entre ambos valores, aplicando la diferencia porcentual entre el consumo real registrado y el consumo esperado. Un valor más elevado indica una mayor separación entre la previsión inicial y el comportamiento real observado. La Tabla 11 recoge la desviación media obtenida para cada sede analizada.

Sede	Desviación Media %
Casa Abraham, Ciudad Real	18,25
Centro de acogida San Francisco de Borja, Gandía	24,53
Centro diocesano de Cuenca, Cuenca	11,34
Centro Padre Damián, Salamanca	66,30
Centro San Francisco Javier, Pontevedra	2,44
Total	**25,16**

Tabla 11. Desviación media entre consumo real posterior y consumo esperado por sede

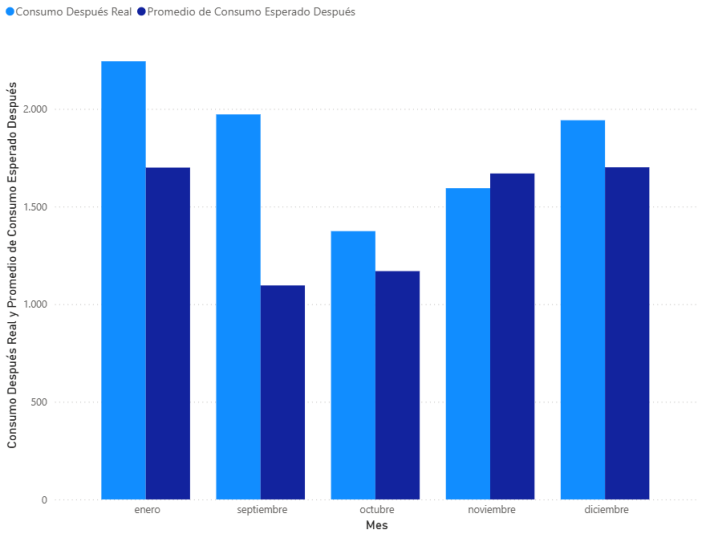


Figura 9. Comparación entre consumo esperado y real posterior en Ciudad Real

La Figura 9 muestra como en Casa Abraham, Ciudad Real, el consumo real supera al esperado en la mayoría de los meses, con diferencias especialmente visibles en enero y septiembre, que hacen que la desviación incremente a 18,25%. El ahorro real obtenido fue inferior al previsto según la producción fotovoltaica estimada, aunque en noviembre ambas curvas se aproximan, lo que indica que la desviación no es uniforme a lo largo del periodo.

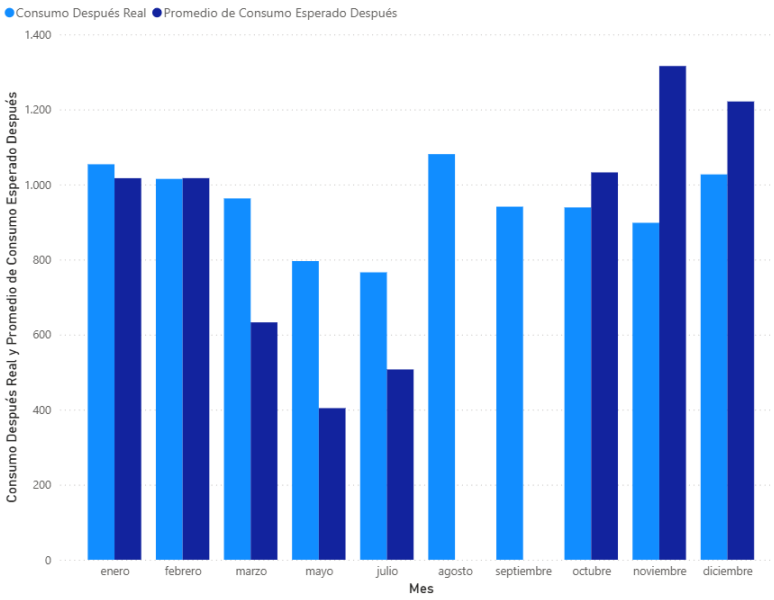


Figura 10. Comparación entre consumo esperado y real posterior en Gandía

En el Centro de acogida San Francisco de Borja, en Gandía, el comportamiento es más irregular. En marzo, mayo, julio, agosto y septiembre el consumo real supera al esperado. En agosto y septiembre en particular, siendo los dos primeros meses tras la puesta en marcha, la ausencia de compensación de excedentes (Anexo IV) hace que la energía sobrante no se vierta a la red y se pierda. Esto hace que, según el criterio de cálculo utilizado, el consumo esperado alcance valores muy bajos o nulos mientras el real sigue existiendo. En cambio, en octubre, noviembre y diciembre, al incluir por contrato la compensación por excedentes, el consumo real queda por debajo del esperado, mostrando un comportamiento más favorable al final del periodo. La desviación media obtenida es del 24,53 %, coherente con las diferencias observadas entre ambas curvas.

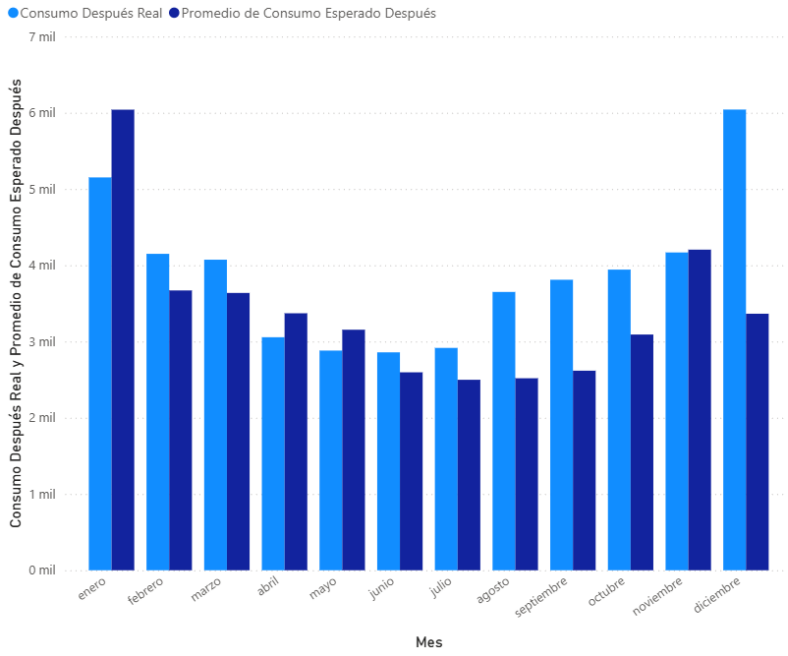


Figura 11. Comparación entre consumo esperado y real posterior en Cuenca

En el Centro diocesano de Cuenca, el consumo real supera al esperado en buena parte de los meses, especialmente en agosto, septiembre, octubre y diciembre. El caso de diciembre es especialmente llamativo, ya que la diferencia entre el consumo real y el esperado es de 2677 kWh, una cifra muy elevada. Este comportamiento coincide con un volumen de excedentes notablemente inferior al registrado en el resto de meses (Anexo IV), lo que ayuda a explicar

la mayor diferencia observada respecto al consumo esperado. Aun así, en enero, abril, mayo y noviembre el consumo real se aproxima más al esperado. En conjunto, la desviación media es del 11,34 %, lo que indica un buen ajuste entre el consumo previsto y el finalmente registrado.

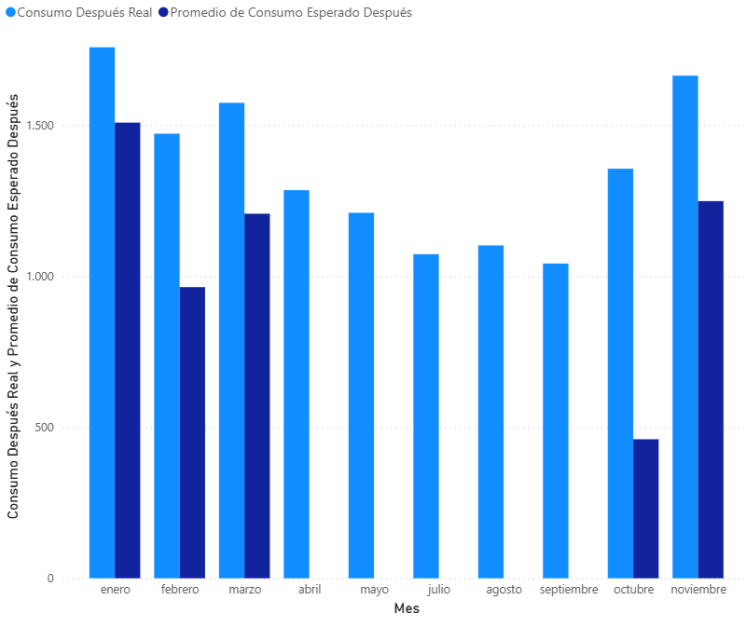


Figura 12. Comparación entre consumo esperado y real posterior en Salamanca

En el Centro Padre Damián, en Salamanca, la Figura 12 indica que el consumo real supera al esperado en todos los meses comparables. La diferencia es especialmente clara entre abril y septiembre, donde el consumo esperado aparece como cero por la ausencia de compensación de excedentes. Estas diferencias suponen un incremento de la desviación media que resulta en un 66,30%, la peor registrada de entre todas las sedes, Este caso ilustra una limitación importante de las estimaciones mensuales en los casos en los que no existe una compensación de excedentes por contrato: aunque la producción fotovoltaica prevista sea suficiente para cubrir el consumo mensual, si esa producción no coincide con las horas de demanda, la sede sigue necesitando consumir energía de la red.

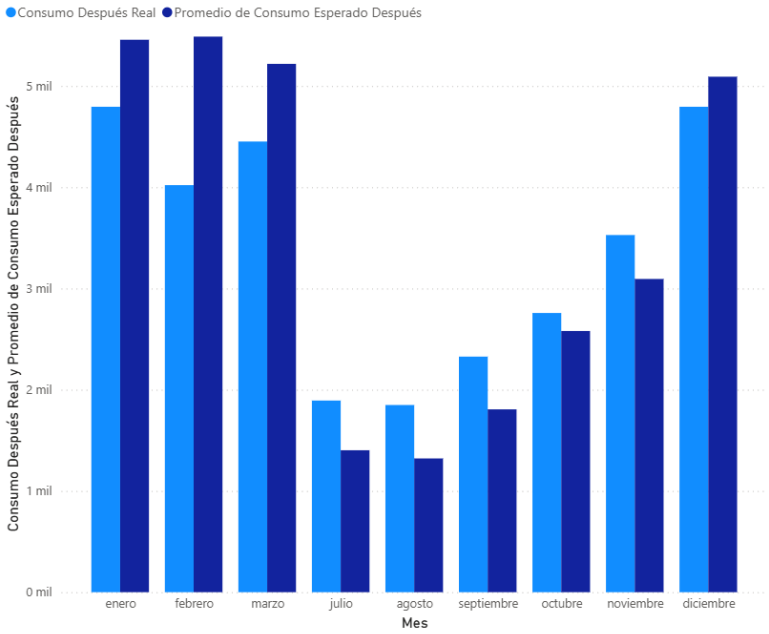


Figura 13. Comparación entre consumo esperado y real posterior en Pontevedra

Por último, el Centro San Francisco Javier, en Pontevedra, presenta un comportamiento mixto. En enero, febrero, marzo y diciembre, el consumo real queda por debajo del consumo esperado, lo que indica un resultado mejor que el previsto. Sin embargo, en julio, agosto, septiembre, octubre y noviembre ocurre lo contrario. Esta evolución puede estar relacionada con variaciones estacionales del uso del centro o con diferencias entre la producción estimada y la energía realmente aprovechada. Pese a estas diferencias, la estimación general es muy similar al consumo que ha tenido la sede realmente en el periodo de después, resultando así en una desviación media de 2,44%, la menor del conjunto analizado.

En conjunto, la comparación muestra que las previsiones iniciales no siempre se reflejan de forma directa en el consumo real posterior. La producción fotovoltaica mensual estimada no garantiza por sí sola una reducción equivalente del consumo de red: el resultado depende de la coincidencia entre generación y demanda, de si el contrato contempla compensación de excedentes y de posibles cambios en el uso de cada sede. Este análisis refuerza, precisamente, la necesidad de contrastar las propuestas iniciales con datos reales de facturación una vez que las instalaciones llevan tiempo en funcionamiento.

6.5 *IMPACTO SOCIAL Y REINVERSIÓN DEL AHORRO ENERGÉTICO*

Más allá del análisis energético y económico, el trabajo recoge una dimensión social a partir de las respuestas del formulario enviado a las sedes. Se preguntó a los centros si habían notado cambios en su perfil de consumo tras la instalación y, sobre todo, de qué forma el ahorro energético había repercutido en su labor social. Esto permite contrastar los resultados cuantitativos con una visión más cualitativa de cómo se ha utilizado realmente ese ahorro. Las respuestas de cada centro a estas dos preguntas se recogen en el Anexo III.

Lo primero que se desprende de las respuestas es que las sedes no visualizan el ahorro únicamente como una reducción del gasto eléctrico: lo interpretan como una mejora de su capacidad económica general. Varios centros señalan que la disminución de los costes energéticos les ha permitido liberar recursos para otras necesidades de la entidad, algo especialmente relevante en Cáritas, donde cualquier reducción de un coste fijo puede traducirse en un mayor presupuesto disponible para la atención social.

El Centro San Francisco Javier, en Pontevedra, es uno de los ejemplos más claros. Según indica en sus respuestas, el ahorro energético ha liberado recursos que antes se destinaban a cubrir el consumo eléctrico, y esos fondos se han reinvertido en mejorar la atención a las personas usuarias: refuerzo de servicios esenciales y ampliación de ayudas directas en alimentación, higiene, transporte y acompañamiento social. La sede señala también un impacto directo en la calidad del servicio, al permitir optimizar recursos y mejorar la atención integral a personas en situación de vulnerabilidad.

La Casa de acogida para mujeres de Vic relaciona el ahorro energético con mejoras de eficiencia y confort. Como se ha mencionado anteriormente, se han instalado nuevos aires acondicionados aprovechando la autogeneración fotovoltaica, lo que ayuda a explicar el aumento de consumo observado en el análisis energético. En su respuesta señala que los recursos liberados han servido para reforzar la atención a mujeres y menores acogidos y ampliar las horas de acompañamiento social, aparte de mejorar las condiciones de climatización del centro. Es un caso interesante porque muestra que el autoconsumo no solo

reduce costes: también puede facilitar mejoras materiales que, a su vez, modifican el propio perfil de consumo de la sede.

En otras sedes, el impacto social se expresa de forma más general. El Centro diocesano de Cuenca indica que el ahorro ha ayudado a la resiliencia económica de la entidad. El Centro Padre Damián, en Salamanca, señala que el ahorro ha contribuido a una gestión más sostenible y responsable de los recursos, permitiendo optimizar el presupuesto y destinarlo con mayor eficacia a la atención de las personas residentes. Por su parte, el Centro de rehabilitación San Román, en Zamora, menciona que el ahorro económico ha facilitado la realización de actividades sociales, culturales, deportivas y excursiones, además de disminuir la carga económica del centro.

En las sedes de Madrid, como Fenelón, Cerro de la Mica y Casa Familiar Santa Zita, se indica que, en caso de que haya existido ahorro, éste entra dentro del presupuesto global de Cáritas y se destina a otros proyectos.

En conjunto, las respuestas del formulario confirman que el impacto de las instalaciones fotovoltaicas no debe evaluarse únicamente mediante indicadores energéticos o económicos. Aunque estos indicadores permiten medir la reducción del consumo y del coste, la dimensión social muestra cómo el ahorro puede traducirse en mejoras concretas: refuerzo de servicios, ayudas directas, mejora del confort, actividades para usuarios y mayor estabilidad económica de las sedes. Por tanto, el autoconsumo fotovoltaico actúa no solo como una medida de eficiencia energética, sino también como una herramienta de apoyo a la labor social de Cáritas.

Capítulo 7. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

7.1 CONCLUSIONES GENERALES

El objetivo de este Trabajo de Fin de Grado ha sido evaluar en qué medida las instalaciones fotovoltaicas promovidas por Fundación Naturgy en distintas sedes de Cáritas han generado el impacto esperado, tanto en términos energéticos y económicos como en su contribución a paliar la pobreza energética. Los resultados obtenidos permiten afirmar que estas instalaciones constituyen una herramienta eficaz para reforzar la labor de las entidades sociales.

En conjunto, las once sedes analizadas obtuvieron un ahorro medio del 21,82 % en consumo eléctrico y del 19,43 % en coste energético tras la instalación de los sistemas fotovoltaicos. Sin embargo, el comportamiento entre sedes no es homogéneo: la evolución de la actividad del centro, las condiciones climáticas, la compensación de excedentes o las condiciones contractuales influyen de forma significativa en el ahorro finalmente obtenido. Estos resultados confirman el impacto positivo de las instalaciones fotovoltaicas, aunque evidencian la necesidad de contextualizar cada caso antes de extraer conclusiones sobre su rendimiento.

Por un lado, la normalización climática, aunque no produjo variaciones significativas en el resultado global, resultó útil para explicar determinados casos en los que el ahorro energético bruto era inferior al esperado. Un ejemplo es el Centro de Rehabilitación San Román (Zamora), donde el ahorro en consumo pasó del 13,33 % al 19,17 % tras aplicar la corrección por grados-día, poniendo de manifiesto la influencia de las condiciones climáticas en la comparación entre periodos. Por otro lado, la normalización económica tuvo un impacto mucho más significativo. Mientras que, utilizando los precios reales facturados, únicamente el 63,64% de las sedes presentaban un ahorro económico positivo, tras normalizar los costes con un precio de referencia este porcentaje aumentó hasta el 90,91%. Esta diferencia evidencia que las variaciones observadas en el coste energético no dependen exclusivamente

del rendimiento de las instalaciones fotovoltaicas, sino también de factores externos, especialmente de los cambios en las condiciones contractuales y en los precios de la electricidad entre ambos periodos de estudio. Estos resultados justifican la necesidad de incorporar procesos de normalización en cualquier metodología que pretenda evaluar de forma objetiva el rendimiento real de instalaciones fotovoltaicas mediante la comparación de periodos históricos.

La incorporación de un análisis multicriterio mediante el método TOPSIS ha permitido integrar los cinco criterios de evaluación en un único indicador de rendimiento, proporcionando una visión global del comportamiento de cada instalación. Este enfoque ha facilitado la identificación objetiva tanto de las sedes con mejores resultados, encabezadas por Centro diocesano de Cuenca (0,782), Centro de acogida San Francisco de Borja (Gandía) (0,778) y Centro Padre Damián (Salamanca) (0,679), como de aquellas con mayor potencial de mejora, entre las que destaca Cerro de la Mica (Madrid), con un coeficiente de 0,000. De este modo, la metodología desarrollada no solo permite comparar el rendimiento de las instalaciones, sino también orientar la priorización de futuras actuaciones y la toma de decisiones en proyectos similares.

La comparación entre el consumo real y las estimaciones realizadas durante la fase de diseño confirma que las previsiones iniciales no deben considerarse un valor definitivo, sino una referencia orientativa del comportamiento esperado de la instalación. Las desviaciones observadas, comprendidas entre el 2,44 % en el Centro San Francisco Javier (Pontevedra) y el 66,30 % en el Centro Padre Damián (Salamanca), evidencian que el rendimiento final puede verse condicionado por factores que no siempre pueden anticiparse en la etapa de diseño. En consecuencia, este trabajo pone de manifiesto que la evaluación del éxito de una instalación fotovoltaica no debe finalizar con su puesta en marcha, sino que requiere un seguimiento posterior basado en datos reales que permita validar las previsiones iniciales e identificar oportunidades de mejora en futuros proyectos.

Desde el punto de vista social, los resultados permiten responder afirmativamente a la pregunta que ha guiado este trabajo: las instalaciones fotovoltaicas sí contribuyen a reducir

la pobreza energética, aunque de forma indirecta. El menor gasto energético de las sedes libera recursos que pueden destinarse a ampliar la atención de Cáritas, mejorar sus instalaciones o reforzar programas dirigidos a personas en situación de vulnerabilidad. El beneficio, por tanto, no se queda en lo energético: se traduce en más capacidad de actuación social para la organización.

Por último, este trabajo demuestra que es posible evaluar el rendimiento de instalaciones fotovoltaicas a partir de datos de facturación, información climática y documentación técnica, sin necesidad de sistemas de monitorización avanzados. El uso de inteligencia artificial para apoyar el tratamiento inicial de las facturas ha agilizado el proceso de análisis, aunque exista la necesidad de mantener un control de calidad mediante validación manual. La metodología desarrollada es replicable y puede servir de base para futuras auditorías de instalaciones fotovoltaicas en organizaciones del tercer sector.

En definitiva, este trabajo demuestra que la transición energética puede generar beneficios que trascienden el ámbito energético. Cuando los ahorros derivados del autoconsumo fotovoltaico se reinvierten en reforzar la actividad de entidades sociales, las instalaciones dejan de ser únicamente una medida de eficiencia para convertirse en una herramienta capaz de amplificar el impacto social de dichas organizaciones. De este modo, la metodología desarrollada no solo permite evaluar el rendimiento técnico de las instalaciones, sino también evidenciar cómo el autoconsumo fotovoltaico puede contribuir, de forma indirecta, a fortalecer la capacidad de actuación de las entidades del tercer sector frente a la pobreza energética.

7.2 LÍNEAS DE TRABAJO FUTURO

Aunque los resultados obtenidos permiten evaluar el impacto de las instalaciones fotovoltaicas en las sedes analizadas, el presente trabajo también pone de manifiesto diversas líneas de investigación que permitirían ampliar el alcance y la utilidad de la metodología desarrollada.

La principal línea de continuidad de este trabajo consiste en completar la recopilación de la información disponible para cada una de las sedes analizadas. Aunque desde el inicio del proyecto se solicitó a todos los centros la documentación necesaria, no fue posible reunirla en su totalidad: en varios casos faltaron dos años completos de facturación, las propuestas iniciales de las empresas instaladoras, los datos de producción de las instalaciones o los niveles de actividad de cada centro en los meses analizados. Disponer de esa información permitiría una comparación más precisa entre sedes y una mejor evaluación del rendimiento de cada instalación. En particular, disponer de las propuestas iniciales de todas las sedes permitiría contrastar de forma más rigurosa las previsiones realizadas antes de la instalación con los resultados realmente obtenidos, identificando con mayor precisión las causas de las posibles desviaciones. Del mismo modo, contar con datos de producción fotovoltaica facilitaría distinguir entre la energía generada, la autoconsumida y la compensada mediante excedentes, proporcionando una visión más completa del comportamiento de cada instalación y permitiendo detectar oportunidades de mejora en su aprovechamiento.

Ampliar el periodo temporal analizado es otra línea pendiente. El estudio se ha apoyado en la información disponible durante el desarrollo del proyecto; incorporar nuevos años de facturación permitiría ver la evolución del rendimiento a largo plazo y detectar cambios en los hábitos de consumo que un periodo más corto no llega a mostrar.

Profundizar en el impacto social del autoconsumo fotovoltaico es especialmente relevante. Este trabajo ha comprobado que el ahorro energético y económico se reinvierte, en la mayoría de los casos, en la labor social de las sedes. Lo que falta es un paso más: indicadores que cuantifiquen de forma objetiva cómo esos recursos liberados se traducen en más personas atendidas, más programas o más servicios. Eso permitiría establecer una relación más directa y medible entre el autoconsumo fotovoltaico y su contribución a reducir la pobreza energética.

Por último, otra línea de trabajo futuro consiste en transformar la metodología desarrollada en un procedimiento de seguimiento sistemático para las nuevas instalaciones promovidas por Fundación Naturgy. En lugar de aplicar el modelo únicamente de forma retrospectiva,

podría incorporarse al proceso habitual de implantación de los proyectos, lo cual permitiría automatizar gran parte del proceso de análisis, facilitando el seguimiento continuo del rendimiento de las instalaciones y la comparación entre proyectos. La Figura 14 muestra una propuesta de procedimiento e implantación del modelo en el seguimiento y evaluación de nuevas instalaciones fotovoltaicas.



Figura 14. Propuesta de procedimiento para el seguimiento y evaluación de instalaciones fotovoltaicas

El modelo desarrollado en este trabajo es, en definitiva, una base sobre la que seguir construyendo. Más información y un seguimiento continuado de las instalaciones permitirían evaluaciones cada vez más completas, y reforzarían el papel de este tipo de análisis para comprobar que la transición energética no solo aporta beneficios ambientales y económicos, sino que también fortalece la acción social de entidades como Cáritas.

Capítulo 8. BIBLIOGRAFÍA

Agencia Estatal de Meteorología. (2026). *AEMET OpenData*. Gobierno de España. Recuperado de https://opendata.aemet.es/centrodedescargas/inicio

Anthropic. (2025). PDF support. Claude Platform Documentation. https://platform.claude.com/docs/en/build-with-claude/pdf-support

Ayompe, L. M., Duffy, A., McCormack, S. J., & Conlon, M. (2011). Measured performance of a 1.72 kW rooftop grid connected photovoltaic system in Ireland. Energy Conversion and Management, 52(2), 816–825. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2010.08.007

Cáritas Diocesana de Cuenca. (2019). Diaconía (N.º 219). El cuidado de la casa común.

EAPN-ES. (2026). El estado de la pobreza. Avance de resultados.

Fuentes Freixanet, V. A. (2010). Los grados-día como herramienta de diseño bioclimático para el ahorro de energía en las edificaciones. Asociación Nacional de Energía Solar (ANES).

Fundación Naturgy. (2026). Fundación Naturgy y Cáritas atienden a 80.000 personas en su lucha contra la pobreza energética. https://www.naturgy.com/notas-de-prensa/fundacion-naturgy-y-caritas-atienden-a-80-000-personas-en-su-lucha-contra-la-pobreza-energetica/

Fusion Ingeniería. (2026, 31 de mayo). OMIE OMIP: Tarifa fija o indexada. Mayo 2026. https://fusioningenieria.com/omie-omip-tarifa-fija-indexada-mayo-2026/

Gobierno de España. (2019). Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica. Boletín Oficial del Estado, núm. 83.

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). (2011). Proyecto SECH-SPAHOUSEC. Análisis del consumo energético del sector residencial en España.

La Corriente. (2026, 18 de mayo). El autoconsumo se consolida como pilar de la soberanía energética en España. https://lacorrientecoop.es/autoconsumo-soberania-energetica-espana-2026/

Lowitzsch, J., & Hanke, F. (2019). Consumer (co-)ownership in renewables, energy efficiency and the fight against energy poverty: A dilemma of energy transitions. Renewable Energy Law and Policy Review, 9(3), 5–21.

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2026). Guía para el cálculo de la huella de carbono y para la elaboración de un plan de reducción de emisiones de una organización.

Naciones Unidas. (s. f.). Objetivos de Desarrollo Sostenible. https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-development-goals/

Operador del Mercado Ibérico de Energía (OMIE). (2017). Informe de precios 2017.

Operador del Mercado Ibérico de Energía (OMIE). (2020). Evolución del mercado de electricidad. Informe anual 2020.

Operador del Mercado Ibérico de Energía (OMIE). (2021). Evolución del mercado de electricidad. Informe anual 2021.

Operador del Mercado Ibérico de Energía (OMIE). (2022). Evolución del mercado de electricidad. Informe anual 2022.

Operador del Mercado Ibérico de Energía (OMIE). (2023). Evolución del mercado de electricidad. Informe anual 2023.

Operador del Mercado Ibérico de Energía (OMIE). (2024). Evolución del mercado de electricidad. Informe anual 2024.

Operador del Mercado Ibérico de Energía (OMIE). (2025). Evolución del mercado de electricidad. Informe anual 2025.

Ordóñez Mendieta, Á. J., & Sánchez Hernández, E. (2021). Analysis of PV Self-Consumption in Educational and Office Buildings in Spain. Sustainability, 13(4), 1662. https://doi.org/10.3390/su13041662

Roca, R. (2026). España bate el récord histórico de generación libre de emisiones en 2025. El Periódico de la Energía. https://elperiodicodelaenergia.com/espana-bate-el-record-historico-de-generacion-libre-de-emisiones-en-2025/

Romero-Jordán, D., & del Río, P. (2022). Analysing the drivers of the efficiency of households in electricity consumption. Energy Policy, 164, 112828. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.112828

Roszkowska, E. (2011). Multi-Criteria Decision Making Models by Applying the TOPSIS Method to Crisp and Interval Data. Multiple Criteria Decision Making, 6, 200–230.

ANEXO I: FORMULARIO (RECOPILACIÓN DE DATOS)

Auditoría de Impacto Fotovoltaico - Proyecto Fundación Naturgy - Cáritas

Mi nombre es Juan Cervera y soy alumno de último año de Ingeniería Industrial en ICAI, Comillas. Estoy realizando un estudio técnico para mi Trabajo de Fin de Grado, en colaboración con la Fundación Naturgy, con el objetivo de cuantificar el ahorro real y el impacto social de la instalación fotovoltaica de su centro. Le solicito su colaboración adjuntando la documentación requerida; su ayuda es fundamental para que pueda analizar con precisión el rendimiento de la planta. Muchas gracias por su colaboración.

Contacto: 202204103@alu.comillas.edu / cerveralostaojuan@gmail.com

* Indica que la pregunta es obligatoria

1. Seleccione la **entidad social / centro** al que pertenece: * Dropdown

Marca solo un óvalo.

- Cáritas Ávila PV, Ávila
- Casa Madre de Dios, Valencia
- Centro diocesano de Cuenca, Cuenca
- Fenelón, Madrid
- Cerro de la Mica, Madrid
- Centro de acogida San Francisco de Borja, Gandía
- Centro San Francisco Javier, Pontevedra
- Centro Padre Damián, Salamanca
- Centro Mambré, Almería
- Casa de acogida para mujeres, Vic
- Casa Abraham, Ciudad Real
- Casa Virgen Blanca, León
- Casa Familiar Santa Zita, Madrid

2. **Histórico de facturación PRE-Instalación**

   Por favor, adjunte las facturas eléctricas de los 12 meses previos a la puesta en marcha de las placas solares.

   Necesito disponer de 12 facturas mensuales de un periodo completo anterior a la puesta en marcha para establecer la línea base de consumo de su centro.

   Flexibilidad de fechas: si no dispone de los meses inmediatamente anteriores a la instalación, puede subir facturas de periodos más antiguos, siempre que sean 12 meses correlativos y no se repita ningún mes. Instrucciones de nombrado: por favor, renombre los archivos indicando el mes y el año (ejemplo: *Enero_2021.pdf*).

   Nota importante: Debido a limitaciones del formulario, en este apartado solo puede subir un máximo de 10 archivos. Por favor, suba aquí los 10 primeros y utilice la pregunta 4 para adjuntar los archivos restantes. Si lo desea, puede subir los archivos en una carpeta comprimida.

   Archivos enviados:

3. **Histórico de facturación POST-Instalación**

   Por favor, adjunte las facturas eléctricas (en PDF original) recibidas desde que la instalación fotovoltaica está operativa.

   Para analizar el rendimiento real de las placas, necesito comparar el consumo actual con el anterior.

   Si la instalación tiene más de un año: por favor, adjunte 12 facturas mensuales correlativas. A ser posible, que sean las 12 facturas inmediatamente posteriores a la puesta en marcha. Si no dispone de ellas, adjunte las 12 más recientes.

   Si la instalación tiene menos de un año: por favor, adjunte todo el histórico de facturas del que disponga hasta la fecha, aunque no se haya completado el ciclo anual.

   Instrucciones de nombrado: al igual que en el apartado anterior, le ruego que nombre los archivos con el mes y el año (ejemplo: *Enero_2026.pdf*).

   Nota importante: debido a limitaciones del formulario, en este apartado solo puede subir un máximo de 10 archivos. Por favor, suba aquí los 10 primeros y utilice la pregunta 4 para adjuntar los archivos restantes. Si lo desea, puede subir los archivos en una carpeta comprimida.

   Archivos enviados:

4. **Espacio adicional para carga de facturas o documentos técnicos.**

   Utilice este apartado únicamente en caso de que no haya podido adjuntar toda la documentación en las preguntas anteriores debido al límite de archivos. Si le han faltado facturas por subir (tanto del periodo pre-instalación como post-instalación), por favor, adjúntelas aquí asegurándose de que el nombre del archivo incluya el mes y el año (ejemplo: *Julio_2023.pdf*).

   Archivos enviados:

5. **Documentación Técnica de la Instalación**

   Por favor, adjunte la propuesta técnica, el proyecto de ejecución o la oferta final aceptada de la empresa instaladora.

   Este documento es necesario para poder extraer datos críticos del proyecto original. Si se dispone también del Certificado de Instalación Eléctrica (CIE) o si se ha realizado algún estudio de la instalación previo a su puesta en marcha, le agradecería que también fuese incluido en este apartado.

   Archivos enviados:

6. **Datos de generación y autoconsumo**

   ¿Dispone de los datos de energía total generada por las placas solares durante los mismos periodos de las facturas enviadas?

   Para completar el balance energético, necesito conocer no solo lo que el centro consume de la red, sino también cuánta energía han producido sus placas. Si dispone de estos datos, adjúntelos aquí.

   Archivos enviados:

7. **Cambios en el perfil de consumo** *

   ¿Se ha producido algún cambio significativo en el equipamiento o uso del centro tras instalar las placas?

   Indique si han instalado nuevos aires acondicionados, maquinaria o si han cambiado los horarios de actividad. Esto me ayuda a normalizar los datos y que el análisis sea más preciso.

8. **Impacto social y reinversión** *

¿De qué manera ha impactado el ahorro energético en la labor social que realiza su centro? ¿En qué áreas o proyectos del centro se ha reinvertido el ahorro económico generado por las placas solares?

Me gustaría saber si el dinero ahorrado se ha destinado a otros proyectos o si ha ayudado a la resiliencia económica de la entidad.

En la medida de lo posible, cuantifique mediante ejemplos concretos de la actividad de su entidad estos beneficios sociales. Por ejemplo: capacidad de acogida, aumento de servicios básicos, aumento de atención directa, etc.

9. ¿Desea añadir algún **comentario, observación o detalle** relevante sobre la instalación o el proceso de ahorro en su centro? Si tiene algún comentario sobre el formulario, escríbalo aquí también.

10. Por favor, indique un **nombre de contacto y un correo electrónico** a los que pueda dirigirme en caso de que me surja alguna duda durante el análisis de sus datos. *

ANEXO II: PROMPTS PARA LA EXTRACCIÓN Y TRATAMIENTO DE DATOS MEDIANTE IA

EXTRACCIÓN DE DATOS

Necesito que extraigas datos de facturas eléctricas y los añadas a un Excel existente. Sigue estas instrucciones al pie de la letra.
CONTEXTO
Estoy haciendo mi TFG sobre el impacto de instalaciones solares fotovoltaicas (FV) en entidades sociales de Cáritas. Necesito comparar el consumo eléctrico antes y después de la instalación de placas solares.
LO QUE TIENES QUE HACER

1. Leer las facturas que te adjunto.
2. Extraer los datos indicados abajo.
3. Añadirlos al Excel que te adjunto y devolvérmelo actualizado.
4. Cada factura debe ocupar una fila del Excel. No hagas prorrateos, no dividas facturas por meses y no agrupes varias facturas en una sola fila.

COLUMNAS DEL EXCEL (en este orden)

- Sede
- Fecha Inicio
- Fecha Fin
- Nº Días
- Antes/Después FV
- Consumo Total (kWh)
- Consumo P1 (kWh)
- Consumo P2 (kWh)
- Consumo P3 (kWh)
- Consumo P4 (kWh)
- Consumo P5 (kWh)
- Consumo P6 (kWh)
- Coste Total Energía (€)
- Importe Total Factura (€)
- Excedentes (kWh)
- Precio total P1 de término de energía variable (€/kWh)
- Precio total P2 de término de energía variable (€/kWh)
- Precio total P3 de término de energía variable (€/kWh)
- Precio total P4 de término de energía variable (€/kWh)
- Precio total P5 de término de energía variable (€/kWh)
- Precio total P6 de término de energía variable (€/kWh)

- Potencia contratada de P1 (kW)
- Potencia contratada de P2 (kW)
- Potencia contratada de P3 (kW)
- Potencia contratada de P4 (kW)
- Potencia contratada de P5 (kW)

CÓMO EXTRAER CADA DATO

- **Sede:** NO copies el nombre literal de la factura. Usa el de la lista al final que más se parezca
- **Fecha Inicio / Fecha Fin:** del período de facturación
- **Nº Días:** días del período facturado
- **Antes/Después FV:** lo pone en el título del PDF de las facturas.
- **Consumo Total (kWh):** suma de todos los períodos (P1+P2+...+P6). Usa los valores redondeados del resumen principal, no los del detalle diario
- **Consumo P1 a P6 (kWh):** consumo de cada período por separado. Usa los valores de la fila "Consumo" de la tabla de lecturas (página 2 de la factura). Si un período no aparece o es 0, pon 0
- **Coste Total Energía (€):** importe del término de energía variable que aparece en el resumen principal de la factura (sin potencia, sin IVA, sin otros conceptos)
- **Importe Total Factura (€):** el TOTAL FACTURA que aparece al final, con todos los conceptos e IVA incluidos
- **Excedentes (kWh):** si aparece "Compensación Excedente X kWh", anota esos kWh. Si no aparece, pon 0.
- **Precio total por periodo:** sumar de cada período los precios relacionados con la energía variable (energía precio horario, energía facturada peajes, energía facturada cargos). No añadir precios en términos de potencia o servicios y otros conceptos.
- **Potencia Contratada por periodo (kW):** extraer la potencia contratada en cada uno de los periodos P1, P2, P3, P4, P5 y P6.

COLORES DE FILA EN EL EXCEL

- Filas "Antes": fondo azul claro (D6E4F0)
- Filas "Después": fondo verde claro (D5F0D6)

LISTA DE NOMBRES DE SEDE (usa siempre el más parecido al nombre que aparezca en la factura):

1. Cáritas Ávila PV, Ávila
2. Centro diocesano de Cuenca, Cuenca
3. Fenelón, Madrid
4. Cerro de la Mica, Madrid
5. Centro de acogida San Francisco de Borja, Gandía
6. Centro San Francisco Javier, Pontevedra
7. Centro Padre Damián, Salamanca
8. Casa de acogida para mujeres, Vic
9. Casa Abraham, Ciudad Real
10. Casa Familiar Santa Zita, Madrid
11. Centro de rehabilitación San Román, Zamora

FORMATO No me des una tabla para copiar y pegar. Añade directamente las filas al Excel que te adjunto y devuélvemelo como archivo descargable.

PRORRATEO

Necesito que hagas un prorrateo del siguiente Excel. Sigue las instrucciones que te voy a dar. Cada fila es una factura eléctrica con distinto número de días y distintos días de comienzo de facturación. Necesito que ahora cada fila sea un mes diferente. Las columnas las harás de la siguiente manera:

- Sede: se queda igual.
- Fecha inicio: La primera de cada mes. En el caso de que haya un mes que no tengas información de los primeros días (por ejemplo, que la primera factura sea desde mitad de mes), te indico más adelante como proceder.
- Fecha fin: el último día de cada mes. Lo mismo si no tienes los últimos días del mes, te indico más adelante.
- Nº Días: los que haya en el mes.
- Antes/Después FV: se queda igual. En el caso en el que haya un mes en el que pasa de Antes a Después, pon Cambio. Por ejemplo: si hay una factura del 01/07/2022 a 11/07/2022 que es Antes y la siguiente es del 12/07/2022 al 31/07/2022 y es Después, las juntas y pones Cambio.

Ahora te explico de cada una de las siguientes columnas como juntar los datos:

- **Consumos (total, P1, P2, P3, P4, P5, P6):** he creado 7 columnas adicionales (AB – AH) que son los consumos medios al día (total y de cada período). Tienes que coger esta cifra y multiplicarla por los días de mes que haya dentro de esa factura. Por ejemplo, tienes dos facturas: factura 1 del 12/08/2023 al 11/09/2023 y factura 2 del 12/09/2023 a 03/10/2023, para calcular el consumo total en el mes septiembre 2023: coges el consumo total diario de factura 1 y lo multiplicas por el número de días de septiembre en factura 1 (11 días) y sumas el valor de consumo total diario de factura 2 multiplicado por el número de días de septiembre en factura 2 (19 días).
- **Precios P1,P2,P3,P4,P5,P6 Término Energía Variable:** he creado 6 columnas adicionales (AI – AN) que son los precios en término de energía variable entre el número de días de la factura (de cada período). Coges esta cifra y la multiplicas por el número de días del mes que haya dentro de esa factura (el mes que estás tratando en la columna). Ahora lo divides entre el consumo del período que estés tratando para que quede [€/kWh]. Sumas los de diferentes facturas siempre que sea el mismo mes y año.
- Coste total de energía: multiplicas el nuevo Precio Término Energía Variable de cada período por el Consumo del mismo período por separado y luego los sumas. Es decir: Precio P1 Término Energía Variable * Consumo P1 + Precio P2 Término Energía Variable * Consumo P2 + …

- Importe total factura: divides entre nº días totales en factura y multiplicas por nº de días que pertenezcan al mes que estás rellenando. Sumas los de diferentes facturas siempre que sea el mismo mes y año.
- Excedentes: igual que importe total de factura. Siempre y cuando el mes esté clasificado como Después, si el mes está clasificado como Antes o Cambio, poner 0.
- Potencia Contratada P1,P2,P3,P4,P5,P6 (kWh): poner las de la primera factura que contenga el mes que se está tratando.

Las columnas adicionales se pueden eliminar.
Apuntes:

- Meses que faltan días: usar los datos que hay disponibles para rellenar los huecos. Es decir, si una factura es del 01/06/2017 al 11/06/2017 y la siguiente ya empieza en julio, todos los datos que sean [ud/día] se van a multiplicar por el número de días que hubo en ese mes. Asumir que los días que hay en la factura, las uds medias se pueden aplicar a todos los días del mes.
- Hay algunas facturas que pueden ser bonos y el importe sea negativo. En este caso tratar igual que las demás, dividiendo entre nº de días de la factura y multiplicando por nº de días del mes.

ANEXO III: RESPUESTAS DEL FORMULARIO

Seleccione la entidad social / centro al que pertenece:	**Cambios en el perfil de consumo** **¿Se ha producido algún cambio significativo en el equipamiento o uso del centro tras instalar las placas?** **Indique si han instalado nuevos aires acondicionados, maquinaria o si han cambiado los horarios de actividad. Esto me ayuda a normalizar los datos y que el análisis sea más preciso.**	**Impacto social y reinversión** **¿De qué manera ha impactado el ahorro energético en la labor social que realiza su centro? ¿En qué áreas o proyectos del centro se ha reinvertido el ahorro económico generado por las placas solares?** **Me gustaría saber si el dinero ahorrado se ha destinado a otros proyectos o si ha ayudado a la resiliencia económica de la entidad.** **En la medida de lo posible, cuantifique mediante ejemplos concretos de la actividad de su entidad estos beneficios sociales. Por ejemplo: capacidad de acogida, aumento de servicios básicos, aumento de atención directa, etc.**
Centro San Francisco Javier, Pontevedra	En julio de 2025 se iniciaron obras de una planta del edificio en reforma, lo cual ha podido variar el patrón de consumo.	La instalación de paneles solares en el centro de atención a personas sin hogar San Javier ha generado un significativo ahorro en los costes energéticos del funcionamiento diario. Esta reducción del gasto en electricidad ha permitido liberar recursos económicos que anteriormente se destinaban a cubrir dichos consumos. Gracias a este ahorro, el centro ha podido reinvertir los fondos disponibles en la mejora de la atención a las personas usuarias. En

		concreto, se han reforzado distintos servicios esenciales, incrementando la calidad y el alcance de la intervención social. Asimismo, se han ampliado las ayudas directas destinadas a las personas atendidas, facilitando un mayor apoyo en aspectos básicos como alimentación, higiene, transporte y acompañamiento social. La apuesta por la energía solar no solo ha supuesto un beneficio ambiental, sino que ha tenido un impacto directo y positivo en la calidad de los servicios del centro, permitiendo optimizar los recursos y mejorar la atención integral a las personas en situación de vulnerabilidad.
Cáritas Ávila PV, Ávila	No se han producido cambios	Se ha aplicado en el programa de empleo
Centro diocesano de Cuenca, Cuenca	ninguno	ha ayudado a la resiliencia económica de la entidad

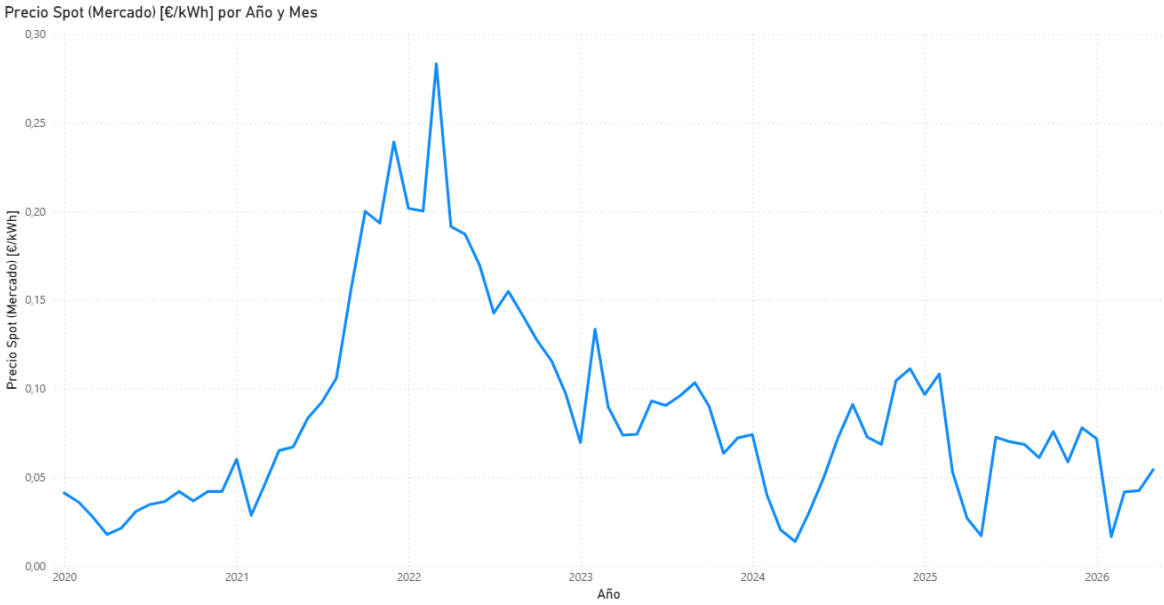
Casa de acogida para mujeres, Vic	Aprovechando la autogeneración se instaló en Òdena 2 nuevos aires acondicionados (junio de 2025)	El ahorro energético derivado de la instalación en nuestro recurso de placas fotovoltaicas, junto con otras mejoras de eficiencia realizadas en el último año como el refuerzo del aislamiento (renovación de cerramientos y ventanas) y la instalación de sistemas de aire acondicionado, ha tenido un impacto significativo en la labor social de la Llar d'acollida. En primer lugar, ha contribuido a fortalecer la resiliencia económica de la entidad. La reducción de los costes energéticos mensuales nos ha permitido disminuir la presión sobre el presupuesto de gasto, especialmente en un contexto de incremento generalizado de los precios de la energía. Esto nos proporciona mayor estabilidad y capacidad de planificación a medio y largo plazo. Hemos podido compensar la energía volcada en una disminución del coste de la factura de electricidad de la sede de Càritas. En cuanto a la reinversión del ahorro generado, estos recursos se han destinado directamente a mejorar la atención a las mujeres y menores acogidos y a reforzar los servicios del centro. Por ejemplo: Se ha incrementado la capacidad de atención directa, permitiendo ampliar las horas de acompañamiento social. Se han reforzado servicios básicos, como la climatización adecuada de las instalaciones, mejorando el confort y bienestar de las personas acogidas, especialmente en

		periodos de temperaturas extremas. Se ha podido también instalar aires acondicionados y garantizar la realización de actividades en épocas de altas temperaturas, aprovechando la disminución del coste de la factura, en la sede de Càritas donde se llevan a cabo programas de inserción sociolaboral, formación y apoyo a la autonomía de las mujeres. En definitiva, la mejora en la eficiencia energética no solo ha supuesto un beneficio económico, sino que ha tenido un impacto social directo, al permitir destinar más recursos a la misión principal del proyecto: la protección, recuperación y acompañamiento de mujeres víctimas de violencia.
Casa Abraham, Ciudad Real	Cáritas Diocesana de Ciudad REal, está analizando la efectividad de la medida para poder realizar modificaciones en otros suministros del centro, como es valorar la la modificación de la climatización del mismo.	Actualmente, se está valorando el impacto real de la instalación realizada. El plan que se pondría en funcionamiento, sería inicialmente, favorecer y robustecer la situación económica del centro de atención a personas sin hogar, Casa de Abraham. Es una prioridad de la institución converger los gastos manteniendo el funcionamiento normal del centro.
Centro Padre Damián, Salamanca	No ha existido ninguna instalación nueva, pero sí se ha variado los horarios de la actividad. Anteriormente el uso de	El ahorro energético generado gracias a la instalación de placas solares ha tenido un impacto muy positivo en la labor social que realiza nuestro centro. Esta medida

	lavadora y secadora del centro (28 residente) era por la noche (tarifa reducida) mientras que ahora se realiza a mediodia (horas de mayor producción de energía).	no solo ha contribuido a una gestión más sostenible y responsable de los recursos, sino que también ha reducido los gastos energéticos, permitiéndonos optimizar nuestro presupuesto y destinarlo con mayor eficacia a la atención de las personas residentes en el centro.
Centro de rehabilitación San Román, Zamora	Se está valorando la posibilidad de la instalación de equipos de aire acondicionado debido al ahorro que se está llevando a cabo con las placas solares. Cada vez es más necesaria la instalación de estos equipos de aire acondicionado debido al calor extremo que estamos experimentando los últimos veranos.	Con este ahorro económico se han podido llevar a cabo otras labores sociales, es decir, más salidas culturales, actividades deportivas, excursiones, etc y también ha contribuido a disminuir la carga económica del Centro.
Centro de acogida San Francisco de Borja, Gandía	No	Invertir en otro tipo de ayudas y en el sistema de aire acondicionado
Fenelón, Madrid	No	El ahorro energético entra dentro del global de Cáritas por lo que ese ahorro va a otros proyectos
Cerro de la Mica, Madrid	No	El ahorro energético entra dentro del global de Cáritas por lo que ese ahorro va a otros proyectos
Casa Familiar Santa Zita, Madrid	No	El ahorro energético entra dentro del global de Cáritas por lo que ese ahorro va a otros proyectos

ANEXO IV: COMPENSACIÓN POR EXCEDENTES

La siguiente gráfica muestra la evolución del precio medio mensual del mercado mayorista de electricidad durante el periodo analizado. Aunque este precio no coincide con el precio finalmente facturado a las sedes, que depende también del tipo de contrato, comercializadora, peajes y otros conceptos, permite contextualizar la elevada volatilidad existente durante los años 2021 y 2022. Esta circunstancia constituye una de las posibles causas que explican parte de las diferencias observadas entre los precios medios facturados antes y después de la instalación fotovoltaica.



ANEXO IV: COMPENSACIÓN POR EXCEDENTES

La siguiente tabla recoge, para cada sede y mes, los excedentes de energía compensados económicamente según las condiciones contractuales vigentes, referenciados en el apartado 6.4 para explicar las desviaciones entre el consumo esperado y el real.

Sede	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
Cáritas Ávila PV, Ávila	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Casa Abraham, Ciudad Real	35,00								0,00	0,00	167,00	110,00
Casa de acogida para mujeres, Vic	363,00	729,10	1.071,50				0,00	0,00	1.032,10	926,10	675,50	377,90
Casa Familiar Santa Zita, Madrid	0,00	18,90	598,60	974,20								
Centro de acogida San Francisco de Borja, Gandía	486,00	894,00	1.338,00		2.168,00		1.607,00	0,00	0,00	984,00	773,00	552,00
Centro de rehabilitación San Román, Zamora	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00
Centro diocesano de Cuenca, Cuenca	109,48	183,66	247,91	837,24	976,57	955,87	1.154,16	715,01	493,30	344,70	156,78	39,59
Centro Padre Damián, Salamanca	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Centro San Francisco Javier, Pontevedra	2,00	63,00	69,80				428,00	371,00	166,00	66,00	20,00	2,00
Cerro de la Mica, Madrid	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fenelón, Madrid	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00