



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

Estudio de impacto teórico de la Rehabilitación
Exprés en el consumo energético de los hogares
españoles

Autor: Ana del Río Miño

Directores: Roberto Barrella y José Carlos Romero Mora

Madrid

Junio 2022

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
**Estudio de impacto teórico de la Rehabilitación Exprés en el
consumo energético de los hogares españoles**
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2022/2023 es de mi autoría, original e inédito y
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es
plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada
de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: Ana del Río Miño

Fecha: 26 / 06 / 2023



Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Roberto Barrella y José Carlos Romero

Fecha: 27/ 06/ 2023

Firmado por
****2135*
ROBERTO
BARRELLA el

José
Carlos
Romero
Mora

Firmado
digitalmente
por José Carlos
Romero Mora
Fecha:
2023.06.27
15:19:43 +02'00'

Agradecimientos

A mis tutores, Roberto y José Carlos, por dedicarme tiempo, enseñarme, ser flexibles conmigo y el gran trabajo que realizan día a día en la Cátedra.

Estudio de impacto de la Rehabilitación Exprés en hogares vulnerables

Autor: del Río Miño, Ana.

Directores: Roberto Barrella y Jose Carlos Romero Mora.

Entidad colaboradora: Cátedra de Energía y Pobreza de la Universidad Pontificia de Comillas ICAI.

Resumen del proyecto

El trabajo surge como respuesta a un problema actual en España, el de pobreza energética. Consiste en el estudio teórico del ahorro de demanda energética mediante diferentes medidas pasivas y activas de rehabilitación de viviendas que mejoran la calidad de vida de las personas en el interior de sus viviendas.

Introducción

Este trabajo se basa en el estudio teórico de la reducción de la demanda energética mediante distintos métodos de rehabilitación exprés de viviendas en España. Está realizado bajo la supervisión de la Cátedra de Energía y Pobreza de la Universidad Pontificia de Comillas ICAI. Este trabajo se ha basado principalmente en los estudios realizados por Gas Natural Fenosa, hoy en día Naturgy, en julio de 2017 y los estudios actualizados en el 2022. También se ha obtenido información de la tesis doctoral de Roberto Barrella y los TFM's de Gonzalo Borque y Mario Fernández.

El trabajo se divide en tres partes, la primera consiste en una introducción del tema de estudio, definición de la pobreza energética, de la situación actual de las viviendas en España y de la eficiencia energética de las viviendas. También se introduce la explicación de las características de las cuatro diferentes zonas climáticas para medidas pasivas en las que se divide el proyecto (Barcelona, La Coruña, Madrid y Sevilla). Introduce por último los puntos más importantes del plan de descarbonización europeo para el 2050. La segunda parte consiste en el estudio teórico de las diferentes medidas pasivas de rehabilitación exprés y el impacto que tendrían en cada zona climática aplicándose primero para la reducción de la demanda de calefacción y, después, para la reducción de la demanda de refrigeración. Las medidas pasivas estudiadas son el aislamiento de muros, aislamiento de techos, pintura cubierta, sustitución de vidrios, sustitución de vidrios y carpinterías, aplicación de burletes y, por último, el uso de toldos en los meses calurosos. A continuación, se estudian las medidas activas de intercambio de tecnología luminaria a LEDs, la sustitución de los principales electrodomésticos empleados en la vivienda a modelos más eficientes, la sustitución de la caldera y, por último, la aplicación de thermo-cover.

Estudio

En primer lugar, mediante las medidas pasivas, se estudia un modelo de vivienda que consta de tres plantas y tres viviendas por cada planta para poder captar las diferentes condiciones térmicas según la localización de la vivienda.

Se analizan las medidas para reducción de calefacción para cada zona climática. Se obtiene que las medidas más útiles son las de aislamiento de muros, aislamiento de techos y sustitución de vidrios y calderas para todas las zonas climáticas. En el caso de Barcelona, mediante el aislamiento de muros se ahorra el 39,51% de demanda de calefacción de media, en La Coruña el 42,24%, en Madrid el 34,61% y en Sevilla el 44,2%. En todas las zonas climáticas el aislamiento de muros es la medida más eficaz para ahorrar demanda energética en los meses fríos.

Respecto a los meses cálidos, en Barcelona la medida más eficaz es la pintura exterior, ahorrando un 89,88% de demanda de refrigeración de media, al igual que en Madrid, donde ahorra un 73,13% de media. En La Coruña no se aplica el estudio de ahorro de refrigeración debido a la baja demanda por sus condiciones climáticas. Por otro lado, en Sevilla, la medida más eficaz es el empleo de toldos para proteger de la radiación solar, ahorrando un 61.25% de media.

Respecto a la Severidad Climática de Invierno, SCI, se observa que cuánto mayor es este índice, menor reducción porcentual de la demanda. Madrid es la ciudad con mayor SCI debido a sus climas extremos y alta demanda de energía tanto en verano como en invierno. Es por ello por lo que, en comparación con las otras ciudades, en Madrid el ahorro relativo de demanda con la aplicación de las medidas de rehabilitación es menor. La ciudad con menor SCI es Sevilla, por lo que será dónde más eficacia tenga la aplicación de las medidas de rehabilitación exprés. Seguidamente, se encuentra Barcelona y La Coruña.

En el estudio de medidas activas se obtiene que la tecnología luminaria tipo LED es la más eficiente hoy en día en el mercado, ahorrando de media un 48,5% de demanda energética respecto a los otros tipos de bombillas.

Los electrodomésticos que más consumen son la secadora, el congelador y el frigorífico. La sustitución de electrodomésticos por versiones nuevas con certificado de eficiencia A+++ reducen notablemente el consumo. Desgraciadamente, esta sustitución tiene un coste elevado. Existen varias fundaciones en España que ayudan a la población en la compra de electrodomésticos más eficientes para conseguir ahorrar en las facturas eléctricas, entre ellas, ECODES y A+Familias.

Siendo la caldera de gas muy común en España, mediante el cambio de la caldera de este tipo antigua a una caldera nueva más eficiente, se ahorra de media el 17% en calderas individuales.

Conclusiones

Como conclusión, es importante realizar una labor de difusión para que la población tome conciencia de las posibilidades que existen de conseguir eficiencia energética en sus viviendas y ahorrar en la factura eléctrica. Estas medidas no sólo ayudarán al bienestar de la sociedad sino también a crear un mundo más limpio. Mediante instituciones como la Universidad Pontificia de Comillas se están realizando numerosos estudios acerca de este problema. La rehabilitación de viviendas gana mayor importancia cada día y junto con el trabajo de todos puede hacerse realidad el gran impacto que conlleva y que se ha visto reflejado en este trabajo.

Study of the impact of Express Housing Rehabilitation in vulnerable households.

Author: del Río Miño, Ana.

Supervisors: Roberto Barrella y Jose Carlos Romero Mora.

Collaborating Entity: Cátedra de Energía y Pobreza de la Universidad Pontificia de Comillas ICAI.

Abstract of the project

This project arises as a response to a current problem in Spain, energy poverty. It consists of the study of the saving of energy demand through different passive and active measures of housing rehabilitation that improve the quality of people's life inside their homes.

Introduction

This work is based on the study of the reduction of energy demand through different methods of express rehabilitation of homes in Spain. It is carried out under the supervision of the Chair of Energy and Poverty of Universidad Pontificia de Comillas ICAI. This work has been based mainly on the studies carried out by Gas Natural Fenosa, today called Naturgy, in July 2017, and the studies updated in 2022. Information has also been obtained from Roberto Barrella's doctoral thesis and the final master thesis of Gonzalo Borque and Mario Fernández.

The work is divided into three parts, the first consists of an introduction to the subject of study, definition of energy poverty, the current situation of housing in Spain and the energy efficiency of housing. An explanation of the characteristics of the four different climatic zones for passive measures into which the project is divided (Barcelona, La Coruña, Madrid and Seville) is also introduced. Finally, it introduces the most important points of the European decarbonisation plan for 2050. The second part consists of the theoretical study of the different passive express rehabilitation measures and the impact they would have in each climatic zone, firstly applied to reduce the demand for heating and then for cooling demand reduction. The passive measures studied are the insulation of walls, insulation of ceilings, covered painting, replacement of glass, replacement of glass and carpentry, application of weather stripping and, finally, the use of awnings in the hot months. Next, the active measures of exchange of lighting technology to LEDs are studied, the replacement of the main electrical appliances used in the home with more efficient models, the replacement of the boiler and, finally, the application of thermo-cover.

Study

In the first place, through passive measures, a housing model consisting of three floors and three houses for each floor is studied in order to capture the different thermal conditions depending on the location of the house.

Heating reduction measures are analyzed for each climatic zone. It is obtained that the most useful measures are the insulation of walls, insulation of roofs and replacement of glass and boilers for all climatic zones. In the case of Barcelona, by insulating walls, 39.51% of heating demand is saved on average, in La Coruña 42.24%, in Madrid 34.61% and in Seville 44.2%. In all climatic zones, wall insulation is the most effective measure to save energy demand in the cold months.

Regarding the warm months, in Barcelona the most effective measure in exterior painting, saving an average of 89.88% in cooling demand, the same as in Madrid, where it saves an average of 73.13%. In La Coruña, the refrigeration savings study is not applied due to low demand due to its climatic conditions. On the other hand, in Seville, the most effective measure is the use of awnings to protect from solar radiation, saving an average of 61.25%.

Regarding the Winter Climatic Severity, SCI, it is observed that the higher this index is, the lower the percentage reduction in demand. Madrid is the city with the highest SCI due to its extreme climates and high energy demand both in summer and winter. That is why, compared to other cities, in Madrid the relative savings in demand with the application of rehabilitation measures is lower. The city with the lowest SCI is Seville, so it will be where the application of express rehabilitation measures is most effective. Next, there is Barcelona and La Coruña.

In the study of active measures, it is obtained that LED-type lighting technology is the most efficient on the market today, saving an average of 48.5% of energy demand compared to other types of bulbs.

The electrical appliances that consume the most are the dryer, the freezer and the refrigerator. Replacing electrical appliances with new versions with an A+++ efficiency certificate significantly reduces consumption. Unfortunately, this substitution has a high cost. There are several foundations in Spain that help the population to buy more efficient household appliances to save on electricity bills, including ECODES and A+Familias.

Being the gas boiler very common in Spain, by changing the boiler of this old type to a new, more efficient boiler, an average of 17% is saved in individual boilers.

Conclusions

To conclude, it is important to carry out dissemination work so that the population becomes aware of the possibilities that exist to achieve energy efficiency in their homes and save on electricity bills. These measures will not only help the well-being of society but also create a cleaner world. Through institutions such as the Comillas Pontifical University, numerous studies are being carried out on this problem. The rehabilitation of homes gains more importance every day and together with everyone's work, the great impact that it entails and that has been reflected in this work can become a reality.



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

Estudio de impacto teórico de la Rehabilitación
Exprés en el consumo energético de los hogares
españoles

Autor: Ana del Río Miño

Directores: Roberto Barrella y José Carlos Romero Mora

Madrid

Junio 2022

Índice de contenidos

Capítulo 1: Introducción	13
1.1 Contexto	13
1.2 Pobreza energética y eficiencia energética	14
1.2.1 Definición	14
1.2.2 La pobreza energética en España.....	17
1.2.3 Normativa de construcción en España.....	19
1.2.4 Distribución de los hogares por grado de pobreza energética	20
1.2.5 Consecuencias de la pobreza energética y medidas para solucionarla	21
1.2.6 Normativas de rehabilitación.....	22
1.2.7 Plan de descarbonización de Europa 2050	22
1.3 Rehabilitación según la antigüedad de la vivienda	24
1.4 Zonas climáticas.....	25
1.4.1 Clima en Barcelona	25
1.4.2 Clima en La Coruña	26
1.4.3 Clima en Madrid.....	27
1.4.4 Clima en Sevilla	28
1.5 Funcionamiento de los contratos de electricidad en España	30
1.5.1 Mercado libre.....	30
1.5.2 Mercado regulado.....	30
Capítulo 2: Reducción del consumo energético con cada medida.....	32
2.1 Modelo de vivienda	34
2.2 Características de construcción	34
2.3 Temperatura confort en la vivienda	36
2.4 Variación de la demanda energética	36
2.5 Análisis de medidas de rehabilitación para el ahorro de calefacción	37
2.5.1. Barcelona	37
2.5.2 La Coruña	42
2.5.3. Madrid.....	46
2.5.4 Sevilla	50
2.6 Análisis de medidas de rehabilitación para el ahorro de refrigeración	55
2.6.1 Barcelona	55
2.6.2 La Coruña	59
2.6.3 Madrid.....	60
2.6.4 Sevilla	65
2.7 Representación de la reducción relativa de demanda energética vs Severidad Climática Invernal para meses fríos.....	70
2.8 Otras medidas de reducción de la demanda energética	73
2.8.1 LED	73
2.8.2 Sustitución de electrodomésticos	76
2.8.3 Cambio de caldera	80
2.8.4 Thermo Cover	86
Capítulo 3: Conclusiones.....	88
3.1 Conclusiones	88
Anexo I: Alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible	91
Bibliografía	92
Figuras	92
Tablas.....	93
Fuentes de información.....	93
Referencias	96

Capítulo 1: Introducción

1.1 Contexto

Este trabajo se basa en el estudio de la reducción de la demanda energética mediante los distintos métodos de rehabilitación exprés de viviendas vulnerables en España. El objetivo es la mejora de las condiciones térmicas en el interior de las viviendas de las familias que sufren pobreza energética mediante la realización de medidas de rehabilitación exprés mediante las que se reduce la demanda energética.

El concepto de rehabilitación exprés consiste en la aplicación de soluciones de bajo coste y aplicación sencilla para la mejora del bienestar térmico de las viviendas, enfocado en mejorar la calidad de vida de las familias vulnerables. Se trata de un tema puntero con mucho crecimiento por delante debido al incremento del número de familias que sufren pobreza energética en España, según el “Informe de Indicadores de Pobreza Energética en España 2021” de la Cátedra de la Universidad Pontificia de Comillas. Se podrían tratar como soluciones ‘low cost’ enfocadas en la mejora de la condición de la vivienda.

El proyecto se centra en dos tipos de medidas de rehabilitación, las medidas activas, que consisten en la mejora de la eficiencia de la instalación y, las medidas pasivas, que se centran en la reducción de demanda energética. El análisis del impacto de las medidas pasivas se divide por vivienda, zona climática y etapa del año, contando con meses cálidos y meses fríos. Las medidas de rehabilitación pasivas estudiadas son: aislamiento de muros, aislamiento de techos, pintura cubierta, sustitución de vidrios, sustitución de vidrios y carpintería y, por último, burletes. En los meses cálidos se introduce la medida adicional de toldos. Esta parte del estudio se divide en cuatro diferentes zonas climáticas en España; Barcelona, A Coruña, Madrid y Sevilla. Para realizarlo se simula un bloque de viviendas que consta de 3 plantas (planta 1, planta 2 y planta 3) y 3 viviendas en cada planta (A, B y C), por lo tanto, un total de 9 viviendas. Este modelo de viviendas es empleado debido a la diferencia de necesidades energéticas entre unas viviendas y otras, dependiendo de la planta y situación en la que se encuentren dentro del bloque. El factor que más influye en la pérdida energética es el grado de exposición al exterior de las viviendas.

Se realiza también el estudio genérico del impacto de las siguientes medidas activas de rehabilitación: sustitución de tecnología luminaria, sustitución de electrodomésticos, cambio de caldera y de los novedosos productos thermocover.

Este trabajo está realizado bajo la supervisión de la Cátedra de Energía y Pobreza de la Universidad Pontificia de Comillas, ICAI (Instituto Católico de Artes e Industrias). Se ha basado en los estudios realizados por Gas Natural Fenosa, hoy en día Naturgy, en julio de 2017 y los estudios actualizados en el 2022. También se ha obtenido información de la tesis doctoral de Roberto Barella y de los trabajos de fin de máster de Gonzalo Borque Angulo (Estudio de la influencia de la eficiencia energética de los diferentes electrodomésticos de un hogar español en su gasto eléctrico) y de Mario Fernandez Pedraz (Desarrollo de un modelo de cálculo del consumo eléctrico por iluminación en un hogar español).

El trabajo se estructura en tres partes, esta primera parte consiste en una introducción al tema de estudio y puesta en contexto, a continuación, la segunda parte analiza la reducción de demanda energética de cada medida empleada y, la tercera parte, engloba las conclusiones obtenidas con el estudio. Por último, se va a realizar un estudio de la puesta en marcha del proyecto, trabajando de la mano de la empresa española Danosa del sector de la construcción, y se van a llevar a cabo las conclusiones del trabajo realizado.

Cabe mencionar que, debido a la inestabilidad de la economía y precios actuales de la energía y los materiales de construcción, el trabajo capta precios conyunturales del periodo 2022. Las situaciones que más han afectado a estos precios a nivel mundial han sido, el covid-19, la crisis económica, la subida de precios del gas y la luz y la búsqueda de la descarbonización en Europa para 2050.

Actualmente existe un grave problema energético en España, desencadenado por varios factores, principalmente se debe a la baja calidad de edificación de las viviendas y al gran incremento del precio de la luz, un 88% mayor en 2022 respecto a 2021 en España según el Grupo Ase, y un incremento del 700% del precio del gas. Este problema no permite mantener una temperatura de confort en el interior de muchas viviendas y hace que muchas familias no puedan pagar sus facturas de la luz, dando lugar a la pobreza energética.

Desde la cátedra de la Universidad Pontificia de Comillas, junto con la ONG A+familias y la fundación ECODES, se están realizando diversos proyectos de este ámbito. Existe también la Fundación Naturgy, muy enfocada en el estudio de rehabilitación exprés para hogares vulnerables, Caritas y otras importantes organizaciones trabajando en esta cuestión.

1.2 Pobreza energética y eficiencia energética

1.2.1 Definición

Hoy en día, debido a diversos factores, se ha desencadenado en España un problema de pobreza energética. La crisis del Covid-19 desencadenó el aumento de pobreza en la población, el número de familias que escaseaban de recursos aumentó. Se agrandó la brecha social y, esta situación, desencadenó una crisis económica. Más adelante, la subida de precios de las materias primas produjo una inflación económica globalizada y, debido también a la guerra entre Rusia y Ucrania, se desencadenó una crisis energética mundial, afectando notablemente a países europeos que dependían de la energía y gas procedente de Rusia.

La pobreza energética se puede definir por tanto como la incapacidad de un hogar de cubrir las demandas energéticas básicas para tener una temperatura y estado de confort en el interior de la vivienda. Dentro de los gastos eléctricos se encuentra la demanda energética de climatización (calefacción y refrigeración), consumo eléctrico para agua caliente sanitaria, tecnologías luminarias y electrodomésticos. Existen otras definiciones de pobreza energética como, por ejemplo, según Boardman, *“La pobreza energética es la incapacidad de un hogar de obtener unos servicios energéticos adecuados (en la vivienda) por el 10% de su renta”* (Boardman, 1991). Por lo tanto, se entienden como

pobres energéticos aquellos hogares que deben gastar más de un 10% de su renta en los suministros energéticos.

Los costes de calefacción y refrigeración de los hogares son el mayor gasto en la factura eléctrica, suponiendo un 47% del consumo total de electricidad de la vivienda. Para poder reducir este consumo se puede actuar o bien, reduciendo la demanda energética, o aumentando el rendimiento medio del sistema, es decir, creando viviendas eficientes energéticamente. Este trabajo se centra en el estudio de las medidas de rehabilitación exprés que hacen posible crear viviendas más eficientes energéticamente y así combatir con la pobreza energética en nuestro país.

Para poder medir la pobreza energética existen diversos indicadores (10% de la renta, 2M, LIHC: Low Income High Cost, LILEE: Low Income, Low Energy Efficiency, MIS: Minimum Income Standard) Los tres principales factores que desencadenan la pobreza energética son: los bajos ingresos, la baja eficiencia energética de las viviendas y los elevados precios de la energía. Los ingresos se miden a través de la renta anual de la vivienda. La eficiencia energética de la vivienda dependerá de sus características térmicas y de la capacidad de mantener un nivel de temperatura adecuado en el interior. El coste de la energía variará según el tipo de combustible empleado. Es un medidor basado en la relación entre ingresos y gastos. En la Figura 1 se observa la clasificación de los Indicadores de Pobreza Energética [1].



Figura 1: Clasificación de los indicadores de pobreza energética de la Universidad Pontificia Comillas [1]

La eficiencia energética de las viviendas es un concepto muy empleado y relevante hoy en día. En Europa se han establecido una serie de normas para poder cumplir con la estrategia de descarbonización del 2050, año en el que pretende ser climáticamente neutra. Entre las medidas se encuentra la eficiencia energética de las viviendas y se ha creado una forma de clasificación energética del edificio terminado. Existen muchos factores que intervienen en la eficiencia energética de las viviendas como, por ejemplo, el año de construcción, los materiales empleados, la zona climática donde se encuentra el edificio, las técnicas de construcción empleadas y muchos otros. Cabe mencionar que las viviendas consumen un 40% del total de la energía generada y son responsables de la emisión de entorno el 40% de emisiones de CO2 al ambiente.

La eficiencia energética de la vivienda se calcula midiendo el consumo de energía necesario para satisfacer la demanda energética anualmente y se compara con los parámetros de eficiencia energética establecidos. Existen numerosos índices para expresar la eficiencia energética de un edificio, tanto numéricos como cualitativos. La eficiencia energética se basa en la Directiva 2010/31/UE, transporta al ordenamiento jurídico español del Real Decreto 235/2013. Los indicadores empleados, según el Ministerio de Fomento del Gobierno de España son, principalmente, las emisiones anuales de CO₂ y el consumo anual de energía primaria no renovable.

La calificación de los edificios según su eficiencia energética se divide en letras de la A (más eficiente) a la G (menos eficiente). Estos certificados de eficiencia energética de los edificios pertenecen a la normativa europea. Todas las viviendas de nueva construcción, venta o alquiler y los edificios públicos (de superficie mayor a 250 m²) deben tenerlos, y son necesarios a la hora de tomar una decisión de comprar una vivienda. En la Figura 2 se observa el consumo de energía dependiendo de la etiqueta.

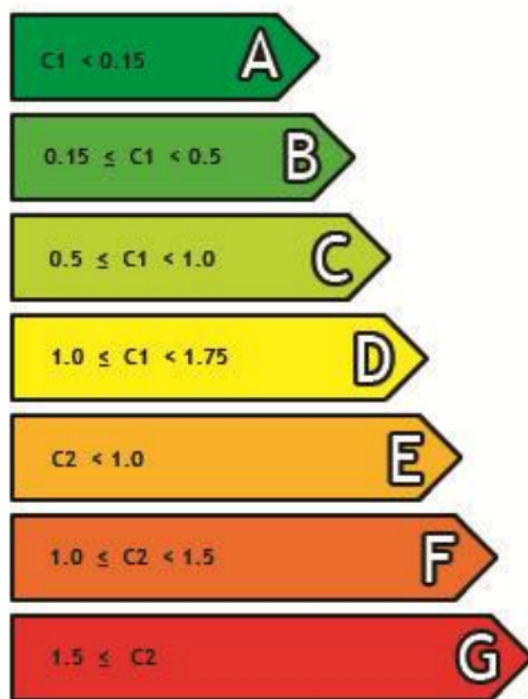


Figura 2: Etiqueta de consumo de energía según la letra de eficiencia energética

Los parámetros C1 y C2 están relacionados con las emisiones de CO₂ del edificio, se obtienen comparando con ratios de los indicadores del parque de referencia de la vivienda. Las viviendas emiten alrededor del 20% del total de los gases de efecto invernadero y es por ello por lo que es importante tener en cuenta las emisiones de CO₂ producidas por el edificio en cuestión. En la Tabla 1 se observan los ratios correspondientes de los índices C1 y C2 a cada letra de eficiencia energética de la vivienda.

Calificación			Índice		
A			C1	<	0,15
B	0,15	≤	C1	<	0,50
C	0,50	≤	C1	<	1,00
D	1,00	≤	C1	<	1,75
E	1,75	≤	C1		
			C2	<	1,00
F	1,75	≤	C1		
	1,00	≤	C2	<	1,50
G	1,75	≤	C1		
	1,50	≤	C2		

Tabla 1: Índices C1 y C2 para calificación de eficiencia energética de la vivienda

1.2.2 La pobreza energética en España

En España, hay un gran problema de pobreza energética, con alrededor de 2,7 millones de personas que viven en esta situación y alrededor del 10% de hogares que tienen que retrasar el pago de la factura eléctrica [2]. La mayor parte de las viviendas existentes fueron construidas hace más de 40 años y no cumplen con la normativa de eficiencia energética. Por otro lado, el precio de la luz se ha visto incrementado fuertemente en un corto periodo de tiempo. Estos dos factores hacen que, cada vez más familias, se encuentren en situación de pobreza energética.

En España hay unas 26 millones de viviendas aproximadamente, de las cuales, más de la mitad, entorno a un 51,3%, se construyeron antes de 1981[3]. Cada año, el parque de viviendas españolas aumenta con 217.000 hogares nuevos según el INE, por lo tanto, el foco hoy en día se encuentra principalmente en la rehabilitación de viviendas existentes más que en la construcción de nuevas viviendas. Los métodos de construcción que se empleaban en aquella época anterior a la primera norma básica de la edificación NBE-CT-79 no eran eficientes energéticamente y, por lo tanto, todas las viviendas construidas por entonces necesitan consumir más energía ya que la pierden más fácilmente.

La pandemia supuso un shock en la sociedad a nivel mundial, desencadenó una serie de problemas que desataron una de las mayores crisis económicas mundiales. El confinamiento supuso una brusca parada de la actividad económica y una pérdida de ingresos de la población. Muchas familias perdieron su empleo y se agrandaron las desigualdades. Posteriormente, la subida del precio del gas en el mercado internacional,

agravada por la tensión entre países, la inflación, el encarecimiento de las materias primas y la guerra entre Rusia y Ucrania, han generado el aumento del precio de la luz, que se incrementó más del 67% en 2022 en España (de 111,05 €/MWh en 2021 a 185,79 €/MWh en 2022). En la Figura 3 se observa el aumento del precio de la luz según el estudio realizado por ECODES desde enero de 2017 hasta mayo del 2022.

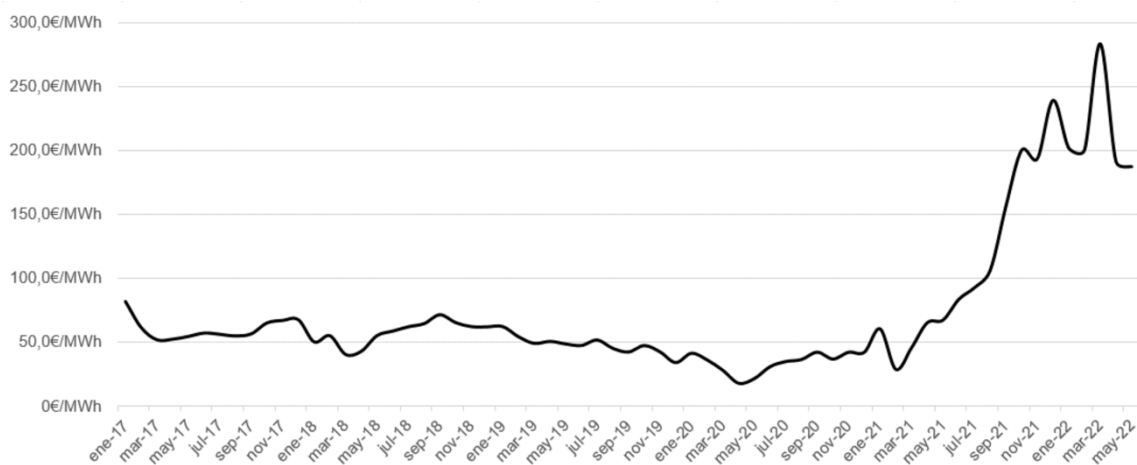


Figura 3: Evolución del precio de la luz en España en $\frac{\text{€}}{\text{MWh}}$, ECODES

En la Figura 4 se observa la incidencia de la Pobreza Energética Oculta y Pobreza Energética Oculta Severa en España respecto a la población total en los años 2019, 2020 y 2021, siendo esta dimensión la más acuciante en España [1]. El indicador de Pobreza Energética Oculta estima el porcentaje de personas que viven con menos de la mitad de energía necesaria para cubrir sus necesidades y, el indicador de Pobreza Energética Oculta Severa se refiere a las personas que viven con menos de la cuarta parte de energía necesaria para cubrir sus necesidades. Además, como segundo umbral, ambos indicadores consideran solo las familias que pertenecen a uno de los cinco deciles de renta equivalente menores. Se observa como el primer indicador va creciendo a lo largo de los años pasando del 25,2% en 2019 a suponer un 31,2% de la población en el año 2021. Respecto al segundo indicador, se puede observar que también aumenta, pasando de un 6% en 2019 a un 10,3% en 2021.

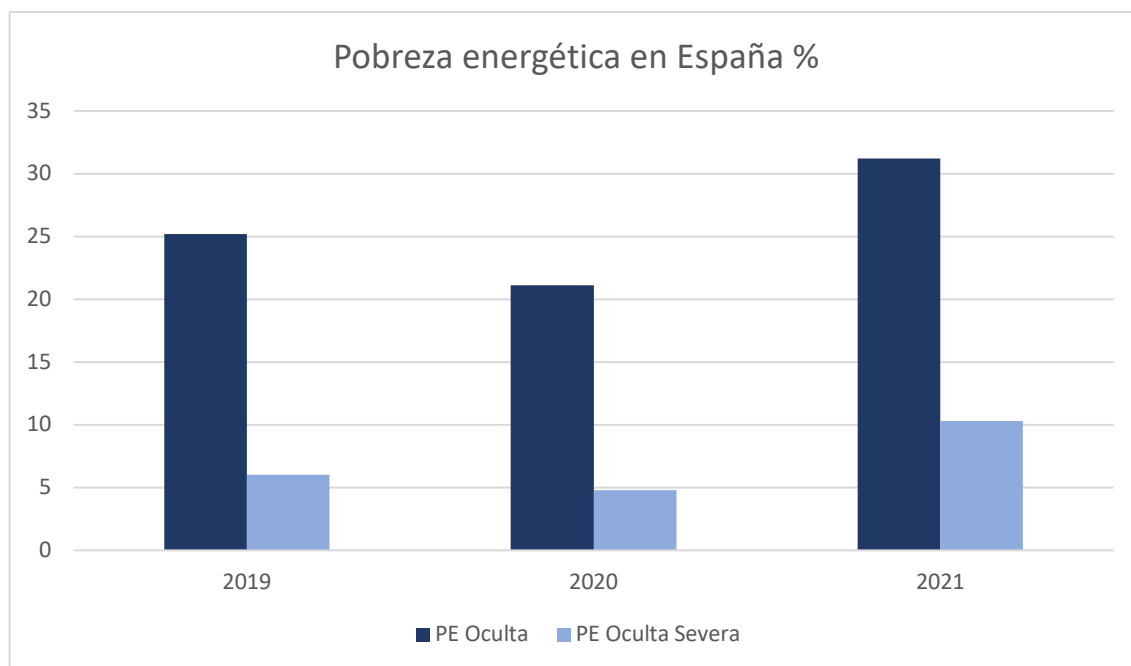


Figura 4: Gráfica de la pobreza energética oculta y severa en España

1.2.3 Normativa de construcción en España

La normativa de construcción en España comenzó en la década de los 70, con el primer Real Decreto publicado en 1977 con las normas básicas de la edificación (NBE-CT-79). En el año 1981 es un año clave para el sector de la construcción español ya que entra en vigor la modificación de las ordenanzas técnicas y constructivas que se aprobaron en 1969 y se hace obligatorio el uso de aislamiento térmico en la construcción de viviendas. En la Ley 38/1999, en su disposición final segunda, se autoriza al gobierno a desarrollar el Código Técnico de la Edificación, con exigencias básicas para la seguridad y habitabilidad de la vivienda, que se aprobará finalmente en 2006 con el Real Decreto 314/2006.

En el año 2009 comienzan a construirse en España las primeras casas pasivas, “Passivhaus” que consisten en viviendas mucho más eficientes energéticamente y con un sistema de ventilación del aire en el interior y de filtrado. Este tipo de construcción llevaba años utilizándose en Alemania.

Más adelante, en 2020, entra en vigor el Código Técnico de Edificación (CTE), que incluye los requisitos mínimos exigibles a una construcción. En 2022, según el Real Decreto 450/2022, se incluyen nuevas modificaciones para incorporar mejoras en las viviendas para cargar los vehículos eléctricos.

En la Figura 5 se observa la evolución desde 1940 del espesor empleado para el aislamiento de viviendas en España. Se puede observar como, antes de 1981, no se empleaba aislamiento en la construcción de viviendas.

Año de construcción	Periodo / Normativa	Núm. viviendas construidas	Espesor del Aislamiento(*)
Hasta 1940	pre-guerra	380.933	0 cm
De 1941 a 1980	post-guerra	1.400.766	0 cm
De 1981 a 1990	post NBE-AT-79	213.113	1,5-2,5 cm
De 1991 a 2006	post NRE-AT-87	667.582	2,0-2,5 cm
de 2007 a 2014	CTE 2006	208.750	3,0-6,0 cm
a partir de 2014	CTE 2013	-	6,0-13,0 cm

(*) El espesor del aislamiento en las paredes depende de la zona climática en que se encuentra el edificio.

Figura 5: Espesor de aislamiento en las viviendas españolas a lo largo de los años

1.2.4 Distribución de los hogares por grado de pobreza energética

Para poder realizar el estudio se han dividido los hogares en seis grupos diferentes clasificados según pobreza energética y/o monetaria, siendo el G1 el grupo de hogares con pobreza energética y monetaria, es decir, los más desfavorecidos, y el G6 los hogares sin pobreza de ningún tipo. En la siguiente gráfica, Figura 6, se observa la relación de los diferentes grupos y, en la Tabla 2, se observa a qué tipo de hogar corresponde cada grupo.

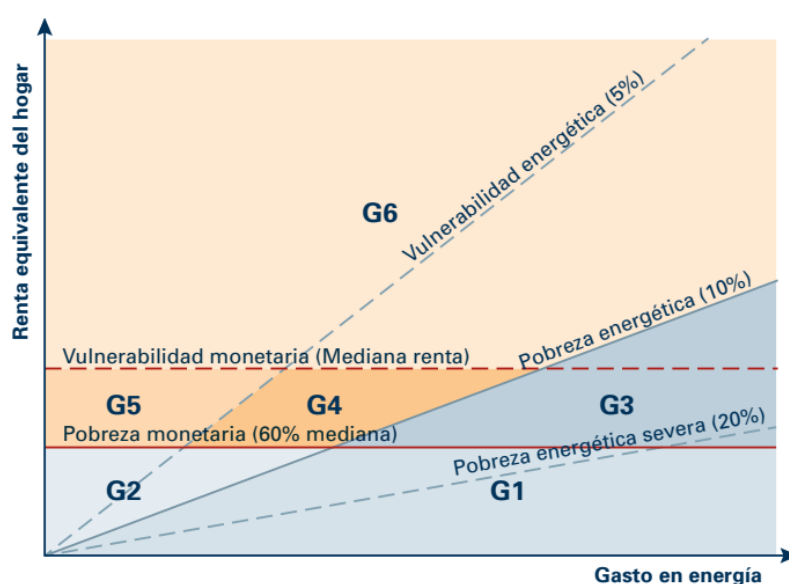


Figura 6: Gráfica de clasificación de grupos de pobreza energética

Grupo	Tipo de hogares
G1	Con pobreza monetaria y energética
G2	Con pobreza monetaria
G3	Con pobreza energética
G4	Con vulnerabilidad a pobreza energética y monetaria
G5	Con vulnerabilidad a pobreza monetaria
G6	Sin pobreza energética ni monetaria

Tabla 2: Grupos de hogares según el grado de pobreza energética

1.2.5 Consecuencias de la pobreza energética y medidas para solucionarla

Debido a la pobreza energética, muchas familias en España no pueden alcanzar las condiciones de confort necesarias en sus viviendas. Las consecuencias de este problema son el impacto directo sobre la salud, pudiendo generar problemas respiratorios como asma, bronquitis y alergias, problemas físicos como artritis y problemas de salud mental, como insomnio, exclusión, ansiedad y otros.

Existen numerosas medidas propuestas para frenar este problema [4]. Mediante los objetivos de Estrategia Nacional contra la pobreza energética 2019-2024, se promueve reducir los índices de pobreza energética a la mitad para 2025 basándose en cuatro soluciones principales. Estas soluciones son: la primera, la mejora del conocimiento de la pobreza energética para poder evaluar el grado de pobreza energética. La segunda: la mejora de la respuesta frente a la situación actual de pobreza energética. La tercera: la creación de un cambio de estructura para la reducción de este problema, ofreciendo ayudas en la rehabilitación de viviendas y sustitución de electrodomésticos y, por último, la cuarta: ofrecer medidas de protección a los consumidores y concienciación social.

Entre las ayudas actuales, existe también el Bono Social eléctrico, ofrecido por el Gobierno Español a aquellas familias en situaciones críticas para la ayuda del pago de la factura eléctrica. Existen pautas que hay que cumplir para poder acceder a esta ayuda. A través de organizaciones como ECODES, A+Familias y la Universidad Pontificia de Comillas, se ayuda a personas con pobreza energética a acceder al Bono Social del Estado a través del cumplimiento de ciertos requisitos y la entrega del formulario correspondiente.

1.2.6 Normativas de rehabilitación

En España, según el BOE número 142, existen un total de 15,2 millones de viviendas construidas antes del año 1980 que no cumplen las normativas térmicas reguladoras.

Como se ha mencionado previamente, el ritmo de rehabilitación de viviendas en España está por debajo del objetivo y se encuentra detrás de la media de los países europeos [7]. Gracias a la nueva ley de rehabilitación se han establecido medidas de reducción de impuestos en rehabilitación de viviendas.

Se requiere cumplir el Documento Básico de Ahorro en Energía del Código Técnico de la Edificación excepto en estas rehabilitaciones exprés, que nunca superan el 25% de la superficie total y se pueden incluir como parte del mantenimiento de la vivienda. Se pueden relacionar con la Ley de Arrendamientos Urbanos en el caso de ser una vivienda alquilada como obra de mejora por parte del arrendador.

1.2.7 Plan de descarbonización de Europa 2050

Existen numerosos objetivos de descarbonización propuestos por la Unión Europea a lo largo de los años. Entre ellos, en 2010 se aprueba el plan 20/20/20 cuyos objetivos planteados para el año 2020 eran reducir un 20% el consumo de gases efecto invernadero, de energías primarias y aumentar un 20% el empleo de energías renovables, así como mejorar la eficiencia energética de las viviendas.

La alta generación de emisiones CO₂ y CH₄ a nivel mundial han provocado un incremento de temperatura global. Por lo tanto, las Naciones Unidas acordaron en París en 2015 el mantener el aumento de la temperatura media mundial por debajo de los 2°C respecto a los niveles preindustriales. Más adelante, en el 2019, España se une a Europa en el compromiso de obtener la neutralidad climática para 2050. [8]

El objetivo de la descarbonización para el año 2050 es crear una economía limpia, es decir, descarbonizada. Gracias a estas medidas se consigue la completa eliminación de emisiones de derivados del carbono, favoreciendo así la calidad de vida de los ciudadanos.



Figura 7: Beneficios de la estrategia climática europea del 2050

Según datos de Red Eléctrica Española tomados el 18 de junio de 2023, el 54,51% de la energía generada proviene de Energías Renovables aproximadamente (colores verdes en Figura 14) y, el 45,51% de Energías No Renovables (colores grisáceos y negro en Figura 14). Estos datos varían a lo largo de las horas del día y de los días del año, dependiendo de las condiciones climáticas del momento. España ha tenido un gran impulso en cuanto a energías renovables.

En el gráfico de la Figura 14 se observa la procedencia de energía eléctrica en España. Dentro de las Energías Renovables se encuentra la Eólica, aportando el 8,87%, la Hidráulica, con el 8,65%, Térmica Renovable, con el 1,36%, Solar Térmica con el 3,13% y Solar Fotovoltaica con el 32,4%. Al encontrarse en meses de verano y en un país muy soleado, se observa como esta última fuente de energía es la que mayor cantidad de energía genera.

Dentro de las Energías No Renovables, España cuenta con grandes centrales de ciclo combinado para obtener la electricidad, son una de sus fuentes principales de obtención de energía, ofreciendo un 18,28% de la energía total. Las centrales de ciclo combinado funcionan mediante dos ciclos termodinámicos con la combustión de gas natural y vapor de agua, por lo que son perjudiciales para el medio ambiente. La Nuclear genera el 17,15%, seguida de la Cogeneración y Residuos con el 6,76%, Carbón con 1,49%, Motores de Diesel un 0,98% y Turbina de Gas 0,5%.

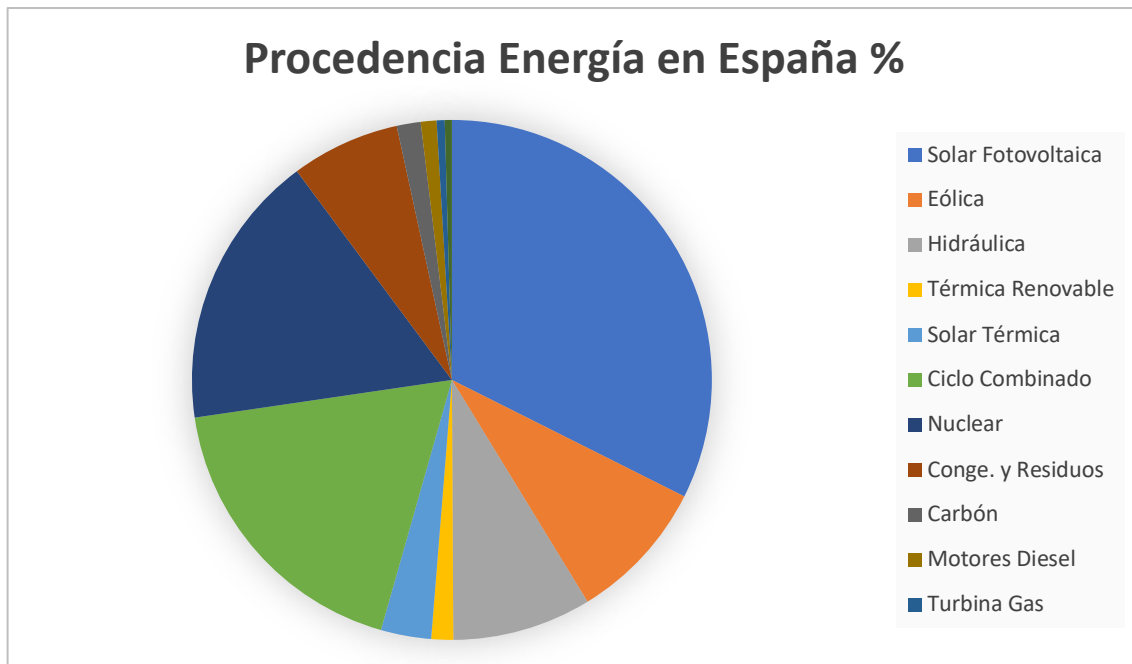


Figura 8: Estructura de la generación de energía eléctrica en España según la Red Eléctrica Española(18 de junio 2023)

Por último, cabe mencionar la existencia del Fondo Europeo Next Generation. Este Fondo es un conjunto de subvenciones que se crean como respuesta a la pandemia del Covid-19 para la ayuda a los países europeos, con un total de 800 mil millones de euros. Una gran parte de este fondo está destinada a la eficiencia energética de las viviendas, ayudando económicamente a que se rehabiliten edificios en toda Europa.

1.3 Rehabilitación según la antigüedad de la vivienda

En la actualidad la demanda de rehabilitación es cada vez mayor, constituyendo el 50.9% del volumen total de edificación. Existen planes de rehabilitación de viviendas en numerosos puntos de las ciudades de España para poder llegar al máximo número de viviendas y mejorar la calidad de vida de los españoles.

El objetivo de los planes de rehabilitación energética de viviendas en España es convertir los edificios en eficientes energéticamente para poder mejorar la calidad de vida, alcanzando la temperatura de confort necesaria y ayudando a ahorrar en gasto energético. De esta manera se contribuye beneficiando tanto a la sociedad como al medio ambiente.

Hoy en día se busca incrementar la tasa de rehabilitación de viviendas en España, que es de unas 30.000 viviendas al año aproximadamente, inferior al resto de países europeos. El objetivo español de rehabilitación, PNIEC 2030 [9], consiste en la rehabilitación de 1,2 millones de viviendas en total para el 2030. El objetivo es ir incrementando el número de viviendas rehabilitadas partiendo de 30.000 viviendas anuales en 2021 hasta 300.000

viviendas anuales en 2030. Solo se rehabilita alrededor del 0.1% , según La Moncloa, de parques de viviendas españolas anualmente, por lo que es de vital importancia incrementar esta tasa para poder cumplir los estándares europeos.

1.4 Zonas climáticas

La parte del trabajo de medidas pasivas se va a dividir en cuatro diferentes zonas climáticas; Barcelona, La Coruña, Madrid y Sevilla. Este apartado se basa en la información obtenido del informe de Naturgy del 2022 [5]. El tipo de clima es un factor fundamental que afecta directamente a la demanda de energía en la vivienda. Existen diferentes diseños y necesidades de rehabilitación que se adaptan a la zona climática donde se encuentra la vivienda. Otro factor que también influye es la época del año. En invierno, los meses más fríos, son adecuadas medidas como la captación solar, las ganancias internas y la calefacción convencional. En verano, los meses más cálidos, se emplean medidas como la protección solar y la ventilación nocturna.

Las mayores temperaturas diarias se producen entre las 15:00 y las 16:00 y los mayores ratios de humedad relativa se producen a primera hora del día. A continuación, se realiza un estudio de las diferentes zonas mencionadas. Por el contrario, las temperaturas mínimas diarias se registran al amanecer.

1.4.1 Clima en Barcelona

Barcelona consta de un clima mediterráneo litoral. Tiene un clima cálido y templado durante todo el año debido a la influencia del mar. Su temperatura media anual es de 15.5 °C, con una precipitación media de 600 mm y una humedad media relativa anual del 75%. Las precipitaciones en forma de nieve son poco frecuentes.

En invierno, el otoño es la estación más lluviosa del año, siendo enero el mes más frío. Sus inviernos son húmedos y suaves, con una media de temperatura de entorno a 10°C.

Los veranos son calurosos, siendo los meses más cálidos julio, agosto y septiembre. Las temperaturas medias se encuentran entre los 21°C y 23°C.

En la siguiente Figura 9, se muestran los valores de temperatura media y radiación solar por mes, siendo los meses de mayor radiación los de verano. La banda gris muestra el rango de temperaturas de confort. Se observa como, en los meses de julio, agosto y septiembre al mediodía se supera la temperatura de confort. También se puede observar como en enero, febrero, marzo, abril, noviembre y diciembre, no se llega a la banda gris de temperaturas de confort, por lo que se necesitaría algún medio de calefacción.

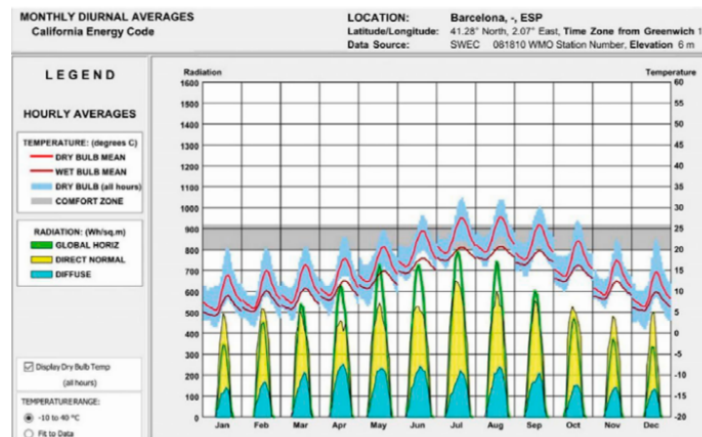


Figura 9: Valores medios mensuales en Barcelona

1.4.2 Clima en La Coruña

En La Coruña el clima es oceánico templado. Tiene abundantes precipitaciones durante todo el año, de alrededor de 1045 mm por año. Las precipitaciones en forma de nieve son poco frecuentes.

Los inviernos son largos, fríos, lluviosos y ventosos. La temperatura media en invierno es de 11°C. El mes más lluvioso es noviembre, con una media de 140 mm.

Los veranos son templados y los meses más cálidos son de julio hasta septiembre, con una temperatura promedio de 16 a 18°C.

Se observa en la Figura 10 como en los meses de junio, julio, agosto y septiembre se alcanza la temperatura de confort. En el resto de los meses del año no se alcanza la temperatura de confort.

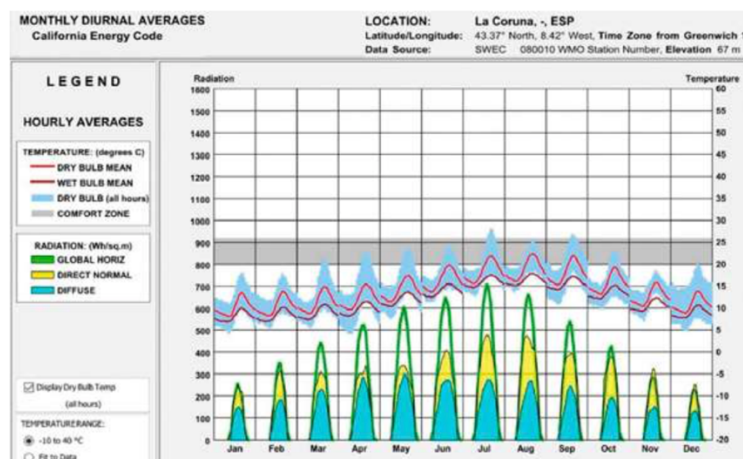


Figura 10: Valores medios mensuales en La Coruña

1.4.3 Clima en Madrid

El clima en Madrid es mediterráneo continental, clima semiárido templado-frío. Existe un pequeño microclima en el centro de la capital que suaviza las temperaturas en comparación con sus alrededores debido a la alta contaminación de la misma. La temperatura media anual es de 15°C. Las precipitaciones anuales medias son de 400 mm. La humedad relativa media es del 57%, siendo una de las ciudades más secas del país.

Los inviernos son moderadamente fríos, con temperatura media de 6°C. Las máximas precipitaciones se dan de octubre a diciembre en otoño y, en abril y mayo, primavera.

Los veranos son muy calurosos, con temperaturas medias de 20 y 24°C. En esta temporada se llegan a superar los 40°C en el mes de julio y agosto.

Se puede observar en la Figura 11 como en los meses de abril, mayo, junio, julio, agosto, agosto, septiembre y octubre se alcanza la temperatura de confort. Los meses más cálidos sobrepasan los límites de la franja de confort. En enero, febrero, marzo, noviembre y diciembre no se alcanza.

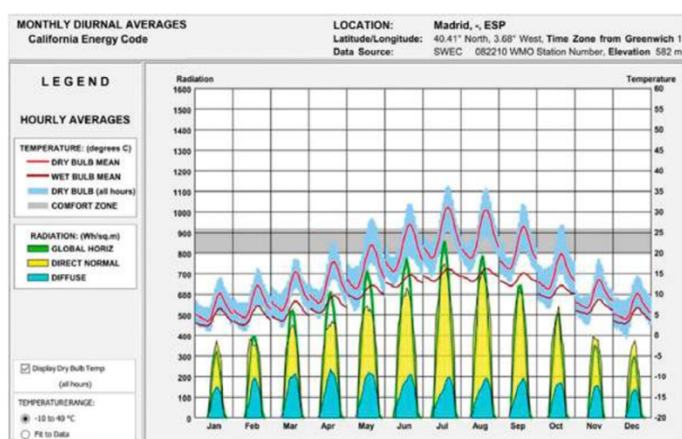


Figura 11: Valores medios mensuales en Madrid

1.4.4 Clima en Sevilla

Sevilla es una ciudad de clima mediterráneo con influencias oceánicas. Consta de carácter pre-litoral por su relativa cercanía al mar. La temperatura media anual es de 18,6 °C, siendo una de las ciudades más cálidas del país. Su precipitación media anual es 483mm. La humedad relativa media está entorno al 34-40%.

El invierno es suave y soleado. La mayor parte de precipitación anual cae en diciembre, con una media de 77mm. Las temperaturas medias rondan los 15°C.

El verano es seco y caluroso. Su duración comprende los meses de junio a septiembre. Consta de precipitaciones medias casi nulas en el mes de julio. Las temperaturas medias son entre los 23 y 26°C. Inciden en esta ciudad numerosas olas de calor en esta estación. Se ha llegado a máximas de 46°C en esta temporada del año.

Se observa en la Figura 12 como en los meses calurosos se sobrepasa muy notablemente la temperatura de confort, sobre todo en junio, julio y agosto. Se observa que, al ser los inviernos suaves, la temperatura de confort se logra con facilidad en los meses fríos.

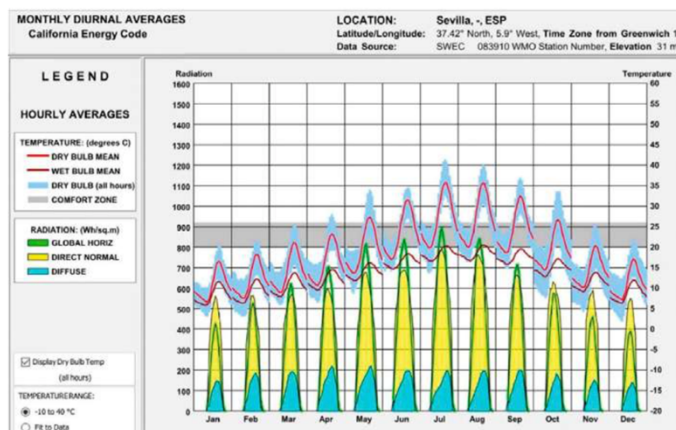


Figura 12: Valores medios mensuales en Sevilla

Existen diferentes necesidades según la zona climática, como se ha visto previamente. Las estrategias de diseño varían según la zona climática y temporada del año. Se observa en la Tabla 3 como varía el grado de necesidad de la estrategia de diseño para cada localidad y época del año.

Localidad	Estrategias de diseño																							
	Protección solar			Ventilación			Inercia			Enfriamiento por evaporación			Deshumidificación			Ganancias internas			Captación solar			Calefacción convencional		
	C	I	F	C	I	F	C	I	F	C	I	F	C	I	F	C	I	F	C	I	F	C	I	F
Barcelona	■	■	■	■			■						■			■	■	■	■	■	■			■
A Coruña	■			■												■	■	■	■	■	■			■
Madrid	■	■		■			■			■						■	■	■	■	■	■			■
Sevilla	■	■		■			■			■			■			■	■	■	■	■	■			■

Tabla 3: Estrategias de diseño por ciudad y temporada del año

C: Meses cálidos. I: Meses intermedios. F: Meses fríos. Fuente: Elaboración propia.

■ Necesidad muy alta. ■ Necesidad alta. ■ Necesidad media. ■ Necesidad baja. □ No necesaria.

Climograma de Givoni

En el siguiente gráfico, Figura 13, se observa el % de horas del año en el que la vivienda se encuentra en temperatura de confort, en las que necesita protección solar, en las que se entra en temperatura de confort con las ganancias internas, es decir, con el propio uso del edificio y, en las que necesita calefacción convencional.

Respecto a la temperatura de confort el porcentaje en horas anuales es del 14,7% en Barcelona, 10% en La Coruña, 16,3% en Madrid y 21,9% en Sevilla. Se observa que La Coruña es la zona climática que más alcanza las temperaturas de confort a lo largo del año, siendo Sevilla la que menos, debido a sus calurosos veranos.

La protección solar se reparte con un 12,7% en Barcelona, 6,6% en La Coruña, 12,6% en Madrid y 19,6% en Sevilla. Se comprueba que la zona climática que más radiación solar recibe, Sevilla, es la que mayor protección solar necesita.

Las ganancias internas como medida del alcance de la temperatura de confort muestran en el gráfico un 36,1% de horas al año en Barcelona, un 52,6% en La Coruña, un 29% en Madrid y un 33,8% en Sevilla. La ciudad que más horas a temperatura confort al año alcanza por el uso del propio edificio de la vivienda es La Coruña.

Por último, la calefacción convencional, muestra que es necesaria un 24,5% de horas al año en Barcelona, un 30,4% en La Coruña, un 33,9% en Madrid y un 15,6% en Sevilla. Madrid, al ser la ciudad más fría, necesita más horas anuales de calefacción convencional por vivienda.

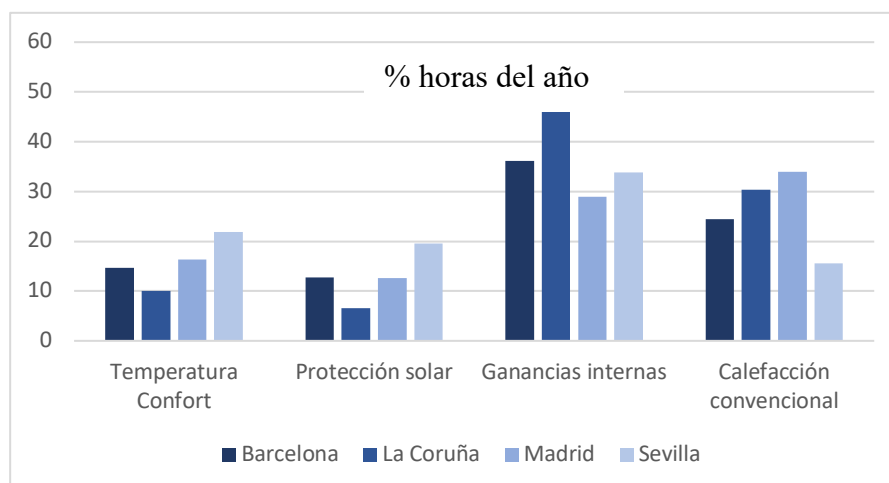


Figura 13: Necesidad de la vivienda en % de horas del año según la ciudad

1.5 Funcionamiento de los contratos de electricidad en España

En España existen dos tipos de mercados para la electricidad, el mercado libre y el mercado regulado. La principal diferencia es que, en el mercado libre, las compañías privadas establecen el precio de la luz y, en el regulado, el precio cambia cada día y cada hora según el precio fijado en el mercado diario e intradiario. Anteriormente, era el gobierno el único órgano encargado de regular el mercado de la luz, fue en el año 1997 cuando esto cambió y comenzó el proceso de liberación que se completó en 2009, dando lugar al mercado libre.

1.5.1 Mercado libre

Existen aproximadamente 16 millones de viviendas en España en este mercado, albergando el 60.37% de las viviendas. Este mercado funciona mediante acuerdos entre empresas eléctricas y sus clientes. Las eléctricas fijan el precio que consideran y sus clientes pueden negociar con ellas el contrato. Permite la aplicación de descuentos especiales, suelen cobrar servicios adicionales y puedes elegir cualquier comercializadora.

Existen más de 100 comercializadoras en mercado libre, por ejemplo, Iberdrola Clientes, Endesa Energía, Naturgy Iberia, entre muchas otras.

1.5.2 Mercado regulado

Hay actualmente, 10.5 millones de viviendas bajo el mercado regulado en España, es decir, el 39.63% de las viviendas. Se basa en los precios regulados, no permitiendo el cobro de servicios adicionales y pudiendo trabajar solamente con ciertas comercializadoras. Este mercado permite a las familias que cumplen ciertos requisitos a optar por el bono social para ayudar al pago de la factura eléctrica. Las familias vulnerables optan por este mercado, ya que les ofrece varias ventajas.

La tarifa de este mercado se denomina PVPC, precio voluntario al pequeño consumidor, que se basa en la oferta y la demanda de la electricidad. Se basa en una curva de precios donde se pagará mayor cantidad las horas más caras y viceversa. Solo podrán solicitar esta tarifa los consumidores con potencia contratada menor de 10 kW.

Cabe mencionar que solamente mediante las CUR, Comercializadoras de Último Recurso, se permite acceder al bono social.

Algunas de las empresas de mercado regulado son Baser Comercializadora de Referencia S.A., Comercializador de Referencia Energético S.L.U. o Curenergía Comercializador de Último Recurso, S.A.U. , entre otras.

Se observa en la Figura 11, de forma comparativa, las diferentes características del mercado regulado y del mercado libre.

	MERCADO REGULADO	MERCADO LIBRE
TARIFA	Solo ofrece la PVPC	Multitud de tarifas diferentes
PRECIO	Cambia cada hora y cada día	El fijado en el contrato
POTENCIA	Disponible para potencias inferiores a 10 kW (la mayoría de los hogares)	Para cualquier potencia
PERMANENCIA	NO	Puede tener permanencia
PRODUCTOS ADICIONALES: MANTENIMIENTOS, SEGUROS	NO, está prohibido ofertarlos	SI
BONO SOCIAL	SI, cumpliendo requisitos	NO

Figura 14: Mercado libre vs Mercado regulado según Ucaragón

Capítulo 2: Reducción del consumo energético con cada medida

En esta parte en cuestión, se realiza la simulación del ahorro del consumo energético al aplicarse cada solución de rehabilitación estudiada.

En el caso de las medidas pasivas, el análisis parte del cálculo de la demanda inicial en cada vivienda sin aplicación de ninguna medida de rehabilitación. Esta demanda inicial se va a comparar con la demanda después de cada intervención para así estudiar qué medidas son más eficaces en el ahorro de energía en los meses fríos y en los meses cálidos. En los meses fríos, se estudian las medidas que benefician a la disminución de demanda de calefacción y, en los meses cálidos, las medidas que benefician la reducción de la demanda de refrigeración. Dentro de las medidas estudiadas se encuentran el aislamiento de muros, aislamiento de techos, pintura cubierta, sustitución de vidrios, sustitución de vidrios y carpintería y, por último, burletes.

El estudio se realiza para un modelo de un bloque de viviendas en las ciudades con distinto clima mencionadas previamente: Barcelona, A Coruña, Madrid y Sevilla. Cabe mencionar que en A Coruña no son necesarias las medidas de rehabilitación exprés de refrigeración para los meses cálidos debido a su clima oceánico templado.

En el modelo del bloque de viviendas, el factor que más condiciona en el estudio es el grado de exposición al exterior de la vivienda, es decir, cuánto mayor sea el grado de exposición, mayor pérdida de energía. Por lo tanto, las viviendas más expuestas en invierno son el primer y último piso, que tendrán más tendencia a enfriarse y, en verano, el último piso, por estar más expuesto al sol. Las viviendas intermedias se encuentran protegidas por las viviendas de la última planta y las de la primera.

Para la simulación del **gasto** energético de la vivienda modelo se emplean los límites establecidos por la OMS para indicar cuáles son las temperaturas de confort, según la cuál las temperaturas adecuadas para la salud serían entre los 18°C y 24°C.

Los rangos de demanda de calefacción varían en invierno entre los 50 kWh/m² y 150 kWh/m², mientras que de refrigeración en torno a 24-50 kWh/m². La variación depende de la zona climática, con demandas diferenciadas en invierno y en verano dependiendo de la zona. Madrid es la ciudad que más demanda energética requiere en invierno, debido a sus bajas temperaturas. Sevilla es la ciudad que más demanda energética requiere en verano para refrigeración y, menor demanda requiere en invierno. Barcelona y A Coruña, con climas moderados y la influencia marítima requieren demandas menos extremas que en el caso de Madrid, la más extrema tanto en verano como invierno.

Con los sistemas de rehabilitación se consigue que la temperatura en el interior de las viviendas no baje de 10°C y no suba de 29°C.

Se van a considerar que hay dos tipos de construcción según el muro empleado, una a través del muro monocapa y, la otra, con el muro multicapa.

Las medidas de rehabilitación exprés estudiadas son las siguientes:

- **Paramentos**

- Trasdosado interior con placa de yeso y EPS de 50 mm (para el muro monocapa).
- Relleno con EPS de la cámara de aire (para el muro multicapa).

- **Techos**

- Trasdosado del techo con placa de yeso y EPS de 30mm (sólo para viviendas de última planta).
- Pintura exterior de color blanco (en todas las ciudades estudiadas menos A Coruña).

- **Carpinterías**

- Sustitución de vidrios.
- Sustitución de vidrios e introducir carpintería de PVC.
- Introducción de burletes en puertas y/o ventanas.

- **Protección solar**

- Toldo simple exterior (en todas las ciudades estudiadas menos A Coruña).

Condiciones de la aplicación

Para poder considerarse como rehabilitación exprés, se deben cumplir las siguientes medidas:

- Puesta en obra rápida.
- Se puede seguir viviendo en el interior de la vivienda mientras se lleva a cabo la rehabilitación.
- Soluciones que se adecuan para cada caso diferente.
- Se pueden ejecutar sin licencia de obras previa.
- Las soluciones se realizan por el interior.

Finalmente, para concluir el capítulo, se estudia el impacto de las medidas activas, encargadas para mejorar la eficiencia del sistema activo. Las medidas activas estudiadas son: el cambio de tecnología luminaria, cambio de electrodomésticos, cambio de caldera y los novedosos productos thermo-cover y shine on. Se realiza el impacto del cambio de las tecnologías empleadas en la vivienda a tecnologías nuevas y más eficaces, calculando el ahorro medio que supondría cada uno de estos cambios.

2.1 Modelo de vivienda

Para realizar el estudio se emplea un modelo de viviendas en bloque, compuesto por tres plantas (01, 02 y 03) con 3 viviendas en cada planta (A, B y C), un total de nueve viviendas con diferentes propiedades térmicas. Esta gran diferencia entre unas viviendas y otras se va a analizar a continuación y depende del grado de exposición al exterior en el que se encuentran. Las viviendas de la primera planta (planta baja) están más expuestas al intercambio de temperatura con el suelo. Las viviendas de la tercera planta están más expuestas a la radiación solar, lo que será un inconveniente para mantener la temperatura de confort en los meses cálidos y, en los meses fríos, están más expuestas a las precipitaciones y la entrada de frío en la vivienda.

Se tienen en cuenta para realizar todos los cálculos condiciones normales de ocupación del edificio. En la Figura 15 se puede observar la estructura del modelo de viviendas empleado para el estudio.

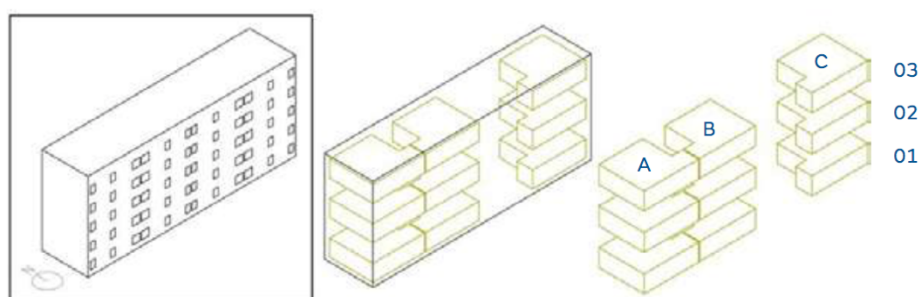


Figura 15: Bloque modelo de vivienda

2.2 Características de construcción

Las características de construcción de viviendas han ido avanzando y modificándose a lo largo de los años, introduciendo nuevos materiales más resistentes, con mejores propiedades y novedosas técnicas de aplicación de los mismos. En cuanto al revestimiento de la vivienda, existe el muro monocapa, que es el tradicional y el multicapa, que a lo largo del tiempo resulta más resistente que el tradicional y tiene mejores propiedades.

- **Muro monocapa**

Consiste en un mortero, combinación de agregados y agua que se convierte en una pasta para unir bloques en construcción, impermeable y de color que se aplica a las fachadas para revestir y proteger de la lluvia. Se aplica sobre ladrillo, bloque y hormigón.

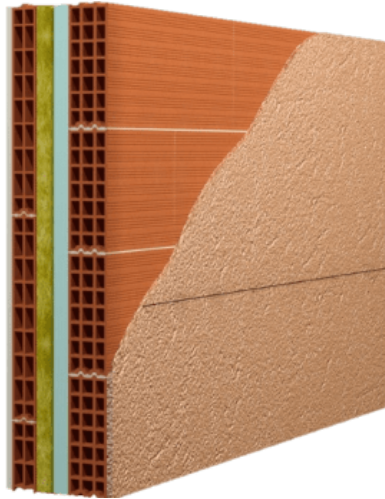


Figura 16: Fachada monocapa con ladrillo

- **Muro multicapa**

Este tipo de revestimiento está formado por varias capas, entre ellas, un panel aislante EPS o comúnmente llamado SATE, un mortero adhesivo, malla de fibra de vidrio, mortero de refuerzo, imprimación y revoco final de diseño. El resultado es un revestimiento con gran capacidad de aislante térmico, de aislante acústico al ruido exterior de la vivienda, impermeabilizante, flexible a las dilataciones del material y resistente a lo largo de los años. Una técnica de aislamiento muy empleada es dejar un espacio de aire entre capas, ya que el aire es el mejor aislante.

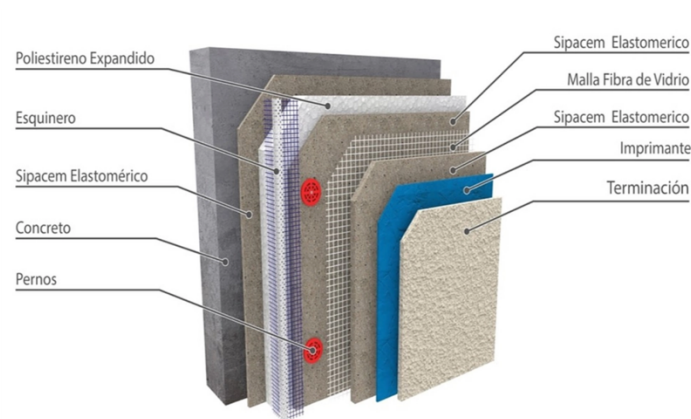


Figura17: Muro multicapa

2.3 Temperatura confort en la vivienda

Existe un concepto denominado adaptación al clima, que consiste en la adaptación fisiológica del ser humano a la variación de temperaturas dependiendo de la zona climática. Por lo tanto, según la zona climática, el ser humano se adapta mejor o peor al clima y está ligado con cambios genéticos a lo largo de miles de años.

Un ejemplo sería la diabetes en los países nórdicos, según José Enrique Campillo, médico experto en nutrición, "Es un dato muy curioso. La diabetes insulínica en estos países prevalece de forma elevadísima por un gen que lo predispone".

Según la zona climática y cómo varía la temperatura exterior en esa zona, existen diversos umbrales de temperatura confort para el interior de la vivienda. Los diferentes umbrales de las cuatro zonas climáticas se ven resumidos en la siguiente tabla.

Localidad	Calefacción		Refrigeración	
	Temperatura diurna (°C)	Temperatura nocturna (°C)	Temperatura diurna (°C)	Temperatura nocturna (°C)
Barcelona	18,5	16	28	29
A Coruña	18,5	16	26	27
Madrid	18,5	16	29	30
Sevilla	18,5	16	30	31

Tabla 4: Rangos de bienestar medios según la zona climática

2.4 Variación de la demanda energética

Se parte con la simulación de la demanda inicial sin medidas de rehabilitación en la vivienda, a continuación, se analiza la reducción de demanda con cada medida aplicada. Finalmente, se analiza la reducción de demanda del conjunto de medidas de rehabilitación expuestas.

Se realiza el estudio en primer lugar para reducción de calefacción y, en segundo lugar, para reducción de refrigeración para cada una de las cuatro zonas climáticas planteadas previamente: Barcelona, La Coruña, Madrid y Sevilla. Los dos tipos de muro, monocapa y multicapa, presentan aproximadamente las mismas propiedades térmicas y, por lo tanto, se van a considerar como uno solo.

2.5 Análisis de medidas de rehabilitación para el ahorro de calefacción

2.5.1. Barcelona

Calefacción en Barcelona

Se analiza a continuación el resultado de la aplicación de cada medida de rehabilitación al modelo de viviendas en la ciudad de Barcelona y se observa como afecta a cada vivienda. En las Figuras 18 y 19 se observa la demanda de calefacción inicial y después de aplicar cada medida de rehabilitación por vivienda y, la demanda inicial y la demanda después de aplicar el conjunto de rehabilitaciones excepto la pintura exterior, que perjudica como se verá más adelante al ahorro de demanda energética de calefacción. La demanda inicial media de calefacción en Barcelona es de $83,16 \text{ kWh/m}^2$.

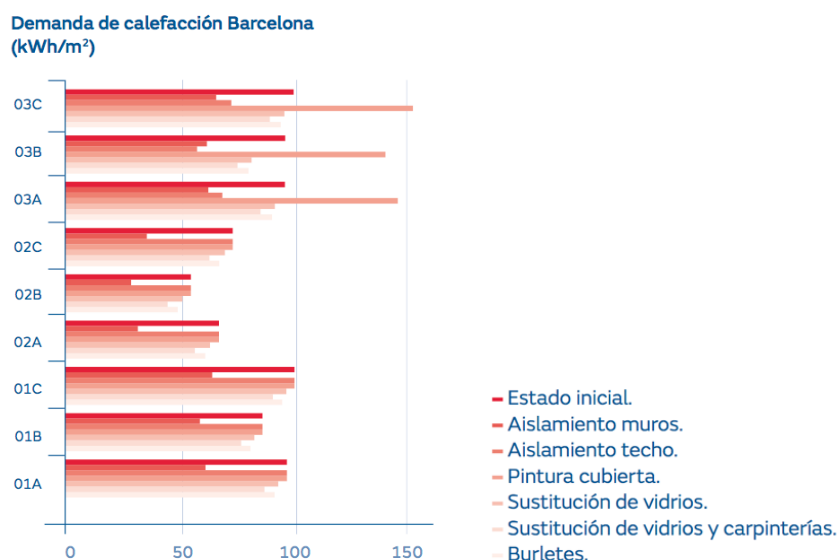


Figura 18: Demanda de calefacción media según medida de rehabilitación y vivienda en Barcelona

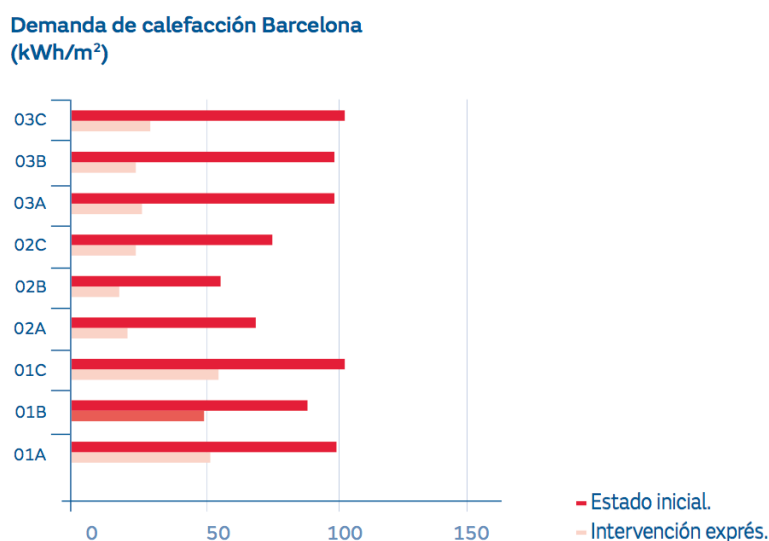


Figura 19: Demanda de calefacción inicial y después del conjunto total de las rehabilitaciones en Barcelona (excepto pintura exterior)

1) Aislamiento de muros

Tipo vivienda	Demanda inicial (kWh/m ²)	Demanda aislamiento muros (kWh/m ²)	Reducción demanda (kWh/m ²)	Porcentaje de reducción (%)
03C	96,69	63,85	32,84	33,97
03B	93,35	58,51	34,84	37,32
03A	93,35	58,68	34,67	37,14
02C	71,51	34,84	36,67	51,28
02B	53,51	28,17	25,34	47,35
02A	65,35	30,67	34,67	53,06
01C	97,19	61,85	35,34	36,36
01B	83,68	57,01	26,67	31,87
01A	93,85	59,18	34,67	36,94
PROMEDIO	83,16	50,31	32,86	39,51

Tabla 5: Estudio de aislamiento de muros para reducción de demanda de calefacción en Barcelona

Con esta medida, Tabla 5, se reduce la demanda de calefacción un promedio del 39,51 %. En la segunda planta es en la que más influye esta medida, siendo la vivienda 2B la más beneficiada.

2) Aislamiento de techos

Tipo vivienda	Demanda inicial (kWh/m ²)	Demanda ais techo (kWh/m ²)	Reducción demanda (kWh/m ²)	Porcentaje de reducción (%)
03C	96,69	71,29	25,40	26,27
03B	93,35	56,43	36,92	39,55
03A	93,35	67,14	26,21	28,07
02C	71,51	71,43	0,08	0,12
02B	53,51	53,57	-0,06	-0,12
02A	65,35	65,57	-0,23	-0,35
01C	97,19	97,29	-0,10	-0,10
01B	83,68	84,14	-0,46	-0,55
01A	93,85	94,29	-0,44	-0,46
PROMEDIO	83,16	73,46	9,70	11,67

Tabla 6: Estudio de aislamiento de techos para reducción de demanda de calefacción en Barcelona

Mediante esta medida de rehabilitación, Tabla 6, se consigue disminuir una media del 11,67 % de la demanda energética. Esta medida es útil, como se puede observar, para las viviendas de la última planta (03A,03B, 03C).

3) Pintura cubierta

Tipo vivienda	Demanda inicial (kWh/m ²)	Demanda pintura cubierta (kWh/m ²)	Reducción demanda (kWh/m ²)	Porcentaje de reducción (%)
03C	96,69	147,43	-50,75	-52,48
03B	93,35	135,72	-42,37	-45,38
03A	93,35	141,15	-47,79	-51,20
02C	71,51	71,43	0,08	0,12
02B	53,51	47,43	6,08	11,36
02A	65,35	65,57	-0,23	-0,35
01C	97,19	97,29	-0,10	-0,10
01B	83,68	83,14	0,54	0,64
01A	93,85	93,72	0,14	0,14
PROMEDIO	83,16	98,10	-14,93	-17,96

Tabla 7: Estudio de pintura cubierta para reducción de demanda de calefacción en Barcelona

Esta medida resulta contraproducente en los meses fríos del año, Tabla 7, haciendo que la demanda de calefacción aumente de media un 17,96%.

4) Sustitución de vidrios

Tipo vivienda	Demanda inicial (kWh/m ²)	Demanda sustitución vidrios(kWh/m ²)	Reducción demanda (kWh/m ²)	Porcentaje de reducción (%)
03C	96,69	92,86	3,83	3,96
03B	93,35	78,86	14,49	15,53
03A	93,35	88,86	4,49	4,81
02C	71,51	67,29	4,23	5,91
02B	53,51	50,00	3,51	6,56
02A	65,35	61,57	3,77	5,77
01C	97,19	94,14	3,04	3,13
01B	83,68	80,14	3,54	4,23
01A	93,85	90,29	3,56	3,80
PROMEDIO	83,16	78,22	4,94	5,94

Tabla 8: Estudio de sustitución de vidrios para reducción de demanda de calefacción en Barcelona

La sustitución de vidrios en las viviendas disminuye de media un 5,94% la demanda de calefacción como se observa en la Tabla 8.

5) Sustitución de vidrios y carpinterías

Tipo vivienda	Demanda inicial (kWh/m ²)	D. vidrios y carpintería (kWh/m ²)	Reducción demanda (kWh/m ²)	Porcentaje de reducción (%)
03C	96,69	86,86	9,83	10,16
03B	93,35	72,86	20,49	21,95
03A	93,35	82,86	10,49	11,24
02C	71,51	61,29	10,23	14,30
02B	53,51	42,86	10,65	19,91
02A	65,35	54,43	10,92	16,71
01C	97,19	87,86	9,33	9,60
01B	83,68	74,43	9,25	11,06
01A	93,85	84,14	9,71	10,34
PROMEDIO	83,16	71,95	11,21	13,48

Tabla 9: Estudio de sustitución de vidrios y carpinterías para reducción de demanda de calefacción en Barcelona

La sustitución de vidrios y carpinterías, Tabla 9, supone una mejora del 13,48% de la demanda. Afecta mayormente a las viviendas de las plantas segunda y tercera. Resulta una medida muy eficaz a la hora de disminuir la pérdida de calor a través de los cerramientos de la vivienda.

6) Burletes

Tipo vivienda	Demanda inicial (kWh/m ²)	Demanda burletes(kWh/m ²)	Reducción demanda (kWh/m ²)	Porcentaje de reducción (%)
03C	96,69	91,29	5,40	5,58
03B	93,35	78,14	15,21	16,29
03A	93,35	87,43	5,92	6,34
02C	71,51	65,57	5,94	8,31
02B	53,51	47,72	5,80	10,83
02A	65,35	59,72	5,63	8,62
01C	97,19	92,14	5,04	5,19
01B	83,68	78,57	5,11	6,11
01A	93,85	88,86	4,99	5,32
PROMEDIO	83,16	76,60	6,56	7,89

Tabla 10: Estudio de burletes para reducción de demanda de calefacción en Barcelona

La introducción de burletes, Tabla 10, supone una disminución de la demanda del 7,89%, siendo menos efectiva que la sustitución de vidrios y carpinterías.

Demanda promedio con cada medida:

Demanda (kWh/m ²)	Inicial	Aislamiento muros	Aislamiento techos	Pintura cubierta	Sustitución vidrios	Vidrios y carpintería	Burletes
PROMEDIO	83,16	50,31	73,46	98,10	78,22	71,95	76,60

Tabla 11: Estudio de la demanda promedio con cada medida en Barcelona

Se observa en la Tabla 11 como todas las medidas de rehabilitación, menos la pintura en la cubierta, benefician a la reducción de demanda de calefacción. La medida con mejores resultados es la de aislamiento de muros. La pintura de la cubierta exterior aumenta de media un 10% la demanda de calefacción, por lo que esta medida no beneficia en los meses fríos.

Considerando la aplicación de las tres medidas más eficaces, aislamiento de muros, aislamiento de techos y sustitución de vidrios y calderas, se puede observar el resultado completo de rehabilitación de las viviendas:

Tipo vivienda	Demanda inicial (kWh/m ²)	Demanda post-intervención (kWh/m ²)	Reducción demanda (kWh/m ²)	Porcentaje de reducción (%)
03C	96,69	29,29	67,40	69,71
03B	93,35	24,00	69,35	74,29
03A	93,35	26,00	67,35	72,15
02C	71,51	23,57	47,94	67,04
02B	53,51	17,43	36,08	67,43
02A	65,35	20,71	44,63	68,30
01C	97,19	54,14	43,04	44,29
01B	83,68	48,86	34,83	41,62
01A	93,85	51,43	42,42	45,20
PROMEDIO	83,16	32,83	50,34	60,53

Tabla 12: Estudio de la aplicación conjunta de todas las medidas en Barcelona

Se puede observar en la Tabla 12 como la demanda de calefacción después de hacer una intervención exprés considerando todas las medidas es alrededor de un 60% menor que la demanda inicial. Las viviendas de la última planta son las más beneficiadas al ser las más expuestas al exterior.

Orden de las medidas más eficaces

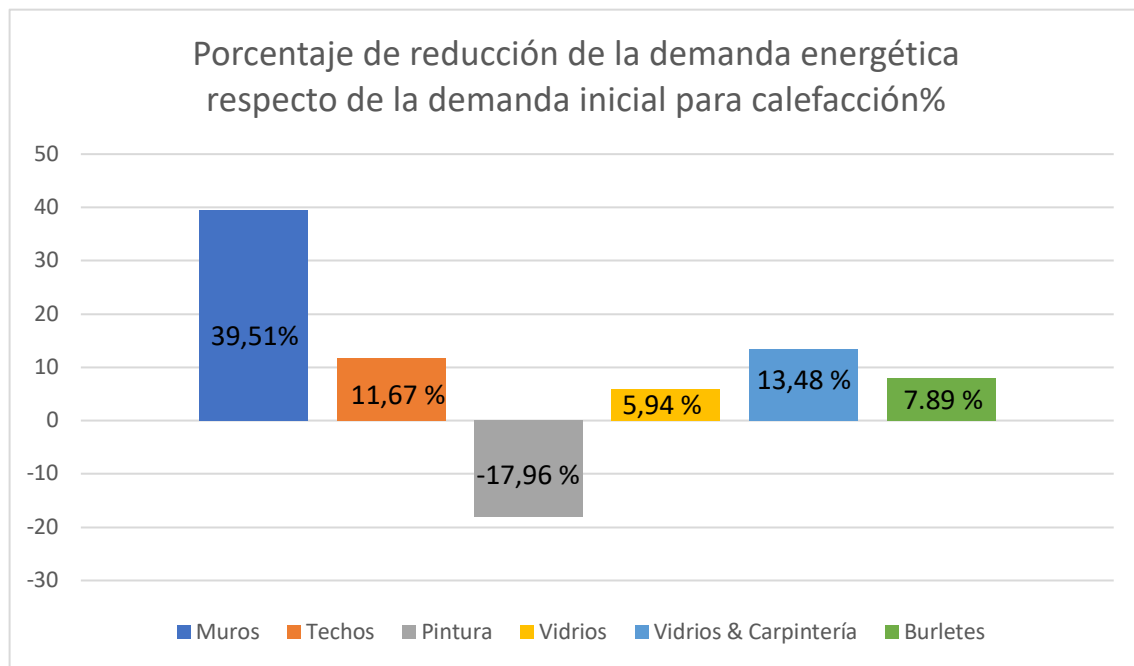


Figura 20: Reducción de la demanda de calefacción en Barcelona según cada medida

Se observa en la Figura 20 como el orden de las medidas más eficaces para meses fríos en Barcelona es: 1) aislamiento de muros; 2) sustitución de vidrios y carpinterías; 3) aislamiento de techos, 4) burletes; 5) sustitución de vidrios y, por último; 6) pintura en el exterior.

2.5.2 La Coruña

En esta zona climática la demanda de calefacción media en los meses fríos es elevada y, la demanda de refrigeración no se va a considerar debido a que las temperaturas en los meses cálidos no son elevadas y la demanda de refrigeración es despreciable.

La Coruña consta de una media inicial de demanda de calefacción, antes de realizar las medidas de rehabilitación, de $94,99 \text{ kWh/m}^2$.

Calefacción en La Coruña

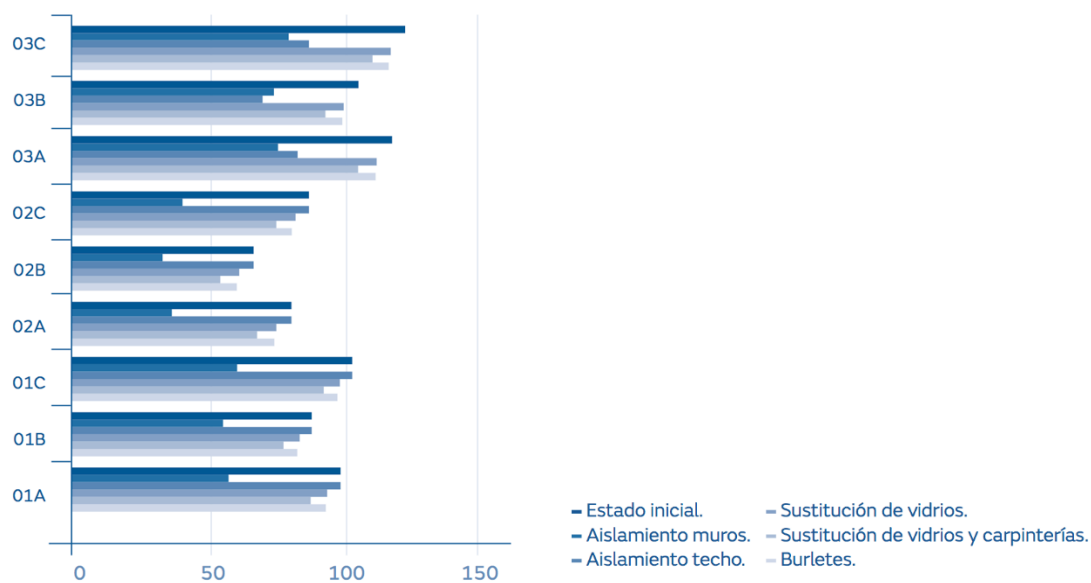


Figura 21: Demanda de calefacción media según medida de rehabilitación y vivienda en La Coruña

Demanda de calefacción A Coruña (kWh/m²)

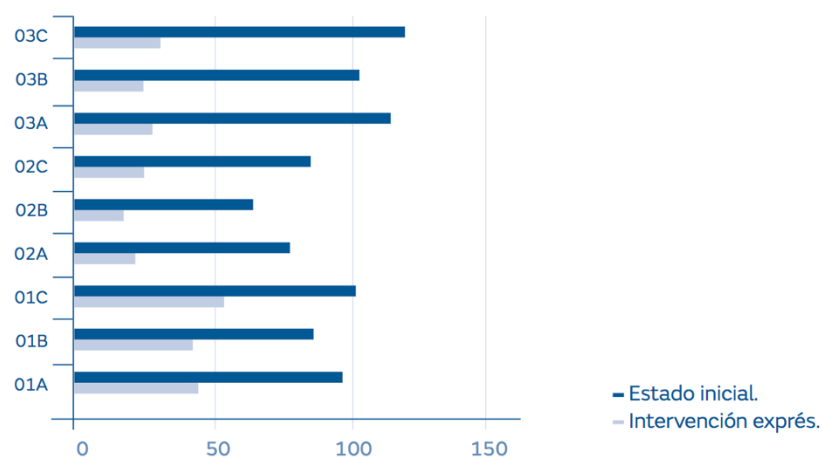


Figura 22: Demanda de calefacción inicial y después del conjunto total de las rehabilitaciones en La Coruña (excepto pintura exterior)

1) Aislamiento de muros

Tipo vivienda	Demanda inicial (kWh/m ²)	Demanda aislamiento muros (kWh/m ²)	Reducción demanda (kWh/m ²)	Porcentaje de reducción (%)
03C	117,49	69,85	47,64	40,55
03B	100,35	72,51	27,83	27,73
03A	113,56	74,35	39,21	34,53
02C	102,49	39,67	62,81	61,29
02B	64,28	32,84	31,44	48,91
02A	77,85	35,51	42,34	54,39
01C	98,92	58,85	40,07	40,51
01B	83,92	54,18	29,74	35,44
01A	96,06	56,01	40,05	41,69
PROMEDIO	94,99	54,86	40,13	42,24

Tabla 13: Estudio de aislamiento de muros para reducción de demanda de calefacción en A Coruña

Con el aislamiento de muros, Tabla 13, se observa como la reducción de la demanda de calefacción es del 42,24%, lo que resulta una elevada reducción. La vivienda dónde más afecta esta medida es el 02C y en dónde menos el 03B. Se observa como reduce más en las viviendas que están en las esquinas (letra A y C) del edificio ya que tienes más superficie expuesta dónde aislar muro.

2) Aislamiento de techos

Tipo vivienda	Demanda inicial (kWh/m ²)	Demanda ais techo (kWh/m ²)	Reducción demanda (kWh/m ²)	Porcentaje de reducción (%)
03C	117,49	85,35	32,14	27,35
03B	100,35	68,35	32,00	31,89
03A	113,56	80,85	32,71	28,80
02C	102,49	85,02	17,47	17,05
02B	64,28	65,18	-0,90	-1,40
02A	77,85	78,52	-0,67	-0,86
01C	98,92	100,69	-1,77	-1,79
01B	83,92	85,68	-1,77	-2,10
01A	96,06	96,35	-0,29	-0,30
PROMEDIO	94,99	82,89	12,10	12,74

Tabla 14: Estudio de aislamiento de techos para reducción de demanda de calefacción en A Coruña

La medida de aislamiento de techos, Tabla 14, reduce de media un 12,74% la demanda de calefacción. Se observa claramente que afecta mucho más a las viviendas de la planta 3.

3) Sustitución de vidrios

Tipo vivienda	Demanda inicial (kWh/m ²)	Demanda sustitución vidrios(kWh/m ²)	Reducción demanda (kWh/m ²)	Porcentaje de reducción (%)
03C	117,49	114,19	3,30	2,81
03B	100,35	97,19	3,16	3,15
03A	113,56	109,19	4,37	3,85
02C	102,49	80,18	22,31	21,76
02B	64,28	60,01	4,27	6,64
02A	77,85	73,01	4,83	6,21
01C	98,92	96,02	2,90	2,93
01B	83,92	81,68	2,24	2,66
01A	96,06	91,69	4,37	4,55
PROMEDIO	94,99	89,24	5,75	6,05

Tabla 15: Estudio de sustitución de vidrios para reducción de demanda de calefacción en A Coruña

La medida de sustitución de vidrios, Tabla 15, reduce de media un 6,05% la demanda de la calefacción.

4) Sustitución de vidrios y carpinterías

Tipo vivienda	Demanda inicial (kWh/m ²)	D. vidrios y carpintería (kWh/m ²)	Reducción demanda (kWh/m ²)	Porcentaje de reducción (%)
03C	117,49	108,19	9,30	7,91
03B	100,35	90,85	9,49	9,46
03A	113,56	102,52	11,04	9,72
02C	102,49	73,18	29,31	28,60
02B	64,28	53,34	10,93	17,01
02A	77,85	66,35	11,50	14,77
01C	98,92	90,18	8,73	8,83
01B	83,92	75,85	8,07	9,62
01A	96,06	85,35	10,71	11,15
PROMEDIO	94,99	82,87	12,12	12,76

Tabla 16: Estudio de sustitución de vidrios y carpinterías para para reducción de demanda de calefacción en A Coruña

En la Tabla 16 se observa como, mediante la sustitución de vidrios y carpinterías, se puede ahorrar un 12,76% de demanda de calefacción. Se observa que esta medida es más efectiva en la planta 2.

5) Burletes

Tipo vivienda	Demanda inicial (kWh/m ²)	Demanda burletes(kWh/m ²)	Reducción demanda (kWh/m ²)	Porcentaje de reducción (%)
03C	117,49	113,52	3,96	3,37
03B	100,35	97,02	3,33	3,31
03A	113,56	108,86	4,70	4,14
02C	102,49	78,52	23,97	23,39
02B	64,28	58,85	5,43	8,45
02A	77,85	72,68	5,17	6,64
01C	98,92	95,02	3,90	3,94
01B	83,92	80,35	3,57	4,25
01A	96,06	90,52	5,54	5,77
PROMEDIO	94,99	88,37	6,62	6,97

Tabla 17: Estudio de burletes para para reducción de demanda de calefacción en A Coruña

Mediante la introducción de burletes, Tabla 17, se ahorra una media de 6,97% de demanda energética.

Demanda promedio con cada medida:

Demanda (kWh/m ²)	Inicial	Aislamiento muros	Aislamiento techos	Sustitución vidrios	Vidrios y carpintería	Burletes
PROMEDIO	94,99	54,86	82,89	89,24	82,87	88,37

Tabla 18: Estudio de la demanda promedio con cada medida en La Coruña

Se observa en la Tabla 18 como el aislamiento de muros, al igual que en Barcelona, es la medida más útil ya que reduce notablemente la demanda de calefacción media.

Considerando las tres medidas más eficaces, mencionadas en la Figura 19, se puede observar el resultado completo de rehabilitación de las viviendas en la Tabla 19.

Tipo vivienda	Demanda inicial (kWh/m ²)	Demanda post-intervención (kWh/m ²)	Reducción demanda (kWh/m ²)	Porcentaje de reducción (%)
03C	117,49	30,38	87,11	74,15
03B	100,35	24,38	75,97	75,71
03A	113,56	27,75	85,81	75,56
02C	102,49	24,88	77,61	75,73
02B	64,28	17,63	46,65	72,58
02A	77,85	21,63	56,22	72,22
01C	98,92	52,75	46,17	46,67
01B	83,92	42,25	41,67	49,65
01A	96,06	43,75	52,31	54,46
PROMEDIO	94,99	31,71	63,28	66,62

Tabla 19: Estudio de la aplicación conjunta de todas las medidas en A Coruña

En la Tabla 19 se observa como, aplicando el conjunto de las medidas de rehabilitación, se puede disminuir la demanda energética una media del 66,62%.

Orden de las medidas más eficaces

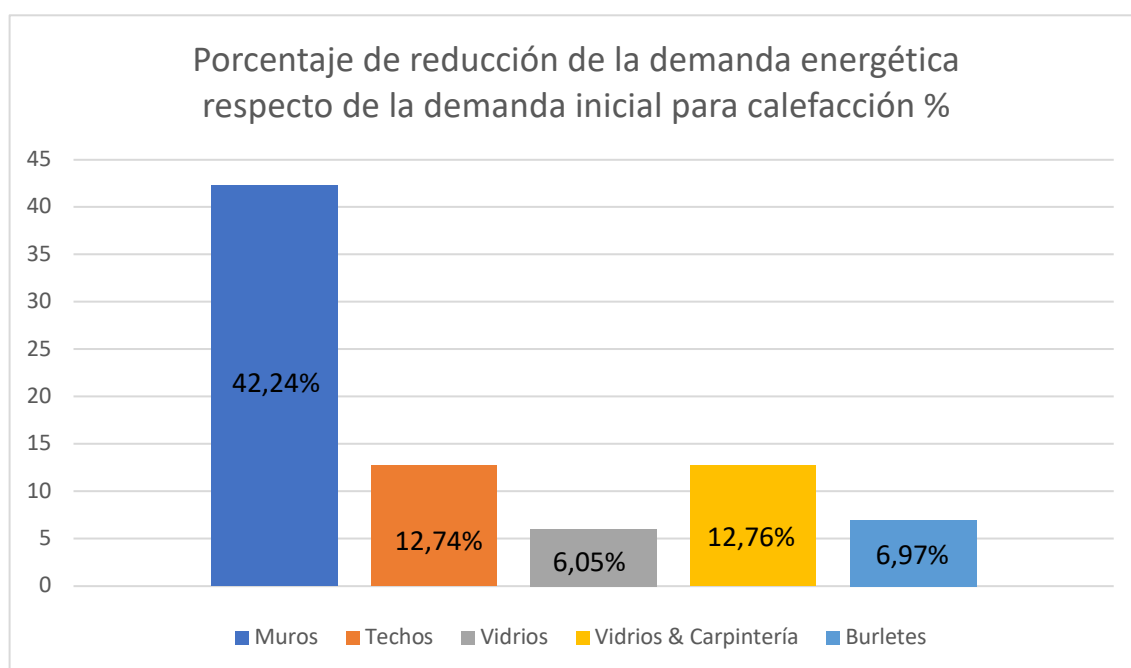


Figura 19: Reducción de la demanda energética en La Coruña según cada medida

Se observa en la Figura 19 como las medidas más eficaces para la reducción de la demanda energética en meses fríos en La Coruña son: 1) el aislamiento de muros, 2) sustitución de vidrios y carpintería, 3) aislamiento de techos, 4) burletes y 5) sustitución de vidrios, en este orden respectivamente.

2.5.3. Madrid

Madrid es la zona climática con mayor demanda energética de calefacción en los meses fríos del año. Consta de una demanda inicial media de $123,70 \text{ kWh/m}^2$. A continuación, se analizan las medidas de rehabilitación para ahorro de demanda energética para calefacción y, posteriormente, para refrigeración.

Calefacción en Madrid

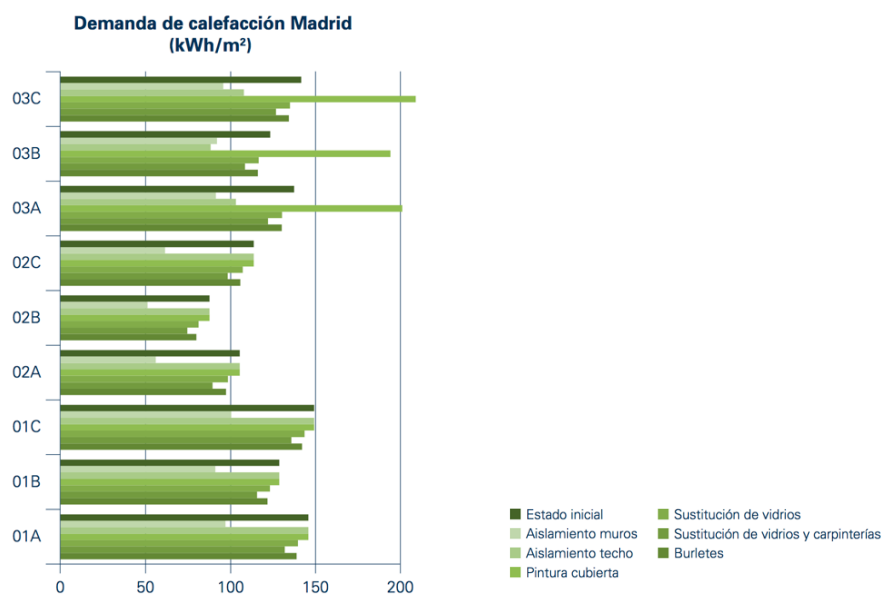


Figura 24: Demanda de calefacción media según medida de rehabilitación y vivienda en Madrid (Naturgy 2017)



Figura 25: Demanda de calefacción inicial y después del conjunto total de las rehabilitaciones en Madrid (excepto pintura exterior) (Naturgy 2017)

1) Aislamiento de muros

Tipo vivienda	Demanda inicial (kWh/m ²)	Demanda aislamiento muros (kWh/m ²)	Reducción demanda (kWh/m ²)	Porcentaje de reducción (%)
03C	140,00	94,57	45,43	32,45
03B	121,72	91,00	30,71	25,23
03A	128,86	90,29	38,57	29,93
02C	112,43	60,72	51,72	46,00
02B	87,14	50,72	36,43	41,80
02A	104,29	55,72	48,57	46,58
01C	147,57	99,29	48,29	32,72
01B	127,15	90,00	37,14	29,21
01A	144,15	95,72	48,43	33,60
PROMEDIO	123,70	80,89	42,81	34,61

Tabla 20: Estudio de aislamiento de muros para para reducción de demanda de calefacción en Madrid

Se puede observar en la Tabla 20 como mediante la medida de aislamiento de muros se reduce un 34,61% la demanda de calefacción. Afecta más a las viviendas de la planta 2 esta medida.

2) Aislamiento de techos

Tipo vivienda	Demanda inicial (kWh/m ²)	Demanda techo (kWh/m ²)	Reducción demanda (kWh/m ²)	Porcentaje de reducción (%)
03C	140,00	107,00	33,00	23,57
03B	121,72	87,43	34,29	28,17
03A	128,86	102,14	26,71	20,73
02C	112,43	112,72	-0,29	-0,25
02B	87,14	87,00	0,14	0,16
02A	104,29	104,29	0,00	0,00
01C	147,57	147,29	0,29	0,19
01B	127,15	127,15	0,00	0,00
01A	144,15	144,15	0,00	0,00
PROMEDIO	123,70	113,24	10,46	8,46

Tabla 21: Estudio de aislamiento de techos para reducción de demanda de calefacción en Madrid

En la Tabla 21, se observa un ahorro del 8,46% de la demanda de calefacción mediante el aislamiento de techos en Madrid. Esta medida de rehabilitación proporciona resultados nulos en la mayor parte de las viviendas excepto las de la última planta.

3) Pintura cubierta

Tipo vivienda	Demanda inicial (kWh/m ²)	Demanda pintura cubierta (kWh/m ²)	Reducción demanda (kWh/m ²)	Porcentaje de reducción (%)
03C	140,00	206,43	-66,43	-47,45
03B	121,72	191,86	-70,14	-57,63
03A	128,86	198,72	-69,86	-54,21
02C	112,43	112,72	-0,29	-0,25
02B	87,14	87,00	0,14	0,16
02A	104,29	104,29	0,00	0,00
01C	147,57	147,29	0,29	0,19
01B	127,15	127,15	0,00	0,00
01A	144,15	144,15	0,00	0,00
PROMEDIO	123,70	146,62	-22,92	-18,53

Tabla 22: Estudio de pintura cubierta para reducción de demanda de calefacción en Madrid

El ahorro de demanda de calefacción con pintura cubierta es del -18,53%, según la Tabla 22, por lo que esta medida resulta improductiva en los meses fríos.

4) Sustitución de vidrios

Tipo vivienda	Demanda inicial (kWh/m ²)	Demanda sustitución vidrios(kWh/m ²)	Reducción demanda (kWh/m ²)	Porcentaje de reducción (%)
03C	140,00	133,29	6,71	4,80
03B	121,72	115,43	6,29	5,16
03A	128,86	128,86	0,00	0,00
02C	112,43	106,00	6,43	5,72
02B	87,14	80,14	7,00	8,03
02A	104,29	98,72	5,57	5,34
01C	147,57	142,00	5,57	3,78
01B	127,15	121,72	5,43	4,27
01A	144,15	138,43	5,71	3,96
PROMEDIO	123,70	118,29	5,41	4,38

Tabla 23: Estudio de sustitución de vidrios para reducción de demanda de calefacción en Madrid

El ahorro energético por sustitución de vidrios es del 4,38%, ver Tabla 23.

5) Sustitución de vidrios y carpinterías

Tipo vivienda	Demanda inicial (kWh/m ²)	D.vidrios y carpinterías(kWh/m ²)	Reducción demanda (kWh/m ²)	Porcentaje de reducción (%)
03C	140,00	125,29	14,71	10,51
03B	121,72	107,43	14,29	11,74
03A	128,86	120,57	8,29	6,43
02C	112,43	97,14	15,29	13,60
02B	87,14	74,00	13,14	15,08
02A	104,29	88,57	15,71	15,07
01C	147,57	134,15	13,43	9,10
01B	127,15	114,29	12,86	10,11
01A	144,15	130,29	13,86	9,61
PROMEDIO	123,70	110,19	13,51	10,92

Tabla 24: Estudio de sustitución de vidrios y carpinterías para reducción de demanda de calefacción en Madrid

Al aplicar la medida de sustitución de vidrios y carpinterías, se ahorra de media un 10,92%, ver Tabla 24.

6) Burletes

Tipo vivienda	Demanda inicial (kWh/m ²)	Demanda burletes(kWh/m ²)	Reducción demanda (kWh/m ²)	Porcentaje de reducción (%)
03C	140,00	134,15	5,86	4,18
03B	121,72	114,57	7,14	5,87
03A	128,86	128,72	0,14	0,11
02C	112,43	104,57	7,86	6,99
02B	87,14	78,86	8,29	9,51
02A	104,29	96,00	8,29	7,95
01C	147,57	140,29	7,29	4,94
01B	127,15	120,15	7,00	5,51
01A	144,15	137,15	7,00	4,86
PROMEDIO	123,70	117,16	6,54	5,29

Tabla 25: Estudio de burletes para reducción de demanda de calefacción en Madrid

Con la medida de aplicación de burletes, se ahorra de media el 5,29% de demanda energética según la Tabla 25.

Demanda promedio de energía para calefacción con cada medida:

Demanda (kWh/m ²)	Inicial	Aislamiento muros	Aislamiento techos	Pintura cubierta	Sustitución vidrios	Vidrios y carpintería	Burletes
PROMEDIO	123,70	80,89	113,24	146,62	118,29	110,19	117,16

Tabla 26: Estudio de la demanda promedio con cada medida en Madrid

Se puede observar en la Tabla 26 como la medida que, tras ser aplicada, hace que se necesite menor cantidad de energía es la de aislamiento de muros, como en Barcelona y La Coruña.

Considerando las tres medidas más eficaces, se puede observar el resultado completo de rehabilitación de las viviendas.

Tipo vivienda	Demanda inicial (kWh/m ²)	Demanda post-intervención (kWh/m ²)	Reducción demanda (kWh/m ²)	Porcentaje de reducción (%)
03C	140,00	46,00	94,00	67,14
03B	121,72	40,00	81,72	67,14
03A	128,86	42,72	86,14	66,85
02C	112,43	44,29	68,14	60,61
02B	87,14	34,29	52,86	60,66
02A	104,29	39,29	65,00	62,33
01C	147,57	85,57	62,00	42,01
01B	127,15	76,43	50,72	39,89
01A	144,15	81,43	62,72	43,51
PROMEDIO	123,70	54,45	69,26	55,99

Tabla 27: Estudio de la aplicación conjunta de todas las medidas en Madrid

Se observa en la Tabla 27 que el ahorro medio de calefacción incluyendo todas las medidas excepto la pintura cubierta es del 56% aproximadamente.

Orden de las medidas más eficaces

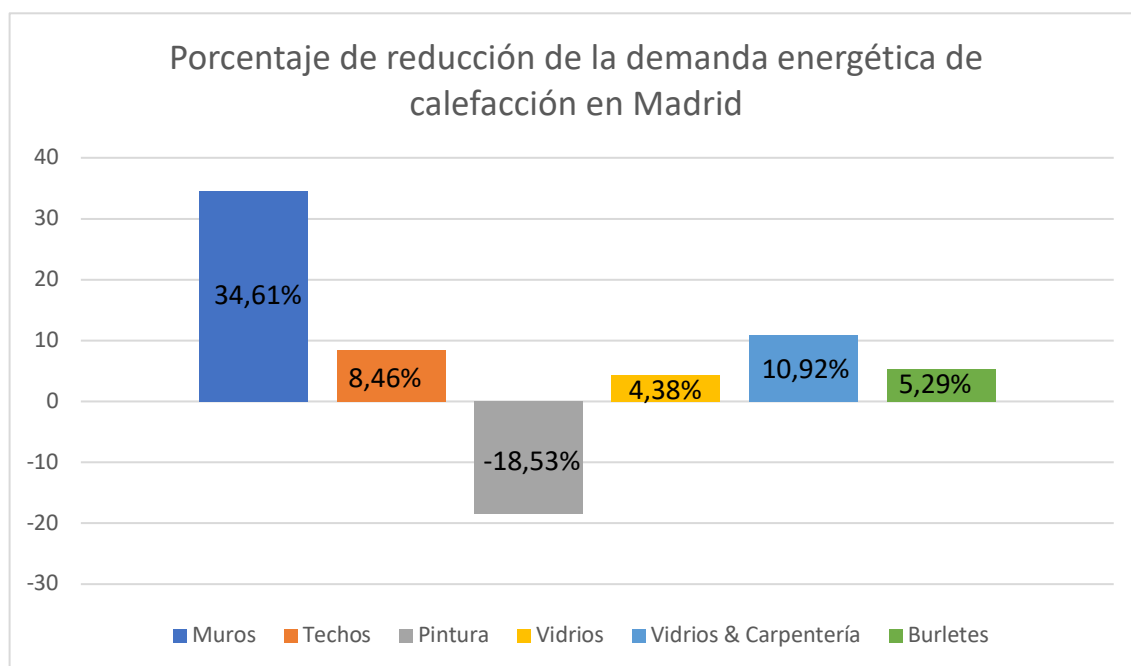


Figura 26: Reducción de la demanda energética según cada medida de rehabilitación en Madrid

En la Figura 26 observamos que el orden de eficacia de las medidas en la ciudad de Madrid es: 1) aislamiento de muros, 2) sustitución de vidrios y carpinterías, 3) aislamiento de techos, 4) burletes, 5) sustitución de vidrios y 6) pintura cubierta, descartándose esta medida para el ahorro de calefacción.

2.5.4 Sevilla

Calefacción en Sevilla

La ciudad de Sevilla no requiere de una demanda media de calefacción elevada gracias a su clima cálido. Consta de una demanda media inicial es de $29,45 \text{ kWh/m}^2$, la más baja de las cuatro zonas climáticas.

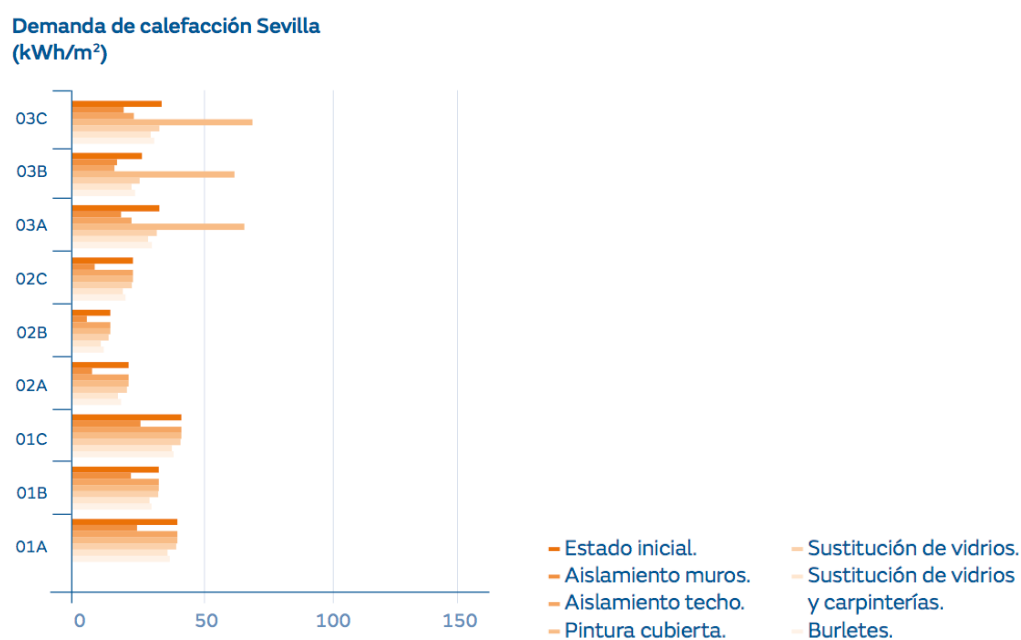


Figura 27: Demanda de calefacción media según medida de rehabilitación y vivienda en Sevilla

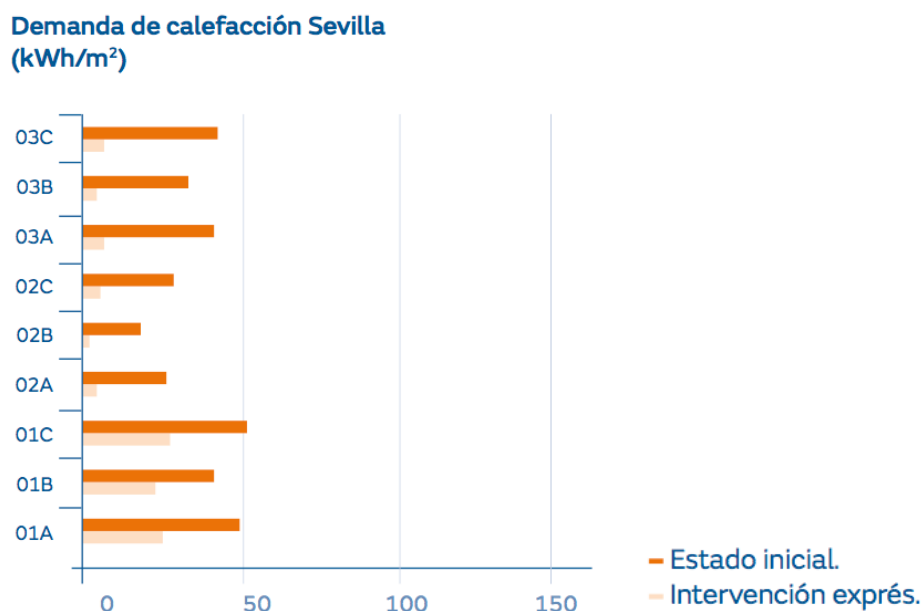


Figura 28: Demanda de calefacción inicial y después del conjunto total de las rehabilitaciones en Sevilla (excepto pintura exterior)

1)Aislamiento de muros

Tipo vivienda	Demanda inicial (kWh/m ²)	Demanda aislamiento muros (kWh/m ²)	Reducción demanda (kWh/m ²)	Porcentaje de reducción (%)
03C	33,43	19,29	14,14	42,31
03B	26,14	17,00	9,14	34,97
03A	32,86	18,43	14,43	43,91
02C	22,86	8,43	14,43	63,13
02B	15,00	5,86	9,14	60,95
02A	21,29	7,14	14,14	66,44
01C	41,00	25,57	15,43	37,63
01B	33,29	21,86	11,43	34,33
01A	39,14	24,29	14,86	37,96
PROMEDIO	29,45	16,43	13,02	44,20

Tabla 28: Estudio de aislamiento de muros para reducción de demanda de calefacción en Sevilla

Mediante el aislamiento de muros se reduce la demanda de calefacción en un 44,20%, ver Tabla 28.

2)Aislamiento de techos

Tipo vivienda	Demanda inicial (kWh/m ²)	Demanda techo (kWh/m ²)	Reducción demanda (kWh/m ²)	Porcentaje de reducción (%)
03C	33,43	23,14	10,29	30,77
03B	26,14	15,71	10,43	39,89
03A	32,86	22,14	10,71	32,61
02C	22,86	22,86	0,00	0,00
02B	15,00	14,29	0,71	4,76
02A	21,29	21,43	-0,14	-0,67
01C	41,00	40,29	0,71	1,74
01B	33,29	32,71	0,57	1,72
01A	39,14	38,86	0,29	0,73
PROMEDIO	29,45	25,71	3,73	12,67

Tabla 29: Estudio de aislamiento de techos para reducción de demanda de calefacción en Sevilla

En la Tabla 29 se observa como mediante el aislamiento de techos se reduce la demanda de calefacción un 12,67 %.

3)Pintura cubierta

Tipo vivienda	Demanda inicial (kWh/m ²)	Demanda pintura cubierta (kWh/m ²)	Reducción demanda (kWh/m ²)	Porcentaje de reducción (%)
03C	33,43	67,29	-33,86	-101,28
03B	26,14	60,29	-34,14	-130,60
03A	32,86	64,29	-31,43	-95,65
02C	22,86	22,86	0,00	0,00
02B	15,00	14,29	0,71	4,76
02A	21,29	21,43	-0,14	-0,67
01C	41,00	40,29	0,71	1,74
01B	33,29	32,71	0,57	1,72
01A	39,14	38,86	0,29	0,73
PROMEDIO	29,45	40,25	-10,81	-36,71

Tabla 30: Estudio de pintura cubierta para reducción de demanda de calefacción en Sevilla

La pintura cubierta, tal y como se ha mostrado en cada zona climática, no es efectiva en los meses de frío para reducir la demanda de calefacción. En este caso, Tabla 30, aumenta la demanda un 36,71%.

4)Sustitución de vidrios

Tipo vivienda	Demanda inicial (kWh/m ²)	Demanda sustitución vidrios(kWh/m ²)	Reducción demanda (kWh/m ²)	Porcentaje de reducción (%)
03C	33,43	32,86	0,57	1,71
03B	26,14	25,43	0,71	2,73
03A	32,86	31,57	1,29	3,91
02C	22,86	22,14	0,71	3,13
02B	15,00	13,57	1,43	9,52
02A	21,29	20,43	0,86	4,03
01C	41,00	40,14	0,86	2,09
01B	33,29	32,57	0,71	2,15
01A	39,14	38,72	0,43	1,09
PROMEDIO	29,45	28,60	0,84	2,86

Tabla 31: Estudio de sustitución de vidrios para reducción de demanda de calefacción en Sevilla

Mediante la sustitución de vidrios, Tabla 31, se ahorra de media un 2,86% de la demanda energética de calefacción. Esta medida resulta menos útil que el aislamiento, ya sea de muros o techos.

5)Sustitución de vidrios y carpinterías

Tipo vivienda	Demanda inicial (kWh/m ²)	D.vidrios y carpinterías(kWh/m ²)	Reducción demanda (kWh/m ²)	Porcentaje de reducción (%)
03C	33,43	29,71	3,71	11,11
03B	26,14	22,43	3,71	14,21
03A	32,86	28,57	4,29	13,04
02C	22,86	18,86	4,00	17,50
02B	15,00	11,00	4,00	26,67
02A	21,29	17,14	4,14	19,46
01C	41,00	37,14	3,86	9,41
01B	33,29	29,00	4,29	12,88
01A	39,14	35,72	3,43	8,76
PROMEDIO	29,45	25,51	3,94	13,37

Tabla 32: Estudio de sustitución de vidrios y carpinterías para reducción de demanda de calefacción en Sevilla

La medida de sustitución de vidrios y carpinterías, Tabla 32, reduce la demanda de calefacción un 13,37% de media.

6)Burletes

Tipo vivienda	Demanda inicial (kWh/m ²)	Demanda burletes(kWh/m ²)	Reducción demanda (kWh/m ²)	Porcentaje de reducción (%)
03C	33,43	30,14	3,29	9,83
03B	26,14	23,29	2,86	10,93
03A	32,86	30,00	2,86	8,70
02C	22,86	20,00	2,86	12,50
02B	15,00	11,71	3,29	21,90
02A	21,29	18,57	2,71	12,75
01C	41,00	37,72	3,29	8,01
01B	33,29	29,86	3,43	10,30
01A	39,14	36,43	2,71	6,93
PROMEDIO	29,45	26,41	3,03	10,30

Tabla 33: Estudio de burletes para reducción de demanda de calefacción en Sevilla

Gracias a los burletes, Tabla 33, se reduce la demanda de calefacción el 10,30%.

Demanda promedio con cada medida:

Demanda (kWh/m ²)	Inicial	Aislamiento muros	Aislamiento techos	Pintura cubierta	Sustitución vidrios	Vidrios y carpentería	Burletes
PROMEDIO	29,45	16,43	25,71	40,25	28,60	25,51	26,41

Tabla 34: Estudio de la demanda promedio con cada medida en Sevilla

La medida que más reduce la demanda de calefacción es el aislamiento de muros, como en las otras tres zonas climáticas estudiadas previamente.

Considerando las tres principales medidas de intervención exprés, se puede observar el resultado completo de rehabilitación de las viviendas.

Tipo vivienda	Demanda inicial (kWh/m ²)	Demanda post-intervención (kWh/m ²)	Reducción demanda (kWh/m ²)	Porcentaje de reducción (%)
03C	33,43	6,50	26,93	80,56
03B	26,14	4,38	21,77	83,27
03A	32,86	6,63	26,23	79,84
02C	22,86	5,63	17,23	75,39
02B	15,00	2,38	12,63	84,17
02A	21,29	4,63	16,66	78,27
01C	41,00	27,38	13,63	33,23
01B	33,29	23	10,66	32,03
01A	39,14	25	14,27	36,45
PROMEDIO	29,45	11,67	17,78	60,38

Tabla 35: Estudio de la aplicación conjunta de todas las medidas en Sevilla

Si se aplican todas las medidas de rehabilitación en su conjunto, Tabla 35, se puede llegar a ahorrar el 60,38% de la demanda de calefacción.

Orden de las medidas más eficaces para ahorrar calefacción en Sevilla

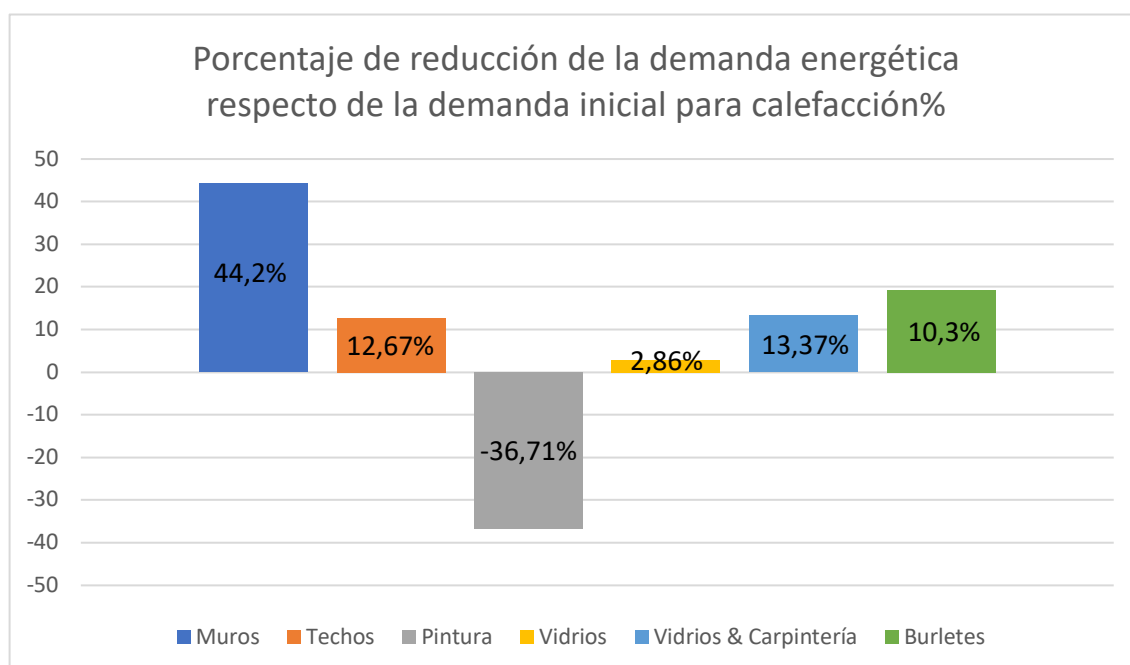


Figura 29: Reducción de la demanda energética según cada medida de rehabilitación en Sevilla

En la Figura 29 observamos el orden de eficacia de las medidas de rehabilitación si se aplican en la ciudad de Sevilla: aislamiento de muros, sustitución de vidrios y carpinterías, aislamiento de techos, burletes, sustitución de vidrios y pintura cubierta.

Por lo tanto, se deduce de los cuatro casos anteriores que, en meses fríos, la medida más eficaz es el aislamiento de muros en las cuatro zonas climáticas. La pintura cubierta resulta contra productiva en todas las zonas climáticas excepto en La Coruña. El aislamiento de techos y la sustitución de vidrios generan una reducción de la demanda similar, siendo ligeramente superior la reducción mediante sustitución de vidrios. La sustitución de vidrios y carpinterías ahorra más energía que la sustitución únicamente de vidrios, resulta más efectiva en todos los casos. La medida de burletes también es más eficaz que la sustitución de vidrios.

2.6 Análisis de medidas de rehabilitación para el ahorro de refrigeración

2.6.1 Barcelona

En los meses cálidos, las viviendas más expuestas a la radiación solar serán las que necesiten mayor demanda de refrigeración. Las viviendas de la última planta son las que más se exponen a esta situación, incidiendo en ellas la radiación solar casi perpendicularmente. De media, la demanda inicial de refrigeración es de $5,76 \text{ kWh/m}^2$.

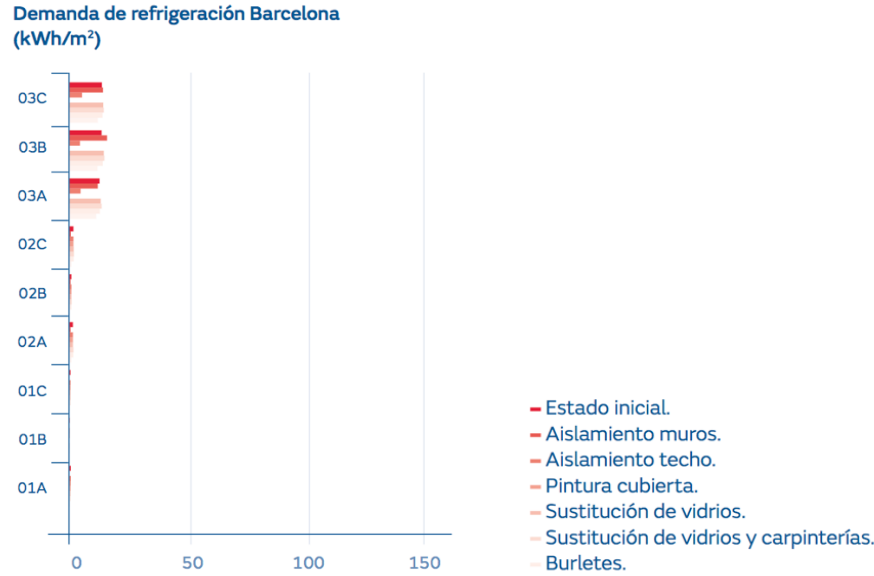


Figura 30: Demanda de refrigeración media según medida de rehabilitación y vivienda en Barcelona

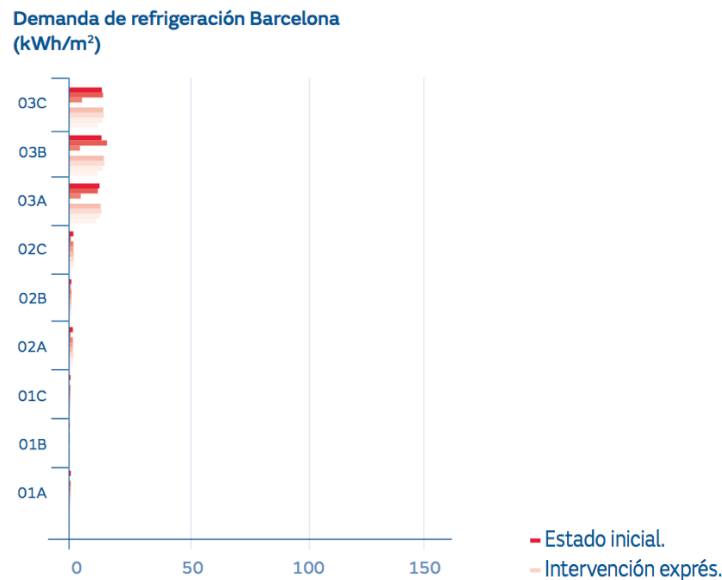


Figura 31: Demanda de refrigeración inicial y después del conjunto total de las rehabilitaciones en Barcelona (excepto pintura exterior)

1)Aislamiento de muros

Tipo vivienda	Demanda inicial (kWh/m ²)	Demanda aislamiento muros (kWh/m ²)	Reducción demanda (kWh/m ²)	Porcentaje de reducción (%)
03C	12,75	13,88	-1,13	-8,82
03B	12,75	15,38	-2,63	-20,59
03A	11,25	11,88	-0,63	-5,56
02C	2,75	0,63	2,13	77,27
02B	2,50	0,38	2,13	85,00
02A	2,75	0,38	2,38	86,36
01C	2,38	0,25	2,13	89,47
01B	2,38	0,11	2,26	95,26
01A	2,38	0,31	2,06	86,84
PROMEDIO	5,76	4,80	0,97	16,77

Tabla 36: Estudio de aislamiento de muros para reducción de demanda de refrigeración en Barcelona

Esta medida, Tabla 36, disminuye la demanda de refrigeración en un 16,77%. Cabe mencionar la enorme diferencia entre ultima planta y las demás, por lo que se observa claramente como esta medida es perjudicial para la ultima planta ya que aumenta la demanda de refrigeración.

2)Aislamiento de techo

Tipo vivienda	Demanda inicial (kWh/m ²)	Demanda aislamiento techo (kWh/m ²)	Reducción demanda (kWh/m ²)	Porcentaje de reducción (%)
03C	12,75	5,25	7,50	58,82
03B	12,75	4,50	8,25	64,71
03A	11,25	4,75	6,50	57,78
02C	2,75	1,50	1,25	45,45
02B	2,50	1,13	1,38	55
02A	2,75	1,25	1,50	54,55
01C	2,38	0	2,38	100
01B	2,38	0	2,38	100
01A	2,38	0,38	2,00	84
PROMEDIO	5,76	2,08	3,68	63,86

Tabla 37: Estudio de aislamiento de techos para para reducción de demanda de refrigeración en Barcelona

El aislamiento de techos reduce la demanda de refrigeración en un 64% aproximadamente, ver Tabla 37. Se observa un mayor impacto en la primera planta, favoreciendo a la reducción de demanda energética en esta planta.

3)Pintura cubierta

Tipo vivienda	Demanda inicial (kWh/m ²)	Demanda pintura cubierta (kWh/m ²)	Reducción demanda (kWh/m ²)	Porcentaje de reducción (%)
03C	12,75	0	12,75	100
03B	12,75	0	12,75	100
03A	11,25	0	11,25	100
02C	2,75	1,50	1,25	45,45
02B	2,50	1,13	1,38	55
02A	2,75	1,25	1,50	54,55
01C	2,38	0	2	84,21
01B	2,38	0	2,38	100
01A	2,38	1	1,38	57,89
PROMEDIO	5,76	0,58	5,18	89,88

Tabla 38: Estudio de pintura cubierta para para reducción de demanda de refrigeración en Barcelona

Con la pintura cubierta se puede reducir de media la demanda en un 90% aproximadamente, resultando ser la medida más útil para los meses cálidos, ver Tabla 38. Se observa su completa eficacia en las viviendas de la última planta.

4)Sustitución de vidrios

Tipo vivienda	Demanda inicial (kWh/m ²)	Demanda sustitución vidrios(kWh/m ²)	Reducción demanda (kWh/m ²)	Porcentaje de reducción (%)
03C	12,75	13,88	-1,13	-8,82
03B	12,75	14,13	-1,38	-10,78
03A	11,25	12,88	-1,63	-14,44
02C	2,75	1,88	0,88	31,82
02B	2,50	0,88	1,63	65
02A	2,75	1,25	1,50	54,55
01C	2,38	0,38	2	84,21
01B	2,38	0	2,38	100
01A	2,38	1	1,38	57,89
PROMEDIO	5,76	5,14	0,63	10,84

Tabla 39: Estudio de sustitución de vidrios para para reducción de demanda de refrigeración en Barcelona

La sustitución de vidrios reduce la demanda un 10,84%, ver Tabla 39.

5)Sustitución de vidrios y carpinterías

Tipo vivienda	Demanda inicial (kWh/m ²)	D.vidrios y carpinterías(kWh/m ²)	Reducción demanda (kWh/m ²)	Porcentaje de reducción (%)
03C	12,75	14,00	-1,25	-9,80
03B	12,75	14,25	-1,50	-11,76
03A	11,25	13,13	-1,88	-16,67
02C	2,75	2,25	0,50	18,18
02B	2,50	1,00	1,50	60
02A	2,75	1,50	1,25	45,45
01C	2,38	0,13	2,25	94,74
01B	2,38	0	2,38	100
01A	2,38	0,88	2	63,16
PROMEDIO	5,76	5,24	0,53	9,16

Tabla 40: Estudio de sustitución de vidrios y carpinterías para para reducción de demanda de refrigeración en Barcelona

La sustitución de vidrios y carpinterías reduce la demanda aproximadamente como la medida anterior, un 9,16%, tal y como se observa en la Tabla 40. Los valores negativos de la última planta muestran que esta medida es perjudicial para las viviendas 03A, 03B y 03C.

6)Burletes

Tipo vivienda	Demanda inicial (kWh/m ²)	Demanda burletes(kWh/m ²)	Reducción demanda (kWh/m ²)	Porcentaje de reducción (%)
03C	12,75	13,75	-1,00	-7,84
03B	12,75	13,88	-1,13	-8,82
03A	11,25	12,50	-1,25	-11,11
02C	2,75	1,88	0,88	31,82
02B	2,50	0,38	2,13	85
02A	2,75	1,38	1,38	50
01C	2,38	0,13	2,25	94,74
01B	2,38	0	2,38	100
01A	2,38	0,38	2,00	84,21
PROMEDIO	5,76	4,92	0,85	14,70

Tabla 41: Estudio de burletes para para reducción de demanda de refrigeración en Barcelona

Esta medida reduce de media un 14,70% la demanda energética, ver Tabla 41. En la tercera planta aumenta la demanda de refrigeración mediante esta medida.

7)Toldos

Tipo vivienda	Demanda inicial (kWh/m ²)	Demanda toldos(kWh/m ²)	Reducción demanda (kWh/m ²)	Porcentaje de reducción (%)
03C	12,75	11,50	1,25	9,80
03B	12,75	11,88	0,88	6,86
03A	11,25	11,13	0,13	1,11
02C	2,75	0,63	2,13	77,27
02B	2,50	0,00	2,50	100
02A	2,75	0,25	2,50	90,91
01C	2,38	0,13	2,25	94,74
01B	2,38	0	2,38	100
01A	2,38	0	2,38	100
PROMEDIO	5,76	3,94	1,82	31,57

Tabla 42: Estudio de toldos para para reducción de demanda de refrigeración en Barcelona

Los toldos resultan muy efectivos, reduciendo alrededor del 32% la demanda energética, sobre todo en las viviendas de las plantas primera y segunda, donde prácticamente anula la demanda energética de refrigeración. Se puede observar esta información en la Tabla 42.

Demanda promedio con cada medida:

Demanda (kWh/m ²)	Inicial	Aislamiento muros	Aislamiento techos	Pintura cubierta	Sustitución vidrios	Vidrios y carpentería	Burletes	Toldos
PROMEDIO	5,76	4,80	2,04	0,58	5,14	5,32	4,92	4,11

Tabla 43: Estudio de la demanda promedio con cada medida en Barcelona

Se observa de media como todas las medidas reducen la demanda de refrigeración inicial. La medida más eficaz sería la pintura exterior, que protege del calor en las viviendas más expuestas al sol en los meses cálidos, que son las de la 3ª planta.

Considerando todas las medidas de intervención exprés, se puede observar el resultado de las tres principales medidas de rehabilitación de las viviendas para refrigeración.

Tipo vivienda	Demanda inicial (kWh/m ²)	Demanda post-intervención (kWh/m ²)	Reducción demanda (kWh/m ²)	Porcentaje de reducción (%)
03C	12,75	8,25	4,50	35,29
03B	12,75	9,75	3,00	23,53
03A	11,25	7,25	4,00	35,56
02C	2,75	0	2,75	100
02B	2,50	0	2,50	100
02A	2,75	0	2,75	100
01C	2,38	0	2,38	100
01B	2,38	0	2,38	100
01A	2,38	0	2,38	100
PROMEDIO	5,76	2,81	2,96	51,33

Tabla 44: Estudio de la aplicación conjunta de todas las medidas en Barcelona

Se puede observar en la Tabla 44 como la demanda de refrigeración se anula después de aplicar las medidas de intervención en los pisos de la primera y segunda planta. En total, el porcentaje de reducción de la demanda de refrigeración tras la rehabilitación exprés de media sería del 51,33%.

Orden de las medidas más eficaces

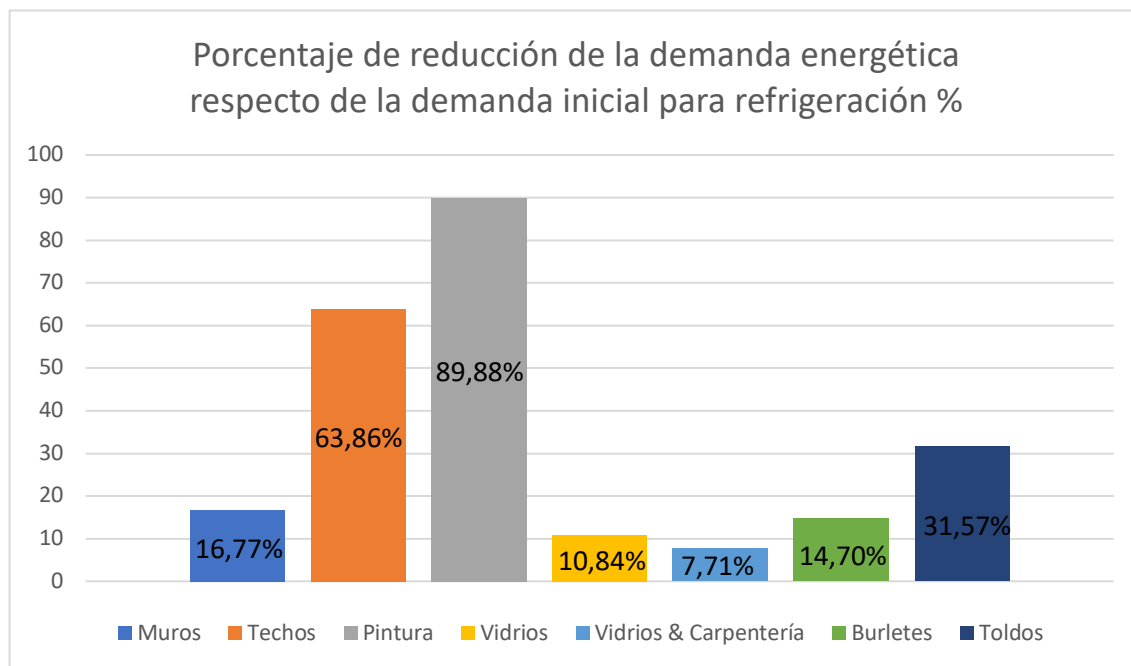


Figura 32: Reducción de la demanda energética en Barcelona según cada medida

Se observa en el gráfico que las medidas que reducen en mayor grado la demanda de refrigeración son la pintura exterior, que es efectiva en meses cálidos pero ineficaz o perjudicial en meses fríos, el aislamiento de techos, los toldos, el aislamiento de muros, los burletes, sustitución de vidrios y, por último, sustitución de vidrios y carpinterías.

2.6.2 La Coruña

En el caso de La Coruña, no se realiza el estudio de refrigeración en meses cálidos ya que demanda de aire acondicionado es despreciable en esta zona climática.

2.6.3 Madrid

Madrid es una ciudad que sufre veranos muy calurosos por lo que requiere una alta demanda de aire acondicionado. De media, la demanda inicial de refrigeración es de 10,96 kWh/m², casi el doble de demanda que en Barcelona. Las viviendas que más demanda de refrigeración requieren son las de la última planta como se puede observar en la Figura 33. Esto se debe a que la última planta es la más expuesta al sol.

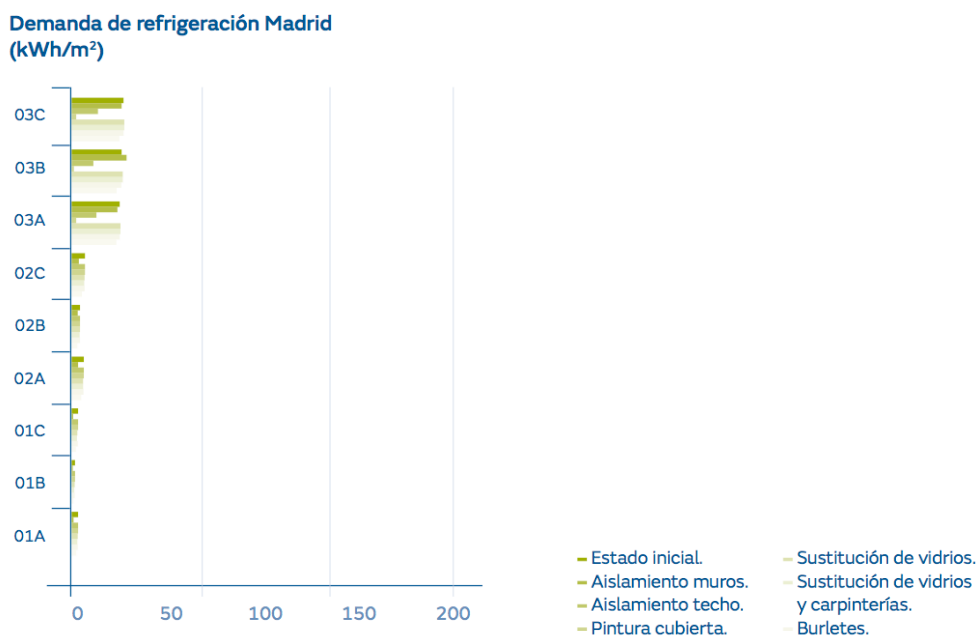


Figura 33: Demanda de refrigeración media según medida de rehabilitación y vivienda en Madrid

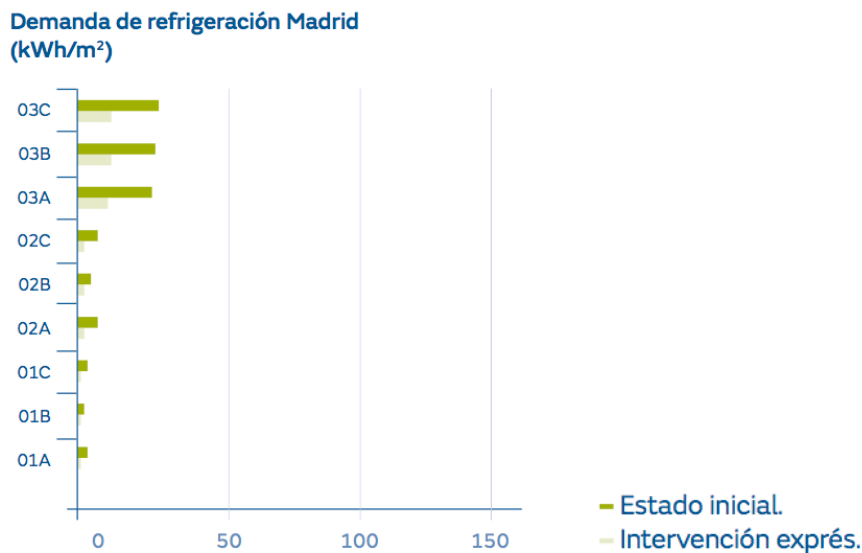


Figura 34: Demanda de refrigeración inicial y después del conjunto total de las rehabilitaciones en Madrid (excepto pintura exterior)

1) Aislamiento de muros

Tipo vivienda	Demanda inicial (kWh/m ²)	Demanda aislamiento muros (kWh/m ²)	Reducción demanda (kWh/m ²)	Porcentaje de reducción (%)
03C	24,75	19	5,75	23,23
03B	23	21,13	1,88	8,15
03A	22,25	17,75	4,50	20,22
02C	7,5	2,75	4,75	63,33
02B	5,00	3,38	1,63	32,50
02A	6,25	2,75	3,50	56
01C	3,75	0,63	3,13	83,33
01B	2,375	1,50	0,88	36,84
01A	3,75	0,63	3,13	83,33
PROMEDIO	10,96	7,72	3,24	29,53

Tabla 45: Estudio de aislamiento de muros para reducción de demanda de refrigeración en Madrid

En la Tabla 45 se observa como, mediante el aislamiento de muros se ahorra de media un 29,53%. Esta medida resulta más eficaz en la planta 1 del edificio de viviendas.

2) Aislamiento de techos

Tipo vivienda	Demanda inicial (kWh/m ²)	Demanda aislamiento techo (kWh/m ²)	Reducción demanda (kWh/m ²)	Porcentaje de reducción (%)
03C	24,75	10,13	14,63	59,09
03B	23	8,50	14,50	63,04
03A	22,25	9,88	12,38	55,62
02C	7,5	5	2,50	33,33
02B	5	2,63	2,38	48
02A	6,25	5	1,25	20
01C	3,75	3	1,25	33
01B	2,38	0,38	2	84,21
01A	3,75	3	1,13	30
PROMEDIO	10,96	5,18	5,78	52,72

Tabla 46: Estudio de aislamiento de techos para reducción de demanda de refrigeración en Madrid

Mediante esta medida, Tabla 46, se ahorra un 52,72% de media, más de la mitad de la demanda inicial de refrigeración.

3) Pintura cubierta

Tipo vivienda	Demanda inicial (kWh/m ²)	Demanda pintura cubierta (kWh/m ²)	Reducción demanda (kWh/m ²)	Porcentaje de reducción (%)
03C	24,75	2	22,38	90
03B	23	1,25	21,75	95
03A	22,25	2	20	90
02C	7,5	5	2,50	33,33
02B	5	3,75	1,25	25
02A	6,25	5	1,25	20
01C	3,75	3	1,25	33,33
01B	2,38	1,75	0,63	26,32
01A	3,75	3	1,13	30
PROMEDIO	10,96	2,94	8,01	73,13

Tabla 47: Estudio de pintura cubierta para reducción de demanda de refrigeración en Madrid

Esta medida resulta ser la más efectiva, Tabla 47, ahorrando un 73,13% de demanda energética.

4) Sustitución de vidrios

Tipo vivienda	Demanda inicial (kWh/m ²)	Demanda sustitución vidrios(kWh/m ²)	Reducción demanda (kWh/m ²)	Porcentaje de reducción (%)
03C	24,75	20,13	4,63	18,69
03B	23	19,38	3,63	15,76
03A	22,25	18,75	3,50	15,73
02C	7,5	4,88	2,63	35
02B	5	3,75	1,25	25
02A	6,25	4,88	1,38	22
01C	3,75	2,38	1,38	36,67
01B	2,38	2	0,63	26,32
01A	3,75	3	1,25	33,33
PROMEDIO	10,96	8,71	2,25	20,53

Tabla 48: Estudio de sustitución de vidrios para reducción de demanda de refrigeración en Madrid

Mediante la sustitución de vidrios, Tabla 48, se ahorra hasta un 20,53% de energía.

5) Sustitución de vidrios y carpinterías

Tipo vivienda	Demanda inicial (kWh/m ²)	D.vidrios y carpinterías(kWh/m ²)	Reducción demanda (kWh/m ²)	Porcentaje de reducción (%)
03C	24,75	20,13	4,63	18,69
03B	23	19,38	3,63	15,76
03A	22,25	18,75	3,50	15,73
02C	7,5	4,75	2,75	36,67
02B	5	3,63	1,38	27,50
02A	6,25	4,88	1,38	22
01C	3,75	2,25	1,50	40
01B	2,38	2	0,88	36,84
01A	3,75	2,38	1,38	36,67
PROMEDIO	10,96	8,63	2,33	21,29

Tabla 49: Estudio de sustitución de vidrios y carpinterías para reducción de demanda de refrigeración en Madrid

Se observa en la Tabla 49 que esta medida ahorra entorno al 21,29% de energía.

6) Burletes

Tipo vivienda	Demanda inicial (kWh/m ²)	Demanda burletes(kWh/m ²)	Reducción demanda (kWh/m ²)	Porcentaje de reducción (%)
03C	24,75	20	4,75	19,19
03B	23	18,75	4,25	18,48
03A	22,25	18,63	3,63	16,29
02C	7,5	4,75	2,75	36,67
02B	5	3,50	1,50	30
02A	6,25	5	1,25	20
01C	3,75	2,50	1,25	33,33
01B	2,38	1	1,00	42,11
01A	3,75	2,38	1,38	36,67
PROMEDIO	10,96	8,54	2,42	22,05

Tabla 50: Estudio de burletes para reducción de demanda de refrigeración en Madrid

Los burletes ahorran un 22,05% de media, según la Tabla 50.

7) Toldos

Tipo vivienda	Demanda inicial (kWh/m ²)	Demanda toldos(kWh/m ²)	Reducción demanda (kWh/m ²)	Porcentaje de reducción (%)
03C	24,75	18,50	6,25	25,25
03B	23	17,50	5,50	23,91
03A	22,25	17,50	4,75	21,35
02C	7,5	3,88	3,63	48,33
02B	5	3,63	1,38	27,50
02A	6,25	3,75	2,50	40
01C	3,75	1,63	2,13	56,67
01B	2,38	1	1,13	47,37
01A	3,75	2	1,63	43,33
PROMEDIO	10,96	7,75	3,21	29,28

Tabla 51: Estudio de toldos para reducción de demanda de refrigeración en Madrid

Se observa como, mediante toldos, se protege todo el edificio y se consigue un gran ahorro en las viviendas del segundo y primer piso, según la Tabla 51. De media se ahorra el 29,28%.

Demanda promedio de energía para refrigeración con cada medida:

Demanda (kWh/m ²)	Inicial	Aislamiento muros	Aislamiento techos	Pintura cubierta	Sustitución vidrios	Vidrios y carpintería	Burletes	Toldos
PROMEDIO	10,96	7,72	5,18	2,94	8,71	8,63	8,54	7,75

Tabla 52: Estudio de la demanda promedio con cada medida en Madrid

Considerando las tres principales medidas de rehabilitación, aislamiento de muros, aislamiento de techos y pintura, se puede observar el resultado completo de rehabilitación de las viviendas para reducción de demanda energética de refrigeración.

Tipo vivienda	Demanda inicial (kWh/m ²)	Demanda post-intervención (kWh/m ²)	Reducción demanda (kWh/m ²)	Porcentaje de reducción (%)
03C	24,75	13	11,75	47,47
03B	23	13	10	43,48
03A	22,25	12,25	10	44,94
02C	7,5	2,75	4,75	63
02B	5,00	2,50	2,50	50
02A	6,25	2,50	3,75	60
01C	3,75	0,50	3,25	87
01B	2,375	0,25	2,13	89
01A	3,75	0,13	3,63	97
PROMEDIO	10,96	5,21	5,75	52,47

Tabla 53: Estudio de la aplicación conjunta de todas las medidas en Madrid

Mediante las medidas de rehabilitación expuestas se ahorra en conjunto más de la mitad de la demanda energética (entorno al 52%).

Orden de las medidas más eficaces

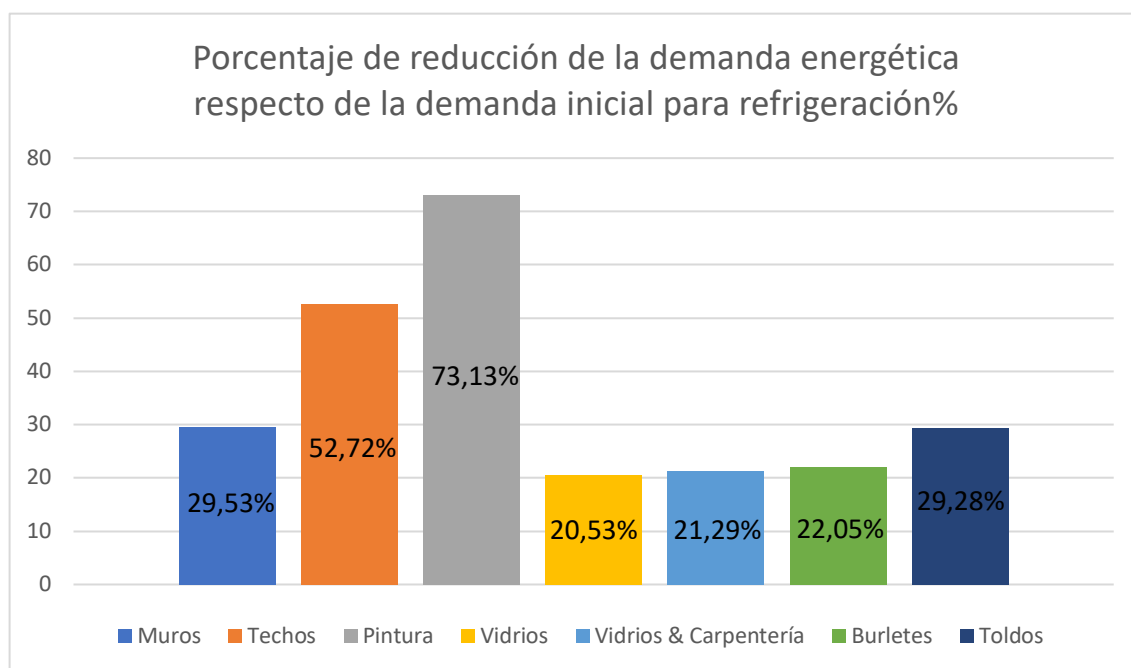


Figura 35: Reducción de la demanda energética según cada medida de rehabilitación en Madrid

Se observa en la Figura 35 el orden de las medidas de rehabilitación según su eficacia para meses cálidos: pintura exterior, aislamiento de techos, aislamiento de muros, toldos, burletes, sustitución de vidrios y carpinterías y, por último, sustitución de vidrios. Resulta mucho más eficaz la pintura exterior que el resto de las medidas. Se observa como la protección frente al sol, ya sea aislando el techo o mediante toldos, es efectiva también. Es aislamiento de techos en concreto reduce más de la mitad de la demanda.

2.6.4 Sevilla

Sevilla consta de unos veranos con temperaturas muy elevadas por lo que el siguiente estudio resulta de gran utilidad. La demanda inicial de refrigeración es de $16,75 \text{ kWh/m}^2$, la mayor de todas las zonas climáticas.

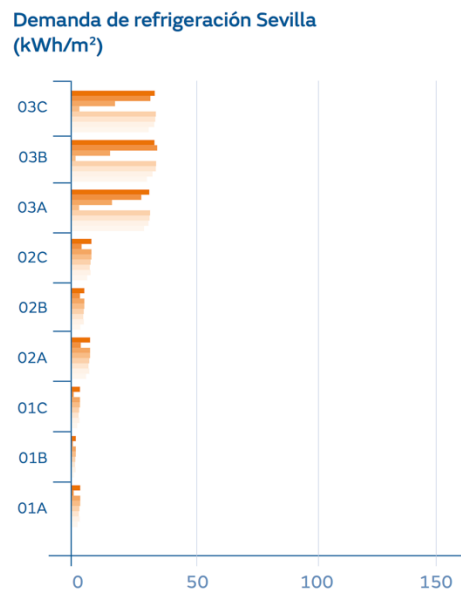


Figura 36: Demanda de refrigeración media según medida de rehabilitación y vivienda en Sevilla

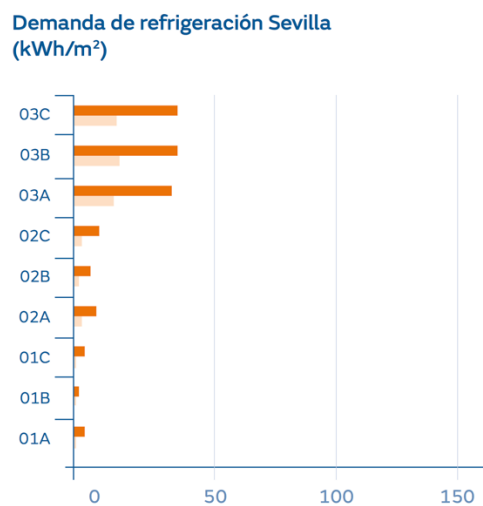


Figura 37: Demanda de refrigeración inicial y después del conjunto total de las rehabilitaciones en Sevilla (excepto pintura exterior)

1)Aislamiento de muros

Tipo vivienda	Demanda inicial (kWh/m ²)	Demanda aislamiento muros (kWh/m ²)	Reducción demanda (kWh/m ²)	Porcentaje de reducción (%)
03C	38,25	31,34	6,91	18,06
03B	38,25	34,16	4,09	10,69
03A	35,50	27,75	7,75	21,82
02C	9,75	4,12	5,63	57,78
02B	7,25	3,59	3,66	50,53
02A	9	3,82	5,18	58
01C	5	1,06	3,94	78,83
01B	2,75	0,59	2,16	78,62
01A	5	1	3,88	77,66
PROMEDIO	16,75	11,95	4,80	50,17

Tabla 54: Estudio de aislamiento de muros para reducción de demanda de refrigeración en Sevilla

Mediante esta medida, Tabla 54, se ahorra un 50,17% de energía. Genera un gran impacto en la primera planta del edificio.

2)Aislamiento de techo

Tipo vivienda	Demanda inicial (kWh/m ²)	Demanda aislamiento techo (kWh/m ²)	Reducción demanda (kWh/m ²)	Porcentaje de reducción (%)
03C	38,25	17,58	20,67	54,04
03B	38,25	15,46	22,79	59,57
03A	35,50	16,17	19,33	54,45
02C	9,75	7,76	1,99	20,39
02B	7,25	5,29	1,96	27
02A	9	7,59	1,41	16
01C	5	3,53	1,47	29
01B	2,75	1,76	1	35,85
01A	5	3,53	1,47	29
PROMEDIO	16,75	8,74	8,01	36,21

Tabla 55: Estudio de aislamiento de techo para reducción de demanda de refrigeración en Sevilla

Aislando los techos se consigue ahorrar un 36,21% de media, ver Tabla 55.

3)Pintura cubierta

Tipo vivienda	Demanda inicial (kWh/m ²)	Demanda pintura cubierta (kWh/m ²)	Reducción demanda (kWh/m ²)	Porcentaje de reducción (%)
03C	38,25	3,23	35,02	92
03B	38,25	1,76	36,49	95
03A	35,50	3,23	32	91
02C	9,75	7,76	1,99	20,39
02B	7,25	5,29	1,96	27
02A	9	7,59	1,41	16
01C	5	3,53	1,47	29,44
01B	2,75	1,76	0,99	35,85
01A	5	3,53	1,47	29
PROMEDIO	16,75	4,19	12,56	48,41

Tabla 56: Estudio de aislamiento de pintura cubierta para reducción de demanda de refrigeración en Sevilla

En la Tabla 56 se observa un ahorro del 48,41% de la demanda de refrigeración mediante la aplicación de pintura cubierta. Esta medida, que es la más efectiva para Barcelona y Madrid, resulta menos eficaz en Sevilla.

4) Sustitución de vidrios

Tipo vivienda	Demanda inicial (kWh/m ²)	Demanda sustitución vidrios(kWh/m ²)	Reducción demanda (kWh/m ²)	Porcentaje de reducción (%)
03C	38,25	33,57	4,68	12,22
03B	38,25	33,63	4,62	12,07
03A	35,50	31,34	4,16	11,72
02C	9,75	7,70	2,05	21
02B	7,25	5	2,25	31
02A	9	7,06	1,94	22
01C	5	2,94	2,06	41,20
01B	2,75	1,59	1,16	42,27
01A	5	3,23	1,77	35,32
PROMEDIO	16,75	14,01	2,74	25,38

Tabla 57: Estudio de sustitución de vidrios para reducción de demanda de refrigeración en Sevilla

Mediante la sustitución de vidrios, Tabla 57, se ahorra de media un 25,38%, afectando positivamente a las viviendas de la planta inferior.

5) Sustitución de vidrios y carpinterías

Tipo vivienda	Demanda inicial (kWh/m ²)	D.vidrios y carpinterías(kWh/m ²)	Reducción demanda (kWh/m ²)	Porcentaje de reducción (%)
03C	38,25	33,46	4,79	12,53
03B	38,25	33,57	4,68	12,22
03A	35,50	31,16	4,34	12,21
02C	9,75	7,53	2,22	22,81
02B	7,25	4,70	2,55	35,12
02A	9	7	2,00	22
01C	5	2,82	2,18	44
01B	2,75	1,29	1,46	52,96
01A	5	2,94	2,06	41,20
PROMEDIO	16,75	13,83	2,92	28,32

Tabla 58: Estudio de sustitución de vidrios y carpinterías para reducción de demanda de refrigeración en Sevilla

Mediante la sustitución de vidrios y carpinterías, Tabla 58, se reduce la demanda el 28,32%.

6) Burletes

Tipo vivienda	Demanda inicial (kWh/m ²)	Demanda burletes(kWh/m ²)	Reducción demanda (kWh/m ²)	Porcentaje de reducción (%)
03C	38,25	33,05	5,20	13,61
03B	38,25	32,34	5,91	15,45
03A	35,50	30,63	4,87	13,70
02C	9,75	7,64	2,11	21,60
02B	7,25	5	2,25	31
02A	9	7,11	1,89	21
01C	5	3,35	1,65	32,97
01B	2,75	1,76	0,99	35,85
01A	5	3,53	1,47	29,44
PROMEDIO	16,75	13,82	2,93	23,85

Tabla 59: Estudio de burletes para reducción de demanda de refrigeración en Sevilla

Mediante la aplicación de burletes, Tabla 59, se ahorra de media el 23,85% de refrigeración.

7) Toldos

Tipo vivienda	Demanda inicial (kWh/m ²)	Demanda toldos(kWh/m ²)	Reducción demanda (kWh/m ²)	Porcentaje de reducción (%)
03C	38,25	18,50	30,11	78,71
03B	38,25	17,50	30,16	78,86
03A	35,50	17,50	28,81	81,16
02C	9,75	3,88	6,41	65,74
02B	7,25	3,63	3,53	48,66
02A	9	3,75	5,88	65
01C	5	1,63	2,35	47,04
01B	2,75	1	1	36,35
01A	5	2	2,47	49,39
PROMEDIO	16,75	7,75	12,30	61,25

Tabla 60: Estudio de toldos para reducción de demanda de refrigeración en Sevilla

Mediante el empleo de toldos que protegen de la radiación solar, se reduce la demanda una gran cantidad, alrededor del 61.25%, tal y como aparece en la Tabla 60.

Demanda promedio con cada medida para reducción de demanda de refrigeración en meses cálidos:

Demanda (kWh/m ²)	Inicial	Aislamiento muros	Aislamiento techos	Pintura cubierta	Sustitución vidrios	Vidrios y carpintería	Burletes	Toldos
PROMEDIO	16,75	11,95	8,74	4,19	14,01	13,83	13,82	12,30

Tabla 61: Estudio de la demanda promedio con cada medida en Sevilla

Considerando las tres principales medidas de intervención expresas, se puede observar cómo afecta el resultado del conjunto de rehabilitaciones en meses cálidos en Sevilla en la Tabla 62.

Tipo vivienda	Demanda inicial (kWh/m ²)	Demanda post-intervención (kWh/m ²)	Reducción demanda (kWh/m ²)	Porcentaje de reducción (%)
03C	38,25	18	20,25	52,94
03B	38,25	19	20	50,98
03A	35,50	17	19	52,11
02C	9,75	3	6,75	69,23
02B	7,25	2,25	5	68,97
02A	9	2,75	6,25	69,44
01C	5	0,50	4,50	90
01B	2,75	0,25	2,50	90,91
01A	5	0,13	4,88	97,50
PROMEDIO	16,75	6,96	9,79	71,34

Tabla 62: Estudio de la aplicación conjunta de todas las medidas en Sevilla

Sevilla es la ciudad donde se ahorra un mayor porcentaje de energía con la aplicación de las medidas de rehabilitación, con un ahorro del 71,34%.

Orden de las medidas más eficaces

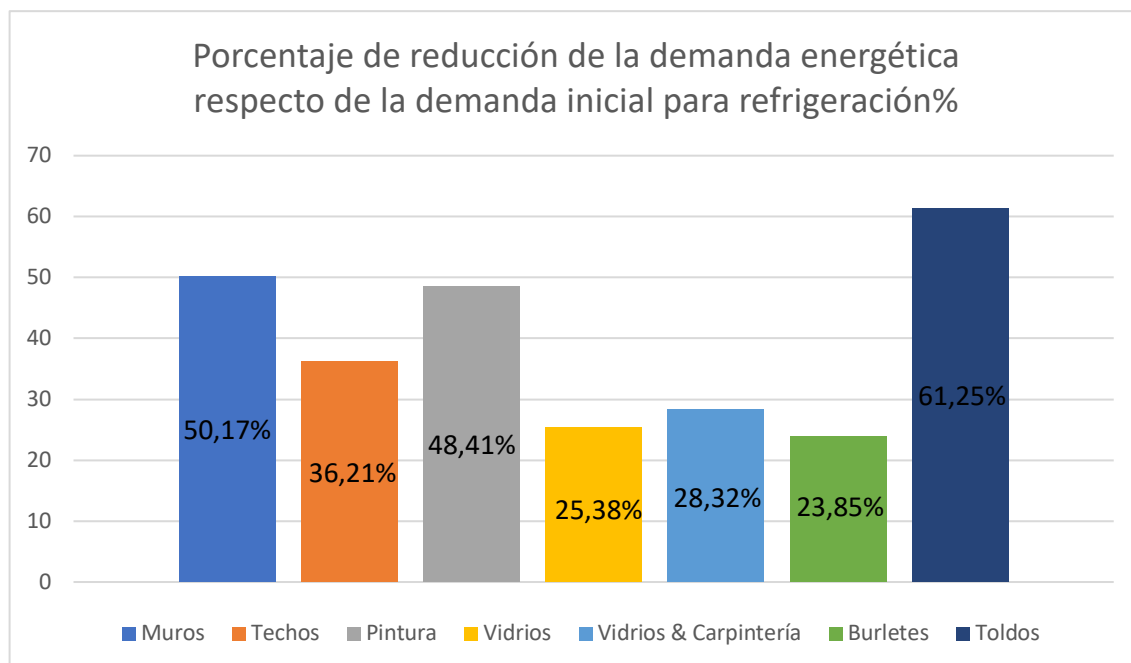


Figura 38: Reducción de la demanda energética de refrigeración según cada medida de rehabilitación en Sevilla

Se observa en la Figura 38 como las medidas más eficaces en esta ciudad son: los toldos, aislamiento de muros, pintura cubierta, aislamiento de techos, sustitución de vidrios y carpinterías, sustitución de vidrios y burletes.

2.7 Representación de la reducción relativa de demanda energética vs Severidad Climática Invernal para meses fríos

Se procede a la representación lineal de la reducción relativa de la demanda (%) vs la SCI, que consiste en el índice de severidad climática de invierno [10]. Se traza la recta basada en la demanda media de cada zona climática estudiada al aplicar cada medida de rehabilitación.

El eje de ordenadas consistirá en el % de reducción de la demanda según el caso y el eje de abscisas en el valor de SCI correspondiente a Sevilla, Barcelona, La Coruña y Madrid, en este orden. Mediante esta representación gráfica lineal se puede proceder a la interpolación para otras zonas climáticas que no comprende este estudio.

Ciudad	SCI
Sevilla	0,32758855
Barcelona	0,65044812
La Coruña	0,70084543
Madrid	1,01019122

Tabla 63: Valores de Severidad Climática de Invierno por zona climática

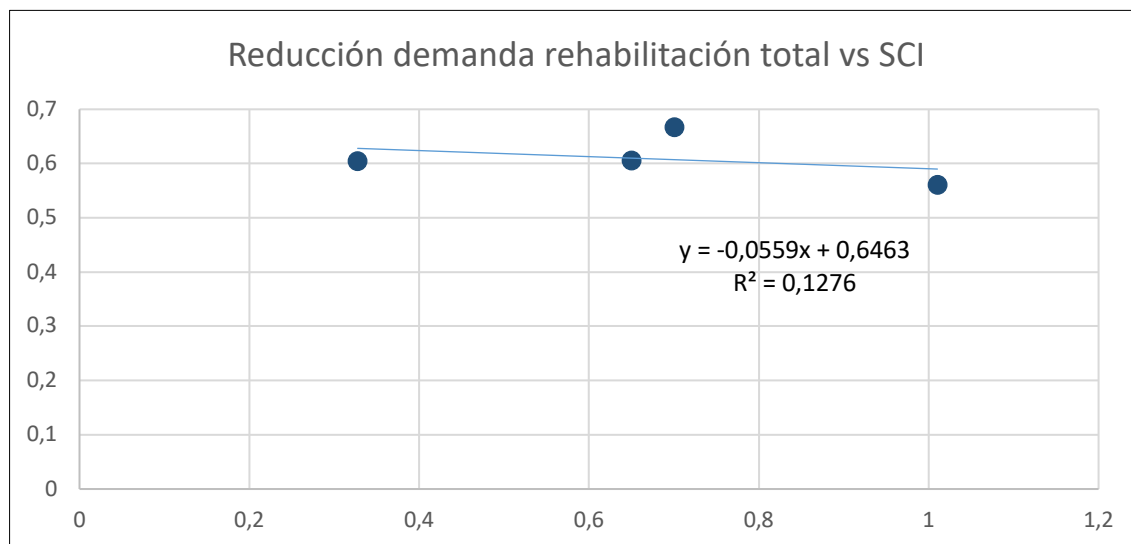


Figura 39: Reducción de la demanda después de la rehabilitación total en relación con la SCI

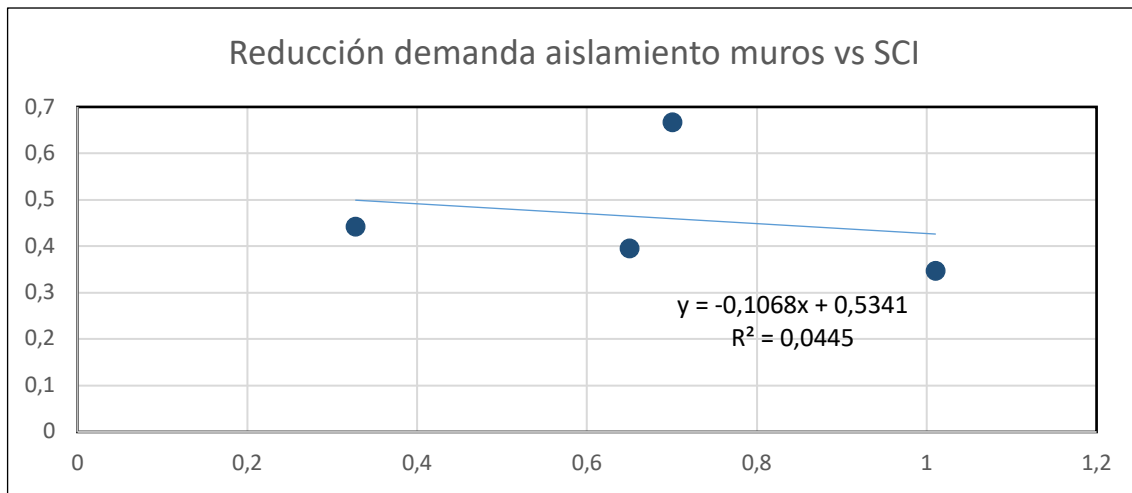


Figura 40: Reducción de la demanda después del aislamiento de muros en relación con la SCI

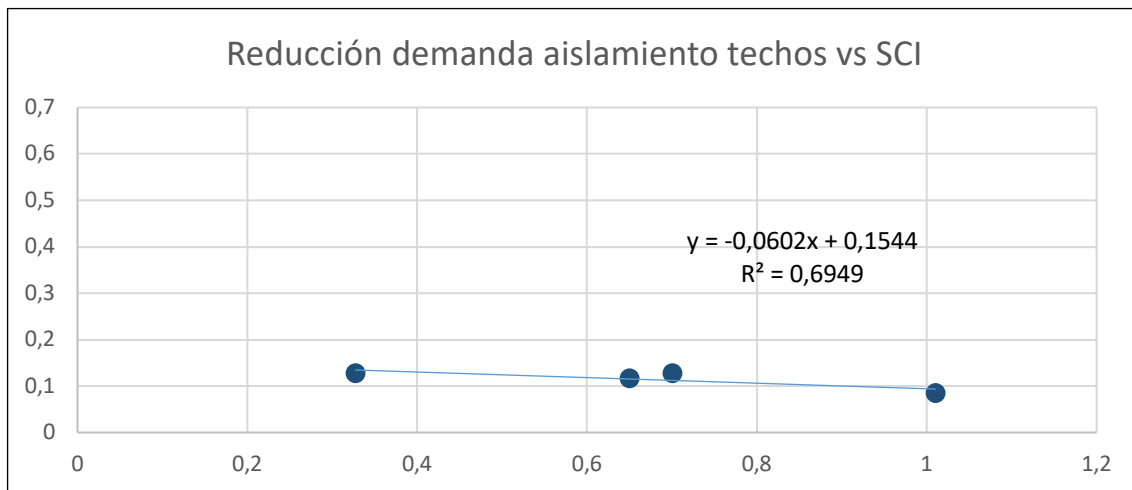


Figura 41: Reducción de la demanda después del aislamiento de techos en relación con la SCI

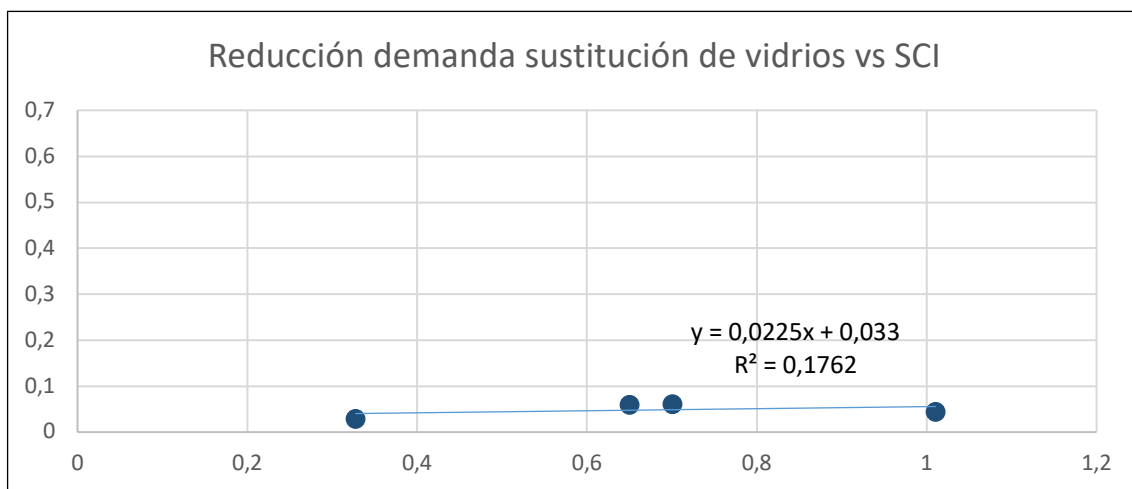


Figura 42: Reducción de la demanda después de la sustitución de vidrios en relación con la SCI

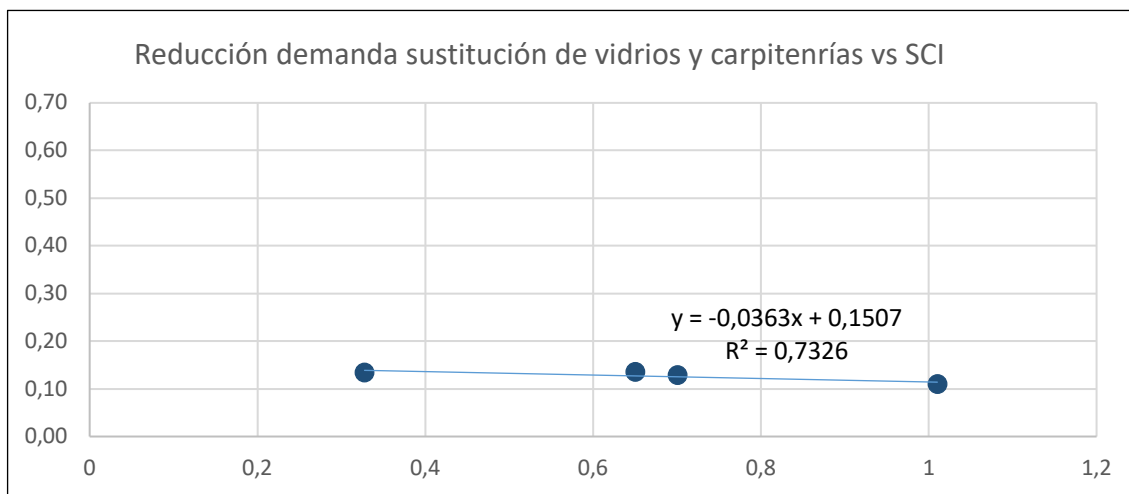


Figura 43: Reducción de la demanda después de la sustitución de vidrios y carpinterías en relación con la SCI

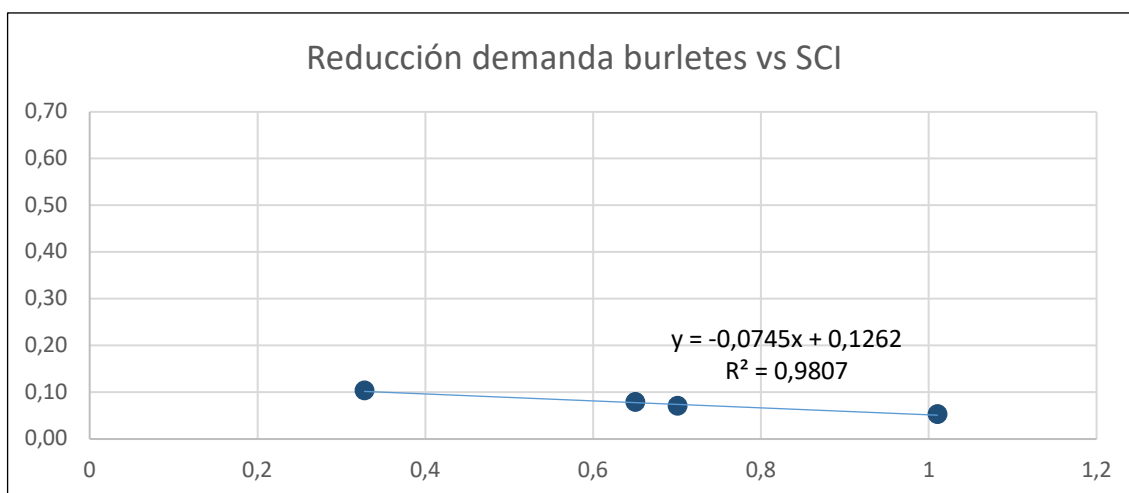


Figura 44: Reducción de la demanda después de la aplicación de burletes en relación con la SCI

Se observa como todas las gráficas constan de pendiente negativa excepto en la sustitución de vidrios, que tiene pendiente positiva. A mayor SCI, menor reducción porcentual de la demanda. Madrid es la ciudad con mayor SCI debido a sus climas extremos y alta demanda de energía tanto en verano como en invierno. Es por ello por lo que, en comparación con las otras ciudades, en Madrid el ahorro relativo de demanda con la aplicación de las medidas de rehabilitación es menor. La ciudad con menor SCI es Sevilla, por lo que será dónde más eficacia tenga la aplicación de las medidas de rehabilitación exprés. Seguidamente, se encuentra Barcelona y La Coruña. El orden de izquierda a derecha de los puntos de la gráfica son las ciudades de Madrid, La Coruña, Barcelona y Sevilla. Por último, cabe mencionar la existencia de un outlayer en las dos primeras gráficas en las ciudades de La Coruña y Sevilla. El valor de R^2 obtenido en la mayoría de los casos es muy bajo, excepto en los dos últimos.

2.8 Otras medidas de reducción de la demanda energética

2.8.1 LED

Este apartado se ha basado en el TFM de Mario Fernández Pedraz del Desarrollo de un modelo de cálculo del consumo eléctrico por iluminación en un hogar español.

Existen diferentes tipos de tecnología luminarias en el mercado, entre ellas, las más comunes son: la bombilla convencional, bombilla halógena, bombilla fluorescente, bombilla de bajo consumo y bombilla LED. La bombilla LED es la que se está entregando actualmente para ayudar a las familias a ahorrar energía.

Tipos de tecnologías luminarias y características

Las bombillas incandescentes se caracterizan por ser las menos eficientes. Pierden mucha energía en forma de calor. Tienen un coste elevado y una vida útil reducida. Emiten una luz tenue.

Las bombillas halógenas tienen un rendimiento similar a las bombillas incandescentes pero emiten más luz, ya que tienen más potencia. La luz que emiten es clara.

Las bombillas fluorescentes son muy eficientes, consumiendo menos de la mitad que unas bombillas incandescentes. Tienen también mayor duración.

Por último, las bombillas LED, son la tecnología más avanzada. Están formadas por un diodo, que obliga a la corriente a circular en una única dirección pasando por un semiconductor que emite luz. Son la opción que menos consume y más luz emite, con una vida útil hasta 50 veces superior que las demás tecnologías luminarias. El único inconveniente es que tienen un precio más elevado.

En la Tabla 64 se observan las diferentes tecnologías luminarias, todas con una potencia igual de 20 W para poder comparar la eficiencia luminosa de cada una y la potencia equivalente en una bombilla tradicional.

Tecnología	Potencia de la luminaria (W)	Eficiencia luminosa (lm/W)	Potencia equivalente en bombilla tradicional (W)
LED	20	130	110
Bajo Consumo	20	60	85
Fluorescente	20	55	60
Halógena	20	15	25

Tabla 64: Datos de las diferentes tecnologías luminarias

Se calcula la equivalencia en la bombilla LED de las bombillas de tipo Bajo Consumo, Fluorescente y Halógena. A partir de estos datos se crea una bombilla estándar, que será la media de las equivalencias en potencia LED de las bombillas anteriores.

	Equivalencia en potencia LED (W)
Fluorescente	10.90
Halógena	4.54
Bajo Consumo	15.45
Estándar	10.3

Tabla 65: Equivalencia en Potencia LED de las diferentes tecnologías luminarias

Se procede al cálculo del ahorro energético empleando la bombilla LED en vez de los otros tipo de luminaria.

Potencia LED (W)	Potencia Fluorescente (W)	Ahorro de Potencia (W)	% Reducción
20	10.90	9.1	45.5

Tabla 66: Ahorro energético cambiando de bombilla Fluorescente a LED

En la Tabla 66 se observa como sustituyendo una bombilla fluorescente por un LED se reduce el gasto energético un 45,5% de media.

Potencia LED (W)	Potencia Halógena (W)	Ahorro de Potencia (W)	% Reducción
20	4.54	15.46	77.3

Tabla 67: Ahorro energético cambiando de bombilla Halógena a LED

Mediante la bombilla LED, en vez de la bombilla halógena, se reduce un 77,3%, una cantidad muy elevada que realiza un gran cambio en el consumo eléctrico empleado para la luz.

Potencia LED (W)	Potencia Bajo Consumo (W)	Ahorro de Potencia (W)	% Reducción
20	15.45	4.55	22.75

Tabla 68: Ahorro energético cambiando de bombilla de Bajo Consumo a LED

La bombilla de bajo consumo es muy apropiada si se desea ahorrar, aun así, la bombilla LED ahorra un 22,75% más que la de bajo consumo.

Potencia LED (W)	Potencia equivalente de la bombilla estándar (W)	Ahorro de Potencia (W)	% Reducción
20	10.3	9.7	48.5

Tabla 69: Ahorro energético cambiando de bombilla Estándar a LED

Se observa como, con la bombilla LED, se ahorra una media del 48.5% de potencia respecto a las demás bombillas. Se recomienda por lo tanto el empleo de bombillas LED como medida de ahorro del gasto energético en las viviendas.

2.8.2 Sustitución de electrodomésticos

Este apartado se ha basado en el TFM de Gonzalo Borque Angulo del Estudio de la influencia de la eficiencia energética de los diferentes electrodomésticos de un hogar español en su gasto eléctrico.

Los electrodomésticos constituyen la mayoría del consumo eléctrico teórico en las viviendas [11] y suponen un gasto para las familias. Cada vez gana más importancia el estudio de la eficiencia energética de los electrodomésticos, tanto a nivel económico como a nivel medio ambiental.

En este apartado se procede a analizar el consumo de los principales electrodomésticos. Según la clasificación de la categoría de eficiencia energética mencionada en la introducción, se ha clasificado el consumo energético de los principales electrodomésticos de categorías G, C Y A+++.

Frigorífico y congelador:

Frigorífico para 1, 2 y 3 personas:

Consumo categoría G (W)	Consumo categoría A+++ (W)	Ahorro energético (W)	% Reducción
966,81	116,02	850,79	87,99

Tabla 70: Ahorro con el cambio del frigorífico para 1, 2 y 3 personas a uno de categoría A+++

Frigorífico para 4 o más personas:

Consumo categoría G (W)	Consumo categoría A+++ (W)	Ahorro energético (W)	% Reducción
1.204,76	132,52	1.072,24	89

Tabla 71: Ahorro con el cambio del frigorífico para 4 personas a uno de categoría A+++

Congelador con arcón medio de 400 L:

Consumo categoría G (W)	Consumo categoría A+++ (W)	Ahorro energético (W)	% Reducción
1.112,88	122,42	990,46	88,99

Tabla 72: Ahorro con el cambio de congelador a uno de categoría A+++

Lavadora:

Lavadora para 3 personas y una capacidad de 8kg:

Consumo categoría G (W)	Consumo categoría A+++ (W)	Ahorro energético (W)	% Reducción
583	206	377	64,66

Tabla 73: Ahorro con el cambio de lavadora para 3 personas a una de categoría A+++

Lavavajillas:

Lavavajillas para 3 personas:

Consumo categoría G (W)	Consumo categoría A+++ (W)	Ahorro energético (W)	% Reducción
619	233	386	62,36

Tabla 74: Ahorro con el cambio de lavavajillas para 3 personas a una de categoría A+++

Secadora:

Secadora para 3 personas:

Consumo categoría G (W)	Consumo categoría A+++ (W)	Ahorro energético (W)	% Reducción
993	157	836	84,19

Tabla 75: Ahorro con el cambio de secadora para 3 personas a una de categoría A+++

Horno:

Horno doméstico para 3 personas:

Consumo categoría G (W)	Consumo categoría A+++ (W)	Ahorro energético (W)	% Reducción
193	26	167	86,53

Tabla 76: Ahorro con el cambio de horno para 3 personas a uno de categoría A+++

Televisiones:

Televisiones para 3 personas:

Consumo categoría G (W)	Consumo categoría A+++ (W)	Ahorro energético (W)	% Reducción
725	48	677	93,38

Tabla 77: Ahorro con el cambio de televisiones para 3 personas a unas de categoría A+++

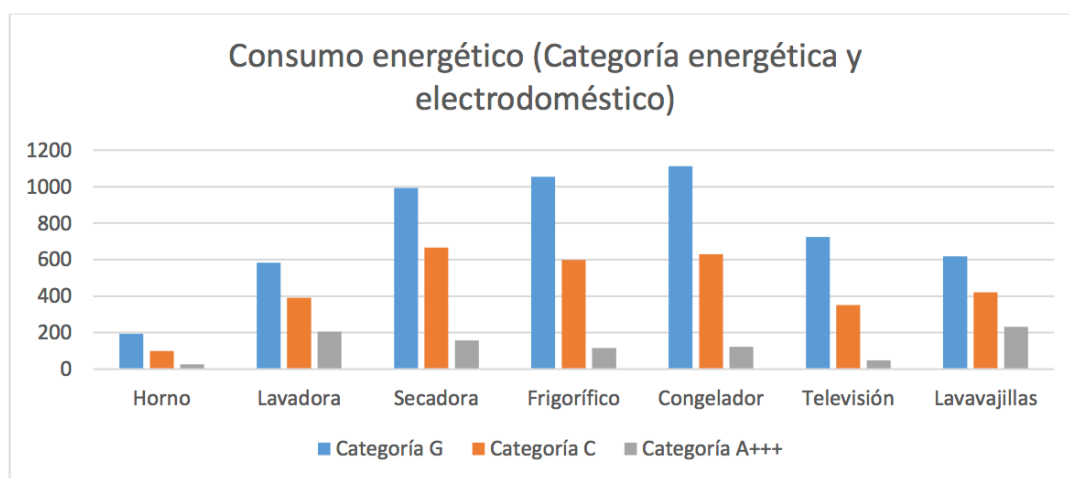


Figura 45: Gráfica consumo energético de electrodomésticos según categoría. Fuente TFM de Gonzalo Borque Angulo.

Se observa en la Figura 45 como los electrodomésticos de categoría A+++ son mucho más eficientes y consumen menos que las otras categorías. La categoría que más consume, la menos eficiente, es la G. Los electrodomésticos de categoría G de mayor consumo energético son el congelador, frigorífico y secadora. De la categoría C, la secadora, congelador y frigorífico. De la categoría A+++ son el lavavajillas, la lavadora y la secadora. Son el frigorífico y congelador los dos electrodomésticos con mayor diferencia de consumo eléctrico entre categorías A+++ y G.

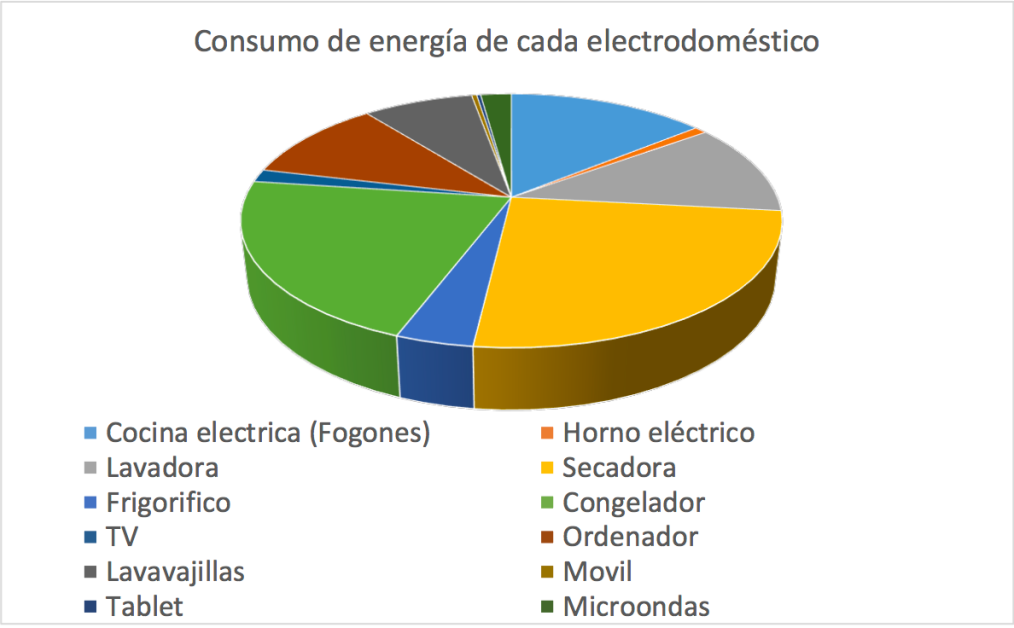


Figura 46: Porcentaje de consumo de energía de cada electrodoméstico

2.8.3 Cambio de caldera

El cambio de caldera supone un gran ahorro de la demanda energética en la vivienda. La mayor parte de las viviendas españolas utilizan calderas antiguas que consumen una gran cantidad de energía y no son eficientes. En el caso de nueva construcción solo están permitidas las calderas de condensación, que son las más eficientes. En el caso de rehabilitación, como es este estudio, se permite caldera estanca si tiene salida al exterior. La elección de caldera dependerá también de la zona climática y geográfica en la que habite la familia, del número de convivientes, del número de baños de la vivienda y de la superficie de la misma.

Existen calderas solo para calefacción o calderas mixtas, que sirven tanto para calefacción como para agua caliente sanitaria (ACS). Los diferentes tipos que existen varían según el tipo de combustible empleado. A continuación, se explica las características de los tipos de calderas:

1) Caldera de gas:

Son las calderas más empleadas en España. Existen diferentes tipos; de gas butano, de gas propano y de gas natural. Las de gas natural son las menos contaminantes, gastan menos que las de gasoil y son adecuadas para viviendas conectadas a la red de distribución de gas natural. Las de gasoil son adecuadas para viviendas en zonas rurales con clima frío. Las de butano son adecuadas para zonas templadas y, las de propano, para zonas frías. Los rendimientos de las calderas de gas fabricadas hoy en día son del 85% o superior. Las calderas de más de 20 años tenían un rendimiento entorno al 60%.

Según el tamaño de la vivienda, se necesita una potencia determinada de la caldera de gas. En la Tabla 78 aparece la potencia necesaria, en kW, según la superficie de la vivienda en m^2 .

Superficie vivienda (m^2)	Potencia (kW)
< 80	20-24
80-120	24-26
120-180	27-31
180-240	32-37
Más de 240	28-45

Tabla 78: Potencia necesaria de caldera por superficie de vivienda

Según la cantidad de baños de la vivienda se necesitará una potencia determinada de la caldera de gas.

Nº de baños en la vivienda	Potencia (kW)
1	24
2	28
3	35
3+	35 + acumulador

Tabla 79: Potencia necesaria de caldera por número de baños

2) Caldera eléctrica:

Funcionan con energía eléctrica por lo que se pueden regular a la potencia deseada. No tienen pérdidas de gas ni de humo por lo que son más seguras. Adecuadas para viviendas en centros urbanos.

3) Caldera de gasoil:

Calientan muy rápido y tienen un mantenimiento sencillo. Contaminan.

4) Caldera de biomasa:

Emplea combustibles orgánicos por lo que no producen gases invernadero y son menos contaminantes. Son adecuadas para viviendas unifamiliares rurales.

5) Caldera de condensación:

Son las más eficientes del mercado. Aprovechan el vapor de agua generado para precalentar el agua y no emplear tanta energía. Se pueden emplear en cualquier zona geográfica. Ahorran de media un 30% de demanda de energía en comparación con otras calderas. Su rendimiento es del 110%, al aprovechar el calor generado.

Se observa en las siguientes figuras los rendimientos estacionales, HSPF (Heating Seasonal Performance Factor), de tipos de caldera existente vs caldera nueva. Consta calderas de glp (gas licuado, propano y butano), calderas de gasóleo, de biomasa, de carbón, gas natural, calderas eléctricas, calderas eléctricas con acumulador y bombas de calor. Se divide en sistemas individuales, calderas centrales y aparatos portables.

En este trabajo, según el rendimiento estacional de la caldera (ver Figuras 45 y 46), si se trata de un sistema existente en la vivienda o es un sistema nuevo y, según el tipo de energía empleada para su funcionamiento, se van a analizar cuatro grupos de calderas diferentes (calderas que emplean combustibles fósiles, calderas de biomasa-carbón, calderas eléctricas y bombas de calor). Se comparan sus correspondientes rendimientos, y se calcula el % de reducción o ahorro que supone el empleo de una caldera nueva. En cada uno de los cuatro grupos se realiza una media del rendimiento estacional del conjunto de subgrupos para proceder con los cálculos. Se emplea la siguiente ecuación para el cálculo del ahorro en % de demanda energética a partir de los rendimientos estacionales de los sistemas η_1 para calderas HSPF_existentes y η_2 para calderas HSPF_nuevo.

$$\text{Ahorro energético (\%)} = \left(\frac{1}{\eta_1} - \frac{1}{\eta_2} \right) * \eta_1$$

HSPF_existente			
sistema	individual	central	aparatos
glp	0.75	0.7	0.65
gasóleo	0.7	0.65	0.65
biomasa	0.35	0.4	0.3
carbón	0.4	0.45	0.45
gas natural	0.75	0.7	0.7
electricidad (radiadores)	0.99	0.99	0.95
electricidad (acumuladores)	0.99	0.99	0.96
bomba de calor	3.2	3.2	3.2

Figura 47: Rendimiento estacional en calderas existentes

HSPF_nuevo			
sistema	individual	central	aparatos
glp	0.89	0.83	0.77
gasóleo	0.83	0.77	0.77
biomasa	0.70	0.68	0.51
carbón	0.70	0.68	0.51
gas natural	0.91	0.85	0.85
electricidad (radiadores)	1.00	1.00	0.96
electricidad (acumuladores)	1.00	1.00	0.96
bomba de calor	3.9	3.9	3.9

Figura 48: Rendimiento estacional en caldera nueva

Sistemas individuales

1) Análisis de caldera de combustible fósil

En este grupo se incluyen las calderas glp, gasóleo y gas natural de las Figuras 46 y 47. Las calderas de combustibles fósiles emplean combustibles procedentes de la descomposición de materia orgánica, como pueden ser el gasóleo, que proviene del petróleo, o el gas natural.

	η caldera existente	η caldera nueva	Ahorro
PROMEDIO	0.73	0.88	17.04%

Tabla 80: Ahorro con caldera nueva de combustible fósil para sistemas individuales

2) Análisis de caldera de biomasa-carbón

En este grupo se incluyen los sistemas de biomasa y de carbón de las Figuras 46 y 47.

	η caldera existente	η caldera nueva	Ahorro
PROMEDIO	0.38	0.70	45.71%

Tabla 81: Ahorro con caldera nueva de biomasa-carbón para sistemas individuales

3) Análisis de caldera eléctrica

En este grupo se incluyen los sistemas de electricidad (radiadores) y de electricidad (acumuladores) que aparecen en las Figuras 46 y 47.

	η caldera existente	η caldera nueva	Ahorro
PROMEDIO	0.99	1	1%

Tabla 82: Ahorro con caldera nueva eléctrica para sistemas individuales

4) Análisis de bombas de calor

	η caldera existente	η caldera nueva	Ahorro
PROMEDIO	3.2	3.9	17.95%

Tabla 83: Ahorro con caldera nueva de bomba de calor para sistemas individuales

η : Rendimiento estacional medio

Sistema central

1) Análisis de caldera de combustible fósil

	η caldera existente	η caldera nueva	Ahorro
PROMEDIO	0.68	0.82	17.07%

Tabla 84: Ahorro con caldera nueva de combustible fósil para sistema central

2) Análisis de caldera de biomasa-carbón

	η caldera existente	η caldera nueva	Ahorro
PROMEDIO	0.43	0.68	36.76%

Tabla 85: Ahorro con caldera nueva de biomasa-carbón para sistema central

3) Análisis de caldera eléctrica

	η caldera existente	η caldera nueva	Ahorro
PROMEDIO	0.99	1	1%

Tabla 86: Ahorro con caldera eléctrica para sistema central

4) Análisis de bombas de calor

	η caldera existente	η caldera nueva	Ahorro
PROMEDIO	3.2	3.9	17.95%

Tabla 87: Ahorro con caldera nueva de bomba de calor para sistema central

η : Rendimiento estacional medio

Aparatos

1) Análisis de caldera de combustible fósil

	η caldera existente	η caldera nueva	Ahorro
PROMEDIO	0.67	0.80	16.25%

Tabla 88: Ahorro con caldera nueva de combustible fósil para aparatos

2) Análisis de caldera de biomasa-carbón

	η caldera existente	η caldera nueva	Ahorro
PROMEDIO	0.38	0.51	25,49%

Tabla 89: Ahorro con caldera nueva de biomasa-carbón para aparatos

3) Análisis de caldera eléctrica

	η caldera existente	η caldera nueva	Ahorro
PROMEDIO	0.955	0.96	0.52%

Tabla 90: Ahorro con caldera nueva eléctrica para aparatos

4) Análisis de bombas de calor

	η caldera existente	η caldera nueva	Ahorro
PROMEDIO	3.2	3.9	17.95%

Tabla 91: Ahorro con caldera nueva de bomba de calor para aparatos

η : Rendimiento estacional medio

2.8.4 Thermo Cover

Thermo Cover es un producto novedoso, basado en la nanotecnología, de fácil aplicación y económico. Consiste en una película invisible de aislamiento no adhesiva que se aplica sobre el vidrio para proteger y aislar de la pérdida de calor en los meses fríos.

Como aislante térmico sobre los vidrios de la vivienda, el Thermo Cover consigue reducir la entrada de radiación solar, reflejando los rayos solares, es un gran aislante térmico, reduce el intercambio de aire con el exterior, es un material resistente, evita la condensación del agua en el cristal y ayuda al ahorro energético tanto en verano como en invierno.

Su aplicación se realiza manualmente y con un secador de pelo para sellar el producto en el vidrio. Se limpia el cristal, se pule si fuese necesario, se aplica el producto con un rodillo y se seca con el secador convencional.

El Thermo Cover reduce de media un 28% las pérdidas energéticas en ventanas de un vidrio y un 13% en ventanas de doble vidrio. Por las ventanas se pierde alrededor del 30% de energía de la vivienda. Por lo tanto, el Thermo Cover, reduciría la energía de la vivienda de media un 8,4% en viviendas con ventanas de un vidrio simple y un 3,9% en ventanas de doble vidrio.

A continuación, se estudia la reducción de demanda energética por zona climática con la aplicación de Thermo Cover en viviendas con cristales de un solo vidrio.

Barcelona

Barcelona	Demanda inicial anual (kWh/m ²)	Demanda con Thermo Cover (kWh/m ²)	Reducción demanda (kWh/m ²)	Porcentaje de reducción %
PROMEDIO	88,92	81,45	7,47	8,4

Tabla 92: Reducción de demanda con aplicación de Thermo Cover en Barcelona

En el caso de Barcelona, se puede ahorrar de media 7,47 kWh/m² anualmente de demanda energética de la vivienda para calefacción y refrigeración.

La Coruña

La Coruña	Demanda inicial anual (kWh/m ²)	Demanda con Thermo Cover (kWh/m ²)	Reducción demanda (kWh/m ²)	Porcentaje de reducción %
PROMEDIO	94,99	87,01	7,98	8,4

Tabla 93: Reducción de demanda con aplicación de Thermo Cover en La Coruña

En La Coruña, la reducción de demanda anual es de 7,98 kWh/m².

Madrid

Madrid	Demanda inicial anual (kWh/m ²)	Demanda con Thermo Cover (kWh/m ²)	Reducción demanda (kWh/m ²)	Porcentaje de reducción %
PROMEDIO	134,66	123,35	11,31	8,4

Tabla 94: Reducción de demanda con aplicación de Thermo Cover en Madrid

Sevilla

Madrid	Demanda inicial anual (kWh/m ²)	Demanda con Thermo Cover (kWh/m ²)	Reducción demanda (kWh/m ²)	Porcentaje de reducción %
PROMEDIO	46,20	42,31	3,88	8,4

Tabla 95: Reducción de demanda con aplicación de Thermo Cover en Sevilla

Se observa como, de media, el Thermo-Cover reduce la demanda energética anual, contando la calefacción y refrigeración, un 8,4% en viviendas con cristales de un solo vidrio.

Capítulo 3: Conclusiones

3.1 Conclusiones

Existe un grave problema en España de incapacidad de mantener una temperatura de confort en el interior de las viviendas y poder de cubrir las necesidades básicas energéticas. Entorno a un 31,2% de la población española sufre pobreza energética oculta. Acompañando este problema se encuentra la falta de información de la población acerca de las soluciones existentes para este problema. Entre ellas se encuentra la rehabilitación exprés de viviendas y la sustitución de tecnología luminaria, electrodomésticos y caldera.

En Europa ya se ha tomado conciencia de esta problemática y se han tomado medidas para ayudar a rehabilitar las viviendas a través de los Fondos Next Generation. Mediante el plan de descarbonización del 2050 se busca la neutralidad climática.

En un país como España con 26 millones de viviendas el cambio debe estar enfocado en la rehabilitación de las viviendas existentes antes que en la construcción de nuevas viviendas. Un 51,2% de viviendas construidas antes de 1981 y acerca de un 80% que no cumplen el actual código técnico de edificación en cuanto a requisitos de aislamiento térmico.

La rehabilitación enfocada a la eficiencia energética de las viviendas produce tres grandes ventajas: La primera, la reducción del coste energético, la segunda, el impulso indirecto del proceso de descarbonización, contribuyendo así con el medio ambiente y, la tercera, la mejora de calidad de vida en las viviendas gracias a la obtención de una temperatura de confort.

Para las medidas de rehabilitación exprés que se emplean con el fin de reducir la demanda de calefacción, se observa en los cuatro casos como la medida más eficiente es el aislamiento de muros, reduciendo de media desde un 35% a más del 44%.

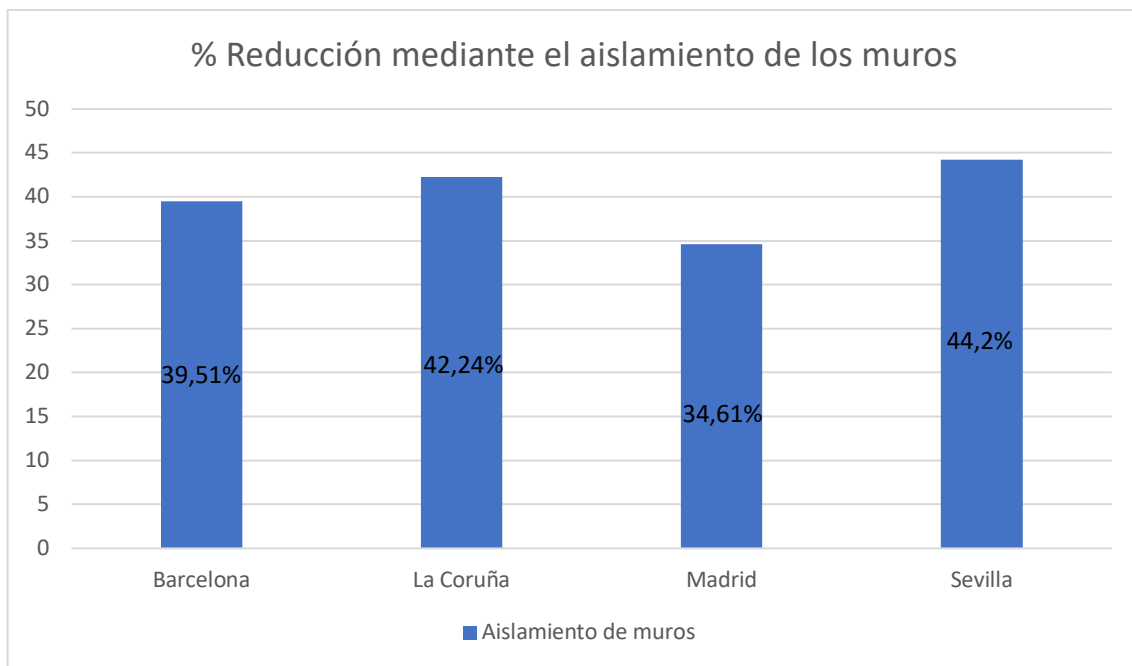


Figura 49: Efecto del aislamiento de muros por zona climática

Para las medidas aplicadas para la reducción de refrigeración, la más eficaz en Madrid y Barcelona es la pintura cubierta, sin embargo, en Sevilla no es así. En Sevilla, la medida más eficaz es la utilización de toldos, con un ahorro del 61,25%. Mediante la pintura cubierta se consigue un ahorro de entorno el 50% hasta el 90%. Se observa en los meses fríos como esta medida es contra productiva y dispara la demanda energética.

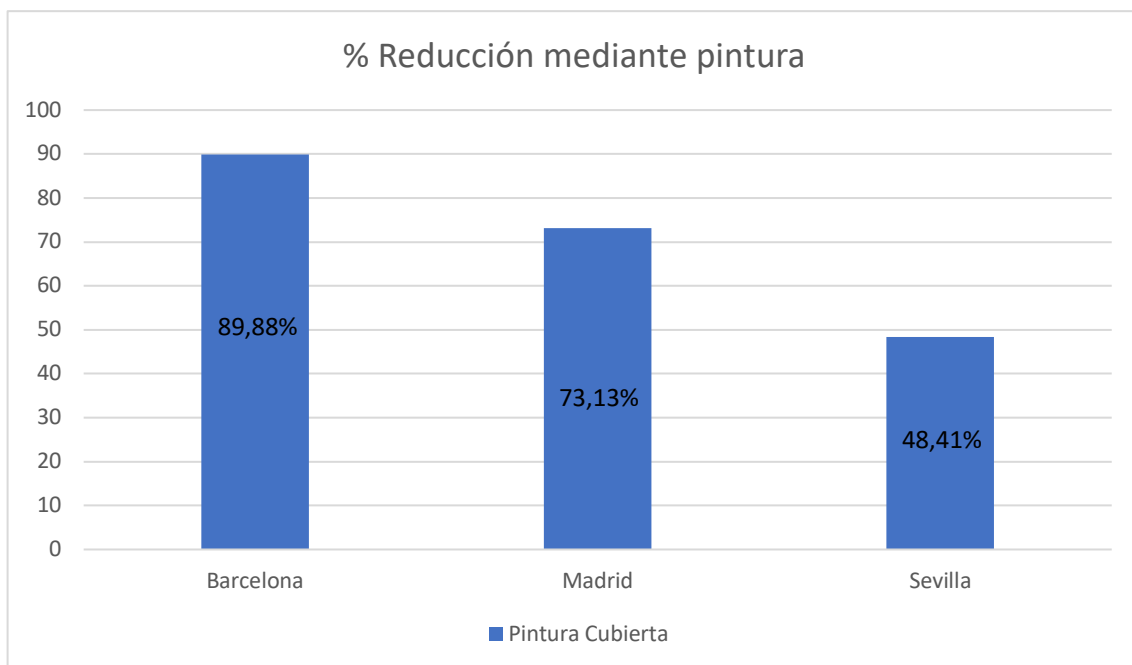


Figura 50: Efecto de pintura cubierta por zona climática

En el caso de refrigeración se observa como, a pesar de tener una reducción relativa mayor, la reducción de demanda en términos absolutos (kWh/m^2) es mucho menor que la reducción de la demanda de calefacción.

Sevilla es la ciudad con mayor efectividad (en términos relativos) de las medidas de rehabilitación, seguida de Barcelona, La Coruña y Madrid. Sevilla consta de la menor SCI, debido a sus inviernos suaves y calurosos veranos. En los meses fríos tiene la demanda menor de energía en comparación con las otras tres zonas climáticas, de 29,45 kWh/m².

El empleo de LEDs, sustituyendo cualquiera de las tecnologías luminarias existentes, permite un ahorro del consumo en iluminación de entorno al 48,5%. Esta tecnología es la más apropiada en cuanto a eficiencia energética y también es más duradera en comparación con las otras.

Los electrodomésticos que más consumen son la secadora, el congelador y el frigorífico. La sustitución de electrodomésticos por versiones nuevas con certificado de eficiencia A+++ reducen notablemente el consumo. Desgraciadamente, esta sustitución tiene un coste elevado. Existen varias fundaciones en España que ayudan a la población en la compra de electrodomésticos más eficientes para conseguir ahorrar en las facturas eléctricas, entre ellas, ECODES y A+Familias.

Siendo la caldera de gas muy común en España, mediante el cambio de la caldera de este tipo antigua a una caldera nueva más eficiente, se ahorra de media el 17% en calderas individuales.

Por lo tanto, como conclusión, es importante realizar una labor de difusión para que la población tome conciencia de las posibilidades que existen de conseguir eficiencia energética en sus viviendas y ahorrar en la factura eléctrica. Estas medidas no sólo ayudarán al bienestar de la sociedad sino también a crear un mundo más limpio. Mediante instituciones como la Universidad Pontificia de Comillas se están realizando numerosos estudios acerca de este problema. La rehabilitación de viviendas gana mayor importancia cada día y junto con el trabajo de todos puede hacerse realidad el gran impacto que conlleva y que se ha visto reflejado en este trabajo.

Anexo I: Alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible

Este trabajo está estrechamente ligado con varios de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Se puede decir que se ve reflejado en estos ocho objetivos; 1, 3, 7, 9, 10, 11, 12, 13 y 17.

Se enfoca en el objetivo número 1 de fin de la pobreza, el estudio consiste en la ayuda a familias vulnerables, cumpliendo así también el objetivo número 10, de reducción de las desigualdades. Si se llevan a cabo las medidas de rehabilitación necesarias, objetivo número 9, de industria, innovación e infraestructura, las familias podrán ahorrar gasto económico y energía. Se cumplirá, consecuentemente, el objetivo número 11 de construir ciudades y comunidades sostenibles.

El dinero ahorrado lo podrán utilizar las familias para otras necesidades básicas. La energía ahorrada cumplirá con el objetivo número 12, de producción y consumo responsables. Gracias a este ahorro de energía se cumple también con el objetivo número 13, de acción por el clima y, el número 7, de energía asequible y no contaminante. Con estas medidas se consigue la temperatura de confort necesaria en las viviendas, se puede decir, por lo tanto, que cumple también con el objetivo número 3, de salud y bienestar, debido a que se evitarían las enfermedades producidas por las malas condiciones térmicas de las viviendas.

Con este trabajo, la función de las ONG centradas en el problema, la Cátedra de Energía y Pobreza de la universidad y el posible trabajo futuro junto a la empresa Danosa, se cumple el objetivo número 17, de alianzas para lograr los objetivos.



Figura 51: Objetivos de Desarrollo Sostenible de Naciones Unidas

Bibliografía

Figuras

Figura 1: <http://www.comillas.edu/catedra-de-energia-y-pobreza>

Figura 2:

[https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Preguntas_frecuentes_certificaci on_energetica_\(3\)_4c204ac7.pdf](https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Preguntas_frecuentes_certificaci on_energetica_(3)_4c204ac7.pdf)

Figura 3: *Aprendizaje y Servicio, “Formación EnergiaParaTodos_Factura y material - sept” ECODES*

Figura 4: *Informe Indicadores 2021 EyP v4 completo.pdf*

Figura 5: <https://biuarquitectura.com/>

Figura 6: *Texto Naturgy 2022*

Figura 7: https://ec.europa.eu/clima/sites/lts/lts_es_es.pdf

Figura 8: <https://demanda.ree.es/visiona/peninsula/nacional/total>

Figuras 9-13: *Texto Naturgy 2022*

Figura 14: https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2022-9838
<https://tecnologiapg.xataka.com/estas-metricas-que-debes-tener-cuenta-para-ahorrar-climatizacion-tu-casa/>

Figura 15: *Re-habilitación energética exprés para hogares vulnerables. Soluciones de bajo coste. Actualización mayo 2022.*

Figura 16: <https://www.ceranor.es/fachada-monocapa/>

Figural7:

https://www.archdaily.cl/catalog/cl/products/29231/aislamiento-muros-sistema-eifs-sate-codelpa/285113?ad_source=neufert&ad_medium=gallery&ad_name=next_image

Figuras 18-38: *Texto Naturgy 2022*

Figuras 39-44: *Investigaciones Roberto Barrella*

Figura 45-46: TFM Gonzalo Borque Angulo

Figura 47-48: Investigaciones Roberto Barrella

Figura 49-50: Texto Naturgy 2022

Figura 51: <https://www.educo.org/>

Tablas

Tabla 1:

[https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Preguntas_frecuentes_certificacion_energetica_\(3\)_4c204ac7.pdf](https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Preguntas_frecuentes_certificacion_energetica_(3)_4c204ac7.pdf)

Tabla 2- 62: Texto Naturgy 2022

Tabla 63: Tesis doctoral Roberto Barrella

Tablas 64-69: TFM Mario Fernández Pedraz

Tablas 70-77: TFM Gonzalo Borque Angulo

Tablas 78-91: Tesis doctoral Roberto Barrella

Tablas 92-95: Thermo Cover & Texto Naturgy 2022

Fuentes de información

Cátedra de pobreza y energía:

https://repositorio.comillas.edu/xmlui/bitstream/handle/11531/75498/Informe_Indicadores_2021_EyP_v4_completo.pdf?sequence=-1

Impacto de las rehabilitaciones exprés sobre la pobreza energética en Valencia:
<https://gdocu.upv.es/alfresco/service/api/node/content/workspace/SpacesStore/25ae7794-e388-4eae-a47a-7dbe7cba18f2/6197.pdf?guest=true>

Pobreza energética en España:
<https://www.eleconomista.es/vivienda-inmobiliario/noticias/11998190/10/22/Cuantos-anos-tiene-tu-vivienda-Estas-son-las-reformas-que-se-deben-realizar-segun-la-antiguedad.html>

Parque de viviendas españolas envejece:
<https://www.idealista.com/news/inmobiliario/vivienda/2021/09/21/792446-el-parque-de-viviendas-envejece-una-de-cada-dos-casas-tiene-mas-de-40-anos>

Calificación de eficiencia energética de los edificios:
<https://energia.gob.es/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/DocumentosReconocidos/normativamodelosutilizacion/20151123-Calificacion-eficiencia-energetica-edificios.pdf>

Evolución de los precios de materiales de construcción:
<https://www.caixabankresearch.com/es/analisis-sectorial/inmobiliario/como-evolucionaran-costes-construccion-espana-2023>

PNIEC 2030:
<https://elperiodicodelaenergia.com/pniec-2030-el-gobierno-rehabilitara-12-millones-de-viviendas-y-renovara-las-calderas-en-300-000-hogares-al-ano/>

Nueva normativa: <https://www.codigotecnico.org/>

Funcionamiento de los contratos de electricidad:
<https://www.ucaragon.com/notas-de-luz/estoy-en-el-mercado-libre-o-en-mercado-regulado/>

Encarecimiento precio de la luz: <https://tarifasgashuz.com/>

Zonas climáticas:
https://www.barcelona.cat/temps/es/climatologia/clima_barcelona#:~:text=El%20clima%20de%20Barcelona%20es,que%20a%20ras%20de%20costa.
<https://www.climasyviajes.com/clima/espa%C3%B1a/la-coru%C3%B1a#:~:text=El%20clima%20de%20La%20Coru%C3%B1a,la%20influencia%20del%20Oc%C3%A9ano%20Atl%C3%A1ntico.>
https://es.wikipedia.org/wiki/Clima_de_Madrid

Mercado libre vs Mercado regulado:

<https://www.endesa.com/es/la-cara-e/sector-energetico/mercado-libre-mercado-regulado-pvpc>

Red Eléctrica Española: <https://demanda.ree.es>

Normativas de aplicación:

https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2022-9838

<https://tecnologia.xataka.com/estas-metricas-que-debes-tener-cuenta-para-ahorrar-climatizacion-tu-casa/>

Eficiencia energética:

<https://inarquia.es/objetivo-20-20-20/#:~:text=La%20Directiva%2020%2F20%2F20,eficiencia%20energ%C3%A9tica%20en%20las%20edificaciones.>

Plan de descarbonización de Europa 2050:

<https://tecnologia.xataka.com/estas-metricas-que-debes-tener-cuenta-para-ahorrar-climatizacion-tu-casa/>

https://ec.europa.eu/clima/sites/lts/lts_es_es.pdf

Muro monocapa y multicapa: <https://www.canoxel.es/blog/mortero-acrilico-multicapa-ventajas-y-caracteristicas/>

Temperatura de bienestar en la vivienda:

<https://www.infosalus.com/salud-investigacion/noticia-evolucion-cuerpo-humano-estrecha-relacion-clima-20180831081431.html>

LEDs:

<https://blog.ledbox.es/tabla-de-equivalencias-de-las-bombillas-led/>

https://eacnur.org/blog/tipos-bombillas-nos-podemos-encontrar/?psafe_param=1&&utm_sc=google&utm_md=SEM&utm_cp=&matchtype=b&keyword=&&tc_alt=47342&n_o_pst=n_o_pst&n_okw=__c_52693938160&gclid=Cj0KCQiAjbagBhD3ARIsANRrqEuo-B_eTWSBYIdf9OwXteSYyoaIHG2NC0O_k8RTVe_jvnUqMNSjwOUaAhpFEALw_wcB

Calderas:

<https://www.hogarsense.es/calefaccion/tipos-calderas>

<https://www.danielpascual.com/ahorro-con-caldera-de-condensacion/> (imagen gasto calderas)

<https://www.gilabertmiro.com/instalacion-gas/potencia-caldera-gas/> (potencia calderas tablas)

Thermocover:

<https://www.elcorteingles.es/bricor/A22399373-película-aislante-ventanas-thermo-cover/#>

<https://guia.energetica21.com/producto/shine-on-el-producto-que-aumenta-el-rendimiento-de-las-placas-fotovoltaicas>

Noticias relacionadas con la cátedra:

<https://www.elmundo.es/espana/2022/12/07/638e14e4e4d4d86b5b8b45dc.html>

<https://www.rtve.es/noticias/2022/11/15/crece-pobreza-energetica-espana-luz-invierno-vivienda/2408857.shtml>

Referencias

[1] **Informe de Indicadores de Pobreza Energética en España 2021** (Cátedra de Energía y Pobreza, Universidad Pontificia de Comillas):

https://repositorio.comillas.edu/xmlui/bitstream/handle/11531/75498/Informe_Indicadores_2021_EyP_v4_completo.pdf?sequence=-1

[2] **Luces y sombras en la pobreza energética en España en 2021**(Cátedra de Energía y Pobreza, Universidad Pontificia de Comillas):

<https://www.comillas.edu/noticias/132-comillas-icai/catedraeyp/4260-la-pobreza-energetica-afecta-a-1-5-de-familias-menos-en-espana>

[3] **Antigüedad del parque de viviendas en España – CCAA:** [idealista/data](#)

[4] **Impacto de las rehabilitaciones exprés sobre la pobreza energética en Valencia** (Texto UPV, 2022):

<https://gdocu.upv.es/alfresco/service/api/node/content/workspace/SpacesStore/25ae7794-e388-4eae-a47a-7dbe7cba18f2/6197.pdf?guest=true>

[5] **Re-habilitación energética exprés para hogares vulnerables. Soluciones de bajo coste** (Texto de Naturgy, actualización mayo 2022):

<https://www.fundacionnaturgy.org/publicacion/re-habilitacion-energetica-expres-para-hogares-vulnerables-soluciones-de-bajo-coste-actualizacion-2022/>

[6] **Re-habilitación exprés para hogares vulnerables. Soluciones de bajo coste** (Texto Naturgy, julio 2017).

<https://www.fundacionnaturgy.org/wp-content/uploads/2017/09/prologo-rehabilitacion-expres-hogares-vulnerables-1.pdf>

[7] **España, a la cola de Europa en rehabilitación de edificios: necesita multiplicar por 25 su tasa de renovación** (Texto Material Eléctrico, 2021):

<https://material-electrico.cdecomunicacion.es/noticias/sectoriales/43233/espana-a-la-cola-de-europa-en-rehabilitacion-de-edificios-necesita-multiplicar-por-25-su-tasa-de-renovacion>

[8] **Estrategia de descarbonización a largo plazo 2050** (Texto Marco Estratégico de Energía y Clima del Gobierno de España, 2020):

https://ec.europa.eu/clima/sites/lts/lts_es_es.pdf

[9] **PNIEC 2030** (Plan Nacional Integrado de Energía y Clima, 2021):

www.miteco.gob.es/es/prensa/pniec.aspx

[10] **Evaluating the impact of energy efficiency strategies on households' energy affordability: A Spanish case study** (Roberto Barrella, José Ignacio Linares, José Carlos Romero, Eva Arenas, June 2023, Energy and Buildings, DOI: 10.1016/j.enbuild.2023.113289)

[11] **Modeling and analysis of electricity consumption in Spanish vulnerable households** (IEEE, 2021):

<https://ieeexplore.ieee.org/document/9494785>

[12] **TFM Mario Fernández Pedraz**

[13] **TFM Gonzalo Borque Angulo**