

TESIS DOCTORAL 2024

Ambiente interior en vivienda social: percepción del confort y diversidad de comportamientos

Indoor environment in social housing: comfort perception
and behavioural diversity

Silvia Pérez Bezos

Dirigida por Olatz Grijalba Aseguinolaza y Rufino Javier Hernández Minguillón



Ambiente interior en vivienda social: percepción del confort y diversidad de comportamientos

Indoor environment in social housing: comfort
perception and behavioural diversity

2024

Tesis doctoral | PhD thesis

Silvia Pérez Bezos

Dirigida por | Under supervision of:

Olatz Grijalba Aseguinolaza
Rufino Javier Hernández Minguillón

Grupo de investigación CAVIAR | CAVIAR Research Group
Departamento de arquitectura | Department of Architecture
Escuela Técnica Superior de Arquitectura | School of Architecture

Doctorado en Eficiencia Energética y Sostenibilidad en Ingeniería y Arquitectura
Doctoral Programme in Energy Efficiency and Sustainability in Engineering and
Architecture



Universidad del País Vasco | Euskal Herriko Unibertsitatea

Ilustración de la cubierta | Cover illustration: Besnik Grainca. Towards a(n) Utopia, 2020

Esta tesis doctoral ha sido financiada por la Convocatoria de contratación para la formación de personal investigador en la UPV/EHU 2019 (PIF19/139).

This PhD thesis was funded by the Call for tender for a researcher training at the University of the Basque Country UPV/EHU 2019 (PIF19/139).

Para la realización del estudio se obtuvo la aprobación ética del Comité de Ética para la Investigación con Seres Humanos, CEISH-UPV/EHU, BOPV 32, 17/2/2014.

Ethical approval was obtained from the Ethics Committee for Research on Human Subjects, CEISH-UPV/EHU, BOPV 32, 17/2/2014.

© 2024 SILVIA PEREZ BEZOS (CC BY-NC-SA 4.0)

La casa es el contenedor, la cáscara, de un hogar. Es el usuario quien alberga la sustancia del hogar [...] dentro del marco de la vivienda. El hogar es una expresión de la personalidad del habitante y de sus patrones de vida únicos.

El hogar no es un simple objeto o un edificio, sino un estado difuso y complejo que integra recuerdos e imágenes, deseos y miedos, pasado y presente. El hogar es también un escenario de rituales, de ritmos personales y de rutinas del día a día. El hogar no puede producirse de una sola vez. Tiene una dimensión temporal y una continuidad, y es un producto gradual de la adaptación al mundo de la familia y el individuo.

Juhani Pallasmaa. *Habitar*, 2019

Agradecimientos

Esta tesis doctoral es el resultado de cuatro años de trabajo. Cuatro años de experiencias que me han permitido aprender y evolucionar en distintos ámbitos de mi vida. Este proyecto se ha llevado a cabo con el apoyo de muchas personas. A todas ellas, gracias.

Gracias a las entidades que han hecho posible esta tesis doctoral, Alokabide, Sestao Berri, Viviendas Municipales de Bilbao y Stechome por vuestra ayuda y por vuestra confianza en mi trabajo.

Gracias a mi director y directora, Rufino y Olatz, ya que vuestra orientación y supervisión a lo largo de estos años me han permitido completar el proyecto.

Gracias a las compañeras del grupo de investigación Caviar. Trabajar con vosotras me ha ayudado a seguir adelante y a darme cuenta de que no estaba sola ante el desafío que supone la tesis doctoral.

Gracias también a Olivia, Masi y a las compañeras de Eindhoven. La estancia con vosotras me ha permitido crecer como investigadora y trasladar todo lo aprendido al proyecto.

Gracias a mis amigas, por estar ahí cuando más las necesitaba.

Gracias a mi familia, aita, ama, por creer en mí. Gracias a mis tíos Alfredo y Aitor, por vuestra paciencia y por guiarme cuando más perdida estaba.

Y gracias a Sergio, por acompañarme y apoyarme en todo momento. Por levantarme cuando caía y animarme a seguir cuando las cosas se complicaban.

Gracias a todas.

Resumen

En los últimos años los hábitos de la ciudadanía y los usos de las viviendas han evolucionado. Como resultado, la interacción de las personas con sus viviendas y su estilo de vida tienen un impacto más significativo en el comportamiento energético y ambiental de los edificios.

Si bien la calidad del ambiente interior de un espacio se puede determinar a partir de los modelos de confort establecidos en la normativa y regulaciones actuales, basados en datos medidos objetivamente, el confort percibido es un parámetro subjetivo. Se refiere a la condición mental en la que se experimenta satisfacción con el ambiente interior de la vivienda, lo cual puede no coincidir con los rangos definidos en las normas de confort. Investigaciones previas sugieren que un enfoque multidisciplinar del estudio del confort que incluya la perspectiva de las personas puede proporcionar una comprensión más exhaustiva de las necesidades y preferencias reales de los hogares con respecto a sus viviendas.

Por otro lado, la vivienda se ha convertido en un tema clave en las políticas europeas y los debates académicos de los últimos años. Se plantean con el objetivo de mejorar la eficiencia energética de los edificios residenciales y reducir su impacto ambiental a lo largo de su vida útil, al mismo tiempo que se mejora la calidad de vida de los hogares. Sin embargo, el comportamiento energético y ambiental de los edificios se entiende generalmente como algo homogéneo y uniforme, basado en estándares y regulaciones que definen perfiles de uso y rangos de confort genéricos para un clima o población específicos. Esta homogeneidad puede limitar la satisfacción de la diversidad de usos y necesidades de los hogares en contextos económicos, demográficos o culturales específicos. Además, utilizar modelos homogéneos sin considerar la variabilidad en las preferencias y usos puede dar lugar a una brecha entre el rendimiento previsto y el real del edificio.

En base a esto, la presente investigación parte de la hipótesis de que en edificios con características arquitectónico-constructivas similares y contextos socio-económicos y culturales específicos, las personas pueden presentar diferentes comportamientos y percepciones de confort relacionados con el ambiente interior de sus viviendas, en contraposición a la uniformidad exigida en las normativas actuales.

En ese contexto, el objetivo de la presente investigación es evidenciar y caracterizar la diversidad de comportamientos y percepciones relativas al ambiente interior de la vivienda,

aplicado al ámbito de las viviendas sociales de la Comunidad Autónoma de Euskadi. En contraposición a la homogeneidad actual, se propone analizar e incluir esa diversidad en la gestión del parque y en el diseño de edificios y actuaciones de rehabilitación. Esto implica tener en cuenta las especificidades de cada contexto social y cultural, así como las necesidades individuales de los hogares. Al fomentar la diversidad, se puede mejorar la calidad de vida de las personas y promover un ambiente más inclusivo y adaptado a todas las necesidades.

La investigación se ha dividido en dos fases para dar respuesta a la hipótesis planteada. En la primera fase se analiza y expone la relación entre las características de las viviendas y los hogares con las variables de percepción del confort y el uso de la vivienda. Asimismo, se aportan evidencias de la diversidad de confort percibido, analizado en base a las características espaciales y sociales. Por último, se expone la diversidad de los hábitos de ocupación y comportamientos asociados a la energía y se profundiza en la percepción del ambiente térmico de la vivienda. La segunda fase del estudio analiza en detalle el confort térmico, explorando la relación entre los datos subjetivos basados en encuestas y los datos objetivos procedentes de monitorización. Se identifica la relación entre las características del hogar y la vivienda con el comportamiento real de las personas, y se expone la diversidad de comportamientos atendiendo las variables de temperatura y consumo energético de calefacción y agua caliente sanitaria. Finalmente, se propone una estrategia para la detección y definición de patrones de comportamiento y ocupación aplicables a programas de simulación energética de edificios y gestión energética personalizada.

Se ha demostrado esta diversidad en dos contextos, de acuerdo con las dos fases de la investigación: un ámbito más general con una muestra de 283 viviendas de 16 edificios que comprendían Bizkaia y Araba y un contexto detallado de un edificio con una muestra de 58 viviendas en Vitoria-Gasteiz. En ambas fases se ha realizado una aproximación a escala vivienda teniendo en cuenta las particularidades de los hogares. En la primera fase de la investigación se han empleado datos de percepción del confort (térmico, acústico, lumínico y calidad del aire) obtenidos mediante encuestas y se han aplicado métodos cualitativos. La segunda fase, en cambio, se ha centrado en el ambiente térmico y ha cruzado estos datos de percepción con datos objetivos procedentes de monitorización mediante la aplicación de métodos mixtos, cualitativos y cuantitativos. En ambas fases la investigación se centra en el periodo de invierno.

Los resultados del estudio identificaron diversas características de la vivienda y de los hogares relacionadas con los parámetros de confort percibido y uso de la vivienda, en

concordancia con estudios previos. Entre los factores identificados, se encontró una asociación estadísticamente significativa entre la compacidad urbana y la calidad lumínica percibida, así como entre la capacidad de mantener la vivienda a la temperatura de confort y la orientación de la vivienda. El análisis del uso de la vivienda evidenció la asociación de la ocupación de la vivienda con varias características sociales: número de personas, perfil social, presencia de personas mayores de 75 años en la vivienda e ingresos medios. En base a los cuatro parámetros ambientales analizados (confort térmico, confort acústico, confort lumínico y calidad del aire) los resultados del estudio indicaron un mayor porcentaje de hogares que experimenta disconfort térmico y acústico. También se encontró una alta coincidencia entre la temperatura deseada y la temperatura percibida. Además, se observó una correlación positiva estadísticamente significativa entre el confort térmico y el indicador de satisfacción térmica propuesto.

Los resultados de la segunda fase de la investigación revelaron una brecha de resultados dentro de la muestra. La prueba de Kruskal-Wallis no mostró diferencias significativas de temperatura o humedad relativa en relación con las respuestas de la encuesta. Esto sugiere que una vivienda con condiciones de temperatura y humedad relativa fuera de los rangos de confort establecidos en la normativa podría haber obtenido una respuesta de satisfacción por parte de los hogares. Otro resultado destacado ha evidenciado la variabilidad en el comportamiento de los hogares. Aunque estas viviendas presentaban características socioeconómicas similares, no se encontró una asociación entre la temperatura interior, la humedad relativa, el consumo de calefacción y las características socioeconómicas estudiadas. A partir de la validación de esta diversidad en el comportamiento de los hogares con características sociales similares, se propuso un método para definir perfiles de comportamiento y ocupación basados en datos reales. Estas metodologías pueden ser replicadas en otros contextos con diferentes climas, tipologías edificatorias y contextos sociales.

Se han aportado evidencias y se ha caracterizado la diversidad de confort y comportamientos relativos al ambiente interior de la vivienda. En general, los resultados de la primera fase sugieren que las personas y su percepción pueden ser elementos esenciales para definir la situación de confort y la calidad del ambiente interior en un edificio. Por lo tanto, un análisis preciso del confort requeriría una combinación de datos percibidos y medidos, tanto objetivos como subjetivos. Esto es especialmente importante cuando el objetivo no es sólo garantizar la adecuada habitabilidad de la vivienda, sino asegurar también el bienestar de las personas. Asimismo, de la segunda fase de la investigación se concluye

que la definición de los perfiles de comportamiento debería basarse en los propios datos monitorizados, dada la diversidad de comportamientos observados en grupos con características sociales similares. Además, la variabilidad de las respuestas de confort térmico y la brecha de resultados detectada al comparar los datos objetivos y subjetivos sugieren la necesidad de aplicar métodos mixtos en el estudio del confort térmico de las viviendas, tal y como se concluyó en la fase 1 de la investigación.

La investigación destaca la complejidad del análisis del confort y comportamiento de las personas en entornos vulnerables. Asimismo, plantea importantes cuestiones para comprender las dinámicas complejas que influyen en la eficiencia energética de los edificios y el bienestar de los hogares en contextos residenciales vulnerables. Los resultados de la investigación proporcionan información significativa para mejorar la calidad de vida de las personas en viviendas de alquiler social, crear comunidades más sostenibles y habitables, y aumentar la eficiencia energética de los edificios. Las estrategias propuestas simplifican el estudio del confort y comportamiento en situaciones con acceso restringido a datos. Además, el enfoque propuesto para el estudio de la diversidad de confort y comportamiento desde el punto de vista de las personas puede ser replicable en otros contextos climáticos, arquitectónicos y sociales. Asimismo, la integración de los perfiles de comportamiento y ocupación obtenidos en programas de simulación de edificios puede ayudar a optimizar los sistemas de control y gestión de las comunidades. La información obtenida de los métodos empleados en el proyecto puede utilizarse para desarrollar prácticas y políticas públicas alineadas con las necesidades reales, lo que puede ayudar a mejorar la calidad de vida y el bienestar de las familias.

Adoptar un enfoque más integral del análisis del confort y del comportamiento de los hogares abre nuevas oportunidades de ahorro energético, aumentando la eficiencia energética y mejorando el bienestar de los hogares en diversos contextos. Esto proporciona una primera aproximación para definir pautas para la mejora de la salud basadas en la percepción y necesidades reales, y mejorar la eficiencia energética de los edificios teniendo en cuenta los comportamientos reales. Todo ello mediante metodologías automatizables para la gestión avanzada del parque de vivienda público.

Palabras clave: Consumo energético; Calidad del ambiente interior; Comportamiento de las ocupantes; Percepción de las ocupantes; Viviendas sociales; Confort térmico; Patrones de uso.

Abstract

In recent years, daily life activities and occupants' behaviour have evolved. This change has led to a greater influence of occupants' interaction with their dwellings on the buildings' energy and environmental performance.

The indoor environmental quality (IEQ) can be assessed using comfort models established in current regulations and standards. These models are based on objectively measured data. However, perceived comfort is a subjective parameter that refers to the occupant's mental state of satisfaction with the indoor environment. This subjective experience may not align with the comfort ranges defined in standards. Previous research suggests that adopting a multidisciplinary approach to studying comfort, which includes considering the perspectives of individuals, can provide a more holistic understanding of people's actual needs and preferences regarding their dwellings.

On the other hand, housing has become an important topic in European policies and academic debates in recent years. These policies aim to improve the energy efficiency of residential buildings and reduce the environmental impact over their lifetime, while also enhancing the quality of life for households. However, the energy and environmental performance of buildings is often treated as a single and uniform concept, relying on standards and regulations that define general behaviour profiles and comfort ranges for specific climates or populations. This approach may restrict the ability to meet the diverse needs and preferences of households in different economic, demographic, or cultural contexts. Furthermore, using uniform models without considering variations in preferences and behavioural patterns can lead to a performance gap between predicted and actual building performance.

With this in mind, the current research starts with the hypothesis that occupants in buildings with similar architectural and construction characteristics, as well as specific socio-economic and cultural contexts, might exhibit different behaviours and perceptions of comfort. This differs from the uniformity required by current regulations.

In this context, the aim of this research is to demonstrate and characterize the various behaviours and perceptions associated with the indoor environment, specifically focusing on social housing in the Autonomous Community of the Basque Country. Instead of maintaining the current uniformity, the proposal is to analyse and incorporate this diversity into the

management of the housing stock and the design of buildings and renovation projects. This involves considering the specificities of each social and cultural context, as well as the individual needs of households. By promoting diversity, it is possible to enhance people's quality of life and create a more inclusive and accommodating environment for everyone.

The research is divided into two phases to address the proposed hypothesis. In the first phase, we analyse the relationship between the characteristics of dwellings and households and the perception of indoor environmental quality and behavioural trends. We also examine the diversity of perceived comfort, considering spatial and social factors. Additionally, we discuss the diversity of occupancy habits and energy-related behaviours, with a focus on the thermal environment perception. In the second phase of the study, we delve into thermal comfort, exploring the relationship between subjective survey data and objective monitoring data. We identify the correlation between household and dwelling factors and actual occupants' behaviour, and discuss the diversity of behaviours related to temperature and energy consumption for heating and domestic hot water. Finally, we propose a strategy to detect and define occupancy and behavioural patterns, which can be applied to building performance simulation programs and personalized energy management.

This diversity has been demonstrated in two contexts, corresponding to the two phases of the research. The first phase had a more general scope, involving a sample of 283 dwellings from 16 buildings in Bizkaia and Araba. The second phase focused on a specific building in Vitoria-Gasteiz, with a sample size of 58 dwellings. In both phases, a dwelling-scale approach was taken to account for the specific characteristics of each household. The first phase of the research gathered indoor comfort perception data via surveys, including thermal, acoustic, lighting, and air quality aspects. Qualitative methods were applied in this phase. In contrast, the second phase specifically focused on the thermal environment and combined perception data with objective data, encompassing both qualitative and quantitative approaches. Both phases of the research were conducted during the winter period.

The study results identified several dwellings and household factors that are associated with perceived comfort parameters and behavioural trends, which aligns with previous studies. Among these factors, a statistically significant relationship was found between urban compactness and perceived lighting quality. Another significant association was found between the ability to maintain the dwelling at a comfortable temperature and the dwelling orientation. The analysis of behavioural trends revealed that dwelling occupancy is influenced by various social factors, including the number of people, social profile, presence of people

over 75 years old in the dwelling, and average income. Based on the analysis of four environmental parameters (thermal comfort, acoustic comfort, lighting comfort, and air quality), the study results indicated that a higher percentage of households experience thermal and acoustic discomfort. There was also a strong correlation between the desired temperature and the perceived temperature. Furthermore, a statistically significant positive correlation was observed between thermal comfort and the proposed thermal satisfaction indicator.

The results of the second phase of the research revealed a discrepancy in the sample results. The Kruskal-Wallis test did not indicate any significant differences in temperature or relative humidity when compared to survey responses. This suggests that households may have reported comfort even if their dwelling had temperature and relative humidity conditions outside the comfort ranges set by regulations. Another significant finding was the variability in occupants' behaviour. Despite similar socioeconomic characteristics, no correlation was found between indoor temperature, relative humidity, heating consumption, and the studied socioeconomic factors. Based on the validation of this diversity of the occupants' behaviour, a strategy was proposed to define behaviour and occupancy profiles using real data. These methodologies can be applied in different contexts with varying climates, building types, and social settings.

The provided evidence highlights the diverse range of comfort and behaviours related to the indoor environment. The results of the first phase indicate that residents and their perceptions can be essential elements in defining the comfort and indoor environmental quality of a building. Therefore, a comprehensive analysis of comfort would require a combination of both perceived and measured data, encompassing both objective and subjective aspects. This is particularly important not only for ensuring the habitability of the dwellings, but also for promoting the well-being of the residents. Similarly, the second phase of the research suggests that behavioural patterns should be based on the monitored data itself, taking into account the various behaviours observed in groups with similar social characteristics. Furthermore, the variability of thermal comfort responses and the differences between objective and subjective data indicate the need for using mixed methods in the study of thermal comfort, as concluded in the first phase of the research.

The research highlights the complexity of analysing comfort and behavioural trends of people in vulnerable environments. It also raises important questions regarding the factors that influence the energy efficiency of buildings and the well-being of households in vulnerable residential contexts. The research results provide valuable information to enhance

the quality of life for people in social rental housing, create more sustainable and livable communities, and improve the energy efficiency of buildings. The proposed strategies simplify the study of comfort and behaviour in situations where data access is limited. Additionally, the proposed approach for studying the diversity of comfort and occupants' behaviour can be replicated in different climatic, architectural, and social contexts. Integrating the behaviour and occupancy profiles obtained from building simulation programs is recommended to optimize control and management systems in communities. The information derived from the project's methods can be used to develop public policies that address real needs, ultimately enhancing the quality of life and well-being of families.

Taking a more comprehensive approach to comfort analysis and energy consumption offers new possibilities for saving energy, enhancing energy efficiency, and enhancing the well-being of occupants in different scenarios. This presents an initial framework for establishing guidelines to improve health based on actual perceptions and needs, as well as enhancing the energy efficiency of buildings based on real behaviours. All of these objectives can be accomplished through automated methodologies for advanced management of social housing stock.

Keywords: Energy consumption; Indoor environmental quality; Occupants' behaviour; Occupant perception; Self-reported comfort; Social housing; Thermal comfort; Behavioural patterns.

Índice

Agradecimientos	VII
Resumen	IX
Abstract	XIII
Índice	XVII
Índice de figuras	XX
Índice de tablas	XXIII
Terminología	XXV
Parte 1.....	29
1 Introducción	31
1.1 Contextualización y justificación de la investigación	33
1.2 Hipótesis, preguntas de investigación y propuesta de tesis	39
1.2.1 Hipótesis.....	39
1.2.2 Preguntas de investigación	40
1.2.3 Objetivos	41
1.3 Descripción de la estructura de la tesis	44
2 Revisión bibliográfica	47
2.1 Calidad del ambiente interior y confort.....	49
2.1.1 Conceptualización	49
2.1.2 Factores incidentes	51
2.1.3 Métodos de análisis	53
2.2 Residentes y su papel en el comportamiento energético del edificio	56
2.2.1 Modelos de confort térmico y brecha de resultados	58
2.2.2 Modelos de comportamiento y su incorporación en programas de simulación energética de edificios	62
2.3 Variables incidentes en la percepción del confort y el comportamiento de las personas	68
2.3.1 Variables empleadas en la literatura previa.....	69
2.3.2 Características espaciales de la vivienda.....	71
2.3.3 Características sociales de los hogares	73
Parte 2.....	77
3 Marco metodológico.....	79
3.1 Síntesis y estructura de la metodología	81

3.2	Fase 1: Análisis multivariable del confort percibido y del uso de la vivienda.....	84
3.2.1	Enfoque de la investigación y selección de variables	84
3.2.2	Datos empleados en la investigación.....	86
3.2.3	Análisis de datos.....	90
3.3	Fase 2: Diversidad de comportamientos relativos al ambiente térmico interior	95
3.3.1	Enfoque de la investigación y selección de variables	95
3.3.2	Datos empleados en la investigación.....	96
3.3.3	Análisis de datos.....	98
4	Ámbito de investigación.....	107
4.1	Contexto de la muestra.....	109
4.2	Proyecto E-lagun	110
4.3	Descripción general de la muestra.....	114
4.3.1	Fase 1: contexto general.....	114
4.3.2	Fase 2: contexto específico.....	119
Parte 3.....		123
5	Resultados: fase 1.....	125
5.1	Análisis de las variables incidentes en el confort percibido y en el uso de la vivienda	127
5.1.1	Factores espaciales	131
5.1.2	Factores sociales.....	135
5.2	Análisis del confort percibido	138
5.2.1	Confort percibido por grupos de viviendas	140
5.2.2	Confort percibido en función del perfil social de los hogares.....	147
5.3	Percepción, ocupación y uso de la vivienda asociados al ambiente térmico.....	149
5.4	Análisis y discusión de los resultados	156
6	Resultados: fase 2.....	163
6.1	Análisis del confort higrotérmico: evaluación de la relación entre los datos monitorizados y percibidos.....	165
6.2	Análisis de la diversidad de comportamientos: temperatura y consumo energético.....	169
6.3	Detección de patrones y definición de perfiles	179
6.3.1	Consumo de calefacción.....	179
6.3.2	Consumo de agua caliente sanitaria	190
6.4	Análisis y discusión de los resultados	191
Parte 4.....		197
7	Conclusiones del estudio.....	199

7.1	Conclusiones de la investigación	201
7.1.1	Percepción del confort y uso de la vivienda.....	201
7.1.2	Diversidad de comportamientos relativos al ambiente térmico interior.....	203
7.1.3	Impacto de la investigación y límites del estudio.....	204
7.2	Futuras líneas de investigación	207
7.3	Difusión de los resultados	209
	English summary.....	213
	Anexos y bibliografía.....	237
Anexo 1.	Revisión bibliográfica: comportamiento de las personas en edificios residenciales	239
Anexo 2.	Cuestionario de la encuesta	240
Anexo 3.	Descripción detallada de la muestra.....	244
Anexo 4.	Resultados de la encuesta: confort percibido y uso de la vivienda	261
Anexo 5.	Asociaciones entre las variables del estudio	277
Anexo 6.	Descripción de las agrupaciones	278
	Bibliografía	283

Índice de figuras

Figura 1. Estructura de la tesis doctoral	44
Figura 2. Estructura de los factores que afectan al confort percibido por las ocupantes.....	50
Figura 3. Tipos de aproximación multifactorial al estudio de la CAI. Fuente: Elaboración propia a partir de Andargie et al. [73]	53
Figura 4. Tipos de comportamientos incidentes en el consumo de energía y confort. Fuente: Elaboración propia a partir de Hong et al. [126]	57
Figura 5. Estándares de confort térmico y modelos empleados	60
Figura 6. Factores incidentes en el comportamiento energético de las personas residentes. Fuente: Elaboración propia a partir de Delzendeh et al. [22]	63
Figura 7. Modelos de comportamiento definidos en la literatura previa.....	64
Figura 8. Relación bidireccional entre ocupantes y edificio. Fuente: Elaboración propia a partir de O'Brien [130]	66
Figura 9. Estructura de la metodología de la investigación	83
Figura 10. Enfoque de la investigación de la fase 2	96
Figura 11. Comparación de la distancia de deformación temporal dinámica y la distancia euclídea.....	104
Figura 12. Planta del edificio en estudio de la fase 2	119
Figura 13. “¿Cómo definiría la iluminación natural en su vivienda?” Confort lumínico percibido en relación con la compacidad urbana y la posición relativa en el edificio	132
Figura 14. Confort lumínico percibido en relación con la orientación y el ratio de fachada-vivienda	133
Figura 15. "¿Con qué frecuencia percibe en su vivienda ruido del exterior o del vecindario (tráfico, comercio, talleres, etc.)?" Confort acústico percibido en relación con la posición relativa en el edificio, el estado de conservación y la edad de la edificación.....	134
Figura 16. “¿Puede mantener su vivienda al confort que le gustaría?” Capacidad para mantener la vivienda a la temperatura de confort en relación con la orientación, el estado de conservación y el año de construcción (izquierda) y en relación con la orientación y el sistema de generación de calor y ACS (derecha).	135

Figura 17. Capacidad para mantener la vivienda a temperatura de confort por ingresos y gastos de energía	137
Figura 18. Uso de la vivienda en el periodo de mañana.....	138
Figura 19. Resultados de los métodos elbow y silhouette.....	141
Figura 20. Dendrograma de la agrupación obtenida	142
Figura 21. Distribución de los grupos clúster por cada categoría de las variables analizadas ..	143
Figura 22. Capacidad para mantener la vivienda a temperatura de confort por perfil social	148
Figura 23. Número de viviendas en cada categoría del índice de confort térmico propuesto...	150
Figura 24. Temperatura interior percibida y temperatura interior deseada por vivienda	151
Figura 25. Satisfacción térmica en relación con el sistema de calefacción de la vivienda y al uso de este.....	152
Figura 26. Capacidad para mantener la vivienda a temperatura de confort por número de observaciones	156
Figura 27. Resultados de los datos monitorizados en base al estándar UNE-EN 16798	166
Figura 28. Porcentaje de horas en confort por vivienda.....	167
Figura 29. Relación entre el confort percibido y los datos monitorizados	169
Figura 30. Resultados de temperatura en relación con la tipología de vivienda y el número fachadas con huecos	171
Figura 31. Consumo de calefacción en relación con la posición relativa, la tipología de vivienda y la orientación de la sala de estar.....	172
Figura 32. Correlación entre la temperatura media diaria y el consumo de calefacción medio diario.....	173
Figura 33. Media horaria de temperatura por vivienda para el periodo de invierno	175
Figura 34. Media horaria de consumo de calefacción por vivienda para el periodo de invierno	176
Figura 35. Variación semanal del consumo de calefacción por vivienda	177
Figura 36. Media horaria de consumo de agua caliente sanitaria por vivienda.....	178
Figura 37. Resultados de los métodos elbow y silhouette.....	181

Figura 38. Dendrograma de la agrupación obtenida	181
Figura 39. Consumo de calefacción de los grupos obtenidos	182
Figura 40. Consumo de calefacción de los valores atípicos	182
Figura 41. All-day consumers (Clúster 1) datos medios diarios de calefacción, temperatura interior, temperatura exterior y ocupación	187
Figura 42. Steady energy consumers (Clúster 2) datos medios diarios de calefacción, temperatura interior, temperatura exterior y ocupación	187
Figura 43. Low-energy consumers (Clúster 3) datos medios diarios de calefacción, temperatura interior, temperatura exterior y ocupación	188
Figura 44. Warm nighters (Clúster 4) datos medios diarios de calefacción, temperatura interior, temperatura exterior y ocupación	188
Figura 45. End-of-day consumers (Clúster 5) datos medios diarios de calefacción, temperatura interior, temperatura exterior y ocupación	189
Figura 46. Early risers (Clúster 6) datos medios diarios de calefacción, temperatura interior, temperatura exterior y ocupación	189
Figura 47. Consumo de agua caliente sanitaria por grupo	190
Figura 48. Diagrama de las asociaciones entre las variables del estudio	277
Figura 49. Media horaria de consumo de calefacción por vivienda y clúster para el periodo de invierno.....	281

Índice de tablas

Tabla 1. Diferencias de los modelos de confort. Fuente: Efeoma et al. [140]	60
Tabla 2. Categorías y exigencias de la calidad del ambiente interior. Fuente: ISO 7730 y EN 16798.....	61
Tabla 3. Referencias analizadas	70
Tabla 4. Síntesis de las agrupaciones de variables identificadas en la literatura previa.....	71
Tabla 5. Tipos de dato incluidos en el primer grupo de referencias.....	73
Tabla 6. Tipos de dato incluidos en el segundo grupo de referencias	74
Tabla 7. Grupos de variables propuestos para el análisis.....	86
Tabla 8. Variables seleccionadas para el análisis de la fase 1.....	88
Tabla 9. Variables seleccionadas para el análisis de la fase 2.....	97
Tabla 10. Edificios participantes en el proyecto E-lagun.....	111
Tabla 11. Viviendas participantes en el proyecto E-lagun	111
Tabla 12. Descripción de los edificios y viviendas participantes en E-lagun	113
Tabla 13. Descripción de las características espaciales de la muestra de la fase 1	116
Tabla 14. Descripción de las características sociales de la muestra de la fase 1	118
Tabla 15. Descripción de la muestra de la fase 2	120
Tabla 16. Resultados obtenidos en la encuesta para las variables de percepción del confort y uso de la vivienda	127
Tabla 17. Resultados del test de Fisher para las variables de percepción del confort y los factores espaciales y sociales	130
Tabla 18. Resultados del test de Fisher para las variables de comportamiento y los factores sociales	130
Tabla 19. Situación general del confort percibido	139
Tabla 20. Test de agrupación y resultados de los métodos elbow y silhouette	141
Tabla 21. Media y desviación estándar del confort percibido por agrupación de vivienda	144

Tabla 22. Confort acústico en relación con los factores espaciales	145
Tabla 23. Confort térmico en relación con los factores espaciales	146
Tabla 24. Media y desviación estándar del confort percibido en relación con los factores sociales	147
Tabla 25. Rangos de temperatura de confort y temperatura interior percibida	150
Tabla 26. Ocupación y uso de la vivienda por perfil social e ingresos medios mensuales	154
Tabla 27. Resultados de Kruskal-Wallis para los datos de percepción y los monitorizados	168
Tabla 28. Límites de temperatura y humedad relativa para la muestra en base a la norma UNE-EN 16798.....	168
Tabla 29. Resultados de Pearson y Kruskal-Wallis para los factores espaciales y sociales y los datos monitorizados.....	170
Tabla 30. Test de agrupación y resultados de los métodos elbow y silhouette	180
Tabla 31. Consumo de calefacción por clúster en base a la estratificación por cantidad de consumo realizado.....	183
Tabla 32. Descripción numérica de los grupos obtenidos. Media y desviación estándar	184
Tabla 33. Características sociales de las agrupaciones	185
Tabla 34. Media y desviación estándar del consumo de agua caliente sanitaria por grupo	190
Tabla 35. Clasificación de los artículos revisados	239
Tabla 36. Resultados medios diarios de temperatura y consumo de calefacción.....	278
Tabla 37. Número de personas en la vivienda por grupo	278
Tabla 38. Porcentaje de presencia u ocupación de la vivienda	278
Tabla 39. Consumo diario de agua caliente sanitaria.....	279
Tabla 40. Temperaturas de activación y de funcionamiento (set-back y set-point).....	279
Tabla 41. Media horaria del consumo y uso de calefacción por clúster.....	280
Tabla 42. Consumo de calefacción anual y por superficie de vivienda	280

Terminología

ACS	Agua caliente sanitaria.
ASW	Average silhouette width.
CA	Confort acústico.
CAE	Comunidad Autónoma de Euskadi.
CAI	Calidad del ambiente interior.
CI	Calidad del aire interior.
CL	Confort lumínico.
CT	Confort térmico en invierno.
CTE	Código Técnico de la Edificación.
CVT	Capacidad para mantener la vivienda a temperatura de confort.
ECV	Encuesta de Condiciones de Vida.
Factor	Elemento o causa que actúa junto con otros. Elemento, condicionante que contribuye a lograr un resultado. <i>Factores incidentes en el confort. Factores ambientales, sociales y espaciales.</i>
GE	Gasto de energía.
Hogar	En el presente estudio se entiende por hogar al conjunto de personas que residen en la misma vivienda, independientemente del parentesco y tipo relacional que exista entre estas.
HUM	Presencia de humedades.
IC	Intervalo de confianza.
INE	Instituto Nacional de Estadística.
INF	Presencia de infiltraciones.

Ocupantes En el texto se entiende como un término neutro. Se hará referencia a lo largo del texto como *las personas residentes* o *las personas ocupantes*, pero se omitirá en algunos casos la palabra *personas*.

OB Comportamiento de las/los ocupantes (en inglés OB, *occupant behaviour*).

OM Ocupación de mañana.

ON Ocupación de noche.

OT Ocupación de tarde.

Parámetro Dato o factor que se toma como necesario para analizar o valorar una situación. / Variable que, en una familia de elementos, sirve para identificar cada uno de ellos mediante su valor numérico. / Variable que, incluida en una ecuación, modifica el resultado de esta. / Valor numérico o dato fijo que se considera en el estudio o análisis de una cuestión. *Parámetros de confort.*

SD Desviación estándar (en inglés *standard deviation*).

SSW Cuadrados intra-clúster (en inglés *sum of squares within*).

TO Temperatura interior percibida.

UE Uso del sistema de calefacción.

Variable Que varía o puede variar. / Factor, elemento o causa. / Magnitud que puede tener un valor cualquiera de los comprendidos en un conjunto. *Variables analizadas en el estudio.*

Parte 1

Contexto y marco teórico

1 Introducción

El presente capítulo describe el interés y la motivación de realizar esta investigación. Se presenta primero el tema y la contextualización de la problemática detectada. A continuación, se describen la hipótesis y los objetivos del proyecto y, finalmente, se expone la estructura general del documento.

1.1 Contextualización y justificación de la investigación

El inicio de la década de 2020 ha sido testigo de múltiples situaciones límite que han afectado a la economía, la sociedad, la salud y el medio ambiente. Estas situaciones incluyen la pandemia de la Covid-19, los fenómenos climáticos extremos derivados del cambio climático y el aumento de los precios de la energía. La combinación de estas diversas crisis ha generado un complejo escenario global que ha obligado a repensar nuestras formas de vida y a encontrar soluciones innovadoras a los problemas que enfrentamos.

Las ciudades, cada vez más grandes y densas, están poniendo en juego la resiliencia de las sociedades y el medio ambiente junto con los nuevos y viejos desafíos a los que deben hacer frente. Según la Comisión Europea, el sector de la edificación es el responsable del 40% de la energía final consumida y del 36% de las emisiones de CO₂ en la Unión Europea [1]. Las previsiones plantean que la población urbana mundial se duplicará en 2050 y la población mayor de 60 años, que tiende a pasar mayor tiempo en casa, también se habrá duplicado a nivel mundial para ese año [2].

Las personas pasan gran parte de su tiempo en interiores, y generalmente más del 50% de ese tiempo lo pasan en sus propias casas [3], [4]. En algunos sectores de la población como las personas menores de edad y las personas adultas mayores, este porcentaje puede superar el 90% [5]. Además, la crisis sanitaria derivada de la pandemia Covid-19 dio lugar a un nuevo escenario que implicó el aumento del número de horas que las personas pasaban en sus viviendas. Los periodos de confinamiento y el teletrabajo obligaron a la ciudadanía a satisfacer todas sus necesidades en un solo lugar e intensificar su uso [6].

Los hábitos de la ciudadanía y los usos de las viviendas han evolucionado [7], [8] y, como consecuencia, la interacción de las personas con sus viviendas y su estilo de vida tienen un impacto más significativo en el comportamiento energético y ambiental de los edificios. Sin embargo, el parque de viviendas existente no está pensado ni diseñado para un uso tan intenso. La situación de confinamiento evidenció la necesidad de reflexionar y repensar el modelo de vivienda [9], desde el modelo de tenencia (propiedad o alquiler), el precio de la vivienda, la dificultad de adaptación (reforma), dificultad de contacto con otras personas (soledad no deseada), etc.

La Covid-19 evidenció una crisis urbana en la que intervienen factores ambientales y sociales que cuestionan la habitabilidad de las viviendas y las ciudades [10]. Distintas

iniciativas permitieron observar las principales problemáticas de la vivienda desde el punto de vista de las personas que las habitan, donde destacan: falta de luz natural, ventilación deficiente, falta espacios exteriores, calidad acústica baja, número elevado de pisos interiores, falta de flexibilidad y polivalencia y falta de calidad ambiental de la vivienda [11]–[13]. Estas evidencias ponen de manifiesto la necesidad de replantear el modelo de vivienda del parque existente y de las nuevas construcciones. En especial, sugieren que sería necesario repensar las intervenciones de rehabilitación y la gestión de las viviendas destinadas a grupos vulnerables para garantizar que las respuestas se adapten a la diversidad de necesidades de las familias y a la nueva situación post-pandémica.

Antes de la pandemia de la Covid-19, la vivienda ya se había convertido en un tema clave en las políticas europeas y los debates académicos, como una forma esencial de mejorar la calidad de vida de las personas. Aunque estos debates se han centrado principalmente en los aspectos energéticos de los edificios, se está empezando a prestar más atención a las experiencias subjetivas de los hogares en términos de confort y bienestar [14].

La vivienda adecuada está condicionada por varios factores que tienen el potencial de afectar directa o indirectamente la salud física, mental y social de las personas: la estructura física de la vivienda, el entorno inmediato y las condiciones ambientales exteriores [15]. La calidad ambiental interior (CAI) de la vivienda, por lo tanto, está influenciada por factores como la temperatura, la humedad, el ruido, la velocidad del aire, la iluminación o la exposición a contaminantes. Entre los parámetros de confort que definen la CAI, el confort térmico está estrechamente relacionado con el consumo de energía y el rendimiento de los edificios. Además, es uno de los parámetros de confort que puede tener un impacto más significativo en el rendimiento energético del edificio y en el bienestar de las ocupantes [16]. En este sentido, unos diseños de viviendas e intervenciones que no responden a las necesidades y estilos de vida de las personas ocupantes se alejan de los objetivos centrados en mejorar el bienestar y la salud de la ciudadanía, más allá de la eficiencia energética alcanzada en los edificios o de la rentabilidad medioambiental y económica que puedan representar dichas actuaciones.

Si bien en los últimos años se han realizado esfuerzos para mejorar la eficiencia energética de los edificios residenciales y reducir su impacto ambiental a lo largo de su vida útil [17]–[19], estos esfuerzos también pretenden mejorar la calidad de vida de los hogares. Sin embargo, se entiende el rendimiento de los edificios como algo fundamentalmente homogéneo, basado en normas, reglamentos y modelos de confort, en los que se definen

perfiles de uso y rangos de confort genéricos para un clima o una población específicos. Investigaciones anteriores han demostrado que en edificios con características similares se pueden dar diversos usos, hábitos y preferencias entre sus ocupantes [20]. Esto sugiere que la diversidad puede existir dentro de un grupo de personas con características sociales específicas y que puede influir en el rendimiento y la eficiencia energética de los edificios y, en última instancia, afectar al bienestar de las personas que residen en ellos.

Las personas residentes desempeñan un papel importante en el rendimiento de los edificios [21]. Este papel cobra mayor importancia con los nuevos escenarios derivados de unas normativas más exigentes y un mayor número de horas que pasan las personas en sus viviendas. Por lo tanto, utilizar modelos homogéneos sin tener en cuenta la posible variabilidad en las preferencias y usos puede dar lugar a una brecha entre el rendimiento previsto y el real del edificio [22]. Asimismo, al estimar el consumo energético de un edificio, hacer suposiciones sobre su comportamiento, ocupación y horas de funcionamiento puede dar lugar a discrepancias significativas entre el consumo energético real y el calculado. Esto se debe a que, en muchos casos, estas suposiciones se basan en generalizaciones o normas homogéneas para diferentes tipos de ocupantes. Además, esta variabilidad en el comportamiento puede existir dentro del mismo edificio.

Un estudio previo [23] identificó tres brechas de comportamiento: predicción (diferencia entre los datos simulados y los medidos), expectativa (diferencia entre las expectativas de las familias antes y después de la ocupación de la vivienda) y brecha de resultados (diferencia entre los resultados de las encuestas relacionadas con el confort y los datos monitorizados). En cuanto a la brecha de resultados, tradicionalmente el confort térmico se ha medido con métodos estacionarios basados en variables ambientales y fisiológicas. Estudios recientes han introducido nuevas variables como el sexo, la edad y la cultura para establecer estándares de confort más específicos [24], pero a menudo existe una brecha entre estos estándares y la percepción de las personas usuarias debido a la falta de consideración de la individualidad [25], [26]. Aunque investigaciones recientes han explorado nuevas variables vinculadas a las características individuales, actualmente no existen métodos consolidados en este aspecto [27].

Guerra-Santin y Tweed [28] identificaron cuatro formas en las que las personas influyen en el rendimiento de los edificios: la interacción usuario-edificio, el efecto rebote o efecto *re-bound*, las diferencias de comportamiento entre los hogares y el efecto *pre-bound*. El efecto rebote, o *re-bound*, es un mayor consumo energético por parte de las familias que antes de la

implementación de medidas de ahorro energético. Por otro lado, el efecto *pre-bound* se refiere a un menor ahorro energético resultante de una sobreestimación del consumo de energía antes de la rehabilitación, causada, en cierta medida, por el uso de perfiles de ocupación estándar. En este caso, los factores que influyen son la diversidad de los hogares, sus preferencias y necesidades [29].

Aunque el efecto *pre-bound* puede observarse en cualquier grupo de hogares, puede afectar especialmente a los grupos vulnerables, cuyos ocupantes pueden tener dificultades económicas para hacer frente a los costes asociados a las intervenciones o al mantenimiento de las instalaciones de los edificios nuevos. Además, el bajo consumo energético en comparación con los estándares calculados puede deberse a la vulnerabilidad económica de los hogares y a sus preferencias por el ahorro energético frente al confort [30], [31]. La calidad del ambiente interior y el consumo de energía pueden verse afectados significativamente por el comportamiento de las personas, independientemente de las características y la calidad de un edificio. Hay varios factores que pueden influir en este comportamiento como se explicaba anteriormente, la situación económica y la capacidad de utilizar recursos alternativos para controlar el ambiente interior [32].

Estos efectos y las brechas del comportamiento de los edificios influyen en el impacto ambiental del edificio, en su eficiencia energética y en la viabilidad económica, tecnológica y ambiental de las intervenciones [33]. Asimismo, estas brechas de comportamiento pueden influir en la CAI, y, como consecuencia, generar un impacto en el confort y la salud de las personas. El impacto de la vivienda en la salud se ha estudiado ampliamente en investigaciones previas. Diversos estudios evidencian la relación entre las condiciones de la vivienda y la salud de las personas, física y psicológica [34]–[36] como consecuencia de las problemáticas edificatorias, la dificultad para el acondicionamiento de las viviendas, la calidad del aire, o aspectos del entorno próximo [2], [37], [38] entre otras. Diferentes aportaciones científicas determinan que las malas condiciones higrotérmicas pueden exponer a las personas a una serie de riesgos para la salud [38]. Otros estudios analizan variables como el ruido y la contaminación acústica y su relación con la salud y la vivienda [39]. La exposición continuada a una baja CAI puede generar problemas de salud, como afecciones respiratorias, incremento de la presión arterial o artritis. Además puede representar un riesgo para la generación de impactos psicosociales perjudiciales que incluyen depresión, estrés, aislamiento social y limitaciones de movilidad [40]. En definitiva, unas condiciones interiores insatisfactorias y la exposición continuada a las mismas pueden causar importantes problemas de salud y aumentar la mortalidad de las personas residentes [41],[42].

Por otro lado, a pesar de que las condiciones climáticas en invierno a nivel estatal son más suaves que en el norte de Europa, la tasa de incremento de la mortalidad en invierno en España (en inglés, *excess winter death*) es una de las más altas de Europa, con un 20.6% [43]. Esta elevada tasa está fuertemente condicionada por los índices de pobreza, junto con un parque edificatorio poco eficiente y el alto coste de la energía [44], [45]. Algunos grupos poblacionales pueden resultar especialmente vulnerables como sugieren diversos estudios [38], [46].

Varias investigaciones que analizan la relación entre la pobreza energética y la pobreza monetaria sugieren que las familias con bajos ingresos tienen mayor riesgo de encontrarse en una situación de mayor vulnerabilidad y presentan un riesgo más importante cuando están expuestas a condiciones climáticas extremas [47]–[49]. Existe por tanto un desequilibrio socio-económico crítico que afecta en gran medida a los hogares con menos recursos monetarios, en cuanto al consumo energético, el acceso a la energía y la posibilidad de mantener las viviendas en unas condiciones térmicas adecuadas en situaciones de invierno y verano.

Estas cuestiones evidencian que la exposición a determinadas condiciones ambientales se traduce en desigualdades sanitarias: desigualdades relacionadas con la pobreza energética, el confort térmico, la calidad del aire interior o el ruido [50]. En este contexto, las viviendas sociales deben abordar cuestiones específicas, como la limitación de recursos o la vulnerabilidad a una exposición a ambientes interiores de baja calidad [51]–[53]. Además, las personas usuarias de viviendas sociales pueden ser más vulnerables debido a su edad o situación socioeconómica, lo que hace especialmente importante el estudio de la CAI en este contexto.

Una gestión centrada en las personas y un diseño de edificios que atiende a la realidad social y a la mejora de la eficiencia energética tiene el potencial de mejorar en general el bienestar y las condiciones de salud de los hogares [37], [54]. Sin embargo, aunque arquitectónicamente estas acciones puedan ser similares, es necesario considerar otros aspectos cuando las actuaciones y la gestión es en viviendas sociales:

- La inversión de la acción se limitará a los presupuestos públicos proporcionados a la organización encargada de gestionar estos edificios;
- Debido a la casuística de cada habitante de estas viviendas, puede que en algunos casos no sea posible aplicar una estrategia específica;
- Los resultados de la mejora de la eficiencia energética estarán directamente

relacionados con el comportamiento de cada unidad familiar, en lugar de depender únicamente de las propiedades energéticas o térmicas de la solución;

- La necesidad de capacitar a los hogares, especialmente a aquellos con un alto grado de vulnerabilidad energética, para que la gestión y el comportamiento general del edificio sean lo más eficientes posible.

A esto hay que añadir que los bajos consumos energéticos que presentan en muchos casos las viviendas sociales [55] no darían lugar a una amortización de las inversiones mediante los ahorros en los consumos energéticos. En este sentido, Santangelo et al. [56] sostienen que el ahorro energético derivado de la rehabilitación de edificios de propiedad privada puede ser un estímulo para la adopción de medidas de eficiencia energética. En cambio, en el caso de las viviendas sociales, este estímulo es cuestionable debido a la dificultad de conseguir ahorros energéticos significativos para un grupo de hogares vulnerables. Argumentan que el papel central de las personas residentes en la consecución de ahorros energéticos es cada vez más reconocido, y más aún en el contexto de la vivienda social, donde el valor medioambiental se combina con el propósito social de reducir las desigualdades y la pobreza energética.

Asimismo, cada persona tiene comportamientos, preferencias y necesidades únicas. Esta diversidad puede tener diferentes orígenes económicos, culturales, afectivos o de comportamiento. Dentro de esta diversidad, quienes residen en viviendas sociales tienen características socioeconómicas y culturales específicas que pueden dar lugar a situaciones de vulnerabilidad económica, energética o sociocultural. Si bien el modelo de vivienda actual no responde a la diversidad de estructuras familiares y sus necesidades, es necesario trabajar en unas respuestas también diversas, tanto en términos de herramientas como de soluciones adoptadas. De este modo, es posible llegar a unas viviendas saludables, confortables y resilientes, especialmente para los colectivos más vulnerables, de forma que las características de las viviendas se ajusten a las particularidades de las personas que las habitan.

En este proceso de análisis de comportamiento, percepción y necesidades de las residentes, es esencial el trabajo multidisciplinar, donde se incluya el conocimiento de los diferentes profesionales involucrados. En este sentido, integrar la perspectiva, comportamientos y necesidades reales de las residentes en el proceso de mejora de su calidad de vida, seguridad, salud y confort podría ayudar a mejorar el rendimiento de los edificios y mejorar el bienestar de los hogares.

Basándose en este contexto, la presente tesis doctoral se centra en las personas residentes en vivienda social. En particular, se presta especial atención al confort relativo al ambiente interior y al comportamiento energético de las personas como medio para fomentar el diseño y la gestión de un parque residencial que satisfaga las necesidades reales y mejore la calidad de vida de los hogares. Asimismo, el proyecto define metodologías replicables en otros contextos climáticos, sociales y arquitectónicos.

Además, adoptando un enfoque que integre a las personas en el análisis del confort y el consumo de energía, es posible descubrir nuevas oportunidades de ahorro energético, aumento de la eficiencia energética del edificio y mejora del bienestar de las ocupantes. El estudio analiza nuevas perspectivas que puedan aprovecharse para mejorar la calidad de vida de las personas residentes en viviendas social y, en última instancia, crear comunidades más sostenibles y habitables. Esto puede conducir a una gestión más eficaz del parque de viviendas sociales y a mejores resultados para los hogares vulnerables. Además, incluir esta diversidad en los procesos de simulación para el diseño de actuaciones y la gestión del parque puede conducir a opciones de vivienda más inclusivas y sostenibles para todas las personas.

Se busca así responder a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) definidos en 2015. Entre ellos, la investigación pretende incidir en los objetivos de (3) salud y bienestar, (7) energía asequible y no contaminante, (10) reducción de las desigualdades, (11) ciudades y comunidades sostenibles y como consecuencia de esta (13) acción por el clima.

1.2 Hipótesis, preguntas de investigación y propuesta de tesis

1.2.1 Hipótesis

Partiendo de lo explicado en el apartado anterior, existe una comprensión del comportamiento energético y ambiental de los edificios como algo principalmente homogéneo y uniforme, basado en estándares y regulaciones donde se definen perfiles de uso y rangos de confort genéricos para un clima o población específicos. Las propuestas de actuación y gestión de los edificios y viviendas son similares independientemente del contexto geográfico particular y del contexto socio-cultural.

Si bien los edificios de viviendas sociales presentan unas características arquitectónicas y un contexto social específico hay diversidad dentro de ese contexto. Las características

arquitectónicas y constructivas de cada vivienda de un mismo edificio pueden ser diferentes y presentar condiciones particulares (orientación, posición relativa, instalaciones, estancias, etc.). Estas particularidades se dan también en unidades familiares de un mismo contexto socio-cultural (cada familia e individuo tiene sus necesidades, preferencias y hábitos particulares). Por lo tanto, la respuesta energética y ambiental (en lo relativo a la CAI) será de igual modo diversa.

Las regulaciones y recomendaciones actuales no consideran de forma detallada estas diversidades. Como consecuencia, el comportamiento energético y ambiental estimado o simulado de los edificios y viviendas pueden alejarse de la realidad y generar brechas en el comportamiento del edificio y en la percepción del ambiente interior. No obstante, el avance tecnológico permite la recopilación y gestión de datos actualizados relacionados con el uso de los sistemas energéticos y la CAI. Frente a la estandarización basada en perfiles homogéneos, los datos reales permiten personalizar y adaptar las intervenciones y los sistemas de gestión del parque residencial.

Investigaciones previas han demostrado la importancia de incluir los comportamientos y características reales de los hogares y viviendas en el diseño y gestión del parque edificado, ya que estos pueden presentar particularidades y diferencias respecto a otros dentro del mismo edificio o contexto social. Esto sugiere que atender las diversidades y responder a estas en los procesos de diseño de estrategias de intervención y gestión de las viviendas puede aportar información valiosa a los agentes implicados en los contextos de la política energética y la eficiencia energética de edificios. En base a esto, en la presente investigación se parte de la siguiente **hipótesis**:

Aun en edificios con características arquitectónico-constructivas similares y contextos socio-económico y culturales específicos puede haber comportamientos y percepciones del ambiente interior heterogéneas, en contra de la uniformidad exigida en las normativas energéticas y del ambiente interior actuales.

1.2.2 Preguntas de investigación

A partir de la hipótesis se plantean las **preguntas de investigación**:

1. ¿Las características de la vivienda y de los hogares están relacionadas con la percepción del confort y con el uso de la vivienda?, y en ese caso ¿Cuáles son las características relacionadas? (PI.1)

2. ¿Cuál es la situación de confort de los hogares residentes en vivienda social? (PI.2)
3. ¿La percepción del ambiente térmico es subjetiva? y en concreto, ¿En qué medida las características sociales influyen en los hábitos de ocupación y en los comportamientos asociados al ambiente térmico? (PI.3)
4. ¿Existen diferencias entre los resultados del confort térmico percibido y el confort térmico monitorizado generando así una brecha de resultados? (PI.4)
5. ¿De qué modo varían los hábitos de consumo energético y los comportamientos relacionados con el ambiente térmico interior? (PI.5)
6. ¿Cómo se pueden obtener patrones de comportamiento en un conjunto de viviendas para su aplicación en procesos de simulación y gestión avanzada del parque de vivienda público? (PI.6)

1.2.3 Objetivos

En base a lo expuesto, el **objetivo general** de la investigación es el siguiente:

Evidenciar y caracterizar la diversidad de comportamientos y percepciones relativas al ambiente interior de la vivienda.

Se ha utilizado para ello el contexto de las viviendas públicas de alquiler social de la Comunidad Autónoma de Euskadi (CAE), ya que se trata de un ámbito socioeconómico específico, donde hay una mayor capacidad de la administración pública para implementar actuaciones de mejora en las viviendas y en la gestión del parque. Se demuestra esta diversidad primero en un contexto general a escala vivienda en base a datos cualitativos. Se atiende posteriormente a un contexto específico con viviendas de un mismo edificio mediante el análisis de datos mixtos, cualitativos y cuantitativos. En ambos casos, la investigación se centra en el periodo de invierno. En ese sentido, **la investigación se ha estructurado en dos fases y seis objetivos parciales** que pretenden dar respuesta a la hipótesis planteada y a las preguntas de investigación.

La **primera fase** de la tesis estudia y expone las características de la vivienda y de los hogares incidentes en el confort percibido y en el uso de la vivienda. Para ello, se estudia la calidad del ambiente interior desde la perspectiva de las personas y se investiga su relación con las características de la vivienda y del hogar. Este análisis se realiza en el contexto de la vivienda pública de alquiler social, a través de una escala general que permite comprender el entorno. El estudio se acomete con un proceso previo de caracterización arquitectónica y constructiva de la vivienda y un diagnóstico del confort percibido. Esta primera fase responde

las preguntas de investigación PI.1, PI.2 y PI.3. Los **objetivos parciales** de este primer eje son los siguientes:

1. Exponer la asociación entre las características de la vivienda y de los hogares con la percepción del confort: térmico, acústico, lumínico y calidad de aire interior (resultados recogidos en el apartado 5.1).
2. Aportar evidencias de la diversidad del confort percibido (resultados recogidos en el apartado 5.2).
3. Aportar evidencias de la diversidad de los hábitos de ocupación y comportamientos asociados al confort térmico desde la perspectiva de los hogares y profundizar en la percepción del ambiente térmico de la vivienda (resultados recogidos en el apartado 5.3).

Esta primera fase permite identificar los factores clave asociados a la vivienda y a los hogares que inciden en la percepción del ambiente interior y en el uso de la vivienda. Tras obtener una comprensión preliminar del confort percibido en la primera fase, la segunda fase profundiza en el confort térmico como uno de los parámetros de confort con mayor incidencia en la salud y bienestar de las personas. Se pasa a una escala más específica con datos de percepción y monitorización, donde se incide en el consumo energético y en la ocupación de la vivienda.

De este modo, la **segunda fase** aborda la brecha de resultados relacionada con el confort térmico evidenciando las diferencias entre el confort percibido y el confort basado en datos monitorizados. Se demuestra así la influencia de la percepción y la subjetividad de las personas en la definición de la situación de confort de un hogar. Asimismo, se detectan las características de la vivienda y de los hogares que influyen en el comportamiento real de las personas. Por último, se identifican patrones de comportamiento y ocupación aplicables a programas de simulación de edificios y la gestión energética personalizada. Con ello, es posible obtener una comprensión más profunda de las dinámicas complejas que influyen en la eficiencia energética y el bienestar en estos edificios residenciales. De acuerdo con lo expuesto, la segunda fase de la investigación responde las preguntas de investigación PI.4, PI.5 y PI.6, cuyos **objetivos parciales** son los siguientes:

4. Aportar evidencias de la brecha de resultados existente entre el confort higrotérmico subjetivo basado en las respuestas de los hogares y el confort objetivo, basado en los datos monitorizados y las exigencias energéticas (resultados recogidos en el apartado 6.1).
5. Exponer la diversidad de comportamientos atendiendo las variables de temperatura y consumo energético y su relación con las características de la vivienda y los hogares

(resultados recogidos en el apartado 6.2).

6. Definir un método para la detección y definición de perfiles de ocupación y consumo de calefacción y agua caliente sanitaria (ACS) (resultados recogidos en el apartado 6.3).

El estudio profundiza en estos planteamientos enfocados en aportar información que acompañe a los agentes implicados en los procesos de diseño de intervenciones y gestión eficiente del parque de viviendas. De este modo, se favorece la aportación de soluciones que satisfagan las necesidades reales y estén adaptadas a las personas. Asimismo, se incide en obtener información que permita mejorar la calidad de vida de las personas residentes en viviendas de alquiler social y, en última instancia, crear comunidades más sostenibles y habitables. Los datos relativos a la ocupación de la vivienda, la temperatura interior y el consumo de calefacción y ACS aporta información sobre el comportamiento real de los hogares.

La investigación propuesta y sus resultados proporcionan información significativa para demostrar la diversidad de percepciones del ambiente interior y comportamientos de las personas en vivienda social. Se aporta así una primera aproximación para definir pautas para la mejora de la salud atendiendo a la percepción y necesidades reales y mejorar la eficiencia energética de los edificios en base a los comportamientos reales. Todo ello mediante metodologías automatizables para la gestión avanzada del parque de vivienda público.

Se trata de entornos vulnerables con características socio-económicas y demográficas específicas, donde el alto nivel de rotación de la vivienda alquilada influye en el modo de vida y en la percepción que tienen las personas de sus viviendas. Es por ello que entender cómo perciben su entorno y de qué forma influye en su bienestar es esencial para aportar soluciones que respondan a las necesidades reales. Los perfiles de comportamiento y ocupación obtenidos mediante datos reales se podrían integrar en programas de simulación de edificios, lo que permitiría una representación más matizada y precisa de los patrones de consumo de energía. Además, estos patrones podrían proporcionar información valiosa sobre la diversidad de comportamientos de consumo de energía, que podrían aprovecharse para optimizar los sistemas de control y gestión de las comunidades. Al adoptar un enfoque más integral para el análisis del consumo de energía, se podrían desbloquear nuevas oportunidades de ahorro de energía, ganancias de eficiencia y mejora del bienestar de las personas ocupantes en una variedad de casos de uso.

1.3 Descripción de la estructura de la tesis

La presente investigación se ha desarrollado con el objetivo de responder a las preguntas previas. En este documento se recoge el proceso realizado y los resultados y conclusiones obtenidas estructurados en 4 partes principales, comenzando con una primera parte (Parte 1) donde se tratan los aspectos teóricos de la investigación. La segunda parte (Parte 2) define la estructura metodológica que se ha seguido para alcanzar los objetivos de la tesis y el ámbito de investigación con dos escalas, que hace referencia a la primera y segunda fase de la investigación: escala general y escala específica, en ambos casos analizando la vivienda y el hogar de forma particular. La tercera parte (Parte 3) recoge los resultados de la investigación con la aplicación y validación de la metodología, seguido de la última parte del documento (Parte 4) donde se plantean las principales conclusiones y se exponen los distintos medios donde se ha realizado la difusión de los resultados obtenidos. La Figura 1 recoge la estructura general de la tesis doctoral.

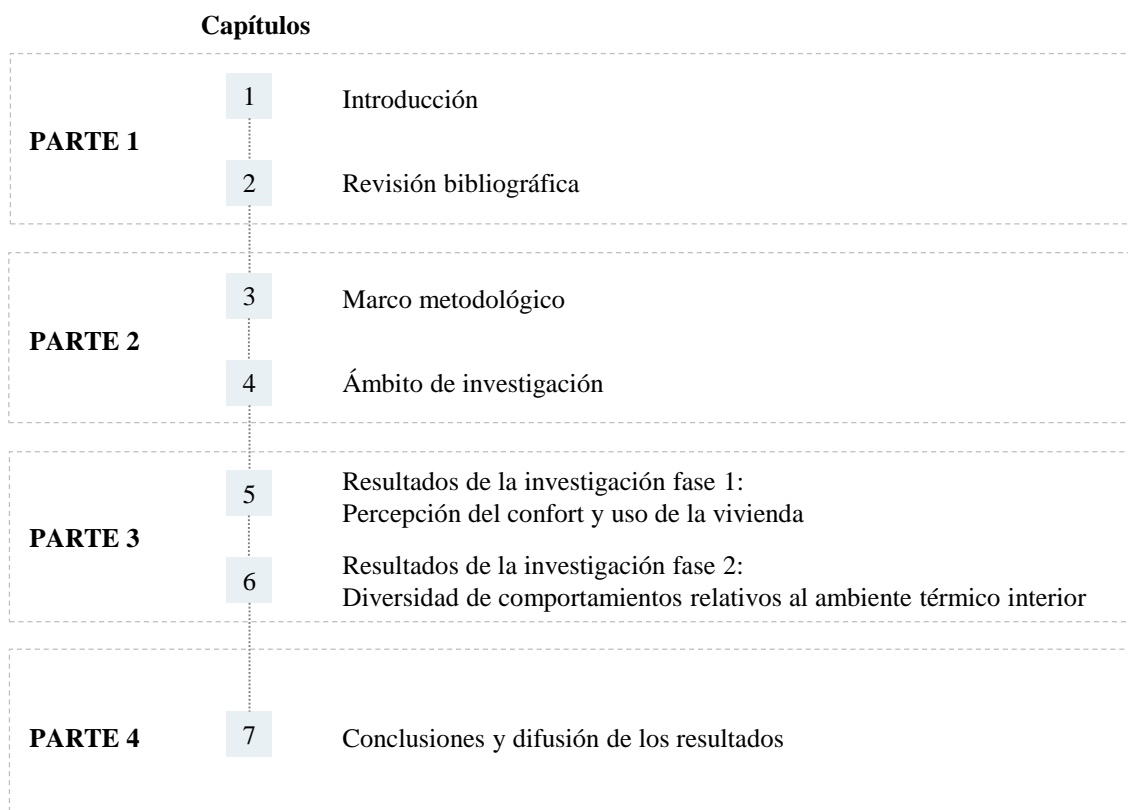


Figura 1. Estructura de la tesis doctoral

2 Revisión bibliográfica

Las personas pueden presentar necesidades, preferencias y comportamientos diversos relativos al ambiente interior de su vivienda. Frente a esta diversidad, los modelos de confort tienden a definir perfiles homogéneos que son aplicados en programas de simulación energética de edificios. Se plantea así una oportunidad de investigación de la diversidad de percepciones del confort y usos de la vivienda en contextos específicos como la vivienda social. Para poder comprender estas diversidades es necesario analizar el contexto teórico previo. Este capítulo recopila la literatura previa relacionada con la diversidad de confort, comportamiento y factores incidentes. Para ello, se estructura en tres apartados principales. Primero, se realiza un análisis de la literatura previa relacionada con la calidad del ambiente interior, donde se ha profundizado en las perspectivas de su estudio y en los factores incidentes, haciendo especial hincapié en el confort percibido. A continuación, se exponen las evidencias del papel de las personas usuarias en el comportamiento energético y ambiental del edificio, profundizando en la diversidad del confort higrotérmico y la obtención de modelos de comportamiento. Por último, se presentan las variables empleadas en estudios previos de análisis del confort y comportamiento de las personas, y en especial, en entornos vulnerables.

2.1 Calidad del ambiente interior y confort

En este primer apartado se han analizado las perspectivas del estudio del confort desde el punto de vista de las personas y los factores ambientales, arquitectónicos y sociales que afectan a la Calidad del Ambiente Interior (CAI) y a la satisfacción general de las ocupantes. Se explica en un primer subapartado la conceptualización de la CAI y el confort percibido, para posteriormente introducir las variables incidentes en la CAI y los métodos de análisis.

2.1.1 Conceptualización

La calidad del ambiente interior viene determinada por varios factores, como la temperatura, la humedad, el ruido, el flujo de aire, la iluminación y la exposición a diversas fuentes de contaminación. En conjunto, estas variables definen los principales parámetros ambientales: condiciones térmicas, condiciones acústicas, condiciones de iluminación y visuales, y calidad del aire interior. Estas variables están interconectadas [57]–[60] y comprometer una de ellas puede repercutir negativamente en los demás [61]. Por ejemplo, un mayor sombreado para reducir la temperatura en verano puede afectar al confort lumínico.

Se puede determinar la CAI de un espacio a partir de los modelos de confort y recomendaciones establecidos en la normativa y regulaciones actuales. Estas normas de confort y bienestar regulan las condiciones ambientales interiores para el diseño y evaluación de la eficiencia energética y el ambiente interior de los edificios, como la UNE-EN 16798 [62], la Norma ASHRAE 55 [63], la Norma Internacional ISO 7730 [64], la guía sobre calidad de aire para Europa de la Organización Mundial de la Salud (OMS) [65] o el Documento Básico de protección frente al ruido (DB-HR) del Código Técnico de la Edificación [66], entre otras. Establecen los rangos óptimos de los parámetros que determinan la calidad del aire interior, las condiciones térmicas, la iluminación y el ruido. Sin embargo, el confort, el bienestar y la satisfacción son parámetros subjetivos que vienen determinados por cada persona. Por tanto, la forma en que las personas perciben el ambiente interior puede diferir de los parámetros ambientales medidos y definidos en la regulación.

A diferencia de los modelos de confort establecidos en las normas, que proporcionan rangos basados en datos medidos objetivos, el bienestar y el confort percibido son parámetros subjetivos. El confort percibido se refiere a cómo perciben las personas el ambiente interior y cómo se sienten, lo cual puede no coincidir con los rangos definidos en las normas de

confort. Se diferencian varios tipos de confort en función de la percepción sensorial implicada: confort térmico, confort acústico, confort lumínico y calidad del aire.

Investigaciones previas han demostrado que el ambiente interior tiene un impacto significativo en los niveles de satisfacción, confort y salud de las personas [67]. Por esta razón, diversos estudios han destacado la necesidad de incluir la percepción del confort y la satisfacción general de las personas en la detección de problemáticas en la vivienda [68]–[70]. Esto es de especial importancia en edificios en los que la ocupación puede ser temporal o en los que los costes del consumo energético están cubiertos por terceros, como en el caso de las viviendas públicas de alquiler social. Entre estos estudios, Xue et al. [71] sugirieron que la CAI percibida puede ser un indicador de la productividad y la salud de las personas. En este sentido, contempla que los datos cualitativos obtenidos acerca del confort percibido pueden emplearse para la definición de las condiciones ambientales interiores, y así mejorar la CAI de las viviendas según las necesidades específicas de los hogares.

La literatura ha demostrado que la satisfacción general y los parámetros de confort están influenciados por las características ambientales interiores, como la temperatura, la humedad relativa, el ruido, la iluminancia, el deslumbramiento, los contaminantes, etc., que a su vez están directamente relacionados con las características del edificio y su contexto, así como las características sociales y el uso de la vivienda por parte de las personas residentes [72]. Es decir, las características del entorno, del edificio y las personas residentes influyen en los parámetros del ambiente interior y a su vez en el confort. La Figura 2 presenta una propuesta de la relación entre los factores explicados, basada en el enfoque presentado por Andargie et al. [73] y Xue et al. [71].

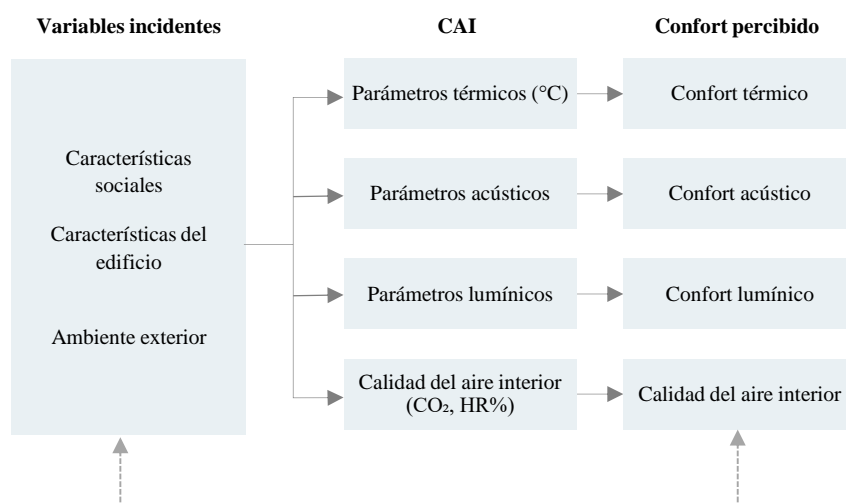


Figura 2. Estructura de los factores que afectan al confort percibido por las ocupantes

El diseño de las intervenciones en los edificios y la gestión energética y medioambiental de las viviendas se basan en datos cuantitativos y, en muchos casos, no responden a las necesidades reales. El estudio del comportamiento y las percepciones de las familias puede aportar información significativa que permita a las partes implicadas detectar soluciones que respondan a las necesidades de los hogares y reducir así las diferencias entre el rendimiento esperado y el real de las viviendas. De este modo, se podría conseguir una optimización adecuada del rendimiento del edificio y la mejora de la salud y la calidad de vida de las personas. En este sentido, el estudio de la mejora del confort y la CAI en las viviendas sociales es cada vez más importante [74]–[77].

2.1.2 Factores incidentes

Investigaciones previas [16], [67], [73], [78] evidencian la significativa contribución de las características del entorno, del edificio y de las personas residentes en la percepción del confort, como la ubicación y el clima, el diseño del edificio, las características constructivas, el género, la edad y la salud o el estilo de vida. Otras publicaciones, agrupan las variables asociadas al edificio y al entorno refiriéndose a estas como los factores ambientales. Estos factores ambientales se refieren a los elementos físicos asociados a un edificio y su entorno. Incluyen la orientación, la envolvente y la zona climática, así como parámetros relacionados con el ambiente interior [79].

Por otro lado, el confort percibido y el uso de una vivienda pueden verse influidos por las características de los hogares, como la edad, el sexo, la salud, el estilo de vida, la situación económica, la propiedad y la relación con el vecindario [73], [80]. Andargie et al. [73] publicó un análisis y discusión detallado sobre la cuestión. En la investigación revisaron los estudios que analizaban el impacto de las características de las personas en el confort. La publicación sugería que la bibliografía presenta diferentes evidencias sobre el impacto de la edad en el confort. Si bien Xue et al. [60] e Indraganti & Rao [81] concluyeron que las personas adultas mayores sienten mayor confort con el ambiente interior, Zalejska-Jonsson [82] en su estudio plantea que las personas mayores tenían una menor satisfacción con la CAI. Por otro lado, recogen las evidencias de estudios previos que sugieren que las principales variaciones en el confort con respecto al sexo se observan en los niveles de confort térmico. El nivel económico también puede influir en el confort, como señalaron Indraganti y Rao [81], que descubrieron que las personas de grupos económicos más bajos tienen una mayor adaptabilidad y un rango de temperatura más amplio para el confort térmico en comparación con los de grupos económicos más altos.

En un estudio realizado por F. Zhang et al. [58], se analizó el impacto de los factores demográficos y ambientales en el confort térmico de los hogares. Se tuvieron en cuenta factores como el sexo, la ventilación, el tipo de edificio y el clima, y se estudió su relación e interacción. Los resultados muestran que estas variables afectan a la forma en que los residentes perciben su confort térmico. Esto coincide con las evidencias recogidas por Schweiker et al. [83], que recopilaron estudios sobre los factores sociales que influyen en la percepción del ambiente interior y el comportamiento de las ocupantes. Estos estudios se centraron principalmente en oficinas o entornos de trabajo simulados. Los principales resultados mostraron que las variables sociales influyen significativamente en la percepción del confort, ya sea positiva o negativamente. Del mismo modo, P. Xue et al. [71] descubrieron que las características físicas del entorno tienen una influencia significativa en la satisfacción general de las ocupantes. Según una investigación previa de Delzendeh [84] sobre la evaluación posterior a la ocupación (en inglés *Post Occupancy Evaluation*), los factores de percepción de los hogares deberían integrarse en los estudios de POE, dando prioridad al confort y la salud de las personas en el diseño de los edificios.

Zalejska-Jonsson y Wilhelmsson [67] sugirieron que la investigación futura debería centrarse en comprender la relación entre los factores que influyen en la percepción y la satisfacción de los hogares y la estructura de efectos causales generada por las variables relacionadas. Por otro lado, Andargie et al. [73] destacaron la falta de investigación sobre variables y condiciones ambientales no relacionadas con aspectos térmicos. En la publicación se expuso que, a pesar del creciente número de estudios que analizan el confort en edificios residenciales, se centran principalmente en variables relacionadas con el confort térmico, mientras que el confort visual, el confort acústico y la satisfacción con la calidad del aire interior se han analizado en menor medida. Además, afirma que existe una evaluación limitada del impacto de los factores no ambientales en el confort, como los factores relacionados con las personas, el edificio y el exterior. Estas evidencias establecen un punto de oportunidad donde ahondar en contextos específicos con tipologías y grupos sociales concretos.

Una gestión eficiente de los edificios, especialmente de los residenciales, requiere comprender cómo perciben las personas las condiciones ambientales interiores [85], y cómo influyen en esta percepción las características del hogar y la vivienda. En particular, las personas que residen en viviendas sociales tienen un perfil social específico que requiere un estudio detallado. Teniendo en cuenta todo lo mencionado hasta ahora, cabe suponer que puede ser necesario profundizar en el estudio del impacto de las características

socioeconómicas y sociodemográficas de los grupos más vulnerables en el confort e identificar sus necesidades, junto con la influencia de otros factores asociados a la vivienda y el entorno. Estudiar estos conceptos es necesario para el diseño y la gestión adecuada de los edificios, a fin de garantizar respuestas flexibles y adaptables a las necesidades reales de las familias.

2.1.3 Métodos de análisis

La CAI se ha estudiado desde distintas perspectivas, condicionando el enfoque, el ámbito de investigación y la recogida de datos.

Andargie et.al. [73] comparan distintos enfoques para el análisis del confort en edificios residenciales. Plantean que existen dos tipos de análisis de la CAI: análisis de un único factor ambiental o análisis multifactorial. Los análisis multifactoriales pueden enfocarse como análisis de los factores de forma independiente de dos o más factores, análisis de la satisfacción general como ranking de los factores ambientales analizados y análisis de la interrelación de los distintos factores ambientales, como se recoge en la Figura 3.

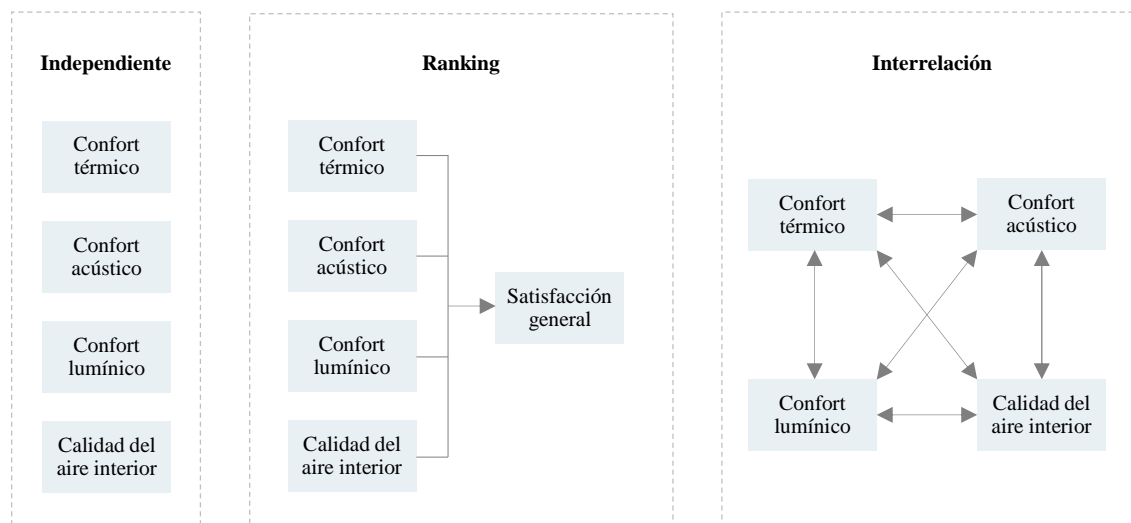


Figura 3. Tipos de aproximación multifactorial al estudio de la CAI. Fuente: Elaboración propia a partir de Andargie et al. [73]

Los estudios con enfoque de factor único y los que aplican análisis multifactorial independiente tienen el objetivo de estudiar uno o más de los cuatro parámetros que afectan la CAI (confort higrotérmico, calidad del aire, confort acústico y confort lumínico y visual) [58], [60], [61]. Este tipo de estudio suele tener como objetivo principal el análisis de las variables que afectan a estos parámetros de confort, como pueden ser las variables ambientales, sociales, arquitectónicas o del entorno. Por otro lado, diversos autores analizan

la satisfacción general estudiando la importancia que cada parámetro de confort presenta en la satisfacción general de la vivienda [86]. El objetivo de estas investigaciones es la detección de la incidencia de cada factor ambiental en la satisfacción general y la priorización de los mismos en la búsqueda de la mejora del confort. Algunas de estas investigaciones estudian el grado de satisfacción definiendo un indicador de la CAI [87]. Por último, diversos estudios analizan de qué forma cada factor ambiental puede influir en el otro evaluando su interrelación [88].

Varios estudios [59], [68], [71], destacan la importancia de centrar la investigación en marcos multifactoriales para el análisis del confort en edificios residenciales. No obstante, como señalan Andargie et al. [73], el número de estudios que analizan los cuatro factores ambientales simultáneamente es inferior al de los que los analizan de forma independiente. Aunque los objetivos o el alcance de la investigación de estos estudios puedan presentar diferencias, evidencian la interrelación de los cuatro parámetros principales de la CAI y su impacto en la satisfacción general de las personas. La satisfacción y el bienestar de cada individuo influirá, como se verá más adelante, en el comportamiento y uso que haga de la vivienda, y, como consecuencia, en el comportamiento del edificio.

El estudio del confort se ha aplicado a diversas tipologías de edificios: residenciales [89]–[91], de oficinas [92]–[95], hospitales [96]–[98] o edificios educativos [99]–[101], entre otros. Nimlyat et al. [102] analizaron el impacto de la CAI en el bienestar y la salud de pacientes hospitalizados. Los resultados mostraron que los factores ambientales con mayor impacto en la satisfacción general de pacientes son la calidad del aire, la calidad de lumínica y la calidad térmica. Otro estudio de Ortiz y Bluysen [103] analizó las preferencias del personal de oficinas que debido a la pandemia del COVID-19 tuvieron que trabajar desde sus casas. En la encuesta se les preguntaba sobre las preferencias en relación con a la CAI, la salud y aspectos relacionados con el espacio de trabajo y el entorno. A partir de los resultados obtenidos argumentaron que distintas afecciones en la salud aumentaron en ese periodo, y que las preferencias sobre la CAI y los aspectos psicosociales estaban asociadas al entorno y al género. Frontczak et al. [104] empleó una encuesta para analizar las diversas variables que afectaban al confort de las personas. Los resultados sugirieron que es necesario concienciar sobre la importancia de una CAI adecuada para la salud, así como mejorar los conocimientos de las personas usuarias de edificios residenciales para garantizar un ambiente interior adecuado. Si bien estos estudios evidencian la influencia de la CAI en la salud y bienestar de entornos de trabajo y de cuidados, este impacto se puede trasladar al ámbito residencial, donde puede existir presencia de menores de edad y personas adultas mayores.

Asimismo, existen diferentes perspectivas para estudiar la CAI: con datos reales basados en estándares de confort (monitorización) [105]–[107] con datos estimados basados en estándares de confort (simulaciones) [108] y a través de las percepciones de las personas residentes (encuestas o entrevistas) [109]–[112]. Mientras que la monitorización y las simulaciones proporcionan datos objetivos, las encuestas y entrevistas aportan la información necesaria para comprender las percepciones subjetivas y las preferencias de las personas residentes.

Los enfoques multidisciplinares que combinan estos métodos [113]–[116] pueden proporcionar una comprensión más completa de los factores que influyen en el confort y el bienestar de las personas. En la investigación actual sobre edificios y viviendas, las metodologías multidisciplinares toman un papel cada vez más importante [117]–[123], sobre todo en el estudio del consumo de energía en las viviendas y en las investigaciones destinadas a mejorar el confort y el bienestar de las personas residentes. En este sentido, el uso de encuestas y entrevistas en el estudio de la CAI puede proporcionar una visión específica y detallada para la mejora del confort y el bienestar de las personas que residen en estas viviendas.

Con relación a los tipos de datos utilizados, dado que las necesidades, preferencias y percepciones de los hogares no pueden obtenerse mediante métodos cuantitativos como la monitorización o la simulación, los análisis cualitativos aplicados tradicionalmente en el ámbito de las ciencias sociales pueden cobrar mayor importancia. Como argumentan Martincigh et al. [124], los datos de seguimiento o simulación deben combinarse con las opiniones de las personas usuarias. Mientras que los métodos cuantitativos pueden proporcionar información objetiva sobre el confort, cuando los datos se analizan en comparación con normas genéricas, los datos cualitativos recogidos con encuestas y entrevistas aportan información sobre la situación particular de los hogares.

Villeneuve y O'Brien [61] proponen una metodología de análisis de la percepción a través de la minería de datos con textos de reseñas de huéspedes de estancias temporales. Esto les permitió identificar los aspectos de la CAI que recibían más quejas y, en consecuencia, los factores que generaban más malestar entre las personas usuarias. Vakalis et al. [68], en cambio, aplicaron una serie de pruebas estadísticas a diferentes hipótesis que relacionaban el malestar percibido por los hogares con variables de la vivienda: la relación entre la posición relativa de la vivienda y el confort térmico en invierno y verano; la orientación de la vivienda y el confort térmico; la orientación de la vivienda y el porcentaje de aberturas en la fachada.

Este tipo de análisis estadístico permite detectar posibles problemas causados por factores espaciales y arquitectónicos del edificio, a partir de las variables de percepción y satisfacción de las personas residentes.

En general, los resultados de los estudios sugieren que un enfoque multidisciplinar que incluya encuestas y entrevistas puede proporcionar una comprensión más exhaustiva de las necesidades y preferencias de las ocupantes relativas al ambiente interior. Este enfoque también puede ayudar a identificar los factores que afectan a la satisfacción general y al confort percibido, incluidas las características socioeconómicas y sociodemográficas, las características del edificio y el entorno exterior. Analizar el confort desde la perspectiva de la percepción, puede complementar la búsqueda de las problemáticas e identificar las necesidades reales de las personas en relación con su vivienda.

2.2 Residentes y su papel en el comportamiento energético del edificio

Como se ha visto en el apartado anterior, la percepción del confort y la incorporación de la subjetividad de los hogares en la toma de decisiones está cobrando mayor importancia. De forma similar está ocurriendo con el comportamiento de las personas ocupantes. Este apartado se centra en la diversidad de preferencias y percepciones asociadas al confort higrotérmico. También incide en el comportamiento de las personas en relación con el ambiente interior y al consumo energético para su aplicación en procesos de simulación energética de edificios.

El comportamiento de las ocupantes (en inglés *Occupant Behaviour*, OB) se refiere a su presencia, movimiento e interacción con la vivienda y sus instalaciones. Según Polinder et al. [125], el comportamiento del ocupante que afecta al consumo de energía se puede definir como las "acciones o reacciones observables de una persona en respuesta a estímulos externos o internos, o respectivamente, acciones o reacciones de una persona para adaptarse a las condiciones ambientales circundantes (como la temperatura, la calidad del aire interior y la luz solar), las actividades del hogar y otras actividades."

El comportamiento del ocupante puede ser adaptativo cuando se realizan cambios para adaptar el entorno a sus necesidades, como abrir o cerrar ventanas o persianas, ajustar el termostato o encender y apagar las luces. Alternativamente, las personas residentes pueden adaptarse al entorno ajustando su ropa, consumiendo alimentos y bebidas frías o calientes, o moviéndose por la casa. El comportamiento no adaptativo, por otro lado, se refiere a acciones

que no se realizan con el objetivo de mejorar el confort, pero aun así tienen un impacto en el consumo de energía del edificio, como la presencia en la vivienda o el uso de electrodomésticos o aparatos electrónicos [126]. Se considera que las ganancias internas de calor producidas por la presencia de personas en la vivienda son acciones pasivas [22], como se recoge en la Figura 4.

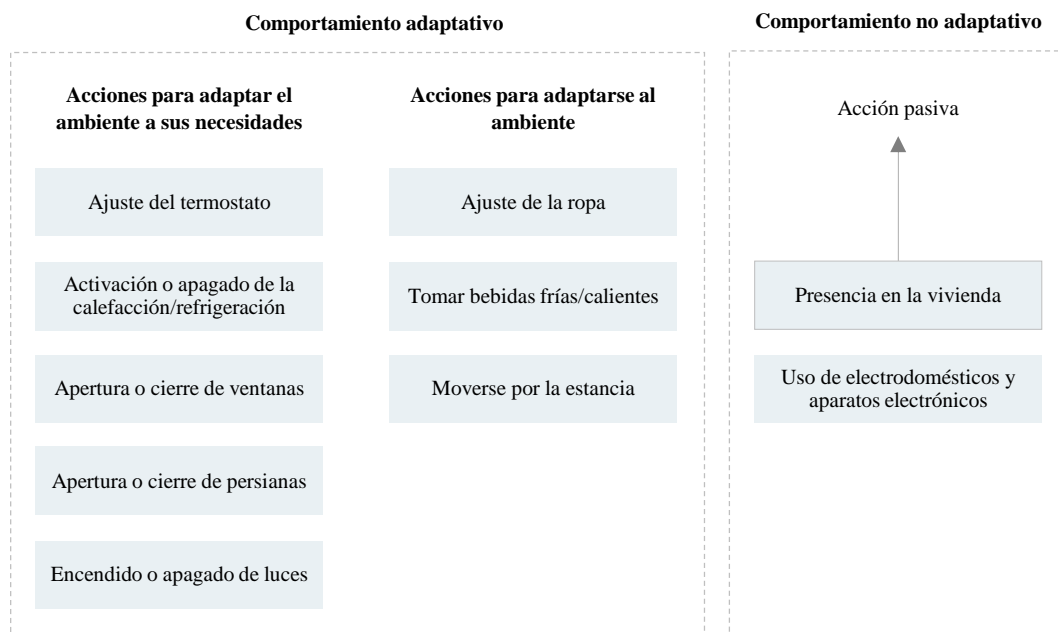


Figura 4. Tipos de comportamientos incidentes en el consumo de energía y confort. Fuente: Elaboración propia a partir de Hong et al. [126]

Si bien la literatura previa ha evidenciado el papel de las personas en el comportamiento energético y ambiental de los edificios [127], [128], se plantea la necesidad de realizar un estudio más detallado del comportamiento, necesidades, preferencias y percepciones de las personas usuarias [69]. El comportamiento de las personas se estudia generalmente mediante la monitorización y la recopilación de datos de ocupación, el desarrollo de modelos de comportamiento y su implementación en herramientas de simulación [129]. Sin embargo, estos enfoques a menudo se centran en aspectos técnicos en lugar de socioeconómicos.

En los últimos años hay una mayor investigación relacionada con la definición de perfiles de comportamiento y ocupación para el ahorro de energía y la reducción del impacto ambiental. No obstante, estos perfiles y preferencias relativas al ambiente interior y el confort térmico pueden variar a lo largo del ciclo de vida de un edificio según diferentes factores [130], especialmente en viviendas de alquiler social. La alta tasa de rotación de los hogares, combinada con la diversidad de preferencias, percepciones y comportamientos, hace que sea difícil incluir a las personas en el estudio del comportamiento energético de los edificios. En

este sentido, integrar información relacionada con el confort térmico y la diversidad de comportamientos de las personas en los procesos de simulación energética de edificios puede proporcionar soluciones que respondan a la realidad de los hogares. Para analizar la diversidad del confort y comportamientos que existe, es necesario considerar el contexto de la investigación actual, así como los requisitos que se tienen en cuenta en el diseño y estudio del comportamiento energético y ambiental de los edificios.

2.2.1 Modelos de confort térmico y brecha de resultados

Como señalaron Stazi et al. [131], los factores ambientales influyen en el comportamiento de los ocupantes y, por consiguiente, en el rendimiento energético del edificio. Los factores ambientales se refieren a aspectos físicos relacionados con las características de la vivienda y su entorno, como la orientación, la envolvente, o la zona climática, así como a los parámetros relacionados con el ambiente interior [79]. Entre los factores ambientales, los aspectos térmicos pueden tener un impacto mayor en la vulnerabilidad energética de los hogares y en la salud de las personas. Estos parámetros, incluyendo la temperatura, la humedad relativa y la velocidad del aire, entre otros, son indicadores del confort térmico [73]. ASHRAE definió el confort térmico como "la condición mental en la que se expresa satisfacción con el ambiente térmico" [63].

Aunque el confort térmico puede ser medido objetivamente, la satisfacción térmica está determinada por la percepción subjetiva de las personas. Por lo tanto, cada individuo puede tener preferencias específicas, lo que lleva a una diversidad de respuestas en contextos socioeconómicos y arquitectónicos similares. Los parámetros térmicos monitorizados se comparan a menudo con estándares o modelos aceptados que se utilizan para determinar si las mediciones indican un ambiente confortable. La percepción del ambiente térmico o los datos sobre la experiencia vivida, por otro lado, suelen obtenerse a través de encuestas o entrevistas a los hogares. En muchos casos, las respuestas subjetivas recopiladas a través de encuestas pueden no coincidir con los rangos de confort establecidos en las regulaciones y recomendaciones para los modelos de confort. Coleman et al. [23] se refieren a esta discrepancia como la "brecha de resultados", que es la diferencia entre el rendimiento medido y la percepción de las personas. Según Coleman et al., varios estudios analizan esta brecha en edificios de oficinas [132], [133], pero este tipo de análisis es menos común en edificios residenciales [113]. Entre estos estudios, Coleman et al. recogen la investigación de Choi et al. [132] cuyo estudio compara las mediciones de la CAI en distintos espacios de la oficina (perimetral e interior) con datos de percepción. Los resultados de este estudio evidencian que

los modelos de confort de las normativas no definen necesariamente las condiciones de confort de las personas.

Si bien el confort térmico es una experiencia subjetiva, tradicionalmente se ha medido utilizando modelos de confort que tienen en cuenta tanto los datos ambientales interiores como exteriores, así como los factores asociados a las personas. Los dos modelos de confort térmico más comúnmente utilizados son el modelo de balance térmico y el modelo adaptativo.

El modelo de balance térmico se basa en estudios realizados por Fanger en laboratorios y cámaras climáticas controladas [134]. El ambiente térmico se evalúa mediante el voto medio estimado (*Predicted Mean Vote*, PMV) que define la sensación térmica de las personas basada en una escala de -3 a 3 (frío a caliente), en relación con seis parámetros: temperatura del aire, temperatura radiante media, humedad relativa, velocidad del aire, aislamiento de la ropa y tasa metabólica. El PMV es un índice que “predice el valor medio de los votos sobre una sensación térmica que emitiría un grupo numeroso de personas sometidas al mismo ambiente” basado en el equilibrio térmico del cuerpo humano y que se emplea para definir el porcentaje estimado de insatisfechos (*Predicted Percentage of Dissatisfied*, PPD). El PPD es “un índice que establece una predicción cuantitativa del porcentaje de personas que se sentirán insatisfechas” en un ambiente determinado [64]. Tanto PMV como PPD se utilizan para evaluar y comparar los entornos térmicos, pero no predicen las respuestas o percepciones reales de las personas.

El modelo adaptativo, por otro lado, se basa en la relación dinámica entre las personas y su entorno, considerando que las personas se adaptan al entorno en busca de confort. Esta adaptación térmica incluye ajustes fisiológicos, psicológicos y de comportamiento [135]. Este modelo se define a partir de una serie de estudios de campo y tiene en cuenta el contexto y el entorno exterior, así como el comportamiento y las expectativas de las personas [136]. Por esta razón, permite una mayor flexibilidad a la hora de adaptar las temperaturas interiores óptimas a la temperatura exterior, especialmente en edificios con ventilación natural [137].

Los modelos de balance térmico se aplican principalmente en entornos donde se conoce el tipo de ropa y el nivel de actividad [138]. Sin embargo, en edificios residenciales, obtener datos sobre la ropa y la actividad puede presentar mayor dificultad, además de ser aspectos variables que dependen de cada persona y del momento del día. Otra ventaja del modelo adaptativo sobre el PMV es que el segundo no contempla características específicas de las personas, como la edad, el sexo o aspectos socio-culturales [139]. Los modelos adaptativos, en cambio, incorporan la influencia del comportamiento de las personas de manera más

extensa en el cálculo de los rangos de confort. Sin embargo, aún pueden surgir discrepancias cuando los comportamientos no adaptativos de los ocupantes juegan un papel significativo en el ambiente interior. La Tabla 1 recoge las principales características de ambos modelos.

TABLA 1. DIFERENCIAS DE LOS MODELOS DE CONFORT. FUENTE: EFEOMA ET AL. [140]

Modelo de balance térmico	En función del ambiente interior
	Espacio ventilado mecánicamente
	Basado en resultados de laboratorio y espacios controlados
Modelo adaptativo	En función del ambiente exterior
	Espacios con ventilación natural
	Basado en estudios de campo

Tres de los estándares más comúnmente utilizados basados en estos modelos son ISO 7730:2005 [64], ASHRAE Standard 55-2017 [63] y EN 16798-1:2020 [62]. La Norma ISO 7730:2005 se basa en modelos de balance térmico, mientras que el estándar ASHRAE 55-2017 y la Norma EN 16798-1:2020 siguen el enfoque adaptativo. Todos estos estándares utilizan el índice PMV-PPD y el modelo de balance térmico como base para definir los rangos de confort térmico y los intervalos de temperatura de funcionamiento de diseño, como se observa en la Figura 5.

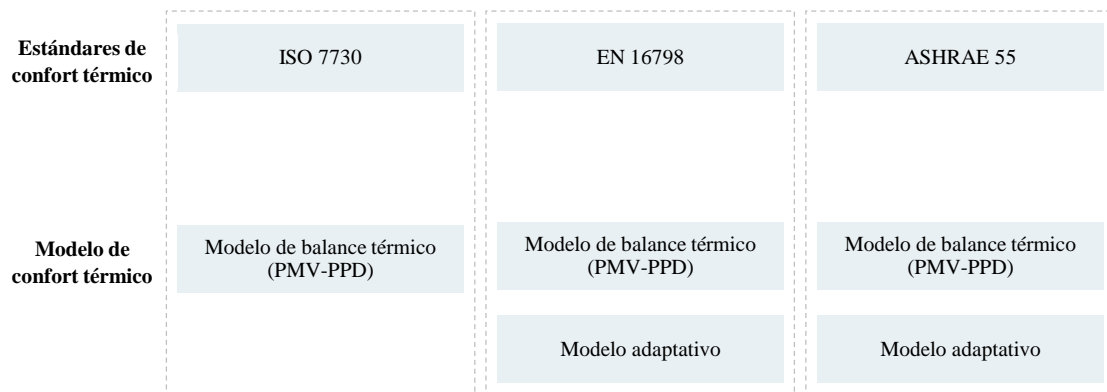


Figura 5. Estándares de confort térmico y modelos empleados

Estas normas establecen categorías para los parámetros de calidad del ambiente térmico interior. Las categorías no coinciden necesariamente entre las distintas normas y la nomenclatura puede variar. Tal y como se recoge en la Tabla 2, en función de la categoría se establece un nivel de exigencia y unos rangos de los parámetros que determinan el ambiente térmico interior de la vivienda. ASHRAE no establece categorías, sino que define un ambiente térmico *acceptable* y establece los valores para alcanzarlo. Generalmente se establece que se debe alcanzar un 80% de aceptabilidad.

TABLA 2. CATEGORÍAS Y EXIGENCIAS DE LA CALIDAD DEL AMBIENTE INTERIOR. FUENTE: ISO 7730 Y EN 16798

Estándar	Categoría y expectativa			
	A	B	C	-
ISO 7730	A	B	C	-
EN 16798	IEQ _I (Alto)	IEQ _{II} (Medio)	IEQ _{III} (Moderado)	IEQ _{IV} (Bajo)

La Norma ISO 7730:2005 [64] se basa principalmente en el trabajo de Fanger. El confort térmico se calcula en un entorno controlado utilizando votos medios previstos (PMV) basados en una escala de -3 a 3 (frío a caliente), en relación con seis parámetros diferentes: temperatura del aire, temperatura radiante media, humedad relativa, movimiento del aire, aislamiento de la ropa y tasa metabólica. ASHRAE establece diferentes rangos de confort higrotérmico en función del entorno exterior y las condiciones en la vivienda. La Norma EN 16798 aplica los índices de confort térmico PMV-PPD de la Norma EN ISO 7730 a edificios con refrigeración mecánica. A edificios con ventilación natural y sin refrigeración mecánica aplica los índices PMV-PPD o el método adaptativo. La Norma EN 16798 establece los límites de temperatura para los periodos de invierno y verano según la temperatura exterior para la categoría II de la siguiente manera:

$$\text{Límite superior } \theta_0 = 0,33 \theta_{rm} + 18,8 + 3$$

$$\text{Límite inferior } \theta_0 = 0,33 \theta_{rm} + 18,8 - 4$$

donde

$$\theta_0 = \text{temperatura de funcionamiento interior, } ^\circ\text{C}$$

$$\theta_{rm} = \text{temperatura de funcionamiento exterior media, } ^\circ\text{C}$$

Estos límites se aplican cuando la temperatura exterior oscila entre 10°C y 30°C. La principal diferencia entre ASHRAE y EN 16798 es la ubicación y el tamaño de las bases de datos utilizadas para definir las ecuaciones de confort. ASHRAE se basa en 21.000 mediciones de diferentes países, mientras que EN 16798 se basa en datos de países europeos como Francia, Portugal, Grecia, Reino Unido y Suecia. Además, la norma ASHRAE se aplica específicamente a oficinas o espacios con actividades sedentarias y un aislamiento de ropa determinado. En contraste, EN 16798 permite que el modelo adaptativo se aplique a espacios sin condiciones de ropa específicas y donde las condiciones térmicas son determinadas por el comportamiento de las personas.

La literatura sugiere la necesidad de investigar más la diversidad de preferencias y requisitos térmicos, así como el estudio de la brecha de resultados en contextos específicos,

como edificios residenciales y grupos vulnerables. Como afirman Coleman et al. [23], "La pregunta crítica que debemos hacernos es qué tipo de datos, Sistema Ambiental o Sistema Humano, es indicativo del rendimiento 'real'. En otras palabras, podemos medir las condiciones interiores y compararlas con un estándar, pero si los ocupantes no están satisfechos, ¿realmente importa que las mediciones cuantitativas cumplan con el estándar?".

2.2.2 Modelos de comportamiento y su incorporación en programas de simulación energética de edificios

Para garantizar un rendimiento eficiente de los edificios y reducir el impacto ambiental, el papel de las ocupantes se está volviendo cada vez más importante. Sin embargo, incluir aspectos relacionados con las personas en el diseño y la gestión de los edificios es complejo debido a la variabilidad y diversidad de los hogares basados en las particularidades de cada persona que los compone.

Stazi et al. [131] y Peng et al. [141] identificaron los factores que afectan al comportamiento de las personas, que incluyen aquellos relacionados con los factores ambientales, temporales, contextuales, fisiológicos, psicológicos, sociales y aleatorios. Delzende et al. [22] plantea una clasificación similar de los factores incidentes en el comportamiento de las personas como los factores climáticos, la tipología edificatoria, la ocupación de la vivienda, factores sociales, arquitectónicos, económicos y de la regulación vigente. La Figura 6 recoge una clasificación de los factores y sub-factores que inciden en el comportamiento de las personas, adaptado de la clasificación propuesta por Delzende et al. [22].

La diversidad de comportamientos y la relación entre los factores sociales y espaciales en la vivienda han sido estudiados anteriormente. Braulio-Gonzalo et al. [142] abordaron los factores sociodemográficos que explican la variabilidad en el comportamiento energético en edificios residenciales. Desarrollaron una metodología para identificar las variables con mayor impacto en el consumo de energía y detectar posibles modelos de predicción que incluyan este tipo de variables. Los resultados demostraron que los perfiles de los hogares tienen un mayor impacto en el consumo de energía que otras variables analizadas. Un estudio anterior de Van den Brom et al. [143] cuantificaron la proporción de variabilidad en el consumo de energía para calefacción atribuida al comportamiento y las características del edificio. Los resultados indicaron que alrededor del 50% de la variabilidad en el consumo de energía entre hogares se debe a diferencias asociadas con las personas, mientras que el otro 50% está relacionado con las características del edificio. Van den Brom et al. [143] realizaron este análisis con una base de datos de viviendas sociales en los Países Bajos.

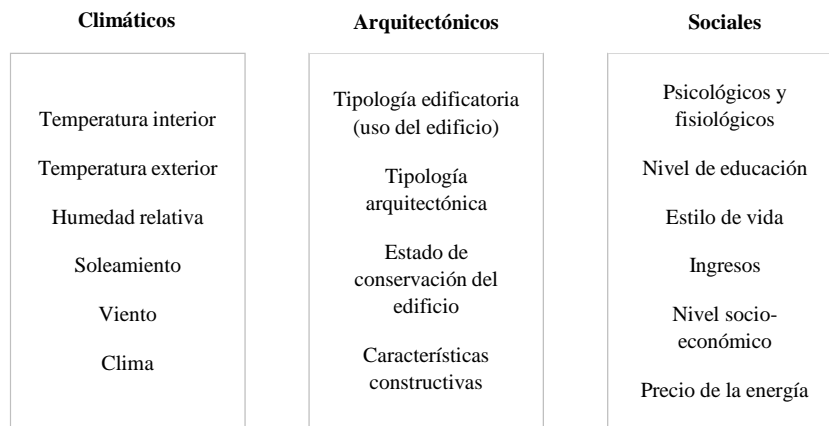


Figura 6. Factores incidentes en el comportamiento energético de las personas residentes. Fuente: Elaboración propia a partir de Delzendeh et al. [22]

Estos estudios sugieren que una variedad de comportamientos puede atribuirse a una variedad de características sociales. Sin embargo, aunque ciertos patrones de comportamiento pueden observarse en un contexto sociocultural particular, estos patrones pueden no ser válidos en un contexto diferente. En otras palabras, otras características sociales fuera del perfil del hogar pueden afectar el comportamiento. Según Harputlugil et al. [144], la definición de las condiciones de confort y el análisis de los estilos de vida de las residentes están poco estudiados. En este contexto, la percepción de los hogares sobre la CAI de la vivienda puede proporcionar información significativa sobre las necesidades reales de los hogares. Los resultados de Bakaloglou et al. [30] mostraron que el ingreso, los gastos energéticos, el número de personas en la vivienda, la edad, el número de equipos eléctricos y las preferencias de confort son factores influyentes en la brecha de comportamiento de los edificios en el entorno residencial francés. Dada la diversidad de hábitos y estilos de vida en diferentes culturas, regiones y características socioeconómicas y demográficas, la evidencia de estos estudios sugiere que es esencial prestar atención a las particularidades de los hogares para proporcionar soluciones que satisfagan las necesidades reales.

Estudios anteriores han analizado esta diversidad de necesidades y comportamientos y definido perfiles de hogares y modelos de comportamiento de las ocupantes [31], [145]. Los modelos de comportamiento se han clasificado en la literatura de varias maneras. Stazi et al. [131] los diferenciaron por el objeto de estudio, como la ocupación [146]–[148] y la interacción con los dispositivos del edificio [149], [150]. Carlucci et al. [151] clasificaron los modelos como horarios estáticos (modelos impulsados por datos), modelos estocásticos y modelos basados en reglas. El primero incluye perfiles de usuarios dependientes del tiempo, como los definidos en las regulaciones. El segundo considera los comportamientos como estocásticos, que pueden evolucionar en el tiempo y entre personas y son el resultado de

relaciones complejas entre factores contextuales, comportamientos adaptativos y no adaptativos. El último modelo que plantea Carlucci et al. [151] se caracteriza por centrarse en el uso de la inteligencia artificial y en métodos de *machine learning*. Gaetani et al. [152], por otro lado, clasificaron los modelos según su complejidad y los clasificaron como modelos no probabilísticos (horarios y modelos impulsados por datos), modelos probabilísticos (modelos estocásticos) y modelos basados en agentes. Los modelos no probabilísticos se refieren a aquellos que representan escenarios simplificados basados en regulaciones (horarios) y aquellos basados en datos reales con modelos impulsados por datos. Los modelos basados en agentes predicen la influencia de las personas modelando a cada individuo, las interacciones entre personas y con el edificio. Los modelos probabilísticos son como los modelos estocásticos explicados previamente. La Figura 7 recoge los modelos anteriores.

Objeto de estudio (Stazi et al. [131])	Modelos de Carlucci et al. [151]	Modelos de Gaetani et al. [152]
Ocupación	Horarios estáticos	No probabilísticos (horarios)
Interacción con las instalaciones y el edificio	Estocásticos	Probabilísticos (estocásticos)
	Basados en reglas	Basados en agentes

Figura 7. Modelos de comportamiento definidos en la literatura previa

La investigación previa emplea modelos no probabilísticos [153]–[155], estocásticos [156]–[158] y modelos basados en agentes [159]. Causone et al. [160] desarrollaron un procedimiento impulsado por datos para crear perfiles de ocupación y consumo de electricidad para su aplicación en modelos energéticos de edificios con datos reales. El procedimiento utilizó algoritmos de aprendizaje automático para obtener entradas de modelos a partir de consumos de electricidad de contadores inteligentes. En otro estudio de Jeong et al. [161] desarrollaron un modelo de comportamiento de uso del aire acondicionado que reprodujo la diversidad del consumo de calefacción y aire acondicionado basado en datos reales. Dichos modelos podrían incorporarse a herramientas de simulación energética para predecir el uso real de energía para un edificio residencial dado, lo que beneficiaría a los distintos agentes como a los propios hogares, entidades gestoras, personas en cargos públicos, proyectistas, etc.

La literatura previa ha estudiado los modelos de comportamiento para la predicción [148], [162] y su aplicación en programas de simulación energética de edificios [163]–[165]. Cuerda

et al. [166] exploraron métodos para reducir la brecha entre el rendimiento energético esperado y el real de los edificios mediante herramientas de simulación. El estudio cuantificó el efecto relativo de diferentes factores arquitectónicos en el consumo energético y desarrolló un enfoque para monitorizar edificios residenciales. El estudio también definió una metodología para la calibración de los modelos aplicados en programas de simulación en dos casos de estudio: antes y después de la rehabilitación energética de las viviendas. Los resultados mostraron una diferencia de cuatro veces en el potencial de ahorro de energía entre los modelos calibrados con parámetros estándar y reales, y destacaron el impacto de los datos climáticos y el comportamiento del usuario en los modelos de simulación.

Por otro lado, Serrano Jiménez et al. [155] realizaron un análisis paramétrico en un edificio residencial en España, utilizando datos reales sobre varios escenarios de consumo de energía por parte de los hogares y basados en los estándares definidos en los procedimientos de certificación energética. Su objetivo era analizar la rentabilidad y los ahorros reales de energía y económicos con diferentes escenarios. Los resultados mostraron que la rentabilidad económica y los ahorros de energía resultantes de una reducción en el consumo de energía dependen sustancialmente de los patrones de consumo reales.

Ren et al. [167] utilizaron métodos de minería de datos, análisis clúster y árboles de decisión para definir patrones de comportamiento asociados con el control del termostato y el uso de calefacción en hogares estadounidenses. Utilizaron el árbol de decisión para determinar la relación entre la configuración del termostato, las características de la vivienda y el sistema de calefacción, y el uso de la calefacción. Los resultados de este estudio evidenciaron la eficacia de la minería de datos para gestionar grandes conjuntos de datos y su aplicación en el diseño de acciones de mejora de edificios.

Los estándares actuales generalmente representan un comportamiento simplificado de los hogares. En este sentido, Zambrano et al. [168] recopilaron investigaciones previas que han demostrado el valor añadido de integrar modelos de comportamiento en programas de simulación energética de edificios. Los objetivos de las simulaciones en estos estudios cubren diferentes aspectos, desde la optimización del diseño de la envolvente [169], la identificación de los aspectos más influyentes de las necesidades de energía [170] y la evaluación del confort térmico [171]. El estudio de Zambrano et al. [168] también identifica brechas observadas en la literatura previa que deben abordarse para la integración de modelos de comportamiento en procesos de simulación de edificios. Estas brechas incluyen la necesidad de investigaciones detalladas sobre el comportamiento de las personas en diferentes contextos

de zonas climáticas, tipologías de edificios, países y aspectos de las personas. También propone la necesidad de validar los modelos desarrollados.

Otras investigaciones previas como el IEA EBC Annex 79 (“Occupant-centric building design and operation”, 2018-2023) [130] se crean con el objetivo general de integrar y aplicar la ocupación y el comportamiento de los ocupantes en el proceso de diseño y el funcionamiento de los edificios para mejorar tanto el rendimiento energético como el confort de los hogares. La Figura 8 recoge el planteamiento del Annex 79 relativo al papel activo de las personas en el comportamiento de los edificios.

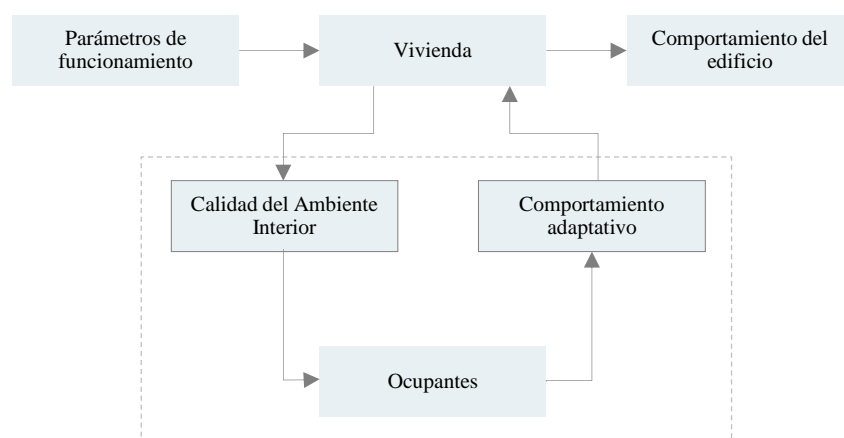


Figura 8. Relación bidireccional entre ocupantes y edificio. Fuente: Elaboración propia a partir de O'Brien [130]

En conjunto, estos estudios proporcionan una información importante sobre la oportunidad de utilizar modelos de comportamiento para mejorar la precisión de los resultados de simulación. Esto permitiría obtener unos resultados más precisos para su aplicación en análisis del ciclo de vida y análisis de viabilidad económica. Además, estos modelos podrían incorporarse en el desarrollo de diseños de edificios y equipos personalizados, acciones de rehabilitación y estrategias de gestión.

Dado que el comportamiento de las personas depende en gran medida del contexto, comprender la variabilidad de este comportamiento y definir perfiles basados en edificios específicos puede llevar a la obtención de mejores modelos. Para lograr esto, se requieren datos de monitorización. Guerra-Santin y Tweed [28] clasificaron las técnicas para analizar el comportamiento de las personas en dos grupos principales: monitorización física e investigación del ocupante. El primero mide las condiciones reales del edificio, como la temperatura, la humedad relativa, el consumo de calefacción y ACS, la apertura y cierre de ventanas, el ruido, la presencia de personas y el uso de electrodomésticos. El segundo se basa en preguntar a las personas sobre la actividad que realizan en el edificio y las razones del

modo de uso, para lo cual se aplican encuestas, entrevistas, diarios, observación o acompañamiento a través del edificio. Investigaciones previas han utilizado tanto la monitorización física [149], [160], [172] como la investigación del ocupante [147], [173], así como métodos mixtos que combinan datos de las ocupantes con la monitorización del edificio [113], [174]–[177].

Entre los estudios que incluyeron encuestas y datos de percepción subjetiva junto con los datos de monitorización, Silva et al. [175] compararon resultados cualitativos y cuantitativos (encuestas y monitorización) de edificios residenciales en Luxemburgo. El estudio destacó la importancia de conocer los hábitos y opiniones de los hogares para reducir el consumo y mejorar su calidad de vida. Las encuestas incluyeron datos socio-demográficos, como sexo, edad, tiempo pasado en la vivienda, número de personas en el hogar, así como datos sobre el uso de la vivienda.

La monitorización del edificio permite la observación no solo del comportamiento de las ocupantes, sino también de sus necesidades y actitudes hacia la vivienda. Esto, combinado con análisis del campo de las ciencias sociales, puede ayudar a proporcionar soluciones adaptadas a las necesidades reales [117]. Los métodos simplificados para medir el comportamiento de las personas pueden aumentar la brecha entre lo simulado y la realidad [126]. Como argumentan Martincigh et al. [124], los datos de monitorización y las simulaciones deben combinarse con las opiniones de los usuarios. Por lo tanto, comprender el comportamiento de los hogares mediante la combinación de enfoques cualitativos y cuantitativos podría ayudar a reducir esta brecha de rendimiento del edificio y mejorar el bienestar de las personas. Estudiar el comportamiento y las percepciones de los hogares puede ayudar a las personas con poder de decisión a identificar soluciones que satisfagan las necesidades de las residentes. Esto puede ayudar a reducir la brecha entre el rendimiento de la vivienda esperado y real. Este enfoque también podría llevar a una optimización significativa del rendimiento del edificio y la mejora del confort percibido. En la Tabla 35 del Anexo 1 se recogen las publicaciones revisadas donde se investiga el comportamiento de los hogares en edificios residenciales.

La evidencia presentada en esta sección sugiere que hay una oportunidad para estudiar más a fondo los factores sociales y arquitectónicos que influyen en el comportamiento de las personas dentro del contexto de la vivienda social. Además, los estudios revisados aquí evidencian que definir modelos de comportamiento en contextos específicos, como la vivienda social en climas templados, puede requerir investigaciones detalladas. Considerando

el papel del confort y el comportamiento de las personas para alcanzar mejoras del bienestar y la eficiencia energética de los edificios, es necesario identificar qué variables se han empleado en la literatura previa, como se explicará en la próxima sección.

2.3 Variables incidentes en la percepción del confort y el comportamiento de las personas

Como se ha presentado en la sección anterior, investigaciones previas han evidenciado que existe una importante brecha entre el comportamiento real y el previsto de los edificios y sus viviendas, lo que genera consecuencias sanitarias, ambientales y económicas: riesgos para la salud de las personas residentes, aumento o no-reducción del impacto ambiental y consumo energético de las viviendas, pay-back elevado, intervenciones de rehabilitación inviables económicamente, etc. A esta cuestión hay que añadir que los estándares energéticos y de habitabilidad de las viviendas son cada vez más estrictos y son éstos los que definen los rangos ambientales y energéticos a cumplir en las estrategias de rehabilitación de viviendas. Ahondando en el problema, estos estándares generalmente uniformes se aplican en territorios diversos. Como consecuencia, se ha comprobado que no responden a las necesidades reales y a la diversidad de las estructuras familiares, especialmente entre los colectivos vulnerables como son las personas residentes en viviendas sociales.

En paralelo a esta discusión, diversas investigaciones han demostrado que la satisfacción general y el confort percibido está influenciado por la CAI, y esta, a su vez, por factores como las características socio-económicas y socio-demográficas de las personas residentes, las características del edificio y las características del ambiente exterior y del entorno. Analizar la relación entre estos factores y los distintos parámetros de confort percibido, puede facilitar la detección de problemáticas del parque de vivienda pública.

Las evidencias expuestas sugieren que es importante incorporar las variables socio-económicas, socio-demográficas y de uso de la vivienda al análisis de las necesidades actuales de los colectivos demandantes de vivienda social. El estudio del comportamiento y de la percepción del ambiente interior de las familias puede proporcionar información significativa que permita a los agentes implicados detectar soluciones que satisfagan las necesidades de las personas residentes. De esta forma, sería posible reducir las diferencias entre el rendimiento esperado y el real de las viviendas. Del mismo modo, se ha detectado que la

utilización de enfoques multidisciplinares en el estudio de la CAI puede aportar una visión más amplia y detallada para la mejora del confort y el bienestar de las personas.

En este sentido, se ha comprobado que los comportamientos, preferencias y necesidades de las personas residentes en vivienda social no se han estudiado en profundidad y es necesario incorporar estas cuestiones a la investigación. Asimismo, son necesarios más análisis interdisciplinares, donde se genere un cruce entre las herramientas empleadas, como la monitorización, la simulación y la encuesta.

Una vez identificados los espacios de oportunidad en la literatura relativos a la diversidad de percepciones del confort y comportamientos de las personas residentes en vivienda social, se plantea la necesidad de identificar los indicadores y variables que se han empleado en investigaciones previas. En esta sección, se analiza la literatura previa clasificándola en dos grupos de acuerdo a los objetivos de los estudios que llevan a cabo: caracterización arquitectónica o caracterización socio-económica. En un primer apartado se exponen los indicadores empleados en ambos grupos y finalmente se detallan las variables empleadas en la investigación previa. En este apartado se atiende de nuevo a un contexto general del ambiente interior, incluyendo los distintos factores ambientales que influyen en el confort: confort térmico, confort acústico, confort lumínico y calidad del aire.

2.3.1 Variables empleadas en la literatura previa

De las evidencias presentadas en la sección anterior, se extrae la necesidad de definir unos indicadores para analizar el parque de vivienda social, detectar posibles problemáticas de este y estudiar las necesidades y comportamientos reales de las familias residentes. Esta investigación pretende aportar un enfoque integral a la discusión existente sobre confort y uso de la vivienda. Por esta razón, se han analizado investigaciones e informes que incluyen también en su estudio variables y parámetros ambientales no relacionados con aspectos térmicos, que se incorporan junto a aquellas destinadas a analizar el comportamiento energético del edificio. De esta forma, en esta sección se toman como referencia básica 21 estudios y publicaciones relevantes que se clasifican en dos grupos diferenciados en función de sus objetivos: caracterización arquitectónica y caracterización social.

En este sentido, el proceso de identificación de variables se ha abordado desde dos enfoques según los objetivos de las investigaciones previas: por un lado, se han revisado proyectos y publicaciones dirigidas a la caracterización de la edificación, bien desde una perspectiva arquitectónica-constructiva, o bien desde una perspectiva energética; por otro lado, se han

estudiado publicaciones centradas en la caracterización socio-económica y socio-demográfica de determinados colectivos o ámbitos sociales. Las referencias analizadas en la presente sección son las recogidas en la Tabla 3.

TABLA 3. REFERENCIAS ANALIZADAS

Código	Ref.	Fuente
Bloque 1: Caracterización del edificio o vivienda		
F.1.1	[178]	ERESEE (2020).
F.1.2	[179]	INE, Encuesta de Condiciones de Vida (2019).
F.1.3	[180]	B. Montalbán Pozas, F.J. Neila González (2018).
F.1.4	[181]	M. Marta, L.M. Belinda (2017).
F.1.5	[29]	O. Guerra-Santin, N. Romero Herrera, E. Cuerda, D. Keyson (2016).
F.1.6	[182]	R. Escandón, R. Suárez, J.J. Sendra, (2016).
F.1.7	[183]	T. Loga, N. Diefenbach, E.G. Dascalaki, C. Balaras, First TABULA Synthesis Report (2010).
F.1.8	[184]	Análisis de las características de la edificación residencial en España (2011).
F.1.9	[185]	AICIA, Escala de calificación energética para edificios existentes (2011).
Bloque 2: Caracterización socio-económica y socio-demográfica de los hogares		
F.2.1	[179]	INE, Encuesta de Condiciones de Vida. (2019).
F.2.2	[73]	M. S. Andargie, M. Touchie, and W. O'Brien (2019).
F.2.3	[16]	A. Zalejska-Jonsson (2019).
F.2.4	[50]	World Health Organization, Environmental health inequalities in Europe. Second assessment report (2019).
F.2.5	[186]	Instituto Nacional de Estadísticas, "Encuesta de presupuestos familiares."
F.2.6	[68]	D. Vakalis, M. Touchie, E. Tzekova, H. L. MacLean, and J. A. Siegel, (2019).
F.2.7	[22]	E. Delzende, S. Wu, A. Lee, and Y. Zhou (2017).
F.2.8	[113]	M. F. Touchie, E. S. Tzekova, J. A. Siegel, B. Purcell, and J. Morier (2016).
F.2.9	[71]	P. Xue, C. M. Mak, and Z. T. Ai, (2016).
F.2.10	[187]	T. Hong, S. C. Taylor-Lange, S. D'Oca, D. Yan, and S. P. Corgnati (2016).
F.2.11	[188]	M. Pekkonen, L. Du, J. P. Skön, M. Raatikainen, and U. Haverinen-Shaughnessy (2015).
F.2.12	[67]	A. Zalejska-Jonsson and M. Wilhelmsson (2013).

Se ha observado en las distintas investigaciones e informes que las variables empleadas en los análisis se clasifican en varios grupos diferenciados. Estos grupos presentan una estructura similar en la literatura previa. Si bien cada investigación puede presentar una estructura propia, las agrupaciones muestran características comunes.

En base a las relaciones observadas entre los grupos de variables de la literatura previa, se detectan 8 grupos principales que se recogen en la Tabla 4.

A partir de los grupos identificados previamente, se atiende a las variables empleadas en la literatura previa enfocada, por un lado, en los aspectos de la edificación, y, por otro lado, en los hogares y en los aspectos de comportamiento.

TABLA 4. SÍNTESIS DE LAS AGRUPACIONES DE VARIABLES IDENTIFICADAS EN LA LITERATURA PREVIA

Tipo de dato	Objetivo
Características posicionales y del ambiente exterior	Se refieren al entorno próximo: localización geográfica, climática, higrotérmica, física y estética.
Características arquitectónicas y morfológicas	Incluye las variables que describe tipológicamente y morfológicamente el edificio o la vivienda a la que hacen referencia.
Características constructivas, físicas y térmicas	Propiedades de los materiales y elementos que componen la envolvente térmica del edificio o vivienda
Características energéticas e instalaciones	Sistemas eléctricos y térmicos de la vivienda. Acceso a la energía y fuentes de energía utilizadas.
Características socio-económicas y socio-demográficas	VARIABLES RELATIVAS A LOS MIEMBROS DEL HOGAR: adultos, menores, personas dependientes, etc.
Características del ambiente interior y estado de conservación	Parámetros higrotérmicos, lumínicos y acústicos. Se incluye el estado del edificio y posibles deficiencias.
Comportamiento de las personas residentes	Uso y comportamiento de las personas residentes. Interacción con la vivienda y el edificio.
Percepción y satisfacción	Percepción del confort y satisfacción general de las personas residentes.

2.3.2 Características espaciales de la vivienda

A pesar de que el presente proyecto centra su ámbito de estudio en la escala vivienda, se han revisado estudios con un enfoque más amplio, donde se analizan también los edificios en su totalidad. Los proyectos analizados presentan una serie de características comunes en la selección de variables, independientemente de sus objetivos específicos.

Se han detectado 5 proyectos clave sobre la caracterización de la edificación. Las escalas que se trabajan son a nivel europeo como el proyecto Tabula [183], o a nivel estatal como el ERESEE 2020 (Estrategia a Largo Plazo para la Rehabilitación Energética en el Sector de la Edificación en España) [178] o el “Análisis de las características de la edificación residencial en España (2011)” [184]. Los proyectos abordan la caracterización del edificio con distintos fines: desde la obtención de indicadores para definir el rango de eficiencia energética del parque [185], hasta un diagnóstico tipológico-constructivo como paso previo para el diseño de enfoques y estrategias de intervención y rehabilitación del parque [178]. Por otro lado, a pesar de que en sí misma no tenga como objetivo la caracterización de la edificación, la Encuesta de Condiciones de Vida [179] del Instituto Nacional de Estadística incluye ciertas variables de diagnóstico de la vivienda que encaja con el enfoque del presente proyecto.

Entre los proyectos analizados cabe destacar el proyecto Tabula [183], que desarrolla una clasificación tipológica de edificios residenciales de 13 países europeos. El proyecto Tabula

está enfocado en la evaluación energética y la mejora de la eficiencia energética del parque residencial, por lo cual la clasificación tipológica incluye variables relacionadas con el consumo de energía, como son el periodo de construcción y el tamaño del edificio. Cada tipología se clasifica según 4 factores determinantes, siendo los dos primeros el eje de la matriz tipológica: año/periodo de construcción, geometría/tamaño del edificio, localización del edificio, tipo y antigüedad de los equipos de climatización. El objetivo del proyecto es estructurar la diversidad de características energéticas del parque residencial europeo.

También es importante destacar la Estrategia a Largo Plazo para la Rehabilitación Energética en el Sector de la Edificación en España [178], publicada por primera vez en 2014 y actualizada en el año 2017 y en junio de 2020. En lo relativo a las variables empleadas, cabe destacar el diagnóstico del parque residencial de España que se explica en la Estrategia, para lo cual se realiza una segmentación del parque en clústeres tipológicos en base a las diferentes zonas climáticas y al consumo de energía.

En estos proyectos las variables que se emplean corresponden principalmente a la definición arquitectónica y constructiva del edificio o la vivienda. En menor medida se emplean variables relativas al comportamiento energético, del entorno o del estado de conservación y ambiente interior de la vivienda.

Por otro lado, se ha detectado un importante debate en la discusión científica sobre la brecha existente entre el comportamiento energético teórico del edificio y el real de la vivienda, dependiente de las personas residentes y el modo de uso de la misma. Las investigaciones están centrando sus esfuerzos en dar soluciones que se ajusten al uso real de la vivienda para mitigar las consecuencias que se dan por la existencia de esta brecha: sanitarias, ambientales y económicas.

El hilo argumental general de estos estudios es la reducción del consumo energético y el impacto ambiental del parque residencial. En alguno de los estudios revisados se hace especial hincapié al análisis de la edificación y al diseño de escenarios de intervención [6,7]. Otros estudios centran la investigación en el comportamiento energético del edificio y el impacto del comportamiento de las personas residentes en el mismo [29], [56], [182]. Alguno de estos estudios define el ámbito de análisis en la vivienda social, mientras que otros en vivienda residencial privada. Se han detectado que las variables que más emplean estas investigaciones corresponden a las características arquitectónicas, constructivas y energéticas del edificio.

La Tabla 5 resume los grupos de variables que presenta cada referencia revisada en base a las características definidas en la Tabla 4. Si bien algunas referencias recogen información relativa a las características sociales y del ambiente interior de la vivienda, la caracterización de las viviendas se realiza principalmente con las variables asociadas a las características posicionales, arquitectónicas, constructivas y energéticas.

TABLA 5. TIPOS DE DATO INCLUIDOS EN EL PRIMER GRUPO DE REFERENCIAS

Tipo de dato	F.1.1	F.1.2	F.1.3	F.1.4	F.1.5	F.1.6	F.1.7	F.1.8	F.1.9
Características posicionales y del ambiente exterior	×	×	×	×		×	×	×	×
Características arquitectónicas y morfológicas	×	×	×	×	×	×	×	×	×
Características constructivas, físicas y térmicas			×	×	×	×	×		×
Características energéticas e instalaciones	×				×	×	×	×	×
Características socio-económicas y socio-demográficas		×							
Características del ambiente interior y estado de conservación	×	×					×	×	
Comportamiento de las personas residentes		×							
Percepción y satisfacción									

2.3.3 Características sociales de los hogares

El segundo grupo de referencias revisadas incluyen la Encuesta de presupuestos familiares [186] y la Encuesta de Condiciones de Vida (ECV) [179] del Instituto Nacional de Estadística. La encuesta de presupuestos familiares se basa en la clasificación internacional utilizada en Eurostat para las encuestas de presupuestos (COICOP/HBS) [190]. Por otro lado, la ECV sigue una metodología homologada en el conjunto de la UE, conocida como *European Statistics on Income and Living Conditions* (EU-SILC) [191].

Asimismo, varios de los artículos analizados contribuyen en la discusión sobre el impacto que los parámetros de la CAI de las viviendas tienen en la satisfacción general de las personas residentes. También analizan el impacto de otros factores en la CAI, como las características socio-económicas y socio-demográficas, del edificio y del entorno próximo [16], [67], [71]. Los resultados de estas investigaciones evidencian la relación existente entre los factores mencionados, es decir, la relación entre la CAI y la satisfacción general de las personas y la relación entre la CAI y otro tipo de factores sociales, arquitectónicos o del entorno. Estos análisis incorporan encuestas realizadas a los hogares.

Los estudios incluyen de forma general variables relacionadas con las características socio-económicas, posicionales y del entorno, del edificio y del ambiente interior. Se ha observado que para una comprensión general de la satisfacción y de la Calidad del Ambiente Interior es imprescindible incorporar variables ambientales no relacionadas con el confort térmico [68], [71].

Otras investigaciones [22], [68], [115], [187] incluyen el comportamiento de las personas residentes como otro indicador. Vakalis et al. [68] plantea que en la muestra de su investigación, las intervenciones de las personas residentes no eran efectivas para mejorar el confort, como la apertura o cierre de ventanas o el uso de ventiladores. En cambio, los resultados de la publicación de Jimenez-Bescos y Oregi [115] sugieren que mediante la incorporación de variables relacionadas con el comportamiento de las personas en las simulaciones, se obtienen resultados más precisos que permiten reducir la brecha existente.

Por otro lado, se han incluido otros informes y publicaciones del ámbito de estudio que no comparten un objetivo relacionado, pero que incluyen una perspectiva que interesa incorporar en el estudio [73], [113], [188], [192].

TABLA 6. TIPOS DE DATO INCLUIDOS EN EL SEGUNDO GRUPO DE REFERENCIAS

Tipo de dato	F.2.1	F.2.2	F.2.3	F.2.4	F.2.5	F.2.6	F.2.7	F.2.8	F.2.9	F.2.10	F.2.11	F.2.12
Características posicionales y del ambiente exterior	×	×			×		×		×	×		×
Características arquitectónicas y morfológicas	×				×	×	×	×	×	×		×
Características constructivas, físicas y térmicas												
Características energéticas e instalaciones				×	×		×					
Características socio-económicas y socio-demográficas	×		×		×	×	×	×	×	×	×	×
Características del ambiente interior y estado de conservación	×	×		×			×			×	×	
Comportamiento de las personas residentes	×				×			×	×	×		×
Percepción y satisfacción			×			×	×	×	×		×	

La Tabla 6 recoge los distintos tipo de datos incluidos en las referencias de este segundo grupo. Se puede ver que las variables socio-económicas y socio-demográficas cobran un papel

importante. En comparación con las referencias del subapartado anterior, estas referencias emplean con mayor frecuencia variables de percepción y de uso de la vivienda, necesarias para analizar las necesidades de las familias residentes. Asimismo, se detecta que las variables que definen el ambiente interior de la vivienda se emplean generalmente en aquellos estudios donde se realiza una comparativa de los datos objetivos medidos o simulados con los del confort percibido.

Las referencias revisadas sugieren que el uso de datos cualitativos y cuantitativos asociados tanto a la vivienda como a los hogares puede ayudar a mejorar la eficiencia energética y a reducir el impacto ambiental del parque edificado, sin dejar atrás la mejora de la calidad de vida de las personas.

En general, la literatura analizada revela que incluir de forma combinada variables asociadas a la vivienda y los hogares en el estudio de la diversidad de confort y comportamiento puede aportar información más precisa de los factores incidentes y su interrelación. Asimismo, las evidencias revisadas en este capítulo sugieren que se requiere profundizar en el estudio de la influencia de los factores espaciales y sociales en el confort subjetivo y de qué forma difiere ese confort en contraste a los modelos de confort definidos en normativas. Por otro lado, se ha detectado que es preciso un estudio detallado del impacto de estos factores en el comportamiento energético en contextos sociales específicos como la vivienda social, y la definición de modelos de comportamiento a partir de datos reales. Para abordar estas cuestiones, en el próximo capítulo se expondrá la metodología aplicada en la investigación.

Parte 2

Marco metodológico y ámbito
de investigación

3 Marco metodológico

El estudio de la diversidad del confort y de los comportamientos de las personas residentes en vivienda social se ha llevado a cabo en dos fases de investigación. La primera fase basa sus análisis en datos reales de confort percibido y uso de la vivienda, junto con datos relativos a la vivienda y los hogares. La segunda fase emplea datos reales de percepción del ambiente interior y monitorización física de la vivienda. A continuación, se expone el marco metodológico propuesto, replicable en otros contextos climáticos, arquitectónicos y sociales.

3.1 Síntesis y estructura de la metodología

La investigación se ha llevado a cabo en dos fases que pretenden dar respuesta a las preguntas de investigación y a la hipótesis planteada. De esta forma, la consecución de las dos fases permite lograr el objetivo principal de la tesis.

La fase 1 del estudio responde las tres primeras preguntas de investigación expuestas en el apartado 1.2.2 capítulo de introducción, con el objetivo de evidenciar de qué forma influyen los factores arquitectónicos de la vivienda y los factores sociales de los hogares en el confort percibido y en el uso de la vivienda. En esta primera fase se propone una aproximación multivariable y con datos cualitativos en el contexto de la vivienda pública de alquiler social, como se muestra en la Figura 9. Se ha comenzado realizando un análisis de las variables sociales y de la vivienda asociadas al confort percibido y al uso de la vivienda [PI.1], aplicando un análisis inferencial y un análisis descriptivo para los estudios de detalle y discusión. A continuación, se ha estudiado la percepción del confort desde dos perspectivas [PI.2]. Por un lado, se ha caracterizado una muestra de las viviendas del parque público de alquiler social y se ha realizado una aproximación al análisis del confort por tipología de vivienda. Por otro lado, se ha analizado el confort por perfil socio-económico y socio-demográfico. Finalmente, se evidencia la diversidad de comportamientos asociados al confort térmico y se profundiza en la percepción del ambiente térmico de la vivienda [PI.3].

En esta primera fase, se analiza el contexto de los cuatro parámetros de confort principales que determinan el ambiente interior (confort térmico, confort acústico, confort lumínico y calidad del aire). Para determinar en qué medida existe divergencia o asociación con las características de la vivienda y de los hogares el análisis se aplica a viviendas pertenecientes a diversos edificios, situados en distintas áreas geográficas y construidos bajo diferentes normativas de la edificación.

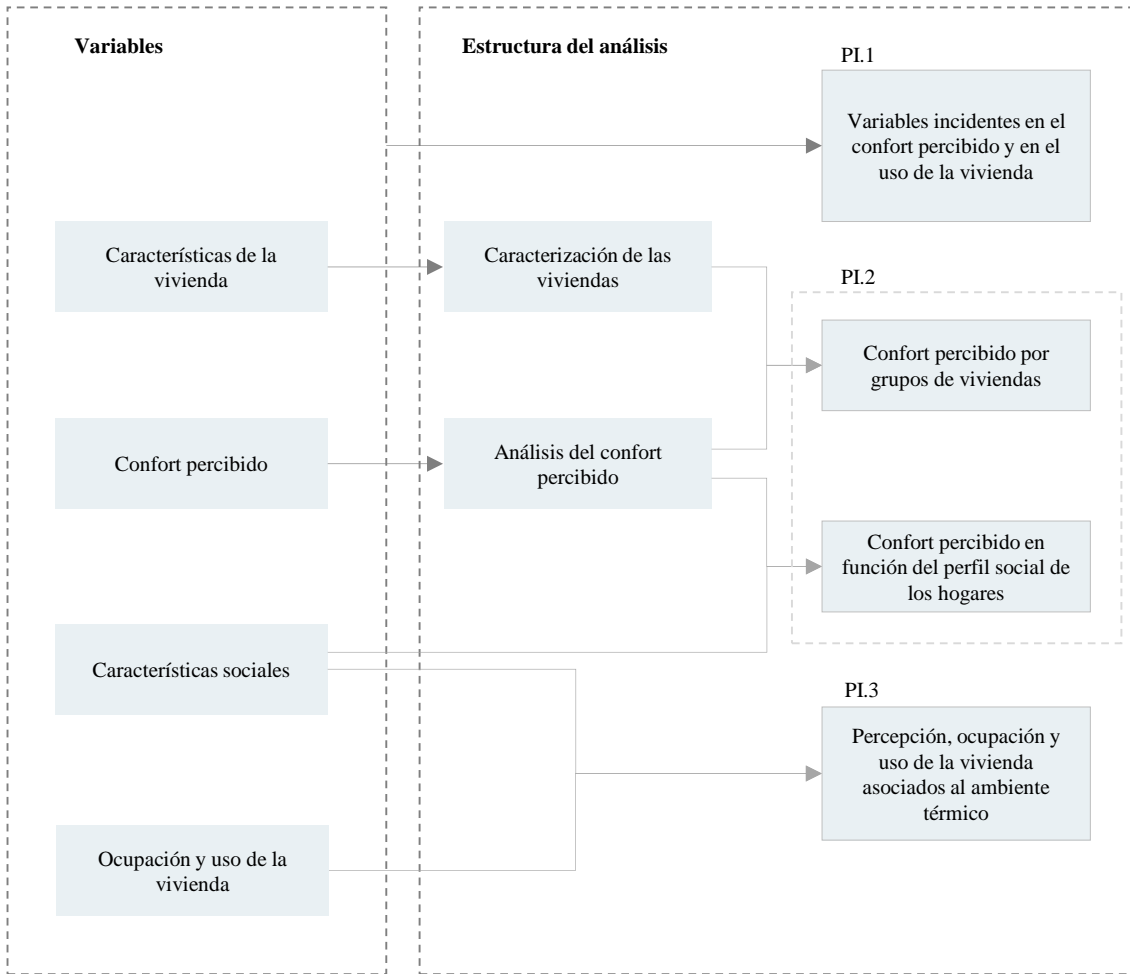
En la segunda fase del proyecto la escala de la investigación se acota tanto en los parámetros ambientales analizados como en el contexto de viviendas y edificios incluidos. Se pretende así centrar el objetivo en el ambiente térmico en invierno y la comparación de datos monitorizados y percibidos. En este caso, se aborda la brecha de resultados relacionada con el confort térmico en invierno y se identifican posibles patrones de comportamiento y ocupación aplicables a programas de simulación de edificios. En esta segunda fase, se emplean datos mixtos, cuantitativos y cualitativos, a viviendas de un mismo edificio. Se responden las tres últimas preguntas de investigación expuestas en el capítulo de

introducción, para lo cual se realiza un análisis de la brecha de resultados [PI.4]. Posteriormente, se evidencia la diversidad de comportamientos relacionados con el ambiente térmico interior y el consumo energético de calefacción y ACS a través de análisis descriptivos e inferenciales [PI.5]. Finalmente, se profundiza en la detección de patrones de comportamiento relativos al consumo de calefacción y ACS mediante un análisis clúster [PI.6].

La Figura 9 expone el marco metodológico desarrollado para las dos fases de la investigación. Si bien las dos fases permiten la consecución del objetivo principal de la tesis, se plantean como dos apartados diferenciados para adaptar el discurso a las dos escalas de la investigación. Mientras que en la fase 1 se realiza un análisis multivariable con datos cualitativos, en la fase 2 se realiza un análisis cuantitativo, descriptivo e inferencial, a datos mixtos, categóricos y numéricos.

En la presente investigación se emplean datos reales para el estudio del confort y el comportamiento de las personas relativos al ambiente interior de viviendas sociales. Por esta razón, antes de realizar el estudio se obtuvo la aprobación ética del Comité de Ética para la Investigación con Seres Humanos, CEISH-UPV/EHU, BOPV 32, 17/2/2014.

FASE 1: Percepción del confort y uso de la vivienda



FASE 2: Diversidad de comportamientos relativos al ambiente térmico interior

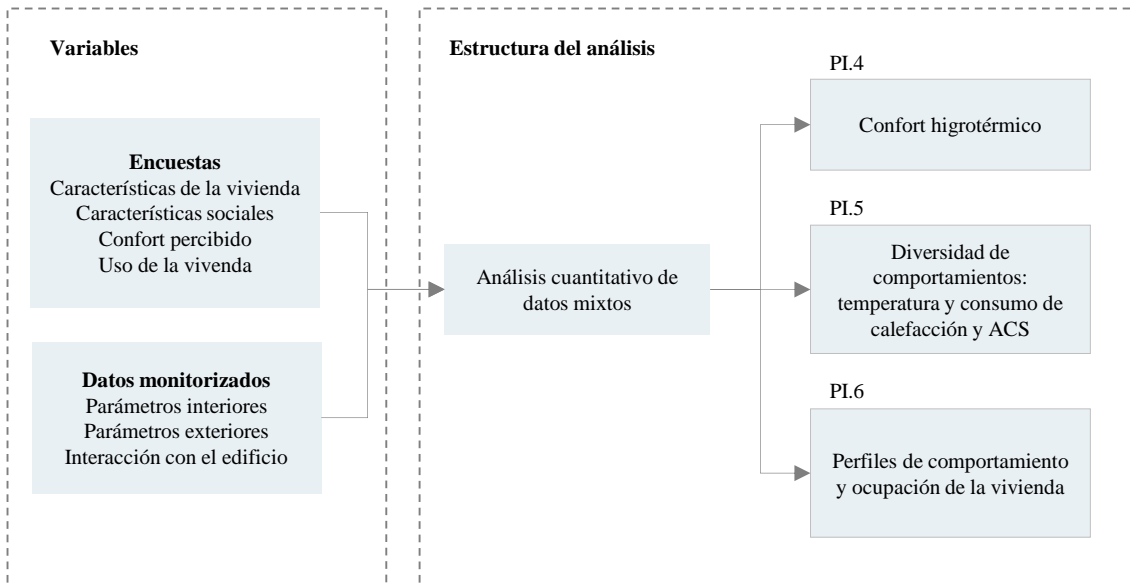


Figura 9. Estructura de la metodología de la investigación

3.2 Fase 1: Análisis multivariable del confort percibido y del uso de la vivienda

En esta primera fase se llevó a cabo un análisis multivariable, incluyendo las variables relativas a las características de la vivienda, las características sociales de los hogares y de los distintos parámetros de confort y comportamiento. Como se ha expuesto en el apartado anterior. El primer paso de la metodología fue realizar un diagnóstico de las variables asociadas al confort percibido por las personas residentes y al uso de la vivienda. Posteriormente, se analizó la percepción del ambiente interior desde dos perspectivas. Por un lado, se agruparon las viviendas del parque público de alquiler social y se analizó el confort por tipología de vivienda. Por otro lado, el confort se analizó en base a los perfiles sociales de los hogares. Por último, se evidenció la diversidad de hábitos de ocupación y comportamientos asociados al confort térmico y se profundizó en la percepción del ambiente térmico de la vivienda.

3.2.1 Enfoque de la investigación y selección de variables

Esta primera aproximación del análisis se centra en detectar cómo perciben las personas su hogar y de qué forma las características arquitectónicas y sociales se asocian o difieren de esta percepción. En este sentido, en esta fase se propone un análisis multivariable con datos cualitativos. Se incluyen variables asociadas al contexto arquitectónico-constructivo, del entorno, y socio-económico y demográfico de los hogares. Estas variables están recogidas como variables cualitativas nominales y ordinales.

Los estudios cualitativos se caracterizan por centrarse en analizar cómo las personas perciben o interpretan su entorno. En el proceso de recopilación de datos de este tipo de estudios existe una interacción entre las personas participantes y el equipo investigador [193]. Para ello, el ámbito de estudio de esta primera fase pretende abarcar viviendas y hogares de diversos edificios y localizaciones, de modo que se pueda contrastar si existen divergencias de percepción en viviendas y hogares con características similares o si bien esas diferencias solo se dan cuando estas características son distintas.

El objetivo de esta fase no es obtener resultados comparables o generalizables al resto de la población, ya que están asociados a un contexto de características culturales, sociales y arquitectónicas específicas y, por tanto, las respuestas están asociadas a este ámbito concreto.

Si bien la metodología es replicable a otros ámbitos de estudio, el objeto de la propuesta es realizar una descripción detallada y justificar las posibles divergencias existentes.

Las variables para el análisis se seleccionaron de acuerdo con la revisión bibliográfica de los estudios analizados en el apartado del marco teórico. Asimismo, la selección se realizó considerando tres aspectos clave:

- Objetivos del proyecto;
- Escala del ámbito de estudio;
- Capacidad de obtención de datos.

Se seleccionaron aquellas variables que permitieran analizar el parque público de alquiler social atendiendo a las características de los hogares y las viviendas. Para que este análisis se realizara en base a la percepción de los hogares, se incluyeron variables subjetivas de confort y uso de la vivienda.

Por otro lado, la escala del ámbito de estudio de la primera fase fue un condicionante importante. Como se ha planteado, para esta primera fase la muestra debía ser representativa y diversa, con viviendas pertenecientes a diferentes edificios y localizaciones. Por esta razón, fue necesario acotar el número de variables a analizar, seleccionando las que se consideraron imprescindibles para la escala de trabajo y los objetivos definidos.

Otro criterio condicionante fue la capacidad de obtención de los datos. La fuente principal fue una encuesta telefónica que se realizó de forma individual a las viviendas participantes en un proyecto real, lo que limitó el número máximo de preguntas que se podían formular si se quería obtener una respuesta completa al cuestionario. Por otro lado, al trabajar a escala vivienda las características tipológicas y constructivas se obtuvieron de los datos catastrales.

Las variables empleadas en la investigación se clasifican de acuerdo a los grupos de variables identificados en los estudios anteriores publicados entre 2011 y 2019, que se han expuesto en el capítulo anterior. Los estudios revisados incluían proyectos y publicaciones centrados en la caracterización del edificio desde una perspectiva arquitectónico-constructiva o desde una perspectiva energética [29], [178]–[185], así como publicaciones centradas en el análisis socioeconómico y sociodemográfico de ciertos grupos o áreas sociales [16], [22], [187], [188], [50], [67], [68], [71], [73], [113], [179], [186]. Si bien en la clasificación previa se detectaban 8 grupos principales, se han creado nuevos grupos de variables en los que se han englobado los distintos subgrupos. En base a los factores identificados se seleccionaron

32 variables para la primera fase de la investigación agrupadas en 4 tipos de dato, como se recoge en la Tabla 7.

TABLA 7. GRUPOS DE VARIABLES PROPUESTOS PARA EL ANÁLISIS.

Tipo de dato	Objetivo	Número de variables
Características de la vivienda	Incluye aquellas que hacen referencia al entorno circundante: ubicación geográfica, clima y entorno urbano. También incluye información general del edificio y de la vivienda, donde se describe tipológica y morfológicamente el edificio o vivienda al que se refieren, así como el acceso a las fuentes de energía utilizadas y el estado del edificio. En este grupo se incluyen las características posicionales y del ambiente exterior, las características arquitectónicas y morfológicas, las características constructivas, físicas y térmicas, energéticas e instalaciones, del ambiente interior y estado de conservación.	14
Características sociales	VARIABLES RELATIVAS A LOS MIEMBROS DEL HOGAR: edad, ingresos, número de personas, etc.	6
Percepción del ambiente interior	Se incluyen aspectos de confort térmico, acústico, lumínico y de calidad del aire, así como la capacidad del hogar para mantener la vivienda a la temperatura deseada	7
Comportamiento y uso de la vivienda	Uso y comportamiento de las personas residentes. Interacción con la vivienda y el edificio.	5

Se ha observado en la literatura previa que los análisis se realizan principalmente mediante herramientas de simulación y monitorización, quedando en un segundo plano la percepción de las personas que habitan las viviendas. Por este motivo, este proyecto pretende incluir la percepción del confort de las personas ocupantes en el análisis de las viviendas sociales.

3.2.2 Datos empleados en la investigación

La recopilación de las variables se realizó en 3 escalas distintas, de forma que se pudiera ir extrapolando los resultados a cada una de ellas: escala edificio, escala portal y escala vivienda. Se recopilaron en un primer paso las variables que correspondían al edificio, entre las que se incluyen la provincia, municipio donde se sitúan, año de construcción, número de plantas, tipología edificatoria y número total de viviendas. Posteriormente, se recopilaron las variables asociadas a cada portal, con datos más específicos. Finalmente, tras obtener los resultados de las encuestas se recogieron y calcularon las variables restantes relacionadas con cada vivienda o caso de estudio. Algunos datos recogidos se emplearon para el cálculo de las variables a analizar en la investigación.

Las variables que forman la base de datos de la muestra se identificaron en función de la fuente y escala de la que se obtuvieron:

- Fuentes públicas: de estas fuentes se obtuvieron los datos asociados a la vivienda,

edificio y entorno próximo. Se trabajó principalmente con bases de datos catastrales, documentos de Inspección Técnica de Edificios, así como mapas de ruido.

- Encuesta: las variables del hogar, percepción y uso, así como algunas características de la vivienda son el resultado de una encuesta realizada a los hogares de la muestra.

Las encuestas se realizaron el primer semestre de 2021 a viviendas participantes en el proyecto E-lagun del Gobierno Vasco para la gestión energética de viviendas sociales en el País Vasco, proyecto que se explicará en el próximo capítulo. Estos datos fueron cedidos y anonimizados para la consecución de la presente investigación asegurando la privacidad y la protección de los datos de los hogares encuestados.

Se trata de una encuesta transversal, es decir, las preguntas que se hacen a la muestra en estudio corresponden a un momento determinado que están dentro de un marco temporal definido o unas estaciones concretas [117]. En este caso la encuesta planteaba las cuestiones haciendo referencia al periodo de invierno. Las encuestas se realizaron telefónicamente e incluyeron 39 preguntas divididas en 5 partes. En el Anexo 2 se recogen las preguntas cuyas respuestas se incluyeron en el análisis. Las preguntas realizadas en la encuesta recogieron entre otras variables las características arquitectónicas, constructivas, energéticas y posicionales de la vivienda, así como la percepción que las familias tenían de la calidad del ambiente interior.

En la primera parte de la encuesta se preguntó a las personas encuestadas por las características de su vivienda, como la ubicación, la superficie o el número de estancias. En la segunda parte, se incluyeron cuestiones relacionadas con la situación familiar, donde se recogen los aspectos socio-económicos y socio-demográficos. Asimismo, se realizaron 7 preguntas sobre el equipamiento y el estado actual de la vivienda, pasando por el equipamiento eléctrico y térmico, así como la existencia de humedades o infiltraciones. La última parte de la encuesta incluía las preguntas del comportamiento o uso de la vivienda y las cuestiones del confort. Las preguntas sobre la percepción del confort se basaron en el proyecto sobre Confinamiento Social (COVID-19) vivienda y habitabilidad [194] y en la encuesta de condiciones de vida del Instituto Nacional de Estadística [179].

Las preguntas de percepción y opinión de los hogares se responden en una escala tipo Likert, un método de medición que permite evaluar las opiniones y actitudes de las personas encuestadas. Se ha tendido a emplear una escala ordinal de tres puntos dado el tamaño de la muestra previsto. Las preguntas correspondientes a la presencia de posibles problemas o a la capacidad de mantener la vivienda a una temperatura confortable daban opción de respuesta

en una escala ordinal de tres puntos desde "No" (1), "A veces" (2), "Sí" (3). Las preguntas sobre la percepción del encuestado de la calidad del ambiente interior clasificaban las respuestas en una escala ordinal de tres puntos en función de la variable. La iluminación general de la vivienda se define como "Nada adecuada" (1), hasta "Totalmente adecuada" (3). En la fecha de recepción de los datos se obtuvo una tasa de respuesta del 24% (N = 283), dentro de lo esperado según la bibliografía revisada [119], [195].

Junto con las encuestas, se recogieron datos relativos a las viviendas procedentes de fuentes públicas. De las bases de datos catastrales se obtuvieron datos relativos a la superficie de las viviendas, superficie de muros y huecos por vivienda y año de construcción; de los mapas de ruido de las ciudades, el nivel medio diario de ruido urbano; y de las Inspecciones Técnicas de Edificios las condiciones de mantenimiento de los edificios. La clasificación climática se basa en el CTE español [196] y en la clasificación de Köppen [197].

En el Anexo 2 se recogen las preguntas que se incluyeron en la encuesta y que se han empleado para el presente estudio. Asimismo, la Tabla 8 recoge las variables empleadas en la primera fase de la investigación, clasificadas en los grupos expuestos en el apartado anterior: características de la vivienda, características sociales, percepción del ambiente interior y comportamiento y uso de la vivienda. El primer grupo de variables permiten describir el contexto de las viviendas, como su orientación o su posición relativa en el edificio. Las características sociales ayudan a identificar los principales aspectos socio-económicos y socio-demográficos del hogar. Las variables de percepción y comportamiento recogen la respuesta del miembro del hogar que participó en la encuesta. Si bien cada persona perteneciente a una unidad familiar puede tener una percepción del confort y un comportamiento tanto adaptativo, como no adaptativo diferentes, la escala del estudio no permitía la realización de entrevistas individualizadas a cada persona del hogar. Por esta razón se toma la respuesta de la encuesta como representativa de cada caso de estudio.

TABLA 8. VARIABLES SELECCIONADAS PARA EL ANÁLISIS DE LA FASE 1.

Tipo de dato	Variable	Tipo de dato		Fuente
Características de la vivienda	Zona climática	Objetiva Cualitativa	Nominal	Köppen / CTE
	Compacidad urbana	Objetiva Cualitativa	Ordinal	[198]
	Ruido urbano	Objetiva Cualitativa	Ordinal	Mapa de ruido
	Edad de la edificación	Objetiva Cuantitativa	Discreta	Catastro
	Tipología edificatoria	Objetiva Cualitativa	Nominal	Catastro

Tipo de dato	Variable	Tipo de dato		Fuente
Características de la vivienda	Existencia de patio de luces	Objetiva Cualitativa	Nominal	Catastro
	Posición relativa en el edificio	Objetiva Cualitativa	Ordinal	Catastro
	Tipología de la vivienda	Objetiva Cualitativa	Nominal	Catastro
	Orientación	Objetiva Cualitativa	Nominal	Catastro
	Superficie de la vivienda	Objetiva Cuantitativa	Continua	Catastro
	Número de estancias	Objetiva Cuantitativa	Discreta	Encuesta
	Ratio fachada/vivienda	Objetiva Cualitativa	Ordinal	Catastro
	Generación de calor y ACS	Objetiva Cualitativa	Nominal	Encuesta
	Estado de conservación del edificio	Objetiva Cualitativa	Nominal	Inspección Técnica de Edificio (ITE)
Características sociales	Número de personas	Objetiva Cuantitativa	Ordinal	Encuesta
	Edad	Objetiva Cuantitativa	Ordinal	Encuesta
	Perfil hogar	Objetiva Cualitativa	Nominal	Encuesta
	Menores de 5 años en la vivienda	Objetiva Cualitativa	Dicotómica	Encuesta
	Personas mayores de 75 en la vivienda	Objetiva Cualitativa	Dicotómica	Encuesta
	Ingresos	Objetiva Cualitativa	Ordinal	Encuesta
Percepción del ambiente interior	Capacidad para mantener la vivienda a temperatura de confort	Subjetiva Cualitativa	Ordinal	Encuesta
	Confort térmico en invierno	Subjetiva Cualitativa	Ordinal	Encuesta
	Calidad del aire interior	Subjetiva Cualitativa	Ordinal	Encuesta
	Confort lumínico	Subjetiva Cualitativa	Ordinal	Encuesta
	Confort acústico	Subjetiva Cualitativa	Ordinal	Encuesta
	Temperatura interior percibida	Subjetiva Cualitativa	Ordinal	Encuesta
	Humedades	Subjetiva Cualitativa	Dicotómica	Encuesta
	Infiltraciones	Subjetiva Cualitativa	Dicotómica	Encuesta
Comportamiento y uso de la vivienda	Ocupación de mañana	Subjetiva Cualitativa	Dicotómica	Encuesta
	Ocupación de tarde	Subjetiva Cualitativa	Dicotómica	Encuesta
	Ocupación de noche	Subjetiva Cualitativa	Dicotómica	Encuesta
	Uso del sistema de calefacción	Subjetiva Cualitativa	Nominal	Encuesta
	Gasto de energía	Subjetiva Cualitativa	Ordinal	Encuesta

Por otro lado, las prácticas comportamentales adaptativas y no adaptativas de las personas pueden influir en el uso de los sistemas de calefacción y en la percepción del ambiente interior de la vivienda. Es decir, cómo actúan las personas y determinadas acciones como abrigarse o cerrar las ventanas puede influir en el confort. No obstante, el estudio en detalle de estas acciones y su impacto en el confort quedan fuera del alcance de la investigación.

3.2.3 Análisis de datos

El análisis y el tratamiento de los datos se realizó en la versión 4.0.3 de R [199]. Se trata de un entorno y un lenguaje de programación para el análisis estadístico y gráfico de datos. Facilita el tratamiento de grandes cantidades de datos, además de automatizar los cálculos. El análisis de datos se realizó siguiendo los pasos propuestos por D'Oca & Hong [200]:

- Selección de datos;
- Limpieza y procesamiento de datos;
- Transformación de datos;
- Minería de datos o en el caso del presente estudio análisis inferencial y descriptivo;
- Interpretación y evaluación de datos;
- Extracción de conocimiento.

Los datos recogidos por separado, los de la encuesta y los provenientes de bases de datos públicas, se fusionaron en una única base de datos desagregada a escala vivienda. Previamente, fue necesario depurar los resultados de la encuesta, detectando y corrigiendo los datos que faltaban y reprocesando las variables cuando fue necesario. Tras estos primeros pasos, se unieron los resultados de la muestra con las variables recogidas a escala portal. Finalmente se recogieron las variables restantes a escala vivienda y se calcularon automáticamente mediante el programa R.

Los datos de percepción se procesaron como datos categóricos ordinales, mientras que a las variables categóricas nominales se les asignó la categoría correspondiente. A estos datos cualitativos o categóricos se aplicaron diferentes métodos estadísticos y análisis cuantitativos para analizar los resultados tal y como se explica en los siguientes subapartados.

VARIABLES INCIDENTES EN EL CONFORT PERCIBIDO Y EN EL USO DE LA VIVIENDA

El primer paso del análisis fue aplicar pruebas de hipótesis para determinar si las variables de la vivienda y las variables sociales causaban diferencias significativas en las variables de

percepción del confort y del uso de la vivienda. Para ello, se aplicó el test exacto de Fisher. Si bien una de las herramientas más extendidas para comprobar si existe relación entre variables de tipo cualitativo es el test de χ^2 introducido por Pearson, su aplicación requiere que la muestra y las frecuencias esperadas de la tabla de contingencia sean lo suficientemente grandes, además de que las variables analizadas sean independientes. En este caso, se decide emplear el test exacto de Fisher, más apropiado para muestras pequeñas. Se consideró significativo un p valor <0.05 .

La hipótesis nula (H_0) de partida plantea que las dos variables en estudio son independientes, o dicho de otro modo, que la variable respuesta es independiente de la variable explicativa, es decir, que los grupos son homogéneos. La hipótesis alternativa (H_1) plantea que las dos variables en estudio están relacionadas, es decir, que los grupos no son homogéneos. En este análisis, se pretende demostrar si las variables de la vivienda o los hogares están relacionadas con la respuesta de confort y el uso de la vivienda.

Análisis del confort percibido

El confort percibido se definió a partir de las categorías de los parámetros de la CAI analizados: confort térmico en invierno, confort acústico, confort lumínico y calidad del aire. Para ello, se estableció una clasificación del confort y disconfort considerando que una vivienda no estará en confort si presenta algún grado de disconfort en el parámetro analizado, independientemente de su severidad.

El estudio del confort se planteó, por un lado, en base a las características de la vivienda, y, por otro lado, en base a las características de los hogares. Para llevar a cabo este análisis se emplearon análisis clúster que permitieron caracterizar las viviendas de la muestra. El proceso de agrupación se aplicó siguiendo tres pasos principales:

- Cálculo de la matriz de disimilitud;
- Selección del método de agrupación;
- Análisis de grupos (clúster).

La matriz de disimilitud mide la distancia entre dos objetos, de modo que cuanto mayor sea el valor, más diferentes (es decir, menos similares) serán los objetos. Esta matriz es la expresión matemática de lo diferentes o distantes que son entre sí las observaciones de una base de datos, lo que permite agrupar las que están más próximas o separar las que están más alejadas.

Una vez calculada la matriz de disimilitud, se aplica el método de agrupación. Dos de los métodos o algoritmos de agrupación más empleados son los métodos jerárquicos y los no-jerárquicos. Los métodos jerárquicos crean grupos con el objetivo de encontrar la cantidad ideal de clústeres para una agrupación adecuada, por lo que el agrupamiento jerárquico tiene la capacidad de determinar automáticamente el número de clústeres. Por el contrario, los agrupamientos no-jerárquicos crean los grupos con un número de clústeres previamente especificado. En este caso se aplicó el método de agrupación jerárquica para determinar el número óptimo de clústeres.

Existen dos métodos o estrategias de agrupación jerárquica principales: aglomerativo y divisivo. El método aglomerativo tiene un enfoque ascendente, donde cada observación comienza en su propio grupo y el algoritmo intentará detectar los puntos de datos más similares y agruparlos para formar clústeres. El método divisivo, por el contrario, presenta un enfoque descendente, por lo que todas las observaciones comienzan en un grupo y se realizan divisiones de las más disímiles. El análisis divisivo genera grupos con observaciones muy disímiles, por lo que se ha optado por el análisis aglomerativo.

A la hora de elegir el número de grupos, es importante que estos sean lo suficientemente distintos, es decir, que las distancias entre los datos dentro de los grupos sean la menor posible (su compacidad o cohesión), mientras que la distancia entre los grupos sea la mayor posible (su separación). El análisis de agrupación se basa en el estudio de la compacidad y la separación de los grupos. Se utilizaron dos tipos de análisis:

- Método del codo (en inglés, *elbow method*): en este método se emplea el valor *sum of squares within* (SSW). Es una medida de la proximidad de las observaciones, cuanto menor es el número mayor es la proximidad de las observaciones en cada grupo. Interesa un número de grupos a partir del cual disminuye la reducción de la suma de cuadrados.
- Método de la silueta (en inglés, *silhouette method*): en este método se emplea el valor de *average silhouette width* (ASW) como medida para determinar la calidad de la agrupación. Este valor determina la proximidad de las observaciones de cada grupo con respecto a la agrupación contigua. El objetivo de este método es maximizar el coeficiente de silueta para que los grupos sean lo más distintivos posible, es decir, que los grupos estén lo más separados posible. Dado que las agrupaciones se definen para que sean homogéneas y separadas entre sí, un mayor valor del ASW indica una mejor calidad de agrupación [201].

Al seleccionar el número de grupos, se tuvo en cuenta que estos fueran proporcionales, de modo que los números de observaciones en las agrupaciones fueran comparables. Los grupos de viviendas se calcularon en función de las características básicas que las definen: fecha de construcción, orientación de la vivienda, superficie, tipo de vivienda, sistema de calefacción y generación de ACS y estado de conservación del edificio.

El análisis del confort en base a las características sociales se realizó agrupando los hogares según el número de personas en la vivienda y la edad de estas. Para ello, se empleó como base los perfiles sociales definidos en la Encuesta de Condiciones de Vida del INE [179] y se definieron nuevos grupos:

- Una persona adulta mayor de 75 años (1a>75);
- Una persona adulta menor de 75 años (1a<75);
- Dos personas adultas (2a);
- Dos personas adultas con un menor de 16 años (2a_1c);
- Dos personas adultas con dos menores de 16 años (2a_2c);
- Dos personas adultas con tres o más menores de 16 años (2a_3c);
- Una persona adulta con uno o más menores de 16 años (1a_c);
- Tres o más personas adultas (3c);
- Tres o más personas adultas con menores de 16 años (3a_c).

El confort se contrastó a su vez con los ingresos medios mensuales del hogar. Para ello, se analizaron las respuestas de confort en relación con la variable de ingresos medios mensuales que se recogió como una variable cualitativa ordinal de cuatro grupos:

- Menos de 800€
- 800-1000€
- 1000-1200
- Más de 1200€

Percepción, ocupación y uso de la vivienda asociados al ambiente térmico

Para profundizar en análisis de la percepción del ambiente térmico se propone un indicador que mide la satisfacción térmica como la diferencia entre la temperatura interior percibida y la temperatura interior deseada. El indicador es aplicable tanto en invierno como en verano, aunque en este estudio se analizó la condición de confort térmico en invierno. Las respuestas

de temperatura se dieron en cuatro categorías: menos de 16°C, 16-19°C, 19-21°C y más de 21°C. Se pretendía que fuera una respuesta más accesible e intuitiva, que facilitara la respuesta de percepción en lugar de dar un valor numérico específico. Estos datos se transformaron en unidades, es decir, en datos cuantitativos, para el contraste de las dos variables. De este modo, el resultado del indicador son puntos de diferencia: positivo si la temperatura deseada es inferior a la percibida, neutro si la temperatura deseada coincide con la percibida y negativo si la temperatura deseada es superior a la percibida. Por tanto, la diferencia puede ser de 1, 2, 3 puntos (positivos o negativos) o neutra. Si la persona percibe en su vivienda más temperatura de la que le gustaría, el resultado es un número positivo. Por el contrario, si la persona percibe una temperatura inferior a la que le gustaría, el resultado es un número negativo.

Se considera que existe confort cuando la temperatura interior percibida coincide con la temperatura deseada, es decir, cuando la diferencia es 0. Si el indicador es positivo o negativo, se considera que existe cierto discomfort. Cuanto mayor sea el resultado de la diferencia, mayor será la diferencia entre la temperatura deseada y la temperatura interior percibida.

Este indicador permite contrastar dos variables con respuesta subjetiva. Frente a una única respuesta de confort térmico (calor, neutro o frío), este indicador permite determinar de qué manera se da la satisfacción térmica o en qué medida difiere de lo deseado. De esta forma, se profundiza en la influencia de la percepción a la hora de determinar el confort. Esta subjetividad puede influir y puede ayudar a determinar la divergencia en los hábitos de ocupación y uso de la vivienda. Al tratarse de datos subjetivos, es importante tener en cuenta que la temperatura real de las viviendas puede no coincidir con la percibida. Esta variable sólo se utiliza para determinar la satisfacción térmica de los hogares y no para evaluar la calidad ambiental interior de la vivienda.

El siguiente paso en el análisis se enfocó en la comparación de los resultados de la encuesta relativos a la ocupación y al comportamiento asociado al confort térmico con las características sociales de los hogares. El análisis se realizó del mismo modo que el estudio del confort en base al perfil sociodemográfico y los ingresos.

3.3 Fase 2: Diversidad de comportamientos relativos al ambiente térmico interior

La segunda fase de la tesis doctoral analiza con mayor profundidad el ámbito del confort térmico y la vinculación existente con el comportamiento de las personas. Para ello, la muestra utilizada es más reducida y la investigación se centra en las viviendas de un único edificio.

Se atiende a la variabilidad de usos y preferencias, así como a la divergencia entre los datos medidos y los percibidos. Para ello, esta segunda fase responde a la estructura recogida en la Figura 9, que parte con el análisis de la brecha de resultados. A continuación, se realiza un análisis de la diversidad de comportamientos atendiendo a la temperatura interior y el consumo energético relativo a la calefacción y al ACS. Por último, se profundiza en los patrones de consumo de calefacción y ACS y en la detección de perfiles de comportamiento.

3.3.1 Enfoque de la investigación y selección de variables

Esta segunda fase se basa en la metodología definida por Guerra-Santin et al. [29] para analizar el comportamiento y las necesidades de las personas en viviendas públicas de alquiler social. Guerra-Santin et al. utilizaron el enfoque mixto en los Laboratorios de Sostenibilidad, en inglés *Mixed Approach for Sustainability Labs* [202] basado en la Investigación del Método Mixto [203], que combina datos cualitativos y cuantitativos en respuesta a preguntas e hipótesis de investigación. En el estudio [29], Guerra-Santin et al. analizaron dos viviendas utilizando una estrategia que incluía parámetros relacionados con el uso del sistema de calefacción, las actitudes de las personas y las prácticas relacionadas con la calefacción, así como los perfiles de ocupación. En el presente estudio, los datos cualitativos y cuantitativos se combinaron para relacionar los resultados de ambos tipos de datos. El objetivo era integrar estos aspectos en el análisis de la diversidad de comportamientos de los hogares de viviendas sociales. Por lo tanto, fue necesario adaptar la metodología para su aplicación a un mayor número de viviendas.

Al igual que se realiza en la metodología propuesta por Guerra-Santin et al. [29], este estudio incluye datos objetivos y subjetivos para analizar cómo influyen las percepciones y preferencias de las personas en el comportamiento de los hogares. Los datos objetivos consisten en datos medidos asociados al ambiente interior y exterior de las viviendas, así como al consumo de energía. Las características sociales y de la vivienda también se incluyen

en esta categoría. Los datos subjetivos consisten en información proporcionada por los hogares asociada al uso que hacen de la vivienda y a su percepción del ambiente interior. Los datos pueden clasificarse como cuantitativos (por ejemplo, parámetros del ambiente interior y consumo de energía) o cualitativos (por ejemplo, ciertas variables relacionadas con las características de los hogares, características de la vivienda, confort y prácticas cotidianas). El análisis de datos cuantitativos se aplicó al análisis del comportamiento y la ocupación, donde se incluyeron los parámetros del ambiente interior y exterior, el consumo de energía y la presencia de residentes. El análisis de datos cualitativos permite una descripción cualitativa de los hogares y las viviendas, para lo que se incluyeron las variables relativas a su preferencia higrotérmica del ambiente interior. En este segundo caso se incluyeron variables relacionadas con el confort y las características de los hogares y viviendas.

La combinación de ambos tipos de datos (cuantitativos y cualitativos) permite analizar la diversidad de los hogares en relación con el confort higrotérmico y el comportamiento de los hogares. Además, el cruce de los dos tipos de datos sirve para detectar patrones y definir perfiles de comportamiento y de ocupación. La Figura 10 muestra el enfoque de investigación de este estudio.

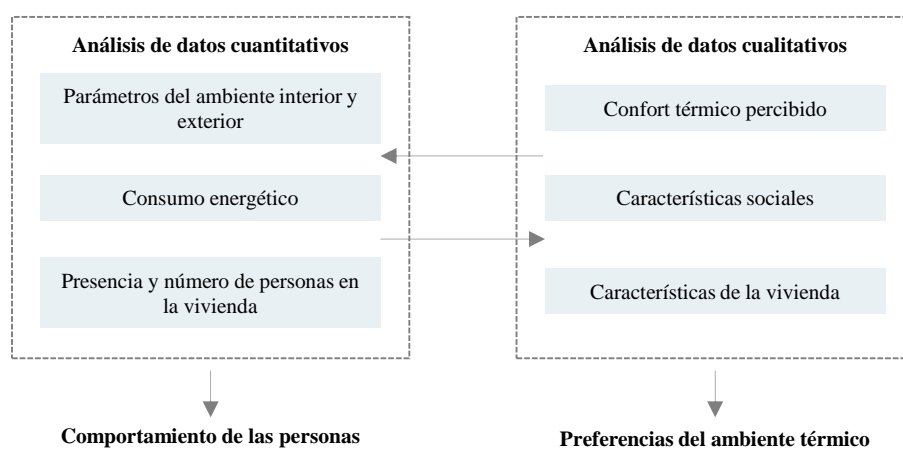


Figura 10. Enfoque de la investigación de la fase 2

3.3.2 Datos empleados en la investigación

Para identificar los patrones de ocupación y calefacción, se utilizaron métodos de análisis de datos cuantitativos y cualitativos. Para ello, se analizaron las variables categóricas y numéricas obtenidas a partir de la información proporcionada por los hogares y de fuentes públicas empleadas en la primera fase de la investigación, es decir, las características de las viviendas, las características sociales, de percepción y de uso de la vivienda. Además de estas

variables, se analizaron los parámetros ambientales interiores y exteriores monitorizados. Estos parámetros numéricos proporcionan información objetiva acerca del ambiente higrotérmico interior y exterior y del consumo energético de calefacción y ACS. En este sentido, los datos reales permiten interpretar el uso de la vivienda y el confort relativos al ambiente térmico. La Tabla 9 recoge las variables empleadas en la segunda fase de la investigación.

TABLA 9. VARIABLES SELECCIONADAS PARA EL ANÁLISIS DE LA FASE 2

Tipo de dato	Variable	Tipo de dato	Tipo de dato	Fuente
Características de la vivienda	Posición relativa en el edificio	Objetiva Cualitativa	Ordinal	Catastro
	Tipología vivienda	Objetiva Cualitativa	Nominal	Catastro
	Orientación de la sala de estar	Objetiva Cualitativa	Nominal	Catastro
	Número de fachadas con ventanas	Objetiva Cuantitativa	Discreta	Catastro
	Superficie de la vivienda	Objetiva Cuantitativa	Continua	Catastro
	Número de estancias	Objetiva Cuantitativa	Discreta	Encuesta
Características sociales	Número de personas en la vivienda	Objetiva Cuantitativa	Discreta	Encuesta
	Menores de 5 años en la vivienda	Objetiva Cualitativa	Dicotómica	Encuesta
	Perfil hogar	Objetiva Cualitativa	Nominal	Encuesta
	Ingresos	Objetiva Cualitativa	Ordinal	Encuesta
Percepción del ambiente interior	Capacidad para mantener la vivienda a temperatura de confort		Ordinal	Encuesta
	Temperatura interior percibida	Subjetiva Cualitativa	Ordinal	Encuesta
	Confort térmico en invierno		Ordinal	Encuesta
Comportamiento y uso de la vivienda	Ocupación		Dicotómica	Encuesta
	Uso del sistema de calefacción	Subjetiva Cualitativa	Nominal	Encuesta
	Gasto de energía		Ordinal	Encuesta
Medición del ambiente exterior	Temperatura exterior (°C)	Objetiva Cuantitativa		Monitorización (Open Data Euskadi. Euskalmet)
Medición del ambiente interior	Temperatura interior (°C)	Objetiva Cuantitativa		Monitorización (Bmeters)
	Humedad relativa (%)			
Medición del consumo energético	Consumo de calefacción (kWh)	Objetiva Cuantitativa		Monitorización (Sontex Superstatic 789)
	Consumo de ACS (m ³)			

Los datos se recogieron de diversas fuentes, incluidos sensores y encuestas. Los datos de la encuesta corresponden a los datos recogidos dentro del proyecto E-lagun, como se ha explicado en el apartado anterior relativo a la fase 1 de la investigación. El análisis de la encuesta se centra en el periodo de invierno e incluye las características de las viviendas, las características socioeconómicas, de percepción del confort y variables de comportamiento. La campaña de monitorización incluyó el seguimiento a largo plazo del consumo de energía para calefacción y ACS, la temperatura interior y la humedad relativa en el edificio, como parte del sistema de autogestión energética AuGe llevado a cabo por Stechome dentro del proyecto AuGe [204]. El proyecto AuGe es un sistema de autogestión energética que proporciona información en tiempo real sobre el rendimiento de la vivienda, la temperatura y la humedad relativa para controlar y medir la interacción de las personas residentes con el edificio.

Si bien la propuesta metodológica es aplicable a distintas estaciones y consumos energéticos (como el aire acondicionado en viviendas que cuenten con este tipo de instalación), se decide acotar el análisis a un tipo de consumo y temperaturas concreto, en este caso al periodo de invierno (diciembre de 2020 y enero, febrero y marzo de 2021). De este modo, se seleccionaron los datos horarios en este rango de fechas. Los datos horarios permiten alcanzar los objetivos de la investigación, un intervalo más pequeño quedaría fuera del alcance del estudio.

El equipamiento técnico utilizado para la monitorización incluía sensores de temperatura y humedad, actuadores en válvulas de cierre y unidades de control de datos de consumo para calefacción y ACS, con acceso de los hogares al sistema a través de tabletas o aplicaciones móviles. Se utilizaron sensores de temperatura y humedad de Bmeters, que tienen una precisión de $\pm 0,4^{\circ}\text{C}$ y $\pm 3\%$, respectivamente. El consumo de calefacción y ACS se midió con el Sontex Superstatic 789, que mide el caudal en tubos individuales con una precisión de $\pm 0,0005 \text{ m}^3/\text{h}$. El protocolo de comunicación Wireless M-Bus se estableció utilizando una pasarela C300 y repetidores R300 del fabricante Usanca, lo que permite el control remoto y la autogestión del sistema de calefacción y la posibilidad de que las personas usuarias y la administración pública comprueben el consumo total de energía.

3.3.3 Análisis de datos

El análisis de datos implica varios pasos, como la selección, la limpieza, el procesamiento, la transformación, la extracción de datos y la interpretación. Tanto si los datos proceden de

una sola fuente como de varias (por ejemplo, para comparar viviendas sociales gestionadas por distintas administraciones), es necesario trabajar con datos uniformes. Al igual que en la fase 1, en esta segunda fase el análisis y el tratamiento de los datos se realizó en la versión 4.0.3 de R [199] aplicando los pasos propuestos por D'Oca & Hong [200]. En este caso se aplicaron cuatro pasos principales para el tratamiento de los datos monitorizados:

- Anonimizado: los datos se anonimizaron y no se procesaron ninguna información personal. Se excluyeron todos los valores personales y cualquier posible identificación de la vivienda.
- Unificación de lecturas y redondeo a lecturas horarias: al trabajar con datos recogidos por separado, algunas de las variables tenían diferentes intervalos de recogida de datos de seguimiento. Por lo tanto, fue necesario unificar las bases de datos a un intervalo común. En este caso, se optó por los datos horarios, ya que proporcionaban la información necesaria para el análisis.
- Unificación del formato de las variables y observaciones: el formato de los datos puede variar entre bases de datos. Es importante dar un formato común a las variables y las lecturas para que todos los datos sean comparables independientemente del edificio o de la fuente de datos (por ejemplo, nombre de la variable, nombre de la lectura, tipo de datos, etc.).
- Unificación de diferentes lecturas en una única base de datos: para analizar diferentes bases de datos simultáneamente, se unificaron las diferentes lecturas y fuentes en una única base de datos para facilitar el procesamiento de los datos. Además, se revisaron los datos faltantes y sus causas.
- Limpieza y procesamiento de los datos: para evitar las distorsiones de comportamientos puntuales se han excluido del análisis los días festivos estatales correspondientes con las fechas 2020/12/08, 2020/12/10, 2020/12/24, 2020/12/25, 2020/12/31, 2021/01/07, 2021/01/06.

Se emplearon datos cualitativos y cuantitativos para identificar los patrones de ocupación y calefacción. Estos datos proporcionan una comprensión más profunda de las variables que influyen en los patrones de ocupación y calefacción, así como de los retos y oportunidades asociados a estos patrones. Los detalles de los métodos empleados se presentan en las secciones siguientes.

Análisis del confort higrotérmico: evaluación de la relación entre los datos monitorizados y percibidos

Se realizaron dos tipos de análisis del confort. En primer lugar, se analizaron los datos higrotérmicos de las viviendas y se calculó la situación de confort según la normativa vigente. Posteriormente, se estudió si existía una brecha de resultados, es decir, si existían diferencias entre los resultados del confort medido según estándares y los resultados del confort percibido.

Para evaluar la situación de confort en las viviendas se utilizó un formato aplicable a diferentes normativas, periodos de análisis y parámetros del ambiente interior. El confort higrotérmico basado en modelos de confort objetivos se analizó como el porcentaje de horas en situación de confort durante el periodo en estudio. En este caso se estudió el periodo de invierno, comprendido entre diciembre de 2020 y marzo de 2021. Para establecer los rangos de confort se utilizó la norma UNE-EN 16798 que emplea modelos adaptativos aplicables en edificios con ventilación natural y sin condiciones de ropa específicos. En la norma se establecen unos límites en función de la categoría de calidad del ambiente interior de la Tabla 4 de la norma. La categoría IEQ_{II} con un nivel de expectativa “Medio” se entiende como un nivel adecuado para viviendas. La norma recomienda un rango de humedad relativa del 25 al 60% según la Tabla B.16 para la categoría IEQ_{II} del apartado “B.3.3 Criterios recomendados para el dimensionamiento de la humidificación y de la deshumidificación”. Los límites de temperatura se establecen en el apartado “B.2.2 Valores aceptables por defecto de temperaturas interiores para edificios sin sistemas mecánicos de refrigeración” de la norma en función de la temperatura exterior y para la categoría IEQ_{II} como:

$$\text{Límite superior } \theta_0 = 0,33 \theta_{rm} + 18,8 + 3$$

$$\text{Límite inferior } \theta_0 = 0,33 \theta_{rm} + 18,8 - 4$$

donde

$$\theta_0 = \text{temperatura de funcionamiento interior, } ^\circ\text{C}$$

$$\theta_{rm} = \text{temperatura de funcionamiento exterior media, } ^\circ\text{C}$$

Los límites solo son aplicables cuando $10 < \theta_{rm} < 30 \text{ } ^\circ\text{C}$

A partir de los datos de monitorización, se calculó el número de horas de confort para cada parámetro ambiental analizado, temperatura y humedad relativa. Este cálculo dio como resultado un valor porcentual de confort por vivienda y por parámetro. Este indicador

proporciona una información significativa que puede compararse con diferentes parámetros ambientales, permitiendo determinar qué vivienda presenta resultados de mayor o menor confort. También permite comparar diferentes viviendas o edificios para un mismo parámetro ambiental e identificar las posibles causas de las diferencias de confort entre viviendas. Asimismo, los rangos de confort a partir de los cuales se calcula el porcentaje de horas se pueden ajustar en función de la normativa seleccionada.

Por otro lado, se analizó la brecha de resultados respecto al confort higrotérmico, lo que supuso comparar datos objetivos obtenidos mediante monitorización con datos subjetivos obtenidos mediante encuestas. Para llevar a cabo esta comparación se aplicó la prueba de Kruskal-Wallis para las variables cuantitativas y cualitativas. El test de Kruskal-Wallis es una prueba no paramétrica, que determina si existen diferencias a nivel estadístico entre dos o más grupos de una variable independiente con respecto a una variable numérica continua, es decir, evalúa si las poblaciones de la muestra son equivalentes. La hipótesis nula (H_0) plantea que la mediana de todos los grupos es igual. La hipótesis alternativa (H_1), por el contrario, plantea que al menos una de las medianas no es igual al resto, y, por tanto, la temperatura o humedad relativa varía en función de la respuesta a esa variable. Se decidió aplicar este test en lugar del t de Student ya que se analizaron variables cualitativas con más de dos grupos. Se consideró significativo un p valor <0.05 .

Las variables cuantitativas empleadas en el test no-paramétrico fueron el porcentaje de tiempo pasado en temperaturas confortables y el porcentaje de tiempo pasado en humedad relativa confortable. Asimismo, se seleccionaron las variables cualitativas que pudieran explicar el confort higrotérmico percibido y la satisfacción de las personas residentes: temperatura de confort, capacidad de mantener una temperatura confortable en la vivienda y confort térmico en invierno.

El test de homogeneidad se complementó con análisis descriptivos para ayudar a explicar las posibles asociaciones observadas.

Análisis de la diversidad de comportamientos: temperatura y consumo energético

Para observar la variabilidad de los comportamientos relacionados con los parámetros térmicos del ambiente interior y del consumo energético se analizó cada vivienda individualmente, lo que permitió detectar posibles patrones o comportamientos diversos. El estudio se abordó con dos tipos de análisis: descriptivo e inferencial. En primer lugar, se

realizó una observación visual de la situación de los diversos hogares en relación con la temperatura interior y el consumo energético, teniendo en cuenta la media horaria del periodo analizado en un intervalo de 24 horas. Se crearon cifras para cada hogar para las variables de temperatura, consumo de calefacción y consumo de ACS.

A continuación, se analizó la posible relación de los patrones de consumo energético y comportamiento térmico con las características de las viviendas y de los hogares. Es decir, se comprobó si los comportamientos variaban según unas características específicas. Para ello, se realizó un análisis estadístico aplicando la prueba de Kruskal-Wallis para variables cualitativas y cuantitativas, y el coeficiente de correlación de Pearson para variables cuantitativas. La prueba de Kruskal-Wallis puede utilizarse para corroborar si existen diferencias relevantes a nivel estadístico entre dos o más grupos de una variable cualitativa en una variable ordinal o continua. El test de correlación de Pearson mide la fuerza y la dirección de la relación de dos variables cuantitativas. El test de correlación parte de la hipótesis de que las dos variables en estudio son independientes (H_0). La hipótesis alternativa (H_1) plantea que las variables están relacionadas.

De este modo se comprueba si existen diferencias estadísticas entre los datos monitorizados de temperatura, humedad relativa y consumo de calefacción con las características socioeconómicas de los hogares y las características de las viviendas. Asimismo, se analizó la posible correlación entre la temperatura interior y el consumo de calefacción mediante la prueba de correlación de Pearson. Este último análisis permite identificar si la temperatura interior varía de acuerdo al uso de la calefacción realizado por parte de los hogares.

Detección de patrones y definición de perfiles en el uso de la vivienda y el consumo de calefacción y agua caliente sanitaria

La hipótesis del proyecto planteaba la existencia de una diversidad de comportamientos ajena a las características de los hogares o de las viviendas. Por ello, se propuso la definición de perfiles de comportamiento a partir de los datos reales: consumo de calefacción y ACS. Se propusieron dos tipos de agrupación: agrupación de series temporales y estratificación en grupos iguales.

La agrupación de series temporales se aplicó al consumo de calefacción. Se trata de un método de aprendizaje no supervisado que consiste en tomar datos dinámicos que cambian a lo largo de un periodo de tiempo y agruparlos en clústeres basados en características compartidas, sin ningún conocimiento previo de los datos. Este tipo de agrupación se aplicó

para comprender la variación que se produce en el consumo, más allá de la cantidad de energía utilizada. Esto posibilita definir hábitos y preferencias y compararlo con la ocupación de la vivienda. Para definir los grupos se emplearon los datos horarios en un periodo de 24 horas, ya que permite obtener medias horarias en función de los datos disponibles.

El proceso para definir los grupos tiene tres pasos principales:

- Medición de la distancia (cuantificar la disimilitud)
- Algoritmo de agrupación
- Evaluación de los grupos.

En las series temporales cada punto de dato es una secuencia ordenada, por lo que la agrupación de diferentes series temporales en grupos similares puede suponer una tarea compleja. La métrica de distancia utilizada por defecto en los algoritmos de agrupación es la distancia euclídea, pero no es adecuada para los datos de series temporales porque es invariable a los cambios temporales, es decir, ignora la dimensión temporal de los datos. Esto puede dar lugar a que dos series temporales muy correlacionadas se midan como más alejadas si una de ellas se desplaza en un paso temporal.

Para superar esta limitación, se utilizó en su lugar la distancia de deformación temporal dinámica (en inglés *Dynamic Time Warping*, DTW). DTW es una técnica utilizada para medir la similitud entre dos secuencias temporales que no se alinean exactamente en tiempo, velocidad o longitud. A diferencia de la distancia euclídea, la DTW se basa en la forma y tiene en cuenta los eventos desfasados. Como se muestra en la Figura 11, la figura de la izquierda representa la DTW, que asocia cada punto en la serie inferior con el punto más próximo de la serie superior. La figura de la derecha recoge una distancia de métrica euclídea. Si bien las distancias de las series temporales son distintas, la DTW puede comparar cada punto de una serie al más próximo de la otra serie.

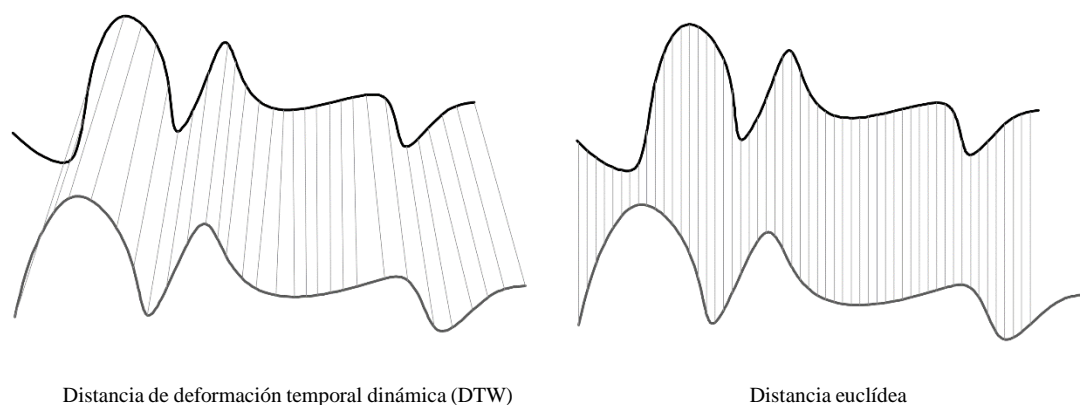


Figura 11. Comparación de la distancia de deformación temporal dinámica y la distancia euclídea

A la hora de seleccionar el número de grupos, es crucial asegurarse de que los grupos sean distintos. Para ello, se empleó el método de agrupación jerárquica aglomerativa. El número de grupos a utilizar se determinó mediante el método del codo y el método de la silueta, explicados en la página 91. Como se ha explicado previamente el método del codo o *elbow method*, es una gráfica que muestra la suma de cuadrados (*sum of squares*) de cada grupo, medida que determina la cercanía de las observaciones. Por lo tanto, cuanto más baja sea esa medida, más cerca estarán las observaciones dentro del clúster. El método de la silueta o *silhouette method* mide la consistencia de los datos. Este segundo gráfico mide la cercanía que hay entre cada observación de un grupo y las observaciones de los grupos contiguos.

El cálculo de la temperatura de activación de la calefacción y de la temperatura de funcionamiento, también conocidas como temperatura de *set-up* y de *set-back*, respectivamente, se basó en la temperatura mínima y máxima diarias. Se pretendía que el método fuera aplicable a distintos periodos de tiempo en función de los objetivos. En base al método propuesto, se tomó como temperatura de activación y de funcionamiento la temperatura mínima y máxima de un día, como período de tiempo mínimo medido. Si el periodo analizado fuera más largo, se tomaría la media diaria de las temperaturas y se utilizaría la temperatura mínima y máxima de esa media.

Por último, los datos disponibles sobre el consumo de calefacción y ACS se estratificaron en tres grupos iguales, siguiendo el sistema de estratificación aplicado anteriormente por Karatasou et al. [205], Jones et al. [206], y Summerfield et al. [207]. Así, las viviendas se clasificaron en grupos de consume energético "bajo", "medio" y "alto" para detectar las horas de mayor consumo de cada grupo.

Los métodos aplicados en la fase 1 y 2 de la investigación son aplicables en otros contextos climáticos, arquitectónicos y sociales. Asimismo, es posible incorporar nuevas variables en función de los objetivos, bien variables sociales y arquitectónicas, o bien variables relacionadas con el ambiente interior y el consumo de energía. Los métodos expuestos permiten, por tanto, identificar y evidenciar la diversidad de preferencias y percepciones del ambiente interior, así como la diversidad de comportamientos de consumo energético y uso de la vivienda.

4 Ámbito de investigación

En este capítulo se describen el ámbito geográfico y temporal utilizado en la investigación, así como la muestra y el proyecto de investigación en el que se enmarca el análisis. En el primer apartado se explica la muestra empleada en la fase 1, que incluye una primera descripción de las viviendas participantes en el proyecto en el que se enmarca la investigación y del cual se obtuvieron los datos. También se incluye una descripción detallada de la muestra seleccionada para esta investigación. En el siguiente apartado se describe la muestra de la fase 2 del proyecto, que está formada por una serie de viviendas de un edificio analizado en la fase 1.

4.1 Contexto de la muestra

La investigación se centra en el ámbito geográfico de Euskadi, en concreto, en las provincias de Bizkaia y Araba. Atendiendo a la clasificación Köppen [197], la mayor parte de la CAE pertenece a la zona Cfb, clima templado sin estación seca con verano templado, a excepción de algunas áreas al sur de la comunidad autónoma que se clasifica como Csb: clima templado con verano seco y templado. Considerando la clasificación climática del CTE [196], la provincia de Bizkaia se sitúa en las zona climáticas C1 y D1, mientras que Araba se sitúa en las zona climáticas D1 y E1, dependiendo de la altitud de la localidad. Las localidades en estudio se ubican en las zonas climáticas C1 y D1 para Bizkaia y Araba respectivamente. Si bien las características climáticas de ambas provincias pueden presentar ciertas semejanzas de acuerdo con la clasificación Köppen, la severidad climática definida por el CTE presenta diferencias.

Las viviendas de la muestra son viviendas sociales. Proporcionar viviendas sociales y asequibles ha estado presente en las políticas públicas europeas de los últimos años [208]. No obstante, el tamaño del parque de vivienda social varía considerablemente entre distintos países de la Unión Europea, donde destacan países como Austria con un 54% respecto al total del parque de viviendas, o Ámsterdam en Países Bajos, con un 42% [208]. En el caso de España según el informe publicado en 2023 por Housing Europe, el porcentaje de vivienda pública de alquiler representa el 3.3% del parque de viviendas, con 854.000 viviendas aproximadamente [209]. En la CAE el Programa de Vivienda se centra entre otros objetivos en el incremento de la oferta pública de alquiler a precios asequibles. Es así, que en 2020 el 100% de la iniciativa pública programada se destinó a vivienda pública de alquiler [210]. El sector de la vivienda pública de alquiler representa el 33.6% del parque público de la CAE según datos del 2020, con 25.823 viviendas [211].

El acceso a la vivienda digna ha cobrado mayor importancia si cabe tras los distintos sucesos ocurridos entre 2020 y 2023 con la pandemia del Covid-19, la crisis climática y la guerra en Ucrania. En el informe publicado en 2023 sobre la situación de la vivienda en Europa, se plantea que la vivienda pública, cooperativa y social puede contribuir a una transición energética justa que al mismo tiempo ayude a las personas residentes y comunidades a lidiar con los altos costes de vida actuales [209]. La vivienda social se define como una “vivienda que cumple una función social de habitación habitual o permanente de personas en una situación de necesidad” [212]. Al tratarse de un contexto social de vulnerabilidad y siendo

una tercera parte quien se encarga de la gestión de estos edificios, es necesario entender e identificar la situación real de confort y comportamiento para suplir las necesidades de estas comunidades.

La investigación se ha realizado atendiendo dos escalas de trabajo. Como se exponía en el capítulo de introducción y en el capítulo anterior, el marco metodológico y el análisis de los resultados se ha desarrollado en dos fases de trabajo de acuerdo con los objetivos y las preguntas de investigación. Estas dos fases se adaptan al alcance de los objetivos y las escalas de trabajo. Si bien la consecución de las dos fases permite dar una respuesta a la hipótesis del estudio, esta estructura se adapta a la escala de los ámbitos de estudio propuestos: escala parque de vivienda y escala edificación. En ambas escalas el objeto de estudio es la vivienda y se ha analizado de acuerdo con las características particulares de estas.

En este capítulo se describen el ámbito de investigación y la muestra de las dos fases de trabajo. En el primer apartado se realizará una primera descripción de las viviendas participantes en el proyecto E-lagun, del cual se obtuvieron los datos. En el siguiente apartado se describe, por un lado, la muestra de la fase 1 del proyecto a escala parque de viviendas de la CAE y, por otro lado, la muestra empleada en la fase 2 del proyecto, que está formada por una serie de viviendas de un edificio que se incluye en la fase 1.

4.2 Proyecto E-lagun

El proyecto E-lagun [213] es un proyecto piloto financiado por el Gobierno Vasco, la Asociación de Gestores Públicos de Vivienda y Suelo de Euskadi (AVS-Euskadi) y Viviendas Municipales de Bilbao, en el que participan las principales entidades sociales de vivienda de Euskadi: Alokabide, Donostiako Etxegintza, Sestao Berri, y Viviendas Municipales de Bilbao. Alokabide es una sociedad pública dependiente del Gobierno Vasco para el desarrollo de la función social de la vivienda a través de la política de alquiler. Donostiako Etxegintza es una entidad pública empresarial de vivienda que trabaja en la promoción, adjudicación y gestión de viviendas de protección oficial (VPO), apartamentos para jóvenes y mayores, alquiler de vivienda privada vacía, y en la gestión de ayudas a la rehabilitación de edificios y viviendas de Donostia-San Sebastián. Sestao Berri es una sociedad pública participada al 50% por el Departamento de Planificación Territorial, Vivienda y Transportes del Gobierno Vasco y al 50% por el Ayuntamiento de Sestao. Se creó en 2005 con el fin de ser la herramienta para articular la regeneración urbanística de Sestao a la vez que actúa con las comunidades de

vecinos a nivel social y convivencial. Por último, Viviendas Municipales de Bilbao, es un organismo autónomo local adscrito al Área de Vivienda del Ayuntamiento de Bilbao, que busca satisfacer la demanda de vivienda digna de las personas de Bilbao, a través del régimen de alquiler social, con criterios de eficiencia energética y sostenibilidad.

El proyecto E-lagun se crea como servicio de acompañamiento energético que ayuda a las familias residentes en vivienda de alquiler social de Euskadi a revisar todos los aspectos relacionados con la energía de su vivienda. El objetivo del servicio que se ofrece es “vigilar el impacto económico y medioambiental de la energía de las familias, reduciendo al máximo el coste energético e impulsando el empoderamiento del usuario frente a todas las derivadas energéticas” [213]. La iniciativa pretende guiar a las familias en la toma de decisiones relativa a la energía para lograr un mayor confort y reducir el coste energético. Los hogares pueden optar a solicitar ayuda, consulta, formación, sensibilización y representación en el mercado energético. El proyecto se puso en marcha en octubre de 2019 y actualmente se encuentra pendiente de reactivación.

Las viviendas participantes en esta iniciativa forman parte del parque público de viviendas de alquiler social de la CAE y están localizadas en 5 municipios de los tres territorios históricos: Barakaldo, Bilbao, Sestao, Donostia-San Sebastián y Vitoria-Gasteiz. El parque participante en E-lagun está compuesto por 39 edificios con 141 portales y un total de 2651 viviendas, de las cuales el 40% se sitúa en Gipuzkoa, el 34% en Araba y el 26% en Bizkaia, como se recoge en la Tabla 10 y Tabla 11.

TABLA 10. EDIFICIOS PARTICIPANTES EN EL PROYECTO E-LAGUN

	Alokabide		Donostiako Etxegintza		Sestao Berri		VV MM Bilbao		TOTAL	
	Nº edif.	%	Nº edif.	%	Nº edif.	%	Nº edif.	%	Nº edif.	%
Araba	8	20.5	0	0.0	0	0.0	0	0.0	8	20.5
Bizkaia	1	2.6	0	0.0	10	25.6	5	12.8	16	41.0
Gipuzkoa	2	5.1	13	33.3	0	0.0	0	0.0	15	38.5
Total	11	28.2	13	33.3	10	25.6	5	12.8	39	100.0

TABLA 11. VIVIENDAS PARTICIPANTES EN EL PROYECTO E-LAGUN

	Alokabide		Donostiako Etxegintza		Sestao Berri		VV MM Bilbao		TOTAL	
	Nº viv.	%	Nº viv.	%	Nº viv.	%	Nº viv.	%	Nº viv.	%
Araba	895	33.8	0	0.0	0	0.0	0	0.0	895	33.8
Bizkaia	39	1.5	0	0.0	199	7.5	457	17.2	695	26.2
Gipuzkoa	216	8.1	845	31.9	0	0.0	0	0.0	1061	40.0
Total	1150	43.4	845	31.9	199	7.5	457	17.2	2651	100.0

Si bien todos los edificios inicialmente planteados podían tomar parte en el proyecto, la participación era voluntaria, por lo que, aunque se describan el total de los edificios y las viviendas a los que se ofreció participar, el porcentaje final de participación fue menor.

Se realizó una caracterización detallada de los edificios participantes en el proyecto E-lagun. Esta caracterización ayudó a determinar las características principales del parque para la posterior selección de la muestra del estudio. Se incluyeron las siguientes variables:

- Número de portales;
- Número de viviendas;
- Superficie media de las viviendas (m²);
- Tipología edificatoria;
- Año de construcción;
- Número de plantas sobre rasante.

Asimismo, se definió la planta y sección tipo, identificando así la existencia de patios de luces, la esbeltez o tipología en sección y el uso en planta baja y planta superior. Todos los datos de esta caracterización se obtuvieron de fuentes públicas, en concreto de los catastros de cada una de las provincias, Araba, Bizkaia y Gipuzkoa.

La caracterización recogida en la Tabla 12 describe las viviendas y edificios participantes en el proyecto E-lagun. El parque puede clasificarse en función del año de construcción. Se realizó una clasificación de acuerdo con la definida en el ERESEE [178] donde se definen las siguientes categorías de la edad de la edificación: anterior a 1901, 1901-1940, 1941-1960, 1961-1980, 1981-2007, 2008-2020, posterior a 2020. Si la clasificación se realiza de acuerdo al periodo normativo en el que se construyeron estos edificios la agrupación se resume en cuatro grupos. Un primer grupo que incluye aquellos edificios construidos previamente a la Norma Básica de Edificación sobre condiciones térmicas en los edificios (NBE-CT-79) [214] anteriores a 1979. Un segundo grupo que incluye los edificios construidos entre esta normativa y la entrada en vigor del Código Técnico de la Edificación (CTE) en 2006. Una tercera categoría que comprende las siguientes actualizaciones del CTE hasta la más reciente en el inicio de la investigación en 2019 y por último los edificios construidos a partir del 2019. Si se analiza el parque participante en E-lagun en función de las variables antes descritas, el 93% de las viviendas se construyeron entre 1979 y 2019, lo que supone que la mayor parte del parque se ha edificado bajo alguna normativa energética. En concreto, casi el 70% del parque se edificó tras la entrada en vigor del CTE.

TABLA 12. DESCRIPCIÓN DE LOS EDIFICIOS Y VIVIENDAS PARTICIPANTES EN E-LAGUN

	Edificios		Número de viviendas	
	Nº	%	Nº	%
Año construcción				
1901-1940	1	2.6	5	0.2
1961-1980	2	5.1	20	0.8
1981-2007	20	51.3	1109	41.8
2008-2020	15	38.5	1355	51.1
Posterior a 2020	1	2.6	162	6.1
Periodo normativo				
Anterior a 1979	3	7.7	25	0.9
1979-2005	15	38.5	779	29.4
2006-2019	20	51.3	1685	63.6
Posterior a 2019	1	2.6	162	6.1
Tipología edificatoria				
Bloque compacto	3	7.7	260	9.8
Bloque lineal	13	33.3	878	33.1
Casco histórico	3	7.7	25	0.9
Manzana abierta	10	25.6	904	34.1
Manzana cerrada	10	25.6	584	22.0
Altura de la edificación				
PB+3 a PB+8	36	92.3	2364	89.2
PB+9 y más	3	7.7	287	10.8
Superficie media de las viviendas				
Menos de 55 m ²	4	10.3	288	10.9
55-75 m ²	16	41.0	963	36.3
75-90 m ²	12	30.8	959	36.2
Más de 90 m ²	6	15.4	279	10.5
TOTAL	39		2651	

Se plantearon 5 categorías principales para definir la tipología del edificio: tipología de bloque compacto, bloque lineal, casco histórico, manzana abierta y manzana cerrada. De las viviendas participantes en E-lagun, si bien se observa cierta diversidad tipológica, únicamente el 1% corresponde a la tipología de casco histórico. Destaca principalmente la tipología de manzana abierta y bloque lineal, seguida de la manzana cerrada con 34%, 33%, y 22% de las viviendas respectivamente. En lo relativo a la altura de los edificios, el 89% de las edificaciones tienen una altura de PB+3 a PB+8, lo que supone cuatro plantas sobre rasante hasta 9 plantas sobre rasante, frente al 11% que cuenta con más de 10 plantas sobre rasante.

La superficie media de las viviendas se agrupa principalmente entre 55 y 90 m². Cabe destacar que el 11% de las viviendas tienen una superficie media menor de 55 m², que corresponde a 4 edificios con una tipología de vivienda concreta.

4.3 Descripción general de la muestra

A partir de las viviendas participantes en el proyecto E-lagun, se realizó una selección de viviendas para la fase 1 de la investigación y, a continuación, se realizó una aproximación a un edificio como muestra para la fase 2 del proyecto. En este apartado se describen las muestras de las dos fases de la investigación.

4.3.1 Fase 1: contexto general

En la primera fase del proyecto se trabajó con viviendas de alquiler social del parque de viviendas de la Comunidad Autónoma de Euskadi. Esta muestra se compone de 283 viviendas que participaron en el proyecto E-lagun. A partir de las viviendas participantes en el proyecto E-lagun se realizó una selección de viviendas para definir la muestra que se emplearía en la primera fase de la investigación. La selección se realizó teniendo en cuenta tres puntos clave:

- Provincia: se seleccionaron aquellos edificios pertenecientes a las provincias de Bizkaia y Araba por tratarse de dos provincias con características diferenciadas tanto en clima, como en orografía.
- Periodo normativo: se seleccionaron aquellas viviendas construidas entre 1979-2005 y 2006-2019. Con el objetivo de analizar y comparar la situación de la edificación y las personas residentes en viviendas construidas previamente y posteriormente a la normativa actual. Asimismo, la muestra construida en esos periodos representa el 93% del parque participante en E-lagun. Se descartaron aquellas viviendas construidas a partir del 2019 por la modificación de las exigencias del CTE.
- Tipología de vivienda: se descartaron aquellos edificios formados por una tipología de vivienda con superficie menor de 55 m². Esta tipología no es representativa de la muestra.

Tras esta selección se obtuvieron un total de 16 edificios y 1179 viviendas. De las 1179 viviendas que componen estos 16 edificios, el 24% participaron finalmente en la encuesta y el seguimiento de E-lagun en el momento de la obtención de los datos, lo que supone un total

de 283 viviendas. En definitiva, la muestra final de la fase 1 de la investigación se compone de 283 viviendas pertenecientes a 16 edificios. Para asegurar que los datos son completamente anónimos no se aportará información detallada relativa a la localización exacta de los edificios y viviendas. El Anexo 3 recoge las características específicas de cada edificio de la muestra, donde se incluye un esquema en planta y sección para describir los aspectos generales del edificio.

La muestra se compone así de edificios construidos entre 1979 y 2020. El 76% de estos edificios se construyeron tras la entrada en vigor del CTE, es decir, en el periodo de 2008-2020. Considerando la clasificación climática del CTE [196], el 62.9% de los edificios se sitúan en la zona climática C, seguido por un 37.1% en la zona D. Atendiendo a la clasificación Köppen [197], toda la muestra se sitúa en la zona Cfb, clima templado sin estación seca con verano templado. La tipología edificatoria más representativa es la manzana cerrada, con un 43.8%, seguido del bloque lineal con un 27.2%. La altura de las edificaciones es de PB+3 a PB+8, es decir, desde cuatro plantas sobre rasante a 9 plantas sobre rasante, exceptuando un edificio que es de más de 10 plantas sobre rasante. El tamaño de los edificios de la muestra varía, desde el mínimo con 10 viviendas hasta el máximo con 228 viviendas. Las tablas del Anexo 3 recogen las tipologías y los rangos más representativos de cada edificio analizado, datos obtenidos de fuentes públicas.

Atendiendo a las características de las viviendas de la muestra, las tablas que se muestran a continuación recogen los aspectos espaciales, ambientales y sociales principales: Características de la vivienda (Tabla 13) y Características socio-económicas y socio-demográficas (Tabla 14). Toda la información asociada a los hogares se considera confidencial; cualquier dato que pueda identificar la vivienda ha sido excluido del análisis. La descripción de los hogares se realiza atendiendo al porcentaje y al número de viviendas que presenta cada categoría.

Las características espaciales incluyen aquellas relativas al edificio y aquellas que describen los aspectos específicos de cada vivienda. El 81.6% de las viviendas analizadas tiene todas sus fachadas exteriores, mientras que un 18.4% presenta alguna fachada a un patio de luces. En este caso, se ha considerado patio de luces a aquella zona sin techar situada en el interior de un edificio cuyas características se definen en el Decreto 80/2022, de 28 de junio, de regulación de las condiciones mínimas de habitabilidad y normas de diseño de las viviendas y alojamientos dotacionales en la Comunidad Autónoma del País Vasco [215]. No se ha considerado patio de luces a las manzanas cerradas o manzanas abiertas. El 68.9% de las

viviendas analizadas tienen una posición relativa en el edificio intermedia, con viviendas en la parte superior e inferior. Se considera extremo inferior a las viviendas situadas en plantas bajas o primeras plantas con bajo comercial o libre. Asimismo, se plantea que una vivienda se sitúa en el extremo superior si es la vivienda posicionada en la planta más alta del edificio, independientemente si existen plantas superiores con otros usos como trasteros. Por otro lado, la tipología de vivienda más representativa en la muestra es la vivienda pasante, con un 71.7% del total. También hay viviendas con tipologías en esquina y mono-orientadas, con 10.2% y 12% respectivamente. El tamaño de las viviendas tampoco presenta un patrón definido, encontrando superficies desde 73.83 m² hasta 100.3 m². El 37.1% de las viviendas son de más de 90 m², seguido de las viviendas de 55-75 m² que representa el 32.5% de la muestra. Las viviendas tienen entre 1 y 5 estancias, excluyendo cocinas, baños y despensas. En cuanto al sistema de generación de calor y ACS empleado, el más representativo de la muestra es la caldera de gas con un 69.3%, no obstante, también hay varios edificios con otro tipo de sistemas, con un 30.7%.

TABLA 13. DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS ESPACIALES DE LA MUESTRA DE LA FASE 1

Variable	Nº de viviendas	Porcentaje (%)
Zona climática		
C	178	62.9
D	105	37.1
Compacidad urbana (volumen-área, m³/m²)		
0-1	66	23.3
1-5	93	32.9
5-7.5	34	12.0
7.5-10	90	31.8
>10	0	-
Ruido urbano (dBA)		
<55	20	7.1
55-60	85	30.0
60-65	117	41.3
65-70	61	21.6
70-75	0	-
>75	0	-
Edad edificación		
1981-2007	68	24
2008-2020	215	76

Variable	Nº de viviendas	Porcentaje (%)
Tipología edificatoria		
Bloque compacto	35	12.4
Bloque lineal	77	27.2
Casco histórico	0	-
Manzana abierta	47	16.6
Manzana cerrada	124	43.8
Torre	0	-
Existencia de patio de luces		
No	231	81.6
Sí	52	18.4
Posición relativa		
Extremo inferior	44	15.5
Intermedio	195	68.9
Extremo superior	44	15.5
Tipología de vivienda		
Esquina	29	10.2
Mono-orientada	51	18.0
Pasante	203	71.7
Orientación		
Fachadas sin orientación norte (distinto de N)	156	55.1
Alguna de las fachadas orientadas a norte (tiene N)	127	44.9
Superficie vivienda (m²)		
Menos de 55	10	3.5
55-75	92	32.5
75-90	76	26.9
Más de 90	105	37.1
Ratio fachada/vivienda		
0-25%	7	2.5
26-50%	177	62.5
51-75%	93	32.9
76-100%	6	2.1
Sistema de generación calor y ACS		
Caldera de calefacción y agua caliente a gas	196	69.3
Otros sistemas	87	30.7
Estado de conservación		
No está rehabilitado	250	88.3
Rehabilitación integral	33	11.7

TABLA 14. DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS SOCIALES DE LA MUESTRA DE LA FASE I

Variable	Nº de viviendas	Porcentaje
Número de personas en la vivienda		
1	78	27.6
2	78	27.6
3	52	18.4
4	41	14.5
5	27	9.5
6	6	2.1
Más de 6	1	0.4
Menores de 5 años en la vivienda		
No	233	82.3
Sí	50	17.8
Mayores de 75 años en la vivienda		
No	276	97.5
Sí	7	2.5
Perfil hogar		
Persona sola de 75 o más años	0	
Persona sola de menos de 75 años	78	27.6%
Pareja sin menores de 16 años a cargo	47	16.6%
Pareja con un menor de 16 años a cargo	22	7.8%
Pareja con dos menores de 16 años a cargo	26	9.2%
Pareja con tres o más menores de 16 años a cargo	14	4.9%
Un adulto con menores de 16 años a cargo	30	10.6%
Tres o más adultos sin menores de 16 años a cargo	44	15.6%
Tres o más adultos con menores de 16 años a cargo	22	7.8%
Ingresos (€)		
Menos de 800	84	29.7
800-1000	101	35.7
1000-1200	83	29.3
Más de 1200	15	5.3

Las características socio-económicas y socio-demográficas de los hogares de la muestra describen las personas que residen en las viviendas en el momento en el que se realizó la toma de datos. Al tratarse de viviendas públicas de alquiler social cuentan con un alto factor de rotación, es decir, pueden producirse cambios de las familias que residen en las viviendas. Para el análisis se asume las características del hogar que estaba residiendo en el momento en el que se realizó la toma de datos, que es el primer semestre de 2021. En la Tabla 14 se

describen las características sociales de las viviendas de la muestra de la fase 1 del proyecto de investigación.

No se observa un tamaño de vivienda representativo, oscilan entre 1 y 4 personas principalmente, con un porcentaje inferior cuando el hogar es de 4 personas o más. Si bien se observa cierto porcentaje de hogares con menores de 5 años, no ocurre lo mismo con las personas mayores de 75 años, ya que únicamente en el 2.5% de las viviendas reside una o más personas mayores de 75 años. El perfil social más representativo es el de persona sola de 75 años o menos y otro tipo de hogares, con 27.6% y 23.3% respectivamente. Le sigue a este perfil el de “Pareja sin menores a cargo” y los hogares formados por tres o más adultos con o sin menores a cargo, con 16.6% y 23.4% respectivamente. Para definir estos perfiles se tomaron como referencia los definidos en la Encuesta de Presupuestos Familiares del INE [186]. El 35,7% de los hogares tiene unos ingresos medios mensuales entre 800 y 1000€ y únicamente el 5.3% de la muestra cuenta con unos ingresos superiores a 1200€ mensuales.

Como se planteaba al inicio del capítulo, esta muestra descrita es la empleada en el análisis de la primera fase de la tesis doctoral. Si bien no es una muestra pequeña, ya que cuenta con 283 viviendas, no se pretende extrapolar los resultados, sino analizar la situación en este contexto. Estos casos de estudio permiten obtener una visión general de la situación comparando dos zonas climáticas diferenciadas con edificios construidos en dos periodos normativos concretos.

4.3.2 Fase 2: contexto específico



Figura 12. Planta del edificio en estudio de la fase 2

En la segunda fase del proyecto se hizo una aproximación a un edificio para realizar análisis más detallados, como se ha explicado en el apartado de metodología. La metodología de esta fase se aplicó a un único edificio de viviendas públicas de alquiler social. Se seleccionó una muestra de 58 viviendas de ese edificio, correspondientes con las viviendas participantes en el proyecto E-lagun incluidas en la muestra de la fase 1. Se seleccionó este edificio por contar

con los resultados de las encuestas y los datos monitorizados del ambiente interior, temperatura y humedad relativa, y datos sobre consumo de calefacción y ACS. Dado que los casos de estudio corresponden a viviendas de alquiler social, se asume a efectos de análisis que no se ha producido ningún cambio de las familias inquilinas durante el periodo analizado. La Figura 12 muestra la planta tipo del edificio en estudio y en la Tabla 15 se resumen las principales características del edificio.

TABLA 15. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA DE LA FASE 2

Condiciones climáticas exteriores	
Zona climática Köppen-Geiger	Cfb
Clasificación climática (CTE)	D
Características del edificio	
Año de construcción	2010
Número de plantas	Baja + 8
Número de viviendas	126
Carpinterías	Aluminio
Sistema de generación de calor y ACS	Centralizada
Fuente de energía	Gas natural
Ventilación	Híbrida
Tipología de las viviendas	Vivienda en esquina (15.5%) Vivienda pasante (55.2%) Mono-orientada (29.3%)
Superficie media de las viviendas	89.53 m ²
Perfil social*	
1a>75	0%
1a<75	13.8%
2a	13.8%
2a_1c	10.3%
2a_2c	13.8%
2a_3c	12.1%
1a_c	10.3%
3a	10.3%
3a_c	15.5%
Sistema para el control ambiental	
Sistema de control	AuGe

*1a<75: un adulto menor de 75; 2a: dos adultos; 2a_1c: dos adultos con menor de 16; 2a_2c: dos adultos con dos menores de 16; 2a_3c: dos adultos con tres o más menores de 16; 1a_c: un adulto con uno o más menores de 16; 3c: tres o más adultos; 3a_c: tres o más adultos con menores de 16.

El edificio, construido en 2010, tiene un total de 8 plantas y 126 viviendas que se dividen en tres tipologías diferentes: viviendas en esquina, pasantes y mono-orientadas. Las viviendas situadas en los extremos se consideran viviendas en esquina, ya que cuenta con tres fachadas al exterior con más de dos orientaciones. El edificio cuenta con un sistema centralizado de generación de calor de gas natural con control individual en cada vivienda. El sistema de ventilación es híbrido, con extracción mecánica en cocinas y ventilación natural. Atendiendo a la clasificación climática del CTE el edificio se sitúa en la zona climática D. En cuanto a la clasificación según Köppen [197] la región se clasifica como Cfb: templado cálido, totalmente húmedo y verano cálido.

Durante el periodo de monitorización el edificio formó parte de una iniciativa llevada a cabo por la entidad gestora para hacer frente a la pobreza energética. Como parte del proyecto, la entidad se hizo cargo de los gastos de calefacción correspondientes a alcanzar una temperatura de 18°C dentro de la vivienda. Como resultado, los hogares sólo tenían que abonar los gastos correspondientes por el consumo destinado a alcanzar temperaturas superiores a 18°C. En consecuencia, se ha considerado que los comportamientos y el uso de la calefacción pueden variar en comparación con un periodo anterior al proyecto. No obstante, los consumos de calefacción que se muestran son los consumos totales.

En el siguiente capítulo se desarrollarán los resultados de los análisis de cada fase, donde se aplica la metodología explicada a las dos muestras definidas en el presente capítulo: contexto general y contexto específico.

Parte 3

Resultados de la investigación

5 Resultados: fase 1

Percepción del confort y uso de la vivienda

En este capítulo se presentan, analizan y discuten los resultados de la primera fase de la investigación. El capítulo se divide en cuatro subsecciones. En el primer apartado se detectan las variables de la vivienda y los hogares relacionadas con el confort percibido y el uso de la vivienda. El segundo apartado expone los resultados del confort percibido en base a las características de las viviendas y en base a las características sociales de los hogares. En el tercer apartado se recogen los resultados del análisis de la satisfacción térmica y los comportamientos asociados al ambiente térmico. Por último, se realiza un análisis detallado y una discusión de los resultados de esta primera fase.

En la primera fase de la investigación se pretende responder a tres de las preguntas de investigación: ¿Las características de la vivienda y de los hogares están relacionadas con la percepción del confort y con el uso de la vivienda?, y en ese caso ¿Cuáles son las características relacionadas? (PI.1); ¿Cuál es la situación de confort de los hogares residentes en vivienda social? (PI.2); ¿La percepción del ambiente térmico es subjetiva? y en concreto, ¿En qué medida las características sociales influyen en los hábitos de ocupación y en los comportamientos asociados al ambiente térmico? (PI.3). A continuación, se presentan los resultados obtenidos que pretenden dar respuesta a estas cuestiones.

5.1 Análisis de las variables incidentes en el confort percibido y en el uso de la vivienda

Los datos de esta primera fase de la investigación provienen de encuestas realizadas a una muestra de 283 viviendas sociales, tal y como se ha explicado en el capítulo de metodología 3.2.2. Los datos de las encuestas permitieron recopilar información relacionada con la vivienda, las personas integrantes en la unidad familiar, la percepción del ambiente interior y los hábitos de comportamiento y ocupación de la vivienda. Los resultados relativos a las características de la vivienda y los hogares se muestran en el capítulo anterior, en concreto en la Tabla 13 y Tabla 14 del apartado 4.3.1. Por otro lado, los resultados generales relativos a cómo perciben los hogares de la muestra el ambiente interior de su vivienda, así como la descripción general de la ocupación y el uso de la vivienda se presentan a continuación en la Tabla 16. Estos resultados permitieron tener una primera idea del contexto en el que se estaba realizando el análisis. Con esta primera aproximación, se definió la matriz de análisis que se describe a continuación para estudiar la relación entre las variables. Las preguntas específicas realizadas en la encuesta se recogen en el Anexo 2.

TABLA 16. RESULTADOS OBTENIDOS EN LA ENCUESTA PARA LAS VARIABLES DE PERCEPCIÓN DEL CONFORT Y USO DE LA VIVIENDA

Variable	Nº de viviendas	Porcentaje (%)
Temperatura interior percibida		
Por debajo de 16°C	54	19.1
Entre 16 y 19°C	223	78.8
Entre 19 y 21°C	5	1.8
Más de 21°C	1	0.4

Variable	Nº de viviendas	Porcentaje (%)
Temperatura interior deseada		
Por debajo de 16°C	2	0.7
Entre 16 y 19°C	122	43.1
Entre 19 y 21°C	143	50.5
Más de 21°C	16	5.7
Capacidad para mantener la vivienda a temperatura de confort		
No	25	8.8
A veces	103	36.4
Sí	155	54.8
Confort térmico en invierno		
Frío	100	35.3
Neutra	176	62.2
Calor	7	2.5
Calidad de aire interior (frecuencia de percepción de discomfort)		
Nunca	215	76.0
A veces	47	16.6
Siempre	21	7.4
Confort lumínico		
Nada adecuado	10	3.5
Adecuado	245	86.6
Totalmente adecuado	28	9.9
Confort acústico (frecuencia de percepción de discomfort)		
Nunca	153	54.1
A veces	71	25.1
Siempre	59	20.8
Existencia de humedades		
No	246	86.9
Sí	10	3.5
Existencia de infiltraciones		
No	258	91.2
Sí	25	8.8
Ocupación de mañana (personas en la viviendas)		
No	146	51.6
Sí	137	48.4
Ocupación de tarde (personas en la viviendas)		
No	18	6.4
Sí	265	93.6

Variable	Nº de viviendas	Porcentaje (%)
Ocupación de noche (personas en la viviendas)		
No	1	0.4
Sí	282	99.6
Uso del sistema de calefacción		
Sin sistema de calefacción	11	3.9
Uso de otros aparatos teniendo calefacción	55	19.4
Uso normal de la calefacción	217	76.7
Gasto medio mensual de energía		
Menos de 30	32	11.3
30-60	153	54.1
60-90	61	21.6
90-130	29	10.2
Más de 130	8	2.8

Partiendo de la muestra de 283 viviendas, se analizó la relación entre las características de la vivienda y los hogares con el confort percibido. Esto permitió determinar cuáles eran los aspectos clave que influyen en la percepción de la CAI. Asimismo, se analizó la relación entre las variables de comportamiento de la encuesta con los factores sociales para detectar qué variables pueden explicar la ocupación y el uso de la vivienda.

Se analizaron por un lado las asociaciones entre las características de la vivienda y los diferentes parámetros ambientales: temperatura interior percibida (TO), capacidad de mantener la vivienda a una temperatura adecuada (TC), calidad del aire interior (CI), confort lumínico (LC), confort acústico (AC), presencia de humedad (HUM) y presencia de corrientes de aire (INF). Por otro lado, se analizaron las asociaciones entre las características sociales de los hogares y las variables de confort, comportamiento y patrones de ocupación: presencia en la vivienda durante el periodo de mañana (OM), ocupación de tarde (OT), ocupación de noche (ON), uso del sistema de calefacción (UC) y gasto medio mensual de energía (GE).

El análisis de asociación se realizó aplicando la prueba exacta de Fisher, que indica si existe una asociación entre la característica y el parámetro ambiental (p -valor $<.05$) o si las variables son independientes (p -valor $>.05$). La hipótesis de partida (H_0) plantea que las variables de confort y comportamiento y las variables sociales y de la vivienda son independientes. Los resultados de la prueba se recogen en la Tabla 17 y Tabla 18. Asimismo, los resultados completos de las frecuencias observadas de cada variable a partir de los cuales se realizaron los análisis de asociación se recogen en el Anexo 4.

TABLA 17. RESULTADOS DEL TEST DE FISHER PARA LAS VARIABLES DE PERCEPCIÓN DEL CONFORT Y LOS FACTORES ESPACIALES Y SOCIALES

	TO	CVT	CT	CI	CL	CA	HUM	INF
Zona climática	.275	.129	.705	.109	.506	.704	.181	.106
Compacidad urbana	.286	.477	.499	.748	3.02e ^{-05a}	.679	.489	.065
Ruido urbano	.885	.114	.449	.023 ^a	.007 ^a	.794	.197	.222
Edad de la edificación	.007 ^a	.975	1.00	.053	.012 ^a	.284	1.00	.626
Tipología edificatoria	.687	.401	.495	.142	.001 ^a	.783	.408	.004 ^a
Existencia de patio de luces	.948	.204	.056	.006 ^a	.002 ^a	.845	.695	1.00
Posición relativa en el edificio	.076	.169	.476	.234	.010 ^a	.874	.888	.808
Tipología de la vivienda	.734	.204	.338	.876	.491	.498	.099	1.00
Orientación	.166	.046 ^a	.107	0.490	.223	.372	.118	.015 ^a
Superficie de la vivienda	.247	.889	.695	.986	.521	.195	.694	.384
Número de estancias	.060	.497	.061	.135	.012 ^a	.064	.211	.344
Ratio fachada-vivienda	.102	.038 ^a	.175	.340	.859	.919	.579	.163
Generación de calor y ACS	.588	1.15e ^{-04a}	.019 ^a	.485	.175	.254	.450	.077
Estado de conservación del edificio	2.02e ^{-04a}	.816	1.00	.680	9.34e ^{-08a}	.516	.329	.016 ^a
Factores sociales								
Número de personas	.4561	.006 ^a	.219	.286	.118	.258	.129	.143
Perfil social	.885	.013 ^a	.322	.246	.036 ^a	.004 ^a	.024 ^a	.051
Menores de 5 años en la vivienda	.631	.433	.347	.553	.502	.779	.080	.024 ^a
Mayores de 75 años en la vivienda	.678	1.00	.521	1.00	.640	.226	1.00	1.00
Ingresos	1.4e ^{-04a}	.029 ^a	.812	.919	7.38e ^{-09a}	.443	.123	8.68e ^{-5a}

^a Asociación con 95% de intervalo de confianza.

TO: Temperatura interior percibida; CVT: Capacidad para mantener la vivienda a temperatura de confort; CT: Confort térmico en invierno; CI: Calidad del aire interior; CL: Confort lumínico; CA: Confort acústico; HUM: Presencia de humedades; INF: Presencia de infiltraciones.

TABLA 18. RESULTADOS DEL TEST DE FISHER PARA LAS VARIABLES DE COMPORTAMIENTO Y LOS FACTORES SOCIALES

	OM	OT	ON	UE	GE
Factores sociales					
Número de personas	.029 ^a	.020 ^a	1	.110	5.00e ^{-04a}
Perfil social	.080 ^a	.045 ^a	1.00	.001 ^a	5.00e ^{-04a}
Menores de 5 años en la vivienda	.756	1.00	1.00	.004 ^a	.029 ^a
Mayores de 75 años en la vivienda	.006 ^a	1.00	1.00	.722	.265
Ingresos	.026 ^a	.963	.643	.007 ^a	.067

^a Asociación con 95% de intervalo de confianza.

OM: Ocupación de mañana; OT: Ocupación de tarde; ON: Ocupación de noche; UE: Uso del sistema de calefacción; GE: Gasto de energía.

La tabla se ha trabajado por filas, en las que se analiza si cada variable espacial o social está asociada con los distintos parámetros ambientales percibidos y con el uso de la vivienda.

Al leer la tabla por columnas se pueden identificar los factores espaciales y sociales que podrían tener vinculación con un determinado parámetro de confort o comportamiento.

5.1.1 Factores espaciales

La primera parte del análisis examina la asociación entre las características de la vivienda y las variables de percepción. Como puede observarse en la Tabla 17, la zona climática no muestra asociaciones con ninguno de las variables analizadas. La compacidad urbana y el confort lumínico percibido presentan asociación estadísticamente significativa, p -valor $< .05$. No se observa asociación entre el ruido urbano y el confort acústico, p -valor = $.794$. En cuanto a las características arquitectónicas, la fecha de construcción presenta asociación con la temperatura interior percibida y en el confort lumínico, p -valor = $.007$ y $.120$ respectivamente.

Si se analizan los factores asociados a un determinado parámetro de confort, los resultados muestran que el confort lumínico presenta asociación con diferentes características de la vivienda, entre ellas la posición relativa de la vivienda en el edificio. En otras palabras, cuando la vivienda se encuentra a mayor altura dentro del edificio, mayor será la radiación solar procedente del exterior. Sin embargo, no se ha encontrado una influencia significativa de la orientación en el confort lumínico. Este resultado es un tanto contradictorio, ya que la orientación puede determinar una mayor o menor radiación solar incidente en la vivienda.

La capacidad de mantener la vivienda a la temperatura de confort presenta asociación estadísticamente significativa con la orientación de la vivienda, la relación fachada-vivienda y el sistema de generación de calor, con un nivel de confianza superior al 95%. Sin embargo, para la muestra analizada, el estado de conservación no influye en este parámetro, pero sí en la temperatura interior percibida, la calidad lumínica y la existencia de infiltraciones. Por otro lado, la variable de confort térmico en invierno únicamente presenta asociación con el sistema de generación de calor y ACS.

Este análisis aporta evidencias que sugieren la influencia de la perspectiva de las personas y la subjetividad de sus respuestas en la percepción de confort. También aporta nuevos conocimientos sobre la relación entre las características de las viviendas sociales y el confort percibido. Las necesidades y percepciones de las personas residentes se han estudiado generalmente mediante la recopilación de datos de monitorización y ocupación, el desarrollo de modelos de comportamiento y su implementación en herramientas de simulación [216] y se centran principalmente en aspectos técnicos más que socioeconómicos. La combinación

de los resultados del análisis de la monitorización con el análisis de las ciencias sociales puede ayudar a ofrecer soluciones adaptadas a las necesidades reales [117].

Tras un primer análisis de las asociaciones existentes entre las características de la vivienda y la CAI percibida, se presenta un análisis detallado de estos resultados. Para determinar el valor numérico del confort se transformaron las respuestas de las variables relativas al confort percibido en una escala del 1 al 3 (donde 1: Disconfort; 2: Neutro; 3: Confort).

Si bien en la Tabla 17 se recoge que la compacidad urbana influye en el confort lumínico, los resultados de la encuesta no corresponden con un patrón específico, como se observa en la Figura 13. Aunque estadísticamente existe asociación (p-valor <.05), se concluye que está condicionada por otros factores como la percepción de las personas residentes. Algo similar ocurre con la posición relativa de la vivienda en el edificio. En base a los resultados de la Tabla 17, la posición relativa de la vivienda en el edificio no influye en la calidad lumínica. No obstante, como se puede observar en la Figura 13, las respuestas de disconfort respecto al confort lumínico son mayores en aquellas viviendas situadas en los extremos inferiores del edificio.

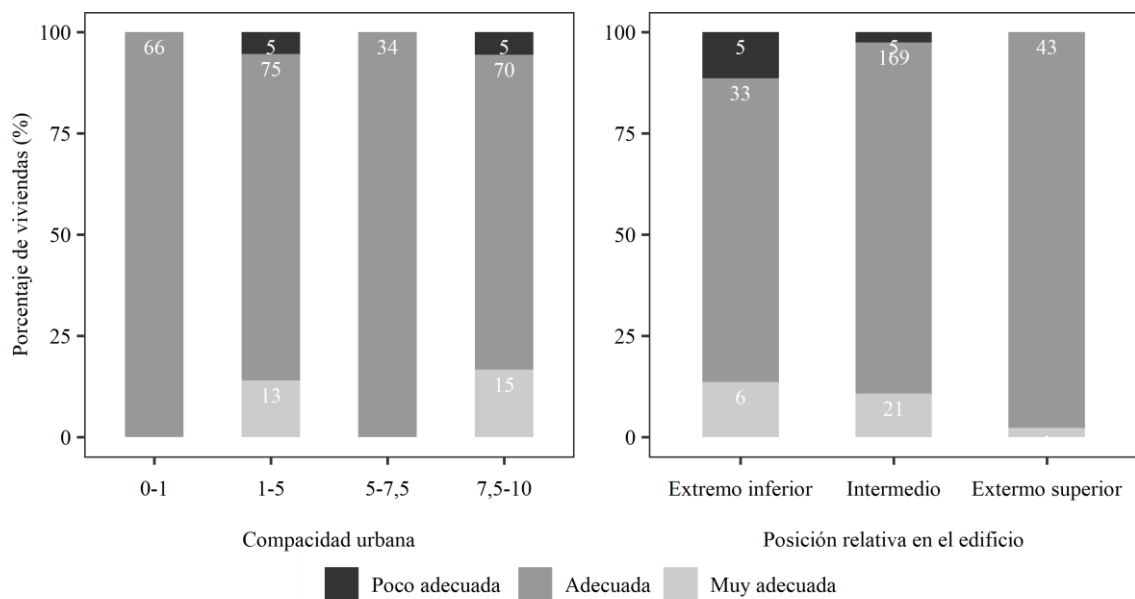


Figura 13. “¿Cómo definiría la iluminación natural en su vivienda?” Confort lumínico percibido en relación con la compacidad urbana y la posición relativa en el edificio

Por otro lado, los resultados de la Figura 14 sugieren que cuanto mayor es el ratio de fachada por vivienda, mayor es el número de hogares que declaran percibir un mayor confort lumínico, en contraposición con los resultados de la Tabla 17, donde no se observaba asociación estadística. En cuanto a la orientación de la vivienda, no hay diferencias

significativas en el confort lumínico con relación a esta variable, donde los hogares con algunas fachadas orientadas al norte informan de un confort de 2.07 frente a 2.05 sobre 3 para los hogares sin fachadas orientadas a norte, lo que se corresponde con los resultados de la Tabla 17.

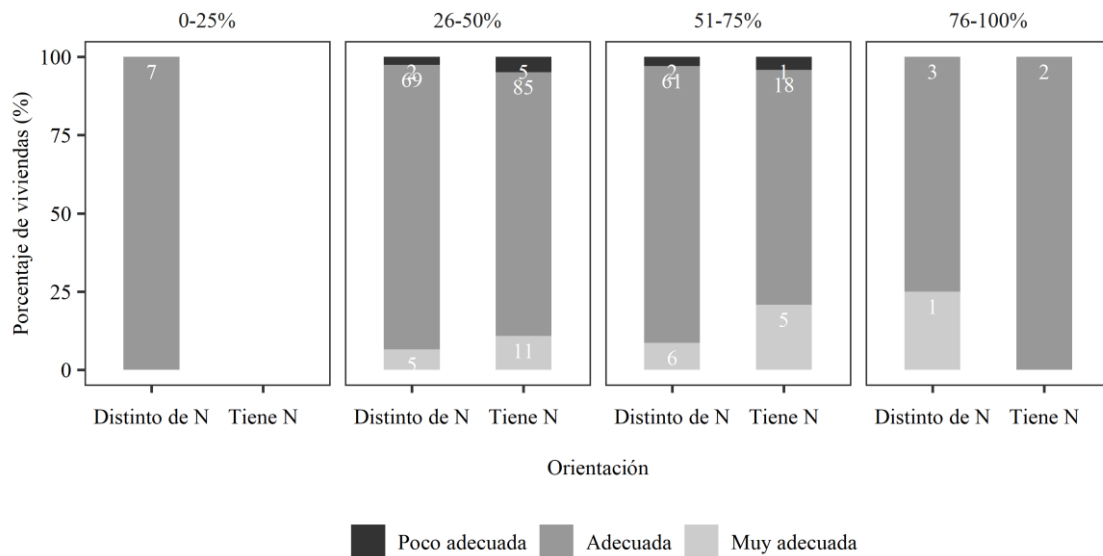
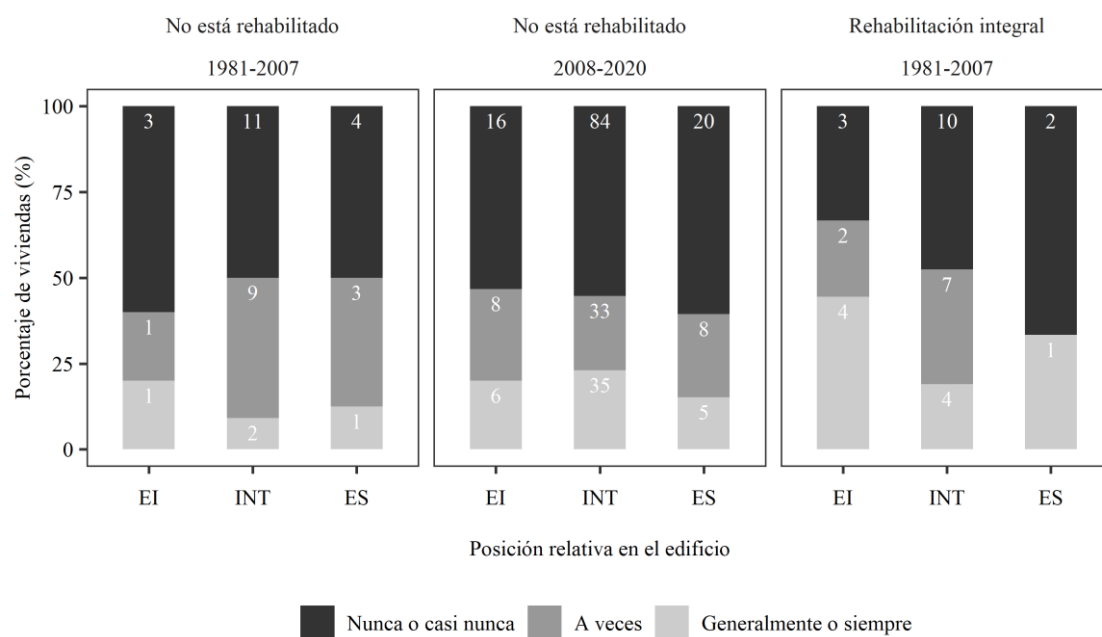


Figura 14. Confort lumínico percibido en relación con la orientación y el ratio de fachada-vivienda

El ruido urbano, ya sea procedente del tráfico rodado, de edificios colindantes o de locales próximos, puede causar molestias y problemas de salud a las familias residentes [195]. No obstante, los resultados no muestran una asociación relevante entre el ruido urbano y el confort acústico percibido en la muestra analizada. Si bien la calidad acústica no presenta ninguna asociación con las variables analizadas, estos resultados se compararon con las características de la vivienda que pueden influir en el confort acústico, como se muestra en la Figura 15. La existencia de aislamiento acústico, el estado de conservación, las características de la carpintería y la distribución y aislamiento de las instalaciones son claves para evitar molestias y disconfort debido al ruido. Los resultados del presente proyecto muestran un aumento del confort acústico en los edificios rehabilitados y en las plantas más altas de los edificios, así como en las viviendas construidas a partir de 2008. Este aumento no se produce en los edificios construidos entre 1981 y 2007 sin rehabilitar. En general, la posición relativa está asociada con el confort acústico, que aumenta cuanto mayor es la posición relativa en el edificio. En concreto, se obtuvieron resultados de confort medio de 2.25, 2.33 y 2.43 sobre 3 para las categorías de posición relativa en “extremo inferior”, “intermedio” y “extremo superior”, respectivamente.



*EI: extremo inferior; INT: posición intermedia; ES: extremo superior.

Figura 15. "¿Con qué frecuencia percibe en su vivienda ruido del exterior o del vecindario (tráfico, comercio, talleres, etc.)?" Confort acústico percibido en relación con la posición relativa en el edificio, el estado de conservación y la edad de la edificación

Los resultados de la Tabla 17 recogen que las variables de orientación y el sistema de generación de calor y ACS están asociadas con la capacidad de mantener la vivienda a la temperatura de confort. Asimismo, esta asociación se observa en la Figura 16. Los resultados de la encuesta mostraron un mayor porcentaje de viviendas en confort térmico en aquellas con sistema de gas natural sin fachadas orientadas a norte, frente a las viviendas con sistemas secundarios de generación de calor y orientación norte, un 67.9% y 27% respectivamente. El 62.2% de las viviendas con instalación de caldera de gas respondieron que son capaces de mantener su vivienda a una temperatura adecuada, frente al 37.9% de las viviendas que utilizan sistemas secundarios de generación de calor.

El año de construcción y el estado de conservación son a su vez factores que afectan al comportamiento energético del edificio. Un análisis detallado de estas variables evidenció que las viviendas con alguna de sus fachadas orientadas a norte presentaron un menor porcentaje de viviendas en confort, con una media de 2.38 frente a 2.51 de confort para las viviendas no orientadas a norte. En concreto, las viviendas con alguna de sus fachadas orientadas a norte, sin rehabilitar y construidas entre 1981 y 2007 son las que presentaron un mayor porcentaje de respuestas de desconfort térmico, como se recoge en la Figura 16. Por otro lado, las viviendas que presentaron mayor porcentaje de respuestas de confort térmico percibido fueron las construidas antes de la implantación del CTE, sin rehabilitar, pero sin

fachadas orientadas a norte, con una media de 2.55 puntos frente a las rehabilitadas con la misma orientación, de 2.26 puntos. Los edificios construidos recientemente presentan mejoras energéticas gracias a la actualización de las exigencias respecto a aquellos construidos previamente al CTE. Sin embargo, los resultados sugieren que con la mejora constructiva y energética del parque edificado las personas, sus preferencias y necesidades cobran un papel más importante en el estudio del confort.

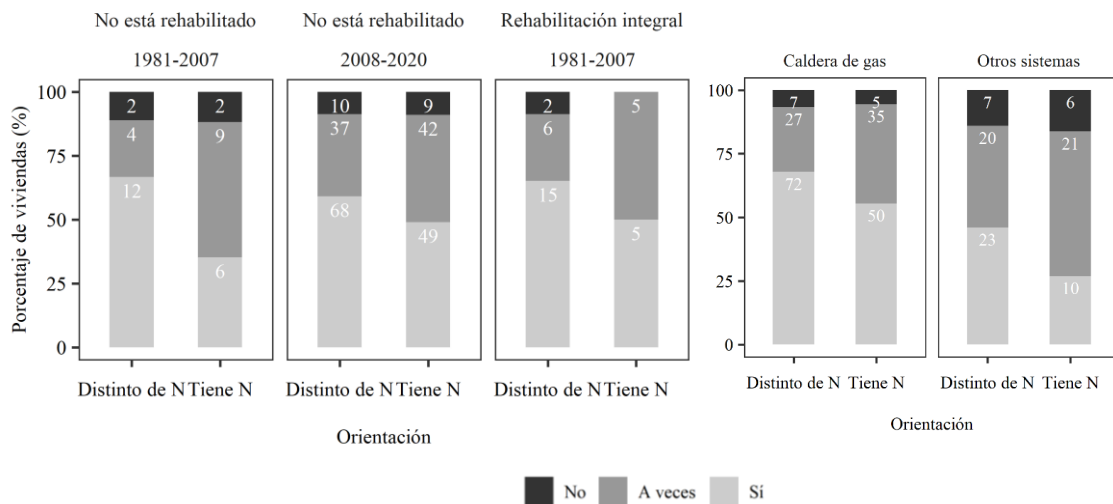


Figura 16. “¿Puede mantener su vivienda al confort que le gustaría?” Capacidad para mantener la vivienda a la temperatura de confort en relación con la orientación, el estado de conservación y el año de construcción (izquierda) y en relación con la orientación y el sistema de generación de calor y ACS (derecha).

Cabe mencionar, que también se observó una asociación estadísticamente significativa entre la calidad del aire percibida y la existencia de patios de luces, p-valor <.05. Se concluyó que las viviendas con alguna de sus fachadas orientadas a un patio de luces presentan un mayor malestar en términos de calidad del aire. En concreto, el confort de las viviendas sin patios interiores era de 2.74, frente al 2.44 (IC 95% 0.08-0.52) de las viviendas con fachada a patio de luces.

5.1.2 Factores sociales

La segunda parte del análisis de asociación estudió la relación entre de los factores sociales y las variables de percepción del confort y uso de la vivienda, cuyos resultados se recogen en la Tabla 17 y la Tabla 18. La Tabla 17 muestra que la única variable asociada a la temperatura interior percibida en invierno es la variable de ingresos medios mensuales, con $p = 1.4e^{-04}$. En contraste con la temperatura interior percibida, la capacidad para mantener la vivienda a temperatura de confort es la variable que presenta mayor asociación con las características

sociales, en concreto con el número de personas en la vivienda, el perfil social y los ingresos. Por otro lado, la variable de confort térmico en invierno no presenta asociación con ninguno de los factores sociales.

El análisis del uso de la vivienda evidenció una asociación estadísticamente significativa de la ocupación de la vivienda con el número de personas del hogar, el perfil social, la existencia de personas mayores de 75 años en la vivienda y los ingresos medios, p-valor $<.05$. Esta asociación se observó en la variable relativa al uso de la vivienda en el periodo de mañana, donde puede producirse una mayor diversidad de ocupación de la vivienda. En cambio, la ocupación de noche no presenta asociación con los factores sociales.

Los resultados de la Tabla 18 muestran que las variables asociadas con el uso del sistema de calefacción y ACS son el perfil social, la existencia de menores de 5 años en la vivienda y los ingresos. Los resultados muestran que los perfiles que utilizan sistemas secundarios de generación de calor son los perfiles formados principalmente por un adulto solo menor de 75 años ($1a < 75$) y un adulto con menores a cargo ($1a_c$). El gasto de energía no presenta asociación con los ingresos medios mensuales, pero sí con el número de personas y a la existencia de menores de 5 años en el hogar.

El análisis de las asociaciones entre las variables sociales que caracterizan a los hogares y las variables de confort percibido y uso de la vivienda permite detectar las características de las personas que pueden tener una mayor influencia en el confort percibido. Son estas variables las que habría que considerar en los procesos de diseño de intervención en edificios y en la gestión de las viviendas.

Tras detectar los factores sociales que influyen en el confort y uso de la vivienda de la muestra, se estudió con más detalle cómo se produce este impacto en el confort térmico. Se compararon para ello la variable que define la capacidad de mantener la vivienda a temperatura de confort con dos variables relacionados con el hogar, los ingresos medios mensuales y el gasto energético.

En general se observa cierto aumento del confort a medida que aumentaban los ingresos, en concordancia con los resultados de la Tabla 17, donde se puede ver que existe asociación estadísticamente significativa entre las dos variables (p-valor = $.029$). Sin embargo, como se puede ver en la Figura 17, la tendencia varía para los hogares con ingresos superiores a 1200€. Por otro lado, el gasto medio mensual en energía no presenta asociación estadísticamente significativa con la variable de confort térmico (p-valor = $.141$). No obstante, los hogares con

un gasto superior a 30 euros al mes muestran una tendencia de menor capacidad para mantener la vivienda a la temperatura de confort. Aunque estas asociaciones se dan en esta muestra, sería necesario un análisis detallado para determinar si el gasto real en calefacción y los ingresos están asociados de forma similar en otros contextos.

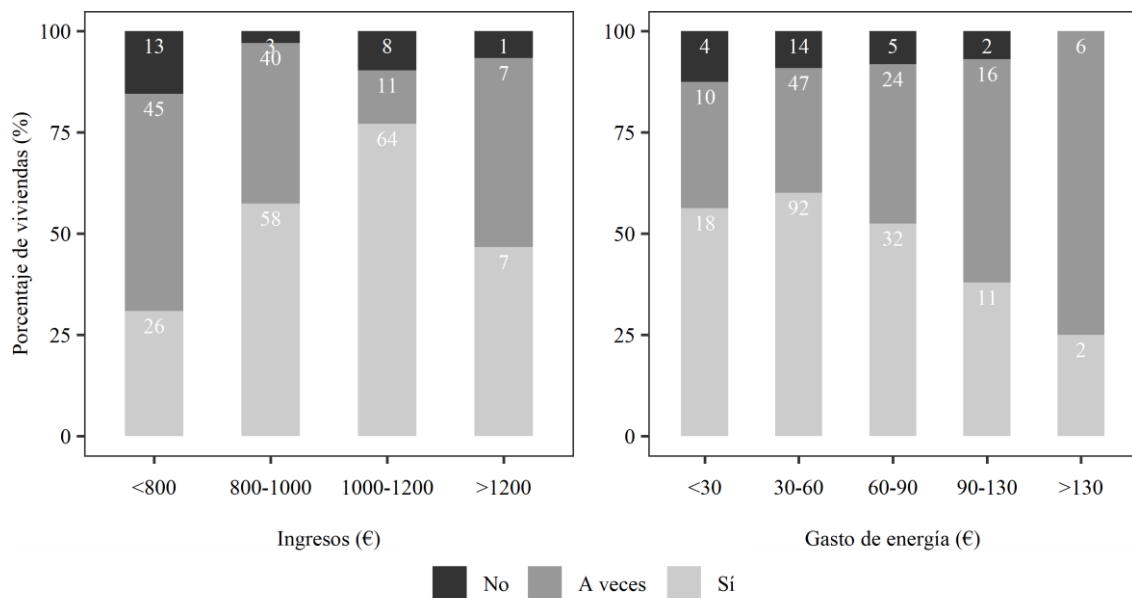


Figura 17. Capacidad para mantener la vivienda a temperatura de confort por ingresos y gastos de energía

La variable relativa al uso de la vivienda en el periodo de mañana fue la segunda variable que presentó más asociaciones con los factores sociales. La Figura 18 contrasta la variable de ocupación con la presencia de personas mayores de 75 años en la vivienda y el número de personas, lo que permite detectar de qué forma se produce esa asociación. En el caso de la presencia de personas mayores de 75 años la asociación es clara. Cuando en la vivienda hay personas mayores de 75 la vivienda está ocupada en el periodo de mañana en el total de los casos. Si bien el número de observaciones no es elevado ($n = 7$) aporta una información de la influencia de los factores sociales en el uso de la vivienda de la muestra. En el caso del número de personas, se observa una tendencia ascendente donde a mayor número de personas en la vivienda, mayor el porcentaje de hogares con presencia de personas en la vivienda en el periodo de mañana. Se detecta una discontinuidad en los hogares formados por 2 personas. En estos hogares el porcentaje de presencia es mayor que en los hogares formados por 3 personas.

Dado que el contexto sociocultural puede variar significativamente en función de la ubicación del edificio dentro de una ciudad, región o país, los resultados obtenidos podrían diferir si el mismo análisis se realizara en un entorno distinto. Por lo tanto, sería necesario

seguir analizando cómo influyen los factores espaciales y sociales en la percepción y el uso de la vivienda.

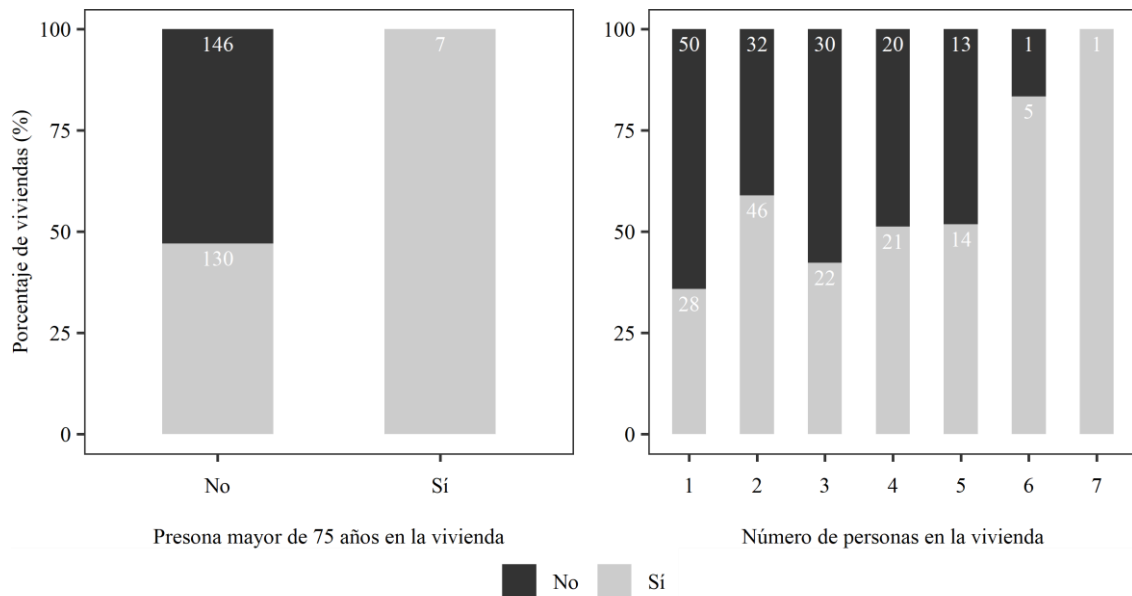


Figura 18. Uso de la vivienda en el periodo de mañana

Los resultados en este apartado muestran que diversos factores espaciales y sociales presentan asociación con determinados parámetros del confort percibido y el uso de la vivienda. En el siguiente capítulo se profundiza en el estudio del confort a partir de las características de la vivienda y de los hogares.

5.2 Análisis del confort percibido

Tras estudiar la relación entre los factores sociales y espaciales con el confort y el uso de la vivienda, se analizaron los parámetros del confort percibido. En primer lugar, se realizó una evaluación general de la situación para detectar los parámetros en los que los resultados muestran valores que denotan percepción de mayor confort. A continuación, se realizó una aproximación a la percepción del confort en función de las características de la vivienda, por un lado, y en función de las características de los hogares, por otro lado.

Como se ha explicado previamente, el confort percibido se ha definido a partir de las categorías de los parámetros de la CAI analizados. Para ello, se ha establecido una clasificación del confort y disconfort considerando que una vivienda no estará en confort si presenta algún grado de disconfort en el parámetro analizado, independientemente de su

severidad. De esta forma, se obtienen los porcentajes de confort que se muestran en la Tabla 19. En base a los resultados de asociación del apartado anterior recogidos en la Tabla 17, se decide emplear la variable de “capacidad para mantener la vivienda a temperatura de confort” como variable para definir el confort térmico, ya que presenta asociación con un mayor número de variables sociales y espaciales que la variable inicial de confort térmico en invierno (CT en la Tabla 17).

Los resultados del análisis del confort percibido sugieren que la variable con mayor porcentaje de viviendas en situación de confort es la iluminación natural de la vivienda. En cambio, las variables de confort acústico percibido y la capacidad de mantener la vivienda a una temperatura confortable presentan altos porcentajes de disconfort, 45.9% y 45.2% respectivamente.

TABLA 19. SITUACIÓN GENERAL DEL CONFORT PERCIBIDO

Variable	Confort		Disconfort	
	Frecuencia absoluta	Porcentaje (%)	Frecuencia absoluta	Porcentaje (%)
Capacidad para mantener la vivienda a temperatura de confort	155	54.77	128	45.23
Calidad de aire percibida	215	75.97	68	24.03
Confort lumínico percibido	273	96.47	10	3.53
Confort acústico percibido	153	54.06	130	45.94

Un análisis detallado de las dos variables que presentan menor porcentaje de hogares en confort mostró que, para el confort acústico, el 20.9% de los hogares respondieron que habitualmente o siempre perciben ruidos procedentes del exterior o de viviendas vecinas, el 25.1% contestaron que sólo a veces perciben ruidos, mientras que el 54.1% de los hogares contestaron que nunca perciben ruidos procedentes de fuera de sus viviendas. En cuanto al confort térmico, el 8.8% de los hogares respondió que no es capaz de mantener la vivienda a la temperatura deseada, el 36.4% sólo a veces, mientras que el 54.8% dio una respuesta afirmativa. Tras transformar las respuestas de las variables relativas al confort percibido en una escala del 1 al 3 (donde: 1: Disconfort; 2: Neutro; 3: Confort) el confort térmico obtuvo una valoración media de 2.33 (IC (95%) 2.23-2.42), mientras que el confort acústico obtuvo una valoración media de 2.46 (IC (95%) 2.38-2.53).

Por otro lado, según los datos de la Tabla 16 el 97.9% de la muestra percibe su vivienda por debajo de 19°C. Esta temperatura es inferior a los rangos recomendadas por ISO 7730:2005 (19-27°C) [64] y ASHRAE 55-1992 (20-26°C) [63], y es cercana o inferior a los 18°C recomendados por la OMS [2]. Cabe subrayar que se trata de un dato subjetivo, no medido

por sensores. Este resultado podría diferir si se realizara una monitorización de la temperatura real. No obstante, aporta información de la percepción y las necesidades de los hogares.

En general, en base al análisis realizado el confort acústico es el parámetro ambiental que presenta un mayor número de viviendas en disconfort, seguido del confort térmico. Tanto el confort acústico como el confort térmico puede afectar a la salud y el bienestar de las personas. Si bien no se han observado asociaciones entre el confort acústico y las variables arquitectónicas y sociales de la muestra es necesario un análisis detallado de las respuestas de los hogares relativas a estos dos parámetros ambientales, confort térmico y confort acústico. A continuación, se exponen los resultados de la diversidad de percepciones en base a las características de las viviendas y de los hogares.

5.2.1 Confort percibido por grupos de viviendas

Para analizar la diversidad del confort en base a los factores de la vivienda se crearon grupos o clústeres de viviendas considerando las principales características arquitectónicas que las definen. Eso permitió realizar un análisis detallado y clasificar la muestra según sus características espaciales.

Para determinar el número de agrupación óptimo se aplicaron los métodos de codo y de silueta. Estos métodos estudian la compacidad y la distancia entre los grupos de la muestra. Como se ha explicado previamente en el apartado 0 del capítulo de metodología, a la hora de escoger el número de grupos, interesa que los grupos sean distintivos, es decir, que la distancia entre los datos dentro de los clústeres sea la menor posible (su compacidad o cohesión), mientras que la distancia entre los clústeres sea la mayor posible (su separación). Además de los valores SSW y ASW, el valor *average within* mide la distancia media entre las observaciones de cada clúster. La Tabla 20 recoge los valores de cada medida y el número de observaciones de las distintas agrupaciones posibles.

Los resultados del método del codo (en inglés, *elbow method*), muestran una menor disminución de SSW a partir de 6 u 8 agrupaciones, como se puede ver en la Figura 19 (izquierda). El método de la silueta muestra que la agrupación óptima sería con 9 o 10 grupos, como se observa en la Figura 19 (derecha). Sin embargo, este número de clústeres tendría un número muy pequeño de observaciones por grupo y no es el objetivo del análisis. Por esta razón se seleccionaron 7 grupos para la caracterización de las viviendas.

TABLA 20. TEST DE AGRUPACIÓN Y RESULTADOS DE LOS MÉTODOS *ELBOW* Y *SILHOUETTE*

	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	Test 6	Test 7
Número de grupos	2	3	4	5	6	7	8
n ^a	283	283	283	283	283	283	283
Within cluster sum of squares (SSW)	24.05	23.1	22.46	18.39	12.98	11.85	10.57
Average within	0.37	0.36	0.35	0.31	0.25	0.23	0.22
Average silhouette width (ASW)	0.37	0.3	0.24	0.22	0.32	0.33	0.35
Clúster 1 – n	226	226	226	178	100	100	93
Clúster 2 – n	57	27	17	48	78	78	78
Clúster 3 – n	0	30	10	17	48	48	48
Clúster 4 – n	0	0	30	10	17	9	9
Clúster 5 – n	0	0	0	30	10	10	10
Clúster 6 – n	0	0	0	0	30	30	30
Clúster 7 – n	0	0	0	0	0	8	7
Clúster 8 – n	0	0	0	0	0	0	8

^an: número de observaciones

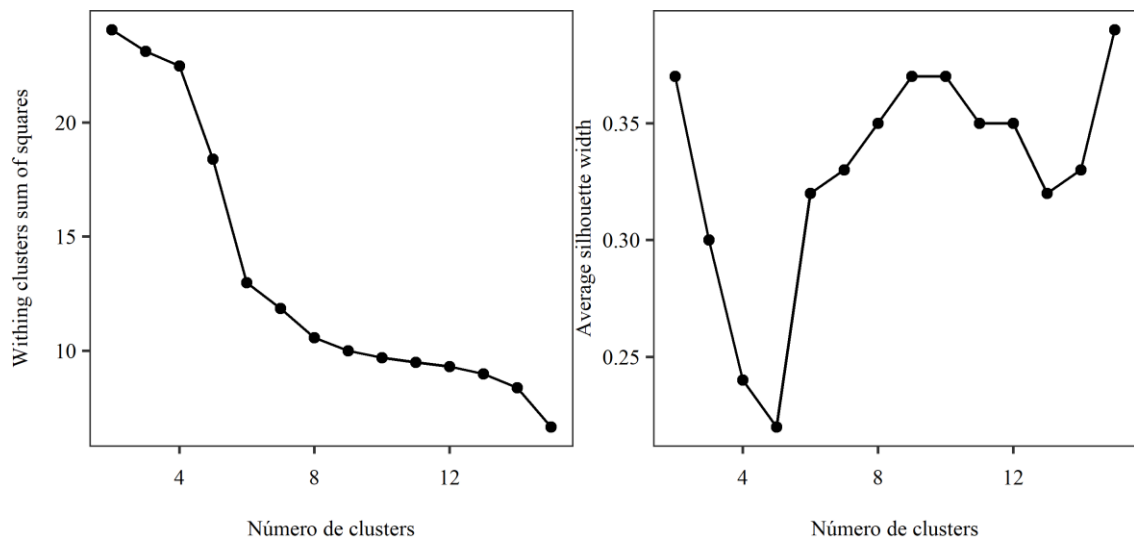


Figura 19. Resultados de los métodos *elbow* y *silhouette*

La Figura 20 recoge la información de la agrupación en forma de dendrograma. Esta figura es un diagrama de árbol que muestra los grupos que se forman al aplicar el análisis clúster y sus niveles de similitud. En la figura se pueden ver los siete grupos obtenidos y el número de observaciones de cada uno de ellos. La línea horizontal define el punto donde se realiza el corte, es decir, indica la agrupación seleccionada.

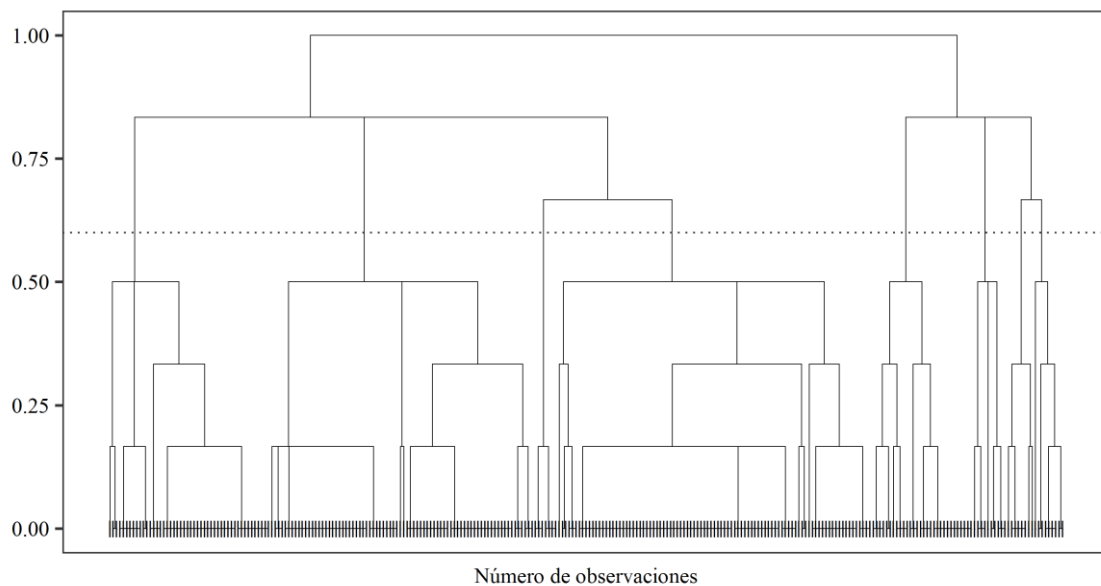


Figura 20. Dendrograma de la agrupación obtenida

La caracterización de las viviendas se recoge en la Figura 21. Se muestra la distribución de la agrupación para cada categoría de las variables analizadas. Como se observa en la Figura 21, se obtuvieron dos grandes grupos diferenciados en función del año de construcción: los clústeres C1, C2 y C3 construidos después de la implantación del CTE, de 2008 a 2020, y los clústeres C4, C5, C6 y C7, construidos antes de la implantación del CTE, de 1981 a 2007. Las características principales de cada grupo son las siguientes:

- Clúster 1 (número de observaciones 100): las viviendas de este grupo se caracterizan por estar construidas después del CTE, tener caldera de gas como sistema de generación de calor y ACS y no estar rehabilitadas.
- Clúster 2 (número de observaciones 78): se caracterizan por estar construidas después del CTE, no tener fachadas orientadas a norte y no estar rehabilitadas.
- Clúster 3 (número de observaciones 48): estas viviendas se caracterizan por estar construidas después del CTE, emplear otro tipo de sistemas de generación de calor distintos a la caldera de gas, ser viviendas pasantes y no estar rehabilitadas.
- Clúster 4 (número de observaciones 9): viviendas construidas antes del CTE, emplear otro tipo de sistemas de generación de calor distintos a la caldera de gas y tener fachadas orientadas a norte.
- Clúster 5 (número de observaciones 10): se caracterizan por estar construidas antes del CTE, tener una superficie media entre 55 y 75 m² y no tener fachadas orientadas a norte.
- Clúster 6 (número de observaciones 30): viviendas construidas antes del CTE, tener

caldera de gas como sistema de generación de calor y ACS y ser viviendas pasantes.

- Clúster 7 (número de observaciones 8): las viviendas de este grupo se caracterizan por estar construidas antes del CTE, no tener fachadas orientadas a norte, ser viviendas pasantes y estar rehabilitadas.

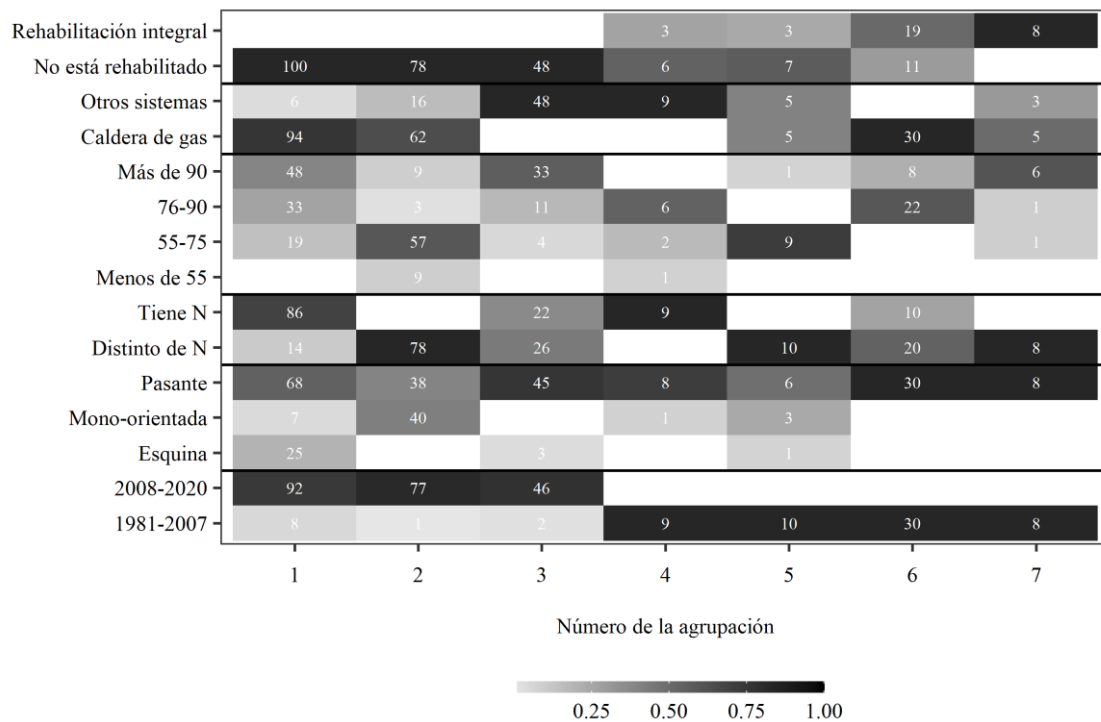


Figura 21. Distribución de los grupos clúster por cada categoría de las variables analizadas

Los resultados obtenidos de la agrupación sugieren que las variables que diferencian fundamentalmente los distintos grupos de la muestra son la fecha de construcción, la orientación y el sistema de generación de calor y ACS. No existen diferencias significativas entre las superficies de las viviendas construidas entre 2008 y 2020, ni tampoco en la tipología en la mayoría de las agrupaciones.

A partir de la caracterización de las viviendas de la muestra, se estudió la diversidad de confort en base a los factores espaciales asociados a estas viviendas. Se estudió la situación del confort percibido para cada parámetro ambiental y clúster de viviendas. Asimismo, se analizó cómo se produce la diversidad de confort percibido en base a las características de cada grupo: temperatura interior percibida (TO), capacidad de mantener la vivienda a una temperatura adecuada (CVT), calidad del aire interior (CI), confort lumínico (CL), confort acústico (CA). La escala de confort se ha homogeneizado para reflejar las percepciones con 1: Disconfort, 3: Confort.

Los resultados de este análisis, que se recogen en la Tabla 21, muestran que para el confort térmico las viviendas del clúster 7 presentan mejores resultados. En cambio, las viviendas del clúster 4 presentan mayores respuestas de disconfort térmico con una media de 2.11. Si bien las viviendas de ambos grupos fueron construidas previamente a la entrada en vigor del CTE, las viviendas del clúster 7 están rehabilitadas.

En el caso del confort lumínico los grupos que obtuvieron resultados de mayor y menor valor en confort fueron el clúster 7 y el clúster 3, con una media de 2.25 y 1.96 respectivamente. Si bien el clúster 1 y el clúster 4 tienen un porcentaje mayor de viviendas con fachadas orientadas a norte que el clúster 3, obtuvieron unos resultados de confort lumínicos más altos. No obstante, los dos grupos que obtuvieron resultados de mayor y menor valor en confort lumínico se diferencian fundamentalmente por la orientación de sus viviendas.

TABLA 21. MEDIA Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR DEL CONFORT PERCIBIDO POR AGRUPACIÓN DE VIVIENDA

Clúster	CVT	CI	CL	CA	Disconfort en algún parámetro	
					n	%
C1	2.51 (0.63)	2.63 (0.68)	2.07 (0.33)	2.28 (0.81)	77	77
C2	2.56 (0.62)	2.74 (0.55)	2.04 (0.3)	2.37 (0.81)	54	69.2
C3	2.21 (0.68)	2.65 (0.67)	1.96 (0.29)	2.48 (0.77)	42	87.5
C4	2.11 (0.60)	2.56 (0.73)	2.11 (0.6)	2.33 (0.71)	9	100
C5	2.3 (0.67)	2.6 (0.52)	2.1 (0.57)	2.6 (0.84)	6	60
C6	2.5 (0.68)	2.77 (0.43)	2.2 (0.48)	2.17 (0.79)	23	76.7
C7	2.75 (0.7)	3 (0.00)	2.25 (0.46)	2 (0.93)	6	75

CVT: Capacidad para mantener la vivienda a temperatura de confort; CI: Calidad del aire interior; CL: Confort lumínico; CA: Confort acústico.

1, Disconfort; 2, Neutra; 3, Confort

En cuanto al confort acústico el clúster 7 es el que obtiene resultados de menor valor en confort, con una media de 2 puntos. En cambio, el clúster 5 es el que presenta un mayor porcentaje de viviendas en situación de confort en este indicador, con un valor medio de 2.6 puntos. Si bien las viviendas de estos grupos se construyeron en el mismo periodo, las principales diferencias es que las viviendas del clúster 5 no están rehabilitadas y no tiene una tipología de vivienda predominante. En este sentido, los resultados sugieren que para esta muestra las características de la vivienda podrían no ser un factor clave que determine las diferencias de confort acústico.

Por último, la calidad del aire interior no presenta una variación significativa entre los grupos. En este caso el grupo con una media mayor es el Clúster 7 y el grupo con una valoración más baja es el clúster 4, con una media de 3 y 2.56 respectivamente.

Después de haber analizado la situación de confort en función de los grupos de viviendas se profundizó en los dos parámetros ambientales que presentaron un menor porcentaje de viviendas en situación de confort: confort acústico y confort térmico. Un análisis detallado muestra de qué forma se produce la divergencia del confort acústico en base a las características de las viviendas. Los resultados de la Tabla 22 evidencian que, las viviendas con tipología mono-orientada de la muestra son las que obtienen resultados de mayor valor en confort acústico. Sin embargo, no hay grandes diferencias de confort entre las viviendas con tipología en esquina y las viviendas pasantes. En cuanto a la superficie de la vivienda, aquellas con 55-75 m² son las que presentan resultados de mayor confort acústico, lo que coincide con el clúster 5. Sin embargo, las viviendas con resultados de menor valor en confort son las de menos de 55 m², lo que no se corresponde con el clúster 7. La variación del confort acústico en relación con el estado de conservación del edificio sí coincide con los resultados de los grupos 5 y 7.

TABLA 22. CONFORT ACÚSTICO EN RELACIÓN CON LOS FACTORES ESPACIALES

Variable	Categoría	Media y desviación estándar
Tipología de vivienda	Vivienda en esquina	2.27 (0.84)
	Mono-orientada	2.51 (0.7)
	Pasante	2.3 (0.82)
Superficie de la vivienda	Menos de 55 m ²	2.1 (0.88)
	55-75 m ²	2.42 (0.8)
	76-90 m ²	2.42 (0.74)
	Más de 90 m ²	2.21 (0.83)
Estado de conservación	Sin rehabilitar	2.35 (0.79)
	Rehabilitada	2.18 (0.85)

1, Disconfort; 2, Neutra; 3, Confort

Se realizó este mismo análisis con el confort térmico, siendo la segunda variable que presentó un porcentaje más alto de viviendas en disconfort. Los resultados de la Tabla 23 muestran que las viviendas rehabilitadas presentan resultados de mayor valor en confort para el conjunto de la muestra. Este resultado coincide con lo observado en la Tabla 21, donde las viviendas del clúster 7, viviendas rehabilitadas, obtuvieron un porcentaje mayor de respuestas positivas relativas a la percepción del ambiente térmico. Por tanto, se puede concluir que la

divergencia de la situación de confort térmico en la muestra podría estar influenciada principalmente por el estado de conservación del edificio.

TABLA 23. CONFORT TÉRMICO EN RELACIÓN CON LOS FACTORES ESPACIALES

Variable	Categoría	Media y desviación estándar
Estado de conservación	Sin rehabilitar	2.44 (0.66)
	Rehabilitada	2.55 (0.62)
Sistema de generación de calor y ACS	Caldera de gas natural	2.56 (0.61)
	Otros sistemas	2.23 (0.69)
Orientación	Orientación no norte	2.52 (0.66)
	Vivienda con fachadas a norte	2.39 (0.64)

La CAI depende de los cuatro parámetros ambientales estudiados previamente (confort térmico, confort acústico, lumínico o calidad del aire). No obstante, un hogar puede presentar disconfort en uno o más parámetros de confort al mismo tiempo. Los resultados de la Tabla 21 muestran si las viviendas analizadas se encuentran en disconfort en uno o más parámetros ambientales. En la Tabla 21 se observa que el 100% de los hogares del clúster 4 están en disconfort con alguno de los parámetros estudiados. Por el contrario, el clúster 5 tiene el porcentaje más bajo de hogares en disconfort. Estos resultados sugieren que, aunque un grupo de hogares pueda tener un mayor confort para un parámetro individual, la severidad o acumulación de parámetros ambientales en disconfort puede ser mayor que en otros grupos. Esto se refleja en el clúster 5, que, a pesar de ser el grupo con menor porcentaje de parámetros de disconfort, presenta un porcentaje más alto de viviendas en disconfort en relación con la Calidad del Aire Interior.

Los resultados obtenidos del estudio del confort en función de las características espaciales de las viviendas sugieren que el año de construcción del edificio coincide con el nivel de confort, mayor en las viviendas más recientes y menor en aquellas construidas antes de la entrada en vigor del CTE. No obstante, en base a los resultados, las viviendas rehabilitadas pueden presentar un mayor porcentaje de hogares en confort que aquellas que no han sido rehabilitadas, en este caso para el confort acústico. Estos resultados también sugieren que la vulnerabilidad de las personas estaría condicionada por el número de parámetros en disconfort que puedan presentar y no sólo por el nivel de confort de cada parámetro.

5.2.2 Confort percibido en función del perfil social de los hogares

A continuación, se recogen los resultados del análisis del confort en función de los factores sociales de los hogares. Se seleccionaron dos de las variables sociales con mayor número de asociaciones con el confort y uso de la vivienda del apartado 5.1: perfil sociodemográfico e ingresos medios mensuales. Los resultados de la Tabla 24 muestran los resultados del confort percibido para los cuatro parámetros analizados: capacidad de mantener la vivienda a una temperatura de confort (CVT), calidad del aire interior (CI), confort lumínico (CL) y confort acústico (CA). La escala de confort, al igual que en el apartado anterior, se ha homogeneizado para reflejar las percepciones con 1 = Disconfort, 3 = Confort.

TABLA 24. MEDIA Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR DEL CONFORT PERCIBIDO EN RELACIÓN CON LOS FACTORES SOCIALES

	CVT ^a	CI	CL	CA	
Perfil social^b	1a<75	2.56 (0.64)	2.73 (0.62)	2.01 (0.3)	2.31 (0.87)
	2a	2.55 (0.65)	2.77 (0.48)	2.13 (0.4)	2.3 (0.75)
	2a_1c	2.68 (0.58)	2.68 (0.65)	2.09 (0.29)	2 (0.93)
	2a_2c	2.54 (0.65)	2.62 (0.64)	2.08 (0.27)	2.5 (0.76)
	2a_3c	2.5 (0.52)	2.64 (0.63)	2 (0.39)	2.29 (0.61)
	1a_c	2.07 (0.64)	2.6 (0.56)	2 (0.00)	2.7 (0.6)
	3a	2.32 (0.71)	2.61 (0.72)	2.07 (0.45)	2.2 (0.85)
	3a_c	2.36 (0.58)	2.73 (0.55)	2.18 (0.59)	2.41 (0.67)
Ingresos medios mensuales (€)	Menos de 800	2.15 (0.67)	2.71 (0.57)	2.18 (0.49)	2.36 (0.74)
	800-1000	2.55 (0.56)	2.7 (0.58)	1.99 (0.22)	2.38 (0.79)
	1000-1200	2.67 (0.65)	2.63 (0.68)	1.99 (0.19)	2.28 (0.87)
	Más de 1200	2.4 (0.63)	2.73 (0.59)	2.33 (0.62)	2.2 (0.86)

^a CVT: Capacidad para mantener la vivienda a temperatura de confort; CI: Calidad del aire interior; CL: Confort lumínico; CA: Confort acústico.

^b 1a<75: un adulto menor de 75; 2a: dos adultos; 2a_1c: dos adultos con menor de 16; 2a_2c: dos adultos con dos menores de 16; 2a_3c: dos adultos con tres o más menores de 16; 1a_c: un adulto con uno o más menores de 16; 3c: tres o más adultos con menores de 16.

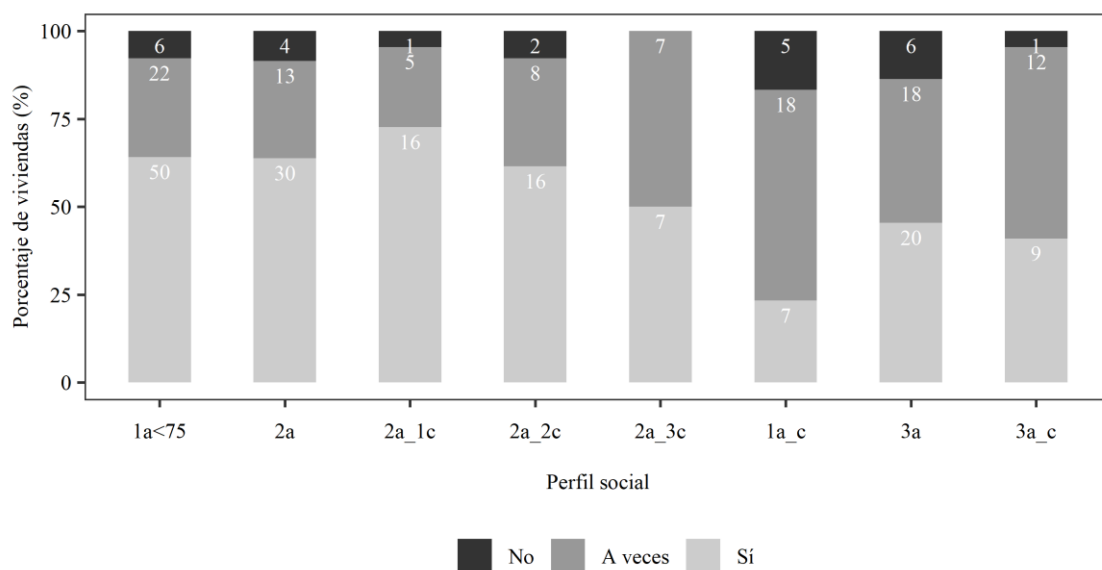
1, Disconfort; 2, Neutra; 3, Confort.

Los resultados de la Tabla 24 muestran que el perfil formado por dos personas adultas (2a) y el perfil formado por dos personas adultas y dos menores (2a_2c) son los que presentan los resultados medios más elevados y, por tanto, mayor confort. Por otro lado, el perfil formado por tres personas adultas o más con menores de 16 años (3a_c) presenta un confort alto para las variables de calidad del aire y confort lumínico. El confort térmico, por su parte, presenta unos resultados medios inferiores al resto de perfiles, sólo superado por el perfil de tres adultos o más (3a) y un adulto con menores de 16 años (1a_c). El perfil formado por una

persona adulta con menores de 16 años presenta resultados de menor valor en confort en tres de las cuatro variables analizadas: confort térmico, iluminación y calidad del aire. Por otro lado, el perfil formado por tres o más personas adultas también presenta unos resultados medios de confort bajos en las cuatro variables de confort. En general, se observa que estos dos perfiles, el formado por un adulto como único responsable de los menores de 16 años y los hogares con tres o más adultos en la misma vivienda, son los que pueden presentar una mayor vulnerabilidad a una baja calidad ambiental interior percibida de la vivienda.

La divergencia de confort en relación con los ingresos medios mensuales destaca por unos menores resultados de confort térmico de los hogares con menores ingresos. El perfil con el rango de ingresos más alto es el que presenta un mayor porcentaje de viviendas en confort lumínico y calidad del aire. En cambio, es el perfil con menor confort acústico.

En la Tabla 17 se mostraba la asociación entre las variables de perfil social y el confort térmico y acústico. Un análisis más detallado recogido en la Figura 22 muestra que cuanto mayor es el número de personas en el hogar, menor es la capacidad de mantener la temperatura deseada. En concreto, menos del 25% de los hogares formados por un adulto con menores de 16 años respondieron ser capaces de mantener la vivienda a la temperatura deseada. Se trata de una diferencia significativa respecto al resto de perfiles, ya que el siguiente perfil con resultados más bajos de confort percibido son los hogares formados por tres o más adultos con menores de 16 años, con un 40.9% de respuestas afirmativas sobre la capacidad de mantener la vivienda a temperatura de confort.



*1a<75: un adulto menor de 75; 2a: dos adultos; 2a_1c: dos adultos con menor de 16; 2a_2c: dos adultos con dos menores de 16; 2a_3c: dos adultos con tres o más menores de 16; 1a_c: un adulto con uno o más menores de 16; 3c: tres o más adultos; 3a_c: tres o más adultos con menores de 16.

Figura 22. Capacidad para mantener la vivienda a temperatura de confort por perfil social

El análisis del confort térmico percibido y la renta media mensual que se recoge en la Figura 17 del apartado 5.1, muestra una tendencia ascendente donde a mayor renta, mayor es el porcentaje de hogares que pueden mantener su vivienda a la temperatura deseada. En el caso del grupo con ingresos superiores a 1200€, esta tendencia no se mantiene y puede ser consecuencia del menor número de observaciones de esta categoría en la muestra.

En general, se observa una variación del confort percibido asociado en algunos casos con el perfil social y los ingresos del hogar. Estas diferencias de confort percibido observadas entre los distintos perfiles socio-demográficos y socio-económicos evidencian la necesidad de estudiar las preferencias del confort atendiendo también a las características específicas de los hogares.

5.3 Percepción, ocupación y uso de la vivienda asociados al ambiente térmico

Una vez analizada en detalle la diversidad del confort percibido en la muestra, en este apartado se busca estudiar en profundidad cómo influye la subjetividad de las personas en la percepción del ambiente térmico y, al mismo tiempo, aportar evidencias de la diversidad de comportamientos asociados a la energía. En este sentido, el análisis de este apartado se abordó desde dos perspectivas. Por un lado, se estudió la influencia de la subjetividad de las respuestas relativas al confort térmico y, por otro lado, se analizaron los diferentes hábitos de ocupación y comportamientos asociados a la energía en base a las características sociales de los hogares.

El ambiente térmico de la vivienda está condicionado por el comportamiento de los y las residentes y puede tratarse de un factor clave en entornos susceptibles de vulnerabilidad energética. Una correcta gestión de las instalaciones térmicas del edificio y una intervención adaptada a las necesidades reales de los hogares puede ayudar a mejorar el ambiente térmico de las viviendas. No obstante, los resultados del apartado anterior evidenciaron que el confort térmico se presenta como el segundo parámetro ambiental con resultados de confort más bajos. En este apartado se presentan los resultados que analizan la influencia de la subjetividad de las personas en las respuestas relativas al ambiente térmico mediante la definición de un indicador de satisfacción térmica. Este indicador se ha definido a partir de dos variables recogidas en la encuesta: temperatura interior percibida y temperatura interior deseada, tal y como se recoge en el apartado 0 del marco metodológico.

Los resultados de la Tabla 25 recogen las respuestas a estas dos variables, temperatura de confort o temperatura interior deseada y temperatura interior percibida de los hogares. Estos resultados sugieren que el 50% de los hogares desearía estar a una temperatura entre 19 y 21°C y el 43.11% a una temperatura entre 16 y 19°C. En cuanto a la temperatura interior percibida, el 78.8% percibe su vivienda a una temperatura entre 16 y 19°C, mientras que sólo el 1.77% percibe su vivienda a una temperatura entre 19 y 21°C.

TABLA 25. RANGOS DE TEMPERATURA DE CONFORT Y TEMPERATURA INTERIOR PERCIBIDA

	Temperatura interior deseada		Temperatura interior percibida	
	Frecuencia absoluta	Porcentaje (%)	Frecuencia absoluta	Porcentaje (%)
<16°C	2	0.71	54	19.08
16-19°C	122	43.11	223	78.8
19-21°C	143	50.53	5	1.77
>21°C	16	5.65	1	0.35

Los resultados del indicador recogidos en la Figura 23 muestran que en el 40% de las viviendas la temperatura deseada se corresponde con la temperatura interior percibida, por lo que 113 de las 283 viviendas analizadas se encuentran en una situación de confort en base a este indicador. El 60% de las viviendas están 1, 2 o 3 puntos por debajo de la temperatura deseada, el 44%, el 15% y el 1%, respectivamente, como muestra la Figura 23. Además, no se ha detectado ninguna vivienda por encima de la temperatura deseada.

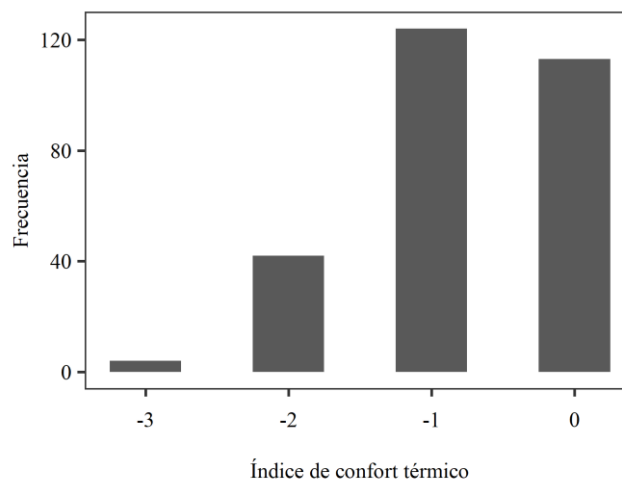


Figura 23. Número de viviendas en cada categoría del índice de confort térmico propuesto

La Figura 24 muestra los resultados de las temperaturas de confort y las temperaturas percibidas de la muestra. Las respuestas de temperatura se presentan del siguiente modo: 1 (menos de 16°C), 2 (16-19°C), 3 (19-21°C), 4 (más de 21°C). Los resultados muestran el

predominio de temperaturas interiores entre 19 y 16°C y unas temperaturas de confort predominantemente en el rango de 19 a 21°C.

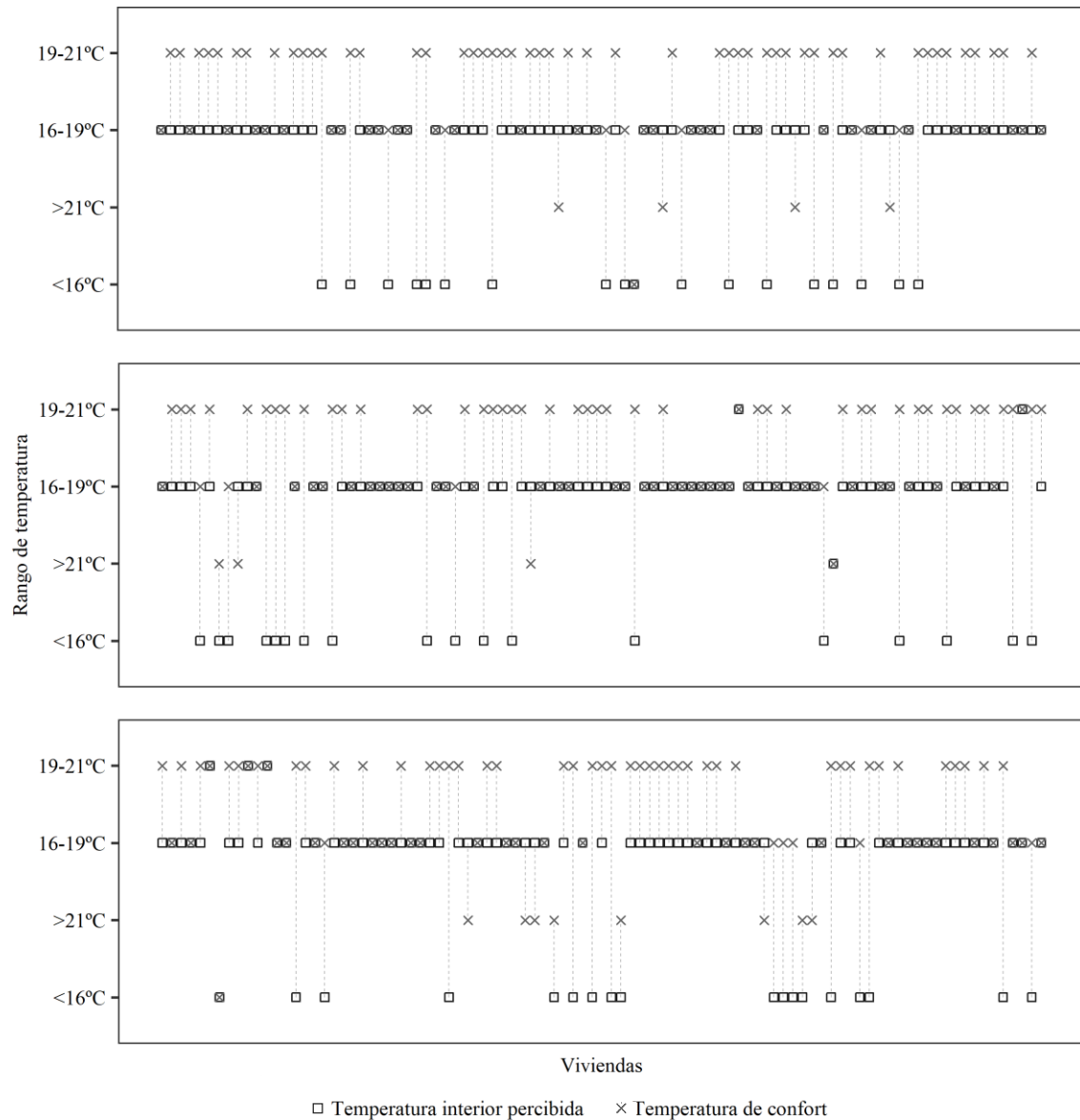


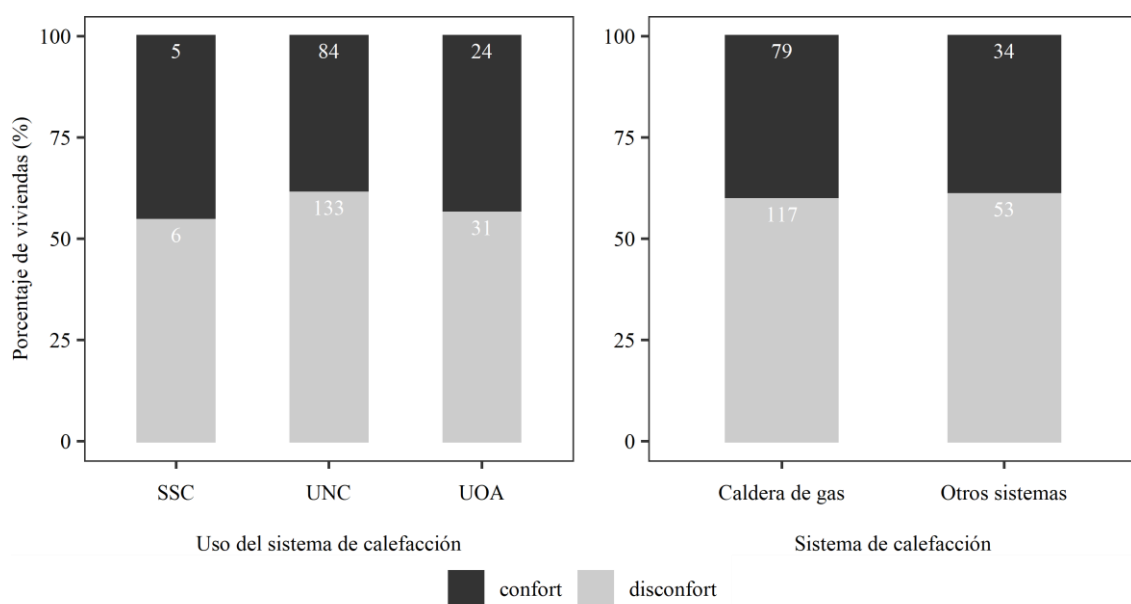
Figura 24. Temperatura interior percibida y temperatura interior deseada por vivienda

La línea que une los distintos puntos de la Figura 24 marca la dimensión del índice de satisfacción térmica. Se observa que el 47.1% de los hogares con rangos de temperatura interior entre 16 y 19°C mantendrían esos rangos de temperatura y el 48% desearían rangos de 19 a 21°C. El 57.4% de los hogares que perciben su vivienda por debajo de 16°C respondieron que su temperatura de confort era de 19-21°C. Asimismo, el 3.7%, el 31.5% y el 7.4% preferirían estar a temperaturas menores de 16°C, 16-19°C y por encima de 21°C respectivamente. Todos los hogares con temperaturas superiores a 19°C respondieron que se

encontraban en situación de confort térmico, frente al 3.7% y el 47.1% de los hogares con temperaturas inferiores a 16°C y 16-19°C. Se observa también que el 50% de la muestra prefiere rangos de temperatura entre 19-21°C, a pesar de que sólo el 2% respondió estar dentro de este rango.

El indicador de satisfacción térmica también se ha contrastado con las variables relativas al sistema de generación de calefacción y ACS y el uso que se hace de la calefacción. La Figura 25 muestra que los hogares que utilizan el sistema de calefacción del edificio en lugar de otros aparatos presentan mayor confort. Aunque la diferencia entre las categorías no es elevada, los diferentes usos y la consiguiente satisfacción térmica pueden estar condicionados por otros factores socioeconómicos y hábitos de los hogares.

En el caso del sistema de generación de calor de la vivienda, no se observaron diferencias significativas entre los que disponen de sistemas de gas natural y los que emplean otros tipos de sistemas de generación de calor.



* Sin Sistema de calefacción (SSC), uso normal de la calefacción (UNC), uso de otros aparatos (UOA)

Figura 25. Satisfacción térmica en relación con el sistema de calefacción de la vivienda y al uso de este

Para determinar la influencia de la subjetividad de las respuestas, se realizó un análisis estadístico que permitiera evidenciar una posible asociación entre la variable de confort térmico de la encuesta y el indicador de satisfacción térmica propuesto. Los resultados del test de correlación de Pearson muestran una correlación positiva estadísticamente significativa de las dos variables, $r(283) = .38$, $p = 1.046e^{-11}$. Es decir, a mayor respuesta de confort en una, mayor respuesta de satisfacción térmica en la otra. No obstante, el resultado

del coeficiente de correlación de Pearson, muestra una correlación moderada y no especialmente fuerte.

Los resultados del indicador propuesto muestran cierta correlación entre las respuestas asociadas al ambiente térmico. Asimismo, proporcionan información sobre las necesidades y preferencias específicas de los hogares. Sin embargo, el indicador propuesto no se plantea como herramienta única para la toma de decisiones. Se plantea como herramienta complementaria junto con otros indicadores cualitativos o cuantitativos, que pueden proceder de fuentes subjetivas o datos de monitorización de la vivienda.

Por otro lado, entender el uso que los y las residentes hacen de sus viviendas es esencial para responder a estos hábitos y necesidades en la gestión, diseño e intervención en viviendas sociales. El siguiente paso en el análisis se enfocó en la comparación de los resultados de la encuesta relativos al comportamiento energético con los factores sociales. Este análisis, al igual que en el apartado 5.2.2, se ha realizado en base al perfil sociodemográfico y los ingresos al tratarse de las dos variables asociadas a más parámetros de confort y uso de la vivienda.

La Tabla 26 presenta los resultados obtenidos del análisis de la ocupación y uso de la vivienda. Los datos de la tabla muestran que el perfil de hogares formados por una persona (1a<75) tiene un menor porcentaje de ocupación de la vivienda en el periodo de mañana. Por el contrario, el perfil formado por dos personas con 3 o más menores de 16 años (2a_3c) es el perfil que presenta una mayor ocupación en el periodo de mañana, en un 64.3% de los hogares. Los perfiles formados por una persona (1a<75) y dos personas con un menor a cargo (2a_1c) los que presenta un menor porcentaje de ocupación en el periodo de tarde, frente a una mayor presencia en el resto de perfiles. La presencia de personas en el periodo de mañana puede deberse a la edad de las y los menores o a la situación laboral de las personas adultas. Los resultados de la tabla sugieren que el tipo de ocupación se relaciona con el número de personas en la vivienda y la existencia de menores de 16 años en la misma.

La ocupación por ingresos muestra una clara relación: cuanto mayores son los ingresos, menor es el porcentaje de ocupación en el periodo matinal. Mientras que en el 61.9% de los hogares con menores ingresos hay presencia de personas en la vivienda en el periodo matinal.

TABLA 26. OCUPACIÓN Y USO DE LA VIVIENDA POR PERFIL SOCIAL E INGRESOS MEDIOS MENSUALES

		Perfil social							
		1a<75	2a	2a_1c	2a_2c	2a_3c	1a_c	3a	3a_c
Ocupación de mañana	No	64.1	42.6	63.6	57.7	35.7	36.7	47.7	45.5
	Sí	35.9	57.4	36.4	42.3	64.3	63.3	52.3	54.5
Ocupación de tarde	No	12.8	4.3	13.6	0.0	0.0	6.7	0.0	4.5
	Sí	87.2	95.7	86.4	100.0	100.0	93.3	100.0	95.5
Ocupación de noche	No	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Sí	98.7	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Uso del sistema de generación de calor y ACS	Sin sistema de calefacción	5.1	4.3	0.0	7.7	0.0	10.0	0.0	0.0
	Uso de otros aparatos	28.2	19.1	0.0	0.0	14.3	30.0	22.7	13.6
	Uso normal del sistema de calefacción	66.7	76.6	100.0	92.3	85.7	60.0	77.3	86.4
Gastos medios mensuales en energía (€)	Menos de 30	21.8	10.6	9.1	7.7	0.0	16.7	2.3	0.0
	30-60	53.8	57.4	63.6	26.9	71.4	46.7	59.1	59.1
	60-90	16.7	31.9	13.6	26.9	14.3	26.7	20.5	18.2
	90-130	6.4	0.0	13.6	38.5	14.3	3.3	13.6	9.1
	Más de 130	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	6.7	4.5	13.6

		Ingresos medios mensuales			
		Menos de 800 €	800-1000 €	1000-1200 €	Más de 1200 €
Ocupación de mañana	No	38.1	56.4	56.6	66.7
	Sí	61.9	43.6	43.4	33.3
Ocupación de tarde	No	6	5.9	7.2	6.7
	Sí	94	94.1	92.8	93.3
Ocupación de noche	No	1.2	0	0	0
	Sí	98.8	100	100	100
Uso del sistema de generación de calor y ACS	Sin sistema de calefacción	8.3	2	2.4	0
	Uso de otros aparatos	26.2	23.8	9.6	6.7
	Uso normal del sistema de calefacción	65.5	74.3	88	93.3
Gastos medios mensuales en energía (€)	Menos de 30	16.7	9.9	9.6	0
	30-60	56	55.4	53	40
	60-90	19	16.8	25.3	46.7
	90-130	7.1	10.9	12	13.3
	Más de 130	1.2	6.9	0	0

El porcentaje de viviendas que usan el sistema de calefacción del edificio es mayor que aquellas que usan sistemas secundarios de generación de calor y ACS. No obstante, más del 25% de los hogares unipersonales (1a_<75) y los hogares con un adulto y menores de 16 años (1a_c) emplean sistemas secundarios de generación de calor, en concreto un 28.2% y 30% respectivamente. Como se ha explicado anteriormente, se observa que el número de personas y la existencia de menores puede influir en una posible preferencia por calefactar estancias concretas con otros aparatos o en la dificultad de calefactar toda la vivienda por otras cuestiones. Si se analiza el uso de la calefacción en relación con los ingresos, se observa un mayor porcentaje de hogares que utilizan sistemas secundarios de generación de calor a menores ingresos medios mensuales, donde los hogares con menos de 800€ al mes presentaron un porcentaje del 26.2% frente al 6.7% de los hogares con más de 1200€ al mes.

También se observa cierta relación entre el número de personas y la existencia de menores de 16 años con el gasto medio en energía y los ingresos. La Figura 26 ofrece un análisis más detallado del gasto energético y los ingresos estimados de los hogares en relación con la capacidad de la familia para mantener la vivienda a una temperatura deseada. En general, se observa una tendencia al alza, concentrada principalmente en un gasto energético medio inferior a 50 euros por persona y mes. Es decir, a mayores ingresos, mayor gasto y mayor porcentaje de hogares en confort térmico. Los gastos e ingresos más elevados se observan en la categoría que respondió afirmativamente a la pregunta acerca de la capacidad para mantener la vivienda a la temperatura deseada. Por el contrario, los que declararon no tenerla presentan una menor relación entre ingresos y gastos. No obstante, esta asociación puede estar condicionadas por otras variables del hogar y de la vivienda: tiempo de permanencia en la vivienda, uso de sistemas alternativos de generación de calor, eficiencia energética del sistema de calefacción, comportamiento del edificio, etc.

En general, se ha observado cierto patrón de comportamiento ligado a perfiles específicos. Estos resultados permiten comprender de qué forma varían los comportamientos y el uso de la vivienda según las características sociales de los hogares. Si bien los patrones de uso y ocupación pueden variar según las particularidades de cada persona, estos análisis ofrecen una comprensión general de los hogares analizados que ayudan a adaptar la gestión y el diseño de las intervenciones en vivienda social.

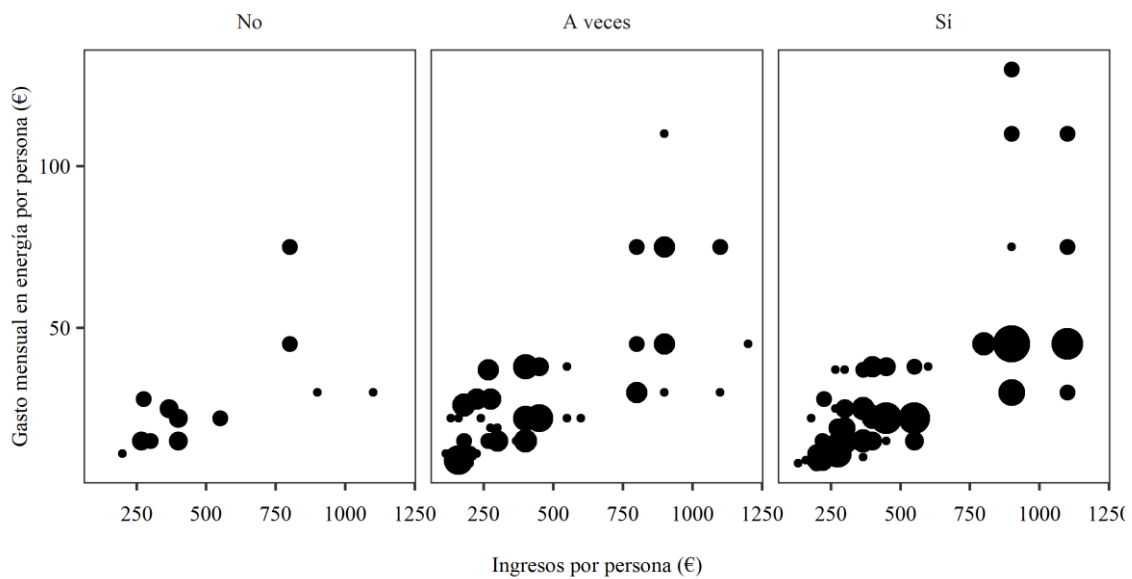


Figura 26. Capacidad para mantener la vivienda a temperatura de confort por número de observaciones

5.4 Análisis y discusión de los resultados

Las personas residentes están cobrando una importancia creciente en el comportamiento energético y ambiental de los edificios, especialmente en un contexto donde las regulaciones de la edificación son cada vez más restrictivas y la pandemia de la COVID-19 ha llevado a cambios en los hábitos de las personas. El ambiente interior de la vivienda puede tener un gran impacto en la salud de las personas, por lo que es crucial lograr viviendas saludables, confortables y resilientes, especialmente en ámbitos sociales vulnerables. Estudios previos han destacado la importancia de profundizar en el estudio del confort desde la perspectiva de las personas, como vía para incluir las preferencias, necesidades y particularidades en los procesos de mejora y gestión del parque de viviendas. Asimismo, se ha detectado la influencia de los factores sociales y de la vivienda en el confort y en el comportamiento de las personas. El estudio de estos parámetros puede permitir el diseño de propuestas flexibles y adaptables a los requerimientos reales de los hogares.

Siguiendo estos planteamientos, esta primera fase de la investigación se diseñó para responder las tres primeras preguntas de esta investigación que pretendían identificar la relación entre las características de la vivienda y de los hogares con la percepción del confort y el uso de la vivienda (PI.1); detectar la situación de confort de los hogares residentes en vivienda social (PI.2); e identificar la subjetividad de la percepción del ambiente térmico y la influencia de las características sociales en los hábitos de ocupación y comportamientos

asociados al ambiente térmico (PI.3). Esta primera fase de resultados se obtuvo de una encuesta realizada a 283 viviendas de 16 edificios del parque público de alquiler social de la CAE.

Los resultados del estudio identificaron diversos factores de la vivienda y de los hogares incidentes en el confort percibido y en el uso de la vivienda, recogidos en la Tabla 17. Entre estos factores la compacidad urbana y la calidad lumínica percibida presentaban asociación estadísticamente significativa en concordancia con estudios previos [217], que sugieren que un aumento de la compacidad urbana conlleva una disminución proporcional de la radiación solar recibida en los cerramientos de los edificios. No obstante, aunque estadísticamente existe asociación (p -valor $<.05$), la ausencia de un patrón específico observado en la Figura 13 sugiere que la asociación de estas dos variables está condicionada por otros factores como la percepción de las personas residentes.

Si bien los resultados sugerían que la edad de la edificación está asociada con la temperatura interior percibida y con el confort lumínico, la falta de asociación con otros factores como la capacidad de mantener la vivienda a la temperatura de confort, o la existencia de humedades o infiltraciones, puede deberse a la influencia de otras características del propio edificio, como el estado de conservación, es decir, si se han realizado actuaciones de rehabilitación o no.

Asimismo, los resultados del estudio confirman que la capacidad de mantener la vivienda a la temperatura de confort está asociada con la orientación de la vivienda. Estudios anteriores han mostrado resultados similares, en los que la orientación tiene una asociación significativa con la temperatura [68], [71]. Por otro lado, los resultados relativos al incremento del confort acústico con la posición relativa de la vivienda en el edificio recogidos en la Tabla 17 y la Figura 15 están en consonancia con investigaciones anteriores [71].

Un resultado interesante de la Tabla 18 muestra que la única variable asociada a la temperatura interior percibida en invierno es la variable de ingresos medios mensuales. Estos resultados evidencian que la temperatura interior de la vivienda podría estar condicionada por los ingresos del hogar.

El análisis del uso de la vivienda evidenció la asociación entre la ocupación de la vivienda con varios factores sociales: número de personas, perfil social, personas mayores de 75 años en la vivienda e ingresos medios. Esta asociación evidencia que, a mayor número de personas en la vivienda, mayor probabilidad de que esté ocupada. La presencia de personas mayores

de 75 puede influir a una mayor presencia de personas en la vivienda a lo largo del día. Por otro lado, los ingresos pueden estar asociados a la situación laboral de los miembros del hogar: sin empleo, trabajo a turnos, teletrabajo, tareas del hogar, etc.

Asimismo, las asociaciones observadas entre los factores sociales y el uso de la calefacción de la Tabla 18 pueden estar atribuidos al número de personas en la vivienda y la imposibilidad de calefactar todas las estancias de la vivienda simultáneamente, optando por sistemas secundarios de generación de calor. En el caso de los hogares con menores de 5 años, puede existir una preferencia por una mayor temperatura en determinadas estancias, debido a los requerimientos específicos de los y las infantes.

No obstante, algunos resultados no detectaron evidencias de asociación de determinados factores con el confort o el uso de la vivienda. Es el caso de la zona climática del edificio. Aunque la muestra se encuentra en dos zonas climáticas diferentes (C y D) según el CTE, el sistema de clasificación de Köppen incluye a las tres capitales de Euskadi en la misma zona climática (Cfb). Por tanto, la similitud climática puede haber influido en la imposibilidad de detectar su influencia en la percepción del ambiente interior de la vivienda.

Por otro lado, tampoco se encontró asociación entre el ruido urbano y el confort acústico. Esta falta de asociación puede ser consecuencia de la influencia de la percepción subjetiva de las personas en el análisis. Por otro lado, si bien se observa que existe una asociación estadísticamente significativa entre el ruido urbano y el confort lumínico y la calidad del aire, se puede concluir que esa asociación puede deberse a otros factores. En el caso de la calidad del aire, podría plantearse que la existencia de mayor tráfico rodado o presencia de sector terciario en las proximidades de la vivienda puedan condicionar la calidad del aire en esa área.

Contrariamente a lo esperado, este estudio no encontró una asociación significativa entre la orientación y el confort lumínico. Esta falta de asociación puede ser consecuencia de las categorías analizadas. En concreto, las orientaciones se agruparon como “vivienda con alguna fachada a norte” y “vivienda sin fachadas a norte”. Como consecuencia ambas categorías pueden tener orientaciones soleadas si una determinada vivienda tiene alguna de sus fachadas a norte y al mismo tiempo otra de sus fachadas está orientadas al sur, este u oeste. Asimismo, esta falta de asociación recogida en la Tabla 17 y la Figura 14 sugiere que puede deberse a una influencia de las particularidades y preferencias de las ocupantes respecto al confort lumínico percibido.

En base a los cuatro parámetros ambientales analizados: confort térmico, confort acústico, confort lumínico y calidad del aire, los resultados del estudio han evidenciado un mayor porcentaje de viviendas en disconfort térmico y acústico percibidos. Un mayor o menor porcentaje de viviendas en confort térmico percibido puede estar directamente relacionado con la capacidad de las personas residentes para calentar sus viviendas a la temperatura deseada. En este sentido, existen diversas políticas para abordar la pobreza energética y, en concreto, en alguno de los edificios del parque público en estudio se está llevando a cabo un trabajo específico. Sin embargo, el confort acústico no es uno de los parámetros más estudiados en la literatura ni en las políticas públicas. A pesar de la existencia de diversas regulaciones y recomendaciones que establecen valores mínimos para la resistencia acústica de las envolventes de las viviendas, se puede observar que pueden no ser suficientes para garantizar el confort. El 54.06% de las viviendas analizadas muestran disconfort por ruido y, por lo tanto, debería considerarse como una línea de trabajo para las políticas de vivienda pública o de rehabilitación. Estos resultados están en línea con Zalejska-Jonsson et al. [67], donde el confort acústico fue el que obtuvo resultados de menor confort, seguido del confort térmico. En investigaciones más recientes [16], el parámetro con resultados de un valor menor en confort fue el confort térmico, seguido de la calidad del aire.

Los resultados de la Tabla 17 concuerdan con los resultados de la Tabla 21, donde se observa una asociación entre el confort térmico (CVT) y el año de construcción. En la muestra analizada el porcentaje de viviendas en confort es mayor cuando menor es la edad de la edificación. Por el contrario, los resultados no concuerdan en lo relativo a la capacidad para mantener la vivienda a una temperatura de confort y el estado de conservación del edificio. Si bien la Tabla 17 planteaba una falta de asociación, la Tabla 21 evidencia cierta relación.

Por otro lado, el estudio revela que las viviendas con ingresos medios mensuales superiores a 1200€ presentan mejores resultados de confort relativos a la calidad del aire y al confort lumínico, mientras que las viviendas con ingresos medios menores a 800€ presentan resultados de menor confort térmico. Estos resultados concuerdan con los de Lay y Yik [78], que informaron una menor satisfacción con el ambiente interior entre los hogares de grupos económicos más bajos. Otros estudios [81], [218], en cambio, encontraron que los hogares de grupos económicos más bajos tenían un nivel más alto de aceptación en términos de confort.

Para responder a la tercera pregunta de investigación se estudió la influencia de la subjetividad de las personas en las respuestas relativas al ambiente térmico. También se analizó la influencia de las características de la vivienda en los hábitos de ocupación y los

comportamientos asociados al ambiente térmico. Esta diversidad de percepción del ambiente térmico y la influencia de la subjetividad se analizó con la definición de un indicador que determina el nivel de satisfacción térmica de los hogares, el cual incide en la subjetividad de la respuesta por parte de la persona.

Los resultados de este apartado mostraron un alto porcentaje de coincidencia de la temperatura deseada y la temperatura percibida. Asimismo, se detectó una correlación positiva estadísticamente significativa entre la variable de confort térmico y el indicador de satisfacción térmica propuesto. Este resultado fue inesperado dada la diversidad de respuestas de percepción y la falta de asociación con algunas características sociales y espaciales. En este caso, este resultado sugiere que si bien no es una correlación especialmente fuerte ($r(283) = .38, p = 1.046e^{-11}$), el indicador propuesto se puede emplear para determinar el nivel de satisfacción térmica en la muestra estudiada.

Otro resultado del estudio evidenció que el número de personas en la vivienda puede condicionar el uso del sistema de calefacción. Los resultados reflejaron que los perfiles que usan sistemas secundarios de generación de calor teniendo calefacción en la vivienda son aquellos formados por un adulto menor de 75 años ($1a < 75$) y un adulto con menores de 16 años ($1a_c$). En el caso de hogares con menores de 5 años, puede haber una preferencia por una temperatura más alta en ciertas estancias debido a los requisitos específicos de los menores.

Los resultados de esta primera fase del estudio corroboran la hipótesis que planteaba que, si bien los edificios analizados presentan características arquitectónico-constructivas similares y pertenecen a un contexto social específico, se pueden dar percepciones del ambiente interior diversas. Aunque determinados factores de la vivienda y de los hogares inciden en el confort percibido y en la ocupación y uso de la vivienda, en otros casos se han detectado discrepancias con resultados previos. Según estos datos se puede deducir que el papel de las personas puede ser clave a la hora de definir su situación de confort en la vivienda.

Estos resultados proporcionan una evidencia inicial de las oportunidades para incluir la perspectiva de las personas en el diseño y gestión de las viviendas y los proyectos de intervención. El siguiente capítulo ahondará en el comportamiento de las personas y en el confort higrotérmico cruzando datos subjetivos y objetivos.

6 Resultados: fase 2

Diversidad de comportamientos relativos al ambiente térmico interior

En este capítulo se presentan, analizan y discuten los resultados de la segunda fase de la tesis doctoral. Estos resultados se clasifican en tres subsecciones. En la primera sección se presentan los análisis del confort higrotérmico, donde se explora la relación entre los datos subjetivos basados en las encuestas de la primera fase y los datos objetivos de los modelos de confort procedentes de la monitorización de las viviendas y las exigencias energéticas definidas en la normativa. Posteriormente, se presentan los resultados del estudio de la diversidad de comportamientos con relación a la temperatura y al consumo energético de calefacción y ACS. En el tercer apartado, se expone la aplicación de la metodología para la detección y definición de patrones de comportamiento y ocupación en base al consumo de calefacción y ACS. Por último, se analizan y discuten los resultados obtenidos.

En la segunda fase de la investigación se busca responder a las tres últimas preguntas del proyecto de investigación: ¿Existen diferencias entre los resultados del confort térmico percibido y el confort térmico monitorizado generando así una brecha de resultados? (PI.4); ¿De qué modo varían los hábitos de consumo energético y los comportamientos relacionados con el ambiente térmico interior? (PI.5); ¿Cómo se pueden obtener patrones de comportamiento en un conjunto de viviendas para su aplicación en procesos de simulación y gestión avanzada del parque de vivienda público? (PI.6). Como se planteaba en capítulos anteriores, en la segunda fase se acota la escala de análisis. Para ello, la muestra se reduce a viviendas de un mismo edificio y a variables relacionadas con el ambiente térmico de la vivienda. A continuación, se presentan y discuten los resultados obtenidos que pretenden dar respuesta a las preguntas anteriores.

6.1 Análisis del confort higrotérmico: evaluación de la relación entre los datos monitorizados y percibidos

El confort higrotérmico de los hogares se ha estudiado de dos maneras: desde la perspectiva de las y los residentes a través de las encuestas realizadas para la primera fase y desde una perspectiva objetiva mediante datos obtenidos con la monitorización de la temperatura interior y la humedad relativa de las viviendas.

Los resultados de la encuesta realizada a las 58 viviendas en estudio mostraron que el 63.8% (n = 37) de los hogares declararon sentirse en confort, mientras que el 34.5% (n = 20) sentían frío y únicamente el 1.7% (n = 1) calor. Cuando se les preguntó por su capacidad para mantener la temperatura deseada, el 51.7% (n = 30) dio una respuesta afirmativa, el 39.7% (n = 23) respondió "a veces" y sólo el 8.6% (n = 5) respondió con una negativa.

Por otro lado, para el análisis de los datos monitorizados se calculó el porcentaje de horas en confort. Como se explica en el apartado de metodología 3.3.3, este porcentaje se calculó en base a los modelos de confort de la norma UNE-EN 16798 y los datos monitorizados. Se ha definido como periodo de invierno los días comprendidos entre el 1 de diciembre de 2020 y el 31 de marzo de 2021 con un total de 2872 horas analizadas, en las cuales no están incluidas los días festivos para reducir la distorsión que pudieran generar en los resultados.

Los resultados indicaron que de media el 55.6% (sd = 30.45) de las horas analizadas la muestra de 58 viviendas se encontraba en confort térmico. El análisis de los datos de humedad relativa evidenció un porcentaje medio de horas en confort del 73.2% (sd = 27). Un análisis

detallado de la situación de confort reveló variaciones significativas entre los hogares: El 56.9% (n = 33) de los hogares experimentaron más del 50% de las horas en confort según los datos de temperatura, mientras que el 82.8% (n = 48) de los hogares experimentaron más del 50% de las horas en confort en base a los datos de humedad relativa. Estos cálculos tuvieron en cuenta las horas diurnas y nocturnas, así como los fines de semana. En general, los datos de humedad relativa mostraron un mayor porcentaje de horas dentro de los rangos de confort que los de temperatura. No obstante, los resultados de confort muestran una dispersión mayor en el caso de la temperatura que en el de la humedad relativa, lo que indica que la situación de confort varía significativamente entre los distintos hogares, tal y como puede observarse en la Figura 27.

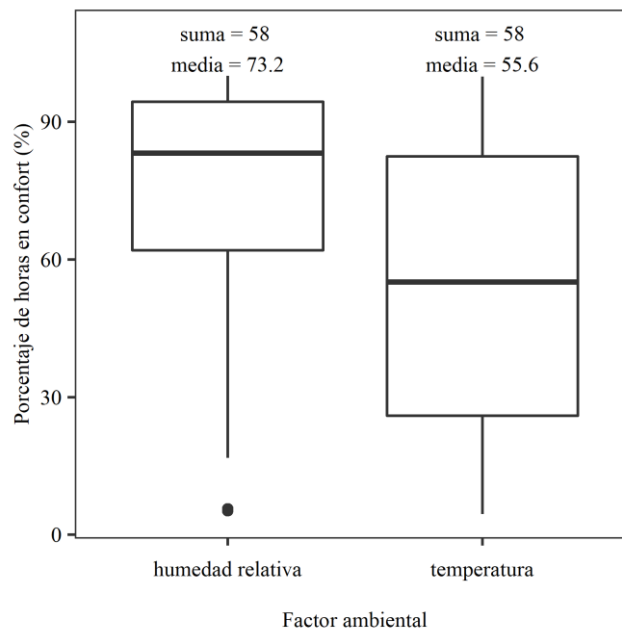


Figura 27. Resultados de los datos monitorizados en base al estándar UNE-EN 16798

Analizando los hogares por separado en la Figura 28 se observan diferentes situaciones. Por un lado, se observan viviendas con resultados de confort similares para ambos parámetros ambientales, como las viviendas 128, 130, 131, 133, 135 o 149. Por otro lado, hay hogares donde se puede ver una amplia diferencia en los resultados de confort para los parámetros de humedad relativa y temperatura, es decir, un amplio rango en los resultados del porcentaje de horas en confort para cada vivienda, como es el caso de las viviendas 129, 145 o 177. También se observa que solo el 22% de las viviendas pasan menos horas dentro del rango de confort de humedad que en el rango de confort de temperatura. Esta situación se observa en las viviendas 127, 134 o 140, por ejemplo. La diversidad de situaciones observadas evidencia la

importancia de adaptar las soluciones de gestión, intervención y diseño de las viviendas a las particularidades que puedan presentar los hogares.

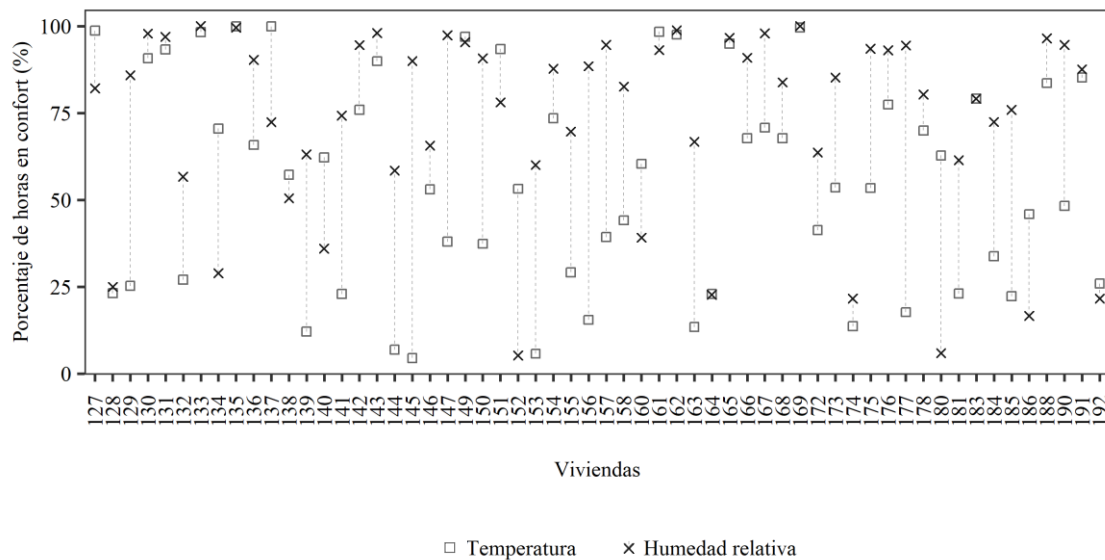


Figura 28. Porcentaje de horas en confort por vivienda

Para determinar una posible brecha de resultados, consecuencia de la discrepancia entre los datos monitorizados y los datos procedentes de encuestas, se contrastaron los resultados del porcentaje de horas en situación de confort térmico y los datos de percepción. El análisis mostró que, en base a la normativa seleccionada para el estudio y en función de los datos monitorizados, los hogares pasaron el 55.8% de las horas en situación de confort térmico, mientras que el 63.8% (n = 37) de los hogares afirman estar en situación de confort según la encuesta. Esta discrepancia en los resultados puede deberse a las preferencias de temperatura de las personas ocupantes. Es decir, aunque una vivienda pueda estar fuera del rango de confort según el modelo de confort seleccionado, las personas residentes pueden seguir considerando que la temperatura es confortable. Para analizar con mayor detalle la brecha de resultados se aplicó la prueba de Kruskal-Wallis. Esta prueba no paramétrica permite determinar si existen diferencias a nivel estadístico entre los grupos de las variables categóricas respecto a las variables continuas, como se ha explicado previamente en el apartado de metodología 3.3.3.

Los resultados de la prueba de Kruskal-Wallis recogidos en la Tabla 27 muestran que no hay diferencias estadísticamente significativas en las respuestas de confort respecto a las variaciones de los datos monitorizados de temperatura y humedad relativa. Esto implica que, aunque la norma indique que las condiciones eran confortables, la percepción de las y los

ocupantes puede diferir. O, por el contrario, a pesar de que los datos monitorizados estén fuera de los rangos de confort, los hogares perciban la temperatura y la humedad relativa de la vivienda como confortable.

TABLA 27. RESULTADOS DE KRUSKAL-WALLIS PARA LOS DATOS DE PERCEPCIÓN Y LOS MONITORIZADOS

Variable	% horas en confort (T)		% horas en confort (HR)	
	chi cuadrado	p-valor	chi cuadrado	p-valor
Temperatura de confort	3.53	.317 ^{ns}	3.16	.367 ^{ns}
Capacidad para mantener la temperatura de confort	3.05	.218 ^{ns}	1.07	.586 ^{ns}
Confort térmico en invierno	2.9	.235 ^{ns}	0.45	.799 ^{ns}

^{ns}No significativo

Para analizar las diferencias de los resultados de confort, la Figura 29 compara la temperatura y la humedad relativa monitorizadas (datos objetivos) con la percepción de los hogares (datos subjetivos) en función de la ocupación de la vivienda. Se establecieron tres horarios de ocupación basados en el CTE [196]: mañana de 7-15h, tarde de 15-23h y noche de 23-7h. En cada periodo del día sólo se incluyeron las respuestas de los hogares con ocupantes presentes durante esa franja horaria.

Para este periodo y esta localización los límites de temperatura establecidos en la norma UNE-EN 16798 se definen según las condiciones establecidas en el apartado de metodología 3.3.3, en función de la temperatura exterior. Los límites recomendados se recogen en la Tabla 28. En la Figura 29, el área de confort para la temperatura y la humedad relativa se muestra como un área sombreada basada en los rangos establecidos en la norma UNE-EN 16798.

TABLA 28. LÍMITES DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA PARA LA MUESTRA EN BASE A LA NORMA UNE-EN 16798

Fecha	Temperatura media exterior (°C)	Humedad relativa media exterior (%)	Límite superior recomendado de temperatura (°C)	Límite inferior recomendado de temperatura (°C)	Límite superior recomendado de humedad relativa (%)	Límite inferior recomendado de humedad relativa (%)
12/2020	6.5	78.7	25.1	18.1	60	25
1/2021	5.3	78.4	25.1	18.1	60	25
2/2021	9.7	70.4	25.1	18.1	60	25
3/2021	8.4	68.9	25.1	18.1	60	25

En general, no se observó una variación significativa de la temperatura o la humedad relativa entre los periodos de mañana, tarde y noche. Sin embargo, algunas viviendas que se encuentran dentro de los rangos de confort normativos informaron de una sensación de

disconfort térmico en la encuesta. Asimismo, otros hogares que se encuentran fuera de los rangos de confort respondieron percibir ambiente térmico adecuado.

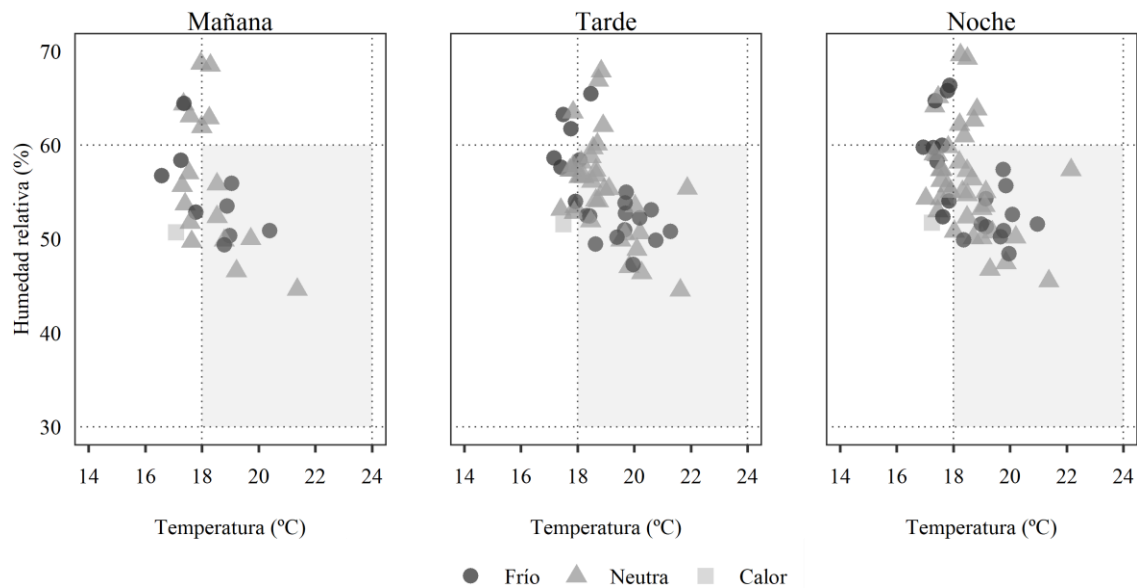


Figura 29. Relación entre el confort percibido y los datos monitorizados

Estos resultados sugieren que se produjo una divergencia general entre el confort percibido y el monitorizado, lo que puede indicar la importante influencia de las opiniones individuales en la definición del confort.

6.2 Análisis de la diversidad de comportamientos: temperatura y consumo energético

En este sub-apartado se presentan los resultados del estudio de la diversidad de comportamientos relativos a la temperatura interior y al consumo energético de la vivienda. Se aborda desde dos perspectivas. Primero, se determinó la variabilidad de los factores ambientales en función de las características de la vivienda y de los hogares. A continuación, se estudió en detalle la diversidad de comportamientos de las personas.

Tras evidenciar la variabilidad entre los datos medidos, objetivos, y los datos percibidos, subjetivos, se analizó si existía una correlación entre las características del hogar y la vivienda y los parámetros ambientales interiores y el consumo de energía de los hogares. Para realizar este análisis, se aplicó la prueba de Kruskal-Wallis a las variables categóricas y la prueba de

correlación de Pearson a las variables numéricas, tal y como se explica en el capítulo de metodología 3.3.3.

Los resultados de la Tabla 29 muestran que existen diferencias estadísticamente significativas entre las categorías de varios factores espaciales con respecto a la variación de los parámetros ambientales interiores, temperatura y humedad relativa, donde $p < .05$. Entre estos factores espaciales se encuentran la tipología de vivienda, el número de fachadas con huecos y el número de estancias. En el caso del consumo de calefacción también se observaron diferencias en la mayoría de las características de la vivienda, así como en la variable de confort térmico percibido en invierno. Sin embargo, no hubo diferencias estadísticamente significativas en las medias de consumo de calefacción entre otras categorías de variables sociales, como el número de personas o los ingresos. Esto sugiere que puede haber otros factores socioeconómicos o actividades de la vida diaria que influyan en el uso de la calefacción.

TABLA 29. RESULTADOS DE PEARSON Y KRUSKAL-WALLIS PARA LOS FACTORES ESPACIALES Y SOCIALES Y LOS DATOS MONITORIZADOS

Variable		Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)	Consumo de calefacción (kWh)
Factores espaciales	Posición relativa en el edificio	.284	.095	.007 ^a
	Tipología de la vivienda	.047 ^a	.056	.001
	Orientación de la sala de estar	.813	.273	.025 ^a
	Número de fachadas con huecos	.024 ^a	.019 ^a	.001
	Superficie de vivienda (cuantitativa)	.069	.054	.002
	Número de estancias	.098	.008 ^a	.120
Factores sociales	Número de personas (cuantitativa)	.575	.086	.286
	Perfil social	.271	.110	.097
	Ingresos medios mensuales	.915	.201	.094
	Menores de 5 años en la vivienda	.318	.591	.147
	Uso del sistema de calefacción	.848	.886	.511
	Ocupación	.822	.879	.977
	Confort térmico percibido en invierno	.270	.516	.048 ^a

^a Asociación con intervalo de confianza del 95%.

Se realizó un análisis detallado de las variables que presentaron asociación con los parámetros ambientales y el consumo de calefacción. En la Figura 30, se analiza la influencia de la tipología de la vivienda y el número de fachadas con huecos en la temperatura interior. Los resultados muestran que las viviendas mono-orientadas con orientación sur tenían una temperatura media más alta en comparación con las viviendas pasantes con orientación norte-

sur, con 19°C (desviación estándar = 1.4) y 18.3°C (desviación estándar = 1.5) de temperatura media respectivamente. Aunque las viviendas pasantes son más del 50% de la muestra analizada (n = 32), las viviendas mono-orientadas mostraron una menor dispersión de temperatura media que las tipologías en esquina y las pasantes. Del mismo modo, las viviendas con una sola orientación presentaron una temperatura media más alta y una dispersión menor que las que tienen dos orientaciones (es decir, las viviendas en esquina y las pasantes). Esta variable presenta temperaturas medias de 19°C (desviación estándar = 1.4) en viviendas con una orientación y 18.4°C (desviación estándar = 1.5) en viviendas con dos orientaciones.

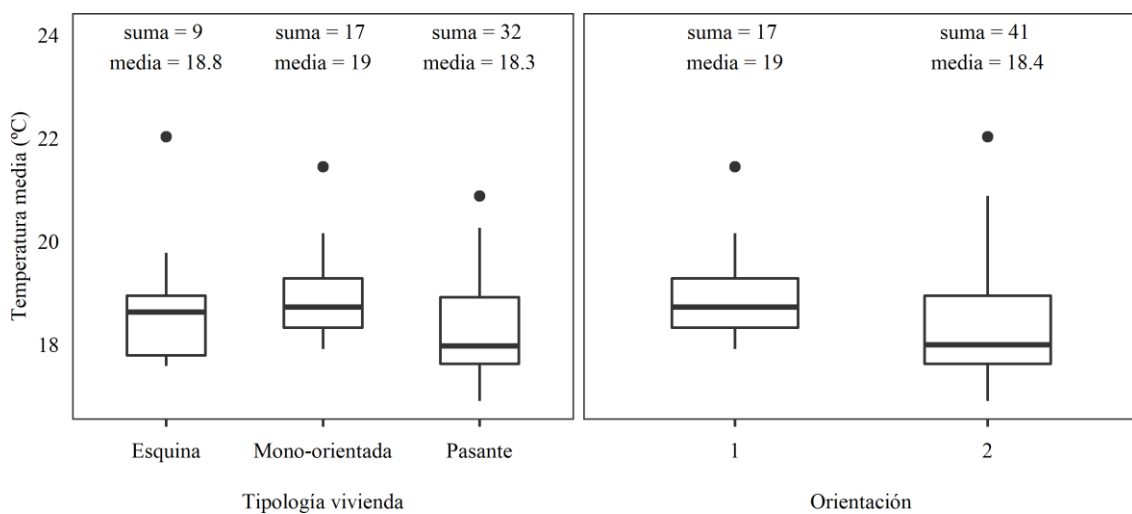


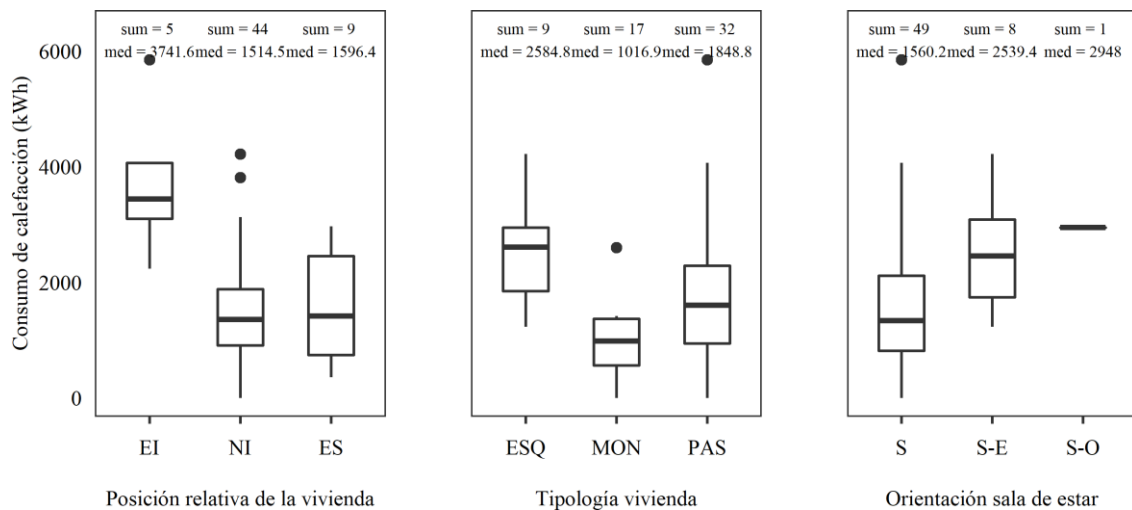
Figura 30. Resultados de temperatura en relación con la tipología de vivienda y el número fachadas con huecos

En cuanto al consumo de calefacción, como se observa en la Figura 31, las viviendas situadas en las primeras plantas del edificio presentan un mayor consumo, mientras que el consumo medio de las plantas intermedias y las plantas superiores es similar, con un consumo total en invierno de 3741.6 kWh (sd = 1353.5), 1514.5 kWh (sd = 962.6) y 1596.4 kWh (sd = 1020.7) respectivamente. Esta diferencia en el consumo puede deberse a una mayor pérdida de calor a través de las plantas inferiores en comparación con las plantas intermedias.

En la Figura 31 se observa también la asociación detectada en la Tabla 29 entre la tipología de la vivienda y el consumo de calefacción. La Figura 31 muestra que las viviendas en esquina y las viviendas pasantes tienen un consumo de calefacción mayor que las mono-orientadas. En concreto se detectaron consumos medios en el periodo de invierno de 2584.8 kWh (sd = 1010.8) en las viviendas en esquina, 1848.8 kWh (sd = 1207.2) en las viviendas pasantes y 1016.9 kWh (sd = 746.9) en las viviendas mono-orientadas. Una mayor superficie exterior o

la orientación de las fachadas principales pueden influir en la necesidad de un mayor consumo de calefacción para alcanzar temperaturas confortables.

Por último, en la Tabla 29 se observa que existe una diferencia significativa entre las medias de consumo de calefacción de las categorías relativas a la orientación de la vivienda ($p = .025$). En la Figura 31 se puede ver un mayor consumo de las viviendas con orientaciones sur-este y sur-oeste respecto a aquellas con orientación sur. Esto coincide con los consumos observados en base a las tipologías de vivienda, donde las viviendas mono-orientadas y pasantes, cuyas viviendas tienen su sala de estar orientadas al sur, presentan menor consumo de calefacción que las viviendas en esquina, con doble orientación de la sala de estar.



*Extremo inferior (EI), nivel intermedio (NI), extremo superior (ES); Esquina (ESQ), mono-orientada (MON), pasante (PAS).
 Figura 31. Consumo de calefacción en relación con la posición relativa, la tipología de vivienda y la orientación de la sala de estar

Para alcanzar determinadas temperaturas en una vivienda, el consumo de calefacción debería ser proporcional a la temperatura interior de la vivienda. Sin embargo, esta relación puede verse afectada por diversos factores, como las características de la vivienda y los hábitos de las personas que viven allí. Se utilizó la prueba de correlación de Pearson para analizar la relación entre la temperatura media en invierno de las viviendas y su consumo total de calefacción. En la muestra, ambas variables resultaron estar débilmente correlacionadas, $r(56) = .24$, $p = .067$. Como se puede ver en la Figura 32, las observaciones se encuentran dispersas y pese a que hay una ligera tendencia al alza, no se detecta una correlación clara.

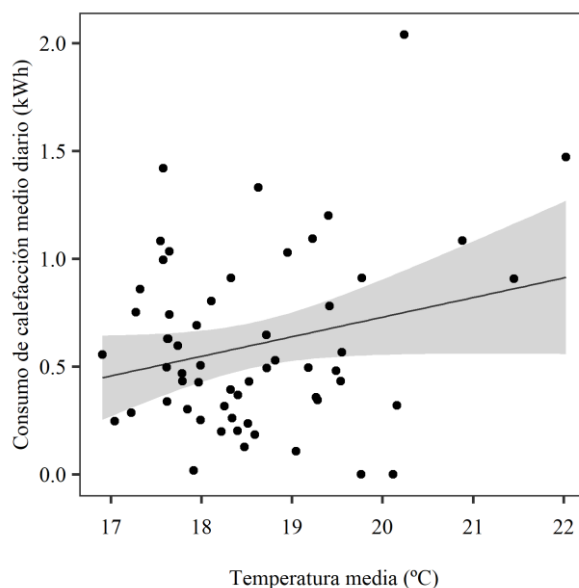


Figura 32. Correlación entre la temperatura media diaria y el consumo de calefacción medio diario

Dado que no se observó una asociación clara entre el consumo de calefacción y los parámetros del ambiente interior con los factores sociales de la Tabla 29, se analizó la variabilidad y la diversidad de comportamientos relacionados con la temperatura interior y el consumo de energía (calefacción y ACS) atendiendo a cada vivienda como elemento particular. Se realizó un estudio descriptivo de la variabilidad del comportamiento horario como media del periodo de invierno a través de una serie de figuras, tal y como se ha explicado previamente en el apartado de metodología 3.3.3. La Figura 33 muestra las medias diarias de temperatura de cada vivienda. En concreto, presenta la temperatura media en comparación con las temperaturas mínimas y las máximas diarias y el rango que estas definen. Por otro lado, se realizó un análisis similar del consumo de calefacción y ACS en la Figura 34 y la Figura 36. Estas gráficas recogen el consumo medio horario de cada vivienda en comparación con la media horaria de la muestra total. También se desarrolló un análisis de la variación semanal del consumo de calefacción en invierno, como se muestra en la Figura 35. En esta imagen cada línea representa el consumo horario por semana en comparación con el consumo medio horario en invierno.

Se detectaron tres grupos distintos de comportamientos en base a las temperaturas de la vivienda: viviendas en las que las temperaturas eran inferiores a 18°C durante todo el día (n=14), viviendas en las que las temperaturas fluctuaban entre menos de 18°C y más 18°C (n=26), y viviendas en las que las temperaturas eran superiores a 18°C durante todo el día (n=18). La línea azul de la Figura 33 define el límite inferior de la temperatura de confort en base a la norma UNE-EN 16798. Estos grupos pueden indicar pautas diferentes en el uso de

la calefacción y los hábitos de ventilación. En el segundo grupo, en el que las temperaturas fluctúan por encima o por debajo de 18°C, el patrón de temperaturas se repetía en general en varias viviendas. Se observaron principalmente temperaturas inferiores a 18°C por la noche y/o en las primeras horas de la mañana para después pasar a temperaturas superiores a este valor a lo largo del día.

El rango de temperaturas definido por las temperaturas máximas y mínimas horarias proporcionó otro tipo de información. Se observaron viviendas con un rango de temperaturas máximas y mínimas diarias superior a la media, lo que puede indicar un mayor uso de la calefacción en determinados periodos. Es decir, pueden darse periodos de menor temperatura por una baja ocupación de la vivienda, frente a picos de temperaturas máximas en periodos con una mayor presencia de personas. Por otro lado, las viviendas con rangos de temperaturas máximas y mínimas próximas a la temperatura media, puede indicar que la calefacción se ajusta a una temperatura constante. Estas temperaturas se compararon con otras variables como el número de personas en la vivienda y la orientación. No obstante, no se observó un patrón claro de temperaturas medias ni entre el número de personas ni por orientación, por lo que la variación puede estar relacionada con otras variables sociales o de la vivienda.

Los resultados de la Figura 34 evidencian patrones de consumo de calefacción en términos del periodo de consumo (mañana, tarde o noche) como de la cantidad de energía consumida. Se detectan viviendas con consumos mayores en el periodo de mañana o, por el contrario, viviendas con un mayor consumo a última hora del día. Por otro lado, algunas de las viviendas de la muestra presentaban un consumo nulo o casi nulo, lo que puede indicar en algunos casos el uso de sistemas secundarios de generación de calor.

Asimismo, se analizó la variación semanal del consumo de calefacción de cada vivienda para detectar patrones o hábitos o, por el contrario, independencia en los hábitos de calefacción. La Figura 35 muestra los consumos semanales de cada vivienda y el consumo medio en invierno de la propia vivienda. En general, se observa un cierto patrón de consumo a lo largo de las distintas semanas, donde el uso de la calefacción es constante respecto a la media en invierno. Asimismo, el uso de la calefacción tiende a realizarse en las mismas franjas horarias. Sin embargo, hay varias viviendas en las que se produce un aumento del consumo en determinadas semanas, así como variaciones en las horas punta. Este segundo caso se da principalmente en viviendas de bajo consumo.

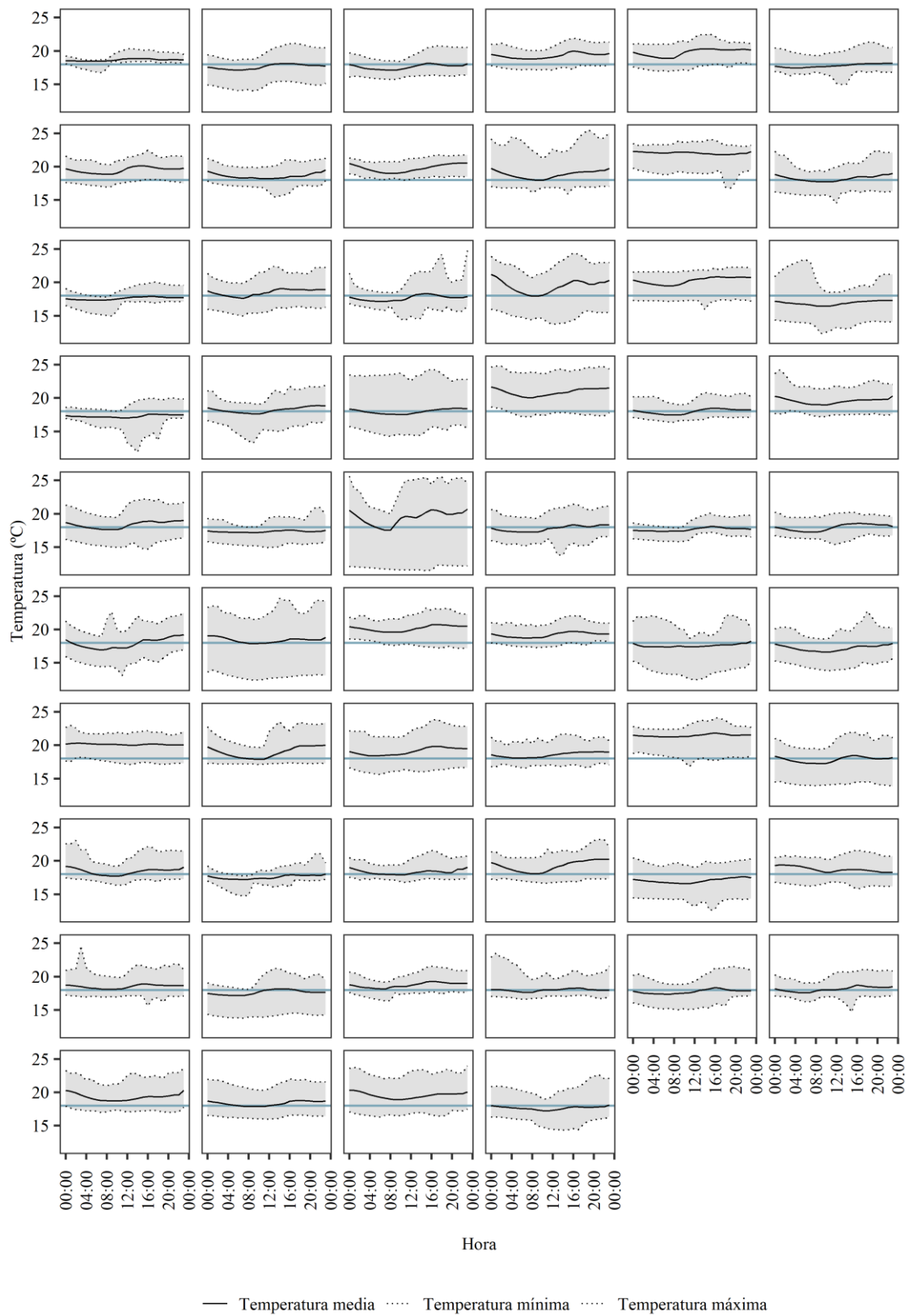


Figura 33. Media horaria de temperatura por vivienda para el periodo de invierno

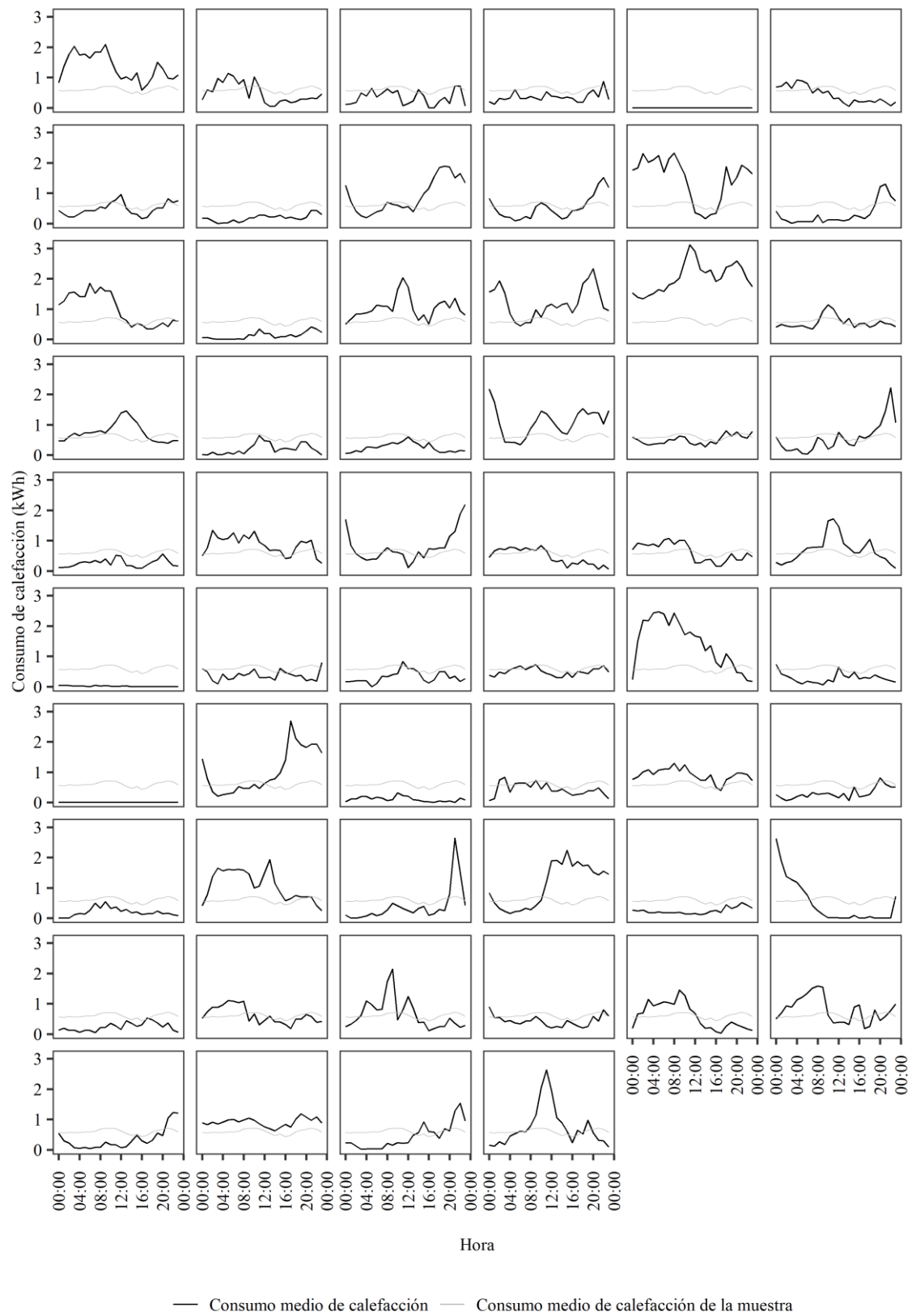
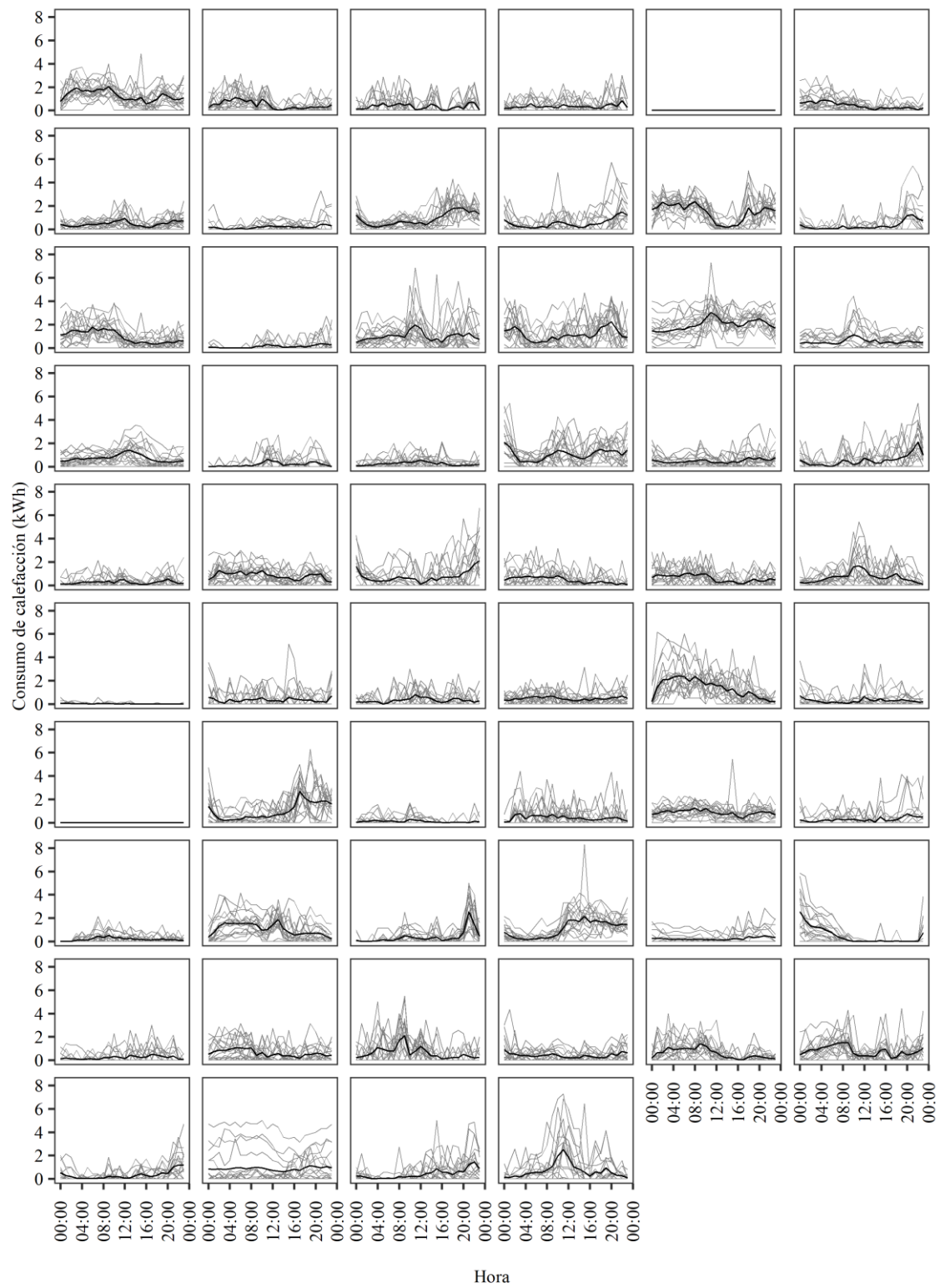


Figura 34. Media horaria de consumo de calefacción por vivienda para el periodo de invierno



— Consumo semanal de calefacción — Consumo medio de calefacción

Figura 35. Variación semanal del consumo de calefacción por vivienda

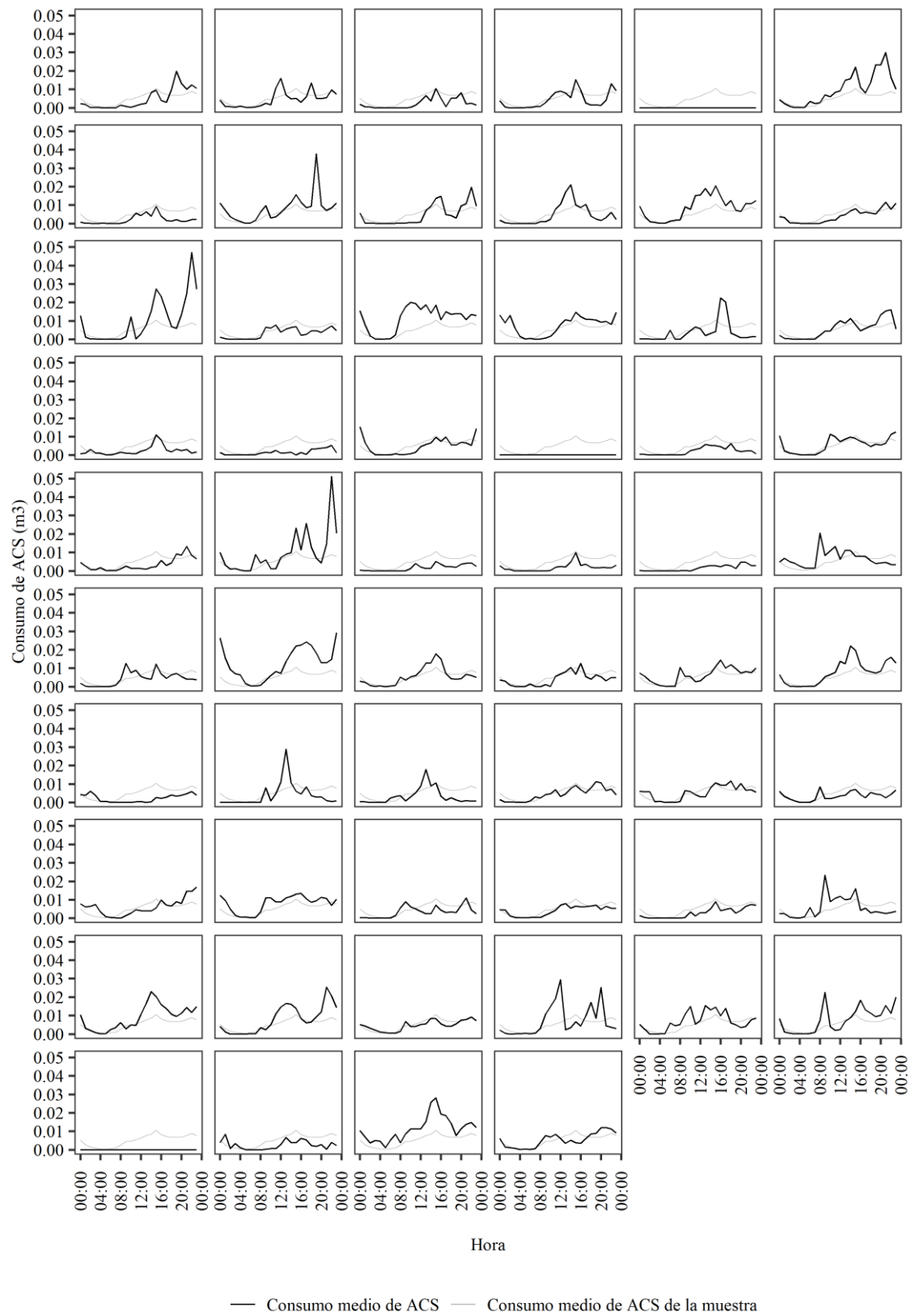


Figura 36. Media horaria de consumo de agua caliente sanitaria por vivienda

También se analizó el comportamiento del consumo de ACS, cuyos resultados se recogen en la Figura 36. En general, se observó que, aunque las horas punta de consumo eran similares en todos los hogares, existía cierta variación en la cantidad de ACS consumida. Si bien el consumo de ACS no está directamente relacionado con el confort térmico, aporta información relativa al comportamiento de las personas y el uso de la vivienda. Al ser un dato que influye en el consumo de energía, se plantea como una variable necesaria que, junto con otros datos como la temperatura, el consumo de calefacción y la ocupación de la vivienda, es aplicable en la gestión energética adaptada y la calibración de los modelos aplicados en la simulación energética de edificios.

El análisis del comportamiento de los hogares realizado en este apartado reveló una diversidad significativa asociada a las características sociales. Aunque se observó cierta asociación entre el consumo de energía y las características de la vivienda, las diferencias detectadas entre el comportamiento y las características sociales sugieren que podría ser más apropiado enfocar la detección de patrones de consumo energético y comportamiento empleando variables no vinculadas a los factores sociales.

6.3 Detección de patrones y definición de perfiles

En los entornos en los que se observa divergencia de usos entre viviendas, puede ser necesario agrupar en perfiles y detectar patrones de comportamiento. Estos perfiles proporcionan información sobre el uso real del edificio y sus instalaciones, lo que permite una gestión más específica y la adaptación de las intervenciones al comportamiento real de los hogares. En este sentido, esta investigación propone una metodología para la detección de patrones y la definición de perfiles de ocupación y comportamiento relativo al consumo de calefacción y ACS. Partiendo de la independencia observada en el apartado anterior entre los factores sociales y los parámetros del ambiente interior y el consumo de energía, se propone una definición de perfiles de comportamiento basados en los datos de uso y consumo. A continuación, se presentan los resultados de la metodología propuesta en dos secciones relativas al consumo de calefacción y al consumo de ACS.

6.3.1 Consumo de calefacción

Tras examinar los datos, se encontró una débil correlación entre el consumo de calefacción y la temperatura, y ninguna asociación entre la temperatura o el consumo de calefacción y las

características socioeconómicas de los hogares. En consecuencia, se decidió agrupar los hogares en función del tipo de consumo, es decir, en función del momento en el que se activa la calefacción en la vivienda y los periodos de uso. Aunque se detectó una asociación entre la tipología de la vivienda y la temperatura, la calefacción y el consumo de ACS, se decidió no utilizar estas variables como factores de agrupación. Esta decisión se basa en la limitación que supondría comparar los resultados y aplicar la estrategia a casos de estudio cuyas características de vivienda no estuvieran incluidas en la agrupación. La agrupación basada en el consumo horario a lo largo del día permite que la estrategia sea replicable en casos de estudio diversos.

Para analizar el consumo de calefacción y definir los patrones de comportamiento se utilizó la agrupación de series temporales. Para ello, se emplearon los datos medios de consumo horario a lo largo del día. Se empleó el método de deformación dinámica del tiempo (en inglés, *Dynamic Time Warping*, DTW) para medir la similitud entre los datos de las series temporales, como se explica en el apartado de metodología 3.3.3. Durante el proceso de cálculo se hicieron correcciones. Además, se excluyeron cuatro viviendas de la agrupación, ya que se presentaban como valores atípicos y generaban una distorsión en los resultados. La Tabla 30 recoge los valores de cada medida y el número de observaciones de las distintas agrupaciones posibles.

TABLA 30. TEST DE AGRUPACIÓN Y RESULTADOS DE LOS MÉTODOS *ELBOW* Y *SILHOUETTE*

	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	Test 6	Test 7
Número de grupos	2	3	4	5	6	7	8
n^a	54	54	54	54	54	54	54
<i>Within cluster sum of squares (SSW)</i>	2414.45	1444.65	1134.51	935.88	806.97	746.41	633.93
<i>Average within</i>	8.36	6.85	6.28	5.74	5.44	5.27	4.8
<i>Average silhouette width (ASW)</i>	0.32	0.31	0.3	0.27	0.26	0.26	0.26
Clúster-1 n	31	12	6	6	6	4	4
Clúster-2 n	23	19	19	19	13	13	13
Clúster-3 n	0	23	23	17	17	17	14
Clúster-4 n	0	0	6	6	6	6	3
Clúster-5 n	0	0	0	6	6	6	6
Clúster-6 n	0	0	0	0	6	6	6
Clúster-7 n	0	0	0	0	0	2	6
Clúster-8 n	0	0	0	0	0	0	2

^an: número de observaciones

El número de agrupaciones se seleccionó tras aplicar los métodos *elbow* y *silhouette*. Estos análisis midieron la proximidad de las observaciones dentro de cada grupo y la proximidad de las observaciones de cada grupo al grupo contiguo. Los resultados de estos análisis indicaron que las agrupaciones óptimas podrían ser 6, 7 u 8 clústeres. Como no se observó una diferencia significativa, se realizó una agrupación con 6 clústeres. La Figura 37 recoge los resultados del método *elbow* (izquierda) y el método *silhouette* (derecha).

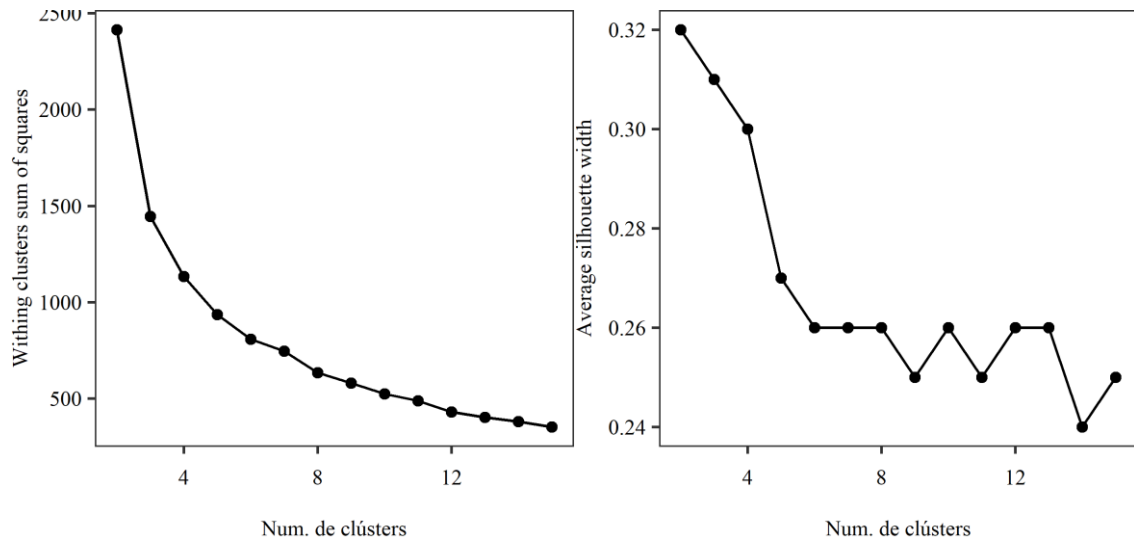


Figura 37. Resultados de los métodos *elbow* y *silhouette*

Asimismo, la Figura 38 presenta la información de la agrupación en forma de dendrograma. Esta figura en forma de árbol muestra los grupos que se han formado tras la aplicación del análisis clúster. En ella se puede ver los grupos obtenidos y las observaciones que se incluyen en cada agrupación.

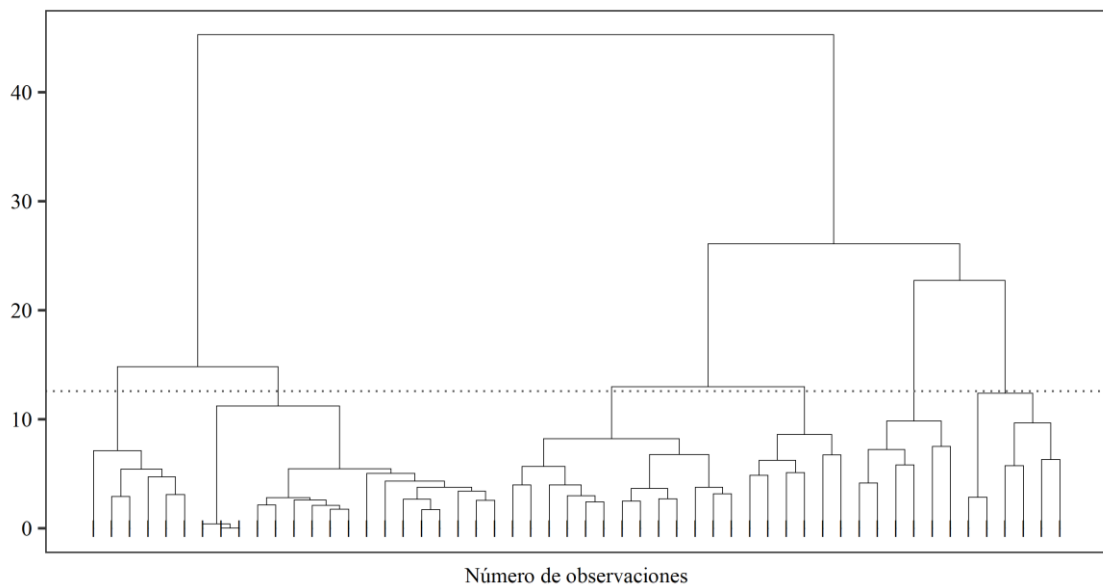


Figura 38. Dendrograma de la agrupación obtenida

La Figura 39 muestra las seis agrupaciones obtenidas, la tendencia de consumo de cada vivienda y la media de la agrupación. Como se puede ver en la figura, se detectan claras tendencias de consumo diferenciadas a lo largo del día. La Figura 40 muestra el consumo medio diario de los valores atípicos excluidos. Estas viviendas presentan tendencias de consumo distintas al resto de las viviendas y requerirían de un análisis específico de cada caso.

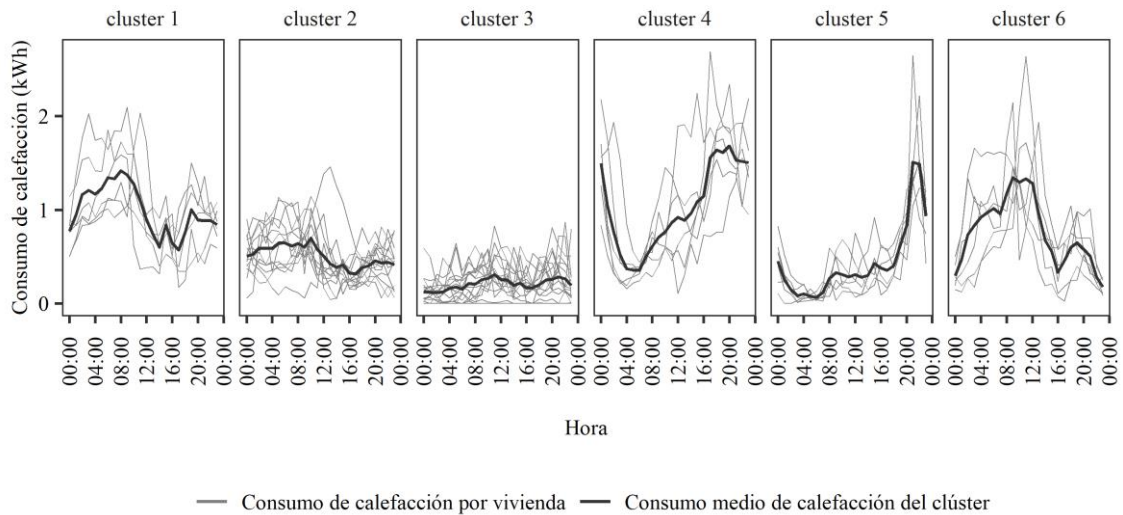


Figura 39. Consumo de calefacción de los grupos obtenidos

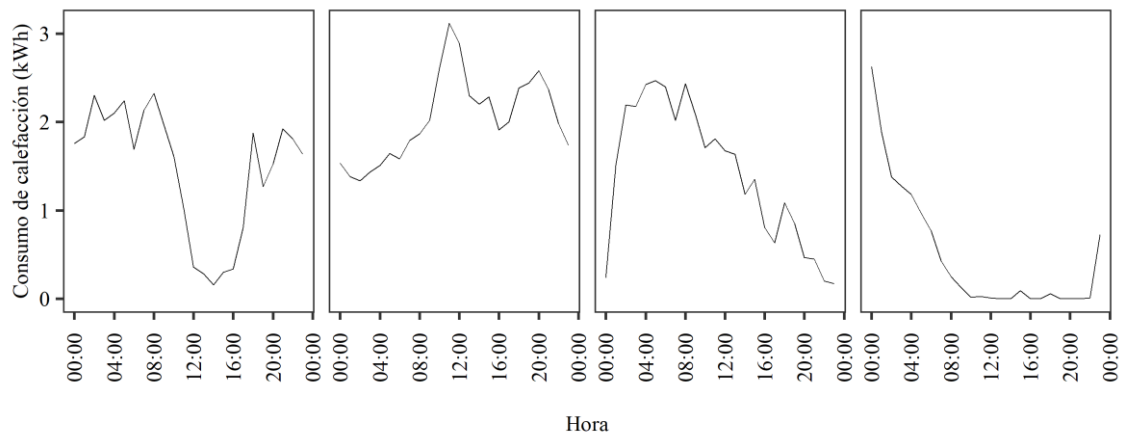


Figura 40. Consumo de calefacción de los valores atípicos

Para describir las diferencias entre las agrupaciones, se analizó el consumo de calefacción en invierno de cada grupo, así como el momento del día en que se produce dicho consumo. Para ello, se dividió el consumo en 3 partes iguales en función del consumo máximo de los clústeres, es decir, se estratificó en 3 grupos describiendo un consumo bajo, medio y alto.

Asimismo, los periodos de consumo se clasificaron en 3 periodos horarios: mañana: 7-15h, tarde: 15-23h, noche: 23-7h. Como se ha explicado previamente, esta clasificación horaria se basa en la definida en el CTE [196]. Los grupos de consumo se pueden describir de la siguiente manera:

- *All-day consumers* (clúster 1): tienden a consumir energía a un ritmo constante durante el día y la noche (n = 6).
- *Steady energy consumers* (clúster 2): tienden a consumir energía a un ritmo constante durante todo el día (n = 12).
- *Low-energy consumers* (clúster 3). tienden a consumir energía a un ritmo relativamente bajo a lo largo del día (n = 17).
- *Warm nighters* (clúster 4): tienden a consumir más energía por la noche y menos por la mañana (n = 6).
- *End-of-Day consumers* (clúster 5): tienden a consumir más energía al final de la tarde (n = 6).
- *Early risers* (clúster 6): tienden a consumir más energía por las mañanas y menos por las noches (n = 6).

La Tabla 31 recoge los resultados de cada clúster en función de la agrupación por cantidad de consumo. Se observa que los clústeres 2 y 3 (*steady energy consumers* y *low-energy consumers*) incluyen un porcentaje importante de viviendas analizadas con 12 y 17 viviendas respectivamente, lo que supone un 54% de la muestra. Esto indica que las viviendas de la muestra tienden a realizar un consumo de calefacción medio o bajo.

TABLA 31. CONSUMO DE CALEFACCIÓN POR CLÚSTER EN BASE A LA ESTRATIFICACIÓN POR CANTIDAD DE CONSUMO REALIZADO

Consumo calefacción	Clúster 1 <i>All-day consumers</i>		Clúster 2 <i>Steady energy consumers</i>		Clúster 3 <i>Low-energy consumers</i>		Clúster 4 <i>Warm nighters</i>		Clúster 5 <i>End-of-Day consumers</i>		Clúster 6 <i>Early risers</i>	
	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n
Bajo	0	0	7.7	1	100	17	0	0	33.3	2	0	0
Medio	0	0	84.6	11	0	0	0	0	66.7	4	50	3
Alto	100	6	7.7	1	0	0	100	6	0	0	50	3

Los *all-day consumers* y los *warm nighters* tienen un consumo elevado de calefacción, pero el momento del día de este consumo varía. Según el periodo de consumo, se observa que los *all-day consumers* tienen un mayor consumo de calefacción por la noche, alcanzando el máximo consumo por la mañana, pero descienden al final de la mañana y aumentan

ligeramente por la tarde. Este grupo se mantiene continuamente dentro de los umbrales de consumo medio y alto. Por el contrario, los *warm nighters* muestran la tendencia de consumo opuesta: el clúster alcanza el consumo mínimo por la noche y aumenta progresivamente hasta alcanzar el consumo máximo por la tarde.

Steady energy consumers y *end-of-day consumers* presentan un mayor porcentaje de viviendas en el grupo medio de consumo, pero con tendencias diferentes en cuanto a las horas de consumo. *Steady energy consumers* tienen un mayor consumo por la noche y a primera hora de la mañana, alcanzando el rango de consumo medio. Sin embargo, descienden a primera hora de la tarde y no vuelven a subir hasta las primeras horas de la noche. *End-of-day consumers*, en cambio, tienen un consumo muy bajo por la noche y ligeramente superior por la mañana. En este caso, el consumo aumenta a última hora de la tarde, alcanzando su punto máximo entre las 21:00 y las 22:00 horas.

Low-energy consumers tienen un consumo de calefacción relativamente bajo. Este grupo tiene un consumo constante, pero bajo. El 50% de las viviendas del clúster *early risers* tiene un consumo medio, y el otro 50%, un consumo alto. Las horas de consumo son similares a las de *all-day consumers*. En este caso, el consumo por la noche y por la tarde es inferior al anterior. En cuanto a los grupos con valores atípicos, tres de ellos tienen un consumo alto, y el restante un consumo medio.

Si se realiza un análisis de la relación de estas agrupaciones con su consumo anual y diario se observa que los hogares con bajos consumos presentan menores consumos tanto para todo el periodo de invierno como para el consumo medio diario. Asimismo, los hogares del grupo *warm nighters* tienen el consumo más elevado en ambos casos. La Tabla 32 muestra el consumo de calefacción de cada grupo, así como la temperatura media diaria.

TABLA 32. DESCRIPCIÓN NUMÉRICA DE LOS GRUPOS OBTENIDOS. MEDIA Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR

	Clúster 1 <i>All-day consumers</i>	Clúster 2 <i>Steady energy consumers</i>	Clúster 3 <i>Low-energy consumers</i>	Clúster 4 <i>Warm nighters</i>	Clúster 5 <i>End-of-Day consumers</i>	Clúster 6 <i>Early risers</i>
Consumo medio diario de calefacción (kWh/d)	23.81 (4.36)	12.09 (2.76)	4.93 (2.89)	24.28 (3.57)	10.26 (2.4)	18.38 (4.24)
Consumo total en invierno (kWh)	2857.67 (523.01)	1450.69 (331.77)	591.35 (346.21)	2913.34 (428.49)	1231.50 (287.51)	2205.17 (508.7)
Temperatura media diaria (°C)	18.62 (0.43)	17.92 (0.41)	18.57 (0.56)	19.61 (0.49)	18.96 (0.49)	17.82 (0.37)

TABLA 33. CARACTERÍSTICAS SOCIALES DE LAS AGRUPACIONES

%	Clúster 1 <i>All-day consumers</i>	Clúster 2 <i>Steady energy consumers</i>	Clúster 3 <i>Low-energy consumers</i>	Clúster 4 <i>Warm nighters</i>	Clúster 5 <i>End-of-Day consumers</i>	Clúster 6 <i>Early risers</i>
Número de personas en la vivienda						
1	16.7	23.1	5.9	16.7	0	33.3
2	33.3	38.5	17.6	33.3	0	33.3
3	33.3	7.7	29.4	0	33.3	0
4	0	15.4	23.5	16.7	50	33.3
> 4	16.7	15.4	23.5	33.3	16.7	0
Ingresos medios mensuales						
< 800 €	33.3	23.1	29.4	33.3	50	33.3
800-1000 €	50	23.1	23.5	33.3	16.7	16.7
> 1000 €	16.7	53.8	47.1	33.3	33.3	50
Ingresos medios mensuales por persona						
€/persona	432.78	476.41	318.82	415	234.72	525
Perfil social^a						
1a<75	16.7	23.1	5.9	16.7	0	33.3
2a	16.7	15.4	17.6	16.7	0	0
2a_1c	16.7	0	17.6	0	16.7	16.7
2a_2c	0	7.7	23.5	0	16.7	33.3
2a_3c	0	7.7	23.5	16.7	0	0
1a_c	0	15.4	5.9	33.3	0	16.7
3a	33.3	15.4	0	16.7	0	0
3a_c	16.7	15.4	5.9	0	66.7	0
Tipología de vivienda						
Esquina	50	15.4	0	33.3	0	16.7
Mono-orientada	33.3	23.1	52.9	0	33.3	0
Pasante	16.7	61.5	47.1	66.7	66.7	83.3

^a 1a<75: un adulto menor de 75; 2a: dos adultos; 2a_1c: dos adultos con menor de 16; 2a_2c: dos adultos con dos menores de 16; 2a_3c: dos adultos con tres o más menores de 16; 1a_c: un adulto con uno o más menores de 16; 3c: tres o más adultos; 3a_c: tres o más adultos con menores de 16.

Si se examinan las características socioeconómicas presentadas en la Tabla 33, se observa que los dos grupos con ingresos medios mensuales por persona más bajos (clúster 3 y 5) son los que menos calefacción consumen. Sin embargo, esta relación de ingresos y consumo de calefacción no se observa en el clúster 4, que es el tercer grupo en relación al nivel de ingresos medios mensuales por persona, pero es el clúster con mayor consumo de la muestra. Este resultado puede atribuirse al proyecto contra la pobreza energética en el que participaba la muestra. Bajo este proyecto, los hogares pagaban únicamente los costes de calefacción para alcanzar temperaturas superiores a 18°C. Los gastos relativos al consumo de calefacción

destinados a alcanzar los 18°C quedaban en manos de la entidad gestora de la vivienda pública, como se ha explicado previamente en el capítulo 4.3.2.

Las agrupaciones obtenidas no presentan un perfil particular en cuanto a número de personas, ingresos o perfil social. La Tabla 33 muestra la variabilidad de comportamiento que existe en la muestra, en la que la tendencia de uso de calefacción puede estar condicionado por otras características socioeconómicas o de estilo de vida más allá de la renta, la edad o el número de residentes.

Otro parámetro necesario para completar estos perfiles es la temperatura asociada a la calefacción. Las temperaturas de *set-back* y *set-point*, es decir, la temperatura de activación de la calefacción y la temperatura operativa, respectivamente, se calculan a partir de las temperaturas mínimas y máximas diarias. Este método se ha concebido para que pueda aplicarse a distintos periodos de tiempo en función de los objetivos. Para ello, se han utilizado las temperaturas mínimas y máximas de la media diaria. Como se ha explicado previamente en el apartado 3.3.3 de la metodología, en este estudio se analizó el periodo de invierno de diciembre de 2020 a marzo de 2021. Por lo tanto, se tomaron las temperaturas mínima y máxima de la temperatura media diaria de ese periodo, dato que se recoge en la Figura 41 a la Figura 46. Para garantizar la precisión del resultado, también se calcularon el promedio de las temperaturas mínimas y máximas diarias de todo el periodo. La comparación de ambos resultados evidenció valores similares y equivalentes.

Las Figura 41 a la Figura 46 muestran los resultados de las agrupaciones realizadas. Estos resultados recopilan de forma gráfica información sobre la temperatura de activación y operativa, el consumo de calefacción y la ocupación de la vivienda. En las figuras se puede observar que los perfiles muestran variaciones claras en el comportamiento de los hogares, a pesar de tener características similares en cuanto a la situación socioeconómica de los hogares y las características del edificio. Para mayor información sobre los resultados numéricos de cada grupo, se pueden consultar las tablas del Anexo 6, las cuales recogen los datos específicos de cada uno de ellos. Asimismo, la Figura 49 del Anexo 6 muestra el consumo medio horario de calefacción de cada vivienda indicando a su vez el clúster al que pertenece.

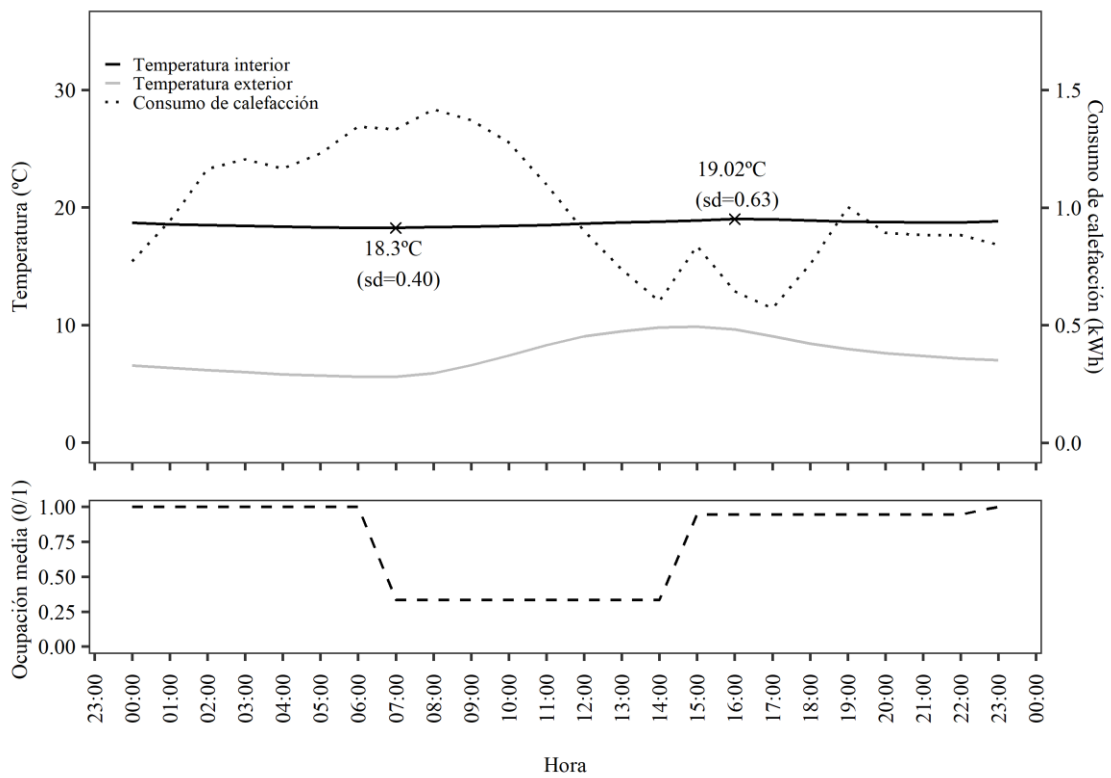


Figura 41. *All-day consumers* (Clúster 1) datos medios diarios de calefacción, temperatura interior, temperatura exterior y ocupación

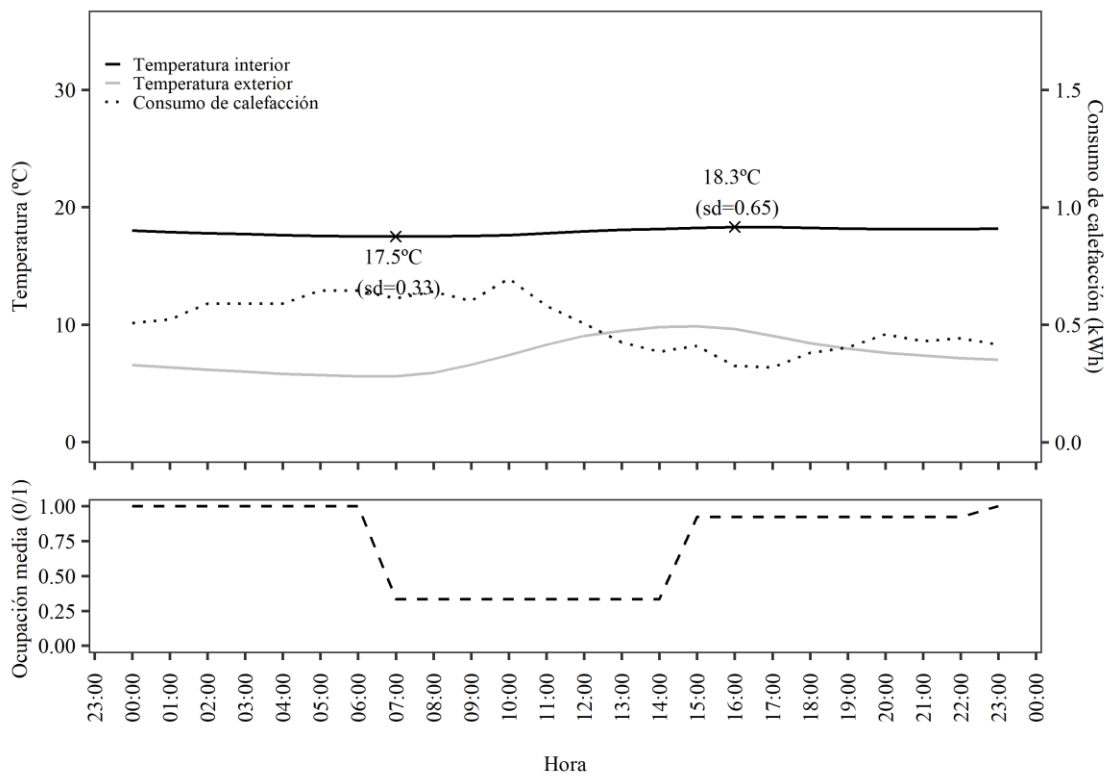


Figura 42. *Steady energy consumers* (Clúster 2) datos medios diarios de calefacción, temperatura interior, temperatura exterior y ocupación

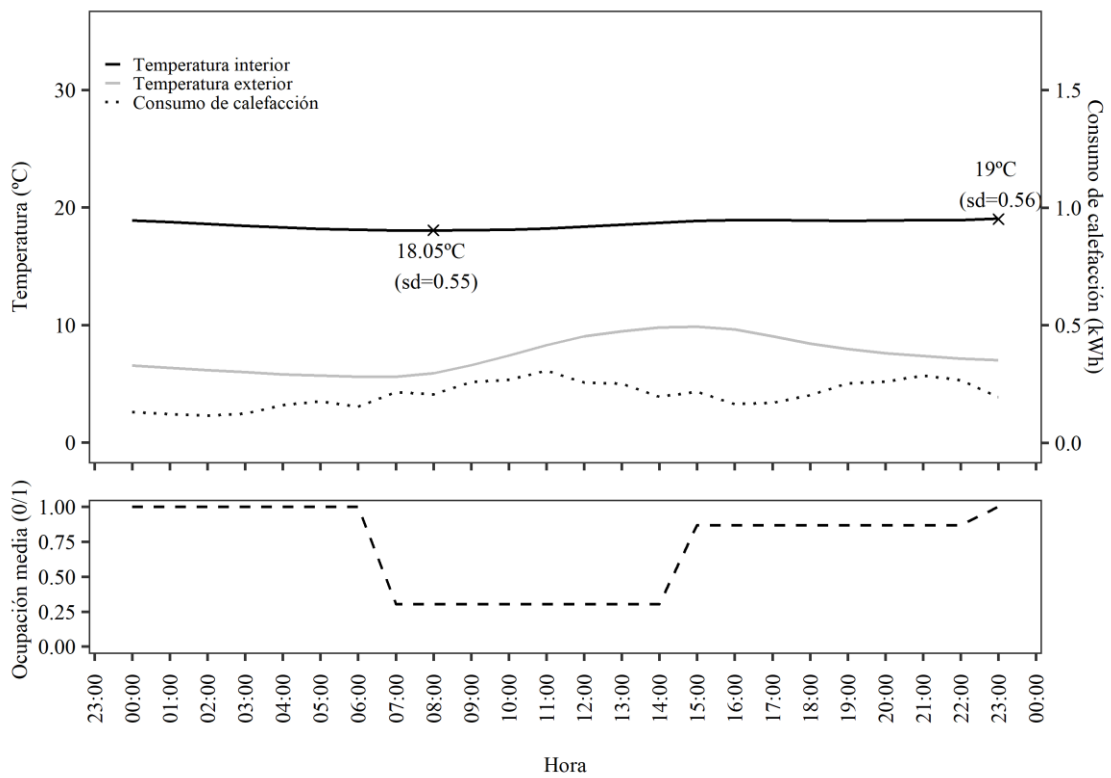


Figura 43. *Low-energy consumers* (Clúster 3) datos medios diarios de calefacción, temperatura interior, temperatura exterior y ocupación

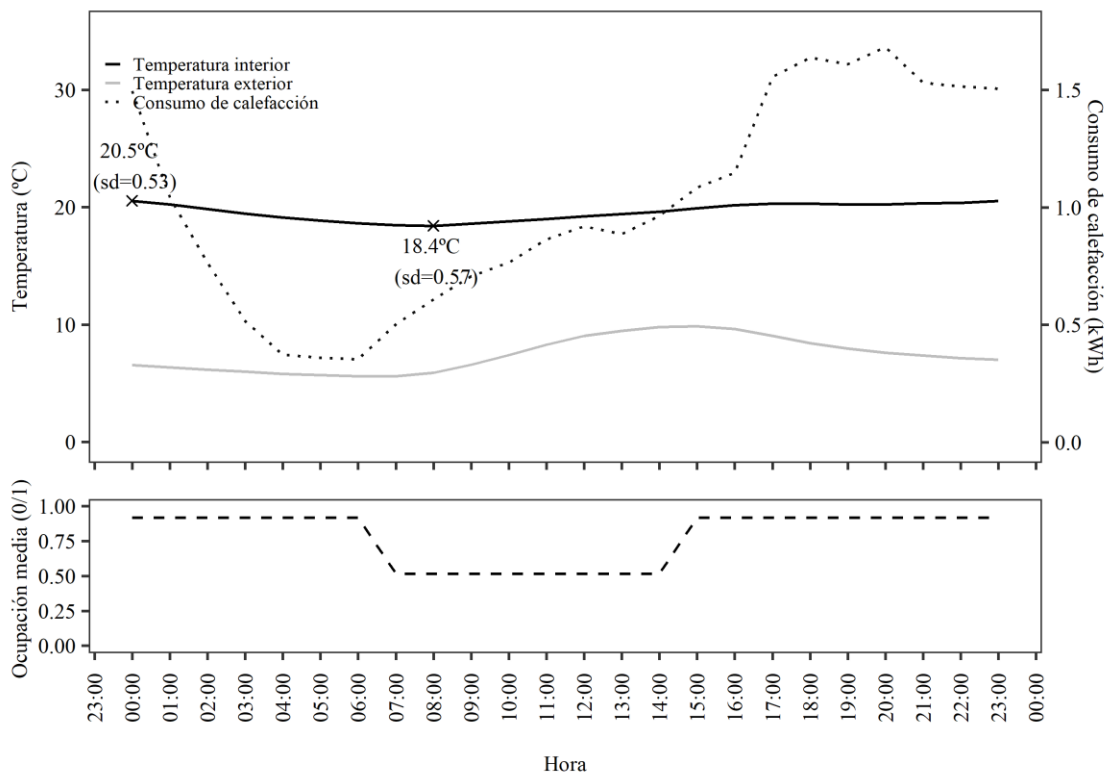


Figura 44. *Warm nights* (Clúster 4) datos medios diarios de calefacción, temperatura interior, temperatura exterior y ocupación

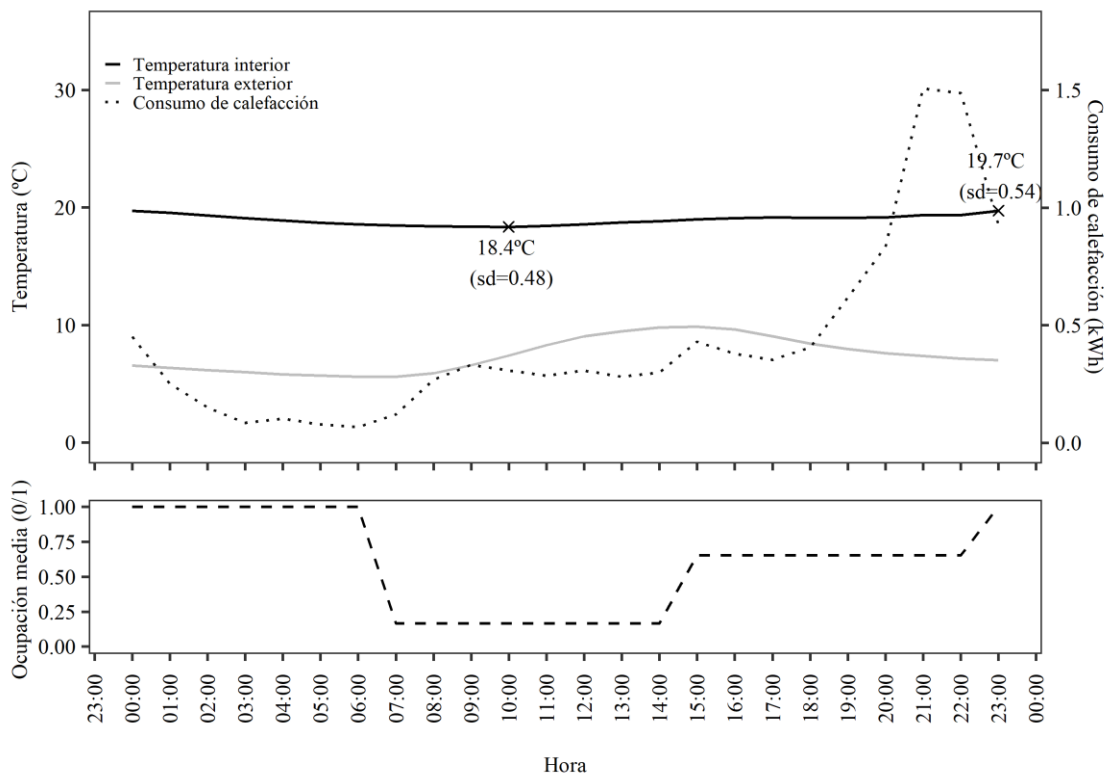


Figura 45. *End-of-day consumers* (Clúster 5) datos medios diarios de calefacción, temperatura interior, temperatura exterior y ocupación

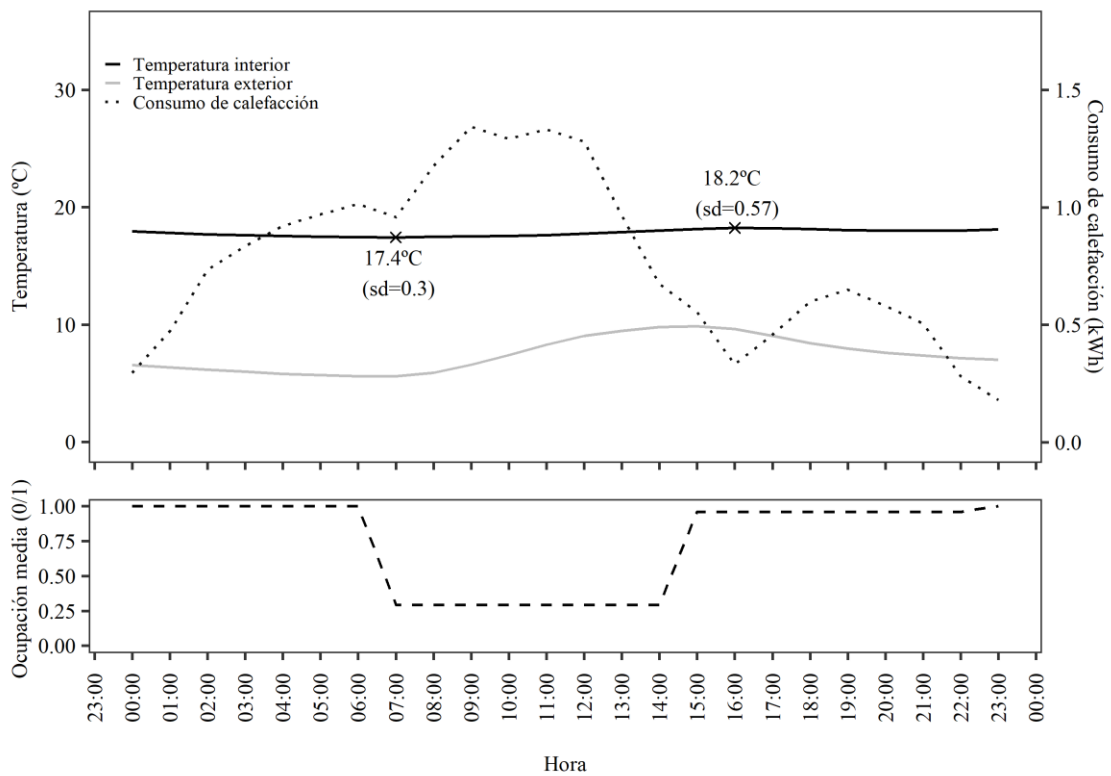


Figura 46. *Early risers* (Clúster 6) datos medios diarios de calefacción, temperatura interior, temperatura exterior y ocupación

6.3.2 Consumo de agua caliente sanitaria

El análisis del consumo de ACS se realizó estratificando el consumo total en invierno en tres grupos con igual número de viviendas: bajo (n=20), medio (n=19), alto (n=19). En este caso no se pretende detectar las variaciones de consumo a lo largo del día como en el caso del consumo de calefacción, sino la cantidad de ACS consumida y las horas clave de consumo, como se explica en el apartado 3.3.3 de la metodología. La Tabla 34 muestra el consumo diario y total en el periodo de invierno para cada grupo.

TABLA 34. MEDIA Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR DEL CONSUMO DE AGUA CALIENTE SANITARIA POR GRUPO

	Clúster 1	Clúster 2	Clúster 3
Consumo medio diario de ACS (m ³ /d)	0.05 (0.03)	0.11 (0.02)	0.2 (0.04)
Consumo total en invierno (m ³)	6.3 (3.35)	13.7 (1.72)	24.49 (5.31)

La Figura 47 muestra los resultados de consumo diario de ACS para los tres grupos definidos con consumo bajo, medio y alto. En la figura se puede ver dos o tres picos de consumo de ACS. Estos picos de consumo pueden coincidir con las horas de mayor ocupación en la vivienda y los hábitos de uso de las personas. En el primer grupo de menor consumo, se observa un pico a las 15:00 horas, con un ligero aumento a última hora de la tarde, entre las 21:00 y las 22:00 horas. En los grupos de consumo medio y alto, se observan tres picos de consumo: a las 9:00, que coincide con las horas previas al trabajo, a las 15:00 y a las 21:00, que coinciden con las horas de la comida y la cena.

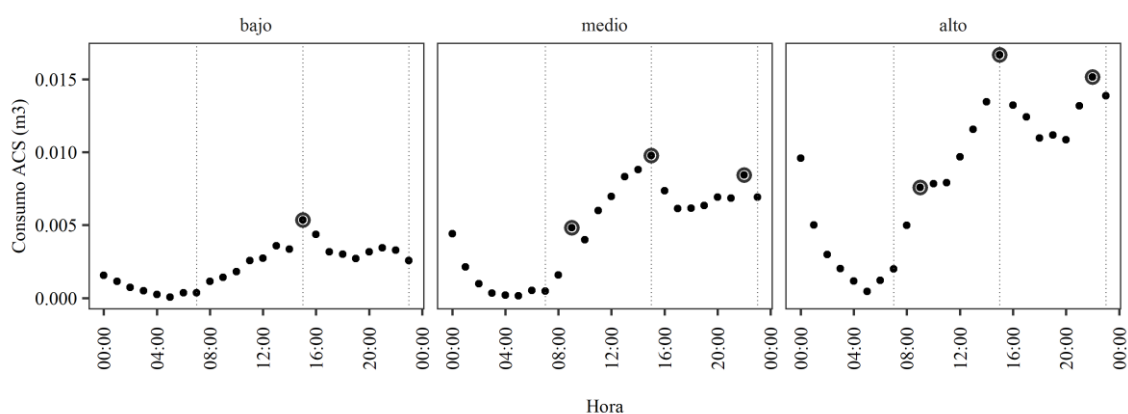


Figura 47. Consumo de agua caliente sanitaria por grupo

En conjunto, el tamaño de la muestra no es suficiente para extraer conclusiones precisas sobre la relación entre las características socioeconómicas y el consumo de agua caliente sanitaria. Las características socio-económicas no aportan una información relevante relativas

al consumo de ACS. Se observa un porcentaje ascendente del número de personas con el consumo de ACS, no obstante, no existe una asociación estadística. Asimismo, no se observa relación en cuanto a los ingresos por persona. En cuanto a las variables restantes, no existe un número significativo de observaciones como para poder sacar unas conclusiones precisas. No obstante, la estratificación del consumo permite obtener una información detallada del tipo de consumo realizado a lo largo del día.

Los resultados de este capítulo evidencian la divergencia de comportamientos y preferencias de los hogares de un mismo edificio. No se ha detectado relación del consumo con las características de las unidades familiares y por consiguiente se presenta como una opción más adecuada la agrupación basada en los datos reales de consumo.

6.4 Análisis y discusión de los resultados

Existe la percepción común de que el rendimiento de los edificios puede definirse como algo homogéneo, basado en normas y reglamentos que establecen perfiles de ocupación y rangos de confort genéricos adaptados tangencialmente a un clima o población concretos. Sin embargo, investigaciones previas han evidenciado la variedad de usos, hábitos y preferencias que pueden darse en edificios de características similares, lo que indica que la diversidad puede existir incluso dentro de un grupo de personas con características sociales equivalentes. Esta diversidad puede afectar significativamente al comportamiento energético de los edificios, a la eficiencia energética y al bienestar de sus ocupantes.

Esta segunda fase de la investigación proporciona evidencias de la diversidad de preferencias térmicas y comportamientos relacionados con la calefacción en viviendas sociales públicas de alquiler, abordando la brecha de resultados y definiendo una metodología para identificar posibles patrones de uso y ocupación de energía, aplicable en la gestión energética de viviendas sociales y en los programas de simulación energética de edificios. En este sentido, busca responder a las tres últimas preguntas de la investigación: ¿Existen diferencias entre los resultados del confort térmico percibido y el confort térmico monitorizado generando así una brecha de resultados? (PI.4); ¿De qué modo varían los hábitos de consumo energético y los comportamientos relacionados con el ambiente térmico interior? (PI.5); ¿Cómo se pueden obtener patrones de comportamiento en un conjunto de viviendas para su aplicación en procesos de simulación y gestión avanzada del parque de

vivienda público? (PI.6). El estudio se llevó a cabo en un edificio de Vitoria-Gasteiz representativo del parque público de viviendas de alquiler social de la CAE.

Los resultados revelan una brecha de resultados dentro de la muestra. La prueba de Kruskal-Wallis aplicada en la Tabla 27 mostró que no había diferencias de temperatura o humedad relativa en relación con las respuestas de la encuesta. Esto supone que una vivienda con temperatura y humedad relativa fuera de los rangos de confort establecidos en la normativa puede haber obtenido una respuesta de satisfacción por parte de las ocupantes. La falta de correlación entre el confort térmico percibido por las residentes y los niveles de confort térmico calculados puede deberse a la naturaleza subjetiva de la satisfacción personal. Estos resultados concuerdan con estudios anteriores que también han encontrado una correlación débil entre el confort térmico percibido y el calculado [113], [219]. Touchie et al. [113] realizaron una comparación entre datos monitorizados y entrevistas con residentes en condiciones de verano. La falta de correlación entre los datos subjetivos y objetivos, sugieren que la temperatura interior por sí sola puede no ser suficiente para determinar el confort térmico debido a la variabilidad de las respuestas de las encuestas. En el presente estudio, al igual que en la investigación anterior, se observó variabilidad entre las percepciones del ambiente térmico y el modelo de confort definido por la normativa. Esto pone de manifiesto la necesidad de incorporar ambos tipos de datos en el diseño de las propuestas de rehabilitación, así como en la evaluación del ambiente térmico de una vivienda.

Otro resultado ha evidenciado la variabilidad en el comportamiento de los hogares. Estas viviendas con características socioeconómicas similares mostraron una falta de asociación entre la temperatura interior, la humedad relativa, el comportamiento relativo al consumo de calefacción y las características socioeconómicas estudiadas, como se recoge en la Tabla 29. Por el contrario, se detectó la relación de los datos cuantitativos monitorizados y las características de la vivienda.

El análisis para detectar posibles asociaciones entre factores sociales y espaciales con el ambiente interior y el consumo energético de la Tabla 29, no reveló ninguna asociación con el perfil social o el número de personas en la vivienda y el consumo de calefacción. Estos resultados difieren de los presentados por Braulio-Gonzalo et al. [142], que sugieren que los perfiles de los hogares tienen un impacto significativo en el consumo de energía. En la investigación de Braulio-Gonzalo et al. [142] definen los perfiles de los hogares en función del número de personas que viven en la vivienda. Esta diferencia en los resultados puede deberse a diversas circunstancias, como el contexto geográfico y socioeconómico, el tamaño

de la muestra o los perfiles sociales utilizados. Una investigación anterior [220], que incluía otras variables socioeconómicas, reveló que la presencia de personas mayores en la vivienda era un factor determinante en el uso de la calefacción y la ventilación. Esto sugiere que puede ser necesario incluir otro tipo de variables sociales en el análisis para la presente área de estudio.

La combinación de respuestas cualitativas procedentes de encuestas con parámetros cuantitativos de monitorización, permite definir y detectar patrones de comportamiento y ocupación que pueden aplicarse en herramientas de simulación energética de edificios y en la gestión avanzada del parque de viviendas. Con este objetivo, tras validar la variabilidad del comportamiento de los hogares con características sociales similares, se propuso una metodología para definir perfiles de comportamiento y ocupación basados en datos reales. Como se muestra en la Figura 39, las tendencias de consumo de calefacción pueden variar significativamente, ya que algunos grupos muestran un consumo mucho mayor que otros. Esto sugiere que pueden haberse dado usos de sistemas secundarios de generación de calor distintos del sistema de calefacción del edificio o la aplicación de medidas adaptativas al entorno por parte de las personas.

Los resultados presentan visualmente los perfiles y permiten extraer los datos numéricos para su uso en herramientas de simulación, recogidos en el Anexo 6. Además, es posible extraer los datos necesarios para la mejora de la gestión del parque edificado basándose en el comportamiento y la ocupación reales de las viviendas. Los perfiles obtenidos se pueden comparar con perfiles definidos previamente a escala vivienda, como los de Guerra-Santin et al. [29] y Cuerda et al. [166].

Aunque los perfiles obtenidos son comparables a otros, es importante señalar que los resultados son específicos del contexto arquitectónico y social de la muestra. Por lo tanto, el uso de estos perfiles sería válido para edificios con características arquitectónico-constructivas similares y contextos sociales equivalentes.

Por otro lado, dado que estos perfiles se definen en función del consumo de calefacción, es posible que, si se realizaran actuaciones de rehabilitación energética del edificio o de determinadas viviendas o se realizan actuaciones específicas sobre los sistemas pasivos y activos de las instalaciones, los patrones obtenidos podrían verse afectados. En otras palabras, los comportamientos de las personas podrían variar.

Asimismo, los resultados de esta fase pueden estar condicionados por el proyecto de pobreza energética en el que participó la muestra en el periodo monitorizado. Es decir, la muestra puede diferir de otros patrones de edificios con características sociales y arquitectónicas similares, ya que, como se ha mencionado anteriormente, el edificio forma parte de una iniciativa contra la pobreza energética que facilita el acceso a la calefacción hasta los 18°C. El menor coste de la calefacción puede haber influido en los comportamientos y uso del sistema de calefacción, que podrían ser distintos en condiciones normales.

No obstante, la metodología aquí propuesta puede replicarse en otros ámbitos con climas, tipologías edificatorias y contextos sociales diversos. Además, los resultados de esta segunda fase permiten corroborar la hipótesis planteada al inicio de la investigación. Se ha evidenciado la diversidad existente en el comportamiento y uso de la vivienda para una muestra de un edificio en un contexto social específico. Estos resultados permiten establecer una comprensión preliminar de cómo influyen las personas en el comportamiento energético de los edificios y en su bienestar.

La metodología propuesta está planteada para su aplicación en edificios residenciales, donde pueden encontrarse distintos tipos de hogares y perfiles sociales, así como en la gestión del parque de viviendas sociales y en herramientas de simulación energética de edificios. Asimismo, estos resultados confirman las ventajas de utilizar un sistema de autogestión y la monitorización a largo plazo para garantizar el apoyo energético por parte de la administración pública y facilitar la detección de necesidades de los hogares garantizando su bienestar.

Parte 4

Conclusiones y difusión de los resultados

7 Conclusiones del estudio

En la presente investigación se ha profundizado en el estudio del confort y comportamientos asociados al ambiente interior de hogares de vivienda social. Se han empleado datos mixtos, cualitativos y cuantitativos, obtenidos mediante encuestas y monitorización que sitúan a las personas residentes en el foco de la cuestión. Se ha enfatizado y evidenciado el papel de las personas en la definición de su bienestar y satisfacción, así como en el rendimiento energético del edificio. En este capítulo se resumen las conclusiones principales de la investigación en tres apartados diferenciados. En primer lugar, se responde a las preguntas de investigación planteadas al inicio del documento, se expone el impacto científico del estudio y se reflexiona sobre las limitaciones encontradas en el proceso de investigación. Posteriormente, se plantean futuras líneas de investigación y, por último, se presentan los trabajos donde se ha realizado la difusión de los resultados del proyecto.

7.1 Conclusiones de la investigación

El proyecto ha confirmado la hipótesis planteada y ha cumplido con el objetivo principal de la investigación. Para ello, se han aportado evidencias y se ha caracterizado la diversidad de comportamientos y percepciones relativas al ambiente interior en el contexto de las viviendas públicas de alquiler social de la CAE. Se ha demostrado esta diversidad en dos contextos de acuerdo con las dos fases de la investigación: primeramente, se ha estudiado un ámbito más general con una muestra de 283 viviendas situadas en dos provincias vascas, Bizkaia y Araba. Posteriormente, se ha trabajado en un contexto reducido, con una muestra de 58 viviendas pertenecientes a un conjunto edificatorio situado en Vitoria-Gasteiz. En ambas fases la unidad de análisis ha sido la vivienda, donde se han atendido las particularidades de los hogares. La primera fase de la investigación se ha basado en datos de percepción subjetivos procedente de encuestas y relativos al ambiente interior (térmico, acústico, lumínico y calidad del aire). La segunda fase, en cambio, se ha centrado en el ambiente térmico y ha cruzado estos datos de percepción con datos objetivos procedentes de monitorización.

Las conclusiones principales del proyecto de tesis se resumen atendiendo a las dos fases de trabajo.

7.1.1 Percepción del confort y uso de la vivienda

En la fase 1 de la investigación se ha identificado la asociación entre las características de la vivienda y de los hogares con la percepción del ambiente interior. Asimismo, los resultados han aportado evidencias de la diversidad del confort percibido de acuerdo a la caracterización arquitectónica y constructiva de las viviendas y los perfiles sociales de los hogares. Los resultados de esta fase también han demostrado que existe una diversidad de ocupación, comportamientos y percepción del ambiente térmico de la vivienda.

El estudio ha validado la relación entre factores espaciales y sociales con el confort percibido y el uso de la vivienda. Se ha observado que determinados factores de la vivienda y del hogar están relacionados con algunos parámetros del confort percibido y con ciertos hábitos de comportamiento y ocupación de la vivienda, como el confort térmico y la orientación o el confort acústico y la posición relativa en el edificio. En otros casos, por el contrario, los resultados han sido contrarios a lo esperado, como el confort acústico y el ruido urbano o el confort lumínico y la orientación de la vivienda. Por tanto, estos resultados

evidencian que las particularidades y preferencias de los hogares respecto al ambiente interior puede influir en los resultados de los análisis de confort. Es decir, a pesar de que se ha observado que el confort y el uso puede estar relacionado con algunos de los factores espaciales y sociales, estos resultados están condicionados a este contexto arquitectónico y social concreto.

La investigación ha identificado que los parámetros con mayor porcentaje de viviendas en disconfort en la muestra son el confort acústico y el confort térmico. Asimismo, se ha detectado diversidad en la percepción del confort asociada a los perfiles sociales de la muestra y se han identificado aquellos que pueden requerir una atención especial. En general, se ha observado que los perfiles formados por una persona adulta con menores de 16 años (1a_c) y las familias con tres o más personas adultas en la misma vivienda (3a) son los que pueden presentar una mayor vulnerabilidad a una baja calidad ambiental interior de la vivienda. Si bien pueden observarse ciertas tendencias, los patrones no tienden a repetirse en todos los parámetros ambientales, lo que puede suponer que sea necesario atender de forma específica y particular cada parámetro de confort. En general, estos resultados confirman que en un contexto social y arquitectónico concreto el confort se percibe de forma diversa.

El estudio ha definido un indicador para determinar el nivel de satisfacción térmica de los hogares, que ha permitido profundizar en el estudio del ambiente térmico percibido. Los resultados mostraron un alto porcentaje de coincidencia de la temperatura percibida con la deseada. Las categorías definidas por el sistema de generación de calor y ACS y el uso del sistema de calefacción no mostraron diferencias significativas de confort en la muestra. No obstante, se detectó una correlación positiva entre el indicador propuesto y el confort térmico percibido, lo que sugiere que el indicador propuesto se puede emplear para determinar el nivel de satisfacción térmica en la muestra estudiada. Asimismo, los hábitos de ocupación y uso de la vivienda en la muestra están condicionados principalmente por el número de personas en la vivienda y las necesidades específicas de cada hogar.

En general, los resultados de la primera fase del estudio apoyan la hipótesis planteada al inicio de la investigación. En concreto, se evidencia que existen percepciones diversas del ambiente interior en los edificios analizados, a pesar de compartir características arquitectónicas y constructivas similares y un contexto social común. Asimismo, dado el alto porcentaje de viviendas que presentan disconfort térmico y al tratarse de un parámetro ambiental con una importante incidencia en la vulnerabilidad energética de los hogares, los resultados de la primera fase de la investigación justifican la necesidad de acotar el análisis

del ambiente interior a los parámetros relacionados con el confort higrotérmico. Si bien el confort acústico presentó un menor porcentaje de viviendas en situación de confort, el confort térmico puede tener una mayor repercusión en la eficiencia energética del edificio y en el bienestar y la salud de las personas residentes.

Estos resultados sugieren que las personas y su percepción pueden ser un elemento esencial a la hora de definir la situación de confort y la calidad del ambiente interior en un edificio. Por lo tanto, un análisis preciso del confort requeriría una combinación de datos percibidos y medidos (objetivos y subjetivos). Esto es especialmente importante cuando el objetivo no es sólo garantizar la adecuada habitabilidad de la vivienda, sino asegurar también el bienestar de las personas. En este sentido, incorporar la percepción de las personas en la gestión, el diseño y la puesta en marcha de las intervenciones en vivienda social puede contribuir a garantizar respuestas flexibles y adaptables a las necesidades reales de los hogares y al ámbito específico en el que se plantean.

7.1.2 Diversidad de comportamientos relativos al ambiente térmico interior

En la fase 2 del proyecto se han aportado evidencias significativas sobre la diversidad del confort higrotérmico. El estudio también ha constatado que, en general, existe una diversidad de comportamientos relacionados con las variables de temperatura y consumo energético y su relación con las características de la vivienda y los hogares. Por último, se ha diseñado una metodología para la detección y definición de perfiles de ocupación y consumo de calefacción y ACS. Los datos sobre la ocupación de la vivienda, la temperatura interior y el consumo de calefacción y ACS proporcionan información sobre cómo se comportan realmente los hogares. Si bien el consumo de ACS no está directamente relacionado con el ambiente térmico de la vivienda, es una variable que influye en el confort térmico de las personas y aporta información sobre su interacción con la vivienda y las instalaciones. Dado que este dato influye en el consumo de energía, resulta necesario considerarlo como una variable importante junto con otros datos como la temperatura, el consumo de calefacción y la ocupación de la vivienda. Estos datos son aplicables en la gestión energética personalizada y en la calibración de los modelos utilizados en la simulación energética de edificios.

Los resultados de la fase 2 han mostrado una falta de asociación entre los datos monitorizados y los percibidos, revelando una brecha en los resultados de la muestra monitorizada. Esta falta de correlación entre los datos objetivos y los subjetivos evidencian una significativa variabilidad de las respuestas de percepción. Esto confirma la hipótesis

planteada al principio del estudio, que destaca la necesidad de explorar la diversidad de preferencias térmicas e incorporar análisis cuantitativos y cualitativos en el estudio del confort térmico en edificios residenciales. El objetivo de estos análisis no es sólo reducir el impacto ambiental del edificio, sino también mejorar la calidad de vida de las personas. En la Figura 48 del Anexo 5 se presentan las asociaciones detectadas entre las distintas variables analizadas en las dos fases de la investigación.

Por otro lado, el análisis del comportamiento ambiental y energético relacionado con el consumo de calefacción y ACS ha identificado una variabilidad en los comportamientos de los hogares de la muestra. Los resultados obtenidos confirman que el uso de modelos uniformes de simulación y gestión puede dar lugar a diferencias significativas entre el comportamiento real y estimado de los edificios. Estas diferencias podrían tener un impacto negativo en el logro de los objetivos de sostenibilidad y eficiencia energética de los edificios.

Asimismo, uno de los resultados más significativos es la falta de asociación detectada entre los factores sociales y el comportamiento energético y ambiental. Esta falta de asociación llevó a proponer una metodología para definir la ocupación y los perfiles de consumo de calefacción y ACS a partir de datos reales. Como se mencionaba al principio de la investigación, cada individuo presenta comportamientos, preferencias y necesidades diferentes, aunque presente características sociales similares. Esto ha sido validado en el estudio, por lo que, para identificar patrones, se propuso una estrategia basada en el análisis de datos reales de consumo y ocupación, que luego pueden ser utilizados para definir sus principales características sociales y arquitectónicas.

En definitiva, de la fase 2 de la investigación se concluye que la definición de los perfiles de comportamiento debería basarse en los propios datos monitorizados dada la diversidad de comportamientos que se observa en grupos con características sociales similares. Asimismo, la variabilidad de las respuestas de confort térmico y la brecha de resultados detectada con la comparación de los datos objetivos y subjetivos sugieren la necesidad de aplicar métodos mixtos en el estudio del confort térmico de las viviendas, tal y como se concluía en la fase 1 de la investigación.

7.1.3 Impacto de la investigación y límites del estudio

La investigación ha evidenciado la complejidad del análisis del confort y el comportamiento de las personas. En este sentido, los resultados de la investigación complementan los de estudios anteriores proporcionando mayor información sobre las características de la vivienda

y de los hogares asociadas con el confort y el comportamiento de las personas en entornos vulnerables. Asimismo, esta tesis ha profundizado en el estudio e identificación de las necesidades, preferencias y comportamientos de hogares residentes en vivienda social. Esto es especialmente importante en la vivienda pública de alquiler social, donde el alto nivel de rotación del parque influye en el modo de vida de las personas y la percepción que tienen de su vivienda y su comunidad.

Por otro lado, los resultados obtenidos se plantean como un primer paso para profundizar en el análisis de la diversidad de usos y comportamientos asociados a la vivienda social, relativos a la ocupación, hábitos e interacción con los elementos e instalaciones del edificio. En este sentido, el estudio ha planteado importantes cuestiones para comprender las dinámicas complejas entre las personas y su vivienda. En conjunto, los resultados permiten establecer una comprensión preliminar de cómo influyen las personas residentes en el comportamiento de los edificios y en el bienestar de los hogares en contextos residenciales vulnerables. Además, los resultados que aquí se presentan arrojan nueva luz sobre la diversidad de comportamientos asociados al ambiente térmico y al consumo de energía.

Los resultados del estudio y las metodologías propuestas se plantean como complementarias, simplificadas y replicables. Por un lado, las estrategias e indicadores planteadas no pretenden modificar o contradecir otros modelos existentes, sino complementarlos. Además, los métodos propuestos permiten simplificar el estudio del confort y el comportamiento en situaciones en las que el acceso a los datos es más restringido. Asimismo, el enfoque propuesto para el estudio del confort percibido y la diversidad de comportamientos puede ser replicable en otros contextos climáticos, arquitectónicos y sociales.

La información obtenida de los métodos empleados en el proyecto puede utilizarse para desarrollar prácticas y políticas públicas alineadas con las necesidades reales, lo que puede ayudar a mejorar la calidad de vida y el bienestar de las familias. Mediante la incorporación de la diversidad a través de patrones de comportamiento específicos o el establecimiento de rangos con valores máximos y mínimos, es posible definir soluciones individualizadas que se adapten a las distintas tendencias de uso o soluciones generales para el edificio que abarquen las diferentes necesidades detectadas. Del mismo modo, la metodología propuesta para la obtención de patrones de comportamiento puede aplicarse en programas de simulación energética de edificios para la calibración de los modelos e incorporarla en la gestión del parque de vivienda pública. Esto puede permitir una representación más matizada y precisa

del uso real de la vivienda, y, como consecuencia, favorecer una gestión eficaz del parque de vivienda social y proporcionar mejores resultados en el diseño de estrategias de intervención o mejora de los edificios. Además, estos patrones pueden proporcionar información valiosa sobre la diversidad de los comportamientos de consumo de energía, que podría aprovecharse para optimizar los sistemas de control. Adoptando un enfoque más integral del análisis del confort y comportamientos, es posible desbloquear nuevas oportunidades de ahorro energético, aumentando la eficiencia energética y mejorando el bienestar de las ocupantes en diversos contextos.

El estudio ha presentado ciertas limitaciones que pueden haber influido en sus resultados. En primer lugar, parte del análisis se basa en respuestas subjetivas, asociadas a cada individuo encuestado como representación de la unidad familiar. Por esta razón, si bien se ha tomado esa respuesta individual para los análisis, esta percepción del ambiente interior puede diferir entre los distintos miembros del hogar. Para análisis detallados del confort percibido serían necesarios estudios más precisos de la percepción de los distintos miembros de la unidad familiar o la obtención de un rango por hogar que fuera representativo de las distintas personas. Asimismo, los resultados relativos al confort percibido se basan en respuestas subjetivas de los hogares y pueden no corresponder con los modelos de confort o con datos objetivos procedentes de monitorización.

En segundo lugar, cabe destacar que se trata de una muestra de edificios previamente seleccionados para su participación en el proyecto E-lagun. Por esta razón, no se trata de una muestra aleatoria cuyos resultados puedan extrapolarse a la población. Por otro lado, los resultados y los patrones de comportamiento definidos son específicos del edificio, la ubicación, el contexto social y cultural de los hogares y el periodo analizado. Por lo tanto, la extrapolación de estos resultados solo sería válida para edificios con características similares y contextos socioeconómicos equivalentes. A pesar de esta limitación de la muestra, los resultados contribuyen a la comprensión de las dinámicas de percepción y comportamiento en vivienda social.

En tercer lugar, el estudio se vio limitado por el contexto sociocultural y la disponibilidad de acceso a los datos. Esto supuso una limitación de las variables analizadas, tanto las relativas al ambiente interior y exterior, como a las particularidades socio-económicas y de estilo de vida de los hogares. Para un análisis más detallado sería necesario conocer con precisión variables ambientales interiores y exteriores como las ganancias de calor internas, las tasas de ventilación, la concentración de CO₂, la posición del sol, la exposición al ruido o

la dirección y fuerza del viento, ya que son parámetros que varían a lo largo del día y del año condicionando la calidad del ambiente interior de la vivienda. También sería interesante incluir variables asociadas al hogar como pueden ser los periodos de ocupación de la vivienda, el género de las personas residentes, la situación de empleo, entre otras. Asimismo, los datos de percepción y las mediciones se recogieron en frecuencias distintas, es decir, una respuesta única para el periodo de invierno, frente a una medición horaria. Esto pudo haber influido en el estudio de la brecha de resultados y generar dificultades a la hora de comparar los dos tipos de datos. No obstante, los datos empleados en la investigación son parte de un proyecto de gran envergadura, lo cual permite analizar un número significativo de viviendas en edificios residenciales colectivos que de otro modo no hubiera sido posible obtener. Estos datos enriquecen el análisis al proporcionar información subjetiva y objetiva de diversas viviendas, lo que permite obtener patrones y analizar su diversidad, más allá de análisis de viviendas aisladas.

Por último, cabe señalar que el proyecto de pobreza energética en el que participó la muestra de la fase 2 podría haber influido en los comportamientos y el uso del sistema de calefacción, lo que podría haber afectado a los resultados en comparación con un periodo fuera de la ayuda a la calefacción. No obstante, a pesar de sus limitaciones la investigación propuesta y sus resultados proporciona información significativa para demostrar la diversidad de percepciones y comportamientos en vivienda social. Aporta así una primera aproximación para definir pautas para la mejora de la salud atendiendo a la percepción y necesidades reales y mejorar la eficiencia energética de los edificios en base a comportamientos reales. Todo ello mediante metodologías automatizables para la gestión avanzada del parque de vivienda público.

7.2 Futuras líneas de investigación

A lo largo del proceso de la tesis han surgido diversas cuestiones que podrían requerir un estudio más detallado y podrían ser objeto de futuras investigaciones:

- Estudio detallado del confort y su relación con otros factores espaciales y sociales donde se incluyan variables que han quedado fuera del alcance del estudio, como el género, tipo de ocupación, hábitos de ventilación o patologías previas de salud. Así como la incorporación y comparación con parámetros ambientales interiores y exteriores específicos que influyen en el confort: dirección y velocidad del viento,

radiación solar, posición del sol, exposición al ruido, ganancias de calor internas, tasa de ventilación, concentración de CO₂, entre otras.

- Estudio de la diversidad del confort percibido y los comportamientos de las personas en verano. En los meses de verano se pueden dar otras circunstancias, tanto en el confort de las personas, como en el consumo de energía de la vivienda. Un estudio detallado que incluya variables asociadas a esta estación permitirían afrontar las situaciones de vulnerabilidad asociadas al cambio climático.
- Estudio de la incorporación del confort y las necesidades reales en el diseño y la toma de decisiones de estrategias de rehabilitación y actuación en el parque público de viviendas. Sería necesario trabajar en la búsqueda de métodos para la toma de datos que aporten la opinión de los hogares de forma anónima, accesible e intuitiva. Este tipo de herramientas permitiría el diseño de soluciones adaptadas a las necesidades reales (*occupant-centric building*). Este tipo de investigación es especialmente importante cuando el objetivo no sólo es garantizar una habitabilidad adecuada de la vivienda, sino también promover el bienestar de las personas residentes.
- Como consecuencia del cambio de paradigma en el uso de la vivienda tras la Covid-19, sería necesario profundizar en el estudio para la incorporación de otros factores de uso en la definición de los perfiles de comportamiento de un edificio basado en datos reales, como por ejemplo los hábitos de ventilación, número de horas en la vivienda, actividades realizadas en la vivienda (teletrabajo, actividad física, etc.).
- Estudio para la extrapolación de la metodología definida para la obtención de patrones de uso y ocupación representativos de la población residente en el parque público de vivienda a través de modelos de ocupación probabilísticos. Esta información podría emplearse para desarrollar intervenciones adaptadas a la realidad social y definir políticas públicas acorde a los usos reales de las viviendas y sus instalaciones.
- Profundizar en la aplicabilidad de los modelos de comportamiento en programas de simulación energética de edificios a través de modelos calibrados basados en datos reales de edificios residenciales.

7.3 Difusión de los resultados

A continuación, se presentan los trabajos publicados para la difusión de los resultados de la tesis doctoral:

Publicaciones en revistas científicas

S. **Perez-Bezós**, O. Guerra-Santin, O. Grijalba, and R. J. Hernandez-Minguillon, “Occupants’ behavioural diversity regarding the indoor environment in social housing. Case study in northern Spain,” *Journal of Building Engineering*, p. 107290, Jul. 2023, doi: 10.1016/j.jobee.2023.107290.

S. **Perez-Bezós**, O. Grijalba, and R. J. Hernandez-Minguillon, “Evaluation of thermal comfort perception in social housing context,” *Environmental and Climate Technologies*, vol. 27, no. 1, pp. 289–298, Jan. 2023, doi: 10.2478/rtuct-2023-0022.

S. **Perez-Bezós**, O. Grijalba, and R. Hernández, “Multifactorial approach to indoor environmental quality perception of social housing residents in Northern Spain,” *Building Research and Information*, vol. 51, no. 4, pp. 392–410, Oct. 2022, doi: 10.1080/09613218.2022.2130739.

S. **Perez-Bezós**, A. Figueroa-Lopez, M. Etxebarria-Mallea, X. Oregi, and R. Hernández, “Assessment of social housing energy and thermal performance in relation to occupants’ behaviour and COVID-19 influence—A case study in the Basque Country, Spain,” *Sustainability*, vol. 14, no. 9, p. 5594, May 2022, doi: 10.3390/su14095594.

Comunicaciones en congresos internacionales

S. **Perez-Bezós**, O. Grijalba, and R. J. H. Minguillón, “Assessing Thermal Comfort Perception in the Context of Social Housing. Case Study in Northern Spain,” *CONNECT 2023 - International Scientific Conference of Environmental and Climate Technologies*, p. 17, May 2023, doi: 10.7250/conect.2023.001.

A. Martin-Garin, S. **Perez-Bezós**, A. Figueroa-Lopez, M. Arbulu, M. Rueda Esteban, X. Oregi, “Monitoring and energy management strategy during the energy refurbishment plan of the social rental housing stock of the Basque Country,” *EESAP13 - International Conference*

on Energy Efficiency and Sustainability in Architecture and Urban Planning, Donostia, Spain.

M. Arbulu, M.Rueda-Esteban, A. Figueroa-Lopez, **S. Perez-Bezoz**, X. Oregi, R. Hernandez-Minguillon, “Environmental and economic life cycle evaluation of residential buildings refurbishment by the calibration with monitored data,” *EESAPI3 - International Conference on Energy Efficiency and Sustainability in Architecture and Urban Planning*, Donostia, Spain.

M. Arbulu, M.Rueda-Esteban, A. Figueroa-Lopez, **S. Perez-Bezoz**, X. Oregi, “Methodology for sustainability of energetic refurbishment of residential buildings based on life cycle assessment and calibration by real data,” *The EPS Forum*, Paris, France.

English summary

Indoor environment in social housing: comfort perception and behavioural diversity

8 Introduction

This chapter discusses the interest and motivation behind conducting this research. Firstly, it presents the topic and contextualization of the identified problems. Next, it describes the hypothesis and objectives of the project. Finally, it outlines the general structure of the document.

8.1 Contextualization and justification of the research

The beginning of the 2020s has seen multiple critical situations that have had an impact on the economy, society, health, and the environment. These include the Covid-19 pandemic, extreme weather events caused by climate change, and increasing energy prices. The combination of these crises has created a complex global scenario that requires us to reconsider our lifestyles and seek innovative solutions to the problems we face.

Cities, which are becoming larger and denser, are endangering the resilience of societies and the environment, in addition to the new and existing challenges they must confront. According to the European Commission, the building sector is responsible for 40% of final energy consumption and 36% of CO₂ emissions in the European Union [1]. Projections indicate that the world's urban population will double by 2050, and the global population over 60 years old, who tend to spend more time at home, will also double by that year [2].

People spend a significant amount of time indoors, with more than 50% of that time typically being in their own homes [3], [4]. Certain populations, such as children and older people, may spend over 90% of their time indoors [5]. The Covid-19 pandemic further increased the amount of time people spent at home due to confinement and remote work [6].

As a result, citizens' habits and the way dwellings are used have changed [7], [8], affecting the energy and environmental performance of buildings. However, the existing housing stock is not designed for such extensive use. The confinement situation highlighted the need to reconsider the housing model [9], including factors such as the tenure model (ownership or rental), housing prices, renovation challenges, and social isolation.

The Covid-19 pandemic highlighted an urban crisis that raises questions about the habitability of dwellings and cities, considering both environmental and social factors [10]. Various initiatives have allowed us to identify the key challenges regarding housing from the

perspective of its inhabitants. These include a lack of natural light, poor ventilation, limited outdoor spaces, low acoustic quality, lack of flexibility and versatility, and inadequate environmental quality [11]–[13]. These findings emphasize the need to rethink the housing model for both existing and new constructions. Specifically, they suggest that refurbishment interventions and housing management for vulnerable groups should be reconsidered to ensure that responses meet the diverse needs of families in the new post-pandemic situation.

Even before the Covid-19 pandemic, housing had already become a key topic in European policies and academic debates due to its crucial role in improving people's quality of life. While previous discussions primarily focused on the energy efficiency of buildings, there is now a growing emphasis on the subjective experiences of households in terms of comfort and well-being [14].

Adequate housing is influenced by various factors that can directly or indirectly impact the physical, mental, and social well-being of occupants. These factors include the construction characteristics of the building, the immediate environment, and the outdoor environmental conditions [15]. The indoor environmental quality (IEQ) of a dwelling is therefore influenced by factors such as temperature, humidity, noise, air velocity, lighting, or exposure to pollutants. Among the comfort parameters that define IEQ, thermal comfort is closely linked to energy consumption and building performance. It also affects the building's energy efficiency and the occupants' well-being [16]. Building designs and refurbishments that do not consider occupants' needs and lifestyles deviate from the objectives of improving residents' well-being and health. Energy efficiency in buildings and the environmental and economic benefits of such actions should not overshadow these goals.

Although there have been efforts in recent years to improve the energy efficiency and reduce the environmental impact of residential buildings throughout their life cycle [17]–[19], these efforts also aim to enhance occupants' quality of life. However, building performance is often perceived as uniformly homogeneous, based on regulations, and comfort models that define generic behavioural profiles and comfort ranges for specific climates or populations. Previous research have shown that buildings with similar characteristics can have diverse uses, habits, and preferences among their occupants [20]. This suggests that diversity within a group of people with specific social characteristics can influence the performance and energy efficiency of buildings, ultimately affecting the well-being of the residents.

Occupant behaviour (OB) play a crucial role in building performance [21]. This role becomes even more significant as stricter regulations and increased hours spent at home create new scenarios. Therefore, using homogeneous models without considering the possibility of variability in preferences and behaviours can lead to a gap between predicted and actual building performance [22]. When estimating the energy consumption of a building, making assumptions about its operation, occupancy, and OB can result in significant discrepancies between actual and calculated energy consumption. This is because, in many cases, these assumptions are based on generalizations or homogeneous standards for different types of occupants. Furthermore, this variability in behaviour can exist within the same building.

A previous study [23] identified three performance gaps: prediction (the difference between simulated and measured data), expectation (the difference between occupants' expectations before and after living in the building), and outcome gap (the difference between survey results related to comfort and monitored data). Traditionally, thermal comfort has been measured using steady-state methods based on environmental and physiological variables. Recent studies have introduced new variables such as gender, age, and culture characteristics to establish more specific comfort standards [24]. However, there is often a gap between these standards and user perception due to a lack of consideration for individuality [25], [26]. While recent research has explored new variables linked to individual characteristics, there are currently no consolidated methods in this regard [27].

Guerra-Santin and Tweed [28] identified four ways in which people influence building performance: user-building interaction, rebound effect, household behaviour differences, and pre-bound effect. The rebound effect refers to an increase of energy consumption compared to before the implementation of energy-saving measures. On the other hand, the pre-bound effect refers to lower energy savings resulting from an overestimation of energy consumption before refurbishment, partly caused by the use of standard occupancy profiles. In this case, the factors that influence are household diversity, preferences, and needs [29].

Although the pre-bound effect can be observed in any group of households, it can particularly affect vulnerable groups. These groups may face economic difficulties in dealing with the costs associated with building refurbishment or maintenance of new building facilities. Furthermore, the lower energy consumption, when compared to the calculated standards, may be due to the economic vulnerability of households and their preference for lower energy costs over comfort [30], [31]. The IEQ and energy consumption can be

significantly influenced by occupants' behaviour, regardless of the characteristics of a building. There are various factors that can influence this behaviour, such as the current economic situation and the availability of alternative resources to regulate the indoor environment [32].

These effects and gaps in building performance have a significant impact on the environmental footprint of the building, its energy efficiency, and the overall feasibility of renovation interventions [33]. These performance gaps can also affect IEQ, which in turn affects comfort and occupants' well-being. Previous research extensively examines the impact of housing on health. Multiple studies have demonstrated the correlation between housing conditions and residents' physical and mental health [34]–[36]. These health issues arise from building issues, challenges in regulating indoor environment, air quality, and other aspects of the immediate environment [2], [37], [38], among others. Previous research has determined that poor hygrothermal conditions can expose occupants to various health risks [38]. Furthermore, previous studies examine variables such as noise pollution and their link to health and housing [39]. Prolonged exposure to low IEQ can lead to health problems, including respiratory conditions, elevated blood pressure, and arthritis. It can also have negative psychosocial impacts, such as depression, stress, social isolation, and mobility limitations [40]. In conclusion, unsatisfactory indoor conditions and prolonged exposure to them can result in significant health problems and increased mortality among residents [41],[42].

On the other hand, although the winter weather conditions in Spain are less severe compared to northern Europe, the country experiences one of the highest rates of excess winter death in Europe, reaching 20.6% [43]. This significant increase is mainly influenced by poverty rates, as well as an inefficient building stock and high-energy costs [44], [45]. Several studies indicate that specific population groups may be particularly susceptible [38], [46].

Several studies examining the link between energy poverty and monetary poverty indicate that low-income households are more likely to be in a state of heightened vulnerability and face increased risks during extreme weather conditions [47]–[49]. This highlights a significant socio-economic disparity that significantly affects households with limited financial resources in terms of energy consumption, energy access, and the capacity to maintain comfortable thermal conditions in their dwellings during both winter and summer.

These aspects demonstrate that exposure to certain environmental conditions leads to health inequalities. These inequalities are related to energy poverty, thermal comfort, indoor air

quality, or noise [50]. In the context of social housing, it is crucial to address specific issues, including limited resources and vulnerability to low-quality indoor environments [51]–[53]. Furthermore, social housing users may be more vulnerable due to factors such as age or socioeconomic situation. Therefore, studying IEQ is particularly important in this context.

A user-centred approach to management and building design, which takes into account social reality and aims to improve energy efficiency, has the potential to enhance the well-being and health conditions of residents [37], [54]. However, while these actions may appear similar from an architectural standpoint, it is important to consider other factors when it comes to interventions and management in social housing:

- The investment in the project would be limited to the public funds allocated to the organization responsible for managing these buildings.
- Given the unique circumstances of each resident, it may not always be feasible to implement a standardized approach in every case.
- The effectiveness of improving energy efficiency will depend on the behaviour of each household, in addition to the energy and thermal characteristics of the solution.
- It is important to provide training to households, particularly those with a high level of energy vulnerability, to ensure that the overall management and building performance are as efficient as possible.

Furthermore, it is important to note that in many social housing buildings [55], the low energy consumption does not lead to a return on investment through energy savings. According to Santangelo et al. [56], the energy savings resulting from the renovation of privately owned buildings can encourage the implementation of energy efficiency measures. However, when it comes to social housing, achieving significant energy savings for a vulnerable group of users is challenging. The authors argue that the residents play a central role in achieving energy savings, particularly in the context of social housing. This is because social housing combines environmental value with the social objective of reducing inequalities and energy poverty.

Moreover, each resident exhibit unique behaviours, preferences, and needs. This diversity can arise from economic, cultural, emotional, or behavioural factors. Within this diversity, households living in social housing possess specific socio-economic and cultural characteristics that can result in situations of economic, energy, or sociocultural vulnerability. While the current housing model fails to cater to the diverse range of family structures and their needs, it is imperative to strive for varied responses, encompassing both tools and

solutions. By doing so, it is possible to achieve healthy, comfortable, and resilient dwellings, particularly for vulnerable groups, ensuring that the characteristics of the dwellings align with the specificities of the occupants.

In order to analyse the behaviour, perception, and needs of residents, it is crucial to have a multidisciplinary approach that involves various professionals. By incorporating the perspective, behaviours, and actual needs of residents into the process of enhancing their quality of life, safety, health, and comfort, it is possible to improve the performance of buildings and enhance the well-being of households.

Based on this context, this doctoral thesis focuses on social housing dwellings. In particular, special attention is given to indoor environmental comfort and occupants' behaviour in order to promote the design and management of building stock that meets actual needs and enhances the quality of life for households. Moreover, the project aims to establish replicable methodologies applicable to different climatic, social, and architectural contexts.

Incorporating an occupant-centred approach when analysing comfort and energy consumption can reveal new opportunities for energy savings, improve building energy efficiency, and enhance the occupants' well-being. The study explores new perspectives that can enhance the quality of life for people living in social housing and, ultimately, create more sustainable and livable communities. This approach can contribute to more effective management of social housing resources and improved outcomes for vulnerable households. Furthermore, including this diversity in building simulation processes and residential building stock management can lead to more inclusive and sustainable housing choices for everyone.

This approach aims to address the Sustainable Development Goals (SDGs) defined in 2015. Specifically, the research seeks to approach the goals of (3) good health and well-being, (7) affordable and clean energy, (10) reduced inequalities, (11) sustainable cities and communities and (13) climate action

8.2 Hypothesis, research questions and thesis proposal

8.2.1 Hypothesis

The previous section discussed how the energy and environmental performance of buildings is often perceived to be similar. This perception is defined by guidelines and regulations that

establish general comfort levels and behavioural patterns for specific climates or populations. The recommended measures and strategies for buildings management and design are quite similar, regardless of the specific geographical and socio-cultural circumstances.

While social housing buildings have specific architectural characteristics and social context, there is diversity within this context. Each dwelling within the same building may vary in terms of architectural and construction features, resulting in specific conditions like orientation or relative position in the building. These unique characteristics are also observed in households within the same socio-cultural context, as each family and individual have their own distinct needs, preferences, and habits. Consequently, the energy and environmental response, particularly regarding IEQ, will also vary.

Current regulations and recommendations do not sufficiently address these variations. As a result, the projected or simulated energy and environmental performance of buildings and dwellings may deviate from reality, resulting in discrepancies in building efficiency and occupant comfort. However, technological advancements now enable the collection and analysis of up-to-date data on energy systems and HVAC usage. Unlike standardized approaches that assume uniform conditions, leveraging real-world data allows for personalized and adaptable interventions and management systems within the residential sector.

Previous studies have demonstrated the importance of considering the specific behaviours and attributes of households and dwellings when planning and managing the built environment. These factors can vary significantly among different dwellings within the same building or social setting. Recognizing and accommodating these diversities during the design phase of refurbishment processes and social housing stock management can provide valuable insights to stakeholders in the fields of energy policy and building energy efficiency. Based on this understanding, the current research is based on the following **hypothesis**:

Even in buildings with similar architectural and construction characteristics, as well as specific socio-economic and cultural contexts, there can be diverse behaviours and perceptions of the indoor environment. This diversity contradicts the uniformity required by current energy and indoor environment regulations.

8.2.2 Research questions

Based on the hypothesis, the following research questions were formulated:

1. Are housing and household characteristics related to the perception of comfort and use of housing? If so, which characteristics are related? (RQ.1)
2. What is the level of comfort experienced by households living in social housing? (RQ.2)
3. Is the perception of the thermal environment subjective, and to what extent do social characteristics influence occupancy habits and behaviours associated with the thermal comfort? (RQ.3)
4. Are there any differences between the perceived thermal comfort and the monitored thermal comfort, leading to a performance gap? (RQ.4)
5. How do energy consumption habits and behaviours related to the indoor thermal environment vary? (RQ.5)
6. How can behavioural patterns be obtained for a set of dwellings to be used in simulation processes and advanced management of the public housing stock? (RQ.6)

8.2.3 Objectives

Based on the information provided, the **overall objective** of the research is as follows:

To demonstrate and characterize the diversity of behaviours and perceptions related to the indoor environment in social housing.

The public social rental housing context in the Basque Country has been selected for this purpose, as it represents a specific socioeconomic area where the public administration has the ability to implement dwelling and building stock management improvement actions. The research explores this diversity by first analysing the general dwelling context using qualitative data. It then narrows down to a specific context within the same building, using a combination of qualitative and quantitative data. Both cases focus on the winter period. The research is structured into **two phases and six partial objectives**, which aim to address the proposed hypothesis and research questions.

The **first phase** of the thesis focuses on studying and presenting the factors associated to the perceived comfort and behavioural and occupancy trends for both spatial and human

context. The study examines the quality of the indoor environment from the households' perspective and its relationship with spatial and human characteristics.

In order to understand the reasons behind this diversity, we analyse the factors that influence comfort perception and their behavioural and occupancy trends. To achieve this, we conduct research on a broad scale that provides insights into the context of public social rental housing. The analysis begins with an architectural and construction characterization of the dwellings and households, followed by an assessment of perceived comfort. This initial phase addresses the research questions 1, 2, and 3. The **specific objectives** of this first phase are as follows:

1. Explore the relationship between dwellings' and households' characteristics and comfort perception: thermal, acoustic, lighting, and indoor air quality (see section 5.1 for obtained results).
2. Provide evidence of the diverse range of perceived comfort among households (see section 5.2 for obtained results).
3. Provide evidence of the diversity of occupancy habits and thermal comfort related behaviours, and explore the perception of the indoor thermal environment (see section 5.3 for obtained results).

The first phase identifies key factors related to dwellings and households that influence the perception of the indoor environment and the use of the dwelling. After gaining an initial understanding of perceived comfort, the second phase focuses specifically on thermal comfort, which has a significant impact on people's health and well-being. This second phase examines perception and monitoring data at a more detailed level, with a focus on energy consumption and occupancy of the dwelling.

The **second phase** focuses on addressing the performance gap related to thermal comfort. It highlights the differences between perceived comfort and comfort models based on monitored data, illustrating the influence of perception and subjectivity on households' overall well-being. Additionally, it investigates the association between spatial and social factors with OB. Moreover, it identifies behavioural patterns and occupancy habits that can be incorporated into building simulation programs and personalized energy management. This provides a deeper understanding of the complex dynamics that impact energy efficiency and well-being in residential buildings. In line with the aforementioned, the second phase of the research addresses research questions 4, 5, and 6, with the subsequent **partial objectives**:

4. Provide evidence of the outcome gap between subjective hygrothermal comfort, based on household responses, and objective comfort, based on monitored data and energy requirements (see section 6.1 for obtained results).
5. Examine the diversity of behaviours by considering temperature and energy consumption variables and their relationship with dwelling and household characteristics (see section 6.2 for obtained results).
6. Develop a method for detecting and defining occupancy profiles, as well as heating and domestic hot water (DHW) consumption patterns (see section 6.3 for obtained results).

The study explores approaches that aim to provide information supporting the people involved in the processes of designing interventions and efficiently managing the building stock. By doing so, it encourages the development of solutions that meet actual needs and are tailored to individuals. Additionally, it highlights the importance of obtaining information that can enhance the quality of life for residents in social rental housing and ultimately contribute to the creation of sustainable and livable communities. Data related to housing occupancy, indoor temperature, and heating and domestic hot water consumption offer insights into the actual behaviour of households.

The proposed research and its results offer valuable insights into the diverse perceptions of the indoor environment and OB in social housing. This initial approach helps establish guidelines for enhancing health based on actual perceptions and needs, as well as improving the energy efficiency of buildings by considering real behaviours. These goals are accomplished by automatable methodologies for advanced management of social housing stock.

They are vulnerable environments with specific socio-economic and demographic characteristics, where the high turnover rate of rented housing influences the way of life and the perception that people have of their homes. That is why it is important to understand how they perceive the indoor environment and how it affects their well-being in order to provide solutions that meet their real needs. The behavioural and occupancy profiles obtained through actual data could be integrated into building simulation programs, allowing for a more detailed and accurate representation of energy consumption patterns. Moreover, these patterns could provide valuable insights into the diversity of energy consumption behaviours, which could be used to optimize community control and management systems. By taking a more comprehensive approach to analysing energy consumption, new opportunities for

energy savings, efficiency improvements, and enhanced occupant well-being could be discovered in various scenarios.

8.3 Description of the structure of the thesis

The purpose of this research is to address the previous research questions. This document provides a compilation of the process, results, and conclusions. It is structured into 4 main parts. The first part (Part 1) discusses the theoretical aspects of the research. The second part (Part 2) outlines the methodological structure that was followed to achieve the thesis objectives. It also includes two scales, one for each phase of the research: a general scale and a specific scale. Both scales analyse dwellings and households in a particular way. The third part (Part 3) presents the research results, including the application and validation of the methodology. The final part of the document (Part 4) presents the main conclusions and describes the dissemination of the results. Fig. 1 provides an overview of the doctoral thesis structure.

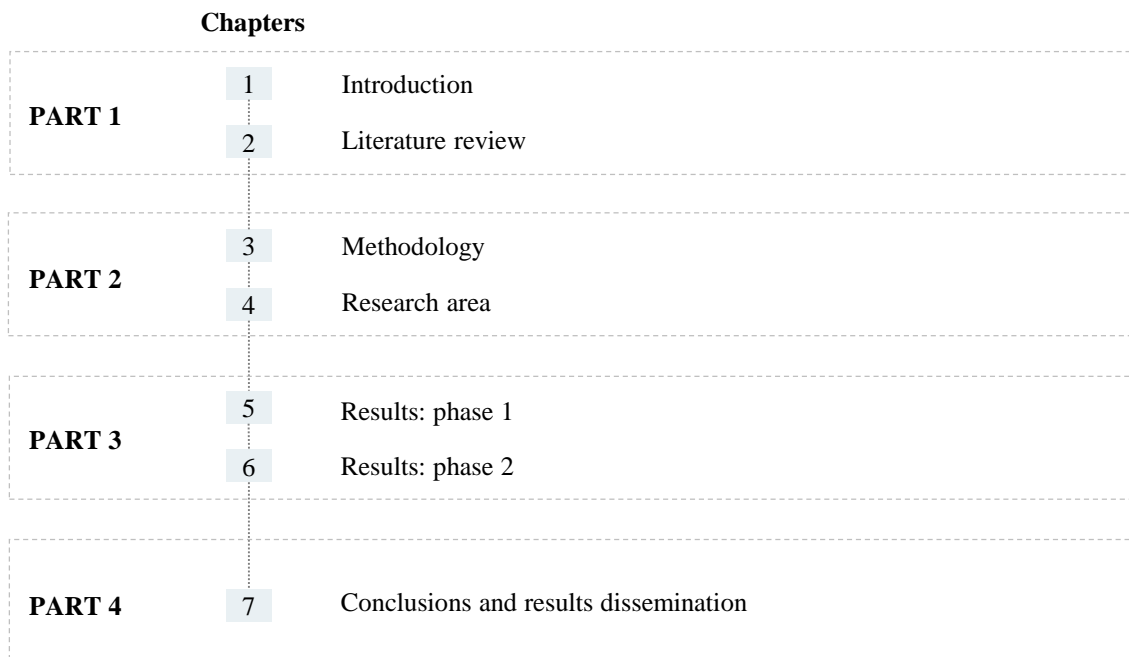


Fig. 1. Structure of the doctoral thesis

9 Conclusions

The present research delves into the study of preferences and behaviours associated with the indoor environment of social housing dwellings. Mixed data have been used, incorporating both qualitative and quantitative information, collected through surveys and monitoring, with an emphasis on prioritizing the needs of residents. The role of occupants in defining their well-being and satisfaction, as well as the energy performance of the building, is emphasized and evidenced. This chapter provides a summary of the main findings of the research in three separate sections. Firstly, it addresses the research questions posed at the beginning of the document, discusses the scientific impact of the study, and reflects on the limitations encountered in the research process. Subsequently, future lines of research are proposed, and finally, the publications where the project results have been disseminated are presented.

9.1 Research conclusions

The project has confirmed the proposed hypothesis and achieved the main objective of the research. Evidence has been provided regarding the diversity of behaviours and perceptions related to the indoor environment of social rental housing in the Basque Country. This diversity has been demonstrated in two contexts, corresponding to the two phases of the research. In the first phase, a more general scope was studied using a sample of 283 dwellings located in two Basque provinces, Bizkaia and Araba. In the second phase, a smaller context was examined with a sample of 58 dwellings from a multi-unit residential building in Vitoria-Gasteiz. Both phases analysed dwellings as the unit of analysis, considering the specific characteristics of the households. The first phase of the research collected subjective perception data via surveys about the indoor environment (temperature, acoustic, lighting, and air quality). In contrast, the second phase focused on the thermal environment and combined these perception data with objective data obtained from monitoring.

Based on the two phases of work, the main conclusions of the thesis project are summarised.

9.1.1 Comfort perception and use of the dwelling

In phase 1 of the research, the relationship between dwelling characteristics and household perceptions of the indoor environment has been identified. The results have also provided evidence of the diversity of perceived comfort based on the architectural and construction characteristics of the dwellings and the social profiles of the households. Furthermore, this phase has demonstrated that there is a diversity of behaviour, occupancy and perception of the thermal environment.

The study has validated the association between spatial and human factors with perceived comfort and use of housing. It has observed that certain dwelling and social factors are associated with specific parameters of perceived comfort and certain habits of occupancy and behaviour. For instance, factors like thermal comfort and orientation, or acoustic comfort and the location within the building. However, there were also cases where the results went against expectations, such as the relationship between acoustic comfort and urban noise, or lighting comfort and housing orientation. These results indicate that the specific preferences and needs of occupants regarding the indoor environment can influence the analysis of comfort. In other words, although comfort and OB may be related to certain spatial and social factors, these findings are limited to the specific architectural and social context of the study.

The research has identified that the parameters with the highest percentage of dwellings in discomfort in the sample are acoustic comfort and thermal comfort. Additionally, the study has detected diversity in the perception of comfort among different social profiles within the sample, and has identified those that may require special attention. In general, it has been observed that households consisting of one adult with children under 16 (1a_c) and families with three or more adults in the same dwelling (3a) may be more vulnerable to poor indoor environmental quality. Although certain trends can be identified, these patterns do not consistently apply to all environmental parameters. This suggests that each comfort parameter may require specific and individual attention. Overall, these findings confirm that comfort is perceived differently within a particular social and architectural context.

The study has developed an indicator to assess the level of thermal satisfaction among households, which allows for a more detailed analysis of the perceived thermal environment. The results revealed a high degree of correlation between the perceived temperature and the desired temperature. Categories based on the heating and DHW generation system, as well as the use of the heating system, showed no significant variations in comfort among the

participants. However, a positive correlation was observed between the proposed indicator and the perceived thermal comfort, suggesting that the indicator can be used to determine the level of thermal satisfaction within the studied sample. Furthermore, the behavioural patterns within the sample primarily depend on the number of occupants in the dwelling and the specific requirements of each household.

Overall, the findings from the initial phase of the study confirm the hypothesis that there is a range of perceptions regarding the indoor environment across the examined buildings, despite their similar architectural and constructional features and shared social context. Furthermore, considering the high percentage of dwellings experiencing thermal discomfort and the significant impact of this environmental parameter on the energy vulnerability of households, the results of the initial phase of the research justify the focus on analysing indoor environment parameters related to hygrothermal comfort in the second phase of the study. Although acoustic comfort showed a lower percentage of reported discomfort, thermal comfort has a greater influence on the building's energy efficiency and the residents' well-being and health.

These findings suggest that households and their perception play a crucial role in determining the level of comfort and indoor environmental quality in a building. Therefore, a comprehensive analysis of comfort should consider both subjective (perceived) and objective (measured) data. This is especially important when the goal is not only to ensure livable conditions in a dwelling, but also to promote the well-being of residents. In this regard, integrating people's perspectives into the management, design, and implementation of social housing interventions can contribute to more responsive and adaptable solutions that address the actual needs of households and the specific context in which they live.

9.1.2 Diversity in occupants' behaviour related to the indoor thermal environment

Phase 2 of the project has provided significant evidence regarding the diversity of hygrothermal comfort. The study has also identified a variety of behaviours related to temperature and energy consumption variables, as well as their correlation with dwelling and household characteristics. Additionally, a method has been proposed to detect and define occupancy and consumption profiles for heating and DHW. Data related to dwelling occupancy, indoor temperature, and heating and DHW consumption provided valuable insights into occupants' behaviour. Although DHW consumption is not directly related to the

indoor thermal environment, it influences occupants' thermal comfort. It also provides information about how they interact with the dwelling and its facilities. As this data impacts energy consumption, it is important to consider it as a significant variable alongside other data points such as temperature, heating consumption, and dwelling occupancy. These data are applicable in personalized energy management and in calibrating models used in building performance simulation programs.

The results of phase 2 have revealed a lack of association between monitored and perceived data, indicating an outcome gap in the results of the monitored sample. This lack of correlation between objective and subjective data provides evidence of significant variability in perception responses. This confirms the hypothesis proposed at the beginning of the study, emphasizing the need to explore the diversity of thermal preferences and incorporate quantitative and qualitative data analyses in the study of thermal comfort in residential buildings. The goal of these analyses is not only to reduce the environmental impact of the building but also to improve households' quality of life. Figure 48 in Annex 5 shows the associations detected between the different variables analysed in the two phases of the research.

Moreover, the analysis of environmental and energy behaviour related to heating and DHW consumption has identified variability in the occupants' behaviour in the sample. The obtained results confirm that the use of uniform simulation and management models can result in significant differences between the actual and estimated building performance. These differences could negatively affect the achievement of energy efficiency actions and the well-being of the residents in these buildings.

One of the most significant findings is the absence of association between social factors and energy related behavioural data. This lack of association also extends to environmental and consumption parameters. To address this, a methodology was proposed to define occupancy, heating, and DHW consumption profiles based on real data. As mentioned earlier in the research, households present different behaviours, preferences, and needs, despite having similar social characteristics. The study validates this, and in order to identify patterns, a method based on the analysis of real consumption and occupancy data was proposed. This strategy can then be used to define their main social and architectural characteristics.

In conclusion, phase 2 of the research concludes that the definition of behavioural profiles should be based on the monitored data itself, considering the diversity of behaviours observed in groups with similar social characteristics. Furthermore, the variability in responses to

thermal comfort and the discrepancies between objective and subjective data underscore the importance of using mixed methods to study thermal comfort in residential buildings, as emphasized in phase 1 of the research.

9.1.3 Research impact and study limitations

The research has highlighted the complexity of analysing occupants' comfort and behaviour. In this sense, the results of the research complement those of previous studies by providing more information on the characteristics of housing and households associated with the occupants' comfort and behaviour in vulnerable environments. In addition, this thesis has further studied and identified the needs, preferences and behaviours of households living in social housing. This is particularly important in public social rental housing, where the high level of turnover in the stock influences people's way of life and their perception of their housing and their community.

On the other hand, the obtained results represent an initial step towards a more in-depth analysis of the various uses and behaviours related to social housing. This includes aspects such as occupancy, habits, and interactions with the building's elements and facilities. The study has raised significant questions that contribute to our understanding of the complex dynamics between individuals and their living spaces. Overall, these findings provide a preliminary understanding of how residents influence both the functioning of buildings and the well-being of households in vulnerable residential contexts. Additionally, the results presented here offer new insights into the diversity of behaviours linked to the thermal environment and energy consumption.

The study results and proposed methodologies are presented as complementary, simplified, and replicable. The proposed strategies and indicators are not meant to modify or contradict existing models, but rather to complement them. Additionally, the proposed methods simplify the study of comfort and behaviour in situations with limited access to data. Moreover, the approach to studying perceived comfort and behavioural diversity can be replicated in different climatic, architectural, and social contexts.

The information obtained from the methods used in the project can be used to develop practices and public policies that are aligned with real needs. This, in turn, can help improve the quality of life and well-being of families. By incorporating diversity through specific behaviour patterns or establishing ranges with maximum and minimum values, it is possible

to define individualized solutions that adapt to different usage trends. Additionally, general solutions for the building can be created to encompass the various identified needs. Furthermore, the proposed methodology for obtaining behaviour patterns can be applied in energy simulation programs for building calibration models. It can also be incorporated into the management of the public housing stock. This approach can result in a more nuanced and accurate representation of actual building performance, leading to more efficient management of social housing and better outcomes in the design of refurbishment or improvement strategies for buildings. Additionally, these patterns can offer valuable information on the diversity of energy consumption behaviours, which can be applied to optimize control systems. By taking a comprehensive approach to analysing comfort and energy consumption, new opportunities for energy savings can be unlocked, ultimately improving energy efficiency and enhancing occupants' well-being in different contexts.

The study has identified certain limitations that could have influenced its findings. Firstly, part of the analysis relies on subjective responses provided by each individual surveyed as a representative of their respective household. While these individual responses have been considered for the analysis, it is important to note that perceptions of the indoor environment may vary among different members of the same household. To conduct a more detailed analysis of perceived comfort, it would be necessary to undertake more precise studies that consider the perceptions of different household members or obtain a representative range of responses from individuals within each household. Similarly, the findings related to perceived comfort are based on subjective responses from households and may not align with established comfort models or objective data obtained through monitoring.

Secondly, it is important to note that the buildings included in this study were specifically selected for participation in the E-lagun project. Therefore, they do not represent a random sample, and the results cannot be generalized to the entire population. Furthermore, the findings and behavioural patterns identified are specific to the selected buildings, their locations, the social and cultural context of the households, and the time period analysed. As a result, these insights can only be applied to buildings with similar characteristics and comparable socio-economic conditions. Despite this limitation, the results contribute to our understanding of the dynamics of perception and behaviour in social housing.

Thirdly, the study was limited by the sociocultural context and the availability of data access. This limitation affected the analysis of variables, including those related to the indoor and outdoor environment, as well as the socio-economic and lifestyle characteristics of

households. For a more detailed analysis, it would be necessary to accurately determine indoor and outdoor environmental variables such as internal heat gains, ventilation rates, CO₂ concentration, sun position, noise exposure, and wind direction and strength. These parameters vary throughout the day and year, influencing the quality of the indoor environment. It would also be valuable to incorporate household-related factors such as occupancy periods, gender, and employment situation, among other variables. Furthermore, the data on perception and measurements were collected at varying intervals. For instance, a single response for the winter period was contrasted with hourly measurements. This discrepancy in data collection might have influenced the analysis of the findings and posed challenges in comparing the two data sets. Nevertheless, the data used in the research are part of a large-scale project, allowing for the analysis of a significant number of dwellings in collective residential buildings. Without this project, it would not have been possible to obtain such comprehensive data. These data enrich the analysis by providing subjective and objective information from diverse households, enabling pattern recognition and diversity analysis beyond isolated housing analysis.

Finally, it is worth noting that the energy poverty project, in which the sample in phase 2 participated, may have influenced energy consumption related to the heating system. This can affect the results when compared to a period without heating assistance. However, despite these limitations, the proposed research and its results provide valuable information that showcases the diversity of perceptions and behaviours in social housing. It offers an initial approach to defining guidelines for improving health based on actual perceptions and needs, as well as enhancing the energy efficiency of buildings based on real behaviours. All of this can be achieved through automatable methodologies for advanced management of the public housing stock.

9.2 Future research lines

During the thesis process, several issues have emerged that may require further research and could serve as potential topics for future research:

- Conduct a detailed study of comfort and its connection to various spatial and social factors, considering additional variables outside the study's scope, such as gender, occupancy schedules, ventilation habits, and existing health conditions. Additionally, incorporating and comparing specific indoor and outdoor environmental factors that impact comfort, such as wind direction and speed, solar

radiation, sun position, noise exposure, internal heat gains, ventilation rate, and CO₂ concentration, among others.

- Study the diversity of comfort levels and occupants' behaviours during the summer season. During the summer months, various factors can affect both occupants' comfort and household energy consumption. Conducting a comprehensive study that considers variables associated with this time of year would help address vulnerability issues related to climate change.
- Study the incorporation of comfort and actual needs into the design and decision-making process of refurbishment strategies in public housing. It is necessary to develop data collection methods that provide anonymous, accessible, and intuitive opinions from households. This type of tool would enable the design of solutions tailored to real needs, prioritizing the well-being of residents (occupant-centric building). This research is particularly important when the goal is not only to ensure adequate habitability of housing but also to promote the well-being of residents.
- Due to the changing trends in housing usage post Covid-19, it would be beneficial to investigate the inclusion of additional factors in determining the behavioural profiles based on real data. These factors could include ventilation habits, time spent in the dwelling, and activities conducted within the dwelling (such as remote work or physical activity).
- Consider applying the methodology used to gather representative behavioural and occupancy patterns of the population residing in public housing to other contexts using probabilistic occupancy models. This information could be used to develop interventions tailored to the social reality and formulate public policies that align with the actual usage of residential dwellings and their installations.
- Improve the practicality of behavioural models in building performance simulation programs by using calibrated models based on real data from residential buildings.

9.3 Dissemination of the results

The published works listed below present the findings of the doctoral thesis:

Publications in scientific journals

S. Perez-Bezós, O. Guerra-Santin, O. Grijalba, and R. J. Hernandez-Minguillon, “Occupants’ behavioural diversity regarding the indoor environment in social housing. Case study in northern Spain,” *Journal of Building Engineering*, p. 107290, Jul. 2023, doi: 10.1016/j.job.2023.107290.

S. Perez-Bezós, O. Grijalba, and R. J. Hernandez-Minguillon, “Evaluation of thermal comfort perception in social housing context,” *Environmental and Climate Technologies*, vol. 27, no. 1, pp. 289–298, Jan. 2023, doi: 10.2478/rtuct-2023-0022.

S. Perez-Bezós, O. Grijalba, and R. Hernández, “Multifactorial approach to indoor environmental quality perception of social housing residents in Northern Spain,” *Building Research and Information*, vol. 51, no. 4, pp. 392–410, Oct. 2022, doi: 10.1080/09613218.2022.2130739.

S. Perez-Bezós, A. Figueroa-Lopez, M. Etxebarria-Mallea, X. Oregi, and R. Hernández, “Assessment of social housing energy and thermal performance in relation to occupants’ behaviour and COVID-19 influence—A case study in the Basque Country, Spain,” *Sustainability*, vol. 14, no. 9, p. 5594, May 2022, doi: 10.3390/su14095594.

International conferences

S. Perez-Bezós, O. Grijalba, and R. J. H. Minguillón, “Assessing Thermal Comfort Perception in the Context of Social Housing. Case Study in Northern Spain,” *CONNECT 2023 - International Scientific Conference of Environmental and Climate Technologies*, p. 17, May 2023, doi: 10.7250/conect.2023.001.

A. Martin-Garin, **S. Perez-Bezós**, A. Figueroa-Lopez, M. Arbulu, M. Rueda Esteban, X. Oregi, “Monitoring and energy management strategy during the energy refurbishment plan of the social rental housing stock of the Basque Country,” *EESAP13 - International Conference on Energy Efficiency and Sustainability in Architecture and Urban Planning*, Donostia, Spain.

M. Arbulu, M. Rueda-Esteban, A. Figueroa-Lopez, **S. Perez-Bezós**, X. Oregi, R. Hernandez-Minguillon, “Environmental and economic life cycle evaluation of residential

buildings refurbishment by the calibration with monitored data,” *EESAP13 - International Conference on Energy Efficiency and Sustainability in Architecture and Urban Planning*, Donostia, Spain.

M. Arbulu, M.Rueda-Esteban, A. Figueroa-Lopez, **S. Perez-Bezoz**, X. Oregi, “Methodology for sustainability of energetic refurbishment of residential buildings based on life cycle assessment and calibration by real data,” *The EPS Forum*, Paris, France.

Anexos y bibliografía

Anexo 1. Revisión bibliográfica: comportamiento de las personas en edificios residenciales

En la Tabla 35 se recogen las características principales de los estudios revisados centrados en el análisis del comportamiento de las personas en edificios residenciales. Se especifican las características relativas a la localización de los casos de estudio, el comportamiento específico u objetivo del estudio, los sistemas del edificio analizados en relación al comportamiento de las personas, los modelos de comportamiento empleados y la toma de datos empleada.

TABLA 35. CLASIFICACIÓN DE LOS ARTÍCULOS REVISADOS

Estudio	Localización	Objetivo ^a	Sistemas del edificio ^b	Modelos OB ^c	Toma de datos ^d
Aerts et al. (2014) [146]	Belgium	O	PA	S	OI
Buttitta et al. (2019) [221]	UK	B	HVAC, PA		OI
Causone et al. (2019) [160]	Italy	B	AU	DB	PM
Cuerda et al. (2017) [154]	Spain (Madrid)	B	HVAC, PA	DB	MM
Cuerda et al. (2019) [164]	Spain (Madrid)	B	PA, EC	DB	MM
Cuerda et al. (2020) [166]	Spain (Madrid)	B	AU, HVAC, PA	DB	MM
Ding et al. (2019) [159]	China	B	HVAC, PA	AB	MM
Guerra-Santin et al. (2011) [149]	Netherlands	IBD	HVAC, AU	DB	OI
Guerra-Santin et al. (2016) [29]	Netherlands and Spain	B	HVAC, PA	DB	MM
Guerra-Santin et al. (2017) [153]	Netherlands	B	HVAC, PA	DB	MM
Guerra-Santin et al. (2018) [163]	Netherlands	B	HVAC, PA	DB	MM
Hong et al. (2019) [148]		IBD	HVAC, WO		
Jeong et al. (2021) [154]	Australia	B	AU, HVAC, PA	S	OI
Jeong et al. (2023) [161]	Australia	IBD	HVAC, PA, WO	S	PM
Nikdel et al. (2021) [145]	EEUU	B	PA	DB	OI
Ortiz et al. (2019) [174]	Netherlands and France	IBD	HVAC, PA	DB	OI
Putra et al. (2021) [157]		B		S	
Salvia et al. (2020) [165]	Italy	IBD	HVAC, PA	DB	MM
Santamouris et al. (2007) [222]	Greece	IBD	HVAC		OI
Serrano-Jiménez et al. (2019) [153]	Spain (Seville)	B	HVAC, PA	DB	MM
Sung Hyun Kim et al. (2022) [148]	South Korea	O	PA	S	OI
Wickrama et al. (2022) [158]	Australia	IBD	HVAC	S	OI
Xinyuyang Ren et al. (2019) [160]	Netherlands	IBD	AU, HVAC	S	PM

^a O: Ocupación; IBD: Interacción con el edificio; B: Ambos.

^b AU: Uso de aparatos electrónicos y electrodomésticos; EC: Consumo eléctrico; HVAC: Uso de los sistemas de calefacción, refrigeración y ventilación; PA: Presencia y actividad; WO: Apertura de ventanas.

^c DB: Modelo no-probabilístico; S: Modelo estocástico.

^d MM: Método mixto; OI: Análisis de las ocupantes; PM: Monitorización de la vivienda.

Anexo 2. Cuestionario de la encuesta

A continuación, se recoge el cuestionario de la encuesta realizada a los hogares participantes en el proyecto E-lagun. La encuesta y el acompañamiento energético fue realizado por Stechome, empresa privada dedicada a la gestión y monitorización energética. La encuesta se clasifica en 5 partes principales: identificación de la vivienda, situación familiar, equipamiento de la vivienda, comportamiento actual y confort. Se presentan únicamente las preguntas cuya respuesta se ha incluido en el análisis de la presente investigación.

A. Identificación de la vivienda

- Superficie de la vivienda
 - Menos de 55 m²
 - Entre 55 y 75 m²
 - Entre 75 y 90 m²
 - Más de 90 m²
- ¿Cuántas estancias tiene su vivienda? Incluya la cocina, los dormitorios y todas las habitaciones que tengan 4 metros cuadrados o más. NO incluya: ni baños, ni zonas de paso (vestíbulos, pasillo...), ni terrazas abiertas.
 - 1
 - 2
 - 3
 - 4
 - 5
 - Más de 5

B. Situación familiar

- Número de personas que residen habitualmente en la vivienda
 - 1
 - 2
 - 3
 - 4
 - 5
 - 6
 - más de 6

- Grupos de edad de los miembros de la familia (0,1,2,3,4)
 - Menores de 5
 - Entre 6 y 15 años
 - Entre 16 y 25 años
 - Entre 26 y 50 años
 - Entre 51 y 75 años
 - Mayor de 75 años
- Ocupación de la vivienda (en base al número de personas que hay en la vivienda)
 - mañana (1-6)
 - tarde (1-6)
 - noche (1-6)

C. Equipamiento de la vivienda

- ¿Tiene humedades en la vivienda?
 - No
 - Sí
- Entrada de aire en la vivienda
 - Sí, por las ventanas y puertas
 - No, está bien sellado
- Listado de equipamiento térmico
 - Caldera de calefacción y agua caliente a gas
 - Termo eléctrico
 - Radiador eléctrico
 - Estufa catalítica

D. Comportamiento actual

- Ingresos medios totales. Seleccione una opción
 - Menos de 500€/mes
 - Entre 500€ y 800€/mes
 - Entre 800€ y 1000€/mes
 - Entre 1000€ y 1200€/mes
 - Entre 1200€ y 1500€/mes
 - Entre 1500€ y 2000€/mes
 - Más de 2000€/mes

- ¿Sabe aprox. el coste mensual destinado a la energía? Elija un precio orientativo del coste mensual
 - Menos de 30€
 - Entre 30€ y 60€
 - Entre 60€ y 90€
 - Entre 90€ y 130€
 - Más de 130€
- Uso de la calefacción. Seleccione una opción
 - Sin Sistema Integral de Calefacción
 - Realiza un uso normal del sistema de calefacción
 - Uso de otros aparatos teniendo sistema de calefacción

E. Confort

- ¿A qué temperatura suelen estar en su vivienda? Seleccione un rango de temperatura
 - Por debajo de 16°C
 - Entre 16 y 19°C
 - Entre 19 y 21°C
 - Más de 21°C
- ¿Cuál sería la temperatura de confort ideal? Seleccione un rango de temperatura
 - Por debajo de 16°C
 - Entre 16 y 19°C
 - Entre 19 y 21°C
 - Más de 21°C
- ¿Puede mantener su vivienda al confort que le gustaría? Seleccione una opción
 - No
 - Sí
 - A veces
- Con respecto a la temperatura y su bienestar ¿qué siente en general en su vivienda en los meses de invierno?
 - Frío
 - Neutra
 - Calor

- Con respecto a la temperatura y su bienestar ¿qué siente en general en su vivienda en los meses de verano?
 - Frío
 - Neutra
 - Calor
- ¿Con qué frecuencia nota en su vivienda alguna de las siguientes situaciones?
 - Ambiente cargado, olores, partículas, polvo, humedades, humos, o químicos detectables en el ambiente, entre otros.
 - Nunca
 - A veces
 - Siempre
 - Ruidos de vecinos/as o procedentes del exterior (tráfico, negocios, talleres cercanos, etc.)
 - Nunca
 - A veces
 - Siempre
- ¿Cómo definiría en general la iluminación de su vivienda? (Se entiende el nivel de luz natural, procedente del exterior)
 - Poco adecuada
 - Adecuada
 - Muy adecuada

Anexo 3. Descripción detallada de la muestra

En este anexo se realiza una descripción gráfica de los edificios que se incluyen en la muestra de la primera fase de la investigación. Asimismo, se describen las características arquitectónicas principales de los edificios analizados.

Las características constructivas se han recogido en base a las siguientes características específicas:

Cerramiento exterior:

- 2H: cerramiento de 2 hojas
- A=NO: cerramiento sin aislamiento
- A=SI: cerramiento con aislamiento
- CA: cerramiento con cámara de aire
- CHAPA: revestimiento exterior de chapa
- CV: cerramiento de ladrillo cara vista
- nCA: cerramiento sin cámara de aire
- REVEST CONTINUO MORTERO: cerramiento exterior con revestimiento continuo de mortero

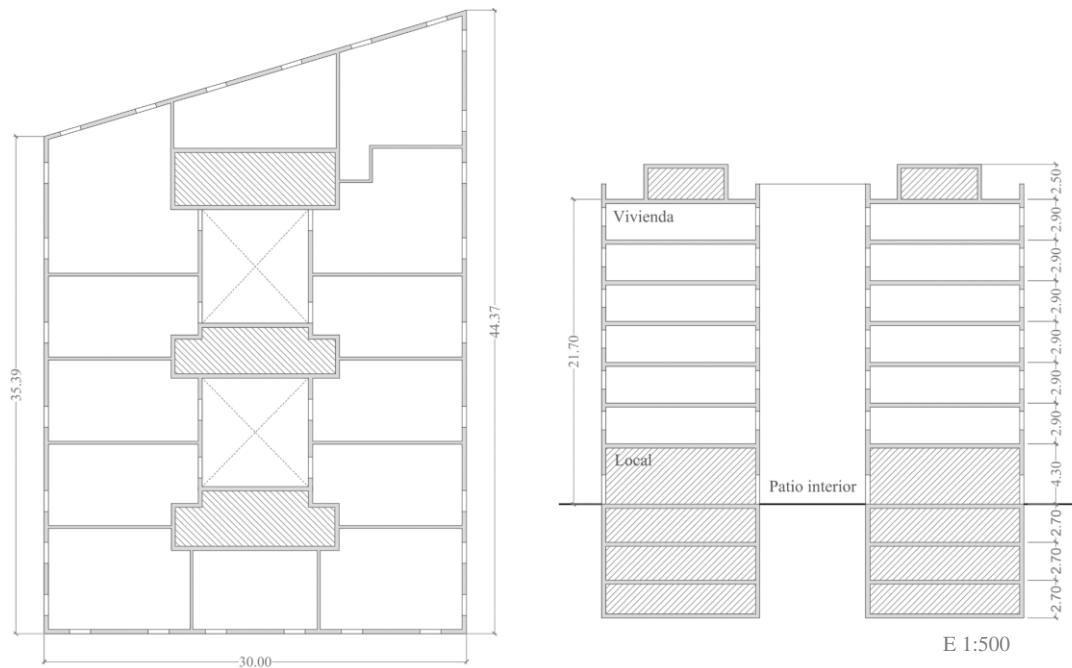
Cubierta:

- A=NO: cerramiento sin aislamiento
- A=SI: cerramiento con aislamiento
- CA: cerramiento con cámara de aire
- INCLINADA: cubierta inclinada
- nCA: cerramiento sin cámara de aire
- PLANA: cubierta plana

Estructura:

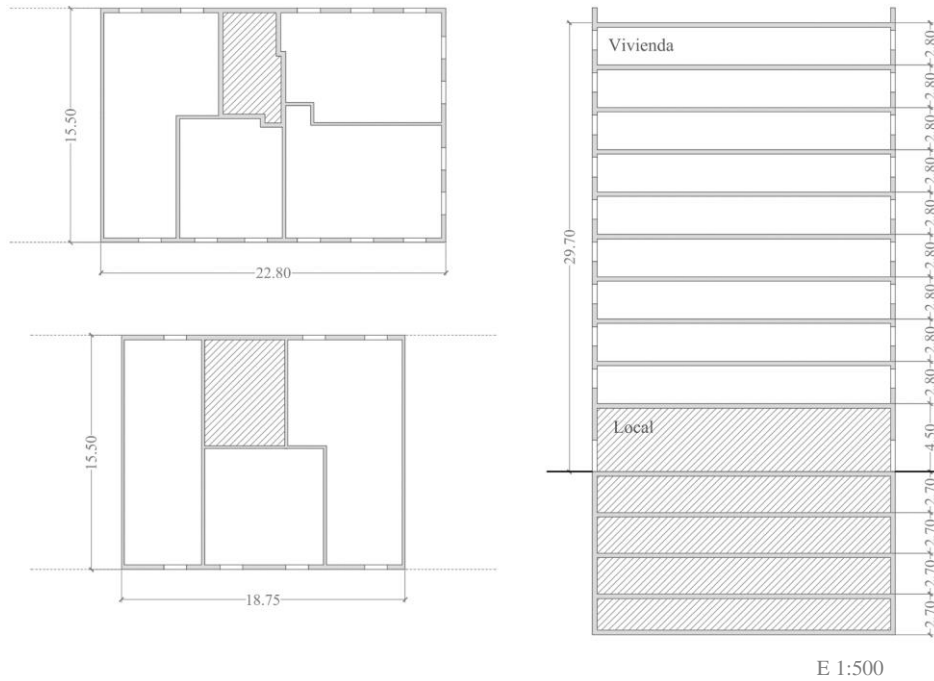
- PH: estructura porticada de hormigón
- LOSA: Forjado de losa maciza
- VIGUETA: Forjado de vigueta y bovedilla

Edificio 1



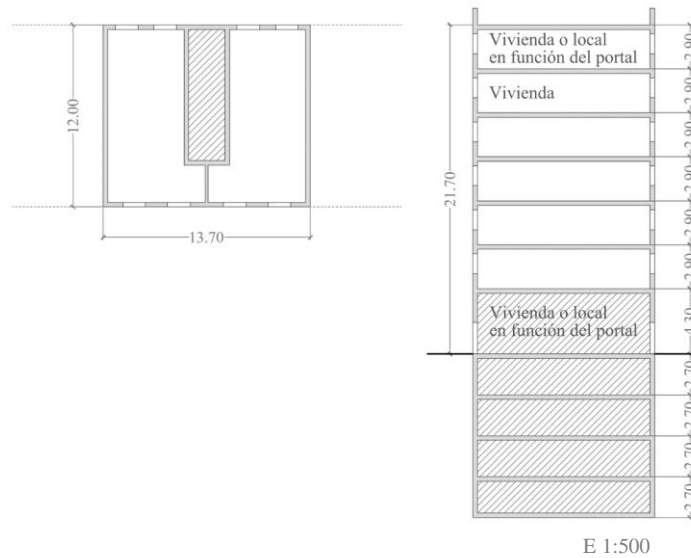
Zona climática según CTE	C
Compacidad urbana (m³/m²)	0-1
Ruido urbano o nivel sonoro (dBA)	65-70
Año de construcción	2014
Número de plantas sobre rasante	8
Tipología edificatoria	Bloque compacto
Número de viviendas en el edificio	80
Número de estancias en la vivienda	2
Superficie media de las viviendas (m²)	76.25
Tipología de fachada 1	2H_CA_A=SI+_CHAPA
Tipología de fachada 2	2H_CA_A=SI+_CHAPA
Tipología de cubierta	PLANA_nCA_A=SI+
Tipología de estructura	PH_LOSA
Estado de conservación del edificio	No está rehabilitado

Edificio 2



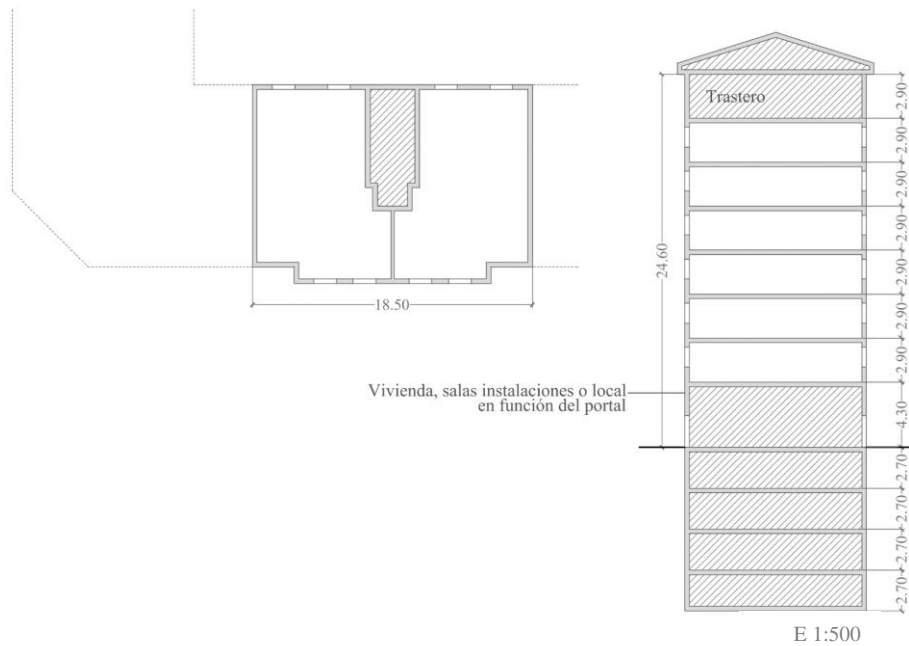
Zona climática según CTE	C
Compacidad urbana (m³/m²)	1-5
Ruido urbano o nivel sonoro (dBA)	65-70
Año de construcción	2018
Número de plantas sobre rasante	10
Tipología edificatoria	Bloque lineal
Número de viviendas en el edificio	40
Número de estancias en la vivienda	2
Superficie media de las viviendas (m²)	81.03
Tipología de fachada 1	2H_CA_A=SI+_CHAPA
Tipología de fachada 2	2H_CA_A=SI+_CHAPA
Tipología de cubierta	PLANA_nCA_A=SI+
Tipología de estructura	PH_LOSA
Estado de conservación del edificio	No está rehabilitado

Edificio 3



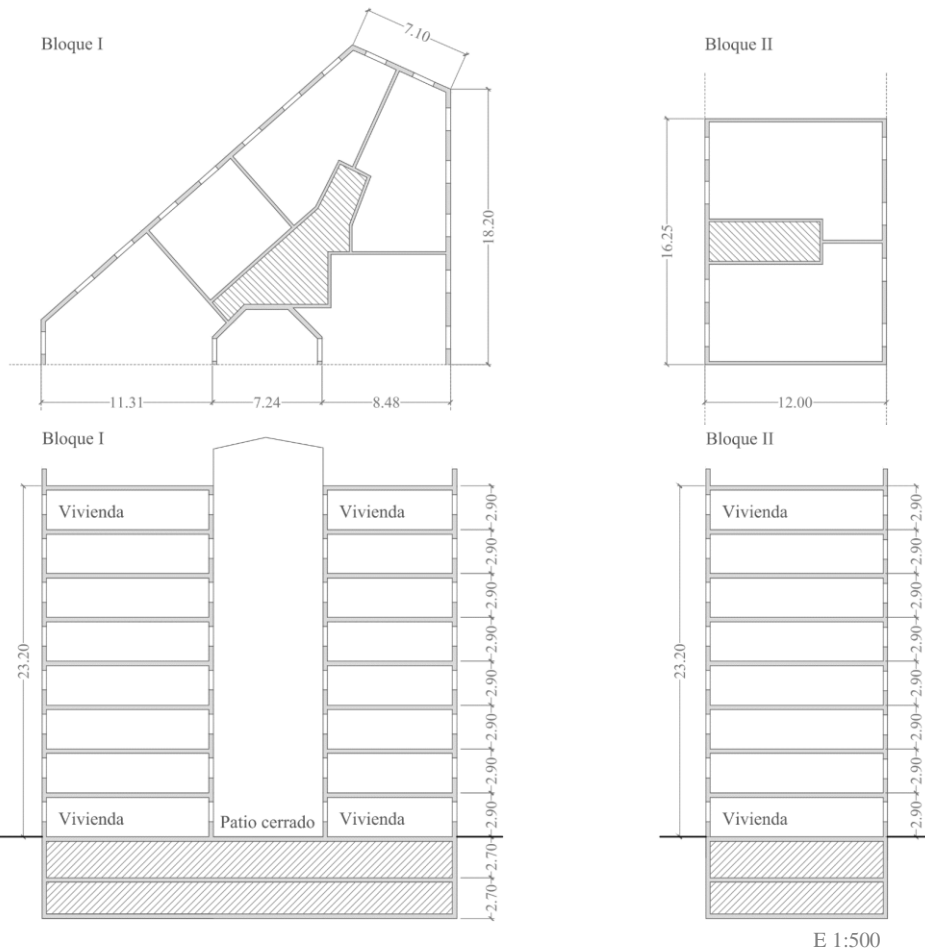
Zona climática según CTE	C
Compacidad urbana (m³/m²)	5-7,5
Ruido urbano o nivel sonoro (dBA)	65-70
Año de construcción	2011
Número de plantas sobre rasante	7
Tipología edificatoria	Manzana cerrada
Número de viviendas en el edificio	120
Número de estancias en la vivienda	2
Superficie media de las viviendas (m²)	78.29
Tipología de fachada 1	2H_CA_A=SI+_REVEST CONTINUO MORTERO
Tipología de fachada 2	2H_CA_A=SI+_REVEST CONTINUO MORTERO
Tipología de cubierta	PLANA_nCA_A=SI+
Tipología de estructura	PH_LOSA
Estado de conservación del edificio	No está rehabilitado

Edificio 4



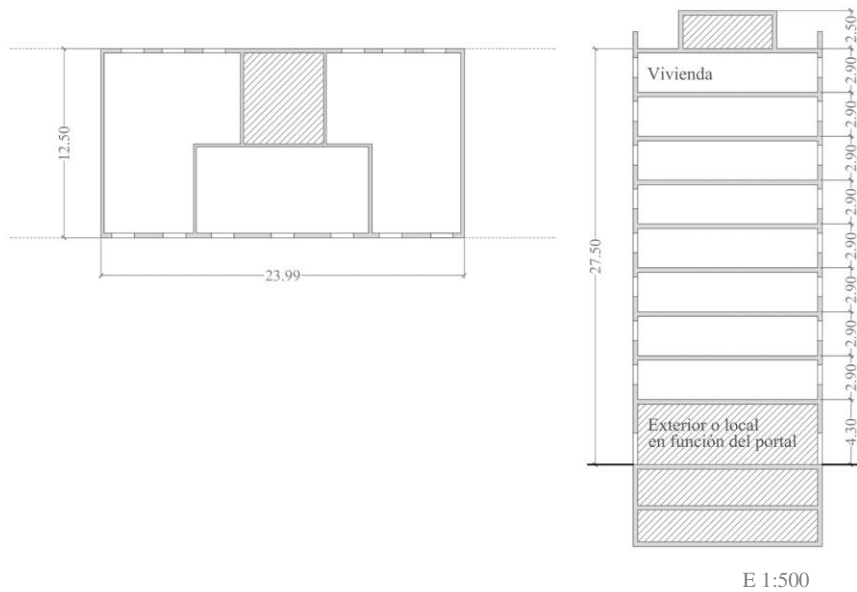
Zona climática según CTE	C
Compacidad urbana (m³/m²)	7,5-10
Ruido urbano o nivel sonoro (dBA)	60-65
Año de construcción	2008
Número de plantas sobre rasante	8
Tipología edificatoria	Manzana cerrada
Número de viviendas en el edificio	128
Número de estancias en la vivienda	4
Superficie media de las viviendas (m²)	89.31
Tipología de fachada 1	2H_CA_A=SI+_LADRILLO CV
Tipología de fachada 2	2H_CA_A=SI+_LADRILLO CV
Tipología de cubierta	INCLINADA_nCA_A=SI+
Tipología de estructura	PH_LOSA
Estado de conservación del edificio	No está rehabilitado

Edificio 5



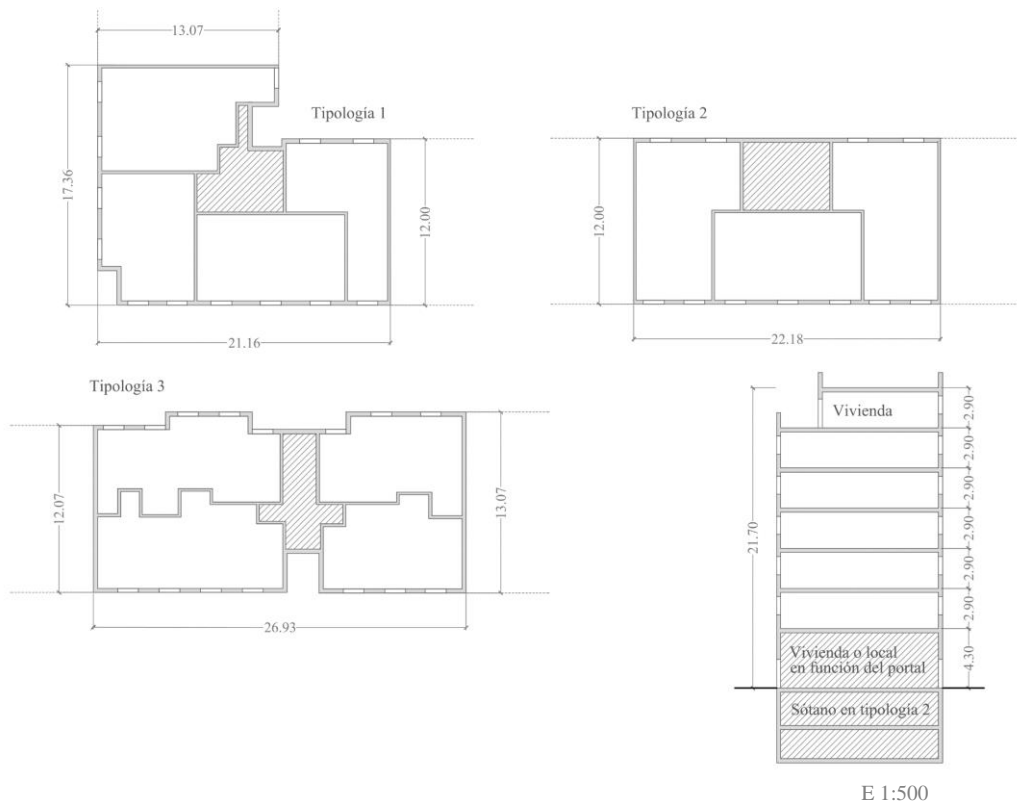
Zona climática según CTE	C
Compacidad urbana (m³/m²)	1-5
Ruido urbano o nivel sonoro (dBA)	55-60
Año de construcción	2005
Número de plantas sobre rasante	8
Tipología edificatoria	Manzana abierta
Número de viviendas en el edificio	89
Número de estancias en la vivienda	3
Superficie media de las viviendas (m²)	73.83
Tipología de fachada 1	2H_nCA_A=SI_REVEST CONTINUO MORTERO
Tipología de fachada 2	2H_nCA_A=SI_REVEST CONTINUO MORTERO
Tipología de cubierta	INCLINADA_nCA_A=SI
Tipología de estructura	PH_VIGUETA
Estado de conservación del edificio	No está rehabilitado

Edificio 6



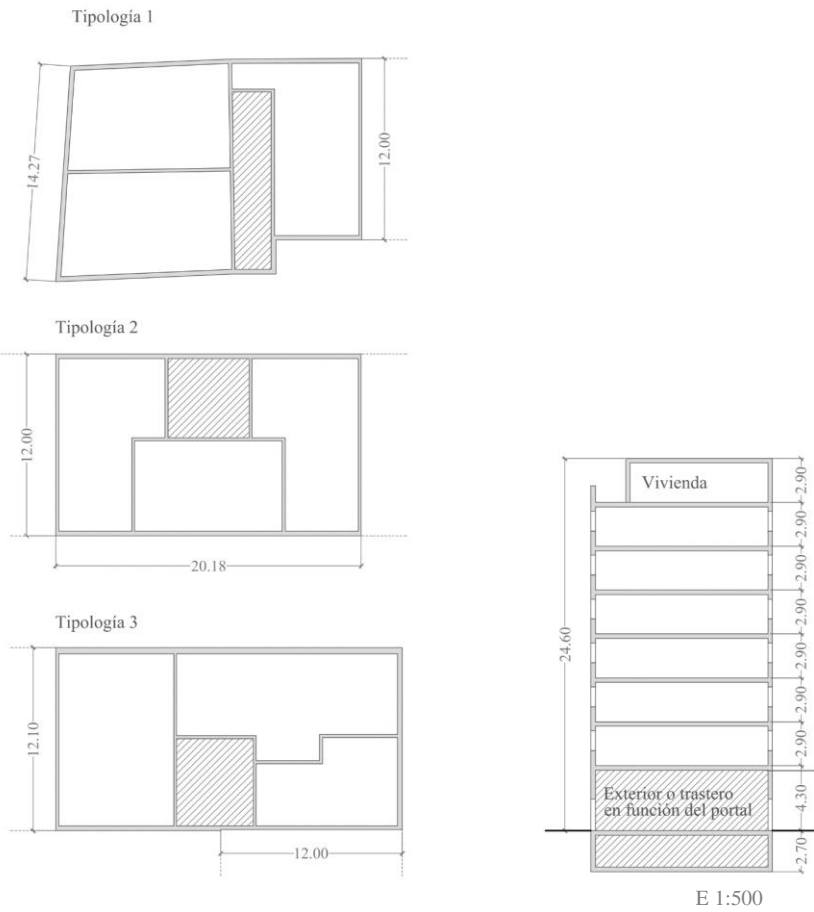
Zona climática según CTE	D
Compacidad urbana (m³/m²)	1-5
Ruido urbano o nivel sonoro (dBA)	60-65
Año de construcción	2009
Número de plantas sobre rasante	9
Tipología edificatoria	Bloque lineal
Número de viviendas en el edificio	126
Número de estancias en la vivienda	3
Superficie media de las viviendas (m²)	89.7
Tipología de fachada 1	2H_CA_A=SI+_PANELES DE HORMIGÓN
Tipología de fachada 2	2H_CA_A=SI+_LADRILLO CV
Tipología de cubierta	PLANA_nCA_A=SI+
Tipología de estructura	PH_VIGUETA
Estado de conservación del edificio	No está rehabilitado

Edificio 7



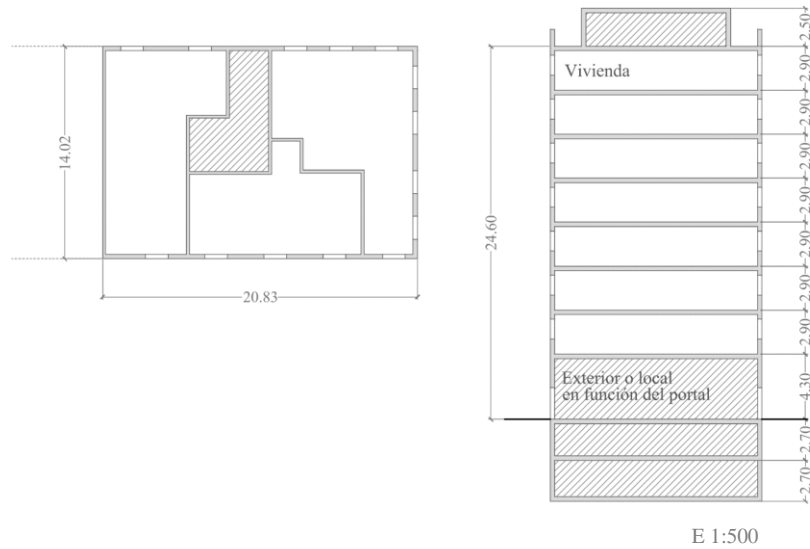
Zona climática según CTE	D
Compacidad urbana (m³/m²)	1-5
Ruido urbano o nivel sonoro (dBA)	60-65
Año de construcción	2004
Número de plantas sobre rasante	6
Tipología edificatoria	Manzana abierta
Número de viviendas en el edificio	228
Número de estancias en la vivienda	3
Superficie media de las viviendas (m²)	88.75
Tipología de fachada 1	2H_nCA_A=SI_REVEST CONTINUO MORTERO
Tipología de fachada 2	2H_nCA_A=SI_LADRILLO CV
Tipología de cubierta	PLANA_nCA_A=SI
Tipología de estructura	PH_VIGUETA
Estado de conservación del edificio	No está rehabilitado

Edificio 8



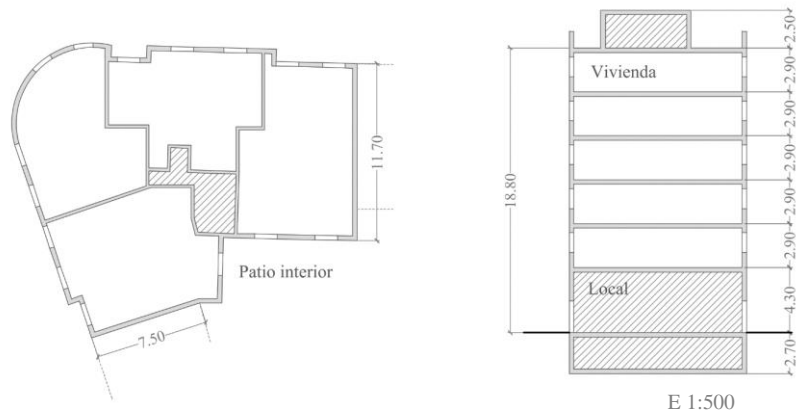
Zona climática según CTE	D
Compacidad urbana (m³/m²)	0-1
Ruido urbano o nivel sonoro (dBA)	55-60
Año de construcción	2010
Número de plantas sobre rasante	8
Tipología edificatoria	Manzana abierta
Número de viviendas en el edificio	155
Número de estancias en la vivienda	2
Superficie media de las viviendas (m²)	73.22
Tipología de fachada 1	2H_CA_A=SI+_PANELES DE HORMIGÓN
Tipología de fachada 2	2H_CA_A=SI+_PANELES DE HORMIGÓN
Tipología de cubierta	PLANA_nCA_A=SI+
Tipología de estructura	PH_VIGUETA
Estado de conservación del edificio	No está rehabilitado

Edificio 9



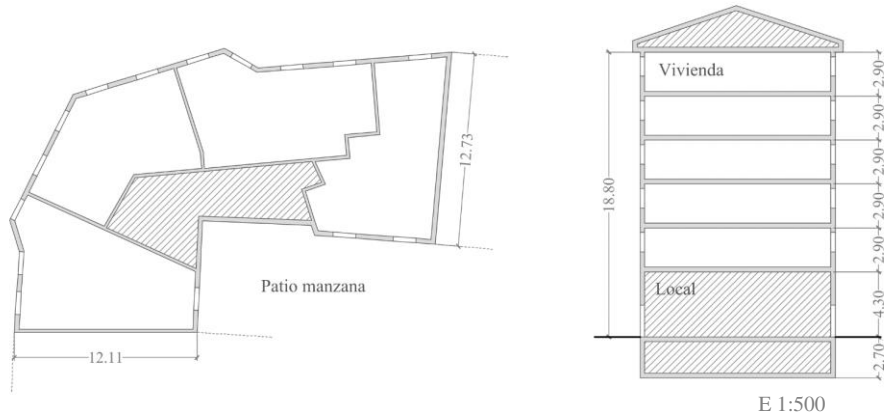
Zona climática según CTE	C
Compacidad urbana (m³/m²)	0-1
Ruido urbano o nivel sonoro (dBA)	60-65
Año de construcción	2009
Número de plantas sobre rasante	8
Tipología edificatoria	Bloque lineal
Número de viviendas en el edificio	39
Número de estancias en la vivienda	4
Superficie media de las viviendas (m²)	102.5
Tipología de fachada 1	2H_CA_A=SI+_LADRILLO CV
Tipología de fachada 2	2H_CA_A=SI+_LADRILLO CV
Tipología de cubierta	PLANA_nCA_A=SI+
Tipología de estructura	PH_LOSA
Estado de conservación del edificio	No está rehabilitado

Edificio 10



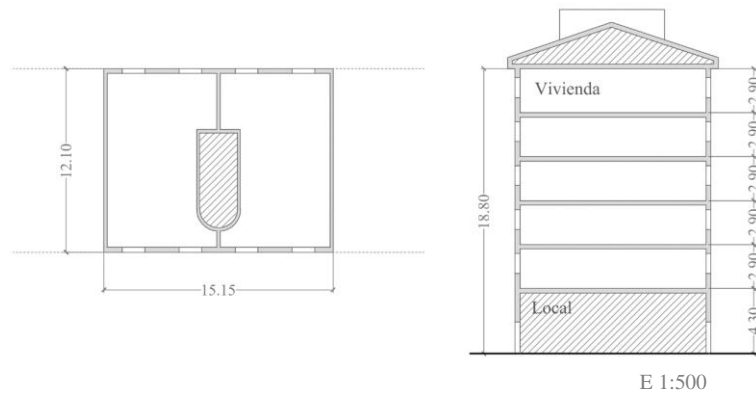
Zona climática según CTE	C
Compacidad urbana (m³/m²)	7,5-10
Ruido urbano o nivel sonoro (dBA)	60-65
Año de construcción	1992
Número de plantas sobre rasante	6
Tipología edificatoria	Manzana cerrada
Número de viviendas en el edificio	10
Número de estancias en la vivienda	3
Superficie media de las viviendas (m²)	86.35
Tipología de fachada 1	2H_CA_A=SI_REVEST CONTINUO MORTERO
Tipología de fachada 2	2H_CA_A=SI_REVEST CONTINUO MORTERO
Tipología de cubierta	PLANA_nCA_A=SI
Tipología de estructura	PH_VIGUETA
Estado de conservación del edificio	Rehabilitación integral

Edificio 11



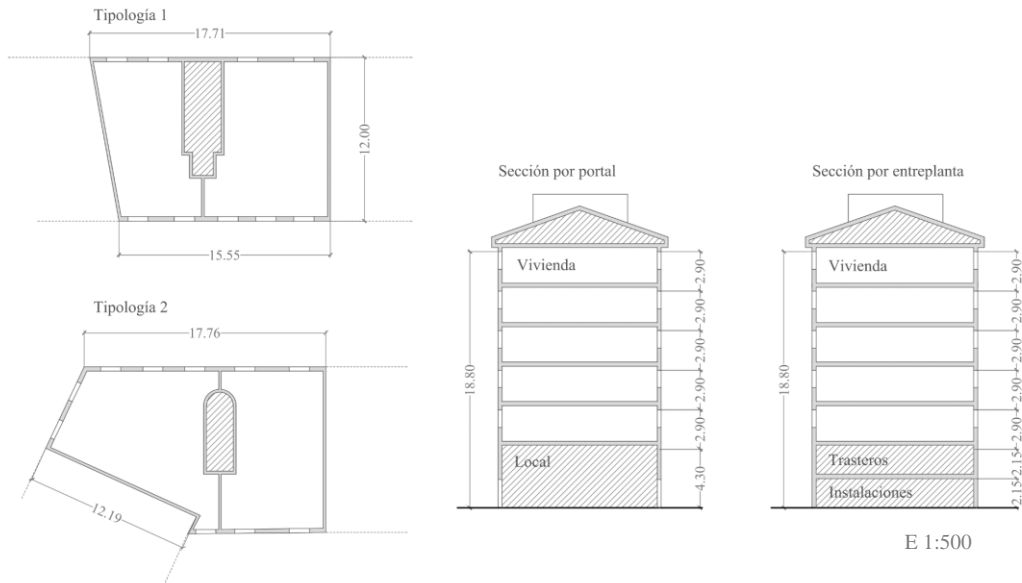
Zona climática según CTE	C
Compacidad urbana (m³/m²)	7,5-10
Ruido urbano o nivel sonoro (dBA)	60-65
Año de construcción	1994
Número de plantas sobre rasante	6
Tipología edificatoria	Manzana cerrada
Número de viviendas en el edificio	40
Número de estancias en la vivienda	3
Superficie media de las viviendas (m²)	75.51
Tipología de fachada 1	2H_CA_A=SI_REVEST CONTINUO MORTERO
Tipología de fachada 2	2H_CA_A=SI_REVEST CONTINUO MORTERO
Tipología de cubierta	INCLINADA_nCA_A=SI
Tipología de estructura	PH_VIGUETA
Estado de conservación del edificio	No está rehabilitado

Edificio 12



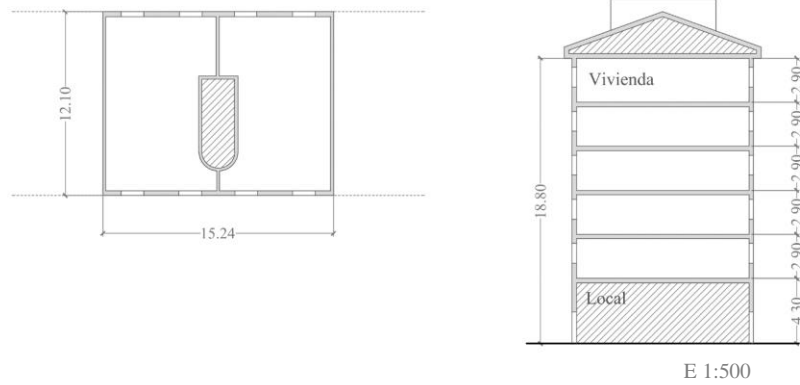
Zona climática según CTE	C
Compacidad urbana (m³/m²)	7,5-10
Ruido urbano o nivel sonoro (dBA)	60-65
Año de construcción	1993
Número de plantas sobre rasante	6
Tipología edificatoria	Manzana cerrada
Número de viviendas en el edificio	39
Número de estancias en la vivienda	3
Superficie media de las viviendas (m²)	88.01
Tipología de fachada 1	2H_CA_A=SI+_CHAPA
Tipología de fachada 2	2H_CA_A=SI+_CHAPA
Tipología de cubierta	INCLINADA_nCA_A=SI
Tipología de estructura	PH_VIGUETA
Estado de conservación del edificio	Rehabilitación integral

Edificio 13



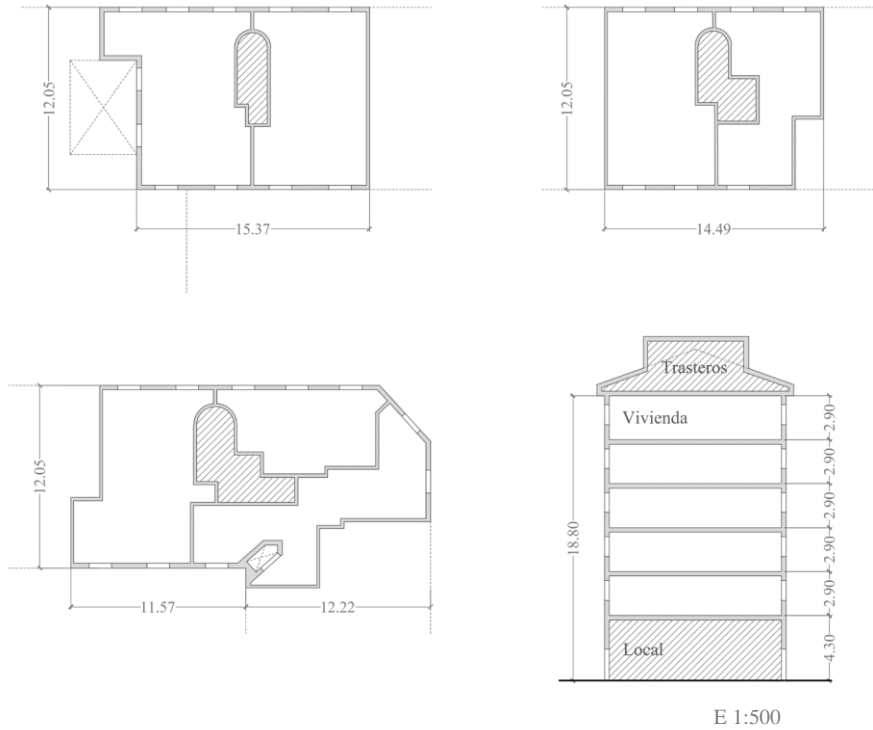
Zona climática según CTE	C
Compacidad urbana (m³/m²)	7,5-10
Ruido urbano o nivel sonoro (dBA)	55-60
Año de construcción	1996
Número de plantas sobre rasante	6
Tipología edificatoria	Manzana cerrada
Número de viviendas en el edificio	20
Número de estancias en la vivienda	3
Superficie media de las viviendas (m²)	93.67
Tipología de fachada 1	2H_CA_A=SI_LADRILLO CV
Tipología de fachada 2	2H_CA_A=SI_LADRILLO CV
Tipología de cubierta	INCLINADA_nCA_A=SI
Tipología de estructura	PH_VIGUETA
Estado de conservación del edificio	No está rehabilitado

Edificio 14



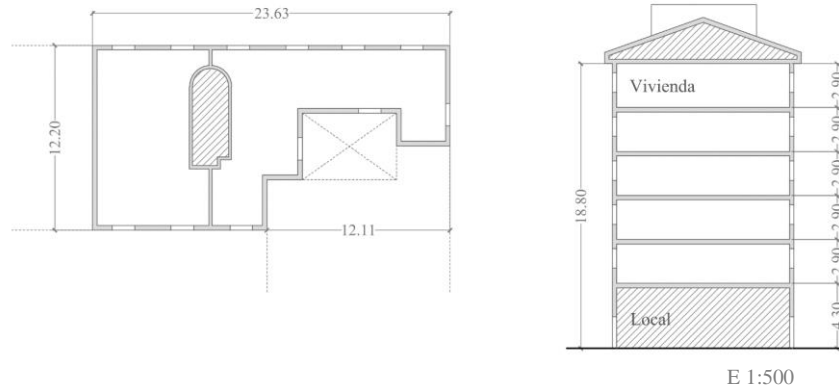
Zona climática según CTE	C
Compacidad urbana (m³/m²)	7,5-10
Ruido urbano o nivel sonoro (dBA)	55-60
Año de construcción	1993
Número de plantas sobre rasante	6
Tipología edificatoria	Manzana cerrada
Número de viviendas en el edificio	20
Número de estancias en la vivienda	3
Superficie media de las viviendas (m²)	76.81
Tipología de fachada 1	2H_CA_A=SI+_CHAPA
Tipología de fachada 2	2H_CA_A=SI+_CHAPA
Tipología de cubierta	INCLINADA_nCA_A=SI
Tipología de estructura	PH_VIGUETA
Estado de conservación del edificio	Rehabilitación integral

Edificio 15



Zona climática según CTE	C
Compacidad urbana (m³/m²)	7,5-10
Ruido urbano o nivel sonoro (dBA)	60-65
Año de construcción	1993
Número de plantas sobre rasante	6
Tipología edificatoria	Manzana cerrada
Número de viviendas en el edificio	35
Número de estancias en la vivienda	3
Superficie media de las viviendas (m²)	84.48
Tipología de fachada 1	2H_CA_A=SI+_CHAPA
Tipología de fachada 2	2H_CA_A=SI+_CHAPA
Tipología de cubierta	INCLINADA_nCA_A=SI
Tipología de estructura	PH_VIGUETA
Estado de conservación del edificio	Rehabilitación integral

Edificio 16



Zona climática según CTE	C
Compacidad urbana (m³/m²)	7,5-10
Ruido urbano o nivel sonoro (dBA)	55-60
Año de construcción	1993
Número de plantas sobre rasante	6
Tipología edificatoria	Manzana cerrada
Número de viviendas en el edificio	10
Número de estancias en la vivienda	3
Superficie media de las viviendas (m²)	100.3
Tipología de fachada 1	2H_CA_A=SI+_CHAPA
Tipología de fachada 2	2H_CA_A=SI+_CHAPA
Tipología de cubierta	INCLINADA_nCA_A=SI
Tipología de estructura	PH_VIGUETA
Estado de conservación del edificio	Rehabilitación integral

Anexo 4. Resultados de la encuesta: confort percibido y uso de la vivienda

A continuación, se presentan los resultados de las encuestas para las variables de confort percibido y uso de la vivienda en base a las características espaciales y sociales.

		Temperatura interior percibida			
		< 16°C	16-19°C	19- 21°C	< 21°C
Zona climática	C	32	140	5	1
	D	22	83	0	0
Compacidad urbana (m³/m²)	0-1	11	54	1	0
	1-5	22	71	0	0
	5-7,5	8	26	0	0
	7,5-10	13	72	4	1
Ruido urbano (dBA)	<55	3	17	0	0
	55-60	21	63	1	0
	60-65	20	93	3	1
	65-70	10	50	1	0
Edad de la edificación	1981-2007	14	49	4	1
	2008-2020	40	174	1	0
Tipología edificatoria	Bloque compacto	8	26	1	0
	Bloque lineal	14	63	0	0
	Manzana abierta	11	36	0	0
	Manzana cerrada	21	98	4	1
Existencia de patio de luces	No	45	181	4	1
	Sí	9	42	1	0
Posición relativa en el edificio	Extremo inferior	15	29	0	0
	Intermedio	29	160	5	1
	Extremo superior	10	34	0	0
Tipología de la vivienda	Esquina	5	24	0	0
	Mono-orientada	7	44	0	0
	Pasante	42	155	5	1
Orientación	Distinto de norte	26	128	1	1
	Tiene norte	28	95	4	0
Superficie de la vivienda (m²)	Menos de 55	0	10	0	0
	55-75	16	75	1	0
	75-90	12	60	3	1
	Más de 90	26	78	1	0

		Temperatura interior percibida			
		< 16°C	16-19°C	19- 21°C	< 21°C
Número de estancias	3	1	20	0	0
	4	23	100	2	0
	5	24	96	2	1
	6 o más	6	6	1	0
Ratio fachada-vivienda	0-25%	0	7	0	0
	26-50%	31	144	2	0
	51-75%	21	69	2	1
	76-100%	2	3	1	0
Generación de calor y ACS	Caldera de gas	36	154	5	1
	Otros sistemas	18	69	0	0
Estado de conservación del edificio	No rehabilitado	48	201	1	0
	Rehabilitado	6	22	4	1
Número de personas	1	15	62	1	0
	2	14	61	2	1
	3	11	41	0	0
	4	5	34	2	0
	5	8	19	0	0
	6	0	6	0	0
	más de 6	1	0	0	0
Perfil social	1a<75	14	63	1	0
	2a	8	36	2	1
	2a_1c	5	17	0	0
	2a_2c	3	22	1	0
	2a_3c	1	13	0	0
	1a_c	8	22	0	0
	3a	11	32	1	0
	3a_c	4	18	0	0
Menores de 5 años en la vivienda	No	47	181	4	1
	Sí	7	42	1	0
Mayores de 75 años en la vivienda	No	52	218	5	1
	Sí	2	5	0	0
Ingresos (€)	Menos de 800	8	75	0	0
	800-1000	29	71	1	0
	1000-1200	3	9	3	0
	Más de 1200	14	68	1	1

		Temperatura interior deseada			
		< 16°C	16-19°C	19- 21°C	< 21°C
Zona climática	C	1	77	89	11
	D	1	45	54	5
Compacidad urbana (m³/m²)	0-1	0	27	36	3
	1-5	1	41	46	5
	5-7,5	0	11	18	5
	7,5-10	1	43	43	3
Ruido urbano (dBA)	<55	0	9	9	2
	55-60	0	35	46	4
	60-65	2	58	51	6
	65-70	0	20	37	4
Edad de la edificación	1981-2007	1	33	33	1
	2008-2020	1	89	110	15
Tipología edificatoria	Bloque compacto	0	12	20	3
	Bloque lineal	1	32	39	5
	Manzana abierta	0	24	23	0
	Manzana cerrada	1	54	61	8
Existencia de patio de luces	No	2	104	112	13
	Sí	0	18	31	3
Posición relativa en el edificio	Extremo inferior	0	18	24	2
	Intermedio	2	84	98	11
	Extremo superior	0	20	21	3
Tipología de la vivienda	Esquina	0	8	20	1
	Mono-orientada	0	31	18	2
	Pasante	2	83	105	13
Orientación	Distinto de norte	0	78	70	8
	Tiene norte	2	44	73	8
Superficie de la vivienda (m²)	Menos de 55	0	4	6	0
	55-75	0	46	41	5
	75-90	1	32	41	2
	Más de 90	1	40	55	9
Número de estancias	3	0	11	10	0
	4	0	54	63	8
	5	2	51	64	6
	6 o más	0	5	6	2
Ratio fachada-vivienda	0-25%	0	2	5	0
	26-50%	1	82	84	10
	51-75%	1	37	49	6

		Temperatura interior deseada			
		< 16°C	16-19°C	19- 21°C	< 21°C
	76-100%	0	1	5	0
Generación de calor y ACS	Caldera de gas	2	80	103	11
	Otros sistemas	0	42	40	5
Estado de conservación del edificio	No rehabilitado	1	110	124	15
	Rehabilitado	1	12	19	1
Número de personas	1	0	36	41	1
	2	0	36	37	5
	3	2	23	24	3
	4	0	18	21	2
	5	0	5	17	5
	6	0	4	2	0
	más de 6	0	0	1	0
Perfil social	1a<75	0	36	41	1
	2a	0	21	23	3
	2a_1c	1	8	10	3
	2a_2c	0	11	13	2
	2a_3c	0	1	10	3
	1a_c	0	18	11	1
	3a	1	16	26	1
	3a_c	0	11	9	2
Menores de 5 años en la vivienda	No	1	107	119	6
	Sí	1	15	24	10
Mayores de 75 años en la vivienda	No	2	120	138	16
	Sí	0	2	5	0
Ingresos (€)	Menos de 800	0	40	35	8
	800-1000	0	44	53	4
	1000-1200	2	4	9	0
	Más de 1200	0	34	45	4

		Capacidad para mantener la vivienda a temperatura de confort			Confort térmico en invierno		
		No	A veces	Sí	Frío	Neutra	Calor
Zona climática	C	19	58	101	61	112	5
	D	6	45	54	39	64	2
Compacidad urbana (m³/m²)	0-1	5	19	42	25	40	1
	1-5	8	44	41	34	55	4
	5-7,5	3	8	23	9	24	1
	7,5-10	9	32	49	32	57	1
Ruido urbano (dBA)	<55	2	12	6	8	11	1
	55-60	11	27	47	30	54	1
	60-65	6	44	67	40	75	2
	65-70	6	20	35	22	36	3
Edad de la edificación	1981-2007	6	24	38	24	43	1
	2008-2020	19	79	117	76	133	6
Tipología edificatoria	Bloque compacto	4	10	21	16	17	2
	Bloque lineal	7	35	35	26	48	3
	Manzana abierta	2	18	27	17	30	0
	Manzana cerrada	12	40	72	41	81	2
Existencia de patio de luces	No	17	86	128	77	150	4
	Sí	8	17	27	23	26	3
Posición relativa en el edificio	Extremo inferior	2	18	24	20	22	2
	Intermedio	20	75	100	63	129	3
	Extremo superior	3	10	31	17	25	2
Tipología de la vivienda	Esquina	6	7	16	11	17	1
	Mono-orientada	4	20	27	15	34	2
	Pasante	15	76	112	74	125	4
Orientación	Distinto de norte	14	47	95	47	104	5
	Tiene norte	11	56	60	53	72	2
Superficie de la vivienda (m²)	Menos de 55	0	3	7	3	7	0
	55-75	7	33	52	28	61	3
	75-90	8	25	43	26	48	2
	Más de 90	10	42	53	43	60	2
Número de estancias	3	0	7	14	8	12	1
	4	11	42	72	40	79	6
	5	14	48	61	44	79	0
	6 o más	0	6	7	8	5	0
Ratio fachada-vivienda	0-25%	1	4	2	2	4	1
	26-50%	11	72	94	64	110	3

		Capacidad para mantener la vivienda a temperatura de confort			Confort térmico en invierno		
		No	A veces	Sí	Frío	Neutra	Calor
	51-75%	11	26	56	30	60	3
	76-100%	2	1	3	4	2	0
Generación de calor y ACS	Caldera de gas	12	62	122	60	132	4
	Otros sistemas	13	41	33	40	44	3
Estado de conservación del edificio	No rehabilitado	23	92	135	88	155	7
	Rehabilitado	2	11	20	12	21	0
Número de personas	1	6	22	50	32	41	5
	2	7	29	42	22	54	2
	3	9	14	29	21	31	0
	4	3	14	24	12	29	0
	5	0	19	8	11	16	0
	6	0	4	2	1	5	0
	más de 6	0	1	0	1	0	0
Perfil social	1a<75	6	22	50	31	42	5
	2a	4	13	30	13	34	0
	2a_1c	1	5	16	9	13	0
	2a_2c	2	8	16	9	17	0
	2a_3c	0	7	7	2	12	0
	1a_c	5	18	7	9	21	0
	3a	6	18	20	18	24	2
	3a_c	1	12	9	9	13	0
Menores de 5 años en la vivienda	No	23	83	127	85	141	7
	Sí	2	20	28	15	35	0
Mayores de 75 años en la vivienda	No	25	100	151	99	170	7
	Sí	0	3	4	1	6	0
Ingresos (€)	Menos de 800	8	11	64	25	57	1
	800-1000	3	40	58	38	60	3
	1000-1200	1	7	7	6	9	0
	Más de 1200	13	45	26	31	50	3

		Calidad de aire interior			Confort lumínico		
		Nunca	A veces	Siempre	Poco adecuada	Adec.	Muy adecuada
Zona climática	C	128	34	16	6	157	128
	D	87	13	5	4	88	87
Compacidad urbana (m³/m²)	0-1	47	11	7	0	66	47
	1-5	73	14	6	5	75	73
	5-7,5	23	8	3	0	34	23
	7,5-10	71	14	5	5	70	71
Ruido urbano (dBA)	<55	15	3	2	1	18	15
	55-60	65	16	5	2	74	65
	60-65	99	13	5	6	93	99
	65-70	37	15	9	1	60	37
Edad de la edificación	1981-2007	52	15	1	3	52	52
	2008-2020	163	32	20	7	193	163
Tipología edificatoria	Bloque compacto	21	8	6	0	35	21
	Bloque lineal	62	9	6	5	59	62
	Manzana abierta	38	8	1	0	47	38
	Manzana cerrada	94	22	8	5	104	94
Existencia de patio de luces	No	184	34	13	10	193	184
	Sí	31	13	8	0	52	31
Posición relativa en el edificio	Extremo inferior	34	5	5	5	33	34
	Intermedio	152	32	11	5	169	152
	Extremo superior	29	10	5	0	43	29
Tipología de la vivienda	Esquina	23	4	2	0	28	23
	Mono-orientada	41	8	2	3	44	41
	Pasante	151	35	17	7	173	151
Orientación	Distinto de norte	120	27	9	4	140	120
	Tiene norte	95	20	12	6	105	95
Superficie de la vivienda (m²)	Menos de 55	8	2	0	1	9	8
	55-75	71	14	7	3	82	71
	75-90	56	13	7	1	66	56
	Más de 90	80	18	7	5	88	80
Número de estancias	3	17	3	1	2	19	17
	4	87	23	15	2	116	87
	5	101	18	4	5	99	101
	6 o más	9	3	1	1	10	9
Ratio fachada-vivienda	0-25%	4	1	2	0	7	4
	26-50%	137	27	13	7	154	137

		Calidad de aire interior			Confort lumínico		
		Nunca	A veces	Siempre	Poco adecuada	Adec.	Muy adecuada
	51-75%	68	19	6	3	79	68
	76-100%	6	0	0	0	5	6
Generación de calor y ACS	Caldera de gas	148	35	13	4	169	148
	Otros sistemas	67	12	8	6	76	67
Estado de conservación del edificio	No rehabilitado	189	41	20	7	228	189
	Rehabilitado	26	6	1	3	17	26
Número de personas	1	63	7	8	3	71	63
	2	58	17	3	2	67	58
	3	38	8	6	1	47	38
	4	32	7	2	0	36	32
	5	19	6	2	4	18	19
	6	5	1	0	0	5	5
	más de 6	0	1	0	0	1	0
Perfil social	1a<75	64	7	7	3	71	64
	2a	37	9	1	1	39	37
	2a_1c	17	3	2	0	20	17
	2a_2c	18	6	2	0	24	18
	2a_3c	10	3	1	1	12	10
	1a_c	19	10	1	0	30	19
	3a	33	5	6	3	35	33
	3a_c	17	4	1	2	14	17
Menores de 5 años en la vivienda	No	174	40	19	7	202	174
	Sí	41	7	2	3	43	41
Mayores de 75 años en la vivienda	No	209	46	21	10	239	209
	Sí	6	1	0	0	6	6
Ingresos (€)	Menos de 800	61	13	9	2	80	61
	800-1000	77	18	6	3	96	77
	1000-1200	12	2	1	1	8	12
	Más de 1200	65	14	5	4	61	65

		Confort acústico			Existencia de humedades		Existencia de infiltraciones	
		Nunca	A veces	Siempre	No	Sí	No	Sí
Zona climática	C	97	42	39	147	4	166	12
	D	56	29	20	99	6	92	13
Compacidad urbana (m³/m²)	0-1	39	15	12	65	1	62	4
	1-5	50	25	18	88	5	80	13
	5-7,5	17	6	11	34	0	34	0
	7,5-10	47	25	18	86	4	82	8
Ruido urbano (dBA)	<55	11	5	4	20	0	20	0
	55-60	45	22	18	82	3	79	6
	60-65	63	33	21	110	7	102	15
	65-70	34	11	16	61	0	57	4
Edad de la edificación	1981-2007	33	22	13	66	2	61	7
	2008-2020	120	49	46	207	8	197	18
Tipología edificatoria	Bloque compacto	20	7	8	35	0	31	4
	Bloque lineal	40	21	16	72	5	64	13
	Manzana abierta	29	12	6	46	1	47	0
	Manzana cerrada	64	31	29	120	4	116	8
Existencia de patio de luces	No	123	59	49	222	9	210	21
	Sí	30	12	10	51	1	48	4
Posición relativa en el edificio	Extremo inferior	22	11	11	42	2	39	5
	Intermedio	105	49	41	188	7	178	17
	Extremo superior	26	11	7	43	1	41	3
Tipología de la vivienda	Esquina	15	7	7	26	3	27	2
	Mono-orientada	32	13	6	50	1	47	4
	Pasante	106	51	46	197	6	184	19
Orientación	Distinto de norte	90	35	31	153	3	148	8
	Tiene norte	63	36	28	120	7	110	17
Superficie de la vivienda (m²)	Menos de 55	4	3	3	10	0	9	1
	55-75	57	17	18	90	2	86	6
	75-90	43	22	11	72	4	71	5
	Más de 90	49	29	27	101	4	92	13
Número de estancias	3	11	5	5	21	0	20	1
	4	77	23	25	123	2	117	8
	5	60	40	23	115	8	109	14
	6 o más	5	2	6	13	0	11	2
Ratio fachada-vivienda	0-25%	3	3	1	7	0	7	0
	26-50%	96	43	38	172	5	160	17

		Confort acústico			Existencia de humedades		Existencia de infiltraciones	
		Nunca	A veces	Siempre	No	Sí	No	Sí
	51-75%	51	24	18	88	5	87	6
	76-100%	3	1	2	6	0	4	2
Generación de calor y ACS	Caldera de gas	101	49	46	189	7	175	21
	Otros sistemas	52	22	13	84	3	83	4
Estado de conservación del edificio	No rehabilitado	138	62	50	242	8	232	18
	Rehabilitado	15	9	9	31	2	26	7
Número de personas	1	45	11	22	78	0	73	5
	2	42	23	13	76	2	74	4
	3	26	13	13	48	4	46	6
	4	24	11	6	39	2	38	3
	5	12	11	4	25	2	21	6
	6	3	2	1	6	0	5	1
	más de 6	1	0	0	1	0	1	0
Perfil social	1a<75	45	12	21	78	0	73	5
	2a	22	17	8	45	2	45	2
	2a_1c	9	4	9	22	0	18	4
	2a_2c	17	5	4	25	1	25	1
	2a_3c	5	8	1	13	1	13	1
	1a_c	23	5	2	30	0	29	1
	3a	21	11	12	41	3	39	5
	3a_c	11	9	2	19	3	16	6
Menores de 5 años en la vivienda	No	128	57	48	227	6	217	16
	Sí	25	14	11	46	4	41	9
Mayores de 75 años en la vivienda	No	147	71	58	226	10	251	25
	Sí	6	0	1	7	0	7	0
Ingresos (€)	Menos de 800	46	14	23	82	1	79	4
	800-1000	57	25	19	99	2	99	2
	1000-1200	7	4	4	14	1	12	3
	Más de 1200	43	28	13	78	6	68	16

		Ocupación mañana		Ocupación tarde		Ocupación noche	
		No	Sí	No	Sí	No	Sí
Zona climática	C	91	87	12	166	1	177
	D	55	50	6	99	0	105
Compacidad urbana (m³/m²)	0-1	40	26	6	60	0	66
	1-5	48	45	5	88	0	93
	5-7,5	14	20	3	31	0	34
	7,5-10	44	46	4	86	1	89
Ruido urbano (dBA)	<55	10	10	0	20	0	20
	55-60	45	40	3	82	0	85
	60-65	55	62	7	110	1	116
	65-70	36	25	8	53	0	61
Edad de la edificación	1981-2007	28	40	6	62	0	68
	2008-2020	118	97	12	203	1	214
Tipología edificatoria	Bloque compacto	22	13	4	31	0	35
	Bloque lineal	40	37	3	74	0	77
	Manzana abierta	26	21	4	43	0	47
	Manzana cerrada	58	66	7	117	1	123
Existencia de patio de luces	No	114	117	14	217	1	230
	Sí	32	20	4	48	0	52
Posición relativa en el edificio	Extremo inferior	24	20	2	42	1	43
	Intermedio	102	93	16	179	0	495
	Extremo superior	20	24	0	44	0	44
Tipología de la vivienda	Esquina	14	15	3	28	0	29
	Mono-orientada	32	19	1	48	0	51
	Pasante	100	103	14	189	1	202
Orientación	Distinto de norte	81	75	11	145	0	156
	Tiene norte	65	62	7	120	1	126
Superficie de la vivienda (m²)	Menos de 55	8	2	3	7	0	10
	55-75	53	39	5	87	0	92
	75-90	38	38	3	73	0	76
	Más de 90	47	58	7	98	1	104
Número de estancias	3	17	4	3	18	0	21
	4	66	59	8	117	0	125
	5	57	66	5	118	1	122
	6 o más	6	7	1	12	0	13
Ratio fachada-vivienda	0-25%	3	4	0	7	0	7
	26-50%	104	73	11	166	0	176

		Ocupación mañana		Ocupación tarde		Ocupación noche	
		No	Sí	No	Sí	No	Sí
	51-75%	37	56	7	86	1	93
	76-100%	2	4	0	6	0	6
Generación de calor y ACS	Caldera de gas	94	102	16	180	0	196
	Otros sistemas	52	35	2	85	1	86
Estado de conservación del edificio	No rehabilitado	131	119	16	234	1	249
	Rehabilitado	15	18	2	31	0	33
Número de personas	1	50	28	10	68	1	77
	2	32	46	2	76	0	78
	3	30	22	6	46	0	52
	4	20	21	0	41	0	41
	5	13	14	0	27	0	27
	6	1	5	0	6	0	6
	más de 6	0	1	0	1	0	1
	Perfil social	1a<75	50	28	10	68	1
	2a	20	27	2	45	0	47
	2a_1c	14	8	3	19	0	22
	2a_2c	15	11	0	26	0	26
	2a_3c	5	9	0	14	0	14
	1a_c	11	19	2	28	0	30
	3a	21	23	0	44	0	44
	3a_c	10	12	1	21	0	22
Menores de 5 años en la vivienda	No	119	114	15	218	1	232
	Sí	27	23	3	47	0	50
Mayores de 75 años en la vivienda	No	146	130	18	258	1	275
	Sí	0	7	0	7	0	7
Ingresos (€)	Menos de 800	47	36	6	77	0	83
	800-1000	57	44	6	95	0	101
	1000-1200	10	5	1	14	0	15
	Más de 1200	32	52	5	79	1	83

		Uso del sistema de calefacción		
		Sin sistema de calefacción	Uso de otros aparatos teniendo calefacción	Uso normal de la calefacción
Zona climática	C	9	35	134
	D	2	20	83
Compacidad urbana (m³/m²)	0-1	1	12	53
	1-5	6	17	70
	5-7,5	1	4	29
	7,5-10	3	22	65
Ruido urbano (dBA)	<55	1	4	15
	55-60	2	18	65
	60-65	2	27	88
	65-70	6	6	49
Edad de la edificación	1981-2007	2	13	53
	2008-2020	9	42	164
Tipología edificatoria	Bloque compacto	1	6	28
	Bloque lineal	6	9	62
	Manzana abierta	0	14	33
	Manzana cerrada	4	26	94
Existencia de patio de luces	No	9	44	178
	Sí	2	11	39
Posición relativa en el edificio	Extremo inferior	1	8	35
	Intermedio	6	44	145
	Extremo superior	4	3	37
Tipología de la vivienda	Esquina	3	6	20
	Mono-orientada	3	12	36
	Pasante	5	37	161
Orientación	Distinto de norte	8	31	117
	Tiene norte	3	24	100
Superficie de la vivienda (m²)	Menos de 55	0	3	7
	55-75	4	18	70
	75-90	2	15	59
	Más de 90	5	19	81
Número de estancias	3	2	6	13
	4	5	19	101
	5	3	28	92
	6 o más	1	2	10
Ratio fachada-vivienda	0-25%	0	2	5

		Uso del sistema de calefacción		
		Sin sistema de calefacción	Uso de otros aparatos teniendo calefacción	Uso normal de la calefacción
	26-50%	6	37	134
	51-75%	5	14	74
	76-100%	0	2	4
Generación de calor y ACS	Caldera de gas	8	12	176
	Otros sistemas	3	43	41
Estado de conservación del edificio	No rehabilitado	10	52	188
	Rehabilitado	1	3	29
Número de personas	1	4	22	52
	2	5	12	61
	3	0	10	42
	4	2	4	35
	5	0	6	21
	6	0	0	6
	más de 6	0	1	0
	Perfil social	1a<75	4	22
2a		2	9	36
2a_1c		0	0	22
2a_2c		2	0	24
2a_3c		0	2	12
1a_c		3	9	18
3a		0	10	34
3a_c		0	3	19
Menores de 5 años en la vivienda	No	11	52	170
	Sí	0	3	47
Mayores de 75 años en la vivienda	No	11	53	212
	Sí	0	2	5
Ingresos (€)	Menos de 800	2	8	73
	800-1000	2	24	75
	1000-1200	0	1	14
	Más de 1200	7	22	55

		Gasto medio mensual en energía				
		< 30	30-60	60-90	90-130	> 130
Zona climática	C	21	97	40	16	4
	D	11	56	21	13	4
Compacidad urbana (m³/m²)	0-1	8	35	19	3	1
	1-5	15	45	18	12	3
	5-7,5	2	26	5	1	0
	7,5-10	7	47	19	13	4
Ruido urbano (dBA)	<55	2	8	3	5	2
	55-60	6	50	18	10	1
	60-65	12	61	27	12	5
	65-70	12	34	13	2	0
Edad de la edificación	1981-2007	9	35	15	8	1
	2008-2020	23	118	46	21	7
Tipología edificatoria	Bloque compacto	7	16	11	1	0
	Bloque lineal	11	43	11	9	3
	Manzana abierta	5	21	15	5	1
	Manzana cerrada	9	73	24	14	4
Existencia de patio de luces	No	24	128	47	24	8
	Sí	8	25	14	5	0
Posición relativa en el edificio	Extremo inferior	6	23	8	4	3
	Intermedio	21	104	46	19	5
	Extremo superior	5	26	7	6	0
Tipología de la vivienda	Esquina	4	19	5	1	0
	Mono-orientada	10	29	7	4	1
	Pasante	18	105	49	24	7
Orientación	Distinto de norte	21	88	32	13	2
	Tiene norte	11	65	29	16	6
Superficie de la vivienda (m²)	Menos de 55	1	8	1	0	0
	55-75	18	47	19	6	2
	75-90	3	46	20	6	1
	Más de 90	10	52	21	17	5
Número de estancias	3	4	13	3	0	1
	4	21	75	22	5	2
	5	6	59	34	22	2
	6 o más	1	5	2	2	3
Ratio fachada-vivienda	0-25%	1	5	0	1	0
	26-50%	20	86	42	21	8
	51-75%	11	56	19	7	0

		Gasto medio mensual en energía				
		< 30	30-60	60-90	90-130	> 130
	76-100%	0	6	0	0	0
Generación de calor y ACS	Caldera de gas	25	121	38	10	2
	Otros sistemas	7	32	23	19	6
Estado de conservación del edificio	No rehabilitado	30	132	54	26	8
	Rehabilitado	2	21	7	3	0
Número de personas	1	17	41	13	5	2
	2	11	47	20	0	0
	3	1	29	13	9	0
	4	3	17	9	12	0
	5	0	15	4	3	5
	6	0	4	1	0	1
	más de 6	0	0	1	0	0
Perfil social	1a<75	17	42	13	5	1
	2a	5	27	15	0	0
	2a_1c	2	14	3	3	0
	2a_2c	2	7	7	10	0
	2a_3c	0	10	2	2	0
	1a_c	5	14	8	1	2
	3a	1	26	9	6	3
	3a_c	0	13	4	2	3
Menores de 5 años en la vivienda	No	30	124	54	20	5
	Sí	2	29	7	9	3
Mayores de 75 años en la vivienda	No	31	151	59	27	8
	Sí	1	2	2	2	0
Ingresos (€)	Menos de 800	8	44	21	10	0
	800-1000	10	56	17	11	7
	1000-1200	0	6	7	2	0
	Más de 1200	14	47	16	6	1

Anexo 5. Asociaciones entre las variables del estudio

En las dos fases de la investigación se han estudiado las posibles asociaciones e independencias entre distintas variables de la vivienda y los hogares, así como las variables del confort percibido, uso de la vivienda y los parámetros monitorizados. La Figura 48 recoge de forma gráfica las asociaciones detectadas.

Como se observa, las características espaciales presentan asociaciones con las variables de percepción y los parámetros ambientales y de consumo monitorizados. En cambio, como se concluye en la fase 2 de la investigación, no se observan asociaciones claras entre las características sociales de los hogares y su comportamiento energético monitorizado.

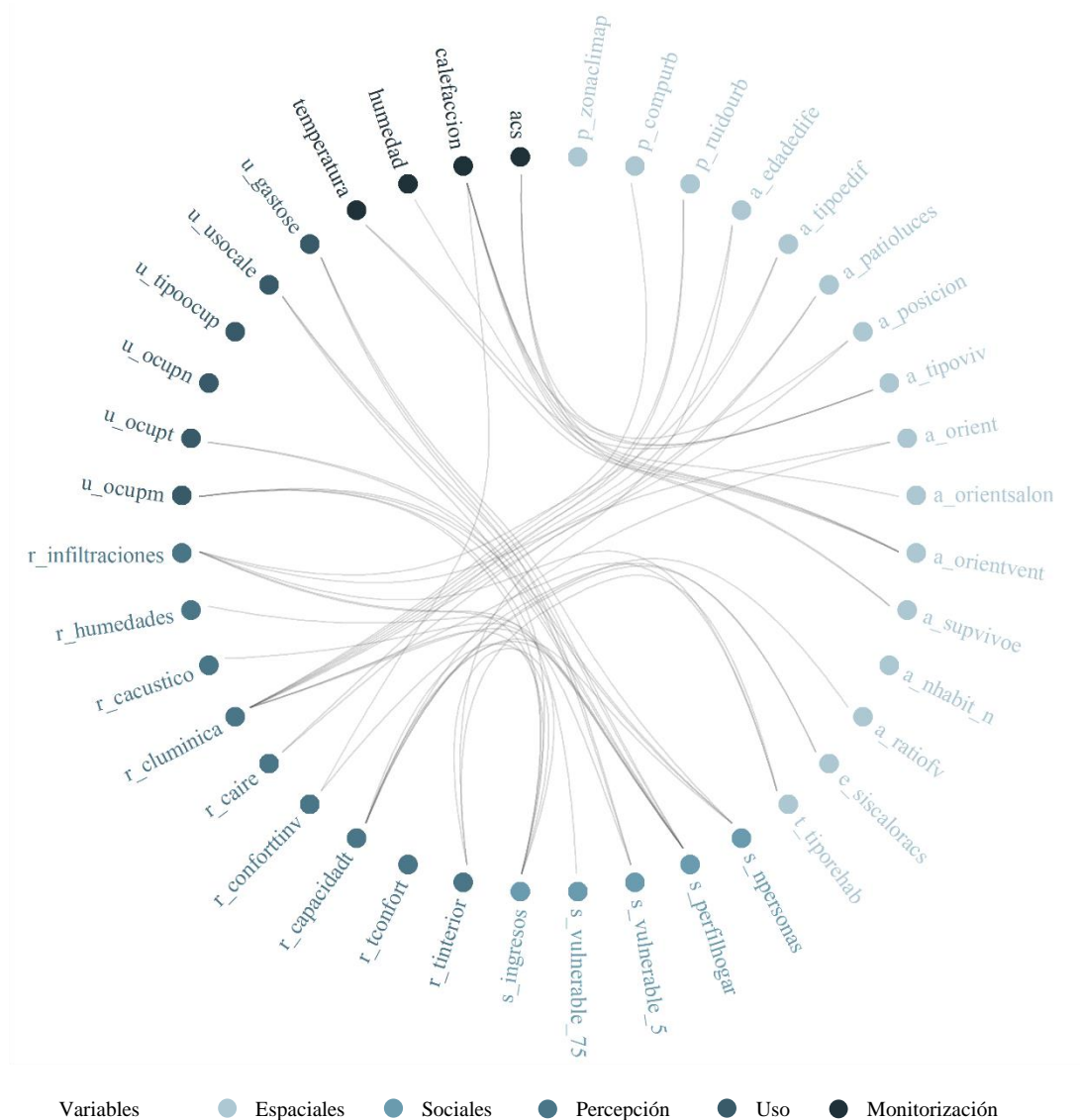


Figura 48. Diagrama de las asociaciones entre las variables del estudio

Anexo 6. Descripción de las agrupaciones

Los perfiles de comportamiento obtenidos en la segunda fase de la investigación pueden emplearse para su aplicación en programas de simulación energética de edificios. De este modo, sería posible calibrar el modelo de simulación de forma que refleje con mayor detalle los consumos reales del edificio. A continuación, se recogen una serie de tablas con los datos relativos al consumo de calefacción y al comportamiento de las personas.

TABLA 36. RESULTADOS MEDIOS DIARIOS DE TEMPERATURA Y CONSUMO DE CALEFACCIÓN

Clúster	Tmed ^a	Tmin	Tmax	Cmean	Cmin	Cmax
1	18.62	18.27	19.02	0.99	0.57	1.42
2	17.93	17.51	18.32	0.50	0.32	0.70
3	18.57	18.04	19.05	0.21	0.12	0.31
4	19.61	18.42	20.54	1.02	0.35	1.68
5	18.96	18.35	19.72	0.43	0.07	1.51
6	17.82	17.43	18.24	0.77	0.18	1.34

^a Tmed: temperatura media (°C); Tmin: temperatura mínima (°C); Tmax: temperatura máxima (°C); Cmean: consumo de calefacción medio (kWh); Cmin: consumo mínimo de calefacción (kWh); Cmax: consumo máximo de calefacción (kWh).

TABLA 37. NÚMERO DE PERSONAS EN LA VIVIENDA POR GRUPO

Nº personas (%)	Clúster 1	Clúster 2	Clúster 3	Clúster 4	Clúster 5	Clúster 6
1	16.7	23.1	5.9	16.7	0	33.3
2	33.3	38.5	17.6	33.3	0	33.3
3	33.3	7.7	29.4	0	33.3	0
4	0	15.4	23.5	16.7	50	33.3
Más de 4	16.7	15.4	23.5	33.3	16.7	0
media	2.7	2.6	3.4	3.2	4.0	2.3
sd ^a	1.25	1.39	1.19	1.57	1.00	1.25

^a sd: desviación estándar.

TABLA 38. PORCENTAJE DE PRESENCIA U OCUPACIÓN DE LA VIVIENDA

Hora	Clúster 1	Clúster 2	Clúster 3	Clúster 4	Clúster 5	Clúster 6
0:00	100%	100%	100%	92%	100%	100%
1:00	100%	100%	100%	92%	100%	100%
2:00	100%	100%	100%	92%	100%	100%
3:00	100%	100%	100%	92%	100%	100%
4:00	100%	100%	100%	92%	100%	100%

Hora	Clúster 1	Clúster 2	Clúster 3	Clúster 4	Clúster 5	Clúster 6
5:00	100%	100%	100%	92%	100%	100%
6:00	100%	100%	100%	92%	100%	100%
7:00	33%	33%	30%	52%	17%	29%
8:00	33%	33%	30%	52%	17%	29%
9:00	33%	33%	30%	52%	17%	29%
10:00	33%	33%	30%	52%	17%	29%
11:00	33%	33%	30%	52%	17%	29%
12:00	33%	33%	30%	52%	17%	29%
13:00	33%	33%	30%	52%	17%	29%
14:00	33%	33%	30%	52%	17%	29%
15:00	95%	92%	87%	92%	65%	96%
16:00	95%	92%	87%	92%	65%	96%
17:00	95%	92%	87%	92%	65%	96%
18:00	95%	92%	87%	92%	65%	96%
19:00	95%	92%	87%	92%	65%	96%
20:00	95%	92%	87%	92%	65%	96%
21:00	95%	92%	87%	92%	65%	96%
22:00	95%	92%	87%	92%	65%	96%
23:00	100%	100%	100%	92%	100%	100%

TABLA 39. CONSUMO DIARIO DE AGUA CALIENTE SANITARIA

	Clúster 1	Clúster 2	Clúster 3	Clúster 4	Clúster 5	Clúster 6
Media (m ³)	0.17	0.11	0.11	0.09	0.12	0.16
sd ^a	0.10	0.08	0.10	0.08	0.10	0.12

^a sd: desviación estándar.

TABLA 40. TEMPERATURAS DE ACTIVACIÓN Y DE FUNCIONAMIENTO (*SET-BACK* Y *SET-POINT*)

Clúster	Hora	Temperatura de activación		Hora	Temperatura de funcionamiento	
		Media (°C)	sd ^a		Media (°C)	sd
C1	7:00	18.27	0.4	16:00	19.02	0.63
C2	7:00	17.51	0.33	16:00	18.32	0.65
C3	8:00	18.05	0.55	23:00	19	0.56
C4	8:00	18.42	0.57	0:00	20.54	0.53
C5	10:00	18.35	0.48	23:00	19.72	0.54
C6	7:00	17.43	0.3	16:00	18.24	0.57

^a sd: desviación estándar.

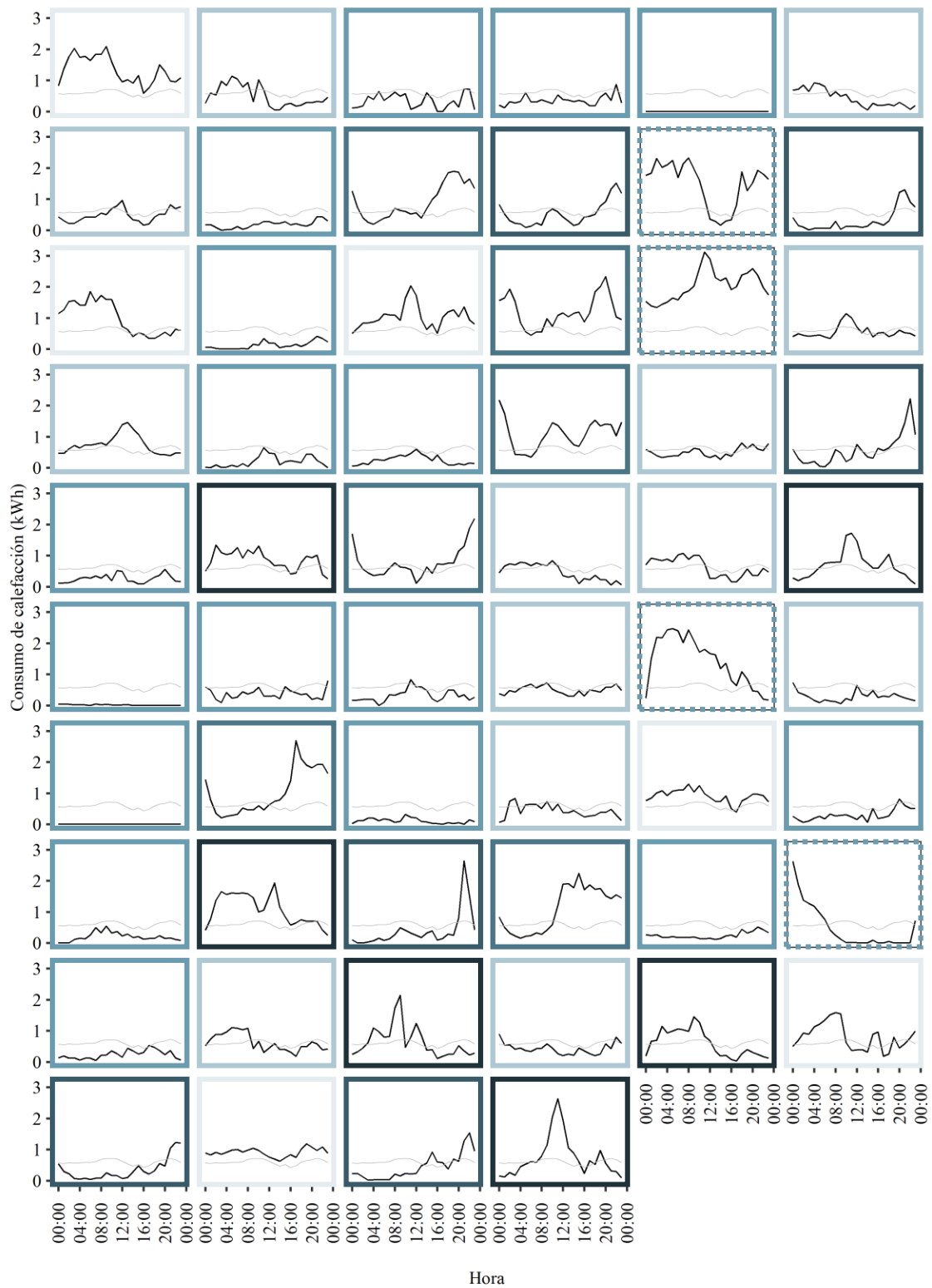
TABLA 41. MEDIA HORARIA DEL CONSUMO Y USO DE CALEFACCIÓN POR CLÚSTER

hora	Clúster											
	C1		C2		C3		C4		C5		C6	
	cale ^a	uso	cale	uso	cale	uso	cale	uso	cale	uso	cale	uso
00:00	0.77	1	0.51	0.5	0.13	0.5	1.49	1	0.45	0.5	0.30	0.5
01:00	0.94	1	0.52	0.5	0.12	0.5	1.04	1	0.25	0.5	0.47	0.5
02:00	1.16	1	0.59	0.5	0.12	0.5	0.76	1	0.15	0.5	0.73	0.5
03:00	1.21	1	0.59	0.5	0.12	0.5	0.52	0.5	0.08	0.5	0.83	1
04:00	1.17	1	0.59	0.5	0.16	0.5	0.37	0.5	0.10	0.5	0.92	1
05:00	1.23	1	0.65	0.5	0.18	0.5	0.36	0.5	0.08	0.5	0.97	1
06:00	1.34	1	0.65	0.5	0.15	0.5	0.35	0.5	0.07	0.5	1.01	1
07:00	1.33	1	0.61	0.5	0.21	0.5	0.50	0.5	0.12	0.5	0.96	1
08:00	1.42	1	0.64	0.5	0.21	0.5	0.61	0.5	0.27	0.5	1.18	1
09:00	1.37	1	0.60	0.5	0.26	0.5	0.71	0.5	0.33	0.5	1.34	1
10:00	1.28	1	0.70	0.5	0.27	0.5	0.77	1	0.31	0.5	1.29	1
11:00	1.10	1	0.58	0.5	0.31	0.5	0.86	1	0.29	0.5	1.33	1
12:00	0.90	1	0.50	0.5	0.26	0.5	0.92	1	0.31	0.5	1.28	1
13:00	0.74	0.5	0.42	0.5	0.25	0.5	0.89	1	0.28	0.5	0.97	1
14:00	0.60	0.5	0.39	0.5	0.19	0.5	0.96	1	0.30	0.5	0.67	0.5
15:00	0.84	1	0.41	0.5	0.22	0.5	1.08	1	0.43	0.5	0.55	0.5
16:00	0.64	0.5	0.32	0.5	0.16	0.5	1.15	1	0.38	0.5	0.33	0.5
17:00	0.57	0.5	0.32	0.5	0.17	0.5	1.56	1	0.35	0.5	0.46	0.5
18:00	0.76	1	0.38	0.5	0.20	0.5	1.64	1	0.40	0.5	0.60	0.5
19:00	1.00	1	0.40	0.5	0.25	0.5	1.61	1	0.62	0.5	0.65	0.5
20:00	0.89	1	0.46	0.5	0.26	0.5	1.68	1	0.83	1	0.58	0.5
21:00	0.88	1	0.43	0.5	0.29	0.5	1.53	1	1.51	1	0.50	0.5
22:00	0.88	1	0.44	0.5	0.27	0.5	1.51	1	1.49	1	0.28	0.5
23:00	0.84	1	0.41	0.5	0.19	0.5	1.50	1	0.93	1	0.18	0.5

^a cale: consumo de calefacción (kWh); uso: proporción del uso de calefacción (0.5 – 1).

TABLA 42. CONSUMO DE CALEFACCIÓN ANUAL Y POR SUPERFICIE DE VIVIENDA

	Clúster 1	Clúster 2	Clúster 3	Clúster 4	Clúster 5	Clúster 6
Consumo total 2021(kWh)	3669.83	1804.77	1066.65	4472.5	1580.67	2662.83
Sup. Viv. (m ²)	88.50	91.57	82.26	98.68	87.86	98.39
Consumo total 2021 (kWh/m ² año)	41.47	19.71	12.98	45.32	17.99	27.06



— Consumo medio de calefacción — Consumo medio de calefacción de la muestra
 — Clúster 1 — Clúster 2 — Clúster 3 — Clúster 4 — Clúster 5 — Clúster 6 — ··· Valores atípicos

Figura 49. Media horaria de consumo de calefacción por vivienda y clúster para el periodo de invierno

Bibliografía

- [1] J. Groezinger, T. Boermans, A. John, J. Seehusen, F. Wehringer, and M. Scherberich, "Overview of Member States information on NZEBs," 2014. Accessed: Jan. 21, 2020. [Online]. Available: www.ecofys.com.
- [2] World Health Organization, *WHO Housing and health guidelines*. 2018.
- [3] N. E. Klepeis *et al.*, "The National Human Activity Pattern Survey (NHAPS): A resource for assessing exposure to environmental pollutants," *J. Expo. Anal. Environ. Epidemiol.*, vol. 11, no. 3, pp. 231–252, Jul. 2001, doi: 10.1038/sj.jea.7500165.
- [4] S. Brasche and W. Bischof, "Daily time spent indoors in German homes - Baseline data for the assessment of indoor exposure of German occupants," *Int. J. Hyg. Environ. Health*, vol. 208, no. 4, pp. 247–253, Jul. 2005, doi: 10.1016/j.ijheh.2005.03.003.
- [5] P. Pluschke and H. Schleichinger, Eds., *Indoor Air Pollution*, vol. 64. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2018.
- [6] A. Azizi *et al.*, "Health-related quality of life and behavior-related lifestyle changes due to the COVID-19 home confinement: Dataset from a Moroccan sample," *Data Br.*, vol. 32, p. 106239, Oct. 2020, doi: 10.1016/J.DIB.2020.106239.
- [7] S. García, A. Parejo, E. Personal, J. Ignacio Guerrero, F. Biscarri, and C. León, "A retrospective analysis of the impact of the COVID-19 restrictions on energy consumption at a disaggregated level," *Appl. Energy*, vol. 287, p. 116547, Apr. 2021, doi: 10.1016/J.APENERGY.2021.116547.
- [8] D. Cvetković, A. Nešović, and I. Terzić, "Impact of people's behavior on the energy sustainability of the residential sector in emergency situations caused by COVID-19," *Energy Build.*, vol. 230, p. 110532, Jan. 2021, doi: 10.1016/J.ENBUILD.2020.110532.
- [9] "Entrevista a Alex Mitxelena sobre el papel que nuestras casas han jugado durante la crisis sanitaria," *Hala Bedi*, Jun. 10, 2020. <https://halabedi.eus/es/ciencia-entrevista-a-alex-mitxelena-sobre-el-papel-que-nuestras-casas-han-jugado-durante-la-crisis-sanitaria/> (accessed Jul. 24, 2023).
- [10] "Casas, barrios y ciudades después del coronavirus | Escola Sert," May 29, 2020. <https://www.escolasert.com/es/blog/casas-calles-barrios-y-ciudades-que-curan> (accessed Jul. 24, 2023).
- [11] B. Gómez Urzaiz, "Una encuesta revela los fallos de las casas españolas descubiertos en la cuarentena: 'Oigo al vecino hasta cuando va al baño,'" *El País*, May 01, 2020. https://elpais.com/elpais/2020/04/30/icon_design/1588260675_905194.html (accessed Jul. 24, 2023).
- [12] S. López Letón, "Crisis del coronavirus: Las vergüenzas de los pisos españoles quedan al descubierto," *El País*, Apr. 25, 2020. <https://elpais.com/economia/2020-04-24/las-verguenzas-de-los-pisos-espanoles-quedan-al-descubierto.html> (accessed Jul. 24, 2023).
- [13] Fernando Peinado, "Más de dos meses confinados en 'infraviviendas,'" *El País*, 2020. <https://elpais.com/espana/madrid/2020-05-22/mas-de-dos-meses-confinados-en-infraviviendas.html> (accessed Jul. 24, 2023).
- [14] H. Patel and S. D. Green, "Beyond the performance gap: reclaiming building appraisal through archival research," *Build. Res. Inf.*, vol. 48, no. 5, pp. 469–484, 2020, doi: 10.1080/09613218.2019.1672517.
- [15] X. Bonnefoy, "Inadequate housing and health: An overview," *Int. J. Environ. Pollut.*, vol. 30, no. 3–4, pp. 411–429, 2007, doi: 10.1504/IJEP.2007.014819.
- [16] A. Zalejska-Jonsson, "Perceived acoustic quality and effect on occupants' satisfaction in green and conventional residential buildings," *Buildings*, vol. 9, no. 1, p. 24, Jan. 2019, doi: 10.3390/buildings9010024.
- [17] Universitat Politècnica de Catalunya, "Energy Game for Awareness of energy efficiency in social housing communities. EnerGAware Project," 2018. <https://cordis.europa.eu/project/id/649673> (accessed Jan. 18, 2023).
- [18] Centro de Estudios de Materiales y Control de Obra S.A., "end-users Tools to Empower and raise Awareness of Behavioural CHange towards EneRgy efficiency | eTEACHER Project | H2020," 2021. <https://cordis.europa.eu/project/id/768738> (accessed Jan. 18, 2023).

- [19] P. Fraternali *et al.*, “EnCOMPASS - An integrative approach to behavioural change for energy saving,” *GloTS 2017 - Glob. Internet Things Summit, Proc.*, Aug. 2017, doi: 10.1109/GIOTS.2017.8016256.
- [20] F. Ascione, N. Bianco, R. F. De Masi, M. Mastellone, G. M. Mauro, and G. P. Vanoli, “The role of the occupant behavior in affecting the feasibility of energy refurbishment of residential buildings: Typical effective retrofits compromised by typical wrong habits,” *Energy Build.*, vol. 223, p. 110217, Sep. 2020, doi: 10.1016/j.enbuild.2020.110217.
- [21] H. Yoshino, T. Hong, and N. Nord, “IEA EBC annex 53: Total energy use in buildings—Analysis and evaluation methods,” *Energy Build.*, vol. 152, pp. 124–136, Oct. 2017, doi: 10.1016/j.enbuild.2017.07.038.
- [22] E. Delzendeh, S. Wu, A. Lee, and Y. Zhou, “The impact of occupants’ behaviours on building energy analysis: A research review,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 80. Elsevier Ltd, pp. 1061–1071, 2017, doi: 10.1016/j.rser.2017.05.264.
- [23] S. Coleman, M. F. Touchie, J. B. Robinson, and T. Peters, “Rethinking performance gaps: A regenerative sustainability approach to built environment performance assessment,” *Sustain.*, vol. 10, no. 12, p. 4829, Dec. 2018, doi: 10.3390/su10124829.
- [24] S. Yang, M. Shipworth, and G. Huebner, “His, hers or both’s? The role of male and female’s attitudes in explaining their home energy use behaviours,” *Energy Build.*, vol. 96, pp. 140–148, Jun. 2015, doi: 10.1016/j.enbuild.2015.03.009.
- [25] Y. Geng, W. Ji, Z. Wang, B. Lin, and Y. Zhu, “A review of operating performance in green buildings: Energy use, indoor environmental quality and occupant satisfaction,” *Energy and Buildings*, vol. 183. Elsevier, pp. 500–514, Jan. 15, 2019, doi: 10.1016/j.enbuild.2018.11.017.
- [26] T. Mamani, R. F. Herrera, F. M. La Rivera, and E. Atencio, “Variables That Affect Thermal Comfort and Its Measuring Instruments: A Systematic Review,” *Sustainability*, vol. 14, no. 3. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, p. 1773, Feb. 04, 2022, doi: 10.3390/su14031773.
- [27] L. Arakawa Martins, V. Soebarto, and T. Williamson, “A systematic review of personal thermal comfort models,” *Building and Environment*, vol. 207. Pergamon, p. 108502, Jan. 01, 2022, doi: 10.1016/j.buildenv.2021.108502.
- [28] O. Guerra-Santin and C. A. Tweed, “In-use monitoring of buildings: An overview of data collection methods,” *Energy Build.*, vol. 93, pp. 189–207, Apr. 2015, doi: 10.1016/j.enbuild.2015.02.042.
- [29] O. Guerra-Santin, N. Romero Herrera, E. Cuerda, and D. Keyson, “Mixed methods approach to determine occupants’ behaviour – Analysis of two case studies,” *Energy Build.*, vol. 130, pp. 546–566, Oct. 2016, doi: 10.1016/j.enbuild.2016.08.084.
- [30] S. Bakaloglou and D. Charlier, “The role of individual preferences in explaining the energy performance gap,” *Energy Econ.*, vol. 104, p. 105611, Dec. 2021, doi: 10.1016/J.ENERCO.2021.105611.
- [31] W. Poortinga, L. Steg, C. Vlek, and G. Wiersma, “Household preferences for energy-saving measures: A conjoint analysis,” *J. Econ. Psychol.*, vol. 24, no. 1, pp. 49–64, Feb. 2003, doi: 10.1016/S0167-4870(02)00154-X.
- [32] J. Yu, G. Cao, W. Cui, Q. Ouyang, and Y. Zhu, “People who live in a cold climate: Thermal adaptation differences based on availability of heating,” *Indoor Air*, vol. 23, no. 4, pp. 303–310, Aug. 2013, doi: 10.1111/ina.12025.
- [33] S. Cozza, J. Chambers, C. Deb, J. L. Scartezzini, A. Schlüter, and M. K. Patel, “Do energy performance certificates allow reliable predictions of actual energy consumption and savings? Learning from the Swiss national database,” *Energy Build.*, vol. 224, Oct. 2020, doi: 10.1016/j.enbuild.2020.110235.
- [34] C. B. Swope and D. Hernández, “Housing as a determinant of health equity: A conceptual model,” *Social Science and Medicine*, vol. 243. Pergamon, p. 112571, Dec. 01, 2019, doi: 10.1016/j.socscimed.2019.112571.
- [35] D. E. Jacobs, “Housing-Related Health Hazards: Assessment and Remediation,” in *Encyclopedia of Environmental Health*, Elsevier, 2019, pp. 522–540.
- [36] A. Singh, L. Daniel, E. Baker, and R. Bentley, “Housing Disadvantage and Poor Mental Health: A Systematic Review,” *Am. J. Prev. Med.*, vol. 57, no. 2, pp. 262–272, Aug. 2019, doi: 10.1016/J.AMEPRE.2019.03.018.
- [37] C. N. B. Grey *et al.*, “The short-term health and psychosocial impacts of domestic energy efficiency investments in low-income areas: a controlled before and after study,” *BMC Public Health*, vol. 17, no. 1, pp. 1–10, Dec. 2017, doi: 10.1186/s12889-017-4075-4.
- [38] World Health Organization, “Large analysis and review of European housing and health status (LARES),” Mar. 2007, Accessed: Jun. 16, 2019. [Online]. Available: <http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/Housing->

and-health/activities/the-large-analysis-and-review-of-european-housing-and-health-status-iares-project/large-analysis-and-review-of-european-housing-and-health-status-iares-2007.

- [39] J. Méline, A. Van Hulst, F. Thomas, N. Karusisi, and B. Chaix, "Transportation noise and annoyance related to road traffic in the French RECORD study," *Int. J. Health Geogr.*, vol. 12, no. 1, p. 44, Oct. 2013, doi: 10.1186/1476-072X-12-44.
- [40] M. Santamouris and D. Kolokotsa, "On the impact of urban overheating and extreme climatic conditions on housing, energy, comfort and environmental quality of vulnerable population in Europe," *Energy Build.*, vol. 98, pp. 125–133, Jul. 2015, doi: 10.1016/j.enbuild.2014.08.050.
- [41] J. Terés-Zubiaga, K. Martín, A. Erkoreka, and J. M. Sala, "Field assessment of thermal behaviour of social housing apartments in Bilbao, Northern Spain," *Energy Build.*, vol. 67, pp. 118–135, Dec. 2013, doi: 10.1016/J.ENBUILD.2013.07.061.
- [42] J. D. Healy, *Housing, Fuel Poverty and Health*. Routledge, 2017.
- [43] J. D. Healy, "Excess winter mortality in Europe: a cross country analysis identifying key risk factors," *J. Epidemiol. Community Heal.*, vol. 57, no. 10, pp. 784–789, Oct. 2003, doi: 10.1136/JECH.57.10.784.
- [44] J. Malczewski, "GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview," *Prog. Plann.*, vol. 62, no. 1, pp. 3–65, Jul. 2004, doi: 10.1016/J.PROGRESS.2003.09.002.
- [45] P. Howden-Chapman, N. Roebbel, and E. Chisholm, "Setting Housing Standards to Improve Global Health," *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 14, no. 12, p. 1542, Dec. 2017, doi: 10.3390/ijerph14121542.
- [46] M. Machón, I. Mosquera, I. Larrañaga, U. Martín, and I. Vergara, "Socioeconomic inequalities in health among the elderly population in Spain," *Gaceta Sanitaria*. Elsevier Doyma, Sep. 25, 2019, doi: 10.1016/j.gaceta.2019.06.008.
- [47] M. Santamouris, "Innovating to zero the building sector in Europe: Minimising the energy consumption, eradication of the energy poverty and mitigating the local climate change," *Sol. Energy*, vol. 128, pp. 61–94, Apr. 2016, doi: 10.1016/j.solener.2016.01.021.
- [48] L. Papada and D. Kaliampakos, "Measuring energy poverty in Greece," *Energy Policy*, vol. 94, pp. 157–165, Jul. 2016, doi: 10.1016/J.ENPOL.2016.04.004.
- [49] J. A. Paravantis and M. Santamouris, "An analysis of indoor temperature measurements in low- and very-low-income housing in Athens, Greece," *Adv. Build. Energy Res.*, vol. 10, no. 1, pp. 20–45, Jan. 2016, doi: 10.1080/17512549.2015.1014842.
- [50] World Health Organization, "Environmental health inequalities in Europe. Second assessment report.," 2019. Accessed: Aug. 14, 2020. [Online]. Available: <https://www.euro.who.int/en/publications/abstracts/environmental-health-inequalities-in-europe.-assessment-report>.
- [51] G. Bolte *et al.*, *Environmental Health Inequalities in Europe*. World Health Organization, Regional Office for Europe, 2012.
- [52] E. Diaz Lozano Patino and J. A. Siegel, "Indoor environmental quality in social housing: A literature review," *Building and Environment*, vol. 131. Pergamon, pp. 231–241, Mar. 01, 2018, doi: 10.1016/j.buildenv.2018.01.013.
- [53] J. . Aranda Uson, "Design of methodologies and empirical application for the characterization of social housing and approach for energy vulnerability reduction.," University of Zaragoza, 2018.
- [54] L. Taylor, ""Housing And Health: An Overview Of The Literature, " Health Affairs Health Policy Brief," *Health Aff.*, Jun. 2018, doi: 10.1377/hpb20180313.396577.
- [55] J. Terés Zubiaga, "Energy retrofits in Social Housing Analysis of its thermal behaviour," Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatearen Argitalpen Zerbitzua, 2014.
- [56] A. Santangelo and S. Tondelli, "Occupant behaviour and building renovation of the social housing stock: Current and future challenges," *Energy Build.*, vol. 145, pp. 276–283, Jun. 2017, doi: 10.1016/j.enbuild.2017.04.019.
- [57] Y. Zhao and D. Li, "Multi-domain indoor environmental quality in buildings: A review of their interaction and combined effects on occupant satisfaction," *Build. Environ.*, vol. 228, p. 109844, Jan. 2023, doi: 10.1016/j.buildenv.2022.109844.
- [58] F. Zhang and R. de Dear, "Impacts of demographic, contextual and interaction effects on thermal sensation—Evidence from a global database," *Build. Environ.*, vol. 162, p. 106286, Sep. 2019, doi: 10.1016/j.buildenv.2019.106286.

- [59] A. Alonso, J. Patricio, R. Suárez, and R. Escandón, "Acoustical retrofit of existing residential buildings: Requirements and recommendations for sound insulation between dwellings in Europe and other countries worldwide," *Build. Environ.*, vol. 174, May 2020, doi: 10.1016/j.buildenv.2020.106771.
- [60] P. Xue, C. M. Mak, H. D. Cheung, and J. Chao, "Post-occupancy evaluation of sunshades and balconies' effects on luminous comfort through a questionnaire survey," *Build. Serv. Eng. Res. Technol.*, vol. 37, no. 1, pp. 51–65, Jan. 2016, doi: 10.1177/0143624415596472.
- [61] H. Villeneuve and W. O'Brien, "Listen to the guests: Text-mining Airbnb reviews to explore indoor environmental quality," *Build. Environ.*, vol. 169, Feb. 2020, doi: 10.1016/j.buildenv.2019.106555.
- [62] UNE-EN, *UNE-EN 16798-1 Energy performance of buildings Ventilation for buildings*. 2020.
- [63] R. and A.-C. E. (ASHRAE) The American Society of Heating, *ASHRAE Standard 55: Thermal environmental conditions for human occupancy*, vol. 7. 2017.
- [64] ISO, *ISO 7730: Ergonomics of the thermal environment Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria*, vol. 3. 2005.
- [65] World Health Organization, "Air quality guidelines for Europe, 2nd ed.," 2000. doi: 10.1016/0269-7491(88)90163-7.
- [66] "Código Técnico de la Edificación, Documento Básico Protección frente al ruido (DB-HR)," 2019.
- [67] A. Zalejska-Jonsson and M. Wilhelmsson, "Impact of perceived indoor environment quality on overall satisfaction in Swedish dwellings," *Build. Environ.*, vol. 63, pp. 134–144, May 2013, doi: 10.1016/j.buildenv.2013.02.005.
- [68] D. Vakalis, M. Touchie, E. Tzekova, H. L. MacLean, and J. A. Siegel, "Indoor environmental quality perceptions of social housing residents," *Build. Environ.*, vol. 150, pp. 135–143, Mar. 2019, doi: 10.1016/j.buildenv.2018.12.062.
- [69] M. Ortiz, L. Itard, and P. M. Bluyssen, "Indoor environmental quality related risk factors with energy-efficient retrofitting of housing: A literature review," *Energy Build.*, vol. 221, Aug. 2020, doi: 10.1016/j.enbuild.2020.110102.
- [70] E. Pedersen, J. Borell, Y. Li, and K. Stålné, "Good indoor environmental quality (IEQ) and high energy efficiency in multifamily dwellings: How do tenants view the conditions needed to achieve both?," *Build. Environ.*, vol. 191, p. 107581, Mar. 2021, doi: 10.1016/j.buildenv.2020.107581.
- [71] P. Xue, C. M. Mak, and Z. T. Ai, "A structured approach to overall environmental satisfaction in high-rise residential buildings," *Energy Build.*, vol. 116, pp. 181–189, Mar. 2016, doi: 10.1016/j.enbuild.2016.01.006.
- [72] F. Lolli, A. Maria Coruzzolo, and E. Balugani, "The Indoor Environmental Quality: A TOPSIS-based approach with indirect elicitation of criteria weights," *Saf. Sci.*, vol. 148, p. 105652, Apr. 2022, doi: 10.1016/J.SSCI.2021.105652.
- [73] M. S. Andargie, M. Touchie, and W. O'Brien, "A review of factors affecting occupant comfort in multi-unit residential buildings," *Building and Environment*, vol. 160. Pergamon, p. 106182, Aug. 01, 2019, doi: 10.1016/j.buildenv.2019.106182.
- [74] B. Ozariso and H. Altan, "Regression forecasting of 'neutral' adaptive thermal comfort: A field study investigation in the south-eastern Mediterranean climate of Cyprus," *Build. Environ.*, vol. 202, p. 108013, Sep. 2021, doi: 10.1016/J.BUILDENV.2021.108013.
- [75] L. Desvallées, "Low-carbon retrofits in social housing: Energy efficiency, multidimensional energy poverty, and domestic comfort strategies in southern Europe," *Energy Res. Soc. Sci.*, vol. 85, p. 102413, Mar. 2022, doi: 10.1016/J.ERSS.2021.102413.
- [76] C. M. Calama-González, P. Symonds, Á. L. León-Rodríguez, and R. Suárez, "Optimal retrofit solutions considering thermal comfort and intervention costs for the Mediterranean social housing stock," *Energy Build.*, vol. 259, p. 111915, Mar. 2022, doi: 10.1016/J.ENBUILD.2022.111915.
- [77] Mc. C. Guerrero Delgado, J. Sánchez Ramos, T. R. Palomo Amores, D. Castro Medina, and S. Álvarez Domínguez, "Improving habitability in social housing through passive cooling: a case study in Mengíbar (Jaén, Spain)," *Sustain. Cities Soc.*, vol. 78, p. 103642, Mar. 2022, doi: 10.1016/J.SCS.2021.103642.
- [78] J. H. K. Lai and F. W. H. Yik, "Perception of importance and performance of the indoor environmental quality of high-rise residential buildings," *Build. Environ.*, vol. 44, no. 2, pp. 352–360, Feb. 2009, doi: 10.1016/j.buildenv.2008.03.013.
- [79] H. P. Tuniki, A. Jurelionis, and P. Fokaides, "A review on the approaches in analysing energy-related occupant behaviour research," *Journal of Building Engineering*, vol. 40. Elsevier, p. 102630, Aug. 01, 2021, doi: 10.1016/j.job.2021.102630.

- [80] S. Karjalainen, "Thermal comfort and gender: A literature review," *Indoor Air*, vol. 22, no. 2. John Wiley & Sons, Ltd, pp. 96–109, Apr. 01, 2012, doi: 10.1111/j.1600-0668.2011.00747.x.
- [81] M. Indraganti and K. D. Rao, "Effect of age, gender, economic group and tenure on thermal comfort: A field study in residential buildings in hot and dry climate with seasonal variations," *Energy Build.*, vol. 42, no. 3, pp. 273–281, Mar. 2010, doi: 10.1016/j.enbuild.2009.09.003.
- [82] A. Zalejska-Jonsson, "Evaluation of low-energy and conventional residential buildings from occupants' perspective," *Build. Environ.*, vol. 58, pp. 135–144, Dec. 2012, doi: 10.1016/j.buildenv.2012.07.002.
- [83] M. Schweiker *et al.*, "Review of multi-domain approaches to indoor environmental perception and behaviour," *Build. Environ.*, vol. 176, Jun. 2020, doi: 10.1016/j.buildenv.2020.106804.
- [84] H. Jiang, M. Wang, and X. Shu, "Scientometric analysis of post-occupancy evaluation research: Development, frontiers and main themes," *Energy Build.*, vol. 271, p. 112307, Sep. 2022, doi: 10.1016/j.enbuild.2022.112307.
- [85] M. Lin, A. Ali, M. S. Andargie, and E. Azar, "Multidomain Drivers of Occupant Comfort, Productivity, and Well-Being in Buildings: Insights from an Exploratory and Explanatory Analysis," *J. Manag. Eng.*, vol. 37, no. 4, p. 04021020, Mar. 2021, doi: 10.1061/(asce)me.1943-5479.0000923.
- [86] A. C. K. Lai, K. W. Mui, L. T. Wong, and L. Y. Law, "An evaluation model for indoor environmental quality (IEQ) acceptance in residential buildings," *Energy Build.*, vol. 41, no. 9, pp. 930–936, Sep. 2009, doi: 10.1016/J.ENBUILD.2009.03.016.
- [87] M. Laskari, S. Karatasou, and M. Santamouris, "A methodology for the determination of indoor environmental quality in residential buildings through the monitoring of fundamental environmental parameters: A proposed Dwelling Environmental Quality Index.," <http://dx.doi.org/10.1177/1420326X16660175>, vol. 26, no. 6, pp. 813–827, Jul. 2016, doi: 10.1177/1420326X16660175.
- [88] A. Serrano-Jiménez, J. Lizana, M. Molina-Huelva, and Á. Barrios-Padura, "Indoor environmental quality in social housing with elderly occupants in Spain: Measurement results and retrofit opportunities," *J. Build. Eng.*, vol. 30, p. 101264, Jul. 2020, doi: 10.1016/j.job.2020.101264.
- [89] L. Godoy-Vaca, E. C. Vallejo-Coral, J. Martínez-Gómez, M. Orozco, and G. Villacreses, "Predicted Medium Vote Thermal Comfort Analysis Applying Energy Simulations with Phase Change Materials for Very Hot-Humid Climates in Social Housing in Ecuador," *Sustain. 2021, Vol. 13, Page 1257*, vol. 13, no. 3, p. 1257, Jan. 2021, doi: 10.3390/SU13031257.
- [90] P. I. Brandão and J. C. G. Lanzinha, "Thermal Comfort Assessment during Winter Season: A Case Study on Portuguese Public Social Housing," *Energies 2021, Vol. 14, Page 6184*, vol. 14, no. 19, p. 6184, Sep. 2021, doi: 10.3390/EN14196184.
- [91] A. Garay, A. Ruiz, and J. Guevara, "Dynamic evaluation of thermal comfort scenarios in a Colombian large-scale social housing project," *Eng. Constr. Archit. Manag.*, vol. 29, no. 5, pp. 1909–1930, May 2022, doi: 10.1108/ECAM-09-2020-0684.
- [92] T. Q. Thach *et al.*, "Associations of perceived indoor environmental quality with stress in the workplace," *Indoor Air*, vol. 30, no. 6, pp. 1166–1177, Nov. 2020, doi: 10.1111/INA.12696.
- [93] A. Kaushik, M. Arif, O. J. Ebohon, H. Arsalan, M. Q. Rana, and L. Obi, "Effect of indoor environmental quality on visual comfort and productivity in office buildings," *J. Eng. Des. Technol.*, vol. ahead-of-p, no. ahead-of-print, 2021, doi: 10.1108/JEDT-09-2021-0474.
- [94] J. Woo, P. Rajagopalan, M. Francis, and P. Garnawat, "An indoor environmental quality assessment of office spaces at an urban Australian university," *Build. Res. Inf.*, vol. 49, no. 8, pp. 842–858, 2021, doi: 10.1080/09613218.2021.1944037/SUPPL_FILE/RBRI_A_1944037_SM1804.PDF.
- [95] E. O. Rasheed, M. Khoshbakht, and G. Baird, "Time spent in the office and workers' productivity, comfort and health: A perception study," *Build. Environ.*, vol. 195, p. 107747, May 2021, doi: 10.1016/J.BUILDENV.2021.107747.
- [96] S. Willems, D. Saelens, and A. Heylighen, "Discrepancies between predicted and actual indoor environmental (dis)comfort: the role of hospitalized patients' adaptation strategies," *Build. Res. Inf.*, 2022, doi: 10.1080/09613218.2022.2038060.
- [97] P. S. Nimlyat, "Indoor environmental quality performance and occupants' satisfaction [IEQPOS] as assessment criteria for green healthcare building rating," *Build. Environ.*, vol. 144, pp. 598–610, Oct. 2018, doi: 10.1016/j.buildenv.2018.09.003.
- [98] P. S. Nimlyat, A. A. Isa, and N. C. Gofwen, "Performance Indicators of Indoor Environmental Quality (IEQ) Assessment in Hospital Buildings : A Confirmatory Factor Analysis (Cf A) Approach," *ATBU J. Environ. Technol.*, vol. 1, no. June 2017, pp. 139–159, Aug. 2017, Accessed: Sep. 07, 2022. [Online]. Available:

<https://www.ajol.info/index.php/atbu/article/view/160322>.

- [99] M. Bughio, T. Schuetze, and W. A. Mahar, "Comparative Analysis of Indoor Environmental Quality of Architectural Campus Buildings' Lecture Halls and its' Perception by Building Users, in Karachi, Pakistan," *Sustain.* 2020, Vol. 12, Page 2995, vol. 12, no. 7, p. 2995, Apr. 2020, doi: 10.3390/SU12072995.
- [100] G. Papadopoulos, E. I. Tolis, and G. Panaras, "IEQ assessment in free-running university classrooms," <https://doi.org/10.1080/23744731.2022.2052519>, 2022, doi: 10.1080/23744731.2022.2052519.
- [101] S. S. Korsavi, A. Montazami, and D. Mumovic, "The impact of indoor environment quality (IEQ) on school children's overall comfort in the UK; a regression approach," *Build. Environ.*, vol. 185, p. 107309, Nov. 2020, doi: 10.1016/J.BUILDENV.2020.107309.
- [102] P. S. Nimlyat, "The impact of indoor environmental quality (IEQ) on patients' health and comfort in Nigeria," *Int. J. Build. Pathol. Adapt.*, 2022, doi: 10.1108/IJBPA-06-2021-0089.
- [103] M. A. Ortiz and P. M. Bluysen, "Profiling office workers based on their self-reported preferences of indoor environmental quality and psychosocial comfort at their workplace during COVID-19," *Build. Environ.*, vol. 211, p. 108742, Mar. 2022, doi: 10.1016/j.buildenv.2021.108742.
- [104] M. Frontczak, R. V. Andersen, and P. Wargoeki, "Questionnaire survey on factors influencing comfort with indoor environmental quality in Danish housing," *Build. Environ.*, vol. 50, pp. 56–64, Apr. 2012, doi: 10.1016/j.buildenv.2011.10.012.
- [105] L. Du *et al.*, "Assessment of indoor environmental quality in existing multi-family buildings in North-East Europe," *Environ. Int.*, vol. 79, pp. 74–84, Jun. 2015, doi: 10.1016/j.envint.2015.03.001.
- [106] E. Diaz Lozano Patiño, D. Vakalis, M. Touchie, E. Tzekova, and J. A. Siegel, "Thermal comfort in multi-unit social housing buildings," *Build. Environ.*, vol. 144, pp. 230–237, Oct. 2018, doi: 10.1016/j.buildenv.2018.08.024.
- [107] H. Yao, X. Cheng, S. Wei, Y. Lv, A. Li, and X. Shen, "Sampling method for long-term monitoring of indoor environmental quality in residential buildings," *Build. Environ.*, vol. 215, p. 108965, May 2022, doi: 10.1016/J.BUILDENV.2022.108965.
- [108] N. Jain, E. Burman, S. Stamp, D. Mumovic, and M. Davies, "Cross-sectoral assessment of the performance gap using calibrated building energy performance simulation," *Energy Build.*, vol. 224, p. 110271, Oct. 2020, doi: 10.1016/j.enbuild.2020.110271.
- [109] R. V. Jones, A. Fuertes, C. Boomsma, and S. Pahl, "Space heating preferences in UK social housing: A socio-technical household survey combined with building audits," *Energy Build.*, vol. 127, pp. 382–398, Sep. 2015, doi: 10.1016/j.enbuild.2016.06.006.
- [110] C. Boomsma, S. Pahl, R. V. Jones, and A. Fuertes, "'Damp in bathroom. Damp in back room. It's very depressing!' exploring the relationship between perceived housing problems, energy affordability concerns, and health and well-being in UK social housing," *Energy Policy*, vol. 106, pp. 382–393, Jul. 2017, doi: 10.1016/j.enpol.2017.04.011.
- [111] F. Ismail, I. L. Jabar, N. A. I. Janipha, and R. Razali, "Measuring the Quality of Life in Low Cost Residential Environment," *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, vol. 168, pp. 270–279, Jan. 2015, doi: 10.1016/j.sbspro.2014.10.232.
- [112] H. Tang, X. Liu, Y. Geng, B. Lin, and Y. Ding, "Assessing the perception of overall indoor environmental quality: Model validation and interpretation," *Energy Build.*, vol. 259, p. 111870, Mar. 2022, doi: 10.1016/J.ENBUILD.2022.111870.
- [113] M. F. Touchie, E. S. Tzekova, J. A. Siegel, B. Purcell, and J. Morier, "Evaluating summertime overheating in multi-unit residential buildings using surveys and in-suite monitoring," in *Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Whole Buildings XIII International Conference*, 2016, vol. 2016-Decem, pp. 135–151, Accessed: Mar. 23, 2020. [Online]. Available: <https://www.mendeley.com/catalogue/25aafae5-2f5b-3206-8ccd-253f40764ba7/>.
- [114] D. H. Gutierrez-Avellanosa and A. Bennadji, "Analysis of indoor climate and occupants' behaviour in traditional Scottish dwellings," in *Energy Procedia*, Nov. 2015, vol. 78, pp. 639–644, doi: 10.1016/j.egypro.2015.11.046.
- [115] C. Jimenez-Bescos and X. Oregi, "Implementing User Behaviour on Dynamic Building Simulations for Energy Consumption," *Environ. Clim. Technol.*, vol. 23, no. 3, pp. 308–318, 2019, doi: <https://doi.org/10.2478/rtuect-2019-0097>.
- [116] G. Flamant, W. Bustamante, C. Schmitt, V. Bunster, and C. Osorio, "Thermal and environmental evaluation of mid-rise social housing retrofit under different climate conditions," *J. Build. Eng.*, vol. 46, p. 103724, Apr. 2022, doi: 10.1016/J.JOBE.2021.103724.
- [117] M. V. Bavaresco, S. D'Oca, E. Ghisi, and R. Lamberts, "Methods used in social sciences that suit energy research: A

- literature review on qualitative methods to assess the human dimension of energy use in buildings,” *Energy and Buildings*, vol. 209. Elsevier Ltd, p. 109702, Feb. 15, 2020, doi: 10.1016/j.enbuild.2019.109702.
- [118] Z. Deme Belafi, T. Hong, and A. Reith, “A critical review on questionnaire surveys in the field of energy-related occupant behaviour,” *Energy Efficiency*, vol. 11, no. 8. Springer, pp. 2157–2177, Dec. 01, 2018, doi: 10.1007/s12053-018-9711-z.
- [119] C. Carpino, D. Mora, and M. De Simone, “On the use of questionnaire in residential buildings. A review of collected data, methodologies and objectives,” *Energy and Buildings*, vol. 186. Elsevier Ltd, pp. 297–318, Mar. 01, 2019, doi: 10.1016/j.enbuild.2018.12.021.
- [120] H. Stopps and M. F. Touchie, “Managing thermal comfort in contemporary high-rise residential buildings: Using smart thermostats and surveys to identify energy efficiency and comfort opportunities,” *Build. Environ.*, vol. 173, p. 106748, Apr. 2020, doi: 10.1016/J.BUILDENV.2020.106748.
- [121] J. K. Day, S. Ruiz, W. O’Brien, and M. Schweiker, “Seeing is believing: an innovative approach to post-occupancy evaluation,” *Energy Effic.*, vol. 13, no. 3, pp. 473–486, Mar. 2020, doi: 10.1007/s12053-019-09817-8.
- [122] B. Atazadeh, L. Halalkhor Mirkalaei, H. Olfat, A. Rajabifard, and D. Shojaei, “Integration of cadastral survey data into building information models,” *Geo-Spatial Inf. Sci.*, vol. 24, no. 3, pp. 387–402, 2021, doi: 10.1080/10095020.2021.1937336.
- [123] D. R. Rangaswamy and K. Ramamurthy, “Evaluation of Eight Thermal Comfort Indices Based on Perception Survey for a Hot–Humid Climate through a Naturally Ventilated Apartment,” *J. Archit. Eng.*, vol. 27, no. 4, p. 04021041, Dec. 2021, doi: 10.1061/(asce)ae.1943-5568.0000508.
- [124] L. Martincigh, F. Bianchi, M. Di Guida, and G. Perrucci, “The occupants’ perspective as catalyst for less energy intensive buildings,” *Energy Build.*, vol. 115, pp. 94–101, Mar. 2016, doi: 10.1016/j.enbuild.2015.04.018.
- [125] H. Polinder *et al.*, “Occupant behavior and modelling, in: Separate Document Volume II, Final Report Annex 53,” 2013.
- [126] T. Hong, D. Yan, S. D’Oca, and C. Chen, “Ten questions concerning occupant behavior in buildings: The big picture,” *Build. Environ.*, vol. 114, pp. 518–530, Mar. 2017, doi: 10.1016/j.buildenv.2016.12.006.
- [127] S. Chen, G. Zhang, X. Xia, Y. Chen, S. Setunge, and L. Shi, “The impacts of occupant behavior on building energy consumption: A review,” *Sustain. Energy Technol. Assessments*, vol. 45, p. 101212, Jun. 2021, doi: 10.1016/J.SETA.2021.101212.
- [128] D. Charlier, “Explaining the energy performance gap in buildings with a latent profile analysis,” *Energy Policy*, vol. 156, p. 112480, Sep. 2021, doi: 10.1016/J.ENPOL.2021.112480.
- [129] D. Yan *et al.*, “Occupant behavior modeling for building performance simulation: Current state and future challenges,” *Energy Build.*, vol. 107, pp. 264–278, Nov. 2015, doi: 10.1016/J.ENBUILD.2015.08.032.
- [130] W. O’Brien *et al.*, “Introducing IEA EBC annex 79: Key challenges and opportunities in the field of occupant-centric building design and operation,” *Build. Environ.*, vol. 178, p. 106738, Jul. 2020, doi: 10.1016/j.buildenv.2020.106738.
- [131] F. Stazi, F. Naspi, and M. D’Orazio, “A literature review on driving factors and contextual events influencing occupants’ behaviours in buildings,” *Building and Environment*, vol. 118. Elsevier Ltd, pp. 40–66, Jun. 01, 2017, doi: 10.1016/j.buildenv.2017.03.021.
- [132] J. H. Choi, V. Loftness, and A. Aziz, “Post-occupancy evaluation of 20 office buildings as basis for future IEQ standards and guidelines,” *Energy Build.*, vol. 46, pp. 167–175, Mar. 2012, doi: 10.1016/J.ENBUILD.2011.08.009.
- [133] S. Leder, G. R. Newsham, J. A. Veitch, S. Mancini, and K. E. Charles, “Effects of office environment on employee satisfaction: a new analysis,” <https://doi.org/10.1080/09613218.2014.1003176>, vol. 44, no. 1, pp. 34–50, Jan. 2015, doi: 10.1080/09613218.2014.1003176.
- [134] P. Fanger, “Calculation of thermal comfort: Introduction of a basic comfort equation,” *ASHRAE Trans.*, vol. 73, no. 2, p. III.4.1, 1967.
- [135] G. S. Brager and R. J. De Dear, “Thermal adaptation in the built environment: A literature review,” *Energy Build.*, vol. 27, no. 1, pp. 83–96, Feb. 1998, doi: 10.1016/s0378-7788(97)00053-4.
- [136] N. Djongyang, R. Tchinda, and D. Njomo, “Thermal comfort: A review paper,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 14, no. 9, pp. 2626–2640, Dec. 2010, doi: 10.1016/J.RSER.2010.07.040.

- [137] D. H. C. Toe and T. Kubota, "Development of an adaptive thermal comfort equation for naturally ventilated buildings in hot-humid climates using ASHRAE RP-884 database," *Front. Archit. Res.*, vol. 2, no. 3, pp. 278–291, Sep. 2013, doi: 10.1016/J.FOAR.2013.06.003.
- [138] D. Khovalyg *et al.*, "Critical review of standards for indoor thermal environment and air quality," *Energy and Buildings*, vol. 213, Elsevier, p. 109819, Apr. 15, 2020, doi: 10.1016/j.enbuild.2020.109819.
- [139] K. Karyono, B. M. Abdullah, A. J. Cotgrave, and A. Bras, "The adaptive thermal comfort review from the 1920s, the present, and the future," *Developments in the Built Environment*, vol. 4, Elsevier, p. 100032, Nov. 01, 2020, doi: 10.1016/j.dibe.2020.100032.
- [140] M. O. Efeoma and O. Uduku, "Assessing thermal comfort and energy efficiency in tropical African offices using the adaptive approach," *Struct. Surv.*, vol. 32, no. 5, pp. 396–412, Nov. 2014, doi: 10.1108/SS-03-2014-0015.
- [141] C. Peng, D. Yan, R. Wu, C. Wang, X. Zhou, and Y. Jiang, "Quantitative description and simulation of human behavior in residential buildings," *Build. Simul.*, vol. 5, no. 2, pp. 85–94, Jun. 2012, doi: 10.1007/S12273-011-0049-0/METRICS.
- [142] M. Braulio-Gonzalo, M. D. Bovea, A. Jorge-Ortiz, and P. Juan, "Contribution of households' occupant profile in predictions of energy consumption in residential buildings: A statistical approach from Mediterranean survey data," *Energy Build.*, vol. 241, p. 110939, Jun. 2021, doi: 10.1016/j.enbuild.2021.110939.
- [143] P. van den Brom, A. R. Hansen, K. Gram-Hanssen, A. Meijer, and H. Visscher, "Variances in residential heating consumption – Importance of building characteristics and occupants analysed by movers and stayers," *Appl. Energy*, vol. 250, pp. 713–728, Sep. 2019, doi: 10.1016/j.apenergy.2019.05.078.
- [144] T. Harputlugil and P. de Wilde, "The interaction between humans and buildings for energy efficiency: A critical review," *Energy Res. Soc. Sci.*, vol. 71, p. 101828, Jan. 2021, doi: 10.1016/J.ERSS.2020.101828.
- [145] K. Vringer, T. Aalbers, and K. Blok, "Household energy requirement and value patterns," *Energy Policy*, vol. 35, no. 1, pp. 553–566, Jan. 2007, doi: 10.1016/J.ENPOL.2005.12.025.
- [146] D. Aerts, J. Minnen, I. Glorieux, I. Wouters, and F. Descamps, "A method for the identification and modelling of realistic domestic occupancy sequences for building energy demand simulations and peer comparison," *Build. Environ.*, vol. 75, pp. 67–78, May 2014, doi: 10.1016/j.buildenv.2014.01.021.
- [147] L. Nikdel, A. E. S. Schay, D. Hou, and S. E. Powers, "Data-driven Occupancy Profiles for Apartment-style Student Housing," *Energy Build.*, vol. 246, p. 111070, Sep. 2021, doi: 10.1016/j.enbuild.2021.111070.
- [148] S. Hyun Kim and C. Soo Park, "Predictability quantification of occupant presence in high-rise residential apartment buildings," *Energy Build.*, vol. 275, Nov. 2022, doi: 10.1016/J.ENBUILD.2022.112494.
- [149] O. Guerra Santin, "Behavioural Patterns and User Profiles related to energy consumption for heating," *Energy Build.*, vol. 43, no. 10, pp. 2662–2672, Oct. 2011, doi: 10.1016/j.enbuild.2011.06.024.
- [150] T. Hong, J. Kim, and M. Lee, "A multi-objective optimization model for determining the building design and occupant behaviors based on energy, economic, and environmental performance," *Energy*, vol. 174, pp. 823–834, May 2019, doi: 10.1016/j.energy.2019.02.035.
- [151] S. Carlucci *et al.*, "Modeling occupant behavior in buildings," *Build. Environ.*, vol. 174, p. 106768, May 2020, doi: 10.1016/J.BUILDENV.2020.106768.
- [152] I. Gaetani, P. J. Hoes, and J. L. M. Hensen, "Occupant behavior in building energy simulation: Towards a fit-for-purpose modeling strategy," *Energy Build.*, vol. 121, pp. 188–204, Jun. 2016, doi: 10.1016/J.ENBUILD.2016.03.038.
- [153] O. Guerra-Santin, S. Boess, T. Konstantinou, N. Romero Herrera, T. Klein, and S. Silvester, "Designing for residents: Building monitoring and co-creation in social housing renovation in the Netherlands," *Energy Res. Soc. Sci.*, vol. 32, pp. 164–179, Oct. 2017, doi: 10.1016/j.erss.2017.03.009.
- [154] E. Cuerda, O. Guerra-Santin, and F. J. Neila González, "Defining occupancy patterns through monitoring existing buildings," *Inf. la Constr.*, vol. 69, no. 548, pp. 1–10, 2017, doi: 10.3989/id.53526.
- [155] A. Serrano-Jiménez, J. Lizana, M. Molina-Huelva, and Á. Barrios-Padura, "Decision-support method for profitable residential energy retrofitting based on energy-related occupant behaviour," *J. Clean. Prod.*, vol. 222, pp. 622–632, Jun. 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.03.089.
- [156] B. Jeong, J. Kim, and R. de Dear, "Creating household occupancy and energy behavioural profiles using national time use survey data," *Energy Build.*, vol. 252, Dec. 2021, doi: 10.1016/j.enbuild.2021.111440.

- [157] H. C. Putra, C. Andrews, and T. Hong, "Generating synthetic occupants for use in building performance simulation," *J. Build. Perform. Simul.*, vol. 14, no. 6, pp. 712–729, Nov. 2021, doi: 10.1080/19401493.2021.2000029.
- [158] D. Wickrama Achchige, D. Chen, G. Kokogiannakis, and M. Fiorentini, "Probabilistic modelling of occupants' thermostat preferences for residential building energy simulation and rating," *J. Build. Perform. Simul.*, 2022, doi: 10.1080/19401493.2022.2147674.
- [159] Z. Ding, T. Hu, M. Li, X. Xu, and P. X. W. Zou, "Agent-based model for simulating building energy management in student residences," *Energy Build.*, vol. 198, pp. 11–27, Sep. 2019, doi: 10.1016/j.enbuild.2019.05.053.
- [160] F. Causone, S. Carlucci, M. Ferrando, A. Marchenko, and S. Erba, "A data-driven procedure to model occupancy and occupant-related electric load profiles in residential buildings for energy simulation," *Energy Build.*, vol. 202, Nov. 2019, doi: 10.1016/j.enbuild.2019.109342.
- [161] B. Jeong, J. Kim, D. Chen, and R. de Dear, "Development of a probabilistic behavioural model creating diverse A/C operation patterns of households," *Energy*, vol. 263, Jan. 2023, doi: 10.1016/J.ENERGY.2022.125680.
- [162] X. Ren, C. Zhang, Y. Zhao, G. Boxem, W. Zeiler, and T. Li, "A data mining-based method for revealing occupant behavior patterns in using mechanical ventilation systems of Dutch dwellings," *Energy Build.*, vol. 193, pp. 99–110, Jun. 2019, doi: 10.1016/J.ENBUILD.2019.03.047.
- [163] O. Guerra-Santin *et al.*, "Considering user profiles and occupants' behaviour on a zero energy renovation strategy for multi-family housing in the Netherlands," *Energy Effic.*, vol. 11, no. 7, pp. 1847–1870, Oct. 2018, doi: 10.1007/s12053-018-9626-8.
- [164] E. Cuerda, O. Guerra-Santin, J. J. Sendra, and F. J. Neila González, "Comparing the impact of presence patterns on energy demand in residential buildings using measured data and simulation models," *Build. Simul.*, vol. 12, no. 6, pp. 985–998, Dec. 2019, doi: 10.1007/s12273-019-0539-z.
- [165] G. Salvia *et al.*, "Performance gap and occupant behavior in building retrofit: Focus on dynamics of change and continuity in the practice of indoor heating," *Sustain.*, vol. 12, no. 14, Jul. 2020, doi: 10.3390/su12145820.
- [166] E. Cuerda, O. Guerra-Santin, J. J. Sendra, and F. J. Neila, "Understanding the performance gap in energy retrofitting: Measured input data for adjusting building simulation models," *Energy Build.*, vol. 209, p. 109688, Feb. 2020, doi: 10.1016/j.enbuild.2019.109688.
- [167] X. Ren, D. Yan, and T. Hong, "Data mining of space heating system performance in affordable housing," *Build. Environ.*, vol. 89, pp. 1–13, Jul. 2015, doi: 10.1016/j.buildenv.2015.02.009.
- [168] J. Mahecha Zambrano, U. Filippi Oberegger, and G. Salvalai, "Towards integrating occupant behaviour modelling in simulation-aided building design: Reasons, challenges and solutions," *Energy Build.*, vol. 253, p. 111498, Dec. 2021, doi: 10.1016/J.ENBUILD.2021.111498.
- [169] M. Ouf, W. O'Brien, and H. B. Gunay, "Optimizing building performance using stochastic occupant models," in *ASHRAE Transactions*, 2019, vol. 125, pp. 96–105.
- [170] Q. Darakdjian, S. Billé, and C. Inard, "Data mining of building performance simulations comprising occupant behaviour modelling," *Adv. Build. Energy Res.*, vol. 13, no. 2, pp. 157–173, 2019, doi: 10.1080/17512549.2017.1421099.
- [171] M. Marschall, F. Tahmasebi, and J. Burry, "Including occupant behavior in building simulation: Comparison of a deterministic vs. a stochastic approach," in *Simulation Series*, Jan. 2019, vol. 51, no. 8, pp. 185–188, Accessed: Jun. 01, 2023. [Online]. Available: https://www.academia.edu/43878778/Including_Occupant_Behavior_in_Building_Simulation_Comparison_of_a_Deterministic_vs_a_Stochastic_Approach.
- [172] C. Carpino, E. Loukou, P. Heiselberg, and N. Arcuri, "Energy performance gap of a nearly Zero Energy Building (nZEB) in Denmark: the influence of occupancy modelling," *Build. Res. Inf.*, vol. 48, no. 8, pp. 899–921, Nov. 2020, doi: 10.1080/09613218.2019.1707639.
- [173] K. Primc, R. Slabe-Erker, and B. Majcen, "Constructing energy poverty profiles for an effective energy policy," *Energy Policy*, vol. 128, pp. 727–734, May 2019, doi: 10.1016/j.enpol.2019.01.059.
- [174] M. A. Ortiz and P. M. Bluysen, "Developing home occupant archetypes: First results of mixed-methods study to understand occupant comfort behaviours and energy use in homes," *Build. Environ.*, vol. 163, p. 106331, Oct. 2019, doi: 10.1016/j.buildenv.2019.106331.
- [175] M. F. Silva, S. Maas, H. A. de Souza, and A. P. Gomes, "Post-occupancy evaluation of residential buildings in Luxembourg

- with centralized and decentralized ventilation systems, focusing on indoor air quality (IAQ). Assessment by questionnaires and physical measurements,” *Energy Build.*, vol. 148, pp. 119–127, Aug. 2017, doi: 10.1016/j.enbuild.2017.04.049.
- [176] P. X. W. Zou, D. Wagle, and M. Alam, “Strategies for minimizing building energy performance gaps between the design intend and the reality,” *Energy Build.*, vol. 191, pp. 31–41, May 2019, doi: 10.1016/J.ENBUILD.2019.03.013.
- [177] P. van den Brom, A. Meijer, and H. Visscher, “Performance gaps in energy consumption: household groups and building characteristics,” *Build. Res. Inf.*, vol. 46, no. 1, pp. 54–70, Jan. 2018, doi: 10.1080/09613218.2017.1312897.
- [178] Ministerio de Transportes Movilidad y Agenda Urbana, *Eresee 2020. Actualización 2020 de la Estrategia a Largo Plazo Para la Rehabilitación Energética en el Sector de la Edificación en España*. 2020.
- [179] Instituto Nacional de Estadística, “Encuesta de Condiciones de Vida.” 2019, [Online]. Available: https://www.ine.es/daco/daco42/condivi/ecv_metodo.pdf.
- [180] B. Montalbán Pozas and F. J. Neila González, “Housing building typology definition in a historical area based on a case study: The Valley, Spain,” *Cities*, vol. 72, pp. 1–7, Feb. 2018, doi: 10.1016/j.cities.2017.07.020.
- [181] M. Marta and L. M. Belinda, “Simplified model to determine the energy demand of existing buildings. Case study of social housing in Zaragoza, Spain,” *Energy Build.*, vol. 149, pp. 483–493, Aug. 2017, doi: 10.1016/j.enbuild.2017.04.039.
- [182] R. Escandón, R. Suárez, and J. J. Sendra, “Protocol for the Energy Behaviour Assessment of Social Housing Stock: The Case of Southern Europe,” in *Energy Procedia*, Sep. 2016, vol. 96, pp. 907–915, doi: 10.1016/j.egypro.2016.09.164.
- [183] T. Loga, N. Diefenbach, E. G. Dascalaki, and C. Balaras, “Use of Building Typologies for Energy Performance Assessment of National Building Stocks. Existent Experiences in European Countries and Common Approach: First TABULA Synthesis Report.” 2010. [Online]. Available: www.iwu.de/IWUordercode01/10.
- [184] Ministerio de Fomento, *Análisis de las características de la edificación residencial en España en 2011 A nivel nacional y por comunidad autónoma*. 2011.
- [185] AICIA: Grupo de Termotecnia de la Escuela Superior de Ingenieros Industriales de Sevilla, “Escala de calificación energética para edificios existentes,” *Inst. para la Divers. y Ahorr. la Energía*, p. 144, 2011.
- [186] Instituto Nacional de Estadísticas, “Encuesta de presupuestos familiares.” Accessed: Mar. 27, 2020. [Online]. Available: <https://www.ine.es/metodologia/t25/t2530p458.pdf>.
- [187] T. Hong, S. C. Taylor-Lange, S. D’Oca, D. Yan, and S. P. Corgnati, “Advances in research and applications of energy-related occupant behavior in buildings,” *Energy and Buildings*, vol. 116. Elsevier Ltd, pp. 694–702, Mar. 15, 2016, doi: 10.1016/j.enbuild.2015.11.052.
- [188] M. Pekkonen, L. Du, J. P. Skön, M. Raatikainen, and U. Haverinen-Shaughnessy, “The influence of tenure status on housing satisfaction and indoor environmental quality in Finnish apartment buildings,” *Build. Environ.*, vol. 89, pp. 134–140, Jul. 2015, doi: 10.1016/j.buildenv.2015.02.003.
- [189] B. Serrano-Lanzarote, L. Ortega-Madrigal, A. García-Prieto-Ruiz, L. Soto-Francés, and V. M. Soto-Francés, “Strategy for the energy renovation of the housing stock in Comunitat Valenciana (Spain),” *Energy Build.*, vol. 132, pp. 117–129, Nov. 2016, doi: 10.1016/j.enbuild.2016.06.087.
- [190] European Communities, *Household Budget Surveys in the EU*. 2003.
- [191] European Union, “European Union statistics on income and living conditions (EU-SILC),” *Eurostat*. <https://ec.europa.eu/eurostat/web/microdata/european-union-statistics-on-income-and-living-conditions> (accessed Nov. 20, 2023).
- [192] Eurostat, *People in the EU: who are we and how do we live?* 2015.
- [193] R. Hayhow and T. Stewart, “Introduction to qualitative research and its application to stuttering,” *International Journal of Language and Communication Disorders*, vol. 41, no. 5, pp. 475–493, Sep. 01, 2006, doi: 10.1080/13682820500343057.
- [194] M. Á. Cuervo Vilches, Teresa; Oteiza San José, Ignacio; Navas Martín, “Proyecto sobre confinamiento social (covid-19), vivienda y habitabilidad [COVID-HAB],” *CSIC*, 2020. <https://covidhab.ietcc.csic.es/> (accessed Jun. 20, 2022).
- [195] I. Mujan, A. S. Anđelković, V. Munčan, M. Kljajić, and D. Ružić, “Influence of indoor environmental quality on human health and productivity - A review,” *J. Clean. Prod.*, vol. 217, pp. 646–657, Apr. 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.01.307.

- [196] Ministerio de Fomento, “Código Técnico de la Edificación (CTE) Documento Básico Ahorro de Energía (DB-HE),” 2022. <https://www.codigotecnico.org/DocumentosCTE/AhorroEnergia.html> (accessed Jun. 20, 2022).
- [197] H. E. Beck, N. E. Zimmermann, T. R. McVicar, N. Vergopolan, A. Berg, and E. F. Wood, “Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution,” *Sci. Data* 2018 51, vol. 5, no. 1, pp. 1–12, Oct. 2018, doi: 10.1038/sdata.2018.214.
- [198] M. Braulio, M. Ruá, and M. Bovea, “Caracterización de tipologías urbanas a escala de barrio como parámetro energético. caso estudio: castellón de la plana,” in *Proceedings of the II International congress on sustainable construction and eco-efficient solutions: Seville 25-27 may 2015*, 2016, pp. 1080–1090, Accessed: Dec. 04, 2023. [Online]. Available: <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/59793/90.pdf?sequence=2>.
- [199] R Core Team, “R: A language and environment for statistical computing.” R Foundation for Statistical Computing, Viena, Austria, 2022, [Online]. Available: <https://www.r-project.org/>.
- [200] S. D’Oca and T. Hong, “Occupancy schedules learning process through a data mining framework,” *Energy Build.*, vol. 88, pp. 395–408, Feb. 2015, doi: 10.1016/J.ENBUILD.2014.11.065.
- [201] F. Batool and C. Hennig, “Clustering with the Average Silhouette Width,” *Comput. Stat. Data Anal.*, vol. 158, p. 107190, Jun. 2021, doi: 10.1016/J.CSDA.2021.107190.
- [202] N. Romero Herrera, “Relationship between building technologies, in-situ and mixed-design interventions,” in *Living Labs: Design and Assessment of Sustainable Living*, D. Keyson, D. Lockton, and O. Guerra-Santin, Eds. Springer, 2016.
- [203] John W. Creswell and Vicki L. Plano Clark, “Designing and Conducting Mixed Methods Research,” *Aust. N. Z. J. Public Health*, vol. 31, no. 4, pp. 388–388, 2007, doi: 10.1111/j.1753-6405.2007.00096.x.
- [204] STECHOME, “AUGE project,” 2021. <https://www.stechome.es/autogestion-nuevo-proyecto-stechome-en-vivienda-social/> (accessed Mar. 20, 2023).
- [205] S. Karatasou, M. Laskari, and M. Santamouris, “Determinants of high electricity use and high energy consumption for space and water heating in European social housing: Socio-demographic and building characteristics,” *Energy Build.*, vol. 170, pp. 107–114, Jul. 2018, doi: 10.1016/j.enbuild.2018.04.019.
- [206] R. V. Jones and K. J. Lomas, “Determinants of high electrical energy demand in UK homes: Socio-economic and dwelling characteristics,” *Energy Build.*, vol. 101, pp. 24–34, Aug. 2015, doi: 10.1016/J.ENBUILD.2015.04.052.
- [207] A. J. Summerfield, R. J. Lowe, H. R. Bruhns, J. A. Caeiro, J. P. Steadman, and T. Oreszczyn, “Milton Keynes Energy Park revisited: Changes in internal temperatures and energy usage,” *Energy Build.*, vol. 39, no. 7, pp. 783–791, Jul. 2007, doi: 10.1016/J.ENBUILD.2007.02.012.
- [208] A. Pittini, “The State of Housing in the EU 2019,” Brussels, 2019. Accessed: Aug. 12, 2020. [Online]. Available: <https://www.housingeurope.eu/resource-1323/the-state-of-housing-in-the-eu-2019>.
- [209] Housing Europe Observatory, “The state of housing in Europe 2023,” 2023. Accessed: Sep. 18, 2023. [Online]. Available: <https://www.stateofhousing.eu/#p=1>.
- [210] Departamento de Medio Ambiente Planificación Territorial y Vivienda. Gobierno Vasco, “El presupuesto del Departamento de Medio Ambiente, Planificación Territorial y Vivienda se incrementa un 5,7% y cuenta este año con 236,12 millones de euros,” Nov. 12, 2019. .
- [211] Observatorio Vasco de la Vivienda, “Informe de evaluación de la política de alquiler en Euskadi 2018-2020,” 2021. Accessed: Sep. 18, 2023. [Online]. Available: moz-extension://b5c1ac91-6e92-46af-b7ab-c654e6059dd9/enhanced-reader.html?openApp&pdf=https%3A%2F%2Fwww.euskadi.eus%2Fcontenidos%2Finformacion%2Fovv_alqu2_2018_2020%2Fes_ovv_admi%2Fadjuntos%2Fevaluacion_politica_alquiler_2018_2020_es.pdf.
- [212] “Definición de vivienda social - Diccionario panhispánico del español jurídico - RAE.” <https://dpej.rae.es/lema/vivienda-social> (accessed Sep. 18, 2023).
- [213] Stechome, “Proyecto E-Lagun.” <https://www.stechome.es/proyecto-e-lagun/> (accessed Jan. 19, 2023).
- [214] “Real Decreto 2429/1979, de 6 de julio, por el que se aprueba la norma básica de edificación NBE-CT-79, sobre condiciones térmicas en los edificios.” «BOE» núm. 253, pp. 24524–24550, 1979, [Online]. Available: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-1979-24866>.
- [215] *DECRETO 80/2022, de 28 de junio, de regulación de las condiciones mínimas de habitabilidad y normas de diseño de las viviendas y alojamientos dotacionales en la Comunidad Autónoma del País Vasco.* 2022.

- [216] D. Yan *et al.*, “Occupant behavior modeling for building performance simulation: Current state and future challenges,” *Energy Build.*, vol. 107, pp. 264–278, Nov. 2015, doi: 10.1016/j.enbuild.2015.08.032.
- [217] A. Salvati, H. Coch, and M. Morganti, “Effects of urban compactness on the building energy performance in Mediterranean climate,” *Energy Procedia*, vol. 122, pp. 499–504, Sep. 2017, doi: 10.1016/J.EGYPRO.2017.07.303.
- [218] T. K. Lee, S. H. Cho, and J. T. Kim, “Residents’ adjusting behaviour to enhance indoor environmental comfort in apartments,” *Indoor Built Environ.*, vol. 21, no. 1, pp. 28–40, Sep. 2012, doi: 10.1177/1420326X11420120.
- [219] R. Becker and M. Paciuk, “Thermal comfort in residential buildings – Failure to predict by Standard model,” *Build. Environ.*, vol. 44, no. 5, pp. 948–960, May 2009, doi: 10.1016/j.buildenv.2008.06.011.
- [220] O. Guerra-Santin and L. Itard, “Occupants’ behaviour: determinants and effects on residential heating consumption,” <http://dx.doi.org/10.1080/09613211003661074>, vol. 38, no. 3, pp. 318–338, May 2010, doi: 10.1080/09613211003661074.
- [221] G. Buttitta, W. J. N. Turner, O. Neu, and D. P. Finn, “Development of occupancy-integrated archetypes: Use of data mining clustering techniques to embed occupant behaviour profiles in archetypes,” *Energy Build.*, vol. 198, pp. 84–99, Sep. 2019, doi: 10.1016/j.enbuild.2019.05.056.
- [222] M. Santamouris, K. Kapsis, D. Korres, I. Livada, C. Pavlou, and M. N. Assimakopoulos, “On the relation between the energy and social characteristics of the residential sector,” *Energy Build.*, vol. 39, no. 8, pp. 893–905, Aug. 2007, doi: 10.1016/J.ENBUILD.2006.11.001.



Les locataires, Robert Doisneau, 1962.

© Robert DOISNEAU / GAMMA-RAPHO

Créditos fotográficos : Georges Meguerditchian - Centre Pompidou, MNAM-CCI
/Dist. RMN-GP

Referencia de la imagen : 4N55423

Difusión de la imagen : l'Agence Photo de la RMN