

Análisis del confort térmico en viviendas de Ushuaia, Argentina, a través de datos de monitorización

Thermal comfort analysis in homes in Ushuaia, Argentina, based on monitoring data

Camila Andrea Ludueña  Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Universidad Politécnica de Madrid. España. camila.ludueña@upm.es

Marcos Hongn  Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional (INENCO), Universidad Nacional de Salta, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina. marcoshongn@gmail.com

Consolación Ana Acha  Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Universidad Politécnica de Madrid. España. alcha@infonegocio.com

Román  Autor de contacto: camila.ludueña@upm.es

RESUMEN

En el extremo clima de Ushuaia, Argentina, donde el costo del gas envasado para calefacción está subsidiado en un 99,5%, es crucial comprender el bienestar de las viviendas energéticamente vulnerables. Con una temperatura media anual de 6°C, estas viviendas requieren calefacción activa todo el año. Las subvenciones y la necesidad de calefacción obligan a los hogares a adoptar estrategias que minimicen el consumo energético, resultando en una falta de confort y exposición a extremos térmicos. Este artículo analiza datos de monitorización higrotérmica de 2021 a 2022 en dos viviendas unifamiliares típicas de la zona. Estas viviendas, cuyas envolventes no están adecuadamente diseñadas para el clima local, presentan altas necesidades energéticas y dificultades para mantener niveles de confort adecuados. Los resultados muestran que, durante el periodo más crítico, otoño-invierno, la vivienda I permanece fuera de confort cerca del 30% del tiempo, mientras que la vivienda II lo está cerca del 80%.

Keywords: Confort térmico; Vulnerabilidad energética; Monitorización higrotérmica; Ushuaia.

ABSTRACT

In the extreme climate of Ushuaia, Argentina, where the cost of bottled gas for heating is subsidised by 99.5%, it is crucial to understand the welfare of energy-vulnerable households. With an average annual temperature of 6°C, these dwellings require active heating all year round. Subsidies and the need for heating force households to adopt strategies that minimize energy consumption, resulting in a lack of comfort and exposure to thermal extremes. This paper analyses hygrothermal monitoring data from 2021 to 2022 in two typical single-family dwellings. These dwellings, whose envelopes are not adequately designed for the local climate, have high-energy needs and difficulties in maintaining adequate comfort levels. The results show that, during the most critical period, autumn-winter, House I is beyond comfort about 30% of the time, while House II is beyond comfort about 80% of the time.

Palabras clave: Thermal comfort; Energy vulnerability; Hygrothermal monitoring; Ushuaia.

Cómo citar este artículo/Citation: Camila Andrea Ludueña, Marcos Hongn, Consolación Ana Acha Román (2025). Análisis del confort térmico en viviendas de Ushuaia, Argentina, a través de datos de monitorización. Informes de la Construcción, 77 (578): 7079. <https://doi.org/10.3989/ic.7079>

Copyright: © 2025 CSIC. Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la licencia de uso y distribución Creative Commons Reconocimiento 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

Recibido/Received: 15/07/2024
Aceptado/Accepted: 26/05/2025
Publicado on-line/Published on-line: 28/10/2025

1. INTRODUCCIÓN

El consumo energético en los edificios está estrechamente relacionado con las condiciones climáticas del entorno, lo que genera una serie de criterios importantes a considerar al proyectar y construir espacios habitables [1]. Un edificio diseñado de acuerdo con las exigencias climáticas requerirá un menor consumo energético para alcanzar niveles adecuados de confort. Para lograr esto, es fundamental estudiar y priorizar el uso de sistemas pasivos que respondan tanto a las demandas climáticas presentes como futuras.

La gestión de los sistemas de abastecimiento energético, junto con los aspectos culturales y el clima de la región donde se ubican los hogares, impacta significativamente en el uso de la vivienda y la capacidad de alcanzar niveles adecuados de confort sin sobreesfuerzos por parte de los ocupantes [2], [3].

Además, la exposición a extremos térmicos, tanto dentro como fuera del hogar, en verano e invierno, puede representar un riesgo para la salud. Esto es especialmente relevante cuando hay ausencia de recursos energéticos o se produce una sobre calefacción de los espacios habitados [4], [5], [6], [7], [8], [9].

El estudio de la pobreza energética en Argentina y otros países latinoamericanos es relativamente nuevo en comparación con el avance en los países de la Unión Europea, y enfrenta el desafío de estar interseccionado con diversas vulnerabilidades sociales [10], [11], [12], [13].

La importancia de la rehabilitación de edificios en la lucha contra la pobreza energética y la mitigación del cambio climático ha sido ampliamente estudiada y mencionada [14], [15], [16], [17], [18], [19], [20], [21]. Sin embargo, abordar la rehabilitación de viviendas vulnerables es complejo, ya que las variables económicas y culturales pueden dificultar la implementación de medidas si no se diseñan políticas acordes a las necesidades contextuales y, como se ha mencionado previamente, al encontrarse interseccionado con otras vulnerabilidades las prioridades de actuación y la poca disponibilidad de recursos retrasan el abordaje de temáticas relativas a la edificación [22], [23], [24], [25].

Contexto local

En Argentina, el gas natural es el principal combustible de uso residencial a nivel nacional, según información pública basada en encuestas sobre 31 aglomerados urbanos. Alrededor del 70,4% de los hogares están conectados a la red de gasoductos [26]. Los hogares fuera de la red de gas natural utilizan principalmente gas envasado, y en menor cantidad, leña, queroseno y electricidad como fuentes de energía térmica [27].

De acuerdo con el censo nacional realizado durante el año 2022 el 87,3 % de los hogares de la ciudad de Ushuaia utilizan gas de red o electricidad para cocinar [26] quedando fuera el porcentaje de viviendas que dependen de gas envasado u otros combustibles. Debido a las diferencias climáticas dentro del país, las zonas más frías se han beneficiado de las subvenciones a la energía dada su situación geográfica y, por tanto, a la alta demanda de calefacción.

De acuerdo con la Ley n° 27.637 [28] y el Decreto n° 486/21 [29] toda localidad perteneciente al llamado “Régimen de zona fría” cuenta con el cuadro tarifario que incluye el beneficio del descuento del 50% sobre los cuadros tarifarios plenos establecidos por el Ente Nacional regulador del gas. Este beneficio actúa sobre los hogares que se encuentran conectados a la red de gas natural. En el caso de la Isla de Tierra del Fuego, toda vivienda que no se encuentre conectada a la red de gas natural obtendrá un beneficio del 99,5% sobre una cantidad de kg de gas envasado definido tanto para el periodo de invierno como para el periodo de verano.

Según registros publicados por el Gobierno de Tierra del Fuego [30], durante el 2022 un total de 7.607 hogares han recibido el subsidio del 99,5 % y se han consumido un total de 26.661.226 kg de gas propano.

Este sistema de gestión, siendo imprescindible para evitar que los hogares vivan una situación de pobreza energética severa, no ha permitido a la población desarrollar un sentido de conciencia energética y ambiental ya que el coste final del gas consumido no resulta elevado. Así, como expresan Celina Filippin y Silvana Flores Larsen en su investigación “las subvenciones no son sensibles a la renta y no se distribuyen equitativamente, es decir, todos los hogares que disfrutan de gas natural pagan el mismo precio unitario de energía altamente subvencionada, lo que probablemente sea la razón única y más convincente para que los hogares de renta media-alta y alta no elijan edificios de mejor rendimiento térmico, aunque puedan permitírselos” [31].

2. OBJETIVOS

El objetivo del trabajo consiste en comprender y caracterizar las condiciones de habitabilidad térmica de dos viviendas energéticamente vulnerables ubicadas en la ciudad de Ushuaia, Patagonia, Argentina.

El presente artículo se estructura en siete apartados en los que se desarrollará el análisis de los datos higrotérmicos interiores medidos entre 2021 y 2023 y de las encuestas realizadas con el fin de comprender las principales características del uso de las viviendas que pudieran impactar en el confort térmico de sus habitantes.

3. CASO DE ESTUDIO

Las viviendas estudiadas se encuentran en la ciudad de Ushuaia, Argentina ($54^{\circ}48'26''S$ $68^{\circ}18'16''W$). Según la clasificación climática de Köppen-Geiger, la región presenta un clima “ET” tundra polar [32] y según la clasificación de la norma IRAM 11.603 [33] las viviendas se encuentran en la zona bio-ambiental VI “Muy fría” la cual comprende toda la extensión de las altas cumbres de la Cordillera de los Andes y el extremo Sur de la Patagonia, Tierra del Fuego, Islas Malvinas y Antártida.

La temperatura media anual es de $6,0^{\circ}C$ según los datos mensuales del Servicio Meteorológico Nacional Argentino (SMNA) para el período 1991-2020.

Debido a la severidad climática es necesario mantener los espacios habitables calefaccionados la mayor parte del año utilizando diferentes recursos energéticos [34], [35], [36]. Para un periodo anual, los valores de grados días calculados con base 18 para la ciudad de Ushuaia son $4376^{\circ}C$ [33].

Las viviendas se encuentran en un entorno semi-rural en constante cambio y crecimiento con un historial de tenencia de tierras variado y con una fuerte presencia de ocupación. Dando como resultado un barrio popular donde la infraestructura es deficiente y donde muchas de las viviendas aun no cuentan con la instalación de servicios básicos como el gas natural, el agua corriente y la conexión a la red de desagüe cloacal [37].

El perfil de ocupación de los hogares es similar ya que ambas familias se componen de cuatro personas, siendo dos adultos y dos menores en edades similares. La vivienda I (V.I), Figura 1 y Figura 2, forma parte de una serie de viviendas que han sido construidas en el año 2008 por el municipio para dar rápida respuesta a una situación de extrema vulnerabilidad habitacional.

La vivienda II (V.II), Figura 3 y Figura 4, se trata de una construcción espontanea ya que ha sido pensada y construida por los propietarios en el año 2012, sin ser profesionales ni trabajadores de la construcción. Se han seguido esquemas constructivos similares resultando, en ambos casos, una envolvente que no se ajusta a las necesidades adecuadas para afrontar las condiciones climáticas locales (ver Tabla 1 y Tabla 2).

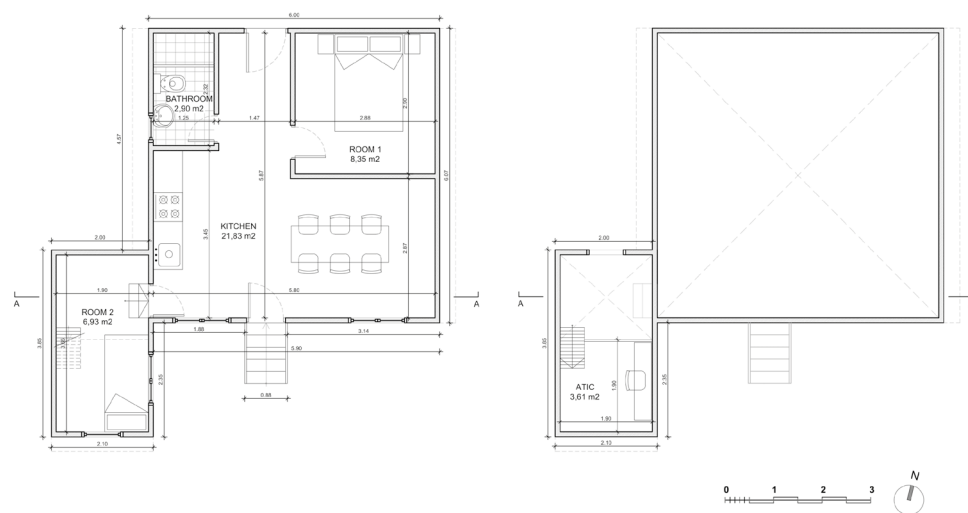


Figura 1. Planos vivienda I. Izquierda: Planta baja. Derecha: Primer piso



Figura 2. Vivienda I. Izquierda: Fachada sur. Derecha: Fachada norte

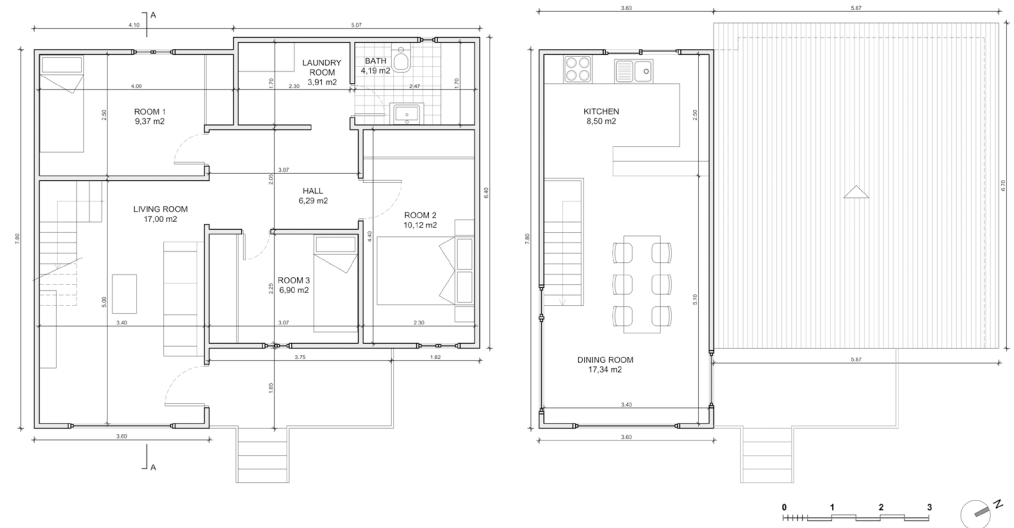


Figura 3. Vivienda II. Izquierda: Planta baja. Derecha: Primer piso



Figura 4. Vivienda 2. Izquierda: fachada sur. Derecha: Fachada norte

3.1. Características de las envolventes

El módulo principal de la V.I tiene estructura de madera, revestimiento al exterior de chapa metálica y al interior de placas de cartón yeso, aislamiento térmico en cubierta y muros de 0,05 m de lana de vidrio.

El módulo adosado que contiene la habitación 2 tiene estructura de madera y tableros de partículas como revestimiento tanto interior como exterior, los muros tienen aislamiento térmico compuesto por placas de poliestireno expandido de 0,01 m de espesor, el cual resulta como desecho de la industria local y es reciclado para la construcción.

En la cubierta del módulo adosado, a diferencia del módulo principal, se emplea aislamiento térmico de lana de vidrio de 0,038 m de espesor. Todas las ventanas tienen marco de madera y vidrio simple. El suelo de la vivienda no está aislado.

La V. II también ha sufrido reformas, la estructura del módulo antiguo es de madera, el revestimiento exterior se compone de chapa metálica y el revestimiento interior de placas de cartón yeso. Cuenta con aislamiento térmico en cubierta y muros de 0,10 m de lana de vidrio. El módulo nuevo, se compone de dos plantas y contiene la cocina-comedor, el salón y la habitación 1, utiliza los mismos materiales de revestimiento, pero con estructura metálica.

Se evidencian tres tipos de ventanas: marco metálico sin rotura de puente térmico con vidrio sencillo (8 mm), marco de madera y vidrio sencillo (6 mm) y marco metálico sin rotura de puente térmico y vidrio doble con cámara de aire (6-10-6 mm). El suelo de la vivienda no está aislado.

En la Tabla 2 se muestran los valores de transmitancia térmica para cada elemento de la envolvente y para cada una de sus composiciones. Estos valores fueron calculados por los investigadores una vez que se tuvo acceso a la información sobre el sistema constructivo utilizado y las características de los materiales. Ambas edificaciones se encuentran elevadas del terreno.

En relación con las exigencias locales, la Norma IRAM 11.900 [39] establece los valores máximos de transmitancia térmica aplicables a los muros y cubiertas de los edificios residenciales para garantizar las condiciones mínimas de habitabilidad en relación con el confort térmico (ver Tabla 3).

Tabla 1. Materialidad utilizada en la construcción de las viviendas

Materiales	Espesor (m)	Conductividad térmica (W/m. K) [38]	Vivienda	
Acero galvanizado	0,004	50,0	V.I	V.II
Lana de vidrio	0,05	0,04	V.I	
Lana de vidrio	0,10	0,04		V.II
Lana de vidrio	0,038	0,04	V.I	
Tableros de OSB	0,015	0,13	V.I	V.II
Placa de yeso	0,018	0,18	V.I	V.II
Tablero de partículas	0,03	0,18	V.I	
Pie derecho de madera	0,08	0,23	V.I	V.II
Pilar/viga (metálica)	0,08	50,0		V.II
Viga de cubierta (madera)	0,10	0,23	V.I	V.II
Viga de suelo (metálica)	0,10	50,0		V.II
Piso flotante	0,06	0,24		V.II
Suelo cerámico	0,10	1,30	V.I	V.II
Suelo vinílico	0,007	0,17	V.I	

Tabla 2. Transmitancia térmica V.I y V.II

Transmitancia térmica (U)		
	Vivienda I (W/m² K)	Vivienda II (W/m² K)
Muro	0,92	0,53
	1,27	0,75
Cubierta	0,75	0,55
	0,90	1,06
Suelo	2,50	1,59
	2,88	2,35
Huecos	7,60	7,30
		6,20
		4,20

Tabla 3. Valores de transmitancia térmica establecidos por las normas locales

Transmitancia térmica (U)	Nivel A	Nivel A/B	Nivel B	Nivel C
	W/m² K	W/m² K	W/m² K	W/m² K
Muro	0,27	0,50	0,72	1,23
Cubierta	0,23	0,42	0,61	1,00

Como se refleja en la Tabla 2 algunos de los valores calculados se encuentran dentro de los rangos establecidos por la normativa anteriormente citada, pero, no resultan suficientes para asegurar el confort térmico, como veremos más adelante, y no alcanzan el nivel recomendado (nivel A).

3.2. Consumo energético y sistema de calefacción

En estas viviendas la energía primaria empleada para agua caliente sanitaria (ACS) y climatización es el gas propano. El combustible se encuentra subsidiado por el estado en un 99,5% al año 2023. Este subsidio se aplica a un total de 690 kg de gas propano anual. Los importes se dividen en dos periodos, verano: de octubre a abril, e invierno, de mayo a septiembre.

Durante el verano el gobierno subvenciona 240 kg por mes y durante el invierno 450 kg por mes, si los usuarios consumen más kg mensuales, deben pagar la diferencia consumida a un valor sin subsidio aplicado. La V. I consume el gas en formato de bombonas de 45 kg mientras que la V. II consume gas a granel ya que cuenta con un depósito de mayores dimensiones para ello.

Los consumos máximos mensuales para cada vivienda son los siguientes:

La vivienda I consume 41,4 kWh/m² (135 kg) por mes durante el periodo de verano y 84,4 kWh/m² (275 kg) por mes durante el periodo de invierno.

La vivienda II consume 40,0 kWh/m² (250 kg) por mes durante el periodo de verano y 72,0 kWh/m² (450 kg) por mes durante el periodo de invierno.

En la Tabla 4 se detalla el consumo de gas expresado en kg y kWh/m² anual y estacional (verano-invierno). Los datos de consumo han sido proporcionados por los ocupantes de las viviendas

Tabla 4. Consumo de gas propano expresado en kg y en kWh/m²

Consumo de gas propano							
	Área m ²	Verano		Invierno		Anual	
		kWh/m ²	kg	kWh/m ²	kg	kWh/m ²	kg
VI	43,6	290,2	945	422,2	1.375	712,4	2.320
VII	83,6	280,0	1.750	360,3	2.250	640,3	4.000

A modo de referencia, el coste de la bombona de 45 kg sin subsidio cuesta 55 USD mientras que con el subsidio aplicado resulta en 0,30 USD, la información ha sido proporcionada por Sartini gas, la empresa distribuidora de gas envasado.

En el caso de las viviendas de estudio, el sistema de calefacción consiste en unidades individuales de estufas comúnmente llamadas "calefactores de tiro balanceado" siendo el sistema de climatización más utilizado en la región. El cual consiste en unidades individuales de calentadores que pueden variar entre 2600 W y 9000 W alimentados por bombonas de gas propano o por red de gas natural [27].



Figura 5. Calentador vivienda II

Estos calentadores cuentan con una doble comunicación al exterior, por medio de la cual toman aire exterior y expulsan los productos de combustión, por tanto, pueden instalarse en todo tipo de ambientes incluyendo baños y dormitorios (Figura 5).

Una de las dificultades que presentan radica en la incapacidad, por parte de los usuarios, de establecer una temperatura de consigna a la que se quiere mantener los espacios, resultando equipos muy poco eficientes, con un rendimiento de 0,65 COP para un etiquetado C [40].

Estos equipos suelen presentar tres modos de potencia siendo estos máximo, mínimo y piloto. El piloto es un quemador independiente cuya llama está destinada a encender el quemador principal [41].

El piloto puede ser permanente lo que implica que permanece encendido durante los periodos de funcionamiento del artefacto independientemente de que el quemador principal este encendido o apagado.

4. METODOLOGÍA

La metodología aplicada en este estudio consiste en la realización de dos acciones complementarias entre sí para poder obtener un conocimiento del comportamiento de las viviendas lo más detallado posible. Por un lado, la realización de una encuesta en formato de entrevista y, por otro lado, la monitorización higrotérmica interior [42], [43], [44], [45].

Por tanto, se han realizado visitas en las viviendas con el objetivo de obtener información para la representación gráfica y para desarrollar una entrevista guiada por una encuesta en la que se han realizado preguntas relativas a: datos generales de la vivienda, características constructivas, instalaciones (HVAC), datos de consumo, hábitos de consumo y uso de la vivienda y percepción del confort y otras consideraciones.

En cuanto a la monitorización de las condiciones higrotérmicas, se han colocado los equipos de medición en diferentes puntos (Ver figura 6 y tabla 5).

En la V.I los equipos se ubicaron en la sala principal (cocina/salón) que es donde se realizan la mayoría de las actividades familiares en los horarios en los que la vivienda se encuentra ocupada.

En la V.II, se colocaron los equipos en el salón, pero, al poco tiempo los ocupantes los movieron a la habitación 1. Al finalizar el primer periodo de monitorización, se han vuelto a colocar en el salón con el fin de hacer un estudio más abarcativo. En la Figura 6 se muestran las dos ubicaciones de los sensores pero estas no han sido en simultaneo ya que se dispuso de un solo sensor.

Para la colocación de los sensores se ha tenido en cuenta respetar una altura adecuada y la distancia a elementos que pudieran afectar los datos. Se han seguido los lineamientos de la norma UNE-EN ISO 7726:2002. Ergonomía de los ambientes térmicos. Instrumentos de medida de las magnitudes física [46].

Sin embargo, la colocación del sensor ha sido condicionada por diversas casuísticas presentes en el espacio disponible para ello dentro de las viviendas. En la V.I, el sensor se ha colocado en la única estantería presente en el salón, siendo este el espacio de la vivienda donde se realizan las actividades cotidianas del hogar. La ubicación ha sido determinada por la configuración del espacio, considerando en primer lugar la disposición de una superficie donde fuera posible ubicarlo de forma fija y, en segundo lugar, alejarlo del corredor que cuenta con dos puertas exteriores enfrentadas protegiéndolo de las ráfagas de aire producto de la apertura de puertas. Durante los dos años de observación en la V.I, el equipo se ha mantenido en el mismo lugar, a una altura de 1,0 m.

En el caso de la V.II, durante el año 2021 se tomaron datos en la habitación 1, ubicando el sensor en una estantería a una altura de 1,30 m. Durante el año 2022, se recogieron datos en el salón, con el sensor colocado en un mueble a una altura de 0,60 m.

Tabla 5. Características del sensor utilizado en las viviendas de estudio

	
Sensores incluidos	Temperatura Humedad
Precisión	Temperatura de bulbo seco: ± 0.5 °C Humedad relativa: ± 4 %
Condiciones de trabajo	de +5 a +50 °C de 0 a 80 % HR
Tiempo de registro de datos	15 minutos



Figura 6. Ubicación de equipos de medición. Izquierda: Vivienda I. Derecha: Vivienda II

5. RESULTADOS

5.1 Encuestas

El objetivo del análisis de los datos obtenidos en las encuestas es comprender el comportamiento de las viviendas en relación con el confort térmico y la gestión de los sistemas de climatización (Tabla 6). Es importante recordar que estas viviendas utilizan sistemas activos de calefacción durante todo el año, lo que significa que el ambiente interior está influenciado por la gestión de estos equipos por parte de los ocupantes.

Tabla 6. Aspectos relacionados con el confort térmico y el uso de los sistemas de calefacción expresados en la encuesta

Resumen		
	V.I	V.II
Datos de la vivienda		
Área (m ²)	43,6	83,6
Altura libre (m)	2,5	2,5
Orientación de fachada principal	Sur	Sureste
Número de ocupantes	4	4
Sistema de calefacción		
Fuente de energía utilizada	Gas propano embotellado	Gas propano embotellado
Número de calentadores	2	5
Uso de la calefacción en O-I	Todo el día	Todo el día
Uso de la calefacción en P-V	Todo el día	Todo el día, menos en el salón.
Aspectos declarados sobre el confort térmico (CT)		
Confort térmico declarado	Si	No
Factores que afectan el CT	Infiltración de aire	Infiltración de aire
Elementos utilizados para mejorar el CT	Alfombras y cortinas	Cortinas
Necesidades térmicas insatisfechas	Durante los meses de invierno. En el baño y la cocina.	En toda la vivienda y durante todo el año.
Modificaciones realizadas para mejorar el CT	Instalación de falso techo	-
Acciones de los ocupantes para alcanzar el CT	Encender los quemadores de la cocina y aumentar la temperatura del sistema de calefacción.	Aumento de la temperatura del sistema de calefacción.
¿Considera que paga demasiado en energía?	No	No

Las encuestas han sido realizadas en febrero de 2022 por la autora principal del artículo. En la vivienda I, se ha entrevistado a la madre de la familia mientras que en la vivienda II se ha entrevistado a la madre y el padre en conjunto.

En la V. I, el espacio de uso común cuenta con 21,8 m² y reúne las principales actividades cotidianas incluyendo las actividades de cocina. Este uso genera la necesidad de ventilar naturalmente (30 minutos diarios). De acuerdo con lo comentado en la visita, esta ventilación se realiza a mediodía cuando se llevan a cabo las tareas de cocina.

Como aspecto destacable, se expresó la reciente incorporación de cielorraso en la cocina-salón con el objetivo de reducir el volumen a calefaccionar, declarando una amplia mejoría en cuanto a la percepción del confort posterior a la colocación.

Si bien se expresa estar en confort térmico durante todo el año, se menciona que el grado de infiltraciones de aire es elevado y que, al no existir recibidor de acceso, la apertura de puertas genera grandes pérdidas térmicas.

Por otro lado, se expresa la necesidad de mantener diferentes espacios de la vivienda a una temperatura adecuada o de calentar rápidamente el baño o la cocina.

En cuanto a la gestión del sistema de climatización, si bien se utiliza durante todo el día, se reduce la temperatura de los equipos en momentos de ausencia de ocupación o según la percepción de confort de los ocupantes. Expresan poner los equipos en piloto al ausentarse del hogar.

Durante un día tipo, la vivienda se encuentra desocupada de 08:00 a 12:00h y de 16:00 a 20:00h lo que podría afectar al comportamiento higrotérmico interior si se cumple en la práctica lo expresado en cuanto a la gestión y uso del sistema de calefacción.

En la V.II, los habitantes expresan la necesidad de poder mantener la vivienda a una tempe-

ratura adecuada en su totalidad durante todo el año. La percepción del confort es diferente entre las personas adultas de la vivienda, la mujer comenta estar a disgusto y requerir más calor mientras que el hombre comenta estar en confort la mayor parte del tiempo, salvo ocasiones.

La gestión de la calefacción es similar a la V.I ya que, en ambos casos, se utiliza durante todo el día, pero se gestionan los equipos de acuerdo con la ocupación de los espacios y la percepción del confort. También expresan poner los equipos en piloto al ausentarse del hogar. En el caso del salón, comentan solo encender la calefacción en el periodo invernal y dependiendo de las temperaturas exteriores. A diferencia de la V.I, la vivienda II declara encontrarse ocupada durante todo el día con al menos dos ocupantes.

5.2. Mediciones higrotérmicas interiores

Para el análisis de los datos medidos se han utilizado los datos de temperatura seca del aire y humedad relativa exteriores correspondientes al periodo monitorizado (02/2021-31/2022) de la ciudad de Ushuaia.

Estos han sido facilitados por el Servicio Meteorológico Nacional Argentino (SMNA). Los datos solicitados al SMNA corresponden a la estación meteorológica número 10298 (- 54.847°, -68.307°, asnm: 18 m) ubicada en el aeropuerto de la ciudad de Ushuaia.

Por otro lado, se ha definido un rango de confort mediante el climograma de bienestar adaptado [47], el cual se fundamenta en la estructura utilizada por Olgyay [48], incorporando las estrategias del climograma de Givoni [2] y los avances en la teoría del bienestar según la Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (ASHRAE) [49].

Se ha decidido establecer un único margen de temperaturas de confort ya que la amplitud térmica a lo largo del año es poca. Por otro lado, la norma IRAM 11900 establece que el periodo de calefacción para la ciudad de Ushuaia inicia el 1 de enero y finaliza el 31 de diciembre [40].

Para elaborar el climograma se introdujeron los siguientes datos: actividad metabólica de 1,2 met y arropamiento de 1,0 clo para todo el año. El margen de temperatura de confort definido se encuentra entre 18,5 °C y 23,5 °C.

Para la interpretación de los datos, se ha optado por realizar un enfoque de lo general a lo específico, dividiéndolos en dos niveles denominados “ciclos”, correspondientes a los años 2021 y 2022 respectivamente. Los meses que corresponden al año 2023 se han dejado fuera de análisis por ser un periodo corto y poco representativo del año en cuestión. Una vez examinados los periodos a nivel macro, se han subdividido en dos grupos estacionales, relacionados con la subvención energética: primavera-verano y otoño-invierno y de esos periodos, se han seleccionado semanas representativas.

Los valores límite considerados, para evaluar el comportamiento de la humedad relativa interior, se han basado en las exigencias presentes en el Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios de España [50]. Dichos valores se diferencian por estación siendo 40%-50% para el periodo de invierno y 45%-60% para el periodo de verano. En este estudio se utilizarán los valores para invierno ya que han sido calculados considerando una actividad metabólica y un arropamiento igual al definido en los casos de estudio.

La selección de semanas de cada ciclo ha sido condicionada por la disponibilidad de datos. Como criterio de análisis, las semanas escogidas dentro del ciclo estudiado deberán corresponder al mismo ambiente dentro de la vivienda.

5.2.1. Primer ciclo de monitorización: 2021

La Figura 7 y la Figura 8 representan el primer ciclo de monitorización, el cual se extiende entre febrero de 2021 y diciembre de 2021. En las gráficas se marcan en vertical las semanas de estudio escogidas para cada uno de los grupos estacionales y en horizontal el rango de temperatura de confort calculado previamente.

Tal como se ha comentado, en la V.II los habitantes han cambiado el sensor de ubicación. No se tiene certeza, pero la alteración en la media de temperatura entre el mes de mayo y el mes de junio podría significar el cambio de sitio del sensor. Esta modificación reduce significativamente el tiempo de toma de datos en la habitación 1.

Para el primer ciclo se han escogido semanas tipo dentro de los periodos establecidos. Estas semanas son del 5 al 11 de julio de 2021 correspondiente al periodo otoño - invierno y del 15 al 21 de noviembre de 2021 correspondiente al periodo primavera - verano.

El valor medio anual (2021) de la temperatura del aire interior medida de la vivienda I es de 26,4 °C y de la vivienda II es de 21,4 °C.

En la V. I se ha medido una temperatura máxima de 29,7 °C y una mínima de 21,3 °C mientras que en la V.II se ha medido una temperatura máxima de 26,7 °C y una mínima de 12,2 °C.

La temperatura media medida en la V. I supera el límite superior del área de confort establecida, mientras que en la V.II se puede observar que la habitación 1 mantiene una temperatura que oscila dentro y fuera del límite superior de confort definido. En el caso del salón, este oscila

fuera del límite inferior. Recordando los datos encuestados, en el salón no se hace uso del sistema de climatización de forma continua a lo largo del año.

Los valores de humedad relativa medidos en la V.I se encuentran fuera del rango de confort en ambos periodos de estudio con una media de 29,9 %, el valor máximo registrado es de 43,6 %. La V.II se encuentra fuera de confort durante el periodo que se estima corresponde a las mediciones tomadas en la habitación 1. La media anual registrada para la V.II es de 35,8 % y el valor máximo es de 58,3 %.

Otoño – Invierno (O-I) 2021

Durante el periodo O-I del 2021, la V.I se encuentra un 97,4 % del tiempo a una temperatura media diaria mayor que 23,5° C. En el caso de la V.II, el 48,3% del tiempo la temperatura interior se encuentra dentro de los rangos de confort estimados.

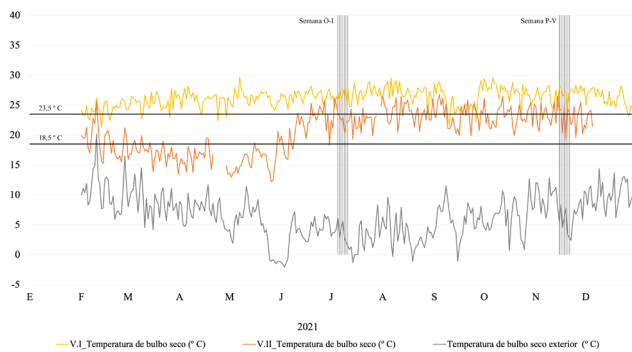


Figura 7. Datos diarios de temperatura de bulbo seco interior (°C) año 2021. V.I (amarillo), V.II (naranja)

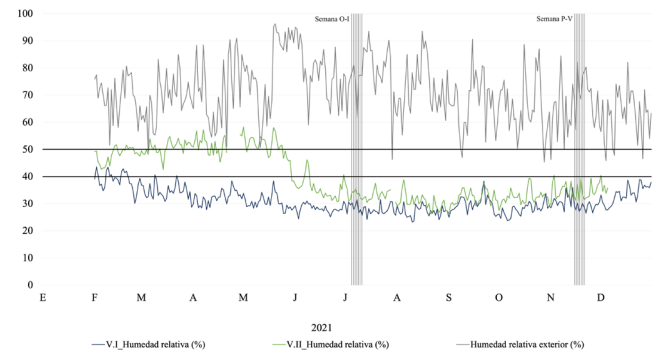


Figura 8. Datos diarios de humedad relativa interior (%) año 2021. V.I (azul), V.II (verde)

En la Figura 9 y Figura 10 se representan los datos medidos correspondientes a la semana comprendida entre el lunes 5 de julio de 2021 y el domingo 11 de julio de 2021.

En el caso de la Figura 9 la V. I muestra una tendencia al sobrecalentamiento interior mientras que la V.II se enmarca más claramente dentro de la zona de confort. Para el periodo que representa la gráfica, los datos medidos de la V.II corresponden a la habitación 1, la cual mantiene una aparente estabilidad higrotérmica debido al uso del espacio.

La Figura 10 muestra que ambas viviendas carecen de confort en cuanto a los niveles de humedad relativa. Este problema está vinculado tanto a las temperaturas internas como al tipo de sistemas de climatización empleados, lo que resulta en ambientes notablemente secos.

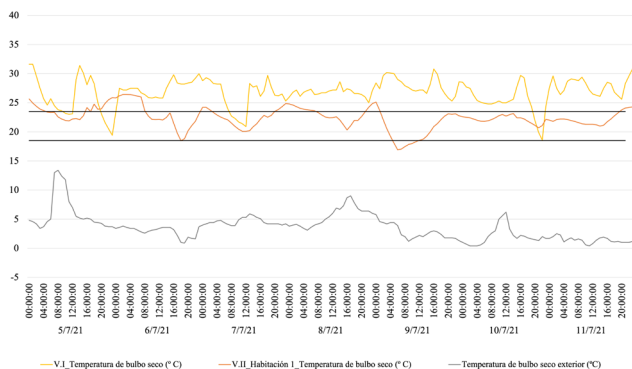


Figura 9. Datos horarios de temperatura de bulbo seco (°C) semana otoño - invierno 2021

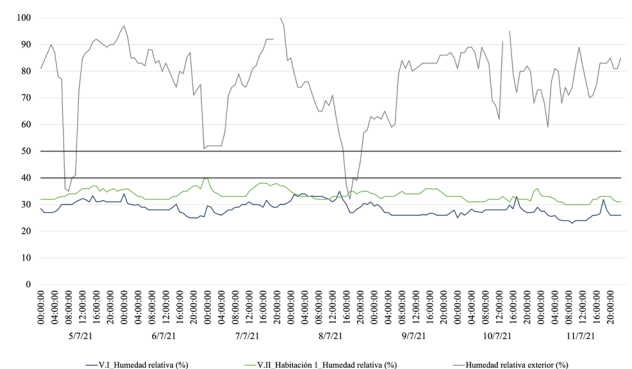


Figura 10. Datos horarios de humedad relativa (%) semana otoño - invierno 2021

Primavera – Verano (P-V) 2021

Durante el periodo P-V 2021, a V.I se encuentra un 90,6 % del tiempo a una temperatura media diaria mayor que 23,5° C. En el caso de la V.II, el 37,8% del tiempo la temperatura se encuentra dentro de los rangos de confort estimados y el 40,5% del tiempo presenta temperaturas menores a 18,5° C.

En la Figura 11 y Figura 12 se representan los datos medidos correspondientes a la semana comprendida entre el lunes 15 de noviembre de 2021 y el domingo 21 de noviembre de 2021.

La Figura 11, evidencia una tendencia a la sobre calefacción de la V.I, con una media de 27,5°C. Por otro lado, se puede ver que, en diferentes momentos, se producen picos de ascenso o descenso de temperatura, esto podría darse por la manipulación de los equipos por parte de los usuarios, por

variaciones de la temperatura del aire exterior o por la apertura de puertas exteriores.

En cuanto a la V.II, la oscilación se da dentro del rango de temperaturas recomendadas, con picos puntuales de ascenso y descenso de temperatura. La media registrada para esta sala en la semana estudiada es de 23,8 °C.

En cuanto a la media de humedad relativa (Figura 12), esta sigue el mismo patrón observado durante la semana de otoño-invierno, reflejando las condiciones térmicas internas registradas. Sin embargo, los valores medidos tampoco caen dentro del rango considerado adecuado.

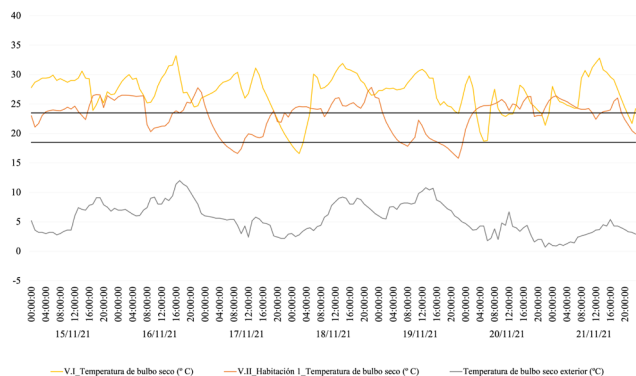


Figura 11. Temperatura de bulbo seco (°C) semana primavera - verano 2021

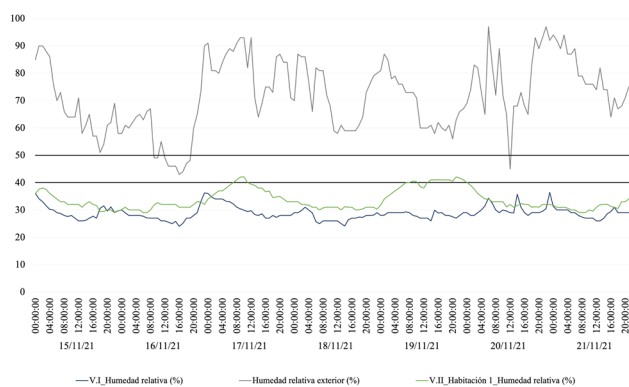


Figura 12. Humedad relativa (%) semana primavera – verano 2021

5.2.2. Segundo ciclo de monitorización: 2022

Para el segundo ciclo se han escogido semanas tipo dentro de los periodos establecidos. Estas semanas son del 7 al 13 de junio de 2022 correspondiente al periodo O-I y del 1 al 7 de noviembre de 2022 correspondiente al periodo P-V.

La Figura 13 presenta los valores medidos de temperatura de bulbo seco en las V. I y II durante el año 2022. En ella se puede notar que en el mes de febrero de 2022 se ha trasladado el sensor de la habitación 1 (representado en color naranja) al salón (representado en color marrón), con el propósito de obtener una muestra más amplia del comportamiento higrotérmico de un mismo espacio.

El valor medio anual (2022) de la temperatura del aire interior medida de la V. I es de 24,5 °C y de la V. II es de 22,8 °C para el periodo medido en la habitación 1 y de 16,1 °C para el periodo medido en el salón.

En la V.I se ha medido una temperatura máxima de 30,8 °C y una mínima de 8,9 °C. El valor mínimo registrado en el 2022 es ampliamente menor al registrado en el 2021 (21,3 °C) y esto se debe a que durante el mes de febrero de 2022 la familia ha estado ausente por vacaciones, por tanto, las cargas de calefacción han disminuido.

En el salón de la V.II se ha medido una temperatura máxima de 26,0 °C y una mínima de 9,4 °C. Hay que considerar que, en esta sala, el uso del sistema de climatización depende de las necesidades de uso y de confort de los ocupantes.

Los datos de humedad relativa registrados y graficados en la Figura 14, se alinean con el comportamiento registrado en el periodo 2021. Se encuentran fuera de los rangos de confort la mayor parte del tiempo.

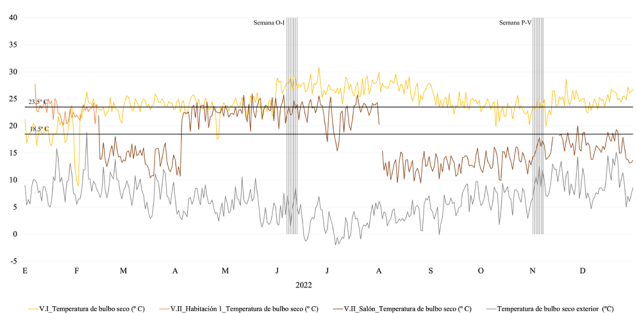


Figura 13. Datos diarios de temperatura de bulbo seco (°C) año 2022

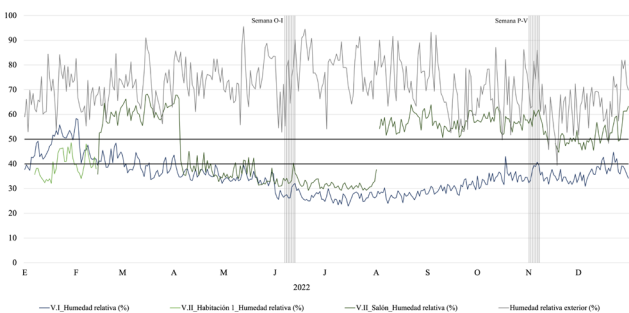


Figura 14. Datos diarios de humedad relativa (%) año 2022

Otoño – Invierno (O-I) 2022

Durante el periodo O – I 2022, la V. I se encuentra el 88,2% del tiempo a una temperatura superior a 23,5° C.

En el caso de la V. II, el porcentaje de horas a una temperatura menor de 18,5° C (41,4%) aumenta en relación con el año 2021, esto se debe a que el sensor se encuentra en el salón, lugar donde el uso del sistema de calefacción es variable.

En la Figura 15 y Figura 16 se representan los datos medidos correspondientes a la semana comprendida entre el lunes 7 de junio de 2022 y el domingo 13 de junio de 2022 como representación de las estaciones otoño e invierno.

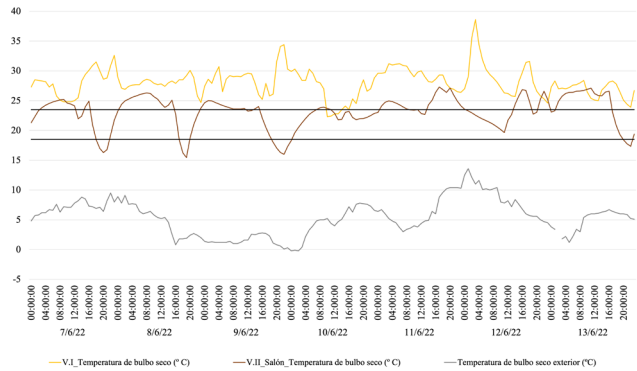


Figura 15. Datos horarios de temperatura de bulbo seco (°C) semana otoño - invierno 2022

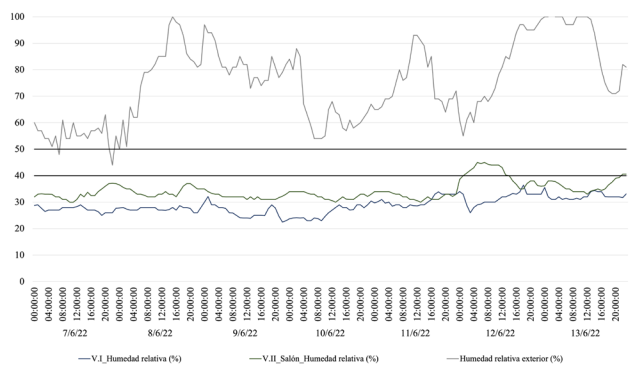


Figura 16. Datos horarios de humedad relativa (%) semana otoño - invierno 2022

Primavera – Verano (P-V) 2022

A comparación del periodo P-V 2021, durante el año 2022 hay un aumento, en ambas viviendas, del tiempo en el que se encuentran a una temperatura menor a 18,5° C (Figura 17 y Figura 18). La V.I pasa un 6% del tiempo a una temperatura menor que 18,5° C y la V.II un 64,0%. En el caso de la semana representativa del periodo P-V 2022, se pudiera intuir que en la V.II el uso de calefacción se ha disminuido o se encuentra apagado, dado que la media para la semana representada es de 16,1°C. En el caso de la V.I, a diferencia de los periodos previos, la media se encuentra en 23,8 °C acercándose al rango de confort.

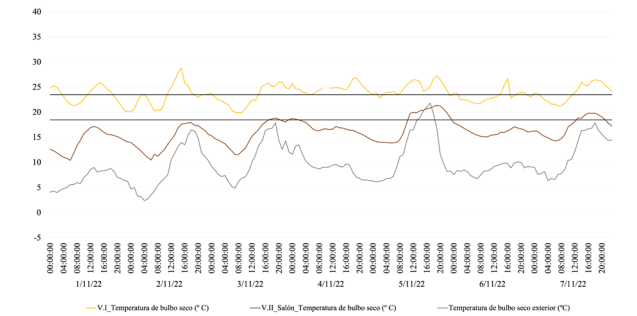


Figura 17. Datos horarios de temperatura de bulbo seco (°C) semana primavera - verano 2022

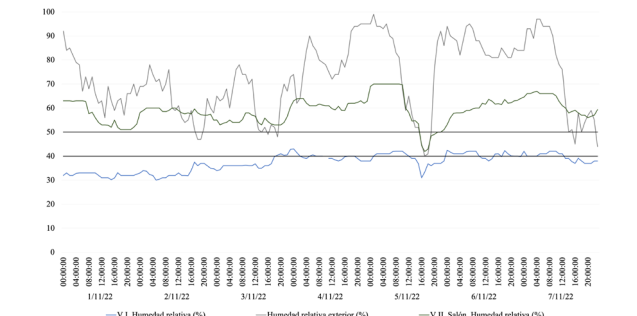


Figura 18. Datos horarios de humedad relativa (%) semana primavera – verano 2022

5.3. Análisis de confort

Para analizar el confort térmico (CT) dentro de las viviendas se ha aplicado el método establecido por la norma ISO 7730:2005 [46]. En cuanto al análisis de datos y el desarrollo de las gráficas se ha utilizado Python y la librería pythermalcomfort [51]. El voto medio estimado (PMV) se ha calculado considerando la velocidad del aire igual a 0,2 m/s y un arropamiento de 1 clo. En cuanto a la actividad metabólica se ha utilizado un valor de 1,2 met correspondiente a una actividad sedentaria.

Según la norma utilizada, el ambiente térmico deseado para un espacio habitable puede categorizarse en tres grupos (Tabla 7). Cada categoría contempla un porcentaje estimado de insatisfechos (PPD). Todo valor fuera de estos grupos se considera falta de confort térmico.

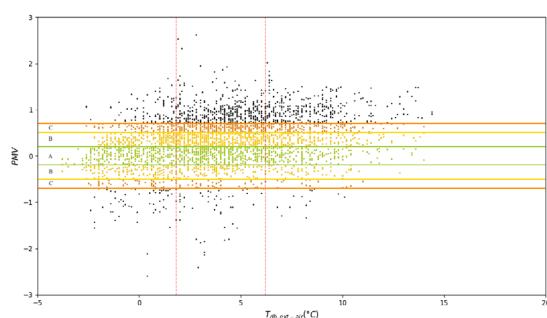
Tabla 7. Categorías de ambiente térmico. Fuente: ISO 7730:2005

	PMV	PPD (%)
A	-0,2 < PMV < +0,2	< 6
B	-0,5 < PMV < +0,5	< 10
C	-0,7 < PMV < +0,7	< 15

Entre la Figura 19 y la Figura 22 se grafican los valores de PMV obtenidos para cada hora medida del periodo correspondiente. En el eje Y se grafican los siete niveles, +3 muy caluroso, +2 caluroso, +1 ligeramente caluroso, 0 neutro, -1 ligeramente fresco, -2 fresco, -3 frio, y en el eje X la temperatura de bulbo seco exterior.

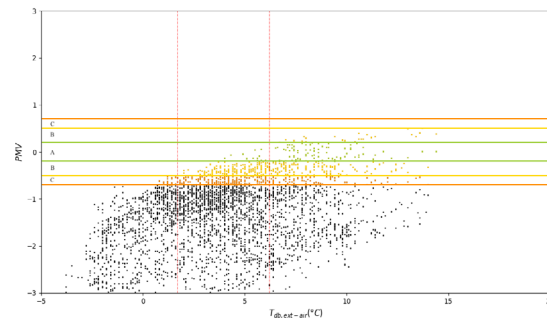
Las líneas verticales discontinuas (rojas) delimitan el rango intercuartilico de los datos de temperatura ambiente exterior, en el que se concentra el 50% de los valores en torno a la media.

Por otro lado, las líneas horizontales delimitan las categorías (A, B Y C) establecidas por la normativa (Tabla 7).



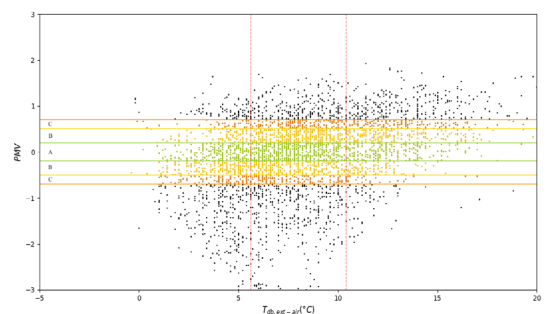
A	B	C	Discomfort
25,6%	31,3%	17,0%	25,9%

Figura 19. Vivienda I. Otoño – invierno 2021



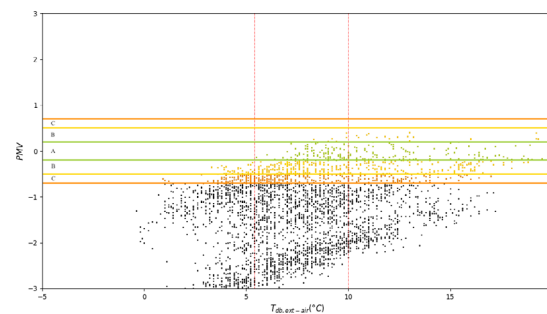
A	B	C	Discomfort
2,7%	9,5%	8,3%	79,4%

Figura 20. Vivienda II. Otoño – invierno 2021



A	B	C	Discomfort
24,5%	29,9%	14,4%	31,0%

Figura 21. Vivienda I. Primavera - verano 2021-2022



A	B	C	Discomfort
5,7%	11,8%	9,1%	73,2%

Figura 22. Vivienda II. Primavera - verano 2021-2022

Como se ha podido ver en el análisis de los datos medidos, la Figura 19 evidencia que la V.I, durante el periodo de otoño-invierno, tiende a la sobrecalentación un 25,9% de horas, ubicándose entre los valores que corresponden a una sensación térmica de ligeramente caluroso y caluroso.

A diferencia de la V.I, la V.II presenta un porcentaje de horas fuera de confort de 79,4% ubicándose en una sensación térmica entre ligeramente fresca y frío (Figura 20) lo que sugiere que la gestión de la calefacción se encuentra ligada al uso del espacio y al ahorro energético que tenga la familia.

Durante el periodo de primavera-verano (Figura 21 y Figura 22) los valores de discomfort son V.I 31,0% y V.II 73,2%. En el caso de la vivienda I, se invierte la tendencia y la acumulación de horas fuera de confort representan una sensación térmica entre ligeramente fresco y frío. La V.II mantiene el comportamiento analizado para el periodo de otoño-invierno aumentando las horas fuera de confort (73,2%).

6. DISCUSIONES

6.1. Encuestas

El comportamiento de las familias en cuanto a la gestión diaria de la calefacción se ve influenciado por el consumo energético. Según los datos encuestados, en ambos hogares se reducen al mínimo el uso de la calefacción cuando la vivienda se encuentra desocupada, cuando no se utilizan las salas y/o durante las horas nocturnas. Este manejo de los dispositivos de climatización se debe a la imposibilidad de hacer frente al gasto que representaría el consumo extra por fuera del subsidiado. Esta dinámica de uso ocasiona que los espacios habitables se enfríen y, que se tenga que volver a calentar el aire interior una o varias veces al día.

Un factor determinante y poco controlable en estas construcciones es el nivel de infiltraciones de aire debido a la mala estanqueidad de la construcción, si bien no es un dato que se haya podido cuantificar in situ, se ha incorporado como pregunta dentro de la encuesta realizada y ambas familias comentan que sienten infiltraciones de aire no deseadas por ventanas y puertas exteriores.

6.2. Análisis de datos medidos

Ya que las viviendas se encuentran calefaccionadas, la variabilidad en los datos registrados se debe a la falta de inercia térmica en las envolventes, los valores de infiltración de aire no deseados y por último la manipulación de los sistemas de climatización por parte de los ocupantes.

Si bien se han dividido los periodos de análisis en estaciones, el comportamiento higrotérmico de las viviendas es similar al observado en el periodo otoño-invierno. Esto se debe, principalmente, a que la temperatura del aire exterior oscila por debajo de los 20°C durante todo el año.

El comportamiento de la humedad relativa observado está asociado a los perfiles de temperatura interior. Las elevadas temperaturas medidas dan lugar al registro de valores de humedad relativa bajos en el interior de la vivienda.

A raíz del análisis de datos, lo que se identifica como un aspecto problemático, es la fluctuación entre falta de confort por bajas temperaturas y falta de confort por sobrecalentamiento. Al contrario de lo que pudiera esperarse para viviendas vulnerables energéticamente en un clima frío, el factor de sobrecalentamiento interior como un aspecto a considerar en la falta de confort, se da debido al costo de la energía a raíz de la aplicación del subsidio y a la posible sobre dimensión del equipo de climatización.

Sobre todo, considerando que el sobrecalentamiento sea ocasionado por el uso de energía en calefacción y no por el aumento de la temperatura del aire exterior debido al cambio climático como es el caso de los países nórdicos donde se evalúan riesgos de sobrecalentamiento interior debido al aumento de temperaturas exteriores durante el periodo estival y a la estanqueidad de las envolventes [52], [53], [54].

Aunque la V.II presenta mayores comodidades en cuanto a la superficie disponible por persona, el confort higrotérmico resulta problemático en ambos casos representando un desafío para los hogares poder asegurar el confort térmico como se demuestra con los datos analizados. Al tratarse de mediciones realizadas sobre viviendas ocupadas, el impacto de los hábitos de uso cotidianos se refleja en la variación de los valores de las condiciones térmicas interiores.

La monitorización de las condiciones higrotérmicas interiores permite caracterizar la habitabilidad de las viviendas y relacionarla con el contexto energético y edilicio local. Aunque se necesitarían más casos de estudio para generalizar, es posible estimar que cualquier vivienda en la zona con características constructivas, sistemas de climatización y gestión energética similares podría enfrentar problemas similares en cuanto al comportamiento y confort térmico.

7. CONCLUSIONES

El consumo energético de las viviendas no se encuentra directamente relacionado con la percepción de confort térmico expresado en las encuestas y concluido en el análisis de los datos medidos. Un alto consumo energético destinado a calefaccionar los espacios habitables no significa necesariamente que estos se encuentren dentro de rangos de confort aceptables ya que intervienen aspectos como la calidad de las envolventes y los hábitos de uso.

Los valores medios de humedad relativa (29,9% VI y 35,8% VII) como los porcentajes de horas fuera de confort, 25,9% O-I para la vivienda I y 79,4% O-I para la vivienda II, definen espacios poco saludables con potencialidad de derivar en patologías de salud a largo plazo confirmando la mala habitabilidad de los espacios en cuanto a características higrotérmicas del aire.

El estudio de las condiciones de confort en viviendas, considerando tanto la energía como la materialidad en contextos climáticos y geográficos extremos, es importante como punto de partida para futuras acciones dirigidas al ahorro energético y la mitigación del cambio climático.

La gestión y el costo de la energía juegan un papel imprescindible en la capacidad de las viviendas de poder alcanzar niveles adecuados de confort. Si bien los hogares expresan no considerar que el gasto económico en energía sea elevado, el uso y gestión de los sistemas de climatización, que ocasionan la constante variación térmica, se da también por el cuidado de no consumir más que la cantidad de kg de gas propano subsidiado ya que esto implicaría un gasto económico difícil de afrontar.

Finalmente, como se puede observar en el caso de estudio presentado, el subsidio aplicado al consumo energético corre el riesgo de que las viviendas caigan en pobreza energética severa y evita la creación de conciencia sobre la importancia de la eficiencia en las envolventes construidas

DECLARACIÓN DE CONFLICTO DE INTERESES

Los/as autores/as de este artículo declaran no tener conflictos de intereses financieros, profesionales o personales que pudieran haber influido de manera inapropiada en este trabajo.

DECLARACIÓN DE CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

Camila Andrea Ludueña: Conceptualización, Análisis formal, Investigación, Metodología, Administración de proyecto, Redacción – borrador original, Redacción – revisión y edición.

Marcos Hongn: Conceptualización, Análisis formal, Metodología, Revisión.

Consolación Ana Acha Román: Conceptualización, Análisis formal, Investigación, Metodología, Administración de proyecto.

REFERENCIAS

- [1] M. De Luxán García de Diego, C. Sánchez-Guevara Sánchez, E. Román López, M. del M. Barbero Barrera, and G. Gómez Muñoz, *Rehabilitación exprés para hogares vulnerables*. 2017, p. 266.
- [2] B. Givoni, 'Comfort, climate analysis and building design guidelines', *Energy and Buildings*, vol. 18, no. 1, pp. 11–23, Jan. 1992, [http://doi.org/10.1016/0378-7788\(92\)90047-K](http://doi.org/10.1016/0378-7788(92)90047-K).
- [3] J. F. Nicol and S. Roaf, 'Rethinking thermal comfort', *Building Research & Information*, vol. 45, no. 7, pp. 711–716, Oct. 2017, <http://doi.org/10.1080/09613218.2017.1301698>.
- [4] K. Arbuthnott, S. Hajat, C. Heaviside, and S. Vardoulakis, 'What is cold-related mortality? A multi-disciplinary perspective to inform climate change impact assessments', *Environment International*, vol. 121, pp. 119–129, Dec. 2018, <http://doi.org/10.1016/j.envint.2018.08.053>.
- [5] F. M. Baba, H. Ge, L. (Leon) Wang, and R. Zmeureanu, 'Do high energy-efficient buildings increase overheating risk in cold climates? Causes and mitigation measures required under recent and future climates', *Building and Environment*, vol. 219, p. 109230, Jul. 2022, <http://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109230>.
- [6] R. Basu, 'Relation between Elevated Ambient Temperature and Mortality: A Review of the Epidemiologic Evidence', *Epidemiologic Reviews*, vol. 24, no. 2, pp. 190–202, Dec. 2002, <http://doi.org/10.1093/epirev/mxf007>.
- [7] H. A. M. Daanen and W. D. V. M. Lichtenbelt, 'Human whole body cold adaptation', *Temperature*, vol. 3, no. 1, pp. 104–118, Jan. 2016, <http://doi.org/10.1080/23328940.2015.1135688>.
- [8] D. Fosas, D. A. Coley, S. Natarajan, M. Herrera, M. F. D. Pando, and A. Ramallo-Gonzalez, 'Mitigation versus adaptation: Does insulating dwellings increase overheating risk?', *Building and Environment*, vol. 143, pp. 740–759, Oct. 2018, <http://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.07.033>.
- [9] Y. Guo *et al.*, 'Global Variation in the Effects of Ambient Temperature on Mortality: A Systematic Evaluation', *Epidemiology*, vol. 25, no. 6, pp. 781–789, Nov. 2014, <http://doi.org/10.1097/EDE.000000000000165>.
- [10] R. Calvo, N. Álamos, M. Billi, A. Urquiza, and R. Contreras Lisperguer, *Desarrollo de indicadores de pobreza energética en América Latina y el Caribe*. in Recursos Naturales y Desarrollo, no. 207 (LC/TS.2021/104). Santiago: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2021.
- [11] R. Durán and M. Condori, 'Pobreza energética en la Argentina urbana. Validación de un indicador basado en la línea del 10% de los ingresos totales familiares.', *AVERMA*, vol. 23, 2019.
- [12] D. F. Lopera, R. Durán, and M. Condori, 'Acceso a la energía en barrios populares en Argentina. Una aproximación para caracterizar la pobreza energética en el espacio urbano.', *Energías Renovables y Medio Ambiente*, vol. 50, 2022.
- [13] H. Thomson *et al.*, 'Understanding, recognizing, and sharing energy poverty knowledge and gaps in Latin America and the Caribbean – because conocer es resolver', *Energy Research & Social Science*, vol. 87, p. 102475, May 2022, <http://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102475>.
- [14] M. Hosein Abbasi, Badr Abdullah, R. Castaño-Rosa, M. Waseem Ahmad, A. Rostami, and J. Cullen, 'Planning energy interventions in buildings and tackling fuel poverty: Can two birds be fed with one scone?', *Energy Research & Social Science*, vol. 93, p. 102841, Nov. 2022, <http://doi.org/10.1016/j.erss.2022.102841>.
- [15] Y.-S. An *et al.*, 'Retrofit of renewable energy systems in existing community for positive energy community', *Energy Reports*, vol. 9, pp. 3733–3744, Dec. 2023, <http://doi.org/10.1016/j.egyr.2023.02.055>.
- [16] G. Aruta, F. Ascione, N. Bianco, and G. M. Mauro, 'Sustainability and energy communities: Assessing the potential of building energy retrofit and renewables to lead the local energy transition', *Energy*, vol. 282, p. 128377, Nov. 2023, <http://doi.org/10.1016/j.energy.2023.128377>.
- [17] R. Barrella, J. I. Linares, J. C. Romero, and E. Arenas, 'Evaluating the impact of energy efficiency strategies on households' energy affordability: A Spanish case study', *Energy and Buildings*, vol. 295, p. 113289, Sep. 2023, <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113289>.
- [18] H. Elsharkawy and P. Rutherford, 'Retrofitting social housing in the UK: Home energy use and performance in a pre-Community Energy Saving Programme (CESP)', *Energy and Buildings*, vol. 88, pp. 25–33, Feb. 2015, <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.11.045>.
- [19] N. S. Ibañez Iralde, J. Pascual, and J. Salom, 'Energy retrofit of residential building clusters. A literature review of crossover recommended measures, policies instruments and allocated funds in Spain', *Energy and Buildings*, vol. 252, p. 111409, Dec. 2021, <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111409>.
- [20] S. Peiris, J. H. K. Lai, M. M. Kumaraswamy, and H. (Cynthia) Hou, 'Smart retrofitting for existing buildings: State of the art and future research directions', *Journal of Building Engineering*, vol. 76, p. 107354, Oct. 2023, <http://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.107354>.
- [21] C. Piccardo and L. Gustavsson, 'Deep energy retrofits using different retrofit materials under different scenarios: Life cycle cost and primary energy implications', *Energy*, vol. 281, p. 128131, Oct. 2023, <http://doi.org/10.1016/j.energy.2023.128131>.
- [22] F. M. Méndez, P. C. Rosa, and M. E. Castela Caruana, 'Pobreza energética en la Argentina actual. Revisiones y aportes metodológicos para su medición cuantitativa y cualitativa', *Cienc. docencia tecnol.*, vol. 32, no. 62 may-ago, Jun. 2021, <http://doi.org/10.33255/3262/748>.
- [23] S. Samarakoon, 'A justice and wellbeing centered framework for analysing energy poverty in the Global South', *Ecological Economics*, vol. 165, p. 106385, Nov. 2019, <http://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.106385>.
- [24] Oscar S. Santillán, Karla G. Cedano, and Manuel Martínez, 'Analysis of Energy Poverty in 7 Latin American Countries Using Multidimensional Energy Poverty Index', *Energies*, vol. 13, no. 7, p. 1608, Apr. 2020, <http://doi.org/10.3390/en13071608>.
- [25] M. E. Vanoli, E. Crespo Sánchez, and J. M. González Barroso, 'Estudio energético con coste óptimo para lograr un modelo de vivienda eficiente para el programa de crédito argentino en clima frío', *ACE: Architecture, City and Environment*, vol. 16, no. 47, Oct. 2021, <http://doi.org/10.5821/ace.16.47.9814>.
- [26] Instituto Nacional de Estadística y Censos, 'Indicadores de condiciones de vida de los hogares en 31 aglomerados urbanos.', vol. 3 number 7. Instituto Nacional de Estadística y Censos, INDEC, Buenos Aires, 2018.
- [27] A. González, A. Carlsson-Kanyama, E. S. Crivelli, and S. Gortari, 'Residential energy use in one-family households with natural gas provision in a city of the Patagonian Andean region', *Energy Policy*, vol. 35, no. 4, pp. 2141–2150, 2007, <http://doi.org/10.1016/j.enpol.2006.07.004>.
- [28] Presidencia de la Nación, *Boletín oficial de la República Argentina. Régimen de zona fría Ley 27637*, Buenos Aires., 2021.
- [29] Presidencia de la Nación, *Boletín oficial de la República Argentina. Régimen de zona fría Decreto 486/2021*, 2021.
- [30] Gobierno de Tierra del Fuego, 'Subsidio de gas licuado de petróleo envasado y a granel', <https://gestiontransparente.tierradelfuego.gob.ar/>.
- [31] C. Filippin and S. Flores Larsen, 'Historical Consumption of Heating Natural Gas and Thermal Monitoring of a Multifamily High-Rise Building in a Temperate/Cold Climate in Argentina', *Buildings*, vol. 2, no. 4, pp. 477–496, 2012, <http://doi.org/10.3390/buildings2040477>.
- [32] M. C. Peel, B. L. Finlayson, and T. A. McMahon, 'Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification', *Hydrology and earth system sciences*, vol. 11, no. 3, pp. 1633–1644, 2007, <http://doi.org/10.1002/ppp.421>.
- [33] Instituto Argentino de Normalización y Certificación, 'Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina. IRAM 11603:1996'. Instituto argentino de normalización y certificación, Buenos Aires, 2011.
- [34] M. Andersen, C. A. Discoli, G. Melisa Viegas, and I. Martini, 'Monitoreo energético y estrategias de RETROFIT para viviendas sociales en clima frío.', *HS*, vol. 7, no. 2, pp. 50–63, Dec. 2017, <http://doi.org/10.22320/07190700.2017.07.02.05>.
- [35] M. Andersen, I. Martini, C. A. Discoli, and J. Gaspari, 'Energy consumption and dwelling characteristics in households typology in the city of S. C. de San Carlos de Bariloche, Argentina', 2016.
- [36] M. Andersen, A. Hernandez, and C. A. Discoli, 'Auditoría energética de una vivienda social en climas fríos y comparación de pérdidas térmicas por infiltración y transmisión', *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, vol. 21, p. 05.13-05.24, 2017.
- [37] N. B. Finck, 'Barrios autoproducidos en ciudades intermedias. El caso de Río Grande, Tierra del Fuego AIAS', in *I. Encuentro de la Red de Asentamientos Populares: Aportes teórico-metodológicos para la reflexión sobre políticas públicas de acceso al hábitat.*, 1st ed., Editorial de la Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño de la Universidad Nacional de Córdoba, 2019.
- [38] Instituto Eduardo Torroja, *Catálogo de Elementos Constructivos del CTE*, España., 2011. [Online]. Available: <http://itec.cat/cec/>
- [39] Instituto Argentino de Normalización y Certificación, *IRAM 11900. Prestaciones energéticas en viviendas. Método de cálculo y etiquetado de eficiencia energética*, Buenos Aires., 2019.
- [40] Instituto Argentino de Normalización y Certificación, 'IRAM 11900 Esquema 1 Prestaciones energéticas en viviendas. Método de cálculo'. Instituto Argentino de Normalización y Certificación, 2017.
- [41] ENARGAS, 'Artefactos de calefacción independientes por convección que utilizan combustibles gaseosos'. Ente nacional regulador del gas, 2015.
- [42] C. J. Diaz, 'Auditorías energéticas en viviendas de interés social en Río Grande, Tierra del Fuego', *ASADES*, vol. 10, 2006.
- [43] C. Filippin, S. Flores Larsen, and L. Marek, 'Experimental monitoring and post-occupancy evaluation of a non-domestic solar building in the central region of Argentina', *Energy and Buildings*, vol. 92, pp. 267–281, 2015, <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.01.053>.

- [44] F. Martín-Consuegra, J. P. Gouveia, F. de Frutos, and I. Oteiza, 'Consumo energético y brecha de confort en viviendas sociales de Madrid, a través de información de contadores inteligentes y encuestas', 2019.
- [45] F. Martín-Consuegra, F. de Frutos, I. Oteiza, C. Alonso, and B. Frutos, 'Minimal Monitoring of Improvements in Energy Performance after Envelope Renovation in Subsidized Single Family Housing in Madrid', *Sustainability*, vol. 13, no. 1, p. 235, Dec. 2020, <http://doi.org/10.3390/su13010235>.
- [46] AENOR, 'UNE-EN ISO 7730:2005. Ergonomía del ambiente térmico Determinación analítica e interpretación del bienestar térmico mediante el cálculo de los índices PMV y PPD y los criterios de bienestar térmico local'. Asociación Española de Normalización y Certificación, 2006.
- [47] F. J. Neil González, *Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible*. Madrid: Munilla-Lería, 2004.
- [48] V. Olgyay, *Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism*. Princeton University Press, 1963.
- [49] American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 'ANSI/ASHRAE Standard 55-2010 Thermal environmental conditions for human occupancy'. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., 2010. [Online]. Available: www.ashrae.org
- [50] Ministerio de la Presidencia, 'Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios.' 2007.
- [51] F. Tartarini and S. Schiavon, 'pythermalcomfort: A Python package for thermal comfort research', *SoftwareX*, vol. 12, p. 100578, Jul. 2020, <http://doi.org/10.1016/j.softx.2020.100578>.
- [52] H. Sukanen, J. Taylor, R. Castaño-Rosa, S. Pelsmakers, T. Lehtinen, and T. Kaasalainen, 'Passive mitigation of overheating in Finnish apartments under current and future climates', *Indoor and Built Environment*, p. 1420326X2311609, Mar. 2023, <http://doi.org/10.1177/1420326X231160977>.
- [53] Z. Tian, S. Zhang, J. Deng, and B. D. Hrynyszyn, 'Evaluation on Overheating Risk of a Typical Norwegian Residential Building under Future Extreme Weather Conditions', *Energies*, vol. 13, no. 3, p. 658, Feb. 2020, <http://doi.org/10.3390/en13030658>.
- [54] V. Tink, S. Porritt, D. Allison, and D. Loveday, 'Measuring and mitigating overheating risk in solid wall dwellings retrofitted with internal wall insulation', *Building and Environment*, vol. 141, pp. 247–261, Aug. 2018, <http://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.05.062>.

Anexo

A continuación, se compartirán secciones constructivas de las viviendas caso de estudio.

