

CÓDIGO OPERACIÓN: **0640_ENER_USER_2_E**

ACTIVIDAD: **A.2.3. MONITORIZACIÓN Y SEGUIMIENTO DE RESULTADOS**

ENTREGABLE:

A.2.3 Informes de monitorización y seguimiento de resultados

Las opiniones vertidas en esta publicación son de exclusiva responsabilidad de los autores que las emiten. La Comisión Europea y las Autoridades del Programa no se hacen responsables del uso que pueda hacerse de la información contenida en el mismo

ÍNDICE CONTENIDO

1. VIVIENDAS Y DATOS MONITORIZADOS.....	5
2. LOCALIZACIÓN DE LAS VIVIENDAS	5
2.1 Valladolid.....	5
2.2 Bragança	7
2.3 La Cistérniga (Valladolid)	9
3. MEDIDAS GENERALES DEL CONFORT	10
3.1 Datos recogidos y periodo de monitorización.	10
3.2 Medidas de temperatura.	10
3.3 Medidas de humedad.	14
3.4 Medidas de CO2.	18
3.5 Medidas de iluminación.	22
4. CALIDAD DEL AIRE INTERIOR	26
4.1 Monóxido de Carbono (CO)	26
4.2 Partículas en suspensión	30
4.3 Calidad del Aire Exterior	34
5. CONFORT TÉRMICO	37
5.1 Datos micro meteorológicos	37
5.2 Carta psicrométrica	44
5.3 Datos Meteorológicos – Estación de Bragança	52
6. MEDIDA DE CONSUMOS ELÉCTRICOS	55
7. CONCLUSIONES	62
8. REFERENCIAS BLIBLIOGRAFIAS	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Ubicación de las viviendas en Calle Gallo (Valladolid).....	6
Figura 2 – Imagen general de viviendas en Calle Gallo (Valladolid)	6
Figura 3 - Ubicación del lugar de monitorización.....	7
Figura 4 - Ubicación de las viviendas en Bragança	8
Figura 5 - Ubicación de las nuevas viviendas monitorizadas.....	9
Figura 6 – Valores medios mensuales de temperatura (°C).....	11
Figura 7 – Valores de temperatura semana de invierno en vivienda V4 (°C).	12
Figura 8 – Valores de temperatura semana de invierno en vivienda V6 (°C).	12
Figura 9 – Valores de temperatura semana de verano en vivienda V4 (°C).....	13
Figura 10 – Valores de temperatura semana de verano en vivienda V6 (°C).....	14
Figura 11 – Valores medios mensuales de humedad (%)......	15
Figura 12 – Valores de humedad semana de invierno en vivienda V4 (%).	16
Figura 13 – Valores de humedad semana de invierno en vivienda V6 (%).	16
Figura 14 – Valores de humedad semana de verano en vivienda V4 (%)......	17
Figura 15 – Valores de humedad semana de verano en vivienda V6 (%)......	18
Figura 16 – Valores medios mensuales de CO2 (ppm)......	19
Figura 17 – Valores de CO2 semana de invierno en vivienda V4 (ppm).....	20
Figura 18 – Valores de CO2 semana de invierno en vivienda V6 (ppm).....	20
Figura 19 – Valores de CO2 semana de verano en vivienda V4 (ppm).	21
Figura 20 – Valores de CO2 semana de verano en vivienda V6 (ppm).	22
Figura 21 – Valores de iluminación semana de invierno en vivienda V4 (lux).	23
Figura 22 – Valores de iluminación semana de invierno en vivienda V6 (lux).	24
Figura 23 – Valores de iluminación semana de verano en vivienda V4 (lux).....	25
Figura 24 – Valores de iluminación semana de verano en vivienda V6 (lux).....	25
Figura 6 - Perfil semanal de monóxido de carbono.....	28
Figura 7 - Serie temporal y media de las concentraciones de Monóxido de carbono en el interior de las viviendas.....	29
Figura 8 - Perfil semanal de Partículas en Suspensión.....	32
Figura 9 - Serie temporal de datos y media móvil de 8 horas de concentración en masa de PM ₁₀ no interior de las viviendas.....	33
Figura 10- Variación de la concentración de Monóxido de carbono en los dos sistemas de monitoreo exterior – EX01 Bragança y EX02 Cistérniga	34
Figura 11 - Variación de la concentración de Monóxido de carbono en los dos sistemas de monitoreo exterior – EX01 Bragança y EX02 Cistérniga	35
Figura 12- Variación de la concentración de Monóxido de carbono en los dos sistemas de monitoreo exterior – EX01 Bragança (Nota: un problema técnico impidió la obtención de datos fiables para La Cistiernaga en el periodo de referencia).	36
Figura 13 - Evolución de los datos de Temperatura Media Radiante para el conjunto de los sensores del proyecto	43
Figura 14 - Carta Psicrométrica o Carta de Givoni (Gonçalves y Graça, 2004).	44
Figura 15 - Representación de los datos de temperatura del aire y de humedad relativa en la Carta Bioclimática para la vivienda A01	45

Figura 16 - Representación de los datos de temperatura del aire y de humedad relativa en la Carta Bioclimática para la vivienda A02.	46
Figura 17 - Representación de los datos de temperatura del aire y de humedad relativa en la Carta Bioclimática para la vivienda A03.	46
Figura 18 - Representación de los datos de temperatura del aire y de humedad relativa en la Carta Bioclimática para la vivienda A04.	47
Figura 19 - Representación de los datos de temperatura del aire y de humedad relativa en la Carta Bioclimática para la vivienda A05.	47
Figura 20 - Representación de los datos de temperatura del aire y de humedad relativa en la Carta Bioclimática para la vivienda A06.	48
Figura 21 - Representación de los datos de temperatura del aire y de humedad relativa en la Carta Bioclimática para la vivienda A07.	48
Figura 22 - Representación de los datos de temperatura del aire y de humedad relativa en la Carta Bioclimática para la vivienda A08.	49
Figura 23 - Representación de los datos de temperatura del aire y de humedad relativa en la Carta Bioclimática para la vivienda A09.	49
Figura 24 - Representación de los datos de temperatura del aire y de humedad relativa en la Carta Bioclimática para la vivienda E03.	50
Figura 25 - Diagramas de cajon del PMV de las viviendas monitoreadas en el proyecto ENERUSER (nota: Para el cálculo de esta métrica se ha usado la biblioteca para python <i>pythermalcomfort</i>)	51
Figura 26 - Variación de la temperatura exterior, estación meteorológica de Bragança	52
Figura 27 - Variación de la velocidad del viento, estación meteorológica de Bragança	53
Figura 28 - Variación de la radiación solar, estación meteorológica de Bragança	54
Figura 29 - Variación de la precipitación atmosférica diaria, estación meteorológica de Bragança	54

1. VIVIENDAS Y DATOS MONITORIZADOS

En una primera fase del proyecto ENERUSER fueron monitorizadas un grupo de 8 viviendas en Valladolid (España) y 4 viviendas en Bragança (Portugal). En una segunda fase se han monitorizado 8 viviendas adicionales en la localidad de La Cistérniga (Valladolid, España).

Las viviendas de Valladolid se encuentran ubicadas en Calle Gallo (Barrio de Pajarillos), encontrándose todas ellas en el entorno del Patio del Colegio Público Cristóbal Colón. En estas viviendas se han monitorizado sus consumos energéticos y los parámetros de confort interior (temperatura, humedad, CO2 y luminosidad).

El segundo grupo de viviendas corresponde a Bragança (Barrio Novo da Previdência), donde se han monitorizado los parámetros ya indicados para las Viviendas de Valladolid, además de los datos de calidad del aire interior y exterior.

Finalmente el estudio se amplió a las viviendas de La Cistérniga, donde se ha evaluado la calidad del aire interior y el confort térmico.

2. LOCALIZACIÓN DE LAS VIVIENDAS

2.1 Valladolid

Las viviendas de Valladolid, pertenecientes a varios bloques de viviendas, se encuentran ubicadas en Calle Gallo, números 11, 15, 19 y 21, en el entorno del Patio del Colegio Público Cristóbal Colón. Se trata de viviendas con más de 50 años de antigüedad. En la Figura 1 se muestra el plano con la ubicación de estas viviendas, mientras que en la Figura 2 se muestra una imagen general de las mismas.



Figura 1 - Ubicación de las viviendas en Calle Gallo (Valladolid)



Figura 2 – Imagen general de viviendas en Calle Gallo (Valladolid)

2.2 Bragança

Los sensores de calidad del aire interior y confort térmico se han instalado en el Barrio Novo da Previdência, un barrio con casi cincuenta años, en una ubicación céntrica en la ciudad de Bragança (Ver Figura 3).

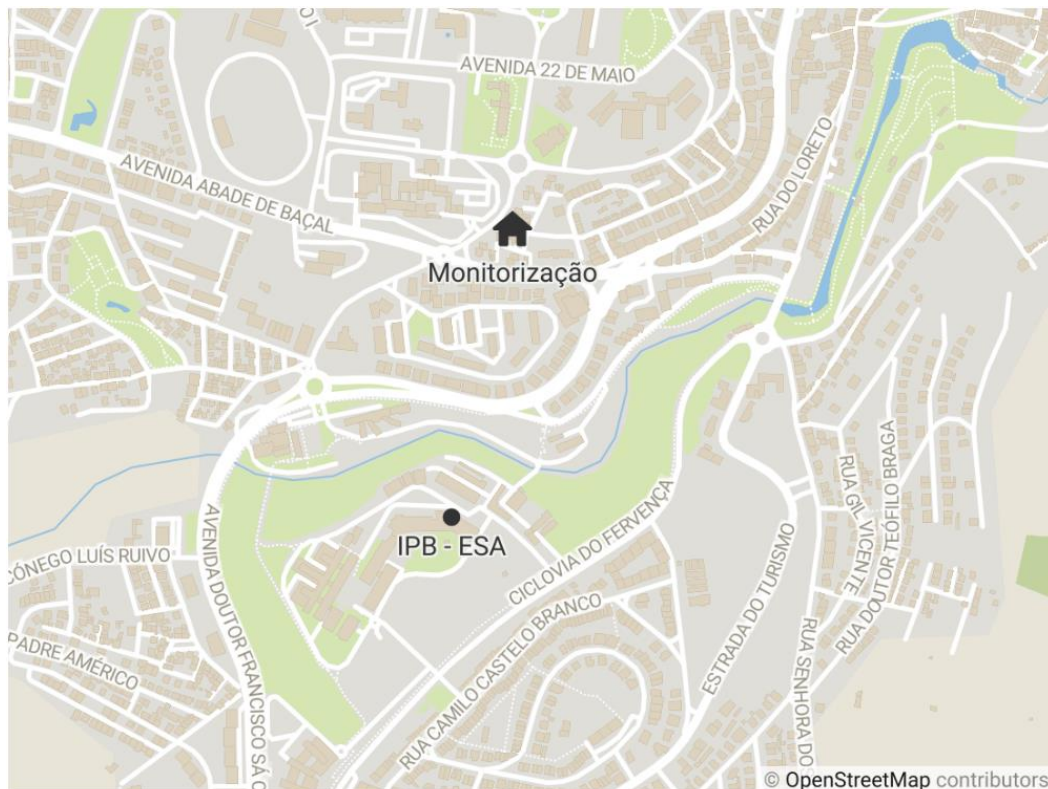


Figura 3 - Ubicación del lugar de monitorización en Bragança

Inicialmente, cuatro viviendas participaron del proyecto, aunque solo tres siguieron hasta el final, por lo que se dispone de datos completos de tres viviendas. Los edificios tienen dos pisos y dos viviendas por piso. Estas viviendas corresponden a una tipología de T2 y T3. Las viviendas estudiadas se ubican en los edificios señalados en la Figura 4. **4¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

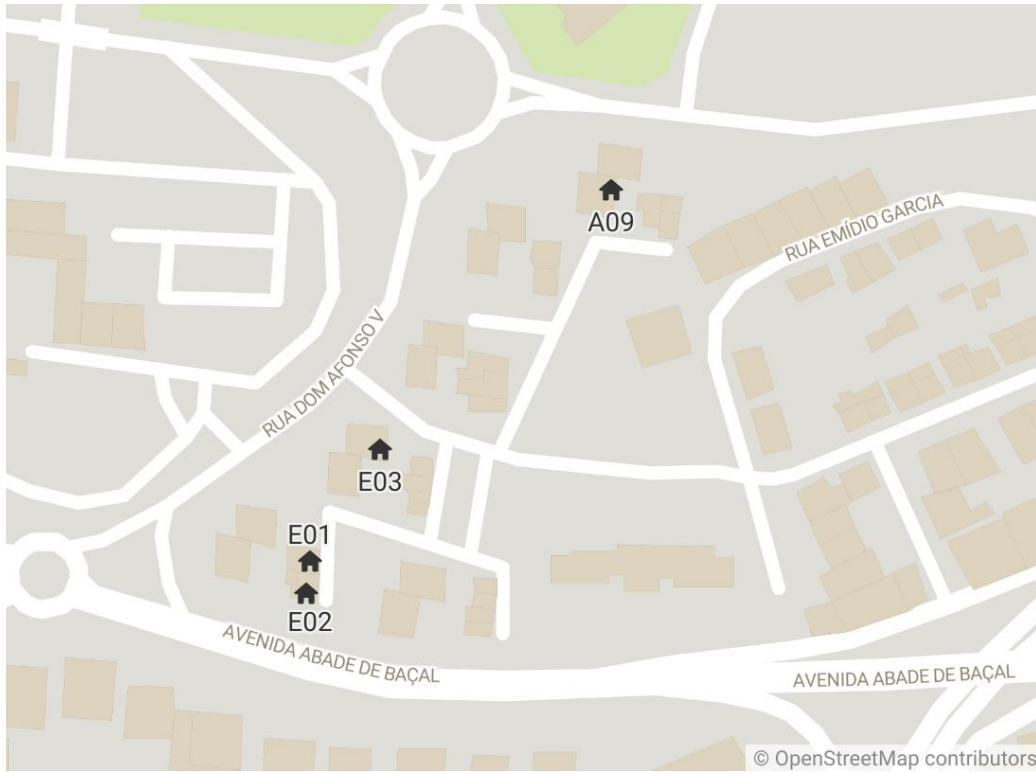


Figura 4 - Ubicación de las viviendas en Bragança

2.3 La Cistérniga (Valladolid)

Posteriormente se consideró hacer una ampliación del estudio de monitorización del sistema de evaluación de calidad del aire interior y confort térmico en España; para ello se contó con viviendas en Valladolid (La Cistérniga). En total se han instalado ocho sistemas de monitorización en otras ocho viviendas (Ver Figura 5).

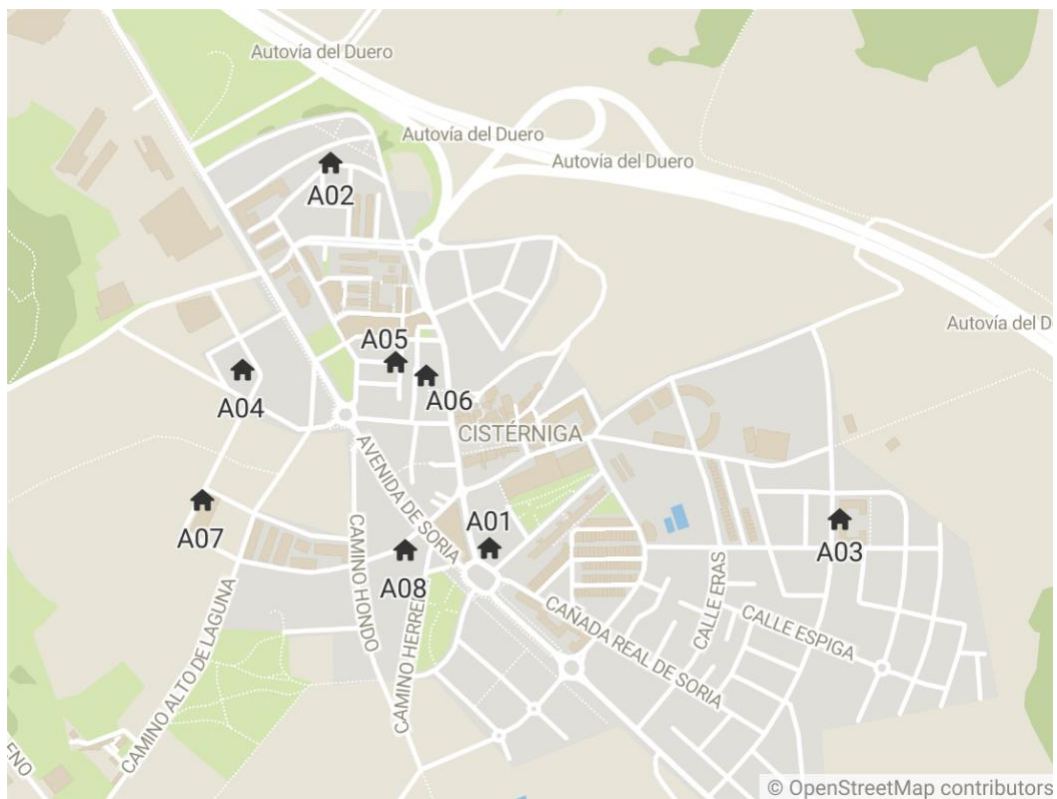


Figura 5 - Ubicación de las nuevas viviendas monitorizadas en La Cistérniga, España

3. MEDIDAS GENERALES DEL CONFORT

3.1 Datos recogidos y periodo de monitorización.

Los módulos para medida del confort instalados en cada una de las viviendas recogían los siguientes datos:

- Temperatura (°C)
- Humedad relativa (%)
- Contenido en CO₂ (ppm)
- Luminosidad (lux)

El periodo de monitorización del confort se ha extendido desde Marzo 2021 hasta Diciembre 2021. Debido a un retraso en la instalación de los equipos de Bragança, para las viviendas ubicadas en esta localidad la monitorización comenzó a partir de mayo 2021. Durante el periodo de monitorización se han estado tomando datos de los sensores en tiempo real, durante 24 horas al día, con una cadencia aproximada de 10 segundos.

Durante la monitorización se han detectado frecuentes pérdidas de señal, por lo que no todos los sistemas instalados emitían los datos de las viviendas de forma continua.

Como muestras significativas de los datos recogidos, en los puntos 3.2 a 3.5 se presentan gráficas correspondientes a las medidas de temperatura, humedad, CO₂ y luminosidad de los edificios en Valladolid (viviendas V1 a V8) y en Bragança (Viviendas B1 a B4). En las gráficas se presentan datos de valores medios en los meses más significativos así como, a título de ejemplo, datos horarios de una semana típica característica de verano moderado (primera semana de septiembre) y una semana típica característica de invierno moderado (segunda de marzo) para dos viviendas V4 (vivienda poco calefactada) y V6 (vivienda con alto nivel de calefacción).

3.2 Medidas de temperatura.

3.2.1 Valores medios

Los valores medios de temperatura (°C) registrados por monitorización en los cuatro meses más significativos se indican en la Figura 6.

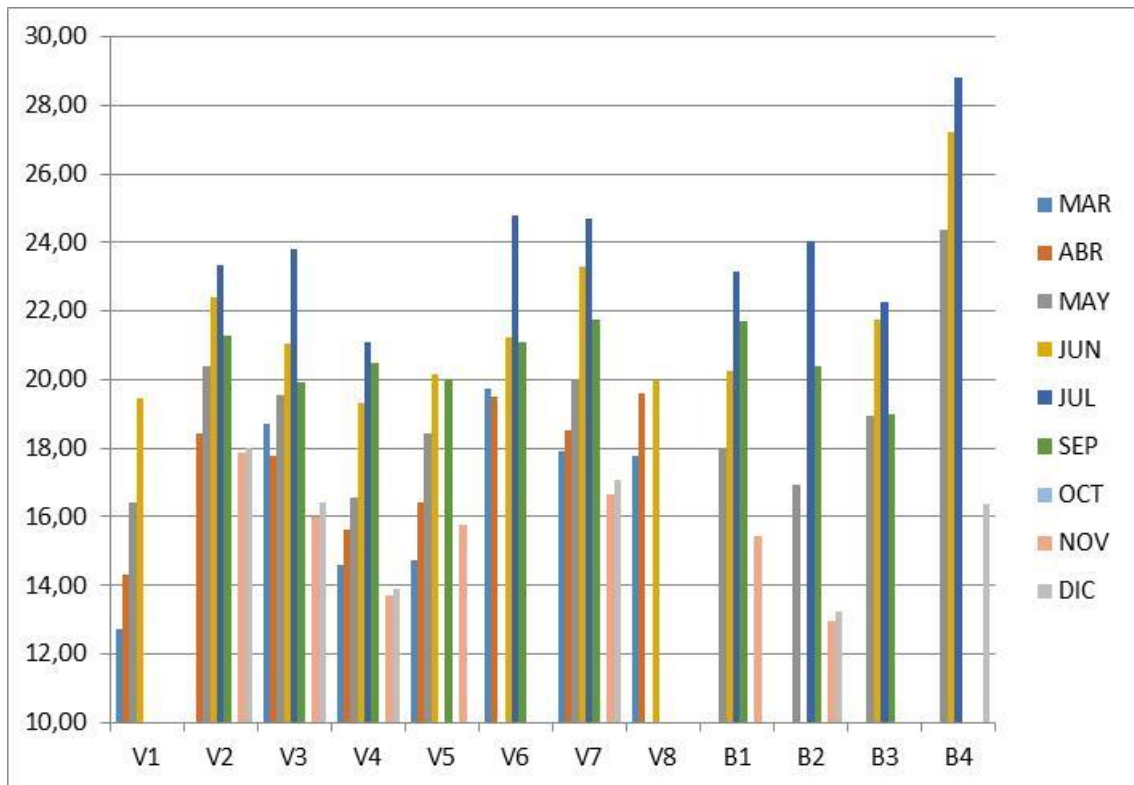


Figura 6 – Valores medios mensuales de temperatura (°C).

Por lo que hace referencia a las temperaturas máximas en verano, solo se ha detectado un edificio (B4) con valores medios fuera de la zona de confort.

Con respecto a las temperaturas mínimas en invierno, varios edificios (V1, V3, V4, V5, V7, B1 y B2) han mostrado tener unos niveles de calefacción insuficientes para este periodo.

3.2.2 Valores típicos de invierno

En Figura 7 y Figura 8 se presentan los valores horarios de temperatura a lo largo de una semana típica de invierno para las viviendas V4 y V6.

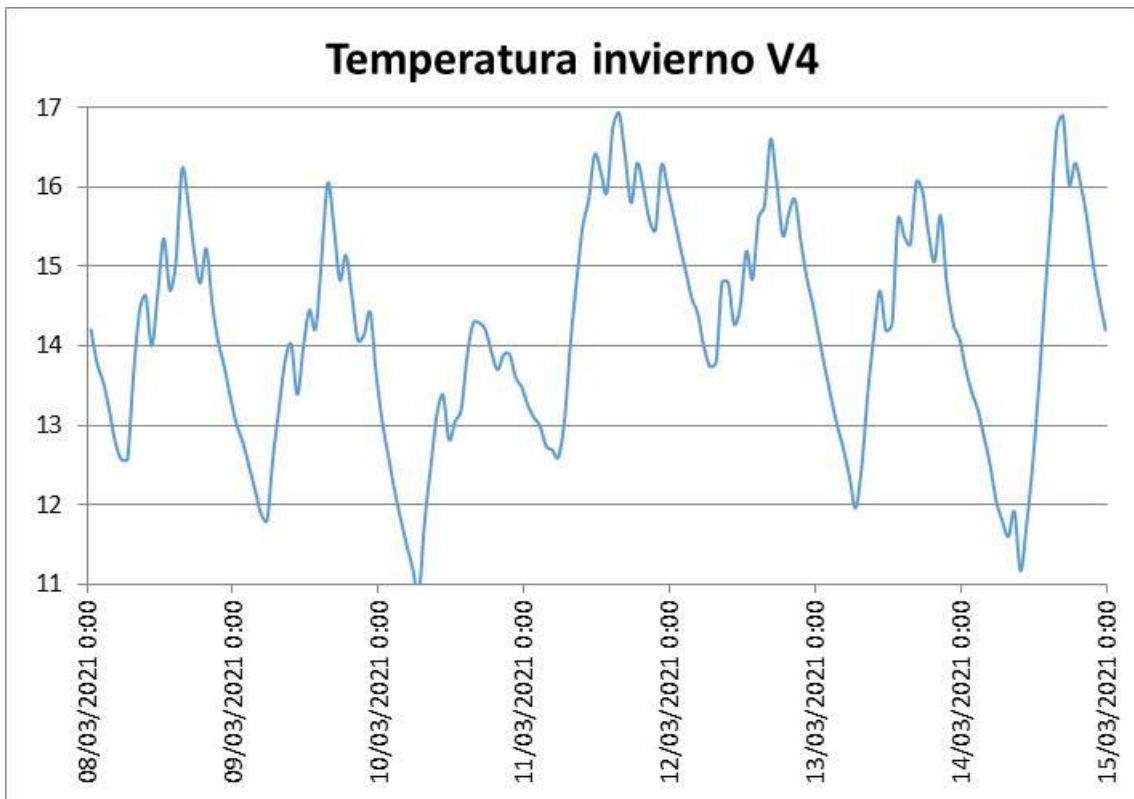


Figura 7 – Valores de temperatura semana de invierno en vivienda V4 (°C).

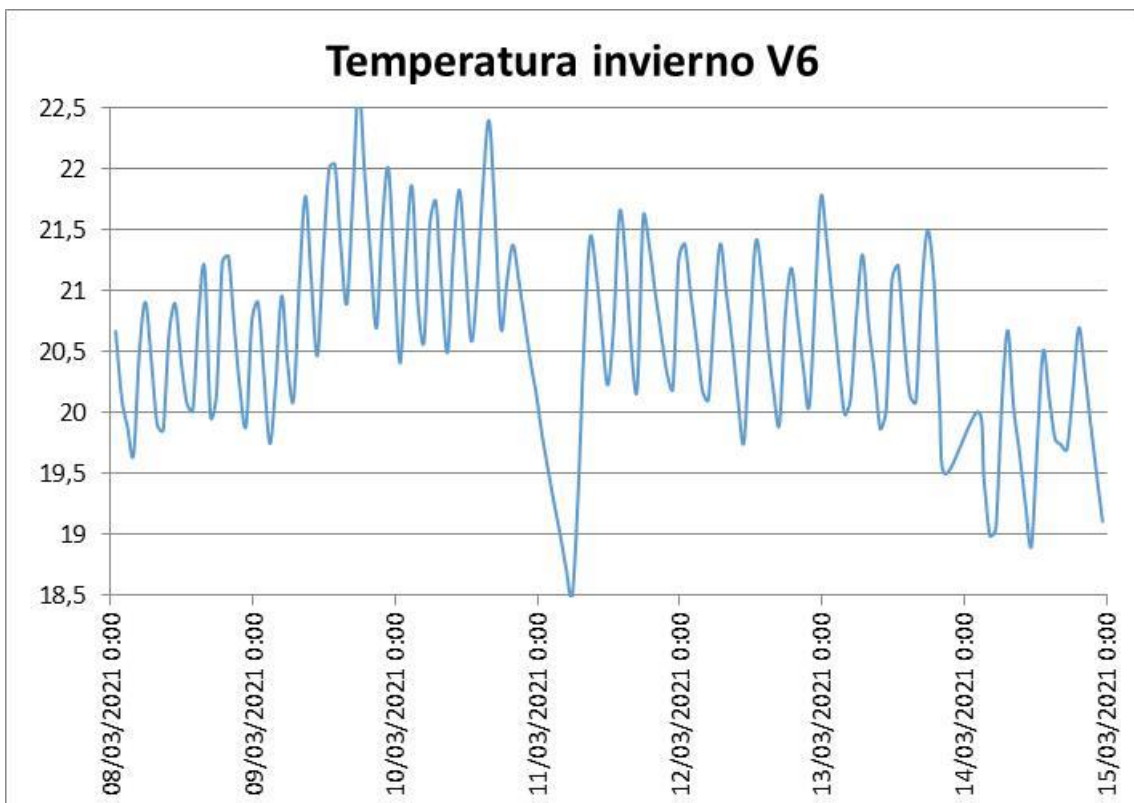


Figura 8 – Valores de temperatura semana de invierno en vivienda V6 (°C).

Mientras en la vivienda V4 las variaciones de temperatura se mantienen muy en línea con la temperatura exterior, oscilando diariamente entre los 12 grados de mínima y los 16 de máxima, en la vivienda V6 se detecta una temperatura mantenida de forma continua que, dependiendo del día oscila entre los 20 y 21 °C, excepto la noche del día 11/03 donde se detecta una parada de calefacción y bajada de temperatura hasta 18,5°C.

3.2.3 Valores típicos de verano

En Figura 9 y Figura 10 se presentan los valores horarios de temperatura a lo largo de una semana típica de verano para las viviendas V4 y V6.

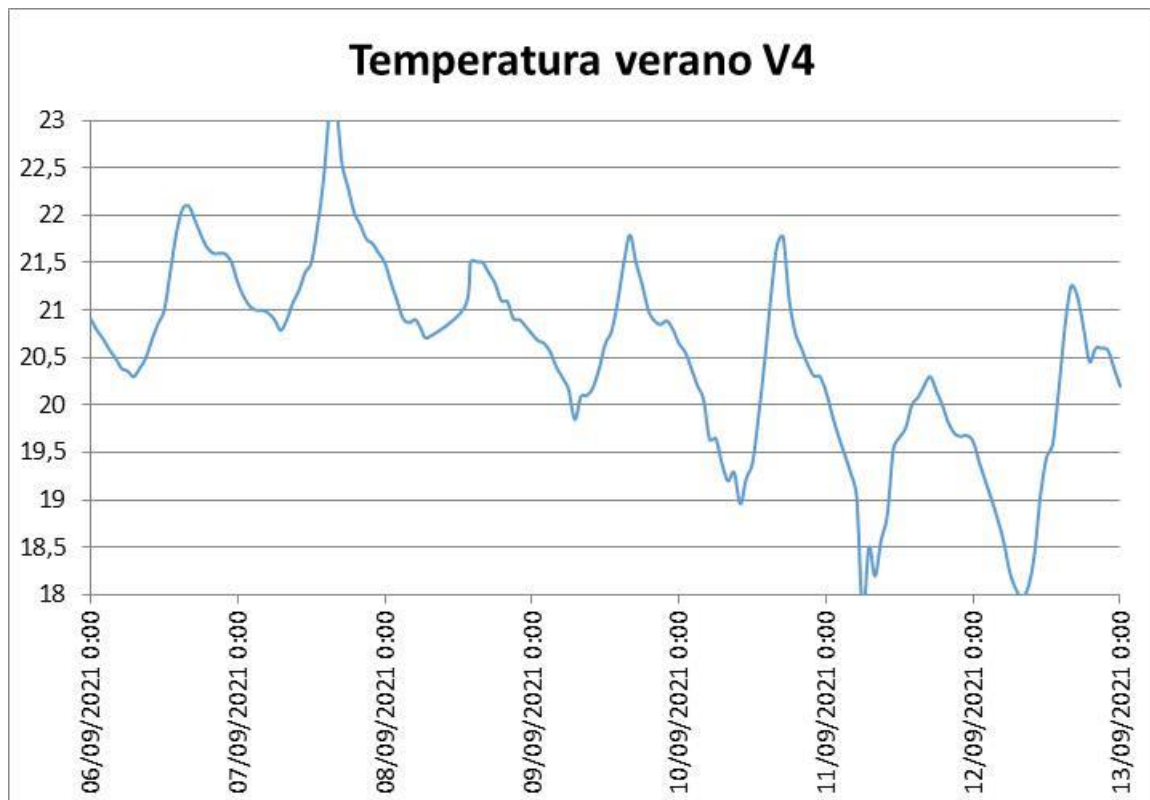


Figura 9 – Valores de temperatura semana de verano en vivienda V4 (°C).

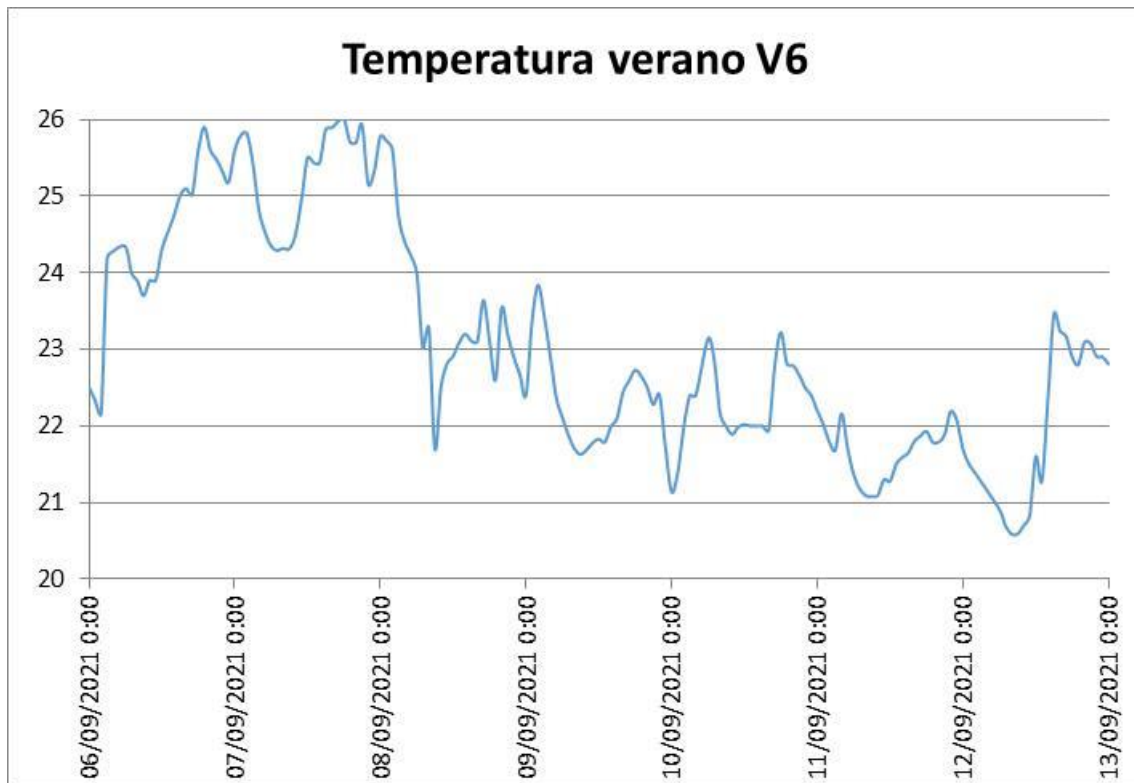


Figura 10 – Valores de temperatura semana de verano en vivienda V6 (°C).

Igual que en el caso de invierno, en la vivienda V4 las variaciones de temperatura se mantienen muy en línea con la temperatura exterior, oscilando diariamente y con una tendencia decreciente a lo largo de la semana, en la vivienda V6 se detecta la misma tendencia decreciente, si bien tiene limitados los picos de temperatura máxima, con dos-tres bajadas puntuales en los momentos de máxima temperatura diaria, lo que es indicativo de la presencia de un sistema de aire acondicionado.

3.3 Medidas de humedad.

3.3.1 Valores medios

Los valores medios de humedad (%) registrados por monitorización en los cuatro meses más significativos se indican en la Figura 6.

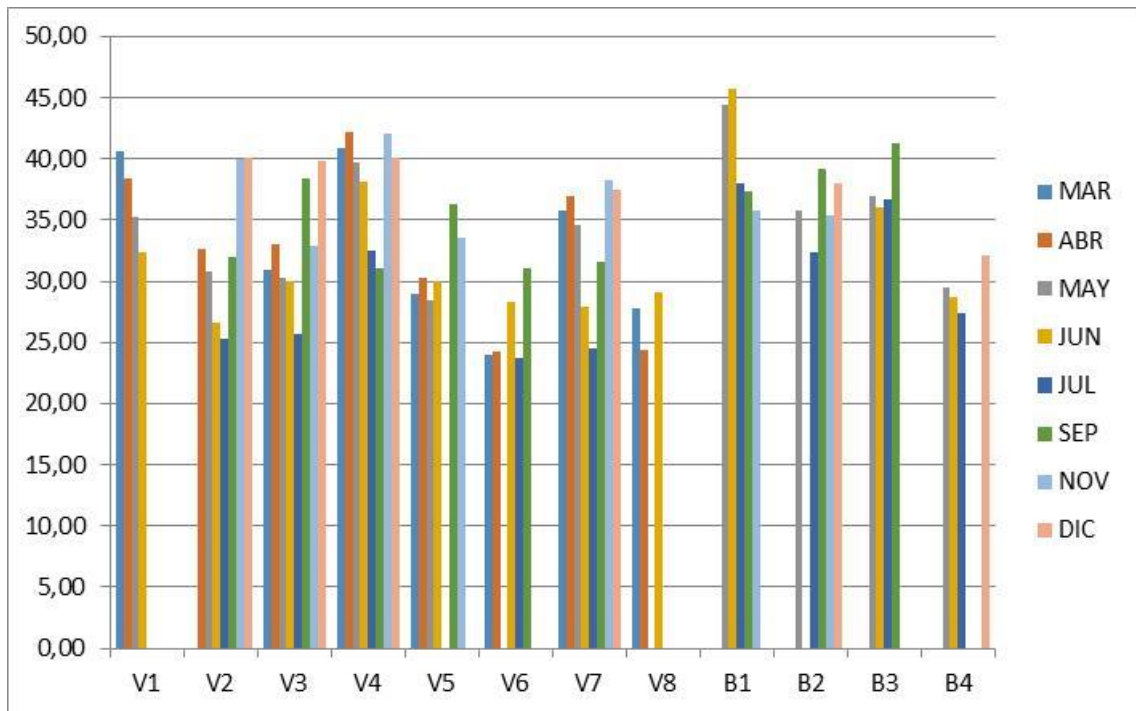


Figura 11 – Valores medios mensuales de humedad (%).

Valores medios de humedad claramente inferiores al 30% solo se han registrado en las viviendas V2, V6 y V8, que se corresponden con las viviendas que tienen mayores niveles de calefacción durante el periodo de invierno. Sería recomendable el uso de un humidificador en estos casos.

3.3.2 Valores típicos de invierno

En Figura 12 y Figura 13 se presentan los valores horarios de humedad a lo largo de una semana típica de invierno para las viviendas V4 y V6.

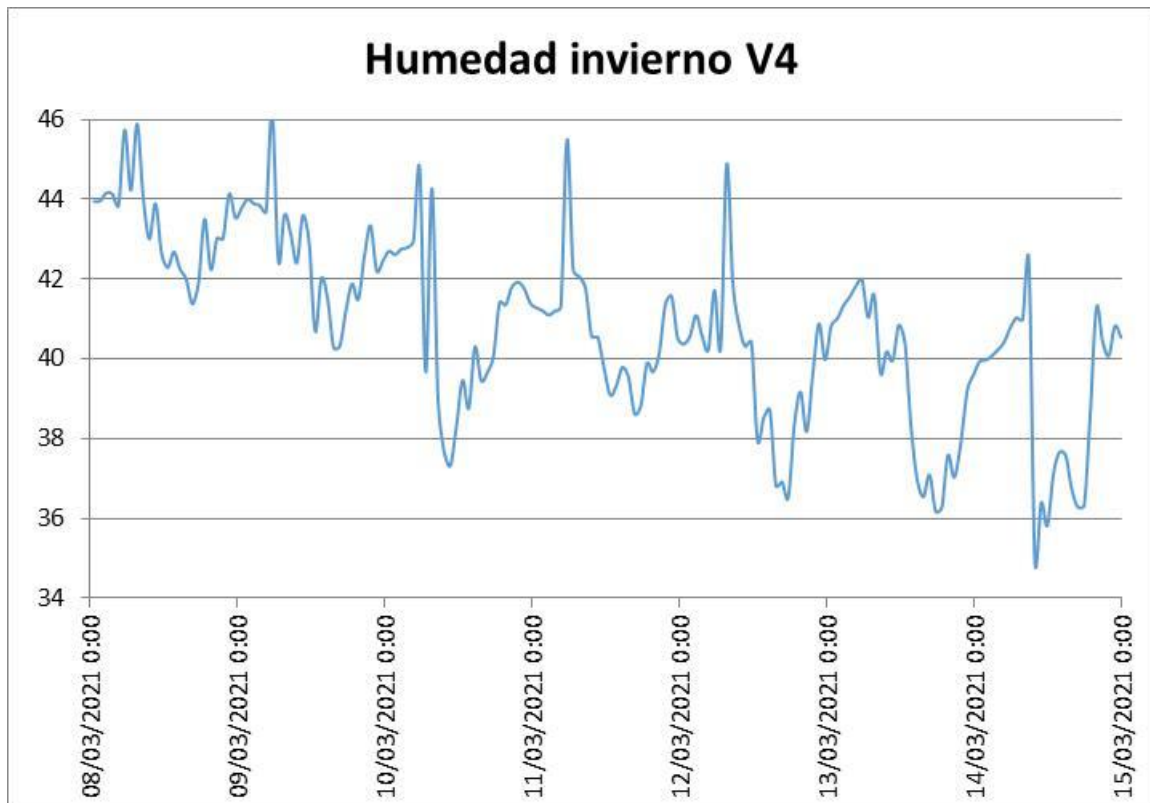


Figura 12 – Valores de humedad semana de invierno en vivienda V4 (%).

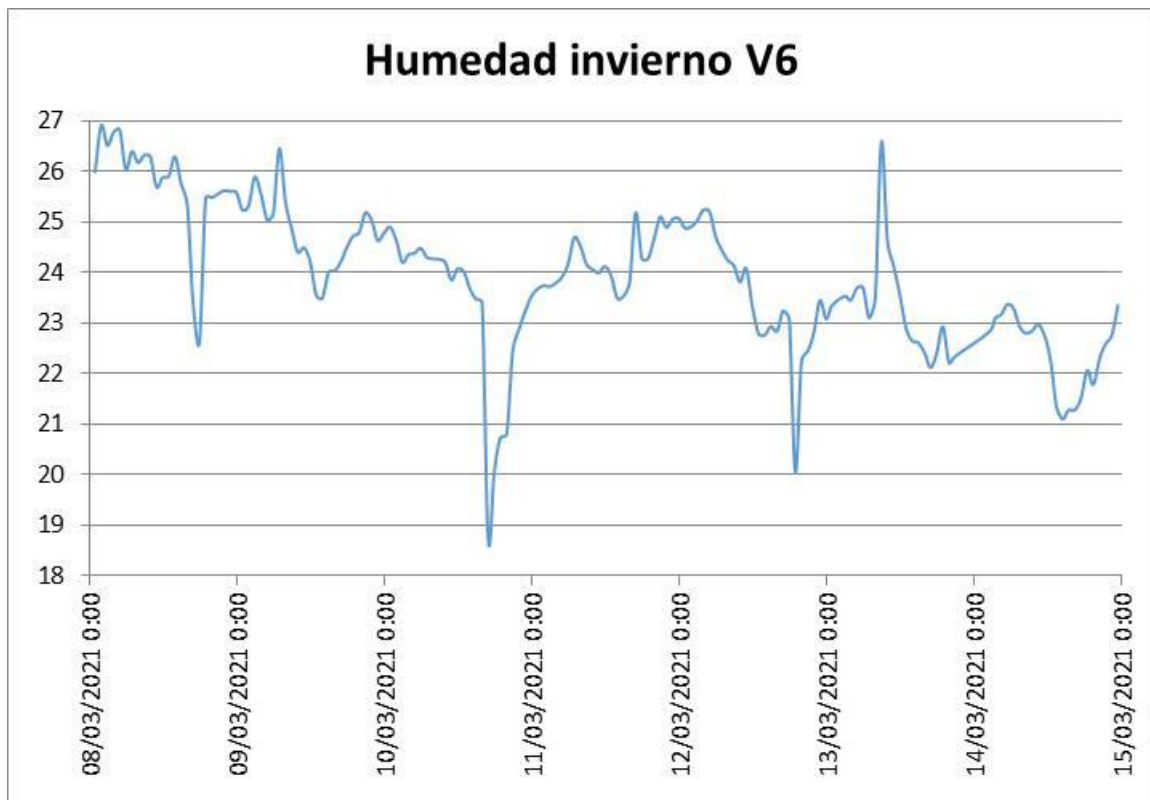


Figura 13 – Valores de humedad semana de invierno en vivienda V6 (%).

Los valores de humedad son especialmente bajos en la vivienda V6, fruto del empleo de niveles altos de calefacción. La humidificación es recomendable.

3.3.3 Valores típicos de verano

En Figura 9 y Figura 15 se presentan los valores horarios de humedad a lo largo de una semana típica de verano para las viviendas V4 y V6.

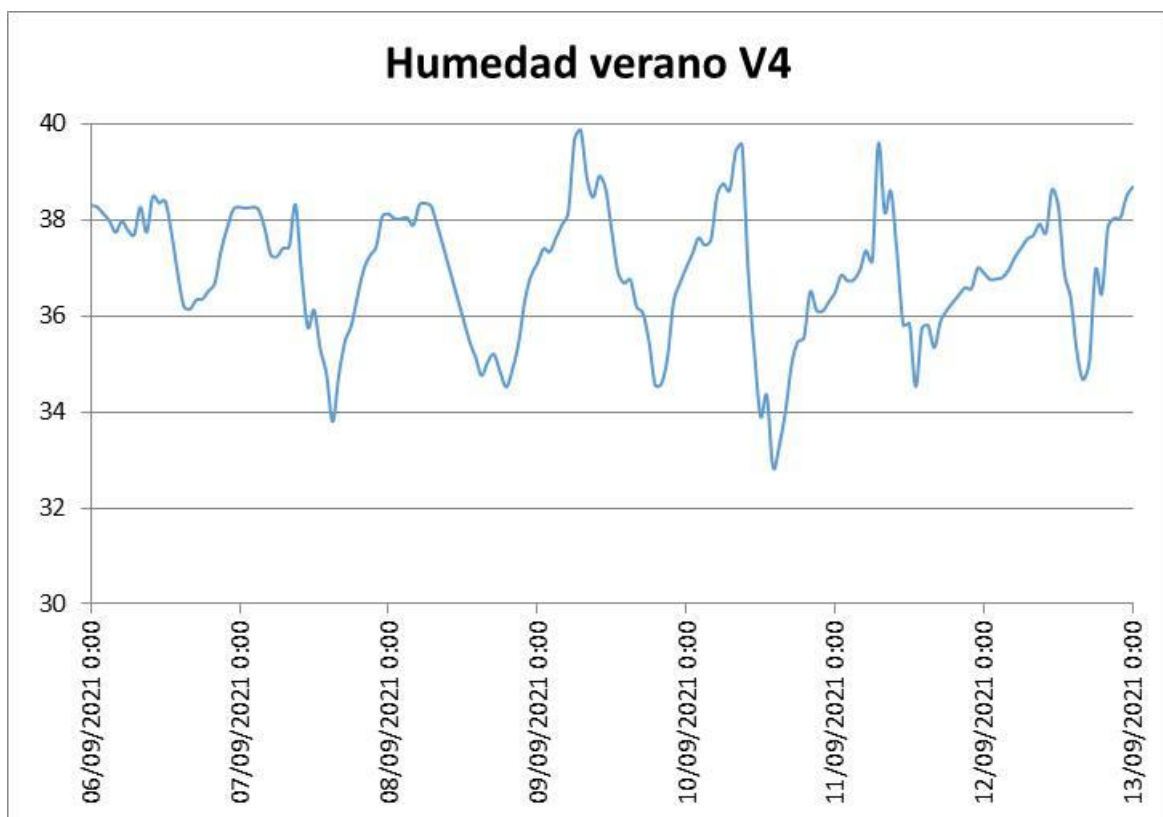


Figura 14 – Valores de humedad semana de verano en vivienda V4 (%).

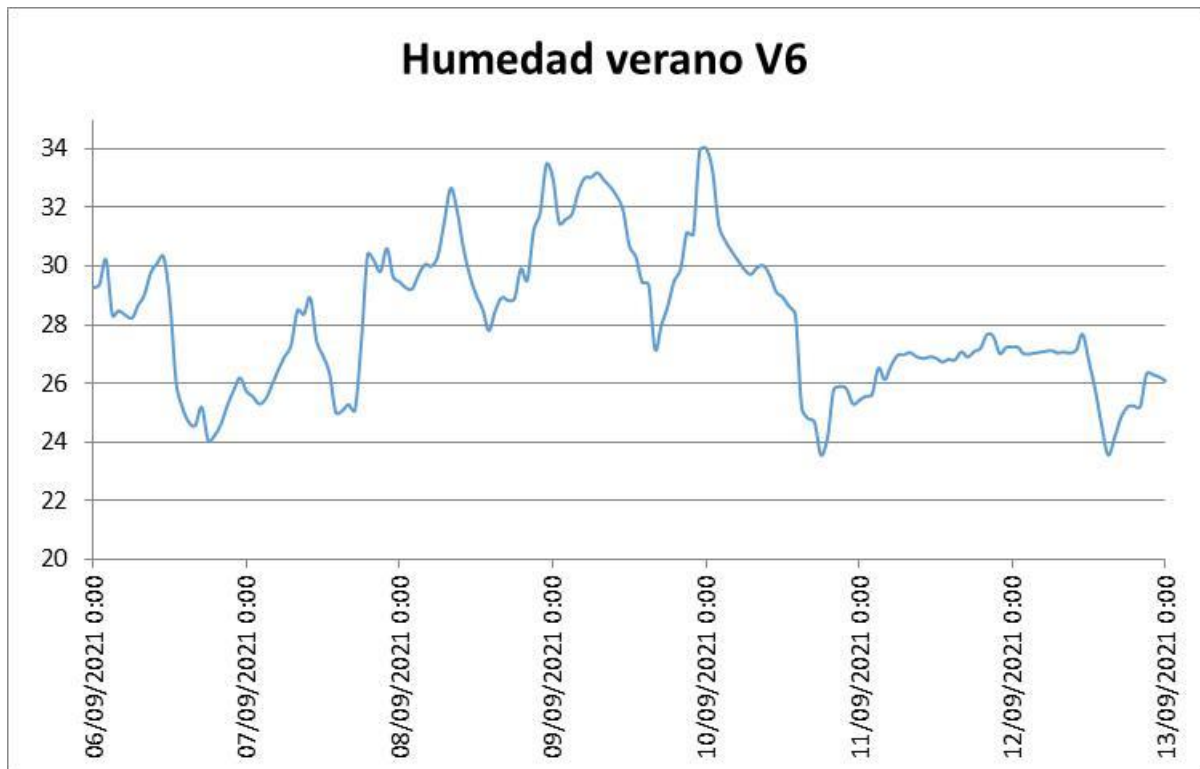


Figura 15 – Valores de humedad semana de verano en vivienda V6 (%).

Los valores de humedad son relativamente bajos y se corresponden con los valores habituales en la zona.

3.4 Medidas de CO₂.

3.4.1 Valores medios

Los valores medios de dióxido de carbono (ppm) registrados por monitorización en los cuatro meses más significativos se indican en la Figura 16.

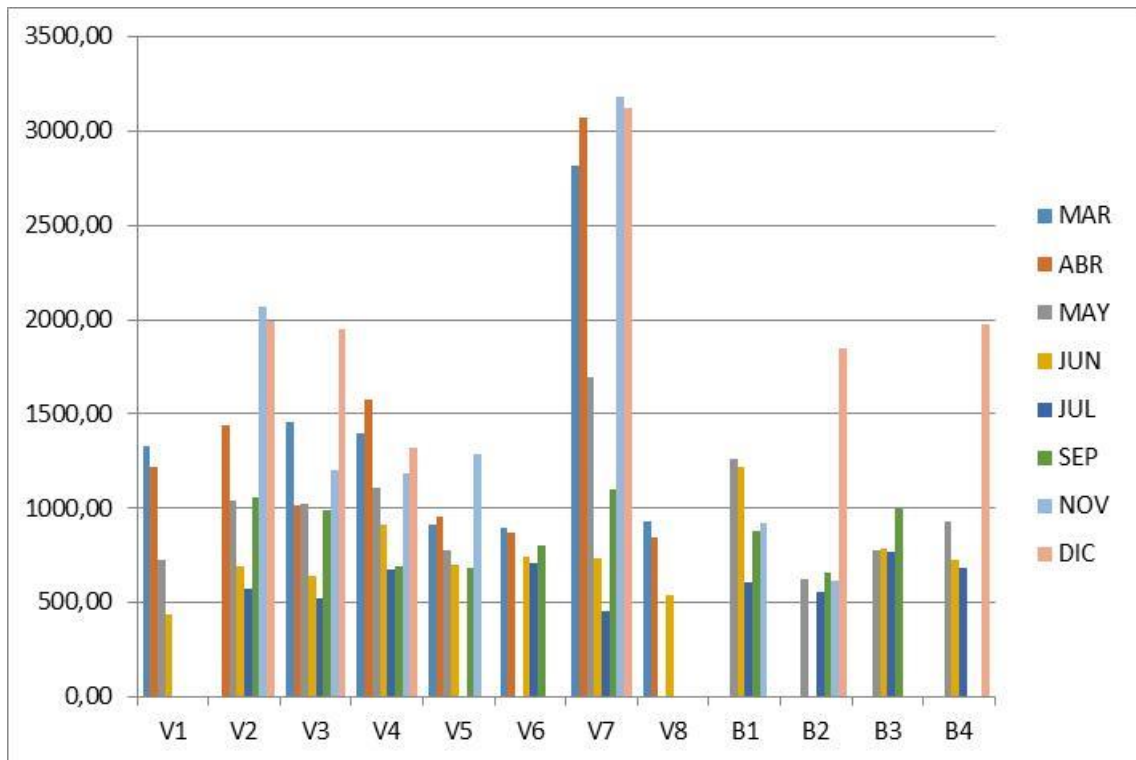


Figura 16 – Valores medios mensuales de CO2 (ppm).

Existen dos viviendas, V2 y V7, que presentan niveles medios de CO muy elevados en los meses de invierno. Estos valores superiores a 2.000 ppm implican unas condiciones inadecuadas para las viviendas, que deben ser corregidas. Para ello se deberán revisar los medios de calefacción empleados, evitando o minimizando el uso de fuentes de generación de calor por combustión directa dentro de la vivienda (estufas de gas y/o braseros de combustión de leña/carbón).

3.4.2 Valores típicos de invierno

En Figura 17 y Figura 18 se presentan los valores horarios de dióxido de carbono a lo largo de una semana típica de invierno para las viviendas V4 y V6.

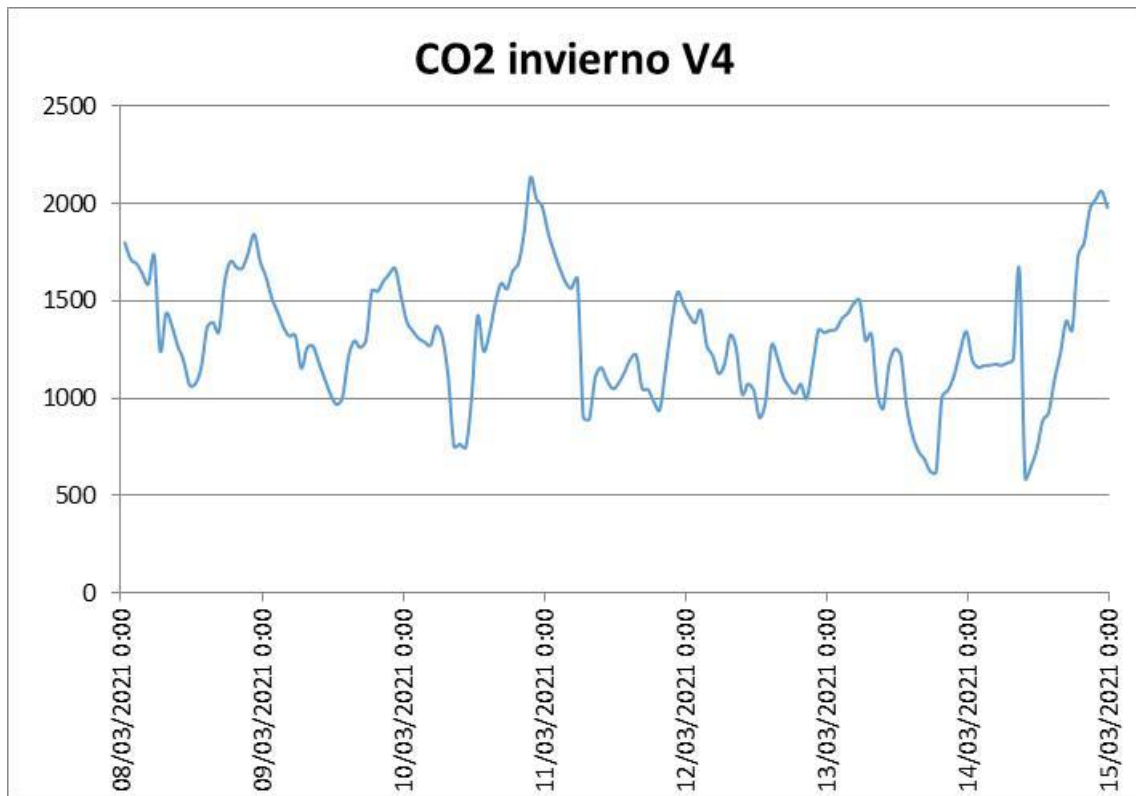


Figura 17 – Valores de CO2 semana de invierno en vivienda V4 (ppm).

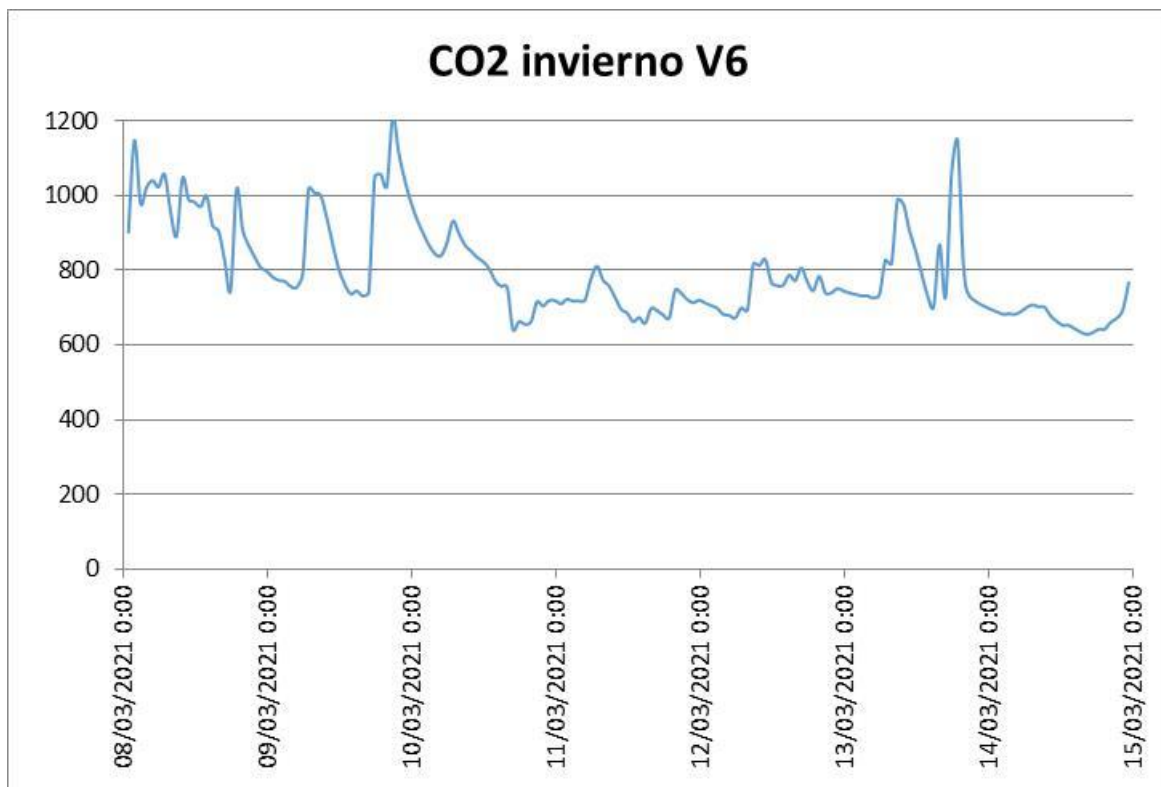


Figura 18 – Valores de CO2 semana de invierno en vivienda V6 (ppm).

Mientras que en la vivienda V6 los valores de CO₂ se mantienen bastante bien acotados por debajo de 1200 ppm, en la vivienda V4 sería recomendable un poco de ventilación para bajar esos picos máximos, que en algún caso son superiores a 2.000 ppm.

3.4.3 Valores típicos de verano

En Figura 19 y Figura 20 se presentan los valores horarios de dióxido de carbono a lo largo de una semana típica de verano para las viviendas V4 y V6.

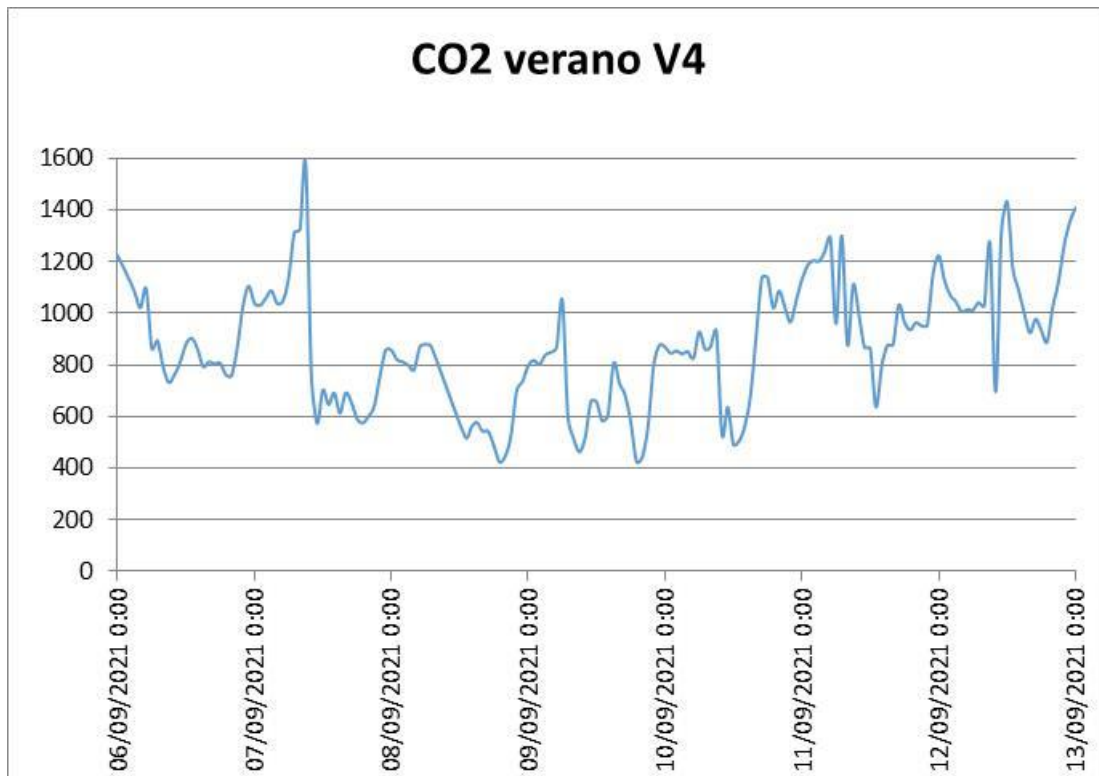


Figura 19 – Valores de CO₂ semana de verano en vivienda V4 (ppm).

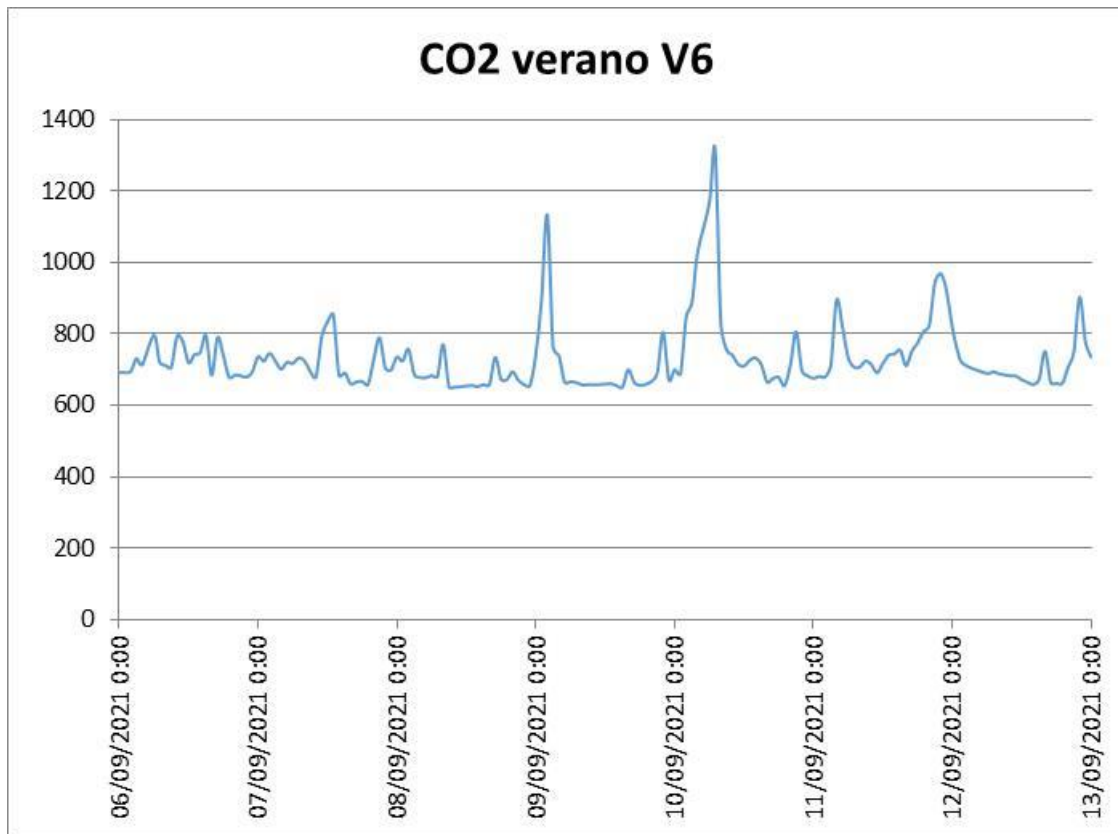


Figura 20 – Valores de CO2 semana de verano en vivienda V6 (ppm).

Ambas viviendas mantienen niveles aceptables de CO2 durante el verano destacando la V6 que, salvo en momentos muy puntuales, no supera el valor de 800 ppm.

3.5 Medidas de iluminación.

La iluminación es un parámetro de confort que, normalmente, el usuario regula a su conveniencia. Dependiendo de la incidencia o no de la radiación directa a través de las ventanas puede presentar diferencias importantes entre los días soleados y los días nublados así como en los diferentes momentos del día. Aunque no siempre es fiable por sí mismo, combinado con la subida de los niveles de CO2 puede ser indicativo de la presencia de personas en el interior de la vivienda.

En el caso de la iluminación no tiene sentido hacer una gráfica con los valores medios mensuales, ya que estos valores medios se ven fuertemente afectados por los datos recogidos durante el periodo nocturno (con valor cero).

3.5.1 Valores típicos de invierno

En Figura 21 y Figura 22 se presentan los valores horarios de iluminación a lo largo de una semana típica de invierno para las viviendas V4 y V6.



Figura 21 – Valores de iluminación semana de invierno en vivienda V4 (lux).



Figura 22 – Valores de iluminación semana de invierno en vivienda V6 (lux).

Nada reseñable en este punto, aparte de la probable ausencia de personas en la vivienda V6 el día 12/03.

3.5.2 Valores típicos de verano

En Figura 23 y Figura 24 se presentan los valores horarios de iluminación a lo largo de una semana típica de verano para las viviendas V4 y V6.

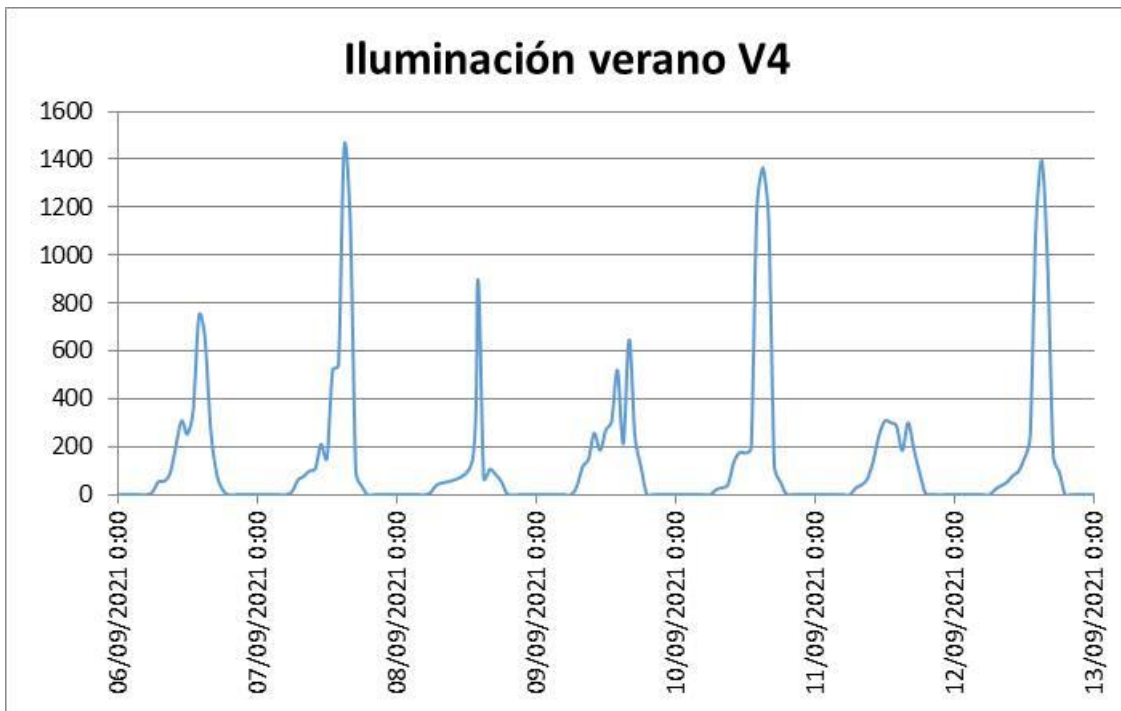


Figura 23 – Valores de iluminación semana de verano en vivienda V4 (lux).



Figura 24 – Valores de iluminación semana de verano en vivienda V6 (lux).

Se detecta la presencia de picos de iluminación elevados en determinados momentos del día relacionados con la orientación de las viviendas.

4. CALIDAD DEL AIRE INTERIOR

4.1 Monóxido de Carbono (CO)

El Monóxido de carbono (CO) es un gas potencialmente dañino para la salud, que puede en casos extremos llegar a dañar gravemente la salud o incluso la muerte en casos de concentraciones muy elevadas. Tiene origen en la combustión incompleta de hidrocarburos en condiciones de déficit de oxígeno.

Las distribuciones porcentuales de los resultados (Ver Tabla 1) demuestran que, para la mayor parte de las viviendas, los datos asumen una distribución con valores por debajo del nivel de alerta, de los 9 ppm. Sin embargo, en tres de las viviendas, se sobrepasa ese rango, aunque por cortos periodos.

En estos casos, el nivel de alerta se sobrepasó por cortos períodos y en niveles no muy elevados. Esta situación no tiene porqué ser alarmante, sin embargo, los residentes deben vigilar esta situación y buscar formas de mejorar la ventilación en el interior de la vivienda.

Tabla 1 – Datos de las distribuciones porcentuales de cada vivienda, separados en tres grupos.

local	<2.5 ppm	2.5-9 ppm	>9 ppm
A01	29,6%	70,4%	0,0%
A02	68,0%	32,0%	0,0%
A03	2,5%	97,5%	0,0%
A04	76,4%	23,6%	0,0%
A05	39,1%	60,9%	0,0%
A06	13,6%	86,3%	0,1%
A07	7,4%	92,4%	0,2%
A08	82,8%	17,2%	0,0%
A09	94,1%	5,9%	0,0%
E03	34,0%	63,9%	2,0%

4.1.1 Perfil semanal

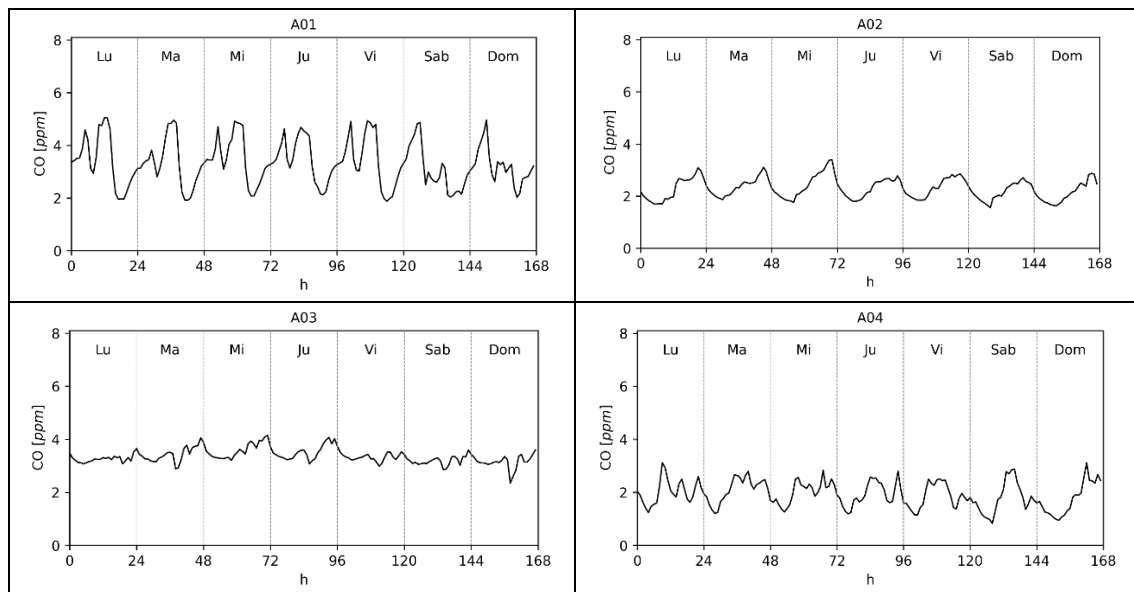
Los datos que se presentan a continuación corresponden a los perfiles de variación media semanal para las viviendas de ENERUSER. Las variaciones traducen modelos de uso diferenciado de las habitaciones una vez que el CO (monóxido de carbono) es sensible a la actividad de los residentes, a como sea el uso de sistemas de combustión (exceptuando la Cocina) o la simple ocupación de la habitación donde está el sensor, además de depender del nivel de ventilación o aireación de los espacios.

En los sensores introducidos en las habitaciones se han registrado en el periodo de validación, variaciones diarias, demostrando la capacidad de los sistemas en registrar los cambios en las concentraciones de CO.

En particular, se registran diversos ejemplos de oscilaciones que refieren a un incremento en contexto del uso cotidiano de los residentes y, en particular, en el contexto de los momentos de los usos del espacio donde se sitúan los sensores, con reducciones en los momentos de menor uso, como por ejemplo durante la noche.

En general, no se identificaron problemas con las concentraciones de CO, por lo que no son esperables efectos negativos por exposición media a este contaminante.

Los datos de que disponemos no nos permiten concluir la relación entre los datos de monitoreo y los detalles del uso cotidiano de los residentes, aunque esa información puede ser fácilmente identificada por los residentes al acceder a los datos de la plataforma.



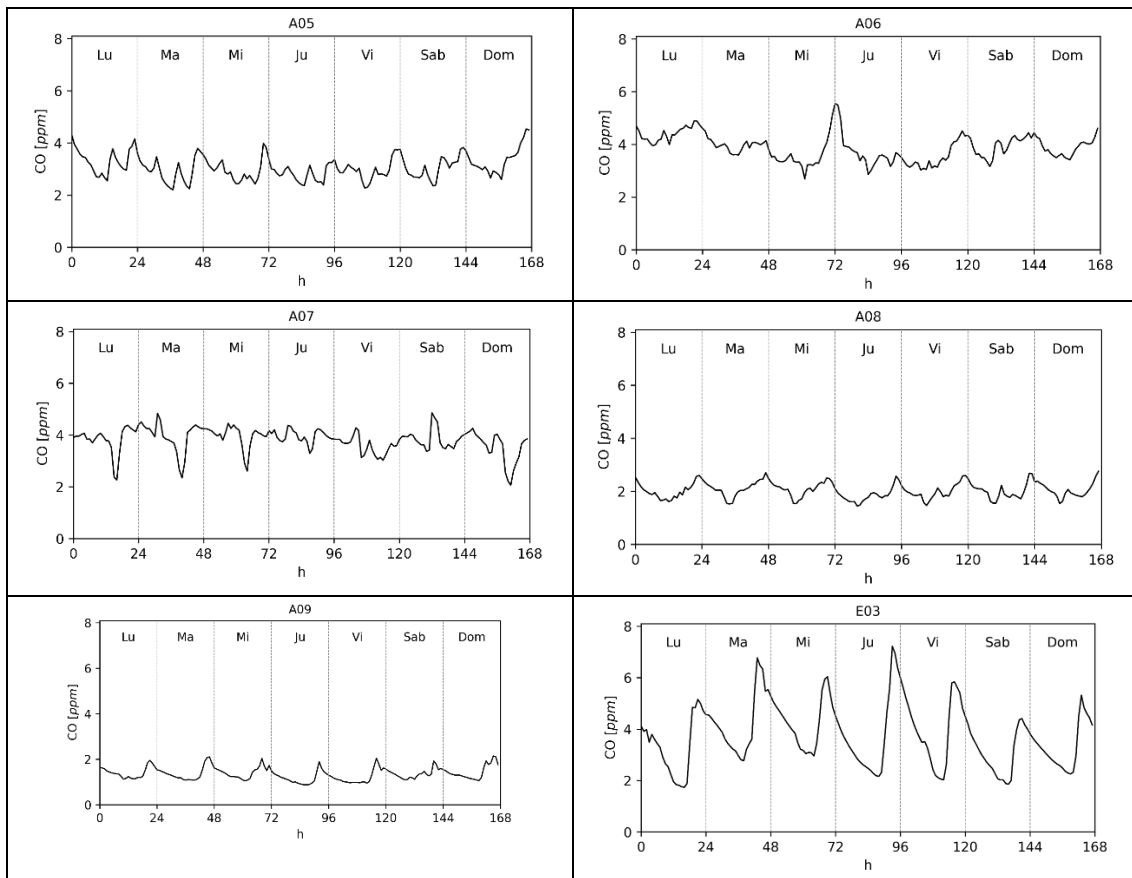


Figura 25 - Perfil semanal de monóxido de carbono

4.1.2 Serie temporal

Los gráficos de serie temporal, que también están disponibles en la plataforma de ENERUSER representan los datos medidos por los sensores, en registros regulares con un promedio de un minuto. Estas lecturas pueden ser definidas en su duración en la plataforma, los datos de la Figura 26, traducen los periodos de medición en la fase final del proyecto y hasta su conclusión el 31 de diciembre del 2022, con la presentación de los datos en sus mediciones instantáneas, a cada un minuto, y los datos para las medias móviles a cada hora de medición.

La línea intermitente que se representa en los gráficos corresponde a la línea de alerta para la concentración de CO, que corresponde a una concentración de 9 ppm. Concentraciones superiores a este valor, pueden comprometer la salud de los residentes. Puede observarse es sobrepasada en breves instantes en una de las viviendas. En estas circunstancias, el sistema además de registrar los valores en la plataforma, enciende una luz roja, que alerta a los residentes. La aireación de los

espacios y el control de las fuentes de combustión, vigilando las combustiones incompletas, o incluso el control del consumo de cigarrillos, son acciones que deben ser controlados a efectos de conseguir una mejora de la calidad del aire.

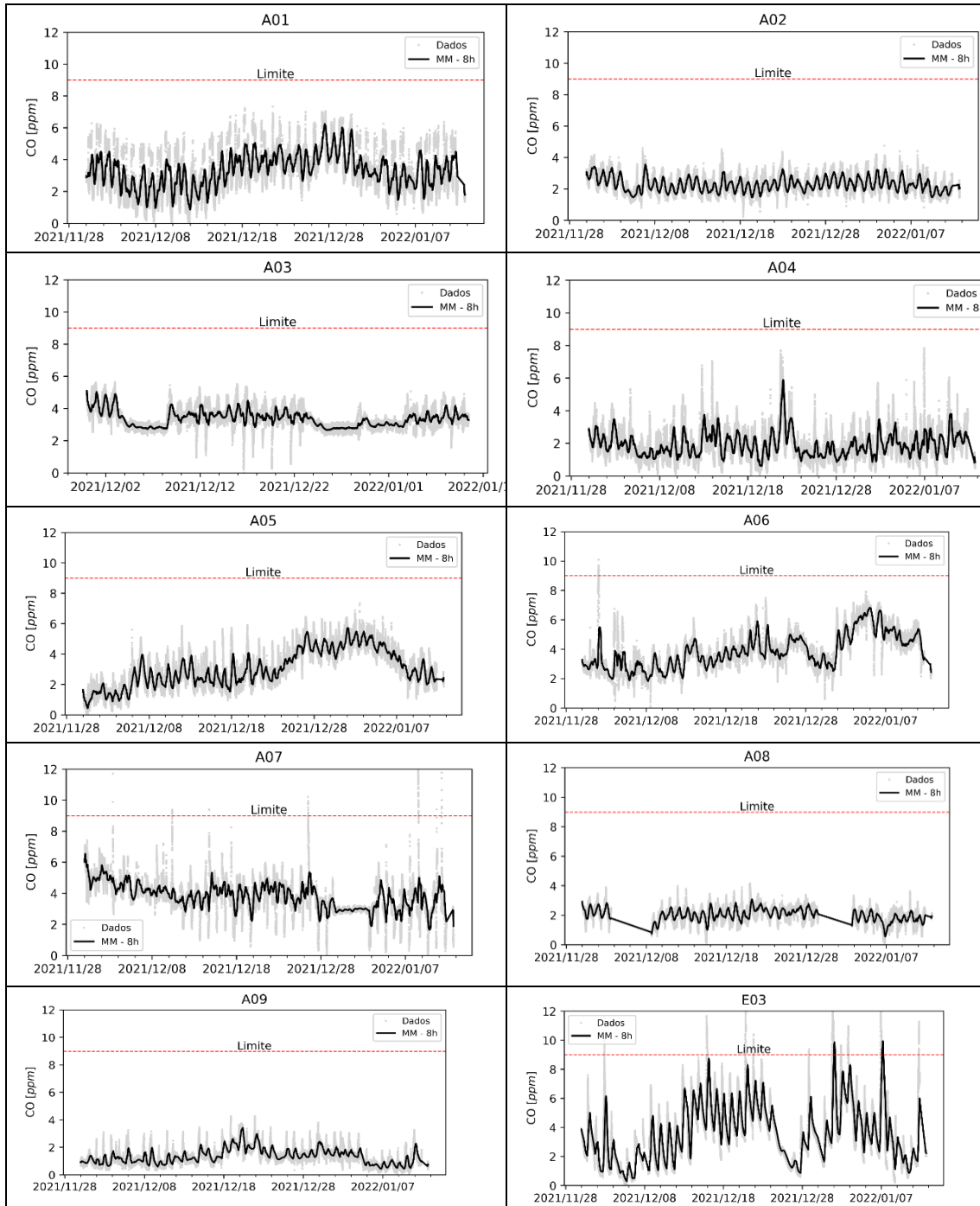


Figura 26 - Serie temporal y media de las concentraciones de Monóxido de carbono en el interior de las viviendas

4.2 Partículas en suspensión

Las partículas en suspensión traducen la presencia en la atmosfera de pequeñas partículas que por su reducido peso y aerodinámica viajan en el atmosfera y pueden entrar en contacto con el sistema respiratorio humano, generando posibles daños cuya gravedad dependerá de la concentración, dimensión de estas partículas y de la duración de la exposición.

En la tabla 2, para el nivel de partículas totales se presenta el resumen de los datos obtenidos para las distintas viviendas. Los valores son en lo general bastante bajos, pero en algunas de las casas se sobrepasa puntualmente el límite de referencia de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, incrementando las posibilidades de que ocurran daños para la salud de los ocupantes.

Tabla 2 – Resumen de datos para el periodo de medición

local	<25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	25-50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	>50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
A01	90,7%	5,3%	4,0%
A02	99,2%	0,8%	0,0%
A03	99,9%	0,1%	0,0%
A04	42,9%	16,6%	40,4%
A05	95,0%	2,9%	2,1%
A06	90,3%	4,4%	5,3%
A07	97,2%	1,6%	1,2%
A08	92,8%	3,6%	3,6%
A09	96,9%	2,6%	0,5%
E03	89,2%	3,5%	7,4%

Esta situación es particularmente relevante para la vivienda A04, con un nivel de excedencia que puede comprometer la calidad del aire interior de esta vivienda.

4.2.1 Perfil semanal

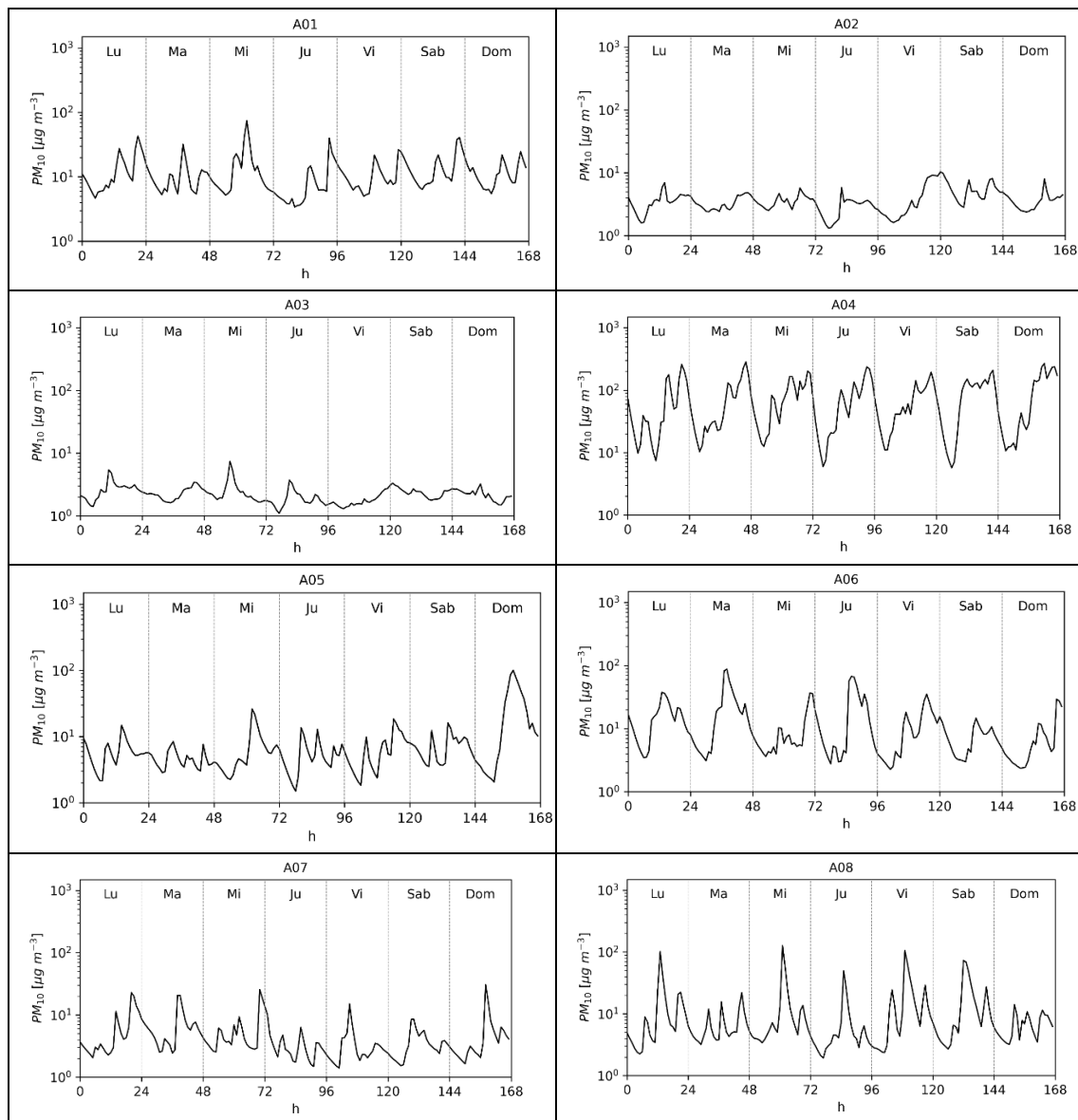
El perfil semanal de las concentraciones de partículas en suspensión asume una distribución semejante a la registrada en el caso del monóxido de carbono, traduciendo una variación que se relaciona con el modelo de uso de las viviendas y, en particular, de la habitación donde se ubicaron los sistemas de medición.

La escala representada es logarítmica por ser la que mejor traducen la gran amplitud de datos que se pueden encontrar en esta medición.

Algunas viviendas tienen un perfil muy variable, como sean las viviendas A02 y A03, mientras que las restantes presentan picos variables en la mayor parte de los casos

asociados al periodo diurno. En las viviendas A04 el máximo se obtiene en el periodo nocturno, mientras que en el caso de las viviendas A01 u A08, se registran auges predominantes en el contexto diurno.

Con estos datos, los residentes podrán relacionar de modo individual y directo los datos registrados haciendo su propia interpretación de la calidad del aire en este parámetro.



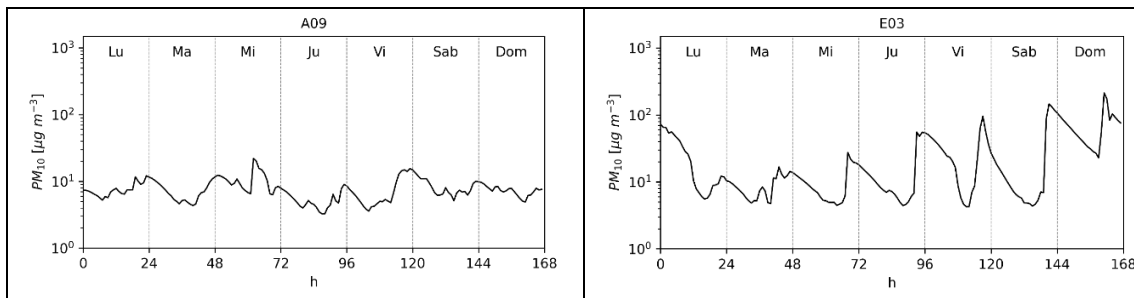


Figura 27 - Perfil semanal de Partículas en Suspensión

4.2.2 Serie Temporal

La serie temporal representada (ver Figura 28) estaba aún bastante incompleta ya que corresponde a las primeras semanas de monitoreo, sin embargo, es posible constatar que los datos asumen un patrón de variable que corresponde a las respuestas de los sensores en las condiciones existentes.

Las líneas grises corresponden a los datos de medición en intervalos regulares (10 min.), mientras de las líneas de tonalidad negra corresponde a las medias móviles para intervalos de ocho horas. Se recuerda que la escala de medición es una escala logarítmica.

Los datos representados, que corresponden al periodo de invierno, corresponden a un periodo particularmente sensible desde el punto de vista de la calidad del aire interior, porque las viviendas tienden a permanecer encerradas, lo que compromete la necesaria ventilación de los espacios.

Las gráficas representadas permiten determinar que, en algunas residencias, la presencia de partículas no es una cuestión de menor relevancia, porque se alcanzan valores superiores a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. El caso de la vivienda A04, es particularmente preocupante porque existe una continua excedencia del valor límite, por lo cual se constata un problema grave de calidad del aire interior que debe determinar cambios en la vida de los moradores, en particular el cese de las actividades generadoras de partículas, como son el consumo de tabaco o la quema de biomasa, así como con ajustes en los sistemas de ventilación de la casa o con la readecuación de la(s) chimenea(s). Esta acción es urgente para no peligrar la salud de los residentes.

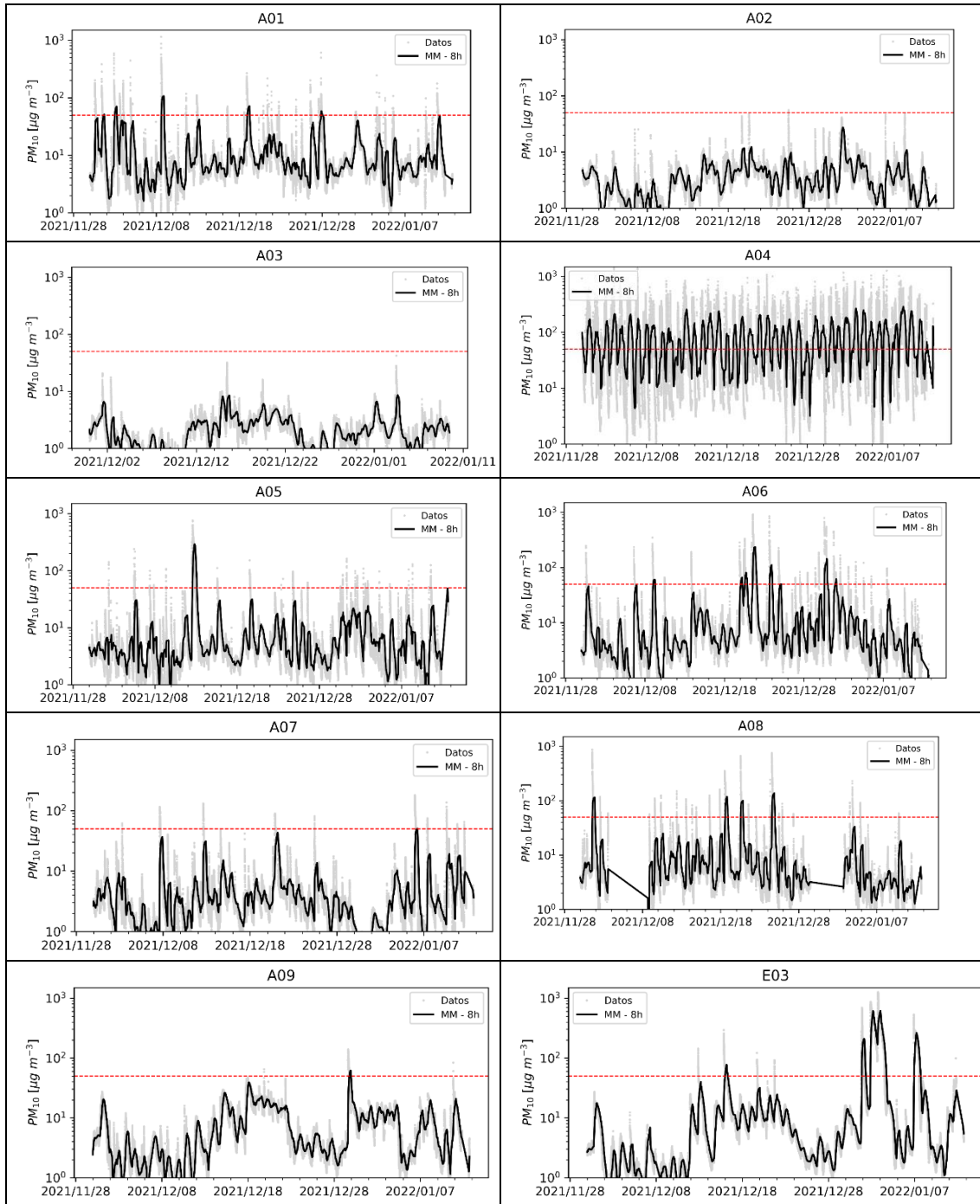


Figura 28 - Serie temporal de datos y media móvil de 8 horas da concentración en masa de PM₁₀ no interior das viviendas.

4.3 Calidad del Aire Exterior

Los datos de calidad del aire exterior, medidos en dos localizaciones Bragança (Portugal) (EX01) y Cistérniga (Valladolid - España) (EX02), se miden con el propósito de servir de referente para las condiciones del exterior permitiendo interpretar su posible influencia en la calidad de las viviendas del proyecto ENERUSER. Las variables medidas incluyen el Monóxido de carbono (CO), el Dióxido de Carbono (CO₂) y el Ozono (O₃).

En el caso del CO y del CO₂, las fuentes asociadas a estos contaminantes están principalmente asociadas a la combustión de automóviles o de otro tipo, que pueden tener impacto en las concentraciones en el interior de las viviendas.

4.3.1 Monóxido de Carbono

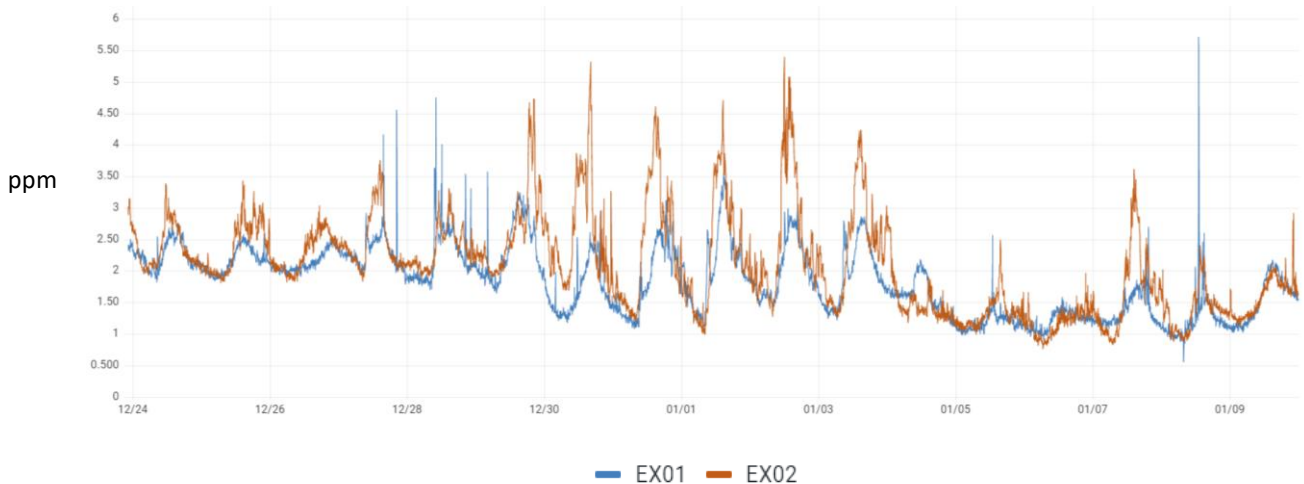


Figura 29- Variación de la concentración de Monóxido de carbono en los dos sistemas de monitoreo exterior – EX01 Bragança y EX02 Cistérniga

4.3.2 Dióxido de Carbono

Las concentraciones de Dióxido de carbono, para ambos sistemas de monitoreo, en el exterior son bajas con lo cual se puede concluir que su impacto en las concentraciones de interior fue escaso. En este contexto, se puede asumir que no tuvo una influencia determinante en las concentraciones en el interior de las viviendas.

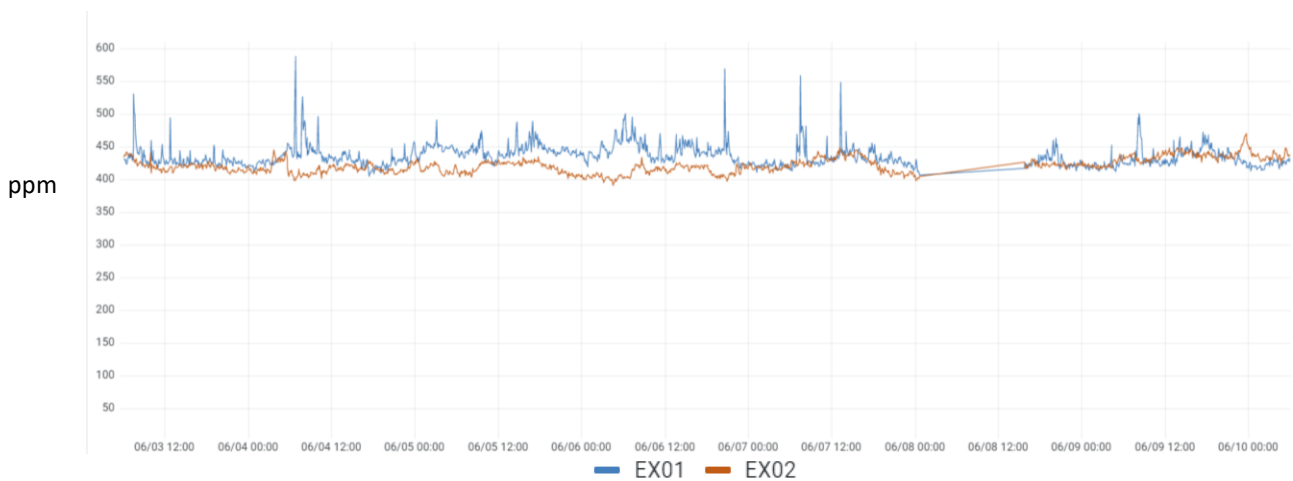


Figura 30 - Variación de la concentración de Monóxido de carbono en los dos sistemas de monitoreo exterior – EX01 Bragança y EX02 Cistérniga

Los resultados para el CO₂ son coherentes con las concentraciones típicas en la atmósfera y, como sería esperable, no representan un riesgo para la salud humana. Este indicador permite evaluar factores complementares al comportamiento de las viviendas y sugiere que la calidad del aire exterior no tenía un impacto relevante sobre los espacios interiores de las viviendas.

4.3.3 Ozono

El Ozono es un contaminante que puede resultar en un importante factor de pérdida de calidad del aire en el contexto urbano. En la troposfera, el ozono es un contaminante secundario, que surge como resultado de reacciones fotoquímicas cuando están presentes contaminantes precursores primarios como los óxidos de nitrógeno (NO_x) y los compuestos orgánicos volátiles (COV) provenientes de procesos industriales o del transporte, y la radiación solar. Este es un indicador además un indicador objetivo del proyecto, que fue medido para efectos de validación del impacto de las intervenciones en espacios exteriores.



Figura 31- Variación de la concentración de Monóxido de carbono en los dos sistemas de monitoreo exterior – EX01 Bragança (Nota: un problema técnico impidió la obtención de datos fiables para La Cistiernaga en el periodo de referencia).

Los resultados la estación de Bragança señalan que no se excedió el umbral de exposición de largo plazo, del $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en relación con la concentración máxima de los promedios diarios de ocho horas y menos aún de los umbrales de información pública de $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$, o de alerta de $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Debe señalarse que los datos de Ozono se incrementan habitualmente en los periodos de mayor incidencia de radiación, por lo que los resultados obtenidos pueden incrementarse significativamente en el verano, por factores locales o incluso como consecuencia de procesos de transporte de contaminantes.

5. CONFORT TÉRMICO

5.1 Datos micro meteorológicos

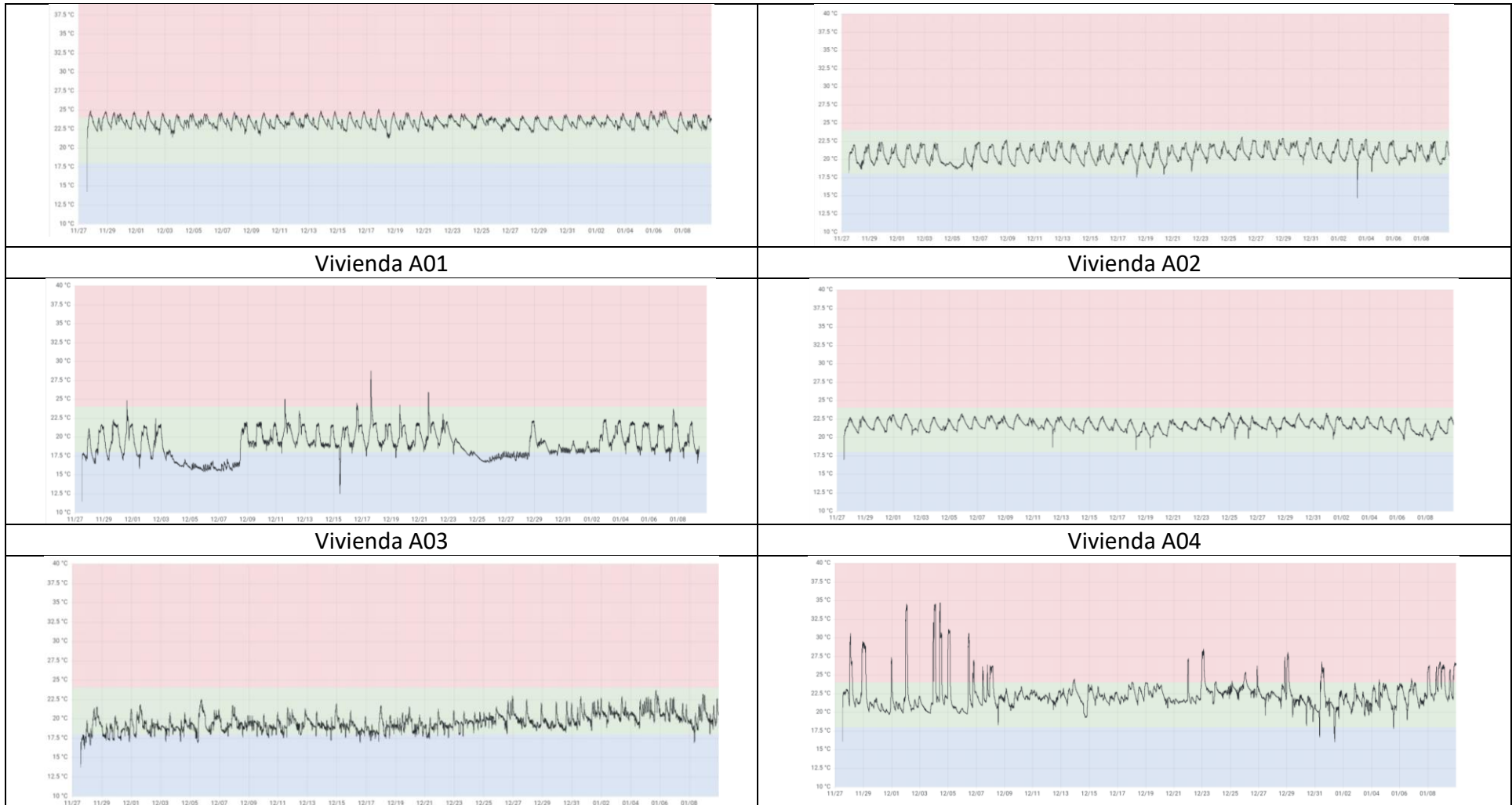
5.1.1 Temperatura del aire

La temperatura del aire es medida en continuo, con registros en intervalos de diez minutos, y el resultado son graficas de variación individual que aquí se presentan de modo individual. En las gráficas podemos ver tres zonas de temperatura, de abajo hacia arriba: la zona de bajas temperaturas, inferior a 18°C; la zona de potencial confort, entre los 18°C y los 24°C; la zona de altas temperaturas, superior a 24°C. Estas zonas son apenas ilustrativas porque en la estimación del confort térmico hay que considerar otras variables como sean la humedad relativa, la velocidad del aire o la temperatura media radiante.

En las próximas páginas se presentan los perfiles de variación de la temperatura en las viviendas monitorizadas en el proyecto ENERUSER.

En todas las viviendas se registren variaciones diarias, coincidiendo con el periodo de uso de los espacios, en combinación con las condiciones del exterior, que determinan que en el periodo nocturno se registraron las temperaturas más bajas.

Entre las distintas viviendas es posible encontrar diferencias en el perfil de temperaturas. En el caso de las viviendas A01, A02, A04, A05 y A08, se observa que las temperaturas oscilan dentro de la zona de potencial confort térmico. En el caso de la vivienda A07, se registra una gran variabilidad con la presencia de datos elevados frente a lo que sería deseable. En la vivienda A03, se registraron algunos días con temperaturas ligeramente bajas, lo que puede señalar la ausencia de los residentes en la vivienda durante algunos días. Finalmente, en las viviendas A09 e E03, los datos señalan que apenas puntualmente existían temperaturas en el contexto de confort térmico potencial.



Vivienda A01

Vivienda A02

Vivienda A03

Vivienda A04

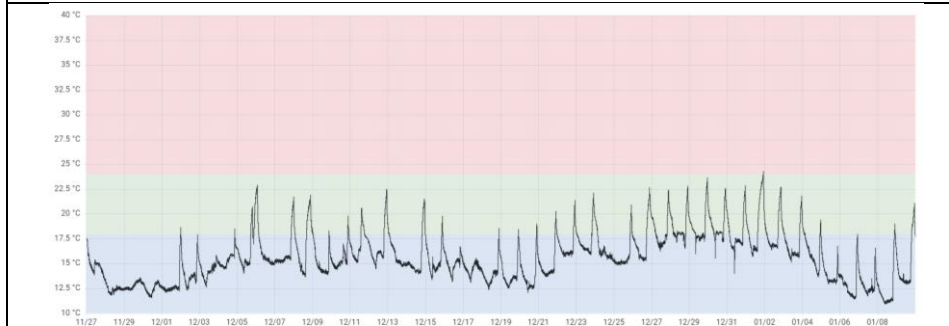
Vivienda A05



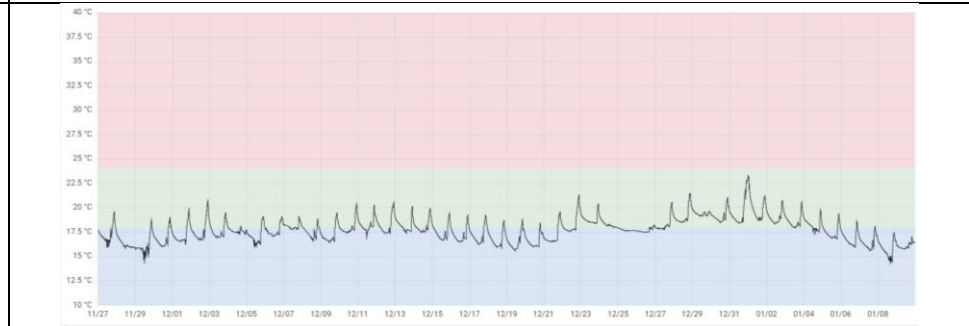
Vivienda A06



Vivienda A07



Vivienda A08



Vivienda A09

Vivienda E03

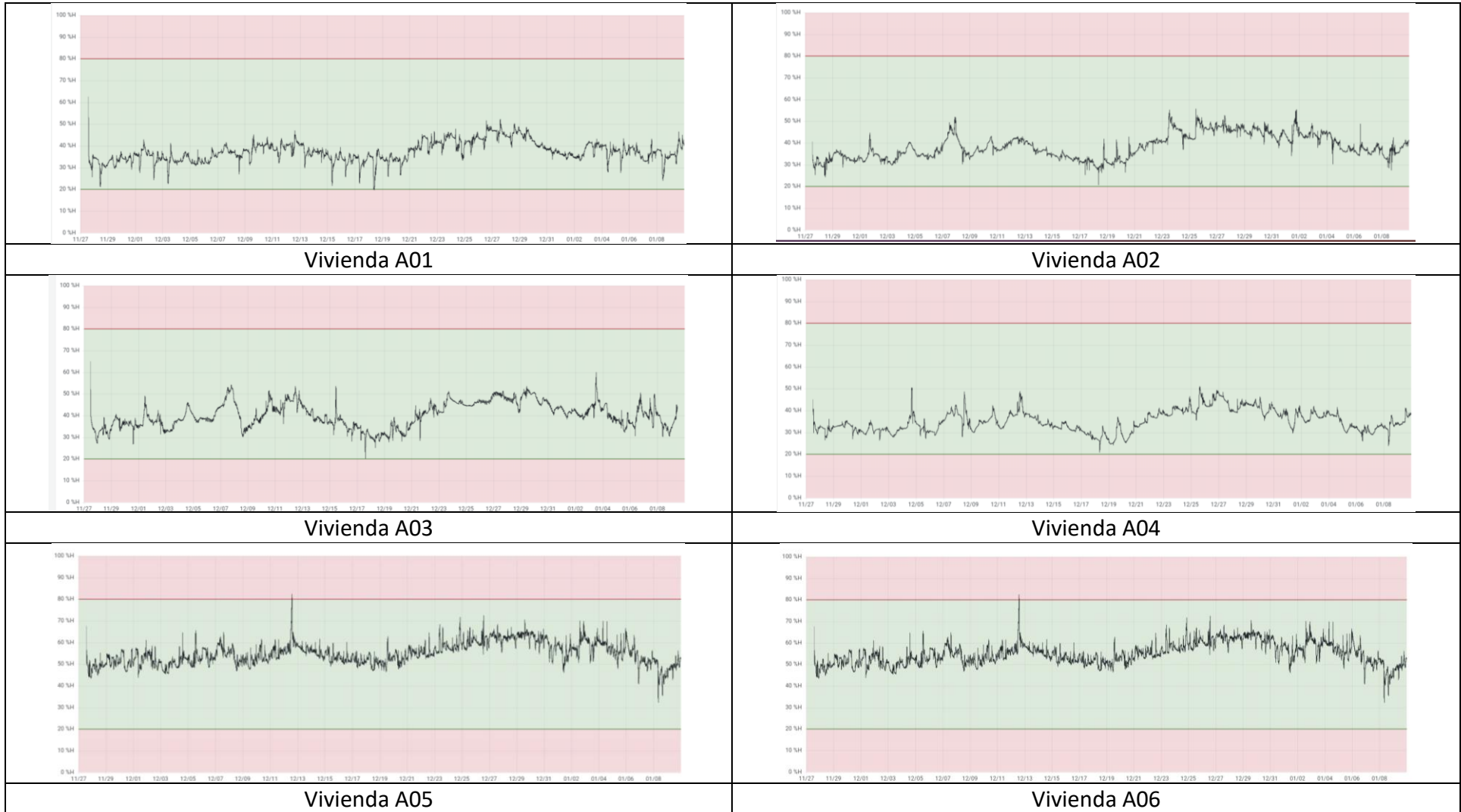
5.1.2 Humedad relativa

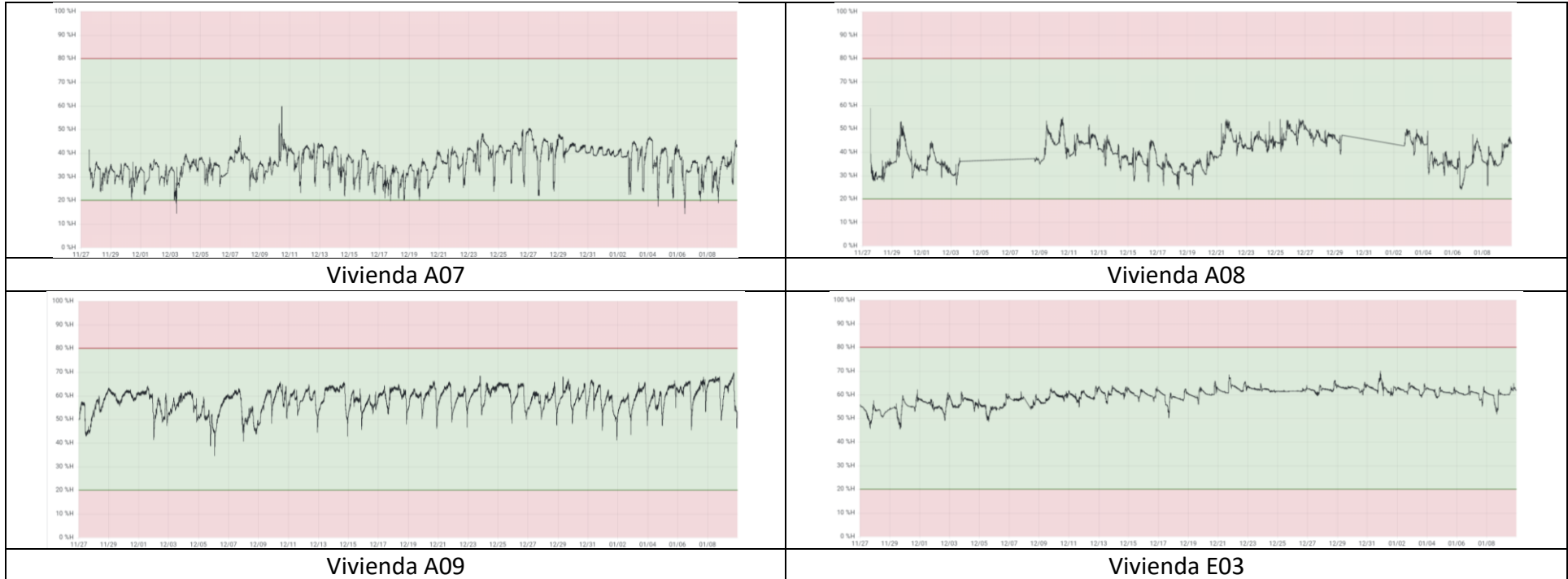
La humedad relativa traduce la cantidad de agua presente en la atmosfera frente a la cantidad máxima que la atmosfera puede contener. Por ese motivo, es una variable que corresponde no solamente a la cantidad de vapor, como además a la temperatura y presión del aire, con lo cual se registran habitualmente valores más bajos en las temperaturas más altas y, de modo inverso, valores más altos de humedad relativa, asociado a las temperaturas más bajas.

Teniendo como referencial los elementos de los estudios de Givoni ([1967]1998), aunque el confort térmico es condicionado por esta variable, su efecto directo se expresa en los extremos, con una amplia zona de confort entre los 20% y los 80%.

En las páginas siguientes se presentan las gráficas de la humedad relativa con la indicación de tres zonas distintas: aire extremadamente seco, debajo del 20%; humedad de confort, 20% a 80%; aire extremadamente húmedo, más del 80%.

A excepción de algunos momentos puntuales, en todas las viviendas se registran valores de humedad relativa que aisladamente no deben contribuir para la presencia de situaciones de ausencia de confort térmico.





5.1.3 Temperatura Media Radiante

La temperatura media radiante (MRT) corresponde al promedio de la temperatura superficial de los elementos que rodean un espacio. Influye tanto en la pérdida de calor por radiación del cuerpo como en la pérdida de calor por conducción cuando el cuerpo está en contacto con superficies más frías.

Esta variable es relevante para el cálculo de algunos de los más relevantes indicadores de confort térmico, como es el caso del *PMV*, de que se hablará más adelante.

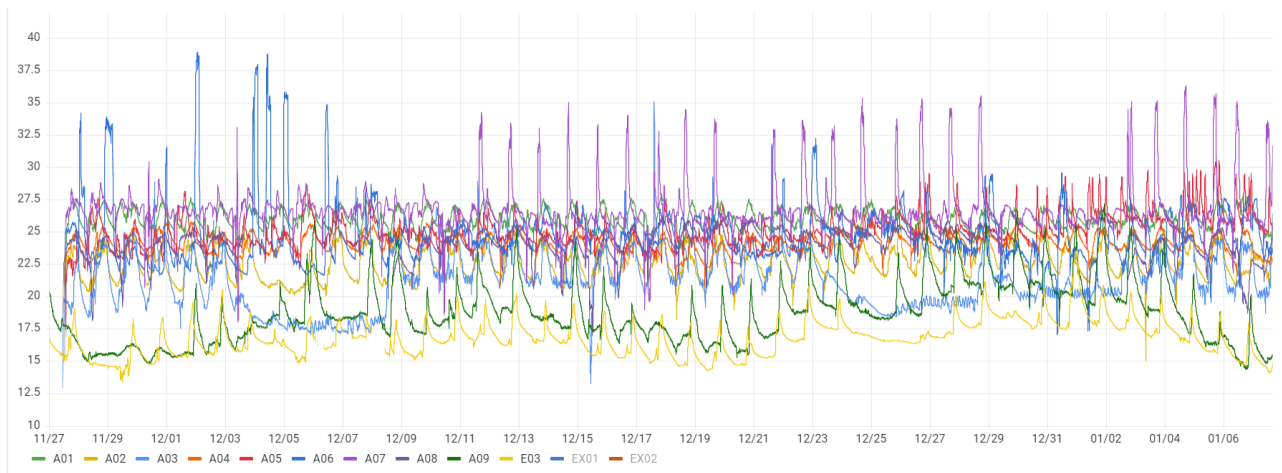


Figura 32 - Evolución de los datos de Temperatura Media Radiante para el conjunto de los sensores del proyecto

Considerando que esta variable no debe ser analizada aisladamente, se considera para su integración en el cálculo del *PMV*.

5.2 Carta psicrométrica

La Carta Psicrométrica, también conocida por Carta de Givoni (1992), en honor a su creador, es una herramienta que permite comprender las relaciones entre los diversos parámetros de confort térmico interior. Es un gráfico complejo que se puede utilizar para evaluar las propiedades físicas y termodinámicas de las mezclas de gas y vapor a una presión constante. A menudo se utilizan para evaluar las propiedades del aire húmedo. Esto puede ser útil en el diseño de sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado para edificios, y los gráficos psicrométricos incluyen una zona en el medio que representa el rango de condiciones en las que las personas se sienten cómodas en diferentes circunstancias (como verano e invierno). La lectura de la carta, permite además definir estrategias de adecuación termo climática en el interior de los edificios.

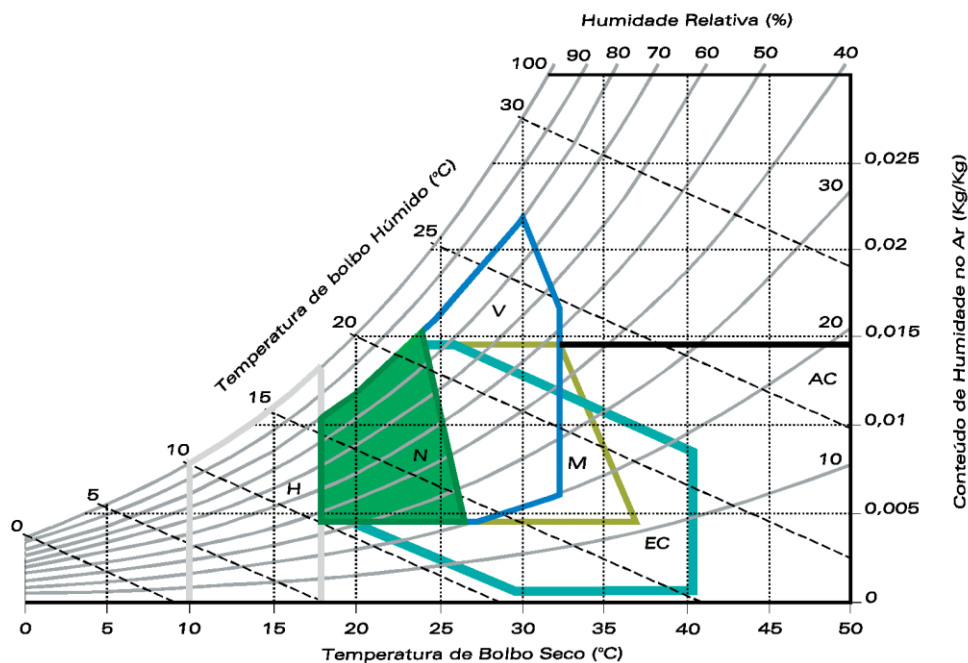


Figura 33 - Carta Psicrométrica o Carta de Givoni (Gonçalves y Graça, 2004).

Entre las variables que se pueden interpretar en estas graficas se encuentran: la Entalpia (h), el Volumen Específico (v); Temperatura de Punto de Rocío (°C); Humedad Relativa (%); Presión de vapor (Pv); Factor de Calor Sensible (FCS); Presión barométrica estándar. En el gráfico usado, por simplificación de procesos de cálculo, se establece también la temperatura del seco, permitiendo ubicar los datos obtenidos por el sensor en el contexto de esta carta bioclimática.

A continuación, se presentan las cartas psicrométricas de las diferentes viviendas y una interpretación de las posibles estrategias de intervención, centrada en el periodo de invierno, momento en el que se obtuvieron los datos. El área en azul corresponde a la zona potencial de confort de invierno, mientras que el área en naranja corresponde a la zona de potencial confort de verano. Las Cartas psicrométricas son generadas y continuamente actualizadas en la plataforma del proyecto. La biblioteca para python [psychrochart](#).

La vivienda A01 presenta una condición de confort térmico que se puede considerar buena, puesto que los datos se ubican en la condición de confort, pese al pequeño desajuste en el contexto de la humedad relativa para el contexto de referencia. De hecho, cuando comparado con las cartas presentadas por Gonçalves y Graça (2004), que pueden ser considerados como un referente para el contexto Ibérico, los datos caen integralmente en la condición de confort térmico.

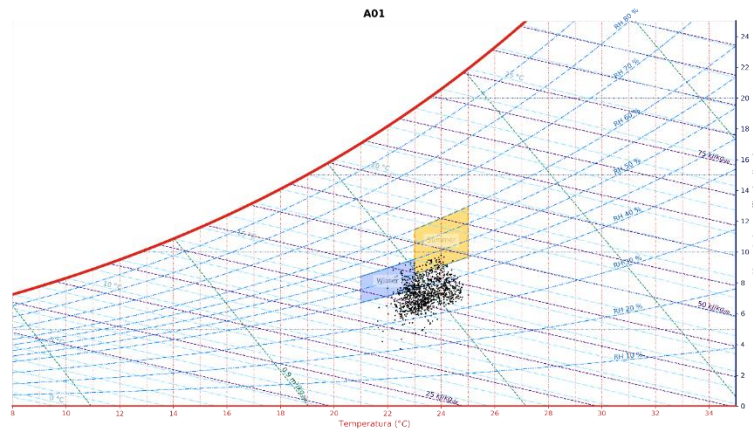


Figura 34 - Representación de los datos de temperatura del aire y de humedad relativa en la Carta Bioclimática para la vivienda A01

La vivienda A02 presenta un nivel de confort térmico muy aceptable, puesto que los datos se ubican en la condición de confort, pese al pequeño desajuste en el contexto de temperatura, que podrá motivar el refuerzo de la calefacción con un ligero incremento de la temperatura, que en el periodo diurno puede ser alcanzado con el complemento de la calefacción solar pasiva.

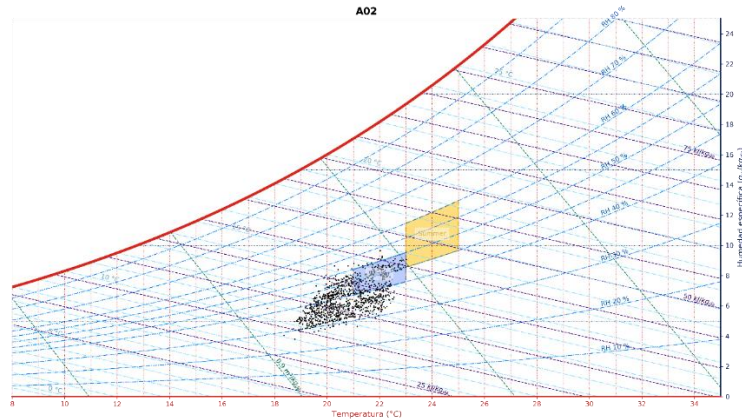


Figura 35 - Representación de los datos de temperatura del aire y de humedad relativa en la Carta Bioclimática para la vivienda A02.

La vivienda A03 presenta un bajo nivel de confort térmico porque presenta una temperatura muy baja para el contexto climático y se necesitará un aporte adicional de calor por calefacción, puesto que, en su nivel actual el espacio monitoreado presenta temperaturas bajas.

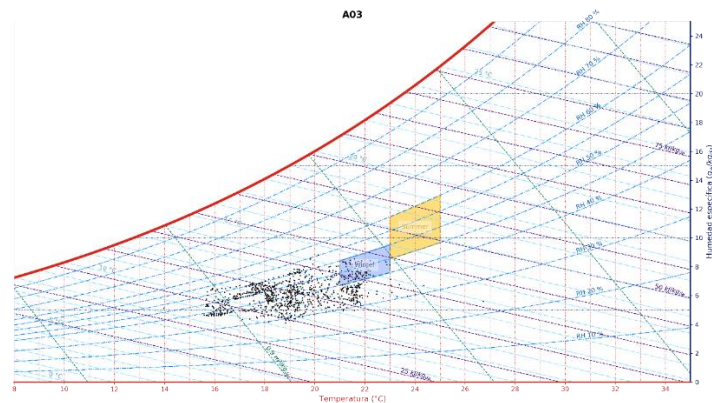


Figura 36 - Representación de los datos de temperatura del aire y de humedad relativa en la Carta Bioclimática para la vivienda A03.

La vivienda A04 presenta valores de temperatura que permiten el confort térmico, aunque la humedad sea relativamente baja, no deberá comprometer esa condición.

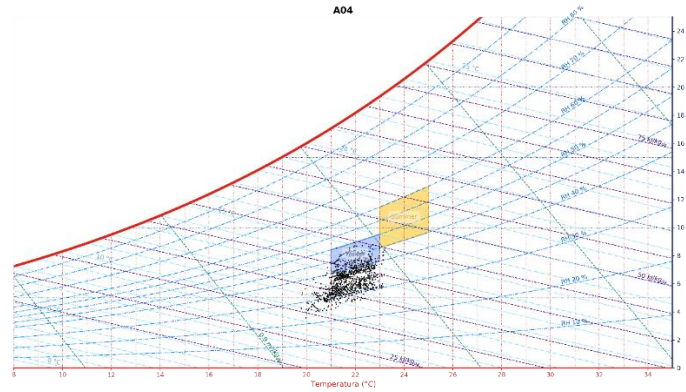


Figura 37 - Representación de los datos de temperatura del aire y de humedad relativa en la Carta Bioclimática para la vivienda A04.

La condición de la vivienda A05 es semejante a la de la vivienda A03 y se necesitará un aporte adicional de calor por calefacción.

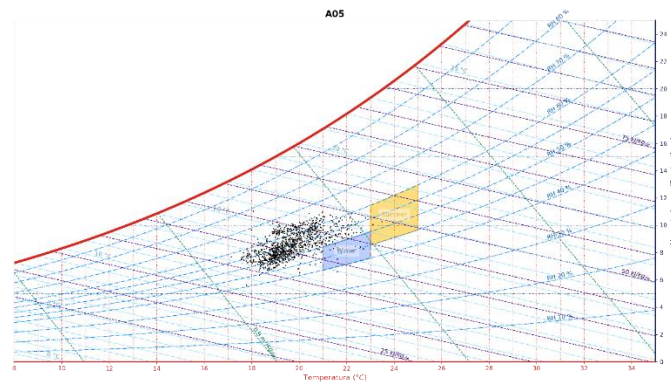


Figura 38 - Representación de los datos de temperatura del aire y de humedad relativa en la Carta Bioclimática para la vivienda A05.

En la vivienda A06 se registra una gran dispersión de los valores de monitoreo, lo cual sugiere que los sistemas de calefacción no son controlados o parametrizados. En el periodo de estudio solo se encuentra una gran dispersión de datos con la ocurrencia de situación de calor excesivo, con valores en los que se ultrapasan los 30°C. Aun así, una gran proporción de los datos caen en un contexto de confort térmico.

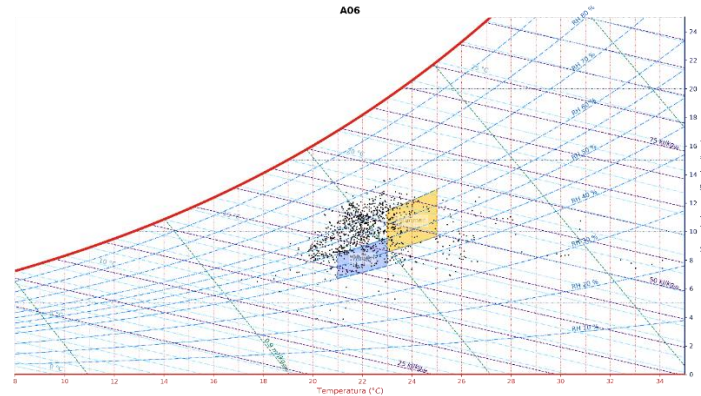


Figura 39 - Representación de los datos de temperatura del aire y de humedad relativa en la Carta Bioclimática para la vivienda A06.

En cuanto a la vivienda A07, pese a alguna dispersión de datos, en particular hacia el contexto del calor, la mayor parte de los datos corresponden a valores de confort térmico.

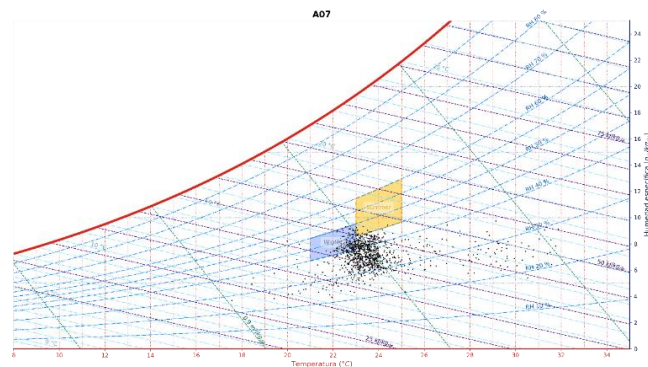


Figura 40 - Representación de los datos de temperatura del aire y de humedad relativa en la Carta Bioclimática para la vivienda A07.

Los datos registrados para la vivienda A08 relatan la presencia de temperaturas mayoritariamente en condiciones de confort, aún así, se registran valores inferiores a los valores de referencia.

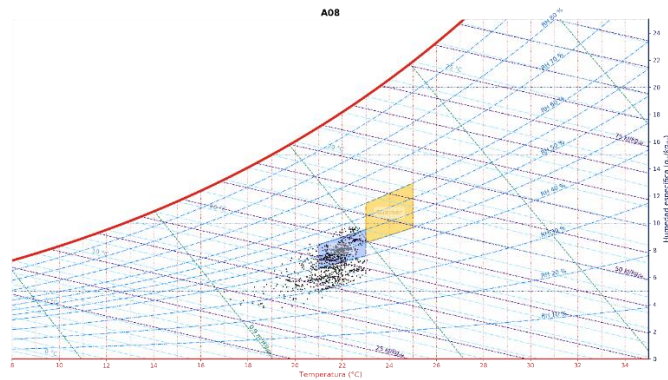


Figura 41 - Representación de los datos de temperatura del aire y de humedad relativa en la Carta Bioclimática para la vivienda A08

En la vivienda A09, se registran valores muy bajos de temperatura a lo largo de la generalidad del día, con lo cual no se registran condiciones para a ocurrencia de condiciones de confort térmico. La calefacción de estos espacios es fundamental para que se garantice un nivel mínimo de confort térmico.

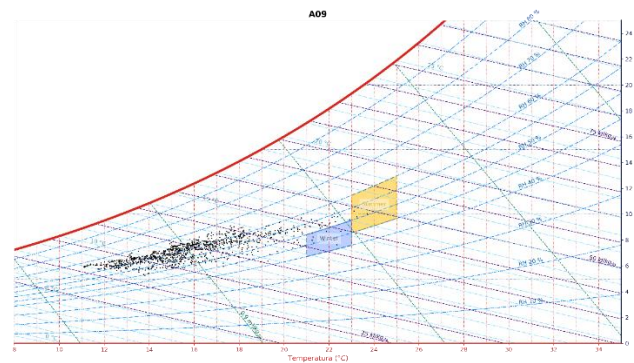


Figura 42 - Representación de los datos de temperatura del aire y de humedad relativa en la Carta Bioclimática para la vivienda A09.

Finalmente, y cuanto a la vivienda E03, las condiciones son semejantes a la A09 y no permiten que se obtenga el confort térmico, exigiendo que los ocupantes tengan que socorrerse de medios complementarios de ajuste bioclimático, como sea el uso de vestuario de invierno en el contexto interior.

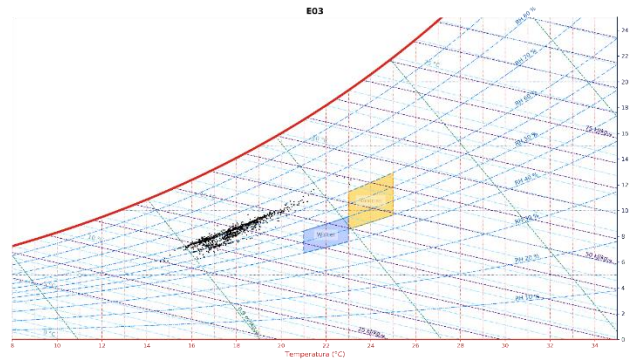


Figura 43 - Representación de los datos de temperatura del aire y de humedad relativa en la Carta Bioclimática para la vivienda E03.

5.2.1 PMV

Los datos recogidos en los sistemas de monitorización permiten estimar el grado de confort térmico por la métrica de Valor medio previsible del voto, que corresponde a la sensación térmica esperable, según una escala de siete puntos. Este método desarrollado por Fanger supone la existencia de una escala de niveles de confort expresados del muy frío (-3) al muy caliente (+3) con un nivel intermedio de pleno confort térmico (0). La escala completa se puede ver en la

Puntuación	Sensación Térmica
+3	Mucho Calor
+2	Bastante Calor
+1	Algo de Calor
0	Neutra
-1	Algo de Frio
-2	Bastante Frio
-3	Mucho Frio

Para este cálculo se asumió que la ventilación de los espacios es prácticamente nula (Velocidad del aire interior: 0.1 m/s), una ropa típica de invierno (1 clo) y que las personas permanecen sentada la mayor parte del tiempo (1 MET).

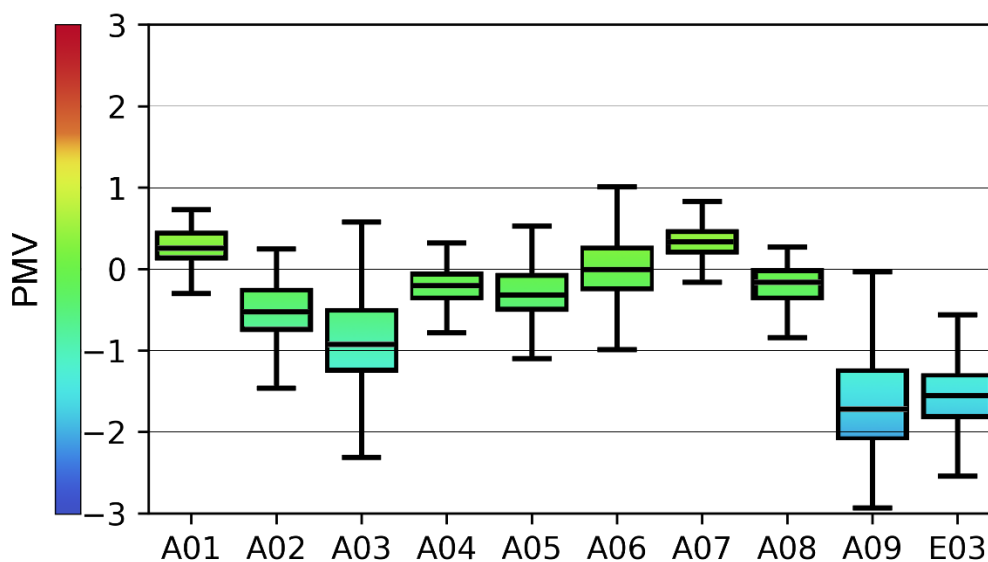


Figura 44 - Diagramas de cajón del PMV de las viviendas monitoreadas en el proyecto ENERUSER (nota: Para el cálculo de esta métrica se ha usado la biblioteca para python *pythermalcomfort*)

Los resultados demuestran que en casi todas las viviendas se registraron, en el periodo de análisis, condiciones de confort térmico, con la mayoría de los valores entre el *algo de frío* y *algo de calor*, que significa que los datos se sitúan en un pequeño margen de cambio frente a los valores estimados de confort.

De modo consistente con los diagramas psicométricos, hay algunas situaciones divergentes en cuanto a la condición de confort térmico potencial (PMV), ese es el caso de la vivienda A03, en la que se registran valores de menor confort por el frío. Aunque esta situación es particular relevante en el contexto de las viviendas A09 y E03 que presentan una gran cantidad de lecturas en el potencial de bastante o incluso de mucho frío, con lo cual se compromete la calidad de vida de los residentes.

5.3 Datos Meteorológicos – Estación de Bragança

En esta sección se presentan los datos recogidos en la estación meteorológica, desde la entrada en funcionamiento de la estación meteorológica hasta la conclusión del proyecto.

5.3.1 Temperatura del aire

Los datos de la variación de la temperatura del aire, medidos en la estación meteorológica entre octubre del 2021 y la conclusión del proyecto son el reflejo de la amplitud térmica que es común en el contexto mediterráneo de influencia continental (Csb en la clasificación Köppen-Geiger). Esta condición traduce una gran amplitud, más evidente en contextos de mayor estabilidad atmosférica, desde temperaturas negativas, que se registraron durante la noche, hasta valores positivos durante el día, en variaciones que habitualmente corresponden a más de 10°C.

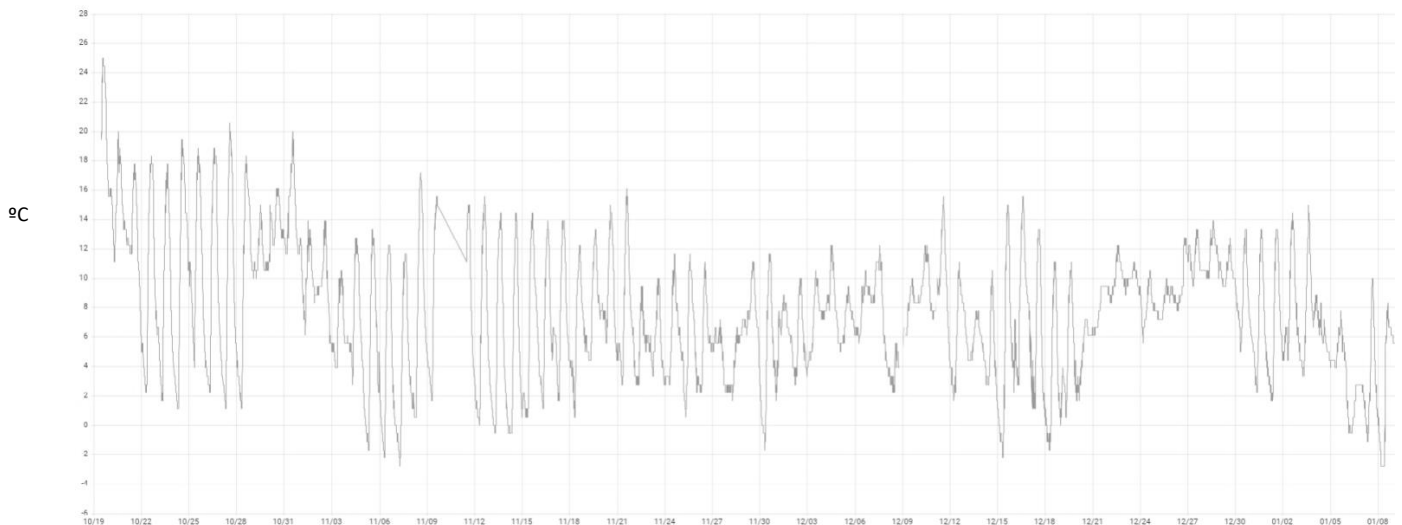


Figura 45 - Variación de la temperatura exterior, estación meteorológica de Bragança

En el periodo en análisis se registró un valor máximo de 25°C, mínimo de -3°C y un valor medio de 7,7 °C.

5.3.2 Velocidad del viento

Los datos de la variación de la velocidad del viento asumen un patrón diario típico, con una mayor intensidad en el contexto nocturno y menor durante el día. Como también sería de esperar, en este periodo de entre otoño e invierno se registran también vientos de alguna intensidad, sin que se sobrepasen en media la dimensión de brisa fuerte. La incidencia predominante del viento corresponde a la orientación del oeste, por lo que, con especial relevancia en las viviendas expuestas a esta orientación, su presencia se traduce en efectos sobre el contexto térmico de los edificios.

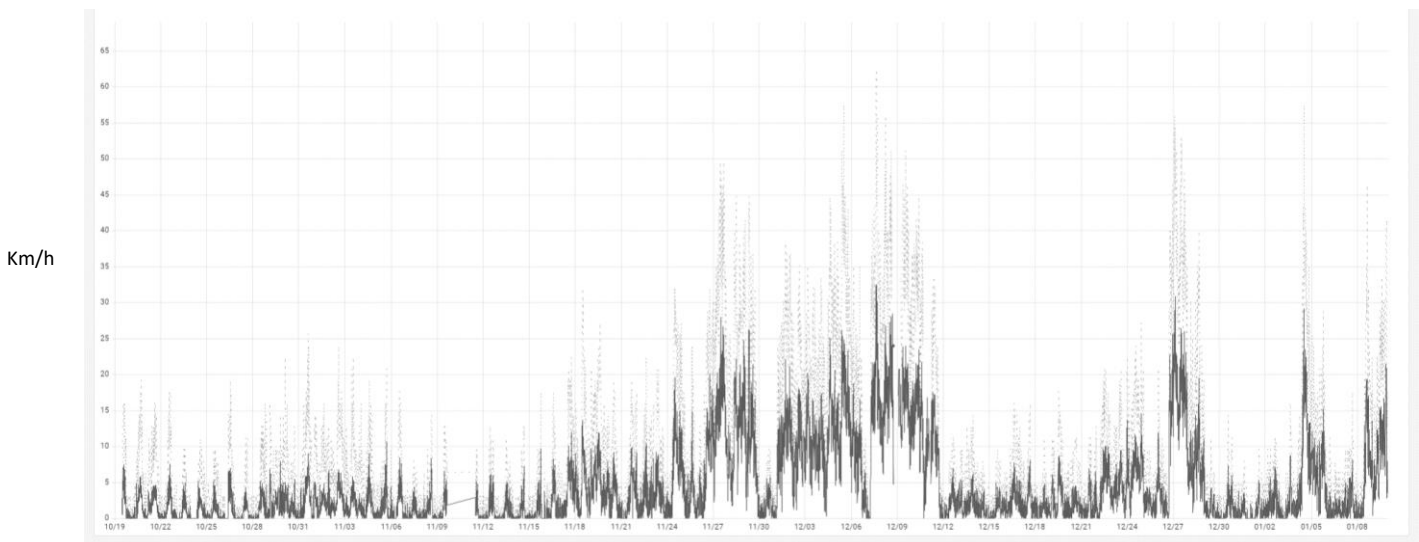


Figura 46 - Variación de la velocidad del viento, estación meteorológica de Bragança

5.3.3 Radiación Solar

La radiación solar es una importante variable para el contexto bioclimático de las viviendas y traduce los ritmos diarios, con máximas al mediodía solar y mínimas nocturnas, con variaciones anuales de la radiación incidente, bajo la influencia de procesos de interpretación y dispersión, como sea la presencia de nubes.

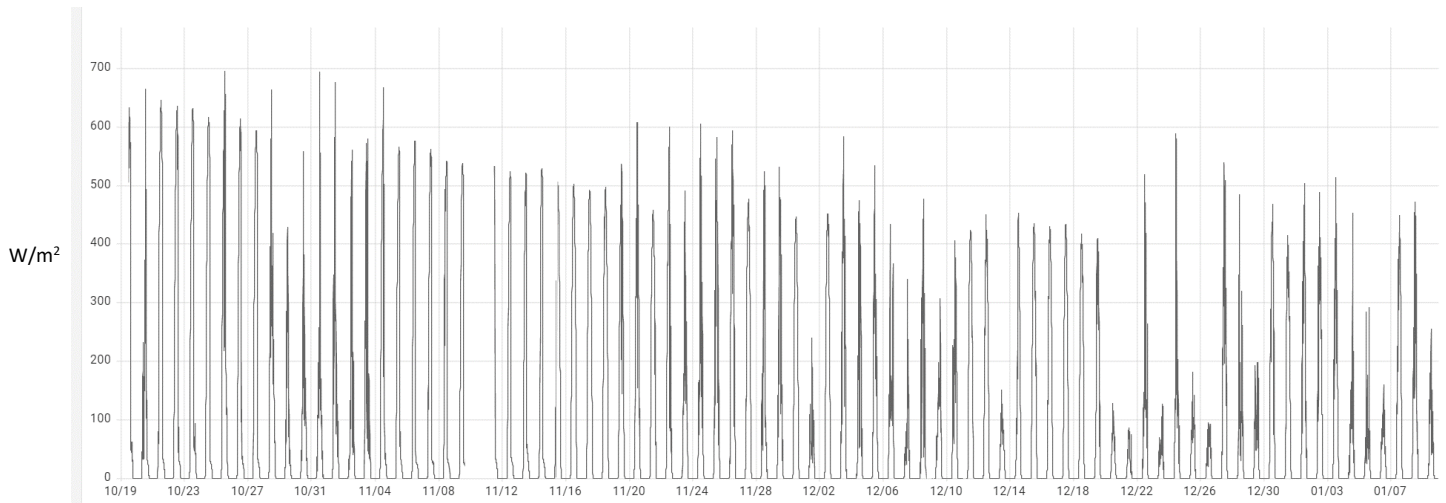


Figura 47 - Variación de la radiación solar, estación meteorológica de Bragança

Los datos muestran la normal reducción de la radiación máxima con la evolución del contexto de análisis, entre el otoño y el invierno. Los días de menor radiación corresponden a los días nublados y es consistente con los periodos de precipitación.

5.3.4 Precipitación atmosférica

La precipitación es otro fenómeno atmosférico con impacto en el contexto bioclimático. El periodo en análisis corresponde a un periodo de muy baja precipitación, con apenas algunos registros horarios.

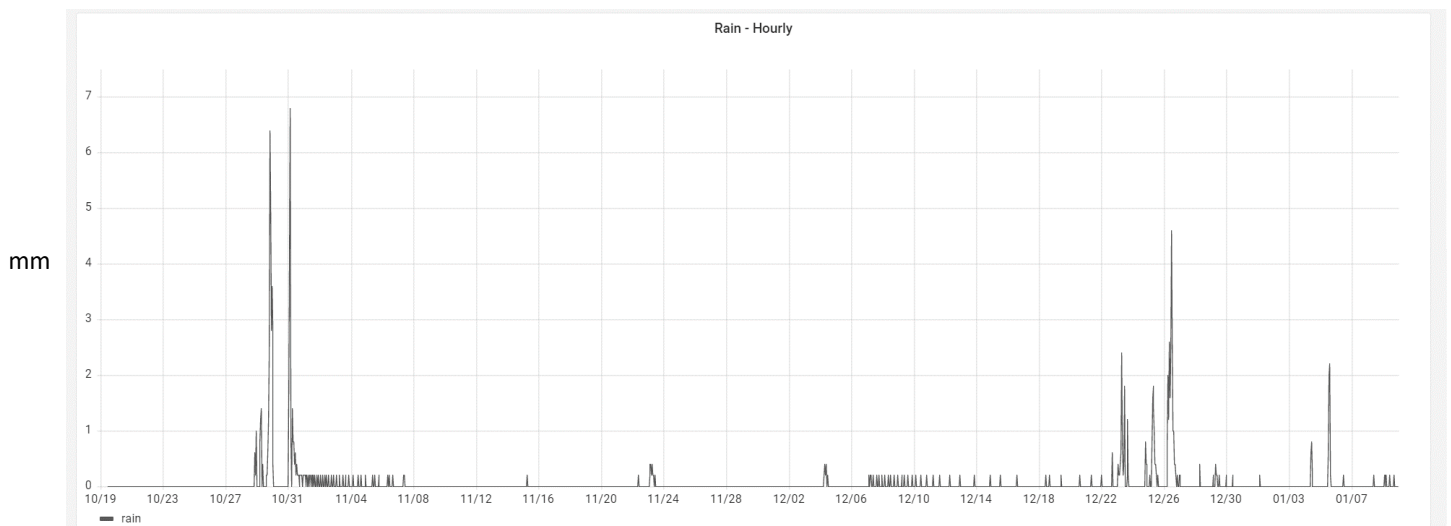


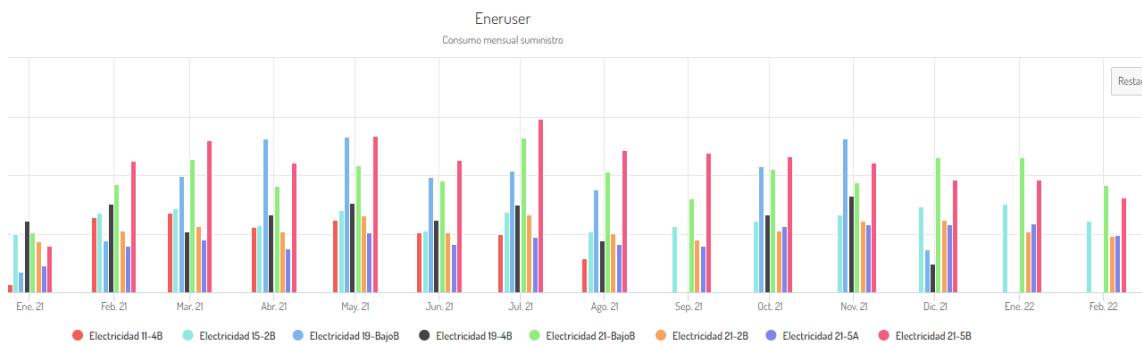
Figura 48 - Variación de la precipitación atmosférica diaria, estación meteorológica de Bragança

6. MEDIDA DE CONSUMOS ELÉCTRICOS

Se detallan a continuación los datos generados a partir de la monitorización a tiempo real de las diferentes viviendas vinculadas al proyecto donde se puede observar la evolución del consumo mensual en kWh.

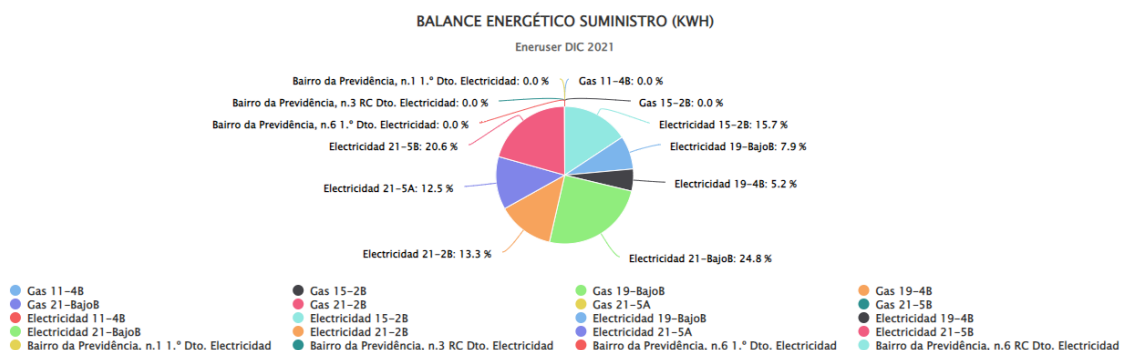
Se han generado varios indicadores por unidad de vivienda a nivel mensual y diario con el objetivo de establecer un parámetro de seguimiento que permita a las familias identificar diferentes situaciones alejadas de los valores medios.

A continuación se muestra la comparativa de los diferentes comportamientos de las viviendas:



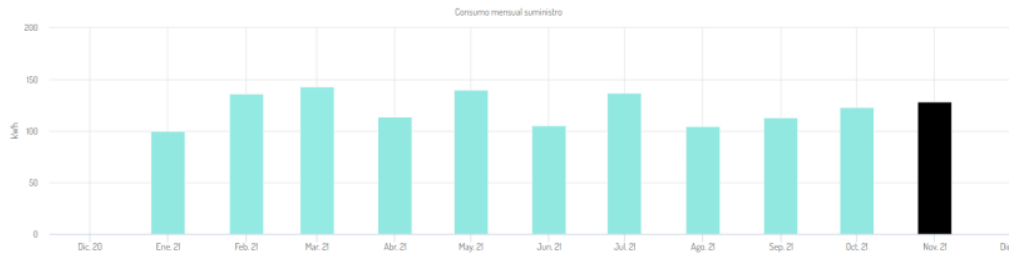
Tal y como se puede observar, se han identificado diferentes perfiles de comportamiento energético, lo que afecta notablemente al impacto de la energía en los hogares.

A continuación se muestra una representación gráfica del comportamiento de las diferentes viviendas del proyecto:



Dirección: c/ Gallo nº 15 --- 2º B (Valladolid)

Consumo eléctrico

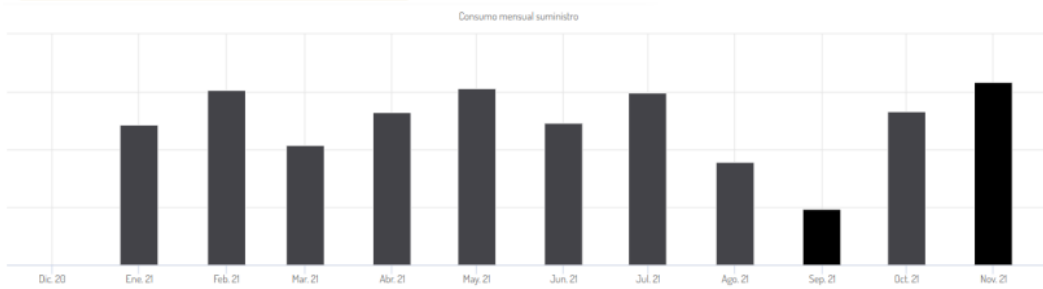


Media mensual: 118 kWh

Media diaria: 3,95 kWh

Dirección: c/ Gallo nº 19- 4B(Valladolid)

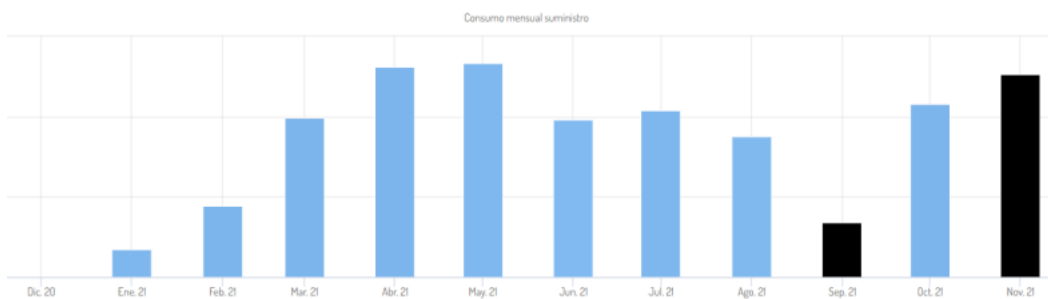
Consumo eléctrico



Media mensual: 125 kWh

Media diaria: 4,2 kWh

Consumo eléctrico

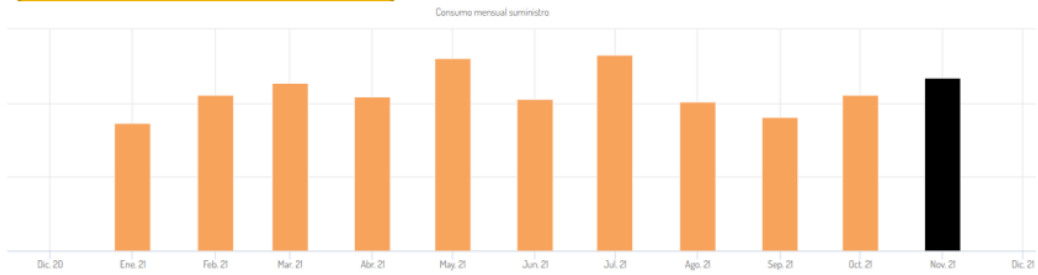


Media mensual: 211 kWh

Media diaria: 7,05 kWh

Dirección: c/ Gallo nº 21 2-B (Valladolid)

Consumo eléctrico



Media mensual: 117 kWh

Media diaria: 3,9 kwh

Dirección: c/ Gallo nº 21 --- 5º A (Valladolid)

Consumo eléctrico



Media mensual: 95 kWh

Media diaria: 3,1 kwh

Dirección: c/ Gallo nº 21 – 5 B (Valladolid)

Consumo eléctrico



Media mensual: 243 kWh

Media diaria: 8,1 kwh

Dirección: c/ Gallo nº 21 Bajo B(Valladolid)

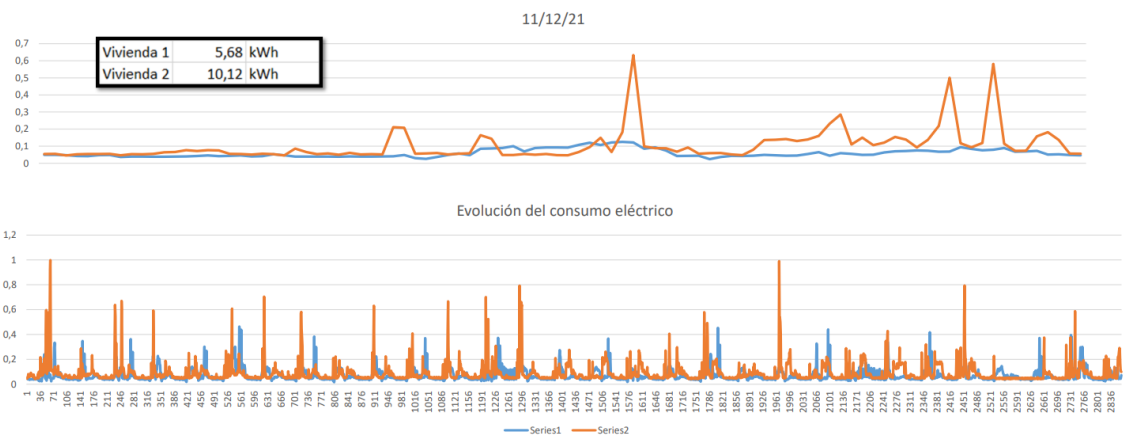
Consumo eléctrico



Media mensual: 208 kWh

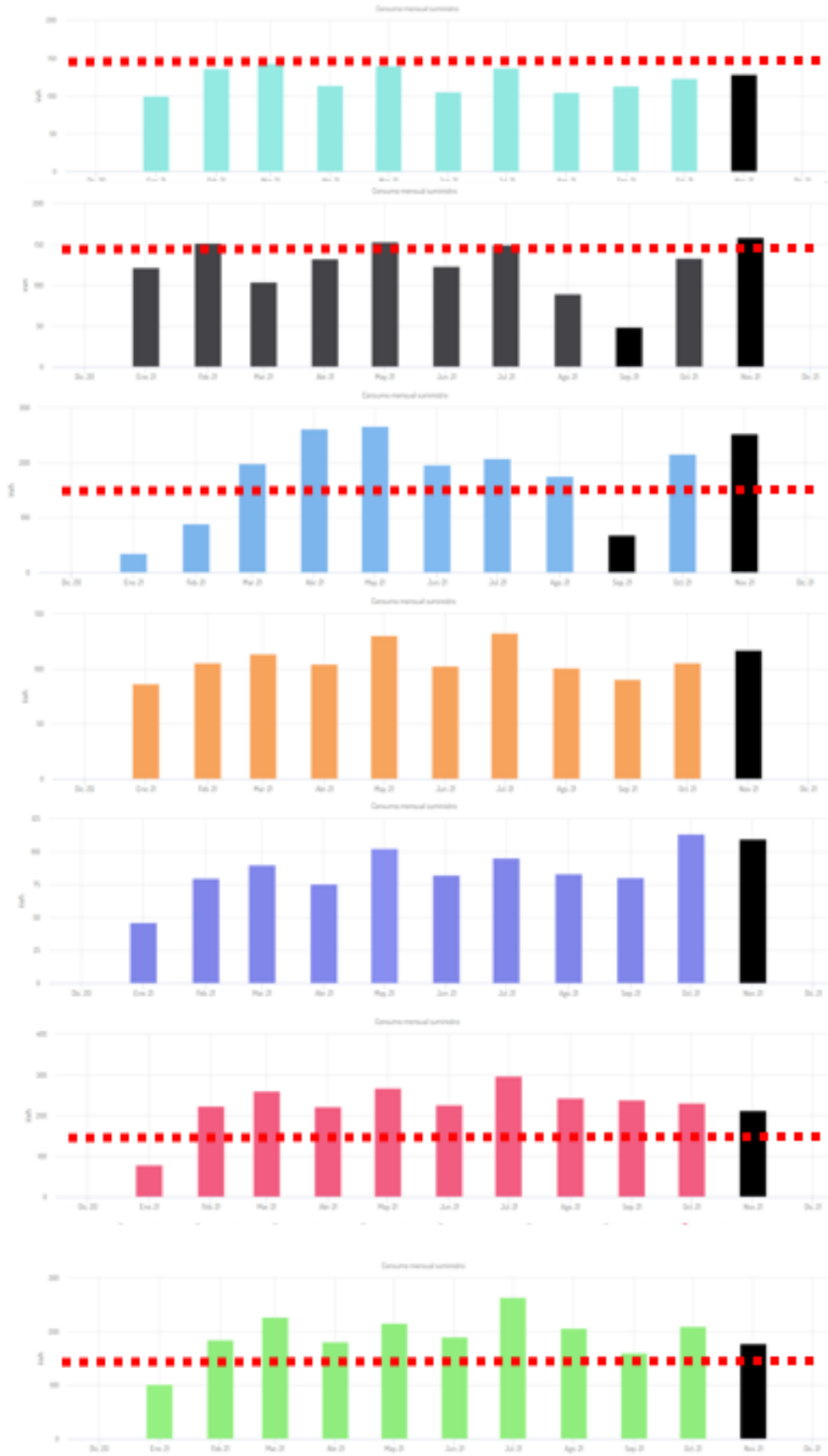
Media diaria: 6,93 kWh

A continuación se detallan los valores registrados en las viviendas de Braganza (Portugal)

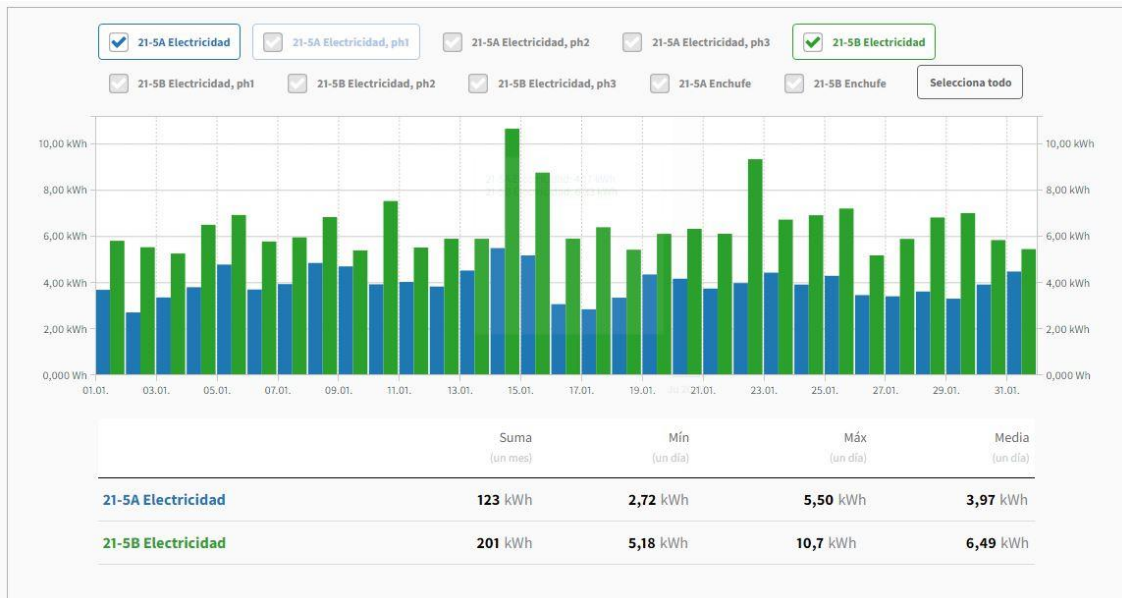


Y con los datos registrados se puede afirmar que el consumo medio mensual por unidad de vivienda ronda los **160 kwh y los 5,32 kWh /Día**

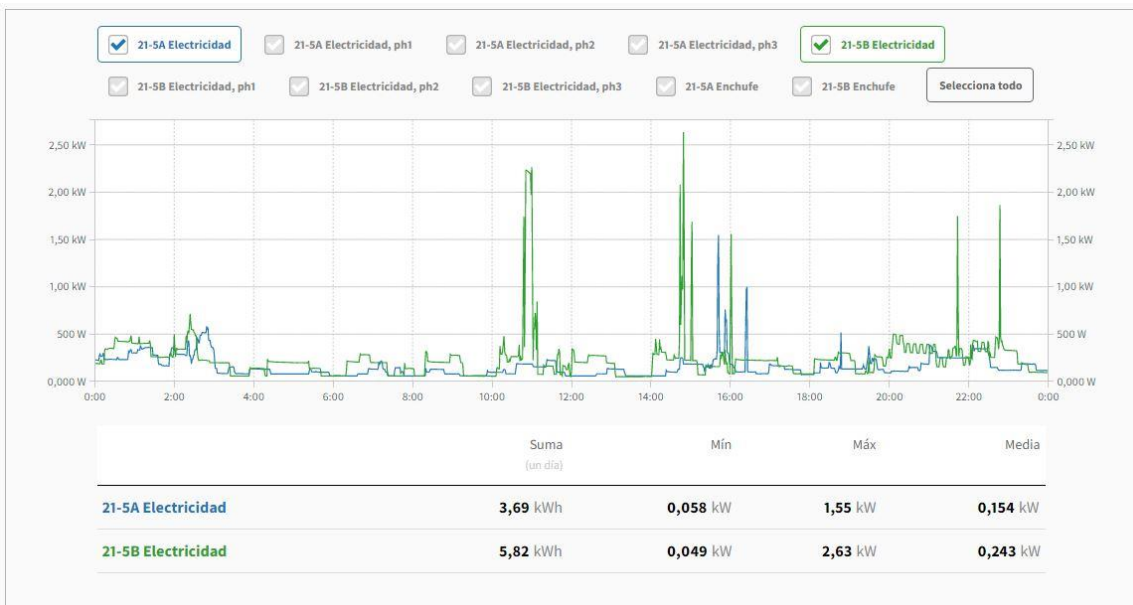
En siguiente grafico se refleja el comportamiento de cada una de las viviendas respecto a las medidas de consumo, detectando varias viviendas que apenas alcanzan estos valores.



Y se adjuntan varios escenarios gráficos del comportamiento de varias viviendas, donde se observan diferentes comportamientos vinculados al consumo eléctrico.



Comparativa entre dos viviendas con parámetros de comportamiento similares aunque con diferencias de consumo derivadas de la ocupación de las viviendas.





Comparativa entre dos meses de una misma vivienda donde se observa una continuidad en el comportamiento energético.

7. CONCLUSIONES

El proyecto POCTEP ENERUSER constituye un importante marco en la construcción de soluciones integradas de evaluación de múltiples dimensiones de la calidad medioambiental en contexto residencial. En este proyecto se hizo el despliegue de sistemas de monitoreo multivariables, alcanzando aspectos como el consumo de energía, el confort térmico y la calidad del aire interior.

Los sistemas instalados permiten que los residentes evalúen en tiempo real o desde una perspectiva temporal las condiciones de sus viviendas, mientras generando información que pueda informar comportamientos o incluso generar cambios en las viviendas de los participantes en el proyecto.

Los resultados presentados en este informe corresponden al funcionamiento de los sistemas, que seguirán en funcionamiento tras la conclusión del proyecto, garantizando una ampliación del impacto de estos importantes medios de medición y comunicación.

8. REFERENCIAS BLIBLIOGRAFIAS

- Givoni, B. (1992). Comfort, climate analysis and building design guidelines. *Energy and buildings*, 18(1), 11-23.
- Gonçalves, H., & Graça, J. M. (2004). *Conceitos bioclimáticos para os edifícios em Portugal*. DGGE/IP-3E.
- Olgay, V., & Frontado, J. (1998). *Arquitectura y clima: manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. Barcelona: Gustavo Gili.

Hoja Técnica

Entidades	Autores
Instituto Politécnico de Bragança IPB	Artur Gonçalves Getúlio Igrejas Ary Vinicius Frigeri Manuel Feliciano Jorge Vaz Sílvia Fernandes Orlando Soares Paulo Alves
Fundación para la Investigación y Desarrollo en Transporte y Energía CIDAUT	Valentín Castaño Pérez José Ignacio Domínguez Carrero
Federación Nacional de Gestores Energéticos FENAGE	Luis M ^a Sánchez García
Instituto De La Construcción De Castilla Y León ICCL	Felipe Romero Salvachúa Bárbara Rodríguez Oraá José Javier Vielba García

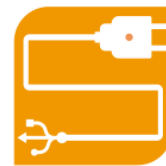


Interreg
España - Portugal
EnerUSER

Fondo Europeo de Desarrollo Regional
Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional



UNIÃO EUROPEIA
UNIÓN EUROPEA



**ENER
USER**



**INSTITUTO DE LA
CONSTRUCCION
DE CASTILLA Y LEON**



Bragança
Município



FENAGE



ipb
INSTITUTO POLITÉCNICO
DE BRAGANÇA



patrimonio natural
de castilla y león



**Junta de
Castilla y León**