

Anexo Trabajo Fin de Máster

CARACTERIZACIÓN DE LA INERCIA TÉRMICA Y ANÁLISIS DE DATOS DE CALIDAD DE AIRE INTERIOR EN EDIFICIOS DEL SECTOR TERCIARIO.

Autor

Miguel García-Monge Rábanos

Directora

Belén Zalba Nonay

Anexo 1. Informes

En el presente anexo se incluyen los informes con los análisis realizados o sugerencias de mejora, centrándose éste TFM en los **informes 22 al 25**. El listado de informes se muestra en la tabla 1.

INFORMES TFM POR ORDEN CRONOLÓGICO	Año
15. Estudio sobre monitorización en espacios EINA. Septiembre 2022 a enero 2023	2022-23
16. Propuesta de monitorización de una Unidad de Tratamiento de Aire	2022-23
17. Estudio sobre COVs y salud en espacios EINA.	2022-23
18. Estudio sobre monitorización biblioteca EINA. 15 de noviembre 2022 a 15 de febrero 2023	2022-23
19. Estudio sobre monitorización cafetería Ada Byron EINA. 15 de noviembre 2022 a 15 de febrero 2023	2022-23
20. Propuesta de optimización del encendido de climatizadores de aulas	2022-23
21. Estudio de temperaturas en espacios del edificio Betancourt. Noviembre de 2022. Líneas de futuro	2022-23
22. Metodología para la caracterización de la inercia térmica de edificios, mediante el estudio de las pendientes de ascenso de temperatura.	2022-23
23. Calidad de aire en el edificio de Filosofía y Letras.	2023-24
24. Metodología para la caracterización de la inercia térmica del conjunto edificio e instalaciones de climatización de edificios, mediante el estudio de las pendientes de ascenso de temperatura durante el encendido del sistema HVAC en modo calefacción.	2023-24
25. Metodología para el análisis de los datos de temperatura de los edificios. Confort y eficiencia energética. Informe IAQ hospital sala 1 e Informe IAQ hospital sala 2	2023-24
Informe IAQ residencia 1 e Informe IAQ residencia 2	2023-24

Tabla 1. Listado de informes disponibles en los anexos.

Informe 15. Estudio sobre monitorización en espacios EINA. Septiembre 2022 a enero 2023

Para cualquier duda sobre este informe contactar con: Miguel García-Monge, Silvia Guillén y Belen Zalba (bzalba@unizar.es)

Índice

1.	Objetivo de este estudio	1
2.	Metodología.....	1
3.	Estudio de CO ₂	2
	Nota: Calibración.....	6
4.	Estudio de temperaturas	7
5.	Conclusiones	11
6.	Líneas de futuro	12

1. Objetivo de este estudio

El objetivo de este estudio es analizar a lo largo del primer cuatrimestre del año 2022-23, cómo se han comportado los espacios actualmente monitorizados por sensoriZAR en el campus río Ebro, en cuanto a los niveles de CO₂ (calidad de aire interior) y la temperatura (eficiencia energética, confort).

Respecto al CO₂, se analizará el máximo mensual y se calculará el porcentaje de tiempo respecto a las horas de apertura del centro, en el que el nivel de CO₂ de estos espacios se encuentra en diferentes franjas: por debajo de 800 ppm; entre 800 y 1000 ppm; entre 1000 y 1500 ppm; y por encima de 1500 ppm.

Respecto a la temperatura, se analizará la temperatura máxima y mínima mensual y se calculará el porcentaje de tiempo respecto a las horas de apertura del centro, en el que la temperatura se encuentre en diferentes franjas: <17°C; 17-19°C; 19-21°C, 21-23°C; 23-25°C; y >25°C, a modo de gráfico de distribución de temperaturas.

2. Metodología

Para la descarga de datos desde la plataforma sensoriZAR se ha utilizado la API desarrollada por Alberto Mur (Grupo Howlab). Esta API implementada en Matlab, permite descargar los datos en este entorno, lo que facilita su posterior análisis.

Para este estudio se ha considerado un intervalo de tiempo desde el día 1/9/2022 hasta el 23/01/2023 y se han filtrado las medidas de CO₂ y temperatura en el horario de apertura, que se ha considerado de 8 a 20 h. Por otra parte, para el cálculo de los porcentajes y de los máximos no se han considerado las medidas de los días en los que el CO₂ no ha superado 550 ppm, con el fin de discriminar los días festivos o sin ocupación del espacio en cuestión.

Se ha implementado en Matlab el código necesario para: calcular el número de horas al día en el que el CO₂ y la temperatura están en los intervalos citados en la introducción; calcular el porcentaje que representa este número de horas sobre el total por meses; representar gráficamente los resultados; y exportarlos a una hoja Excel que permita compararlos posteriormente. **El código permite de forma automatizada conectarse al servidor, obtener los datos, analizarlos y devolver los resultados de forma gráfica y numérica. Es necesario únicamente definir los espacios y el intervalo de tiempo a estudiar.**

3. Estudio de CO₂

En base a investigaciones recientes, se ha considerado para este estudio un umbral de 1000 ppm de concentración de CO₂ que no debería de sobrepasarse, debido a que las personas experimentan somnolencia, incapacidad para concentrarse y aumentan las probabilidades de contagio de enfermedades transmitidas por el aire. La exposición a niveles más altos de CO₂ (>1500 ppm) reduce las capacidades cognitivas y la toma de decisiones en torno a un 50 %. En la tabla siguiente, se muestra el porcentaje de aire que ya ha sido respirado por otras personas, en función de la concentración de CO₂.

Nivel CO ₂	% aire que ya ha sido respirado
900	1,30%
1000	1,50%
1100	1,80%
1200	2,10%
1300	2,30%
1400	2,60%
1500	2,90%
1600	3,10%
1700	3,40%
1800	3,60%
1900	3,90%
2000	4,20%
2100	4,40%
2200	4,70%
2300	5%

Tabla 1. Porcentaje de aire que ya ha sido respirado, en función de la concentración de CO₂.

En este estudio, llevado a cabo en los espacios actualmente monitorizados por sensoriZAR en el campus río Ebro, se calcula y se representa gráficamente el porcentaje de tiempo respecto a las horas de apertura del centro, en el que el nivel de CO₂ de estos espacios se encuentra en diferentes franjas: por debajo de 800 ppm (verde oscuro); entre 800 y 1000 ppm (amarillo); entre 1000 y 1500 ppm (rojo claro); y por encima de 1500 ppm (granate). Los colores elegidos en esta representación son de tipo “semáforo”, por lo que se puede identificar fácilmente cómo a mayor porcentaje de tiempo en verde, mejor calidad de aire interior durante ese mes. Los puntos rojos representan el valor máximo mensual de CO₂ alcanzado (eje derecho). Se ha trazado una línea roja horizontal en 1000 ppm, que indica el valor máximo de CO₂ que sería recomendable no superar (ligeramente por encima de IDA 2).

A modo de ejemplo, se muestra una gráfica del aula 2.03 del edificio Betancourt (figura 1).

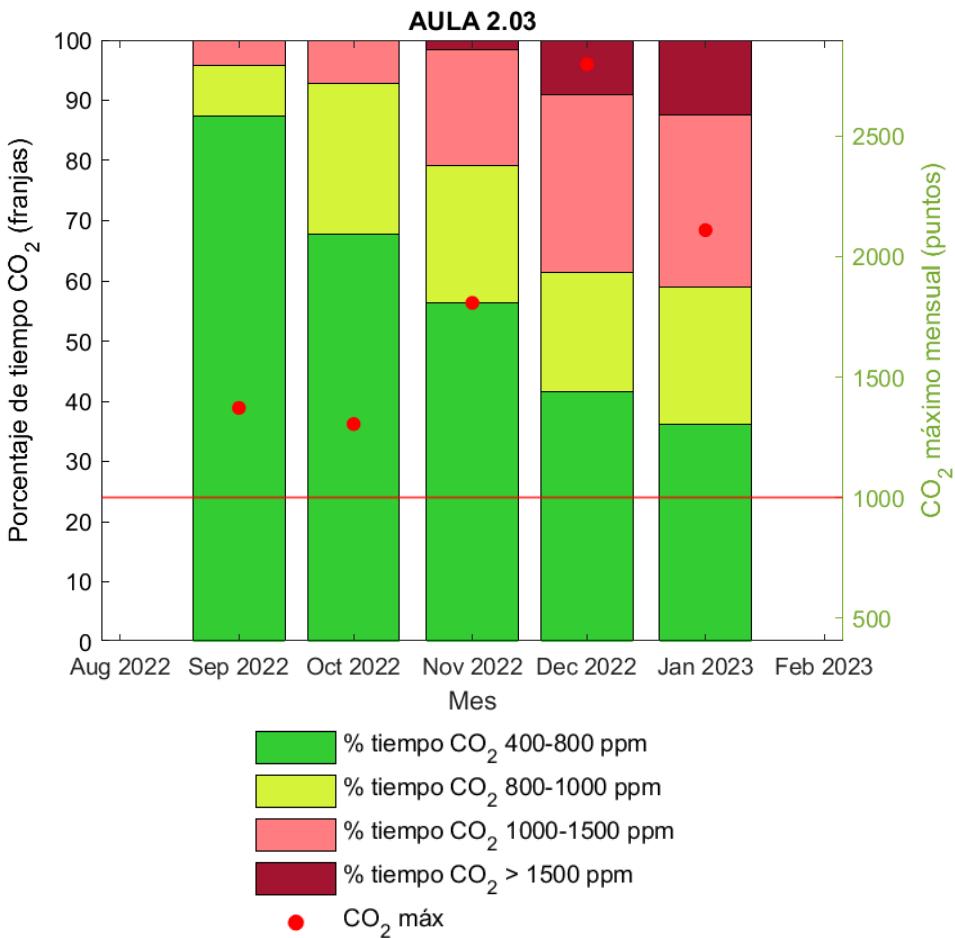


Figura 1. Máximos mensuales de CO₂ y distribución de la concentración de CO₂ por franjas de tiempo porcentuales. Aula 2.03

En algunos de los casos estudiados, se observa que la calidad de aire interior va empeorando conforme avanza el cuatrimestre. Eso es debido a que, al disminuir la temperatura exterior, las ventanas permanecen cerradas y la ventilación mecánica resulta en algunos casos insuficiente.

Por otra parte, en el mes de enero, los niveles de CO₂ son mayores que en diciembre en las salas de estudio, aunque no ocurre lo mismo en todas las aulas ya que, al ser periodo de exámenes, la ocupación ha podido ser menor que en periodo de docencia.

Para facilitar la comparación e identificación de los espacios que presentan una peor calidad de aire y para los que sería recomendable implementar alguna solución de mejora, se ha representado el porcentaje de tiempo por encima de 1500 ppm de CO₂ de los distintos espacios analizados (figuras 2, 3 y 4).

En el edificio Betancourt, se observa cómo la sala Tomás Pollán es el espacio en el que se supera este nivel en mayor medida (un 17% del tiempo se superan 1500 ppm de CO₂ en el mes de enero). También presentan valores altos las aulas 1.08 (14% en diciembre) y 2.03 (12 % en enero).

En el edificio Torres Quevedo, se observa cómo la sala de informática 1 y el aula 10, son los espacios en los que se supera este nivel en mayor medida (con un 11% del tiempo por encima de 1500 ppm de CO₂ en algunos meses).

En el edificio Ada Byron, el porcentaje de tiempo por encima de 1500 ppm de CO₂ es inferior a los otros dos edificios, siendo el aula A01 la más desfavorable con 4% del tiempo por encima de 1500 ppm de CO₂ en el mes de enero.

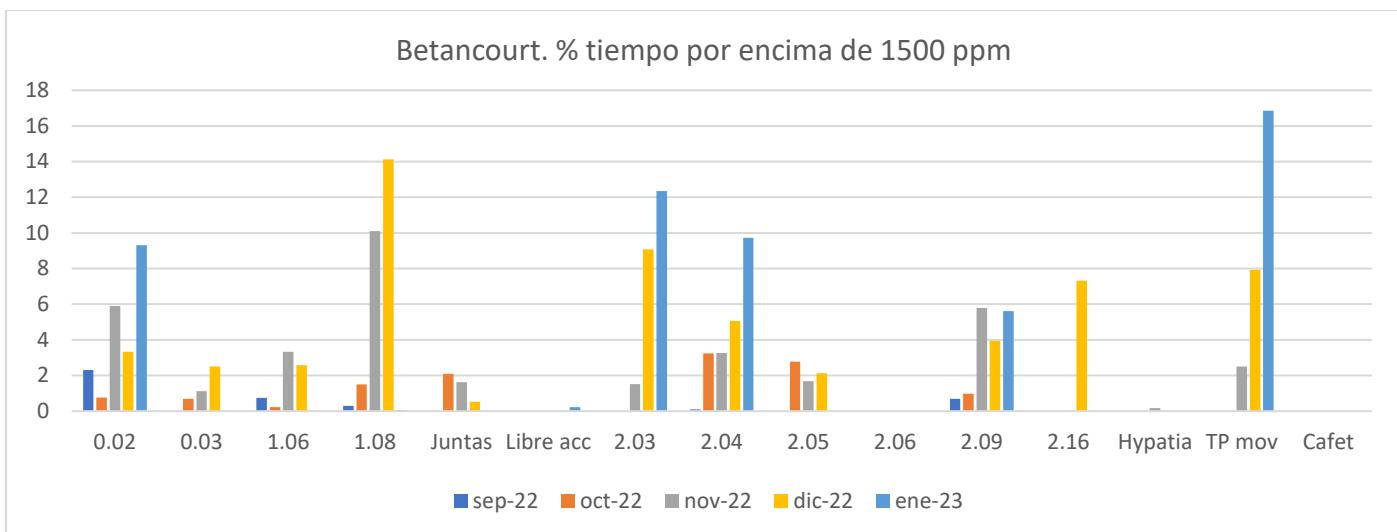


Figura 2. Porcentajes de tiempo por encima de 1500 ppm de CO₂, por meses en el edificio Betancourt.

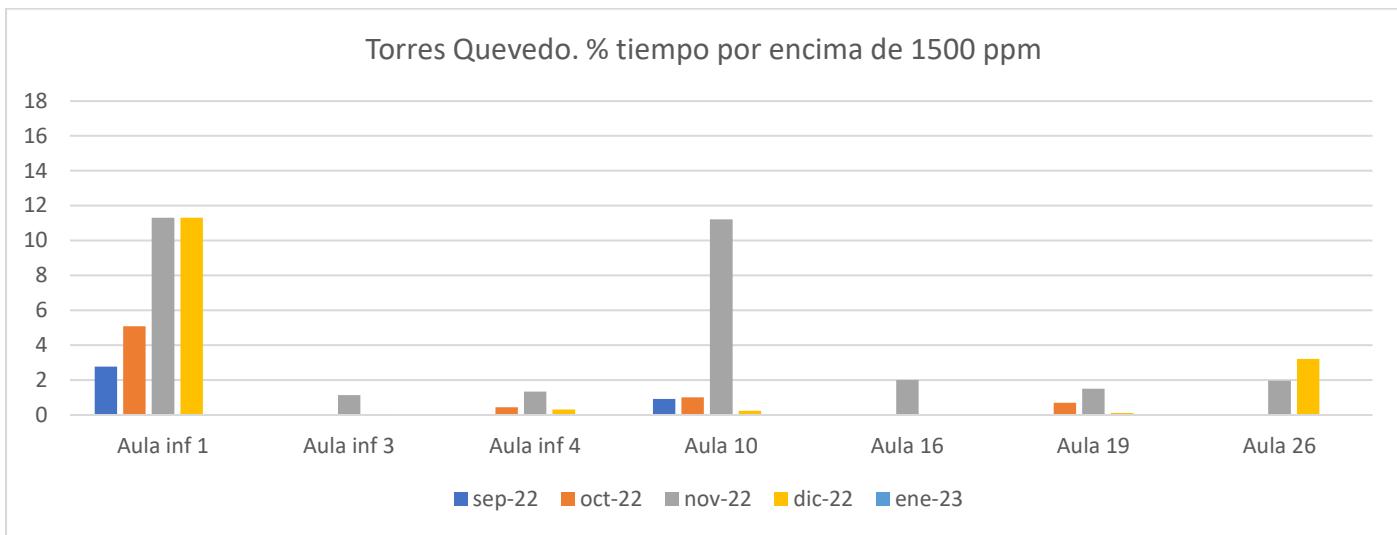


Figura 3. Porcentajes de tiempo por encima de 1500 ppm de CO₂, por meses en el edificio Torres Quevedo.

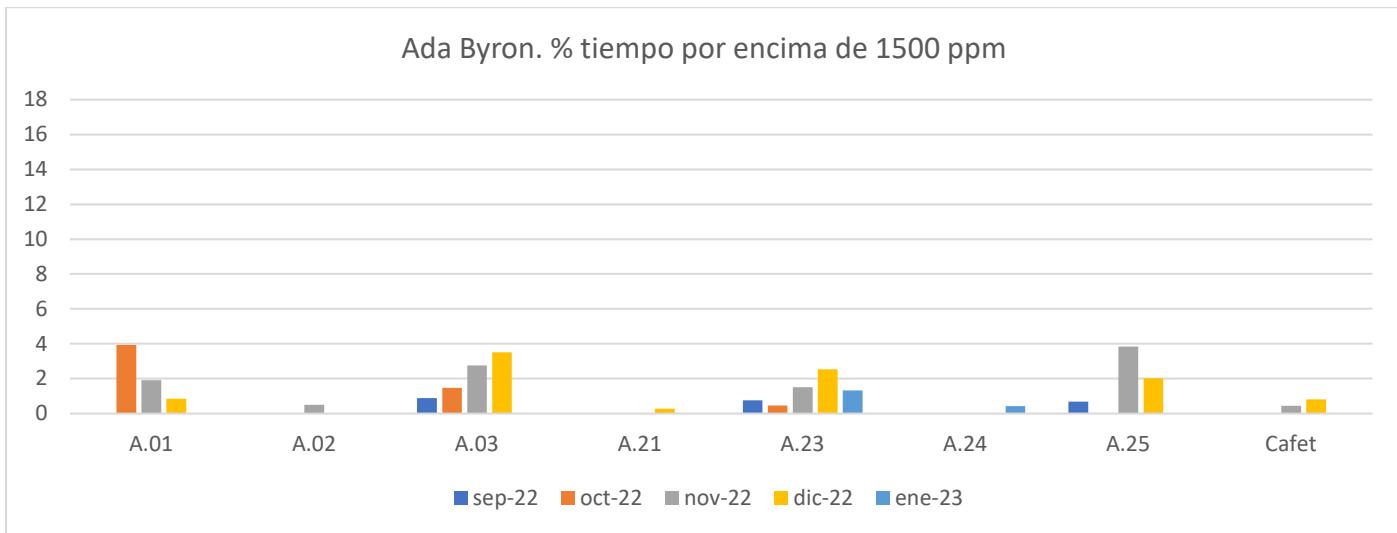


Figura 4. Porcentajes de tiempo por encima de 1500 ppm de CO₂, por meses en el edificio Ada Byron.

Por otra parte, se han representado los valores de CO₂ máximos alcanzados en los diferentes espacios, por meses.

El edificio Betancourt destaca por alcanzar los valores máximos más altos, especialmente en el aula **1.08 y 2.09**. En el Torres Quevedo, los valores máximos se alcanzan en el **aula de informática 1**, y en el Ada Byron, en el aula **A 01**.

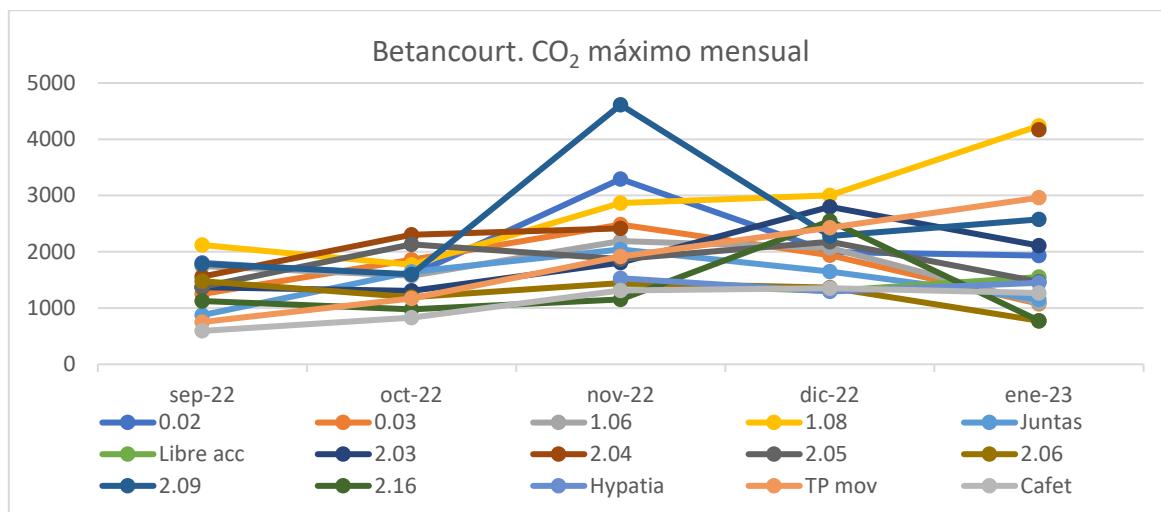


Figura 5. Niveles de CO₂ máximos mensuales por espacios. Edificio Betancourt.

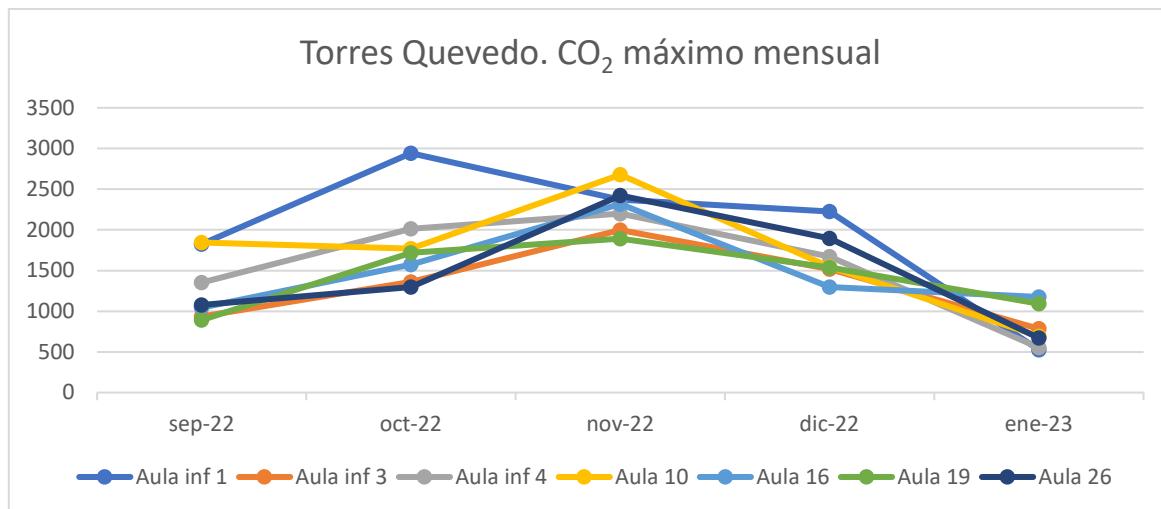


Figura 6. Niveles de CO₂ máximos mensuales por espacios. Edificio Torres Quevedo.

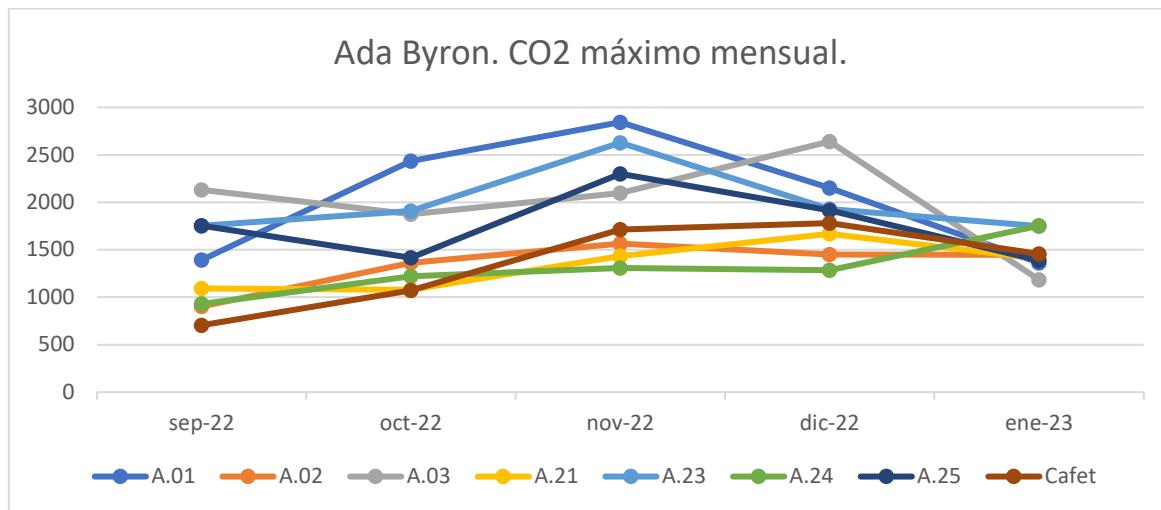


Figura 7. Niveles de CO₂ máximos mensuales por espacios. Edificio Ada Byron.

Adicionalmente, se ha estudiado la cafetería del edificio Ada Byron y se ha observado que todos los máximos se producen entre 13:30 y 15:30 h por la coincidencia de:

- Alta ocupación al medio día
- El apagado de la climatización que se lleva a cabo al mediodía implica que la ventilación mecánica está desconectada en la franja con mayor ocupación y por tanto, con mayor necesidad de ventilación.

Se recomienda, por tanto, no desconectar la climatización de estos espacios al mediodía, para evitar alcanzar altas concentraciones de CO₂.

En la figura 8 se muestra un ejemplo de ello entre los meses de noviembre a enero.

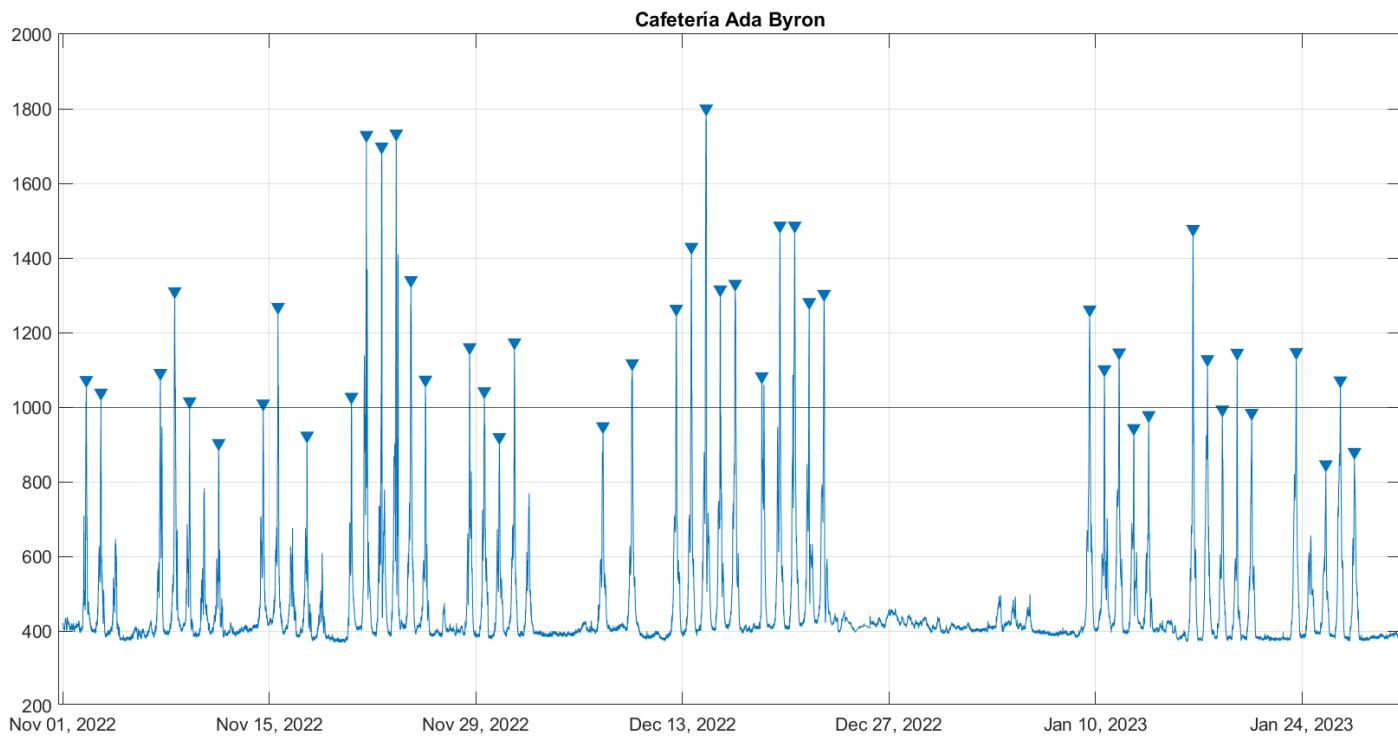


Figura 8. Evolución del CO₂ y máximos en la cafetería del edificio Ada Byron.

Nota: Calibración

Será necesario calibrar aquellos sensores cuyo mínimo diario esté por debajo de 400 ppm (concentración del aire exterior). El programa desarrollado, calcula el porcentaje de días con mínimos por debajo de este valor. Los sensores que será necesario revisar o calibrar son:

Betancourt	Aula 0.02 Aula 0.03 Cafetería
Torres Quevedo	-
Ada Byron	Cafetería

4. Estudio de temperaturas

A modo de ejemplo, se muestra una gráfica del aula 2.03 del edificio Betancourt.

En estas gráficas, se muestra el porcentaje de tiempo respecto a las horas de apertura del centro, en el que la temperatura se encuentre en diferentes franjas: <17°C; 17-19°C; 19-21°C, 21-23°C; 23-25°C; y >25°C. Los colores elegidos en esta representación son más oscuros para las temperaturas mayores y más claros para las menores.

Los puntos azules representan las temperaturas mínimas mensuales y los amarillos las máximas, dentro del horario de apertura.

También se han trazado dos líneas horizontales que indican la temperatura mínima según normativa y la temperatura máxima (17°C-19°C) que se recomienda no superar **en periodo climatizado**, para evitar un consumo innecesario de energía. El comienzo del periodo con la climatización encendida se marca con una línea vertical.

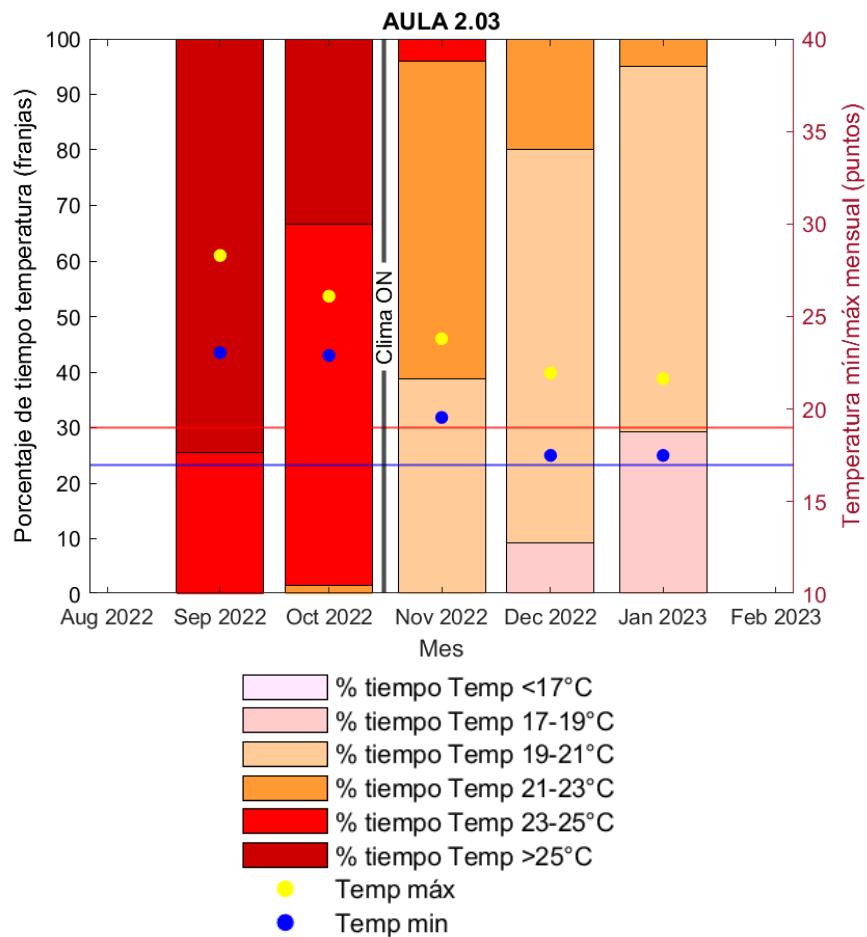


Figura 9. Máximos/mínimos mensuales de temperatura y distribución por franjas de tiempo porcentuales. Aula 2.03

Comparando el porcentaje de tiempo **por encima de 21°C** en los meses de diciembre y enero, en los distintos espacios analizados, es posible identificar aquellos en los que se está **calefactando por encima de lo necesario**. Si se compara el porcentaje de tiempo **por debajo de 17°C** en los meses de diciembre y enero, en los distintos espacios analizados, es posible identificar aquellos en los que la **climatización es insuficiente**.

Analizando el edificio Betancourt, tal y como se observa en la figura 10, aulas como la **0.02, 0.03, 2.06** y la **sala Tomás Pollán**, presentan altos porcentajes de tiempo por encima de 21°C, superiores al 80% del tiempo (ver figura 10). Otros

espacios como la **sala de juntas**, las aulas **2.04, 2.09 y 2.16**, o la **cafetería**, presentan porcentajes de tiempo del 20-30% por debajo de 17°C en los meses de diciembre/enero (ver figura 11). El caso de la sala de juntas no es preocupante, al contrario, ya que es una sala que no se usa de manera continua sino para eventos puntuales, por tanto esas bajas temperaturas simplemente parecen reflejar que se ha apagado correctamente el termostato cuando no se usa.

En el edificio Torres Quevedo, el **aula informática 4** y el **aula 16**, están más de un 60% del tiempo por encima de 21°C (figura 12). Por debajo de 17°C destacan el **aula de informática 3** y las **aulas 10, 19 y 26**, con más de un 40% del tiempo (figura 13).

En el edificio Ada Byron, se observa que **aulas** como la **A02, A03 y cafetería** (figura 14), presentan porcentajes de tiempo por encima de 21°C superiores al 30%. Otros espacios como las **aulas A24 y A25**, presentan porcentajes tiempo de hasta un 28% por debajo de 17°C (figura 15).

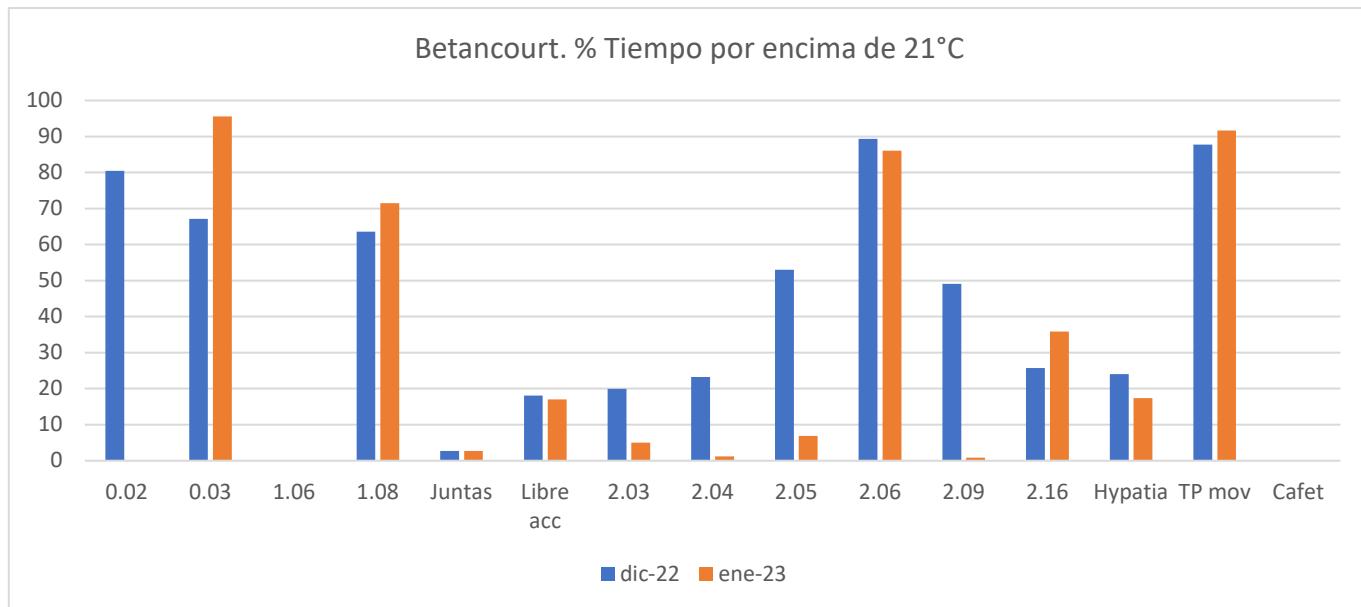


Figura 10. Porcentajes de tiempo por encima de 21°C. Edificio Betancourt.

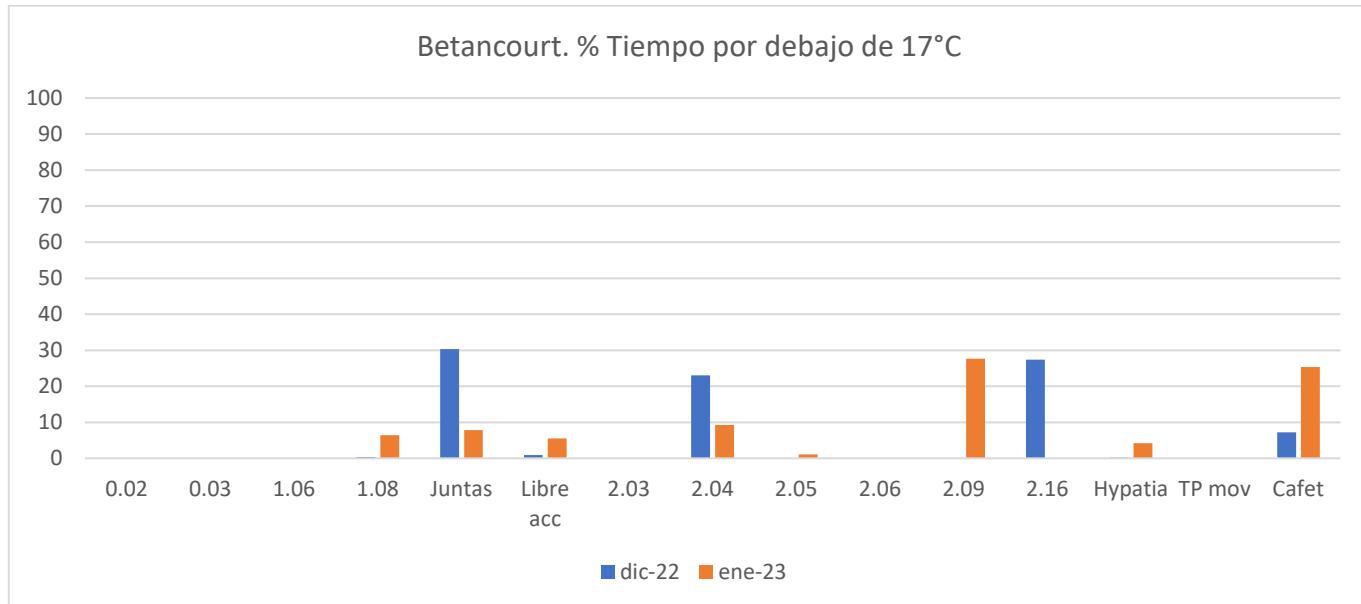


Figura 11. Porcentajes de tiempo por debajo de 17°C. Edificio Betancourt.

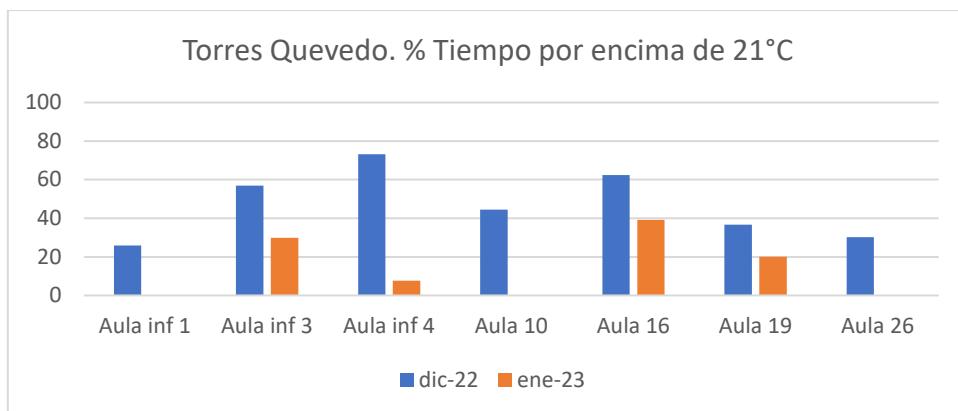


Figura 12. Porcentajes de tiempo por encima de 21°C. Edificio Torres Quevedo.

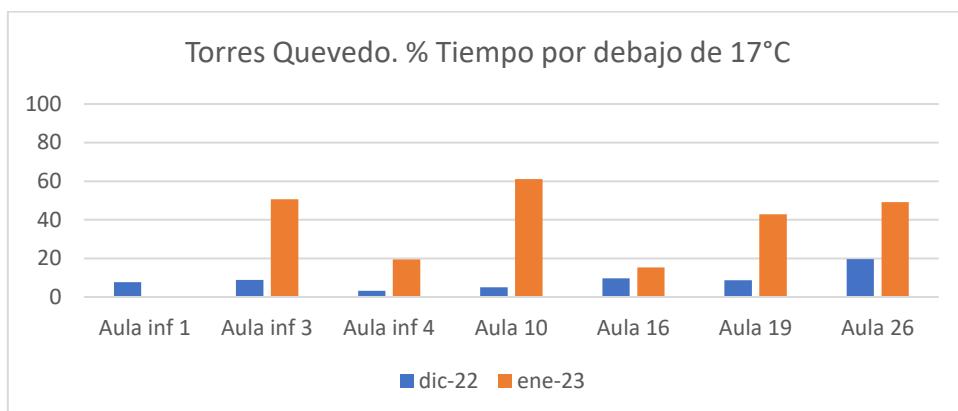


Figura 13. Porcentajes de tiempo por debajo de 17°C. Edificio Torres Quevedo.

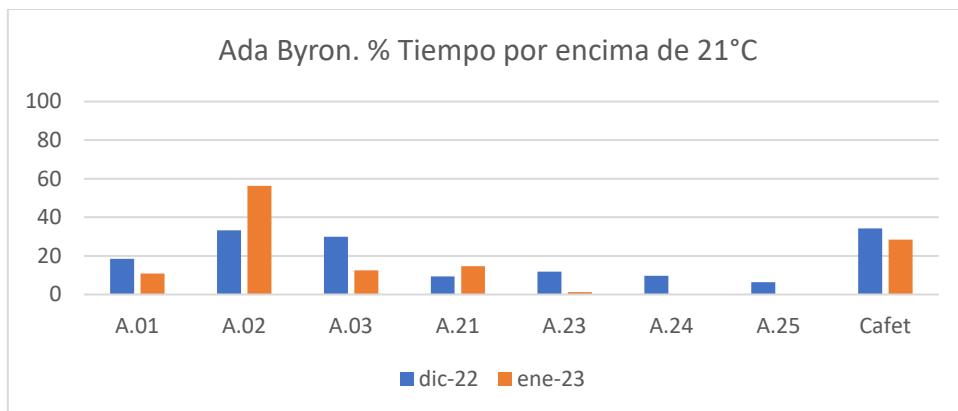


Figura 14. Porcentajes de tiempo por encima de 21°C. Edificio Ada Byron.

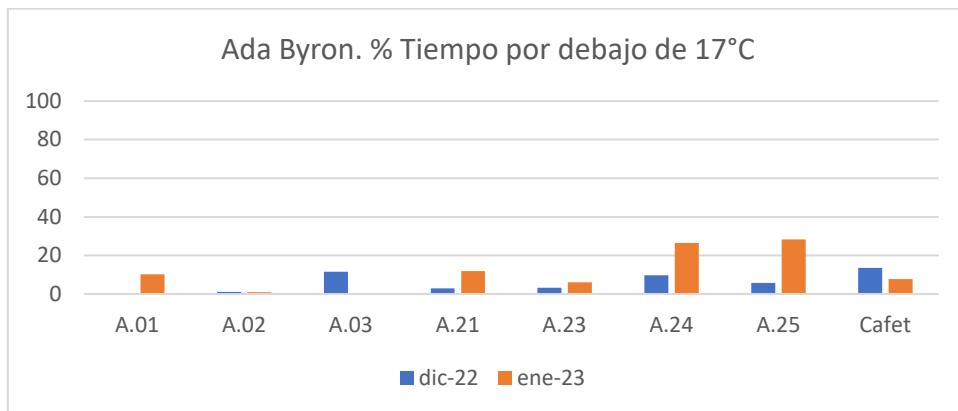


Figura 15. Porcentajes de tiempo por debajo de 17°C. Edificio Ada Byron.

Por último, en lo referente al estudio de las temperaturas, se presenta una incidencia que se ha detectado gracias a la plataforma sensoriZAR. Se observó que en días festivos y en ciertas aulas del edificio Betancourt, la temperatura alcanzaba valores muy altos siendo que la climatización debería estar desconectada. Tras consultar a mantenimiento, constataron que se habían reemplazado algunos termostatos y que, posiblemente se hubiera realizado incorrectamente el cableado de los mismos, lo que implicaría que el ventilador del fancoil de estas aulas habría estado funcionando continuamente. Además, el primario (bombas de calor) estuvo encendido para dar servicio a la biblioteca durante los fines de semana.

Por tanto, se han estado climatizando algunas aulas sin ocupación durante algunos fines de semana, alcanzando valores cercanos a los 28°C. En las figuras 16 y 17, se muestra como en las aulas 2.05 y 2.06 aumenta la temperatura en gran medida. El lunes 30 de enero en el aula 2.16 también se observa un aumento de temperatura (figura 17).

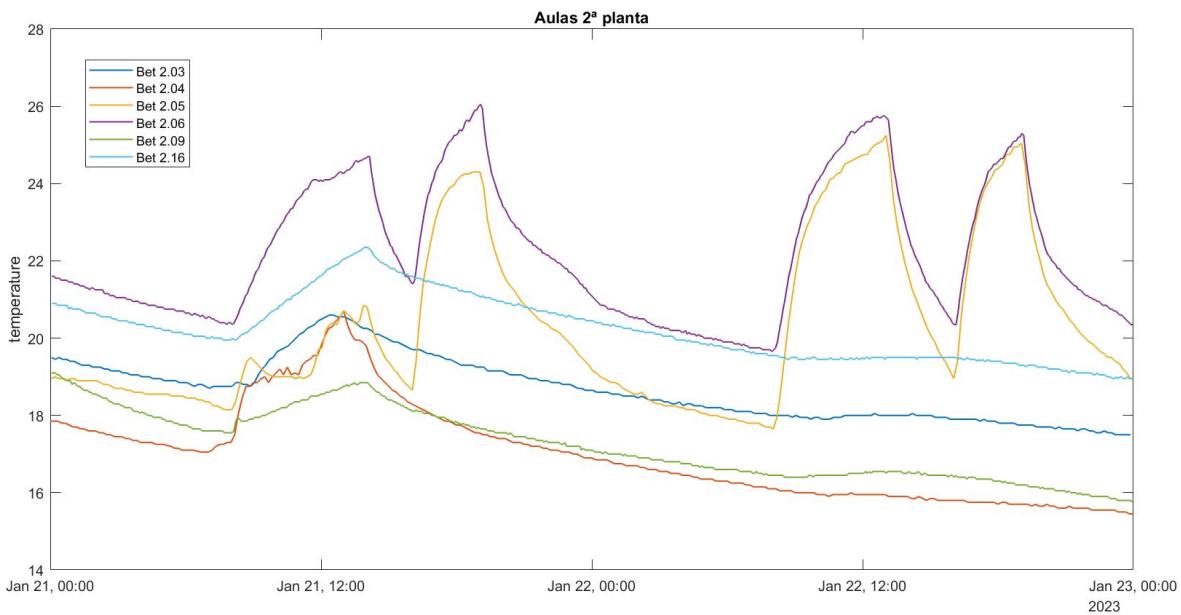


Figura 16. Evolución de la temperatura en aulas de la segunda planta del edificio Betancourt. Fin de semana 21 y 22 de enero de 2023.

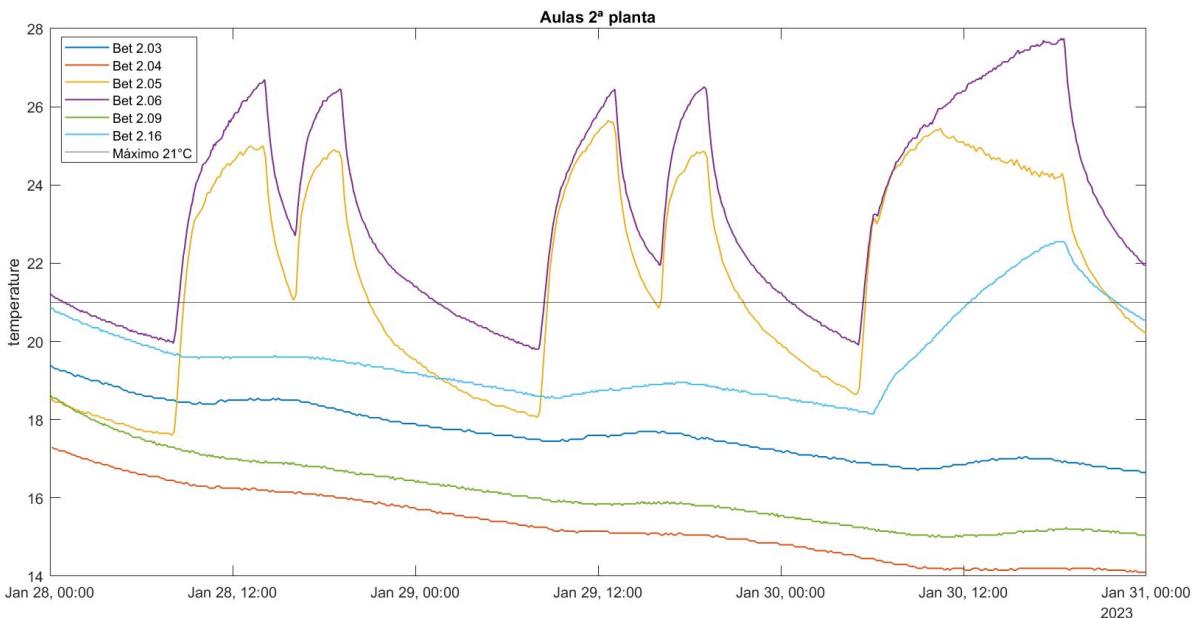


Figura 17. Evolución de la temperatura en aulas de la segunda planta del edificio Betancourt. Días festivos 28,29 y 30 de enero de 2023.

5. Conclusiones

En la tabla 1 se recogen espacios por edificios con mayores porcentajes de tiempo por encima de 1500 ppm de CO₂, mayores porcentajes de tiempo por encima de 21°C y mayores porcentajes de tiempo por debajo de 17°C. Se han marcado en rojo, aquellos que superan los siguientes umbrales:

- % tiempo por encima de 1500 ppm de CO₂ > 5%
- % tiempo por encima de 21°C > 60 %
- % tiempo por debajo de 17°C > 20 %

Espacios con mayores porcentajes de tiempo por encima de 1500 ppm de CO ₂		Espacios con mayores porcentajes de tiempo por encima de 21°C		Espacios con mayores porcentajes de tiempo por debajo de 17°C	
Betancourt		Betancourt		Betancourt	
TP mov	16,86 %	0.03	95,60 %	Juntas	30,29 %
1.08	14,12 %	TP mov	91,68 %	2.09	27,69 %
2.03	12,34 %	2.06	89,33 %	2.16	27,41 %
2.04	9,72 %	0.02	80,44 %	Cafetería	25,32 %
0.02	9,31 %	1.08	71,50 %	2.04	23,04 %
2.16	7,31 %				
2.09	5,78 %				
Torres Quevedo		Torres Quevedo		Torres Quevedo	
Aula inf 1	11,31 %	Aula inf 4	73,14 %	Aula 10	61,11 %
Aula 10	11,22 %	Aula 16	62,45 %	Aula inf 3	50,69 %
		Aula inf 3	57,00 %	Aula 26	49,07 %
				Aula 19	42,91 %
Ada Byron		Ada Byron		Ada Byron	
A.01	3,93 %	A.02	56,26 %	A.25	28,22 %
A.25	3,85 %	Cafet	34,20 %	A.24	26,41 %
A.03	3,51 %	A.03	29,98 %	Cafetería	13,50 %

Tabla 2. Tabla comparativa por edificios, de los espacios con porcentajes mayores.

En resumen, de los tres edificios el Ada Byron es el que está funcionando mejor, el Torres Quevedo presenta bajas temperaturas en invierno y el Betancourt carece de ventilación suficiente en algunos espacios y presenta temperaturas demasiado elevadas en algunos espacios, mientras que otros las temperaturas son más bajas.

Como los meses de temperaturas más frías son los que requieren mayor atención en cuanto a calidad de aire, una posible mejora sería incrementar los caudales de del climatizador de aire primario de las aulas (que incluye recuperación de calor y filtrado) ya que, la ventilación natural no es apropiada desde el punto de vista energético en estos casos. Además, en el caso del edificio Betancourt, una solución sencilla sería situar los grupos de docencia más numerosos en la planta baja, al estar ésta más ventilada por su situación frente a las puertas de acceso al edificio. En definitiva, tener en consideración estos resultados a la hora de planificar el aula asignada a cada grupo de docencia y los eventos a celebrar en la EINA.

Respecto al estudio de las temperaturas, se ha observado que hay espacios sobrecalentados y otros con temperaturas bajas, por tanto, sería deseable un mejor reparto de la energía disponible para calefacción, para ello sería conveniente fijar una temperatura de consigna no superior a 19 °C, para garantizar esta temperatura en todos los espacios y evitar sobrecalentar algunos espacios mientras que en otros no se alcanzan los valores mínimos. Para llevarlo a cabo, se propone revisar los termostatos de los espacios que presenten unos mayores porcentajes de tiempo por encima de 21°C, sustituirlos por otros que permitan fijar una consigna de temperatura máxima de forma centralizada. Cabe

destacar que, quizá no haya que tomar medidas en algunos de los espacios con bajas temperaturas, en caso de que la razón sea que dichos espacios no están siendo usados.

Los pasos de actuación o sugerencias para aquellos espacios que presenten valores de tiempo demasiado altos fuera de los valores recomendados serían los siguientes:

- Verificar si el sensor está calibrado.
- Verificar si el espacio está normalmente en uso.
- Estudiar posibles cambios en el grupo de docencia asignado o eventos programados.
- Estudiar posibles mejoras en la instalación como
 - o Aumentar caudales de ventilación mecánica (mantenimiento o mejoras en la UTA)
 - o Mejora en la regulación de temperatura de las aulas.

6. Líneas de futuro

Desarrollar indicadores que permitan:

- Detectar fallos de calibración (% días con CO₂ < 400 ppm)
- Detectar y cuantificar fallos en la robustez de la herramienta (% de tiempo sin almacenamiento de datos)
- Identificar espacios a mejorar (de forma similar a la tabla 1)

Para poder comparar los resultados con un periodo semejante (mismas fechas del año siguiente), se propone calcular los intervalos en los que el CO₂ está en un determinado nivel promediado por edificio, como se muestra en la figura 17. Es necesario seguir trabajando para que estos porcentajes estén calculados de acuerdo al tiempo de ocupación de cada espacio y no de acuerdo al horario de apertura del centro.

Estos indicadores permitirán comprobar la calidad de los datos y comparar por períodos la evolución de la calidad de aire interior y temperatura, para ver el efecto de las medidas realizadas en la instalación o en la gestión de los grupos de docencia.

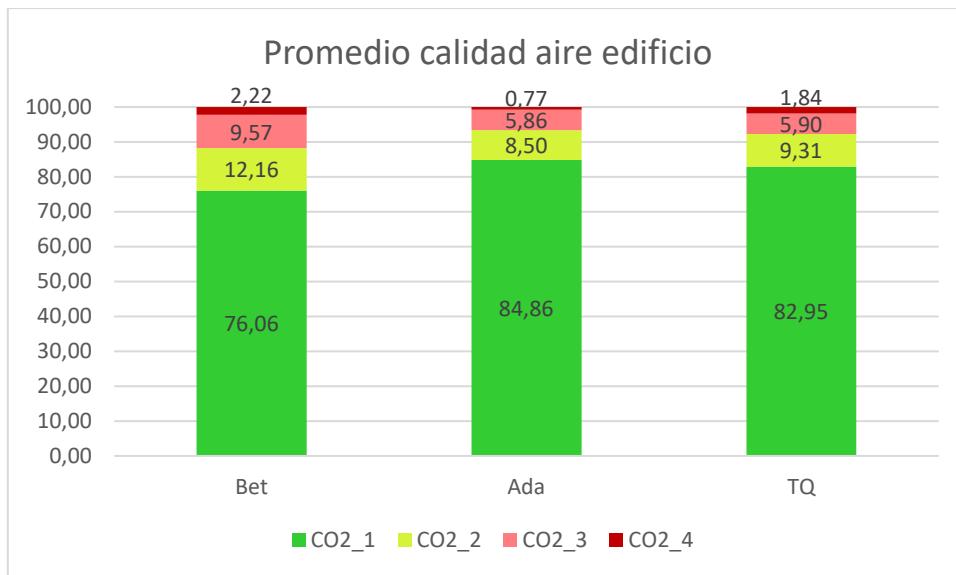


Figura 18. Promedio de la calidad de aire de los espacios estudiados y por edificios.

Informe 16. Propuesta de monitorización de una Unidad de Tratamiento de Aire

Para cualquier duda sobre este informe contactar con: Miguel García-Monge, Silvia Guillén y Belen Zalba (bzalba@unizar.es)

Índice

1. Objetivo de este estudio	1
2. Antecedentes. Medidas de caudal.....	1
3. Propuesta	2
4. Conclusiones	3

1. Objetivo de este estudio

El objetivo de este estudio es proponer soluciones de mejora de las Unidades de Tratamiento de Aire (UTAs), que se podrían implementar como caso piloto en la UTA de las aulas del edificio Betancourt.

2. Antecedentes. Medidas de caudal

A finales del curso pasado se llevaron a cabo medidas para verificar el caudal real que proporcionaba la UTA y si se repartía correctamente por todas las plantas. Para ello tomaron medidas en los conductos de impulsión y retorno del climatizador y de impulsión en cada una de las plantas del edificio (planta primera, segunda y tercera). Las medidas se repitieron después del mantenimiento estacional (cambio de filtros y revisión de las correas de los ventiladores). En la tabla 1 se recoge el promedio de los resultados de las mediciones en la impulsión y en la figura 1 se han representado los resultados gráficamente.

Planta	Caudal antes del mantenimiento (m ³ /h)	Caudal después del mantenimiento (m ³ /h)	% aumento
P0 (estimado)	2476,25	6301,33	254%
P1	2915	9298,5	319%
P2	3094,5	9140	295%
P3	1082	3946	365%
TOTAL	9567,75	28685,83	300%

Tabla 1. Caudales de impulsión por plantas antes y después del mantenimiento. Elaboración propia.

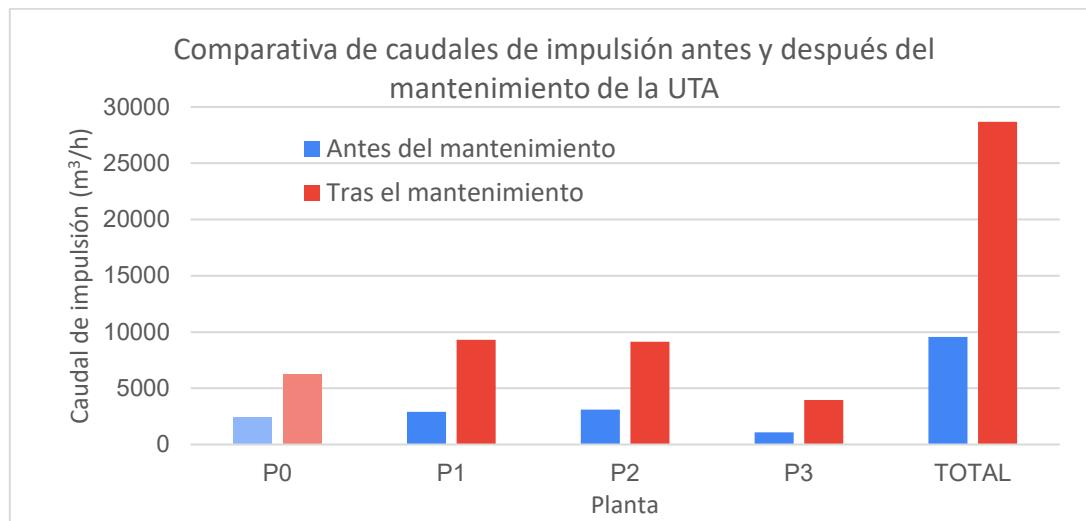


Figura 1. Comparativa de caudales de impulsión antes y después del mantenimiento de la UTA. Elaboración propia.

El caudal máximo medido en la impulsión a la salida del climatizador fue de **9955 m³/h** antes del cambio de filtros y correas de la UTA. Tras dicho mantenimiento, el valor se ha multiplicado por tres ascendiendo a **30336 m³/h**, lo que supone **pasar del 25 % del valor nominal a un 77% del valor nominal**. Esto demuestra la **importancia de un buen mantenimiento**, revisando filtros y correas de ventiladores cuando disminuya el caudal.

Es un asunto muy importante, puesto que a menor caudal de aire, empeora la calidad de aire de las aulas y sube el nivel de CO₂ lo que hace que sea necesario abrir más ventanas para conseguir bajarlo, lo que disminuye el confort y la eficiencia energética. En el informe 15, se calcula el porcentaje de tiempo en el que el nivel de CO₂ supera 1500 ppm y es significativo en algunos espacios (ver tabla 2).

Betancourt	
TP mov	16,86 %
1.08	14,12 %
2.03	12,34 %
2.04	9,72 %
0.02	9,31 %
2.16	7,31 %
2.09	5,78 %

Tabla 2. Espacios con mayores porcentajes de tiempo por encima de 1500 ppm de CO₂ en el edificio Betancourt.

3. Propuesta

Debido al ensuciamiento de los filtros de la UTA, aumenta la pérdida de carga de la instalación y eso hace que la intersección entre la curva de la instalación y la curva del ventilador se desplace hacia la izquierda en el gráfico de presión-caudal. Por tanto se desplaza hacia presiones más altas y caudales inferiores. **El consumo eléctrico del ventilador depende de su tipología, pero en general suele disminuir** (ver figura 2).

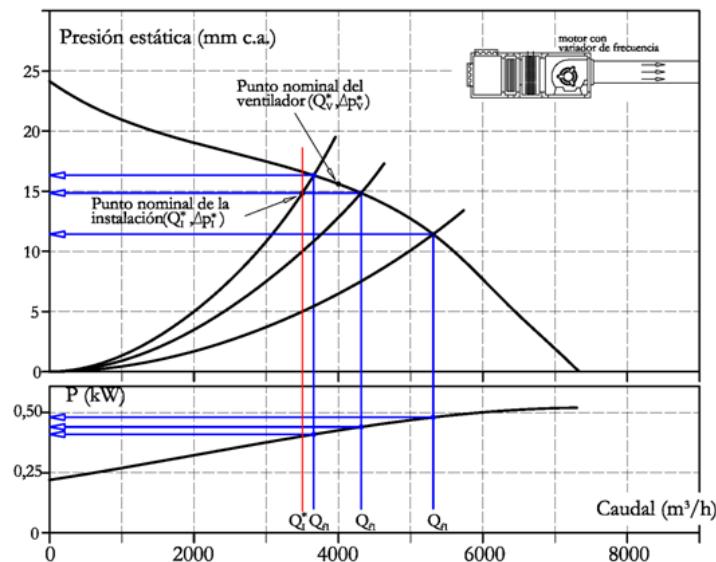


Figura 2. Análisis del consumo de un ventilador en 3 puntos de funcionamiento por ensuciamiento de filtro. Fuente: Atecyr.

Se plantea **implementar soluciones de bajo coste pero robustas** (que sus prestaciones se mantengan en el tiempo), **que sirvan para monitorizar en continuo** parámetros relevantes de la UTA, permitiendo identificar cuándo es necesario realizar labores de mantenimiento en la unidad. A continuación se presentan distintas alternativas:

1. Para vigilar la perdida de carga en los filtros de estos climatizadores, es habitual el uso de **medidores de presión diferencial**, pero debido a que la mayor parte de las UTA se encuentran en intemperie y que estos medidores son muy delicados, no se recomienda esta opción.
2. Monitorizar el **caudal** de impulsión, de forma que se verifiquen los filtros cuando éste disminuya.
3. Monitorizar el **consumo eléctrico** de la UTA, de forma que se verifiquen los filtros cuando éste disminuya.

4. Conclusiones

La solución más económica y sencilla para identificar cuándo es necesario realizar labores de mantenimiento en la Unidad de Tratamiento de Aire es la medición del consumo eléctrico, incidiendo en que los datos recogidos se envíen de forma inalámbrica y estén conectados a SCADA o a sensoriZAR, para su posterior análisis.

Informe 17. Estudio sobre COVs y salud en espacios EINA.

Para cualquier duda sobre este informe contactar con: Miguel García-Monge, Silvia Guillén y Belen Zalba (bzalba@unizar.es)

Índice

1. Objetivo de este estudio	1
2. Contexto.....	1
3. Estudio	2
4. Conclusiones	3
Referencias.....	3

1. Objetivo de este estudio

El objetivo de este informe es justificar que para mejorar la calidad de aire interior, es prioritario comenzar aminorando las fuentes de contaminación de aire interior, antes incluso que ventilando los espacios. En este estudio se plantea un caso de fuente emisora a eliminar.

2. Contexto

Los COVs que se encuentran habitualmente en los edificios provienen de las siguientes fuentes: **materiales de construcción** (por ejemplo, ladrillos, productos de madera, adhesivos y materiales para la instalación de suelos, etc.); **productos de consumo (ambientadores pasivos, eléctricos y combustibles, lacas para el pelo, desodorantes)**; quema de velas e incienso; y otros asociados a la **calefacción**.

Según Halios et al. 2022 [1], los COVs más comunes en edificios que pueden tener efectos sobre la salud son los siguientes: los hidrocarburos aromáticos, alcanos y aldehídos pueden afectar a la **salud respiratoria**; algunos hidrocarburos clorados se asocian a **efectos cardiovasculares, neurológicos y cancerígenos**; algunos hidrocarburos clorados, ésteres, terpenos, acetona, 2-butoxietanol, piridina y etenilpiridina resultan ser **irritantes**. Además, el tricloroetileno tiene efectos sobre la salud en las cinco categorías.

Los aldehídos y las cetonas son emitidos por todas las categorías de fuentes (es decir, productos de construcción y edificación, productos de consumo y calefacción de espacios), mientras que determinadas familias de COVs abundantes están más asociadas a categorías de fuentes específicas, por ejemplo, los materiales de limpieza con compuestos orgánicos halogenados.

Los **ambientadores** se utilizan normalmente para enmascarar olores, con la intención de crear un espacio interior agradable. Sin embargo, a pesar de la intención, los ambientadores pueden emitir y generar una serie de contaminantes atmosféricos potencialmente peligrosos que pueden perjudicar la calidad del aire. Se plantea la paradoja de que los productos diseñados para mejorar el ambiente interior puedan plantear riesgos imprevistos y desconocidos. Según Steinemann 2017 [2], los ambientadores son una fuente primaria de compuestos orgánicos volátiles dentro de los edificios. Desde el punto de vista de la salud, los ambientadores se han asociado a efectos adversos, como migrañas, ataques de asma, síntomas en las mucosas, enfermedades infantiles y dificultades respiratorias.

En la tabla siguiente (figura 1) se recogen los valores de referencia del equipo, basados en la clasificación de compuestos orgánicos volátiles totales de la Agencia Federal Medioambiental alemana, a partir de los cuales, y en función del tiempo de exposición, pueden derivar en reacciones alérgicas y sensibilizantes, hipersensibilidades o enfermedades de diversas patologías.

Referencia	Calidad Aire	Salud	TVOC (ppb)
1 (excelente)	Buena calidad aire	Valor de referencia	0 – 65
2 (bueno)	Valores aceptables	Aceptable	65 – 220
3 (medio)	Valores no recomendados en exposición continua (1 año)	Reacciones alérgicas y/o sensibilizantes	220 – 660
4 (pobre)	Valores no recomendados en exposición continua (1 mes)	Hipersensibilidad y/o enfermedad	660 – 2200
5 (insalubre)	Valores inaceptables	Acción inmediata	2200 – 5500

Figura 1. Valores de referencia para los COVs. Fuente [3]

3. Estudio

Para este estudio, se utiliza el equipo de medición de calidad de aire MICA de InBiot, que cuenta con medición en continuo de CO₂, temperatura, humedad, COVs, formaldehidos y partículas PM 1, 2.5 y 10.

A continuación, en la figura 2 se representan gráficamente las medidas de COVs a lo largo del mes de febrero en la sala de colaboradores GITSE-I3A. Se observa que en los últimos días los valores han aumentado considerablemente, coincidiendo los valores máximos cuando las personas de la limpieza echan ambientador (alrededor de las 11:30 h). Los días anteriores al 6 de febrero, se ocupaba de la limpieza otra persona a la que se le pidió que no usara ambientador, por lo que no se observan picos llamativos.

Por otra parte, hay que destacar que la emisión de los COVs depende en gran medida de la temperatura ambiental, que ha aumentado en la sala, ya que el fancoil fue reparado recientemente. Por tanto, al efecto del ambientador, se suma la contribución de la emisión de COVs de los materiales de construcción y mobiliario.

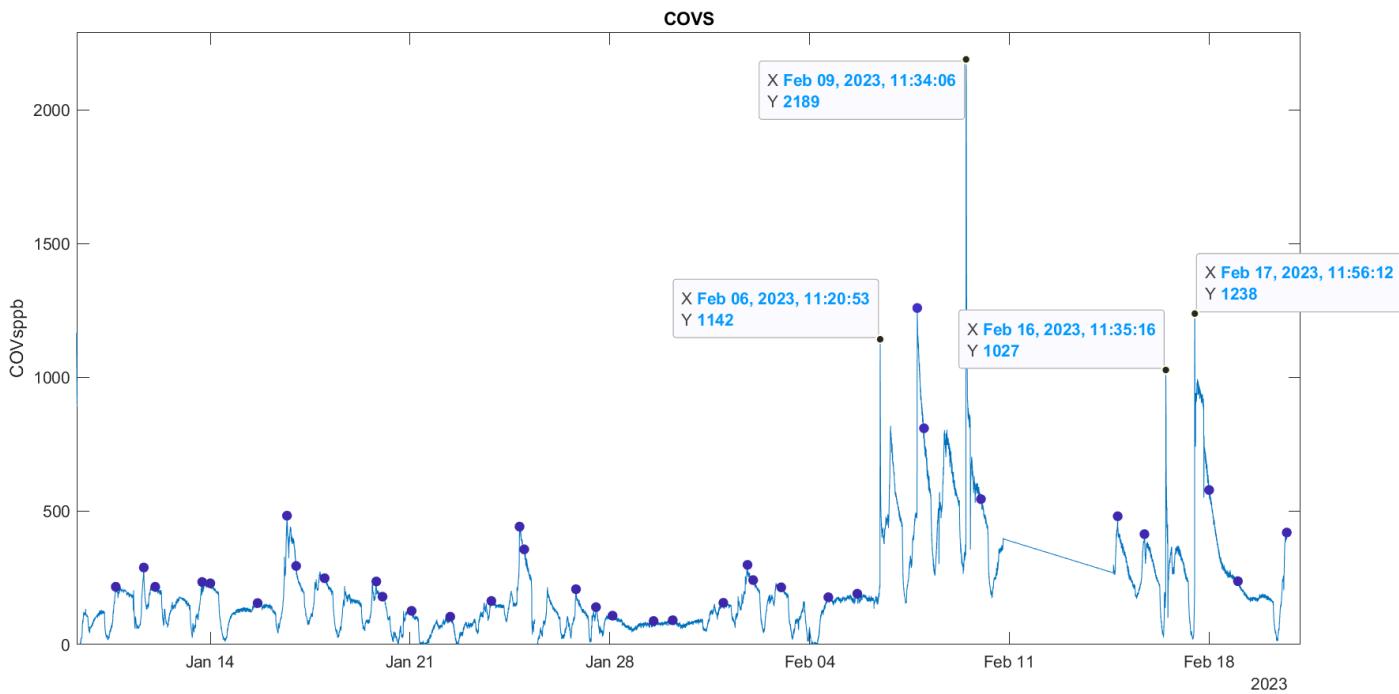


Figura 2. Medición en continuo de los COVs durante el mes de febrero en la sala de colaboradores GITSE-I3A.

4. Conclusiones

Considerando que son más los potenciales riesgos para la salud que los beneficios, proponemos que no se usen ambientadores en Unizar.

Referencias

- [1] C.H. Harios, C. Landeg-Cox, S.D. Lowther, A. Middleton, T. Marczylo, S. Dimitroulopoulou, Chemicals in European residences – Part I: A review of emissions, concentrations and health effects of volatile organic compounds (VOCs), Science of the Total Environment. 839 (2022). <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2022.156201>.
- [2] A. Steinemann, Ten questions concerning air fresheners and indoor built environments, Build Environ. 111 (2017) 279–284. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2016.11.009>.
- [3] InBiot, COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES - COVs, (n.d.). <https://www.inbiot.es/wikinbiot/covs> (accessed February 21, 2023).

Informe 18. Estudio sobre monitorización biblioteca EINA. 15 de noviembre 2022 a 15 de febrero 2023

Para cualquier duda sobre este informe contactar con: Miguel García-Monge, Silvia Guillén y Belen Zalba (bzalba@unizar.es)

Estudio del CO₂

En la figura 1 se calcula y se representa gráficamente el porcentaje de tiempo respecto a las horas de apertura del centro, en el que el nivel de CO₂ de la biblioteca (plantas primera y segunda) se encuentra en diferentes franjas: por debajo de 800 ppm (verde oscuro); entre 800 y 1000 ppm (amarillo); entre 1000 y 1500 ppm (rojo claro); y por encima de 1500 ppm (granate). Los colores elegidos en esta representación son de tipo “semáforo”, por lo que se puede identificar fácilmente cómo a mayor porcentaje de tiempo en verde, mejor calidad de aire interior durante ese mes. Los puntos rojos representan el valor máximo mensual de CO₂ alcanzado (eje derecho). Se ha trazado una línea roja horizontal en 1000 ppm, que indica el valor máximo de CO₂ que sería recomendable no superar (ligeramente por encima de IDA 2).

En el caso de la biblioteca, el nivel de CO₂ se encuentra la mayor parte del tiempo por debajo de 1000 ppm durante los meses analizados. Además, en el mes de febrero no se superaron las 800 ppm de CO₂. El mes que presentó porcentajes de tiempo con niveles de CO₂ entre 1000 y 1500 ppm mayores fue el mes de enero (periodo de exámenes), con un 10 % del horario de apertura de la biblioteca. El porcentaje de tiempo por encima de 1500 ppm es despreciable en todos los casos.

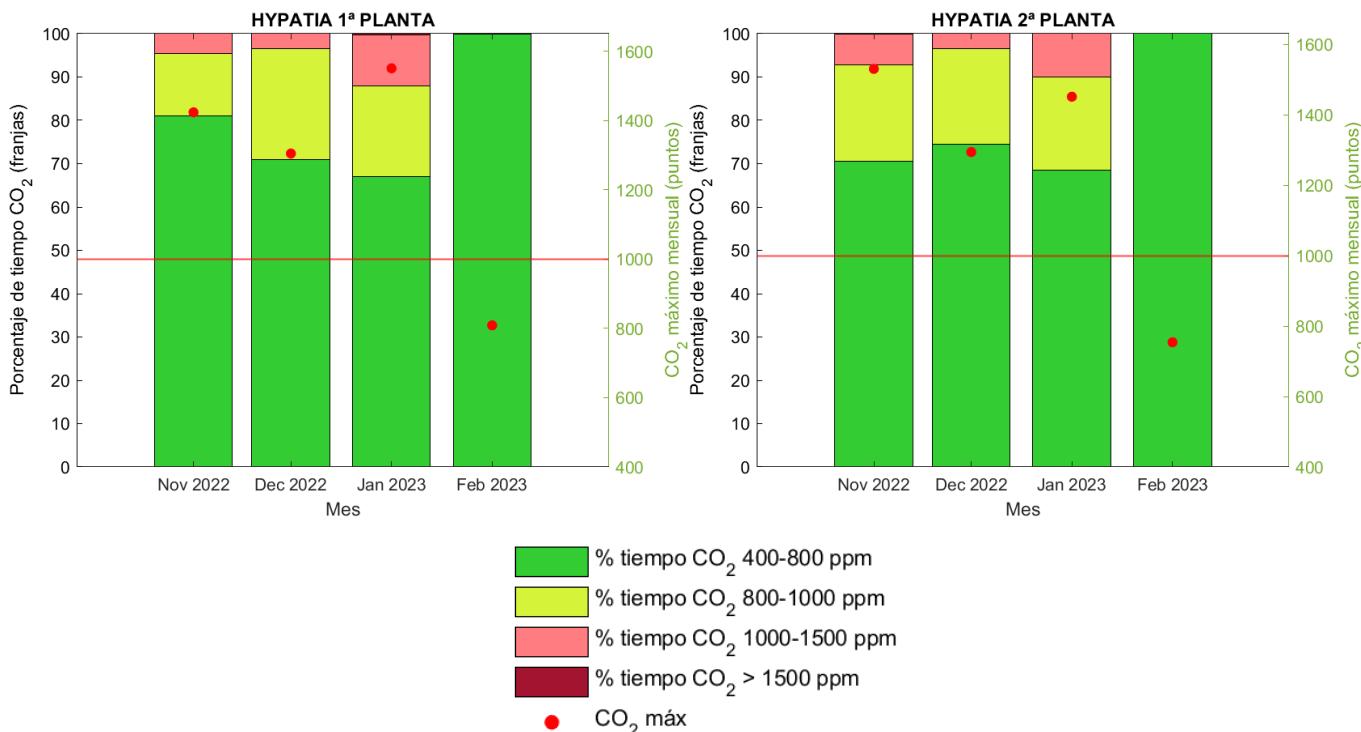


Figura 1. Máximos mensuales de CO₂ y distribución de la concentración de CO₂ por franjas de tiempo porcentuales. Biblioteca (1^a y 2^a planta)

En la figura 2, se representa la evolución del nivel de CO₂ con el tiempo, así como los máximos diarios. Los valores máximos más altos se han dado principalmente en el mes de enero, alcanzando picos puntuales de alrededor de 1500 ppm de CO₂.

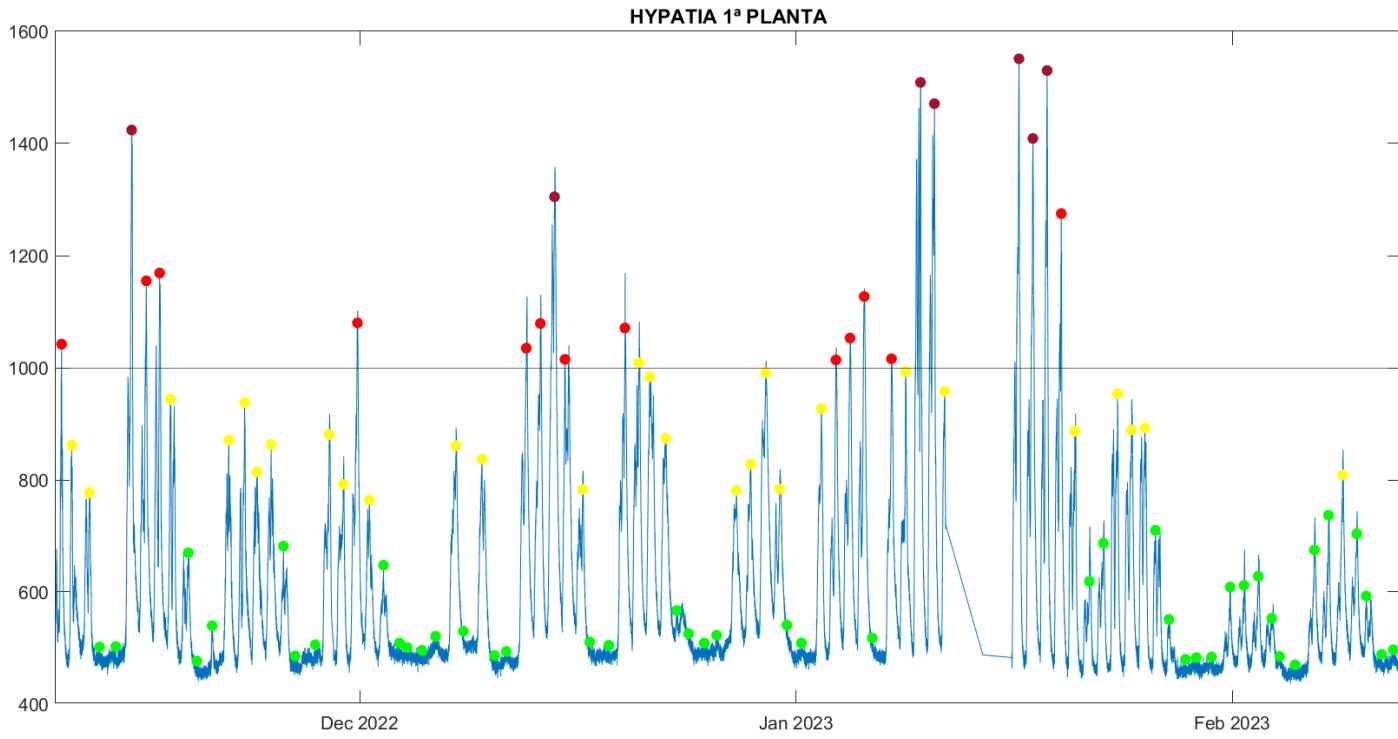


Figura 2. Evolución del nivel de CO₂ con el tiempo y máximos diarios.

Se ha comprobado que los valores máximos de la planta primera y segunda de la biblioteca son muy similares, siendo el nivel de CO₂ ligeramente superior en la planta primera, como se observa en la correlación de la figura 3.

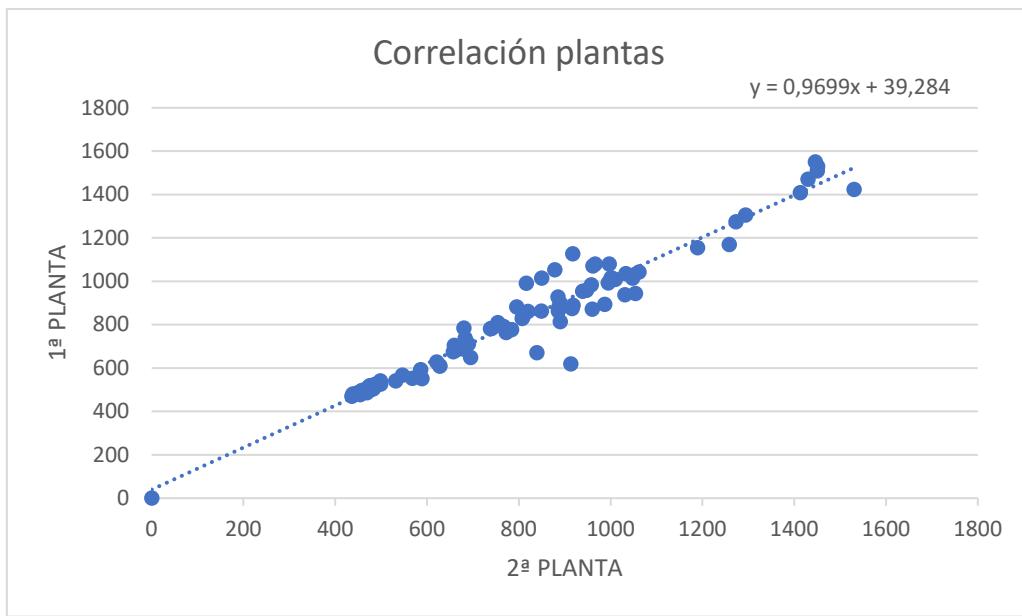


Figura 3. Correlación medidas de CO₂ en la primera y segunda planta.

Estudio de las temperaturas

En la figura 4, se muestra el porcentaje de tiempo respecto a las horas de apertura del centro, en el que la temperatura se encuentre en diferentes franjas: <17°C; 17-19°C; 19-21°C, 21-23°C; 23-25°C; y >25°C. Los colores elegidos en esta representación son más oscuros para las temperaturas mayores y más claros para las menores.

Los puntos azules representan las temperaturas mínimas mensuales y los amarillos las máximas, dentro del horario de apertura.

También se han trazado dos líneas horizontales que indican la temperatura mínima según normativa y la temperatura máxima (17°C-19°C) que se recomienda no superar **en periodo climatizado**, para evitar un consumo innecesario de energía.

Salvo en el mes de noviembre, la temperatura no ha superado los 23°C. En el mes de febrero, en el 55% del horario de apertura la temperatura ha estado entre 21°C y 23°C. Por tanto, en general **hay margen de ahorro de energía**, para no superar 21°C.

El porcentaje de tiempo por debajo de 17°C es muy pequeño. Destaca el mes de enero con alrededor del 5% del horario de apertura por debajo de esta temperatura.

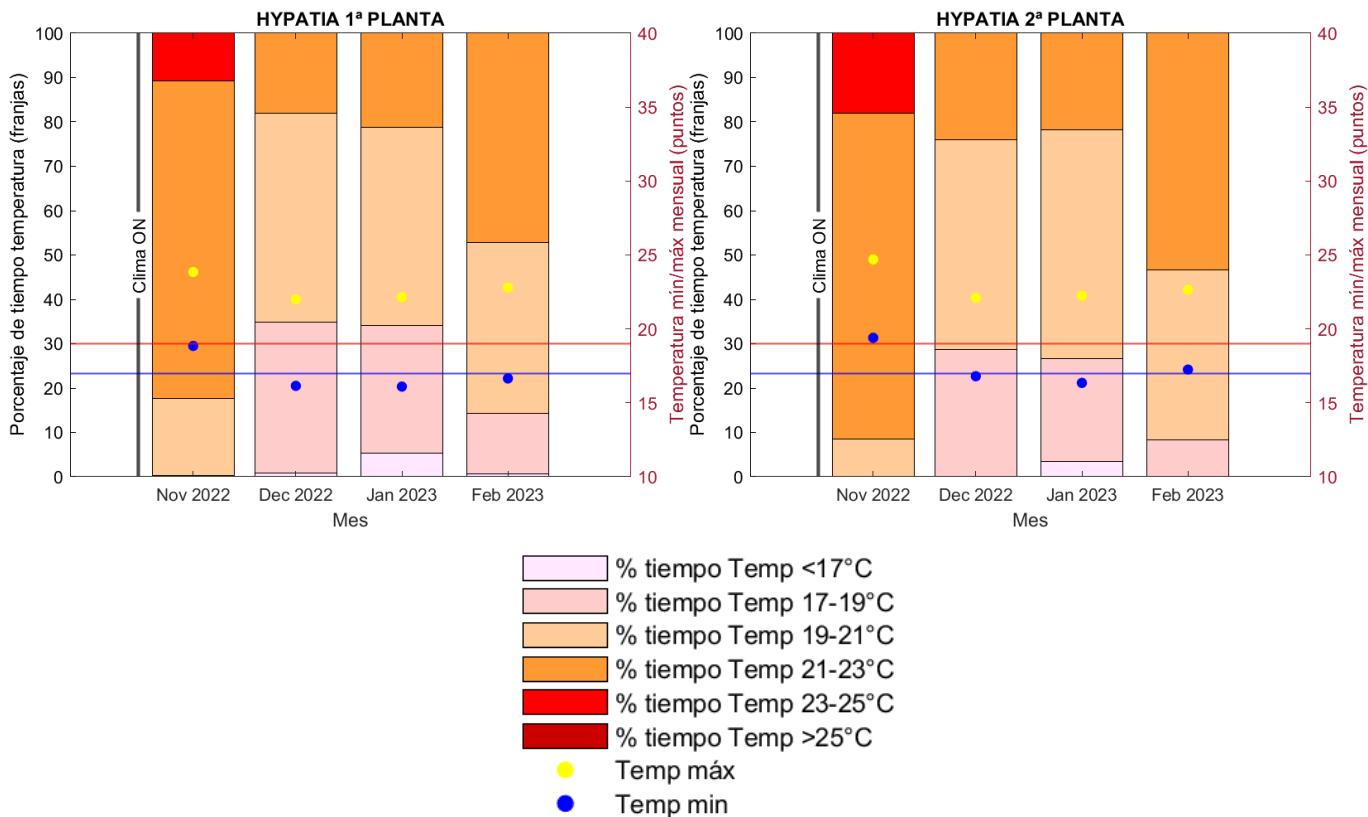


Figura 4. Máximos y mínimos mensuales de temperatura y distribución por franjas de tiempo porcentuales. Biblioteca (1^a y 2^a planta)

En la figura 5 se representa la evolución de la temperatura a lo largo del tiempo, así como los máximos diarios en horario de 8 a 20 h, si han estado por encima de 21°C y los mínimos diarios en ese mismo horario, si han estado por debajo de 17°C.

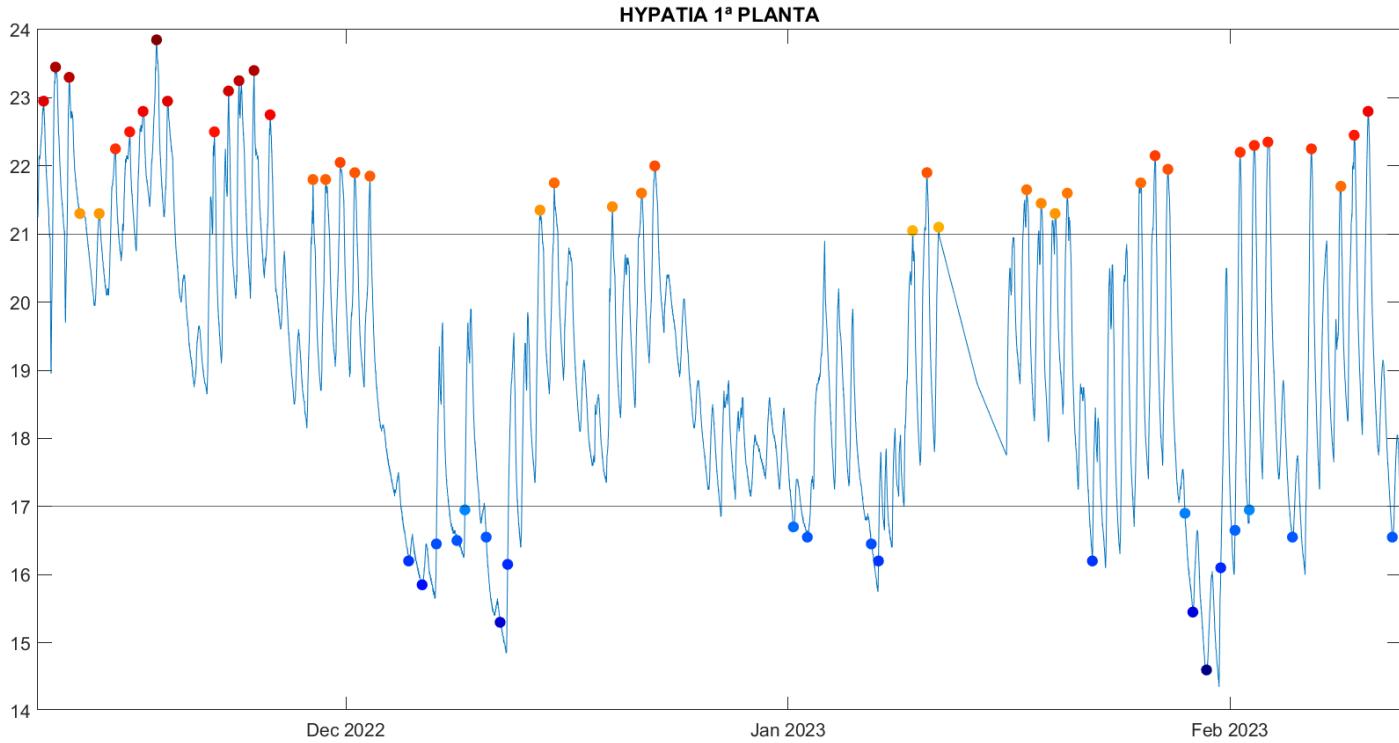


Figura 5. Evolución de la temperatura con el tiempo y máximos y mínimos diarios.

Conclusiones

1. Niveles de CO₂: Durante los meses analizados se han obtenido valores aceptables.
2. Temperatura:
 - a. Existe margen para el ahorro de energía. Se podrían plantear mejoras en el sistema de regulación y control.
 - b. El porcentaje de tiempo por debajo de 17°C es muy pequeño

Informe 19. Estudio sobre monitorización cafetería Ada Byron EINA. 15 de noviembre 2022 a 15 de febrero 2023

Para cualquier duda sobre este informe contactar con: Miguel García-Monge, Silvia Guillén y Belen Zalba (bzalba@unizar.es)

Estudio del CO₂

En la figura 1 se calcula y se representa gráficamente el porcentaje de tiempo respecto a las horas de apertura del centro, en el que el nivel de CO₂ de la biblioteca (plantas primera y segunda) se encuentra en diferentes franjas: por debajo de 800 ppm (verde oscuro); entre 800 y 1000 ppm (amarillo); entre 1000 y 1500 ppm (rojo claro); y por encima de 1500 ppm (granate). Los colores elegidos en esta representación son de tipo “semáforo”, por lo que se puede identificar fácilmente cómo a mayor porcentaje de tiempo en verde, mejor calidad de aire interior durante ese mes. Los puntos rojos representan el valor máximo mensual de CO₂ alcanzado (eje derecho). Se ha trazado una línea roja horizontal en 1000 ppm, que indica el valor máximo de CO₂ que sería recomendable no superar (ligeramente por encima de IDA 2).

En el caso de la cafetería, el nivel de CO₂ se encuentra la mayor parte del tiempo por debajo de 800 ppm durante los meses analizados. Además, en el mes de febrero el valor máximo de CO₂ ha estado ligeramente por encima de 1000 ppm. El mes que presentó porcentajes de tiempo con niveles de CO₂ entre 1000 y 1500 ppm mayores fue el mes de diciembre, con un 10 % del horario de apertura. El porcentaje de tiempo por encima de 1500 ppm de CO₂ es inferior al 1% en noviembre y diciembre.

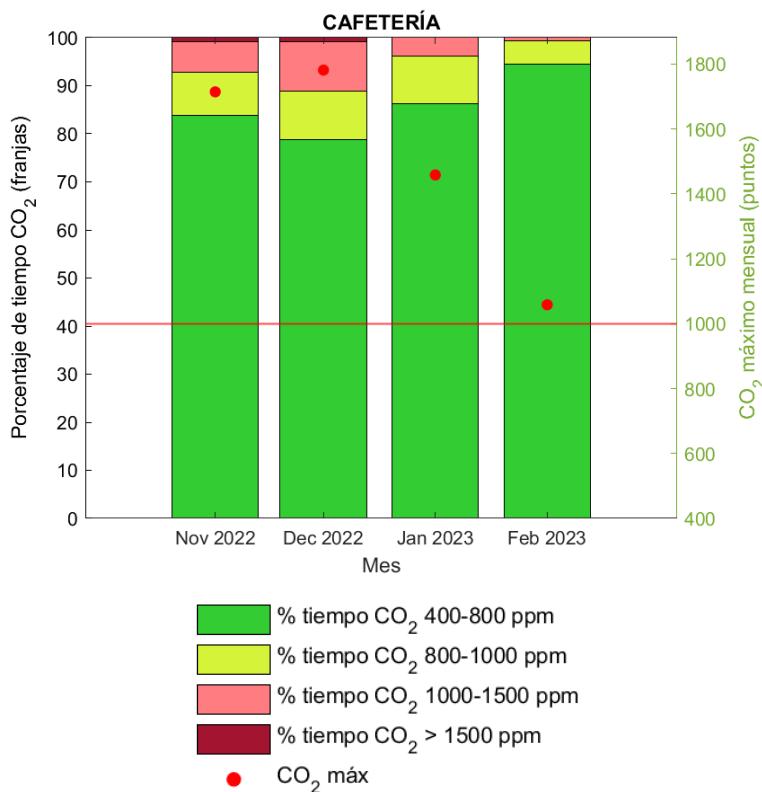


Figura 1. Máximos mensuales de CO₂ y distribución de la concentración de CO₂ por franjas de tiempo porcentuales. Biblioteca (1^a y 2^a planta)

En la figura 2, se representa la evolución del nivel de CO₂ con el tiempo, así como los máximos diarios. Los valores máximos más altos se han dado principalmente en el mes de diciembre, con picos puntuales cercanos a las 1800 ppm.

Los valores máximos se suelen dar al mediodía, entre 13:30 y 15:30 h por la coincidencia de:

- Alta ocupación al medio día
- El apagado de la climatización que se lleva a cabo al mediodía implica que la ventilación mecánica está desconectada en la franja con mayor ocupación y por tanto, con mayor necesidad de ventilación.

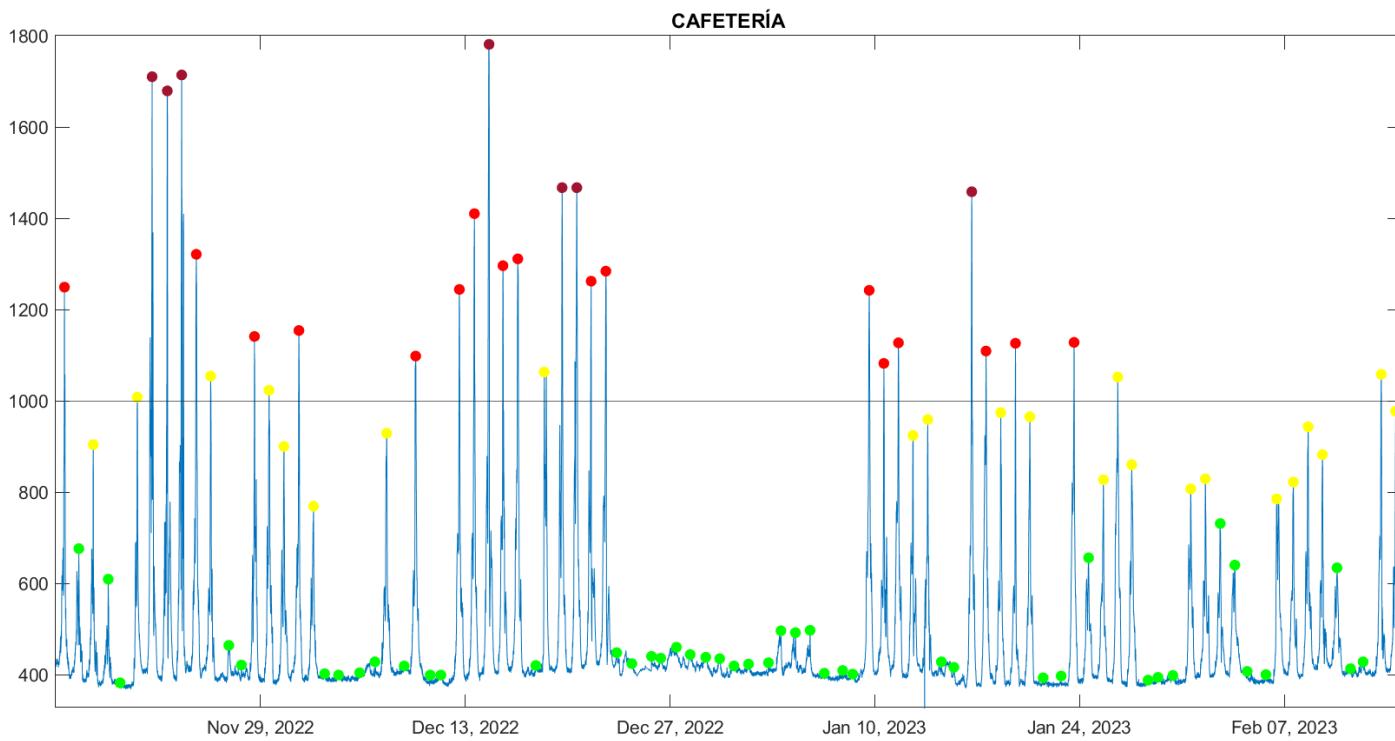


Figura 2. Evolución del nivel de CO₂ con el tiempo y máximos diarios.

Estudio de las temperaturas

En la figura 3, se muestra el porcentaje de tiempo respecto a las horas de apertura del centro, en el que la temperatura se encuentre en diferentes franjas: <17°C; 17-19°C; 19-21°C, 21-23°C; 23-25°C; y >25°C. Los colores elegidos en esta representación son más oscuros para las temperaturas mayores y más claros para las menores.

Los puntos azules representan las temperaturas mínimas mensuales y los amarillos las máximas, dentro del horario de apertura.

También se han trazado dos líneas horizontales que indican la temperatura mínima según normativa y la temperatura máxima (17°C-19°C) que se recomienda no superar **en periodo climatizado**, para evitar un consumo innecesario de energía.

Los meses de noviembre, diciembre y enero han tenido un comportamiento bastante similar. Destaca el mes de febrero, en el que las temperaturas han sido mayores, superando los 23°C en el 25 % del horario de apertura. En general, **hay margen de ahorro de energía, para no superar 21°C**.

El porcentaje de tiempo por debajo de 17°C es mayor en el mes de enero con alrededor del 14 % del horario de apertura por debajo de esta temperatura.

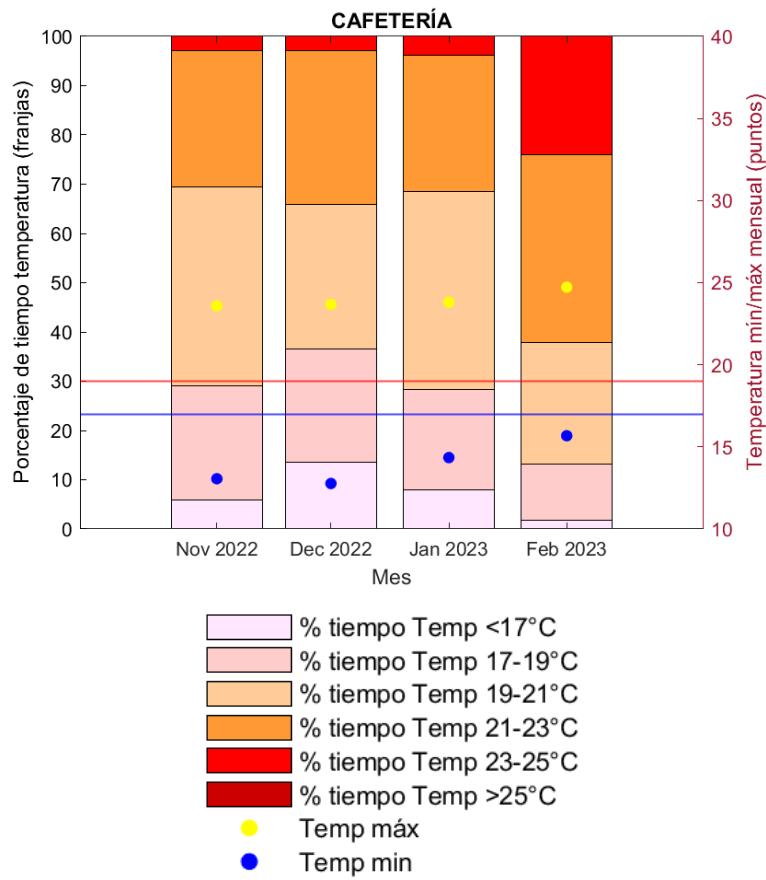


Figura 3. Máximos y mínimos mensuales de temperatura y distribución por franjas de tiempo porcentuales. Biblioteca (1^a y 2^a planta)

En la figura 4, se representa la evolución de la temperatura a lo largo del tiempo, así como los máximos diarios en horario de 8 a 20 h, si han estado por encima de 21°C y los mínimos diarios en ese mismo horario, si han estado por debajo de 17°C.

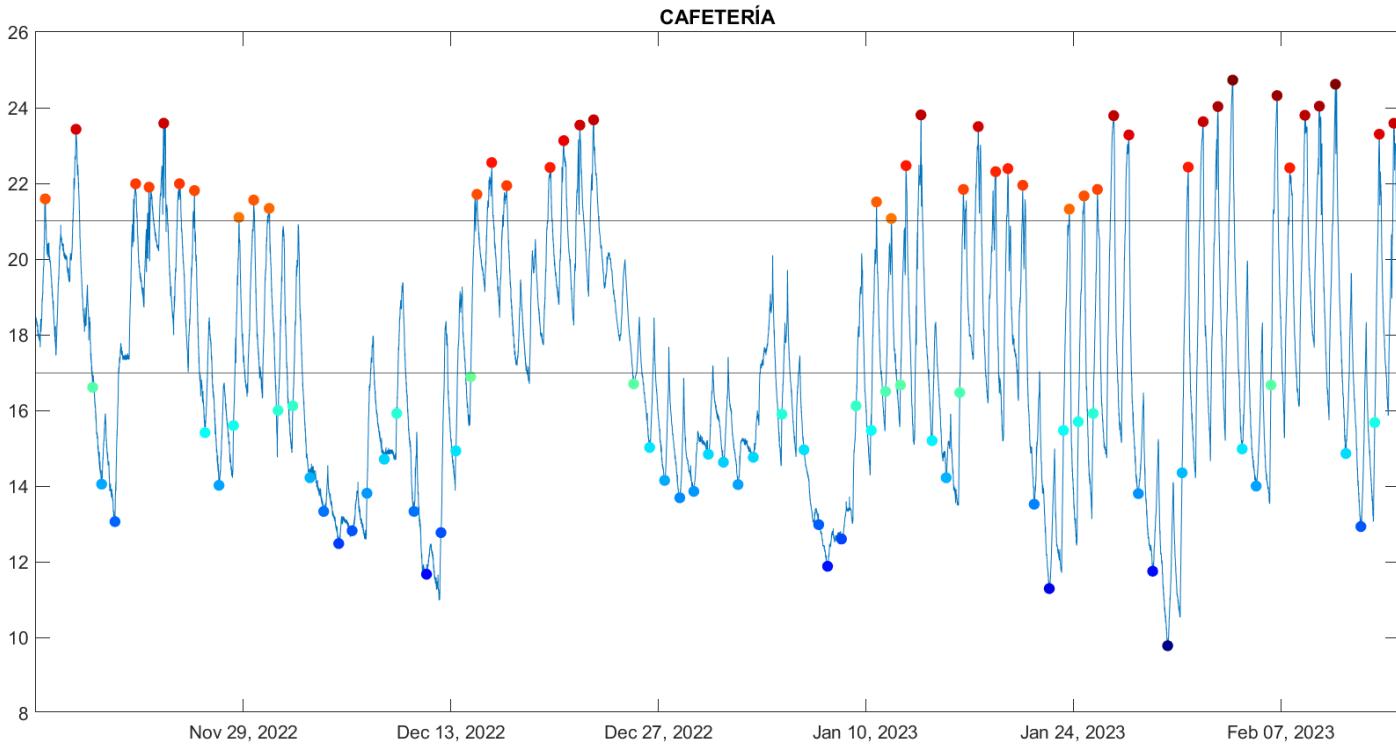


Figura 4. Evolución de la temperatura con el tiempo y máximos y mínimos diarios.

Conclusiones

1. Niveles de CO₂: Durante los meses analizados se han obtenido valores aceptables. Los valores máximos se suelen dar al mediodía, entre 13:30 y 15:30 h por la coincidencia de:
 - a. Alta ocupación al medio día
 - b. El apagado de la climatización que se lleva a cabo al mediodía implica que la ventilación mecánica está desconectada en la franja con mayor ocupación y por tanto, con mayor necesidad de ventilación.
2. Temperatura:
 - a. Existe margen para el ahorro de energía. Se podrían plantear mejoras en el sistema de regulación y control.
 - b. El mayor porcentaje de tiempo por debajo de 17°C fue en enero, alrededor del 14 % del horario de apertura por debajo de esta temperatura.

Informe 20. Propuesta de optimización del encendido de climatizadores de aulas

Para cualquier duda sobre este informe contactar con: Miguel García-Monge, Silvia Guillén y Belen Zalba (bzalba@unizar.es)

Índice

1.	Objetivo de este estudio	1
2.	Propuesta	1
3.	Conclusiones	1

1. Objetivo de este estudio

El objetivo de este informe es proponer un retardo en el encendido de la ventilación mecánica aportada por las Unidades de Tratamiento de Aire (UTAs) o climatizadores de aire primario, hasta que haya ocupación en los edificios.

2. Propuesta

La propuesta se traduciría para el periodo de invierno en los siguientes horarios:

A las 6:00 (o a la hora establecida por la Oficina Verde) arranca **producción + fancoils**. En el caso de espacios que no se climatizan mediante fancoils, sino a través de **climatizadores** propios, como es el caso de la **bibliotecas o cafeterías**, no sería posible retrasar su puesta en marcha, aunque se podría estudiar un cambio en su programación, de modo que arrancasen sin ventilación (100% recirculación de 6 a 8 de la mañana).

A las 8:00 (hora de comienzo de las primeras clases) arranca **climatizador** de aire primario de las aulas + **ventilación de otros climatizadores**.

3. Conclusiones

Las ventajas de un retardo en la puesta en marcha de los sistemas de ventilación, se traduce en un ahorro de energía durante estas dos horas, no solo de los ventiladores de estos equipos, sino también de la energía necesaria para precalentar el aire de ventilación. De esta forma, esta energía térmica que no se utiliza para precalentar el aire de ventilación puede ser utilizada en otras zonas y equipos, consiguiendo llegar antes a las condiciones de confort.

Informe 21. Estudio de temperaturas en espacios del edificio Betancourt.

Noviembre de 2022. Líneas de futuro

Para cualquier duda sobre este informe contactar con: Miguel García-Monge, Silvia Guillén y Belen Zalba (bzalba@unizar.es)

Índice

1. Objetivo de este estudio	1
2. Estudio de datos de temperatura	1
3. Líneas de futuro	3

1. Objetivo de este estudio

Estudiar la evolución de las temperaturas en todos los espacios monitorizados por la plataforma sensoriZAR del edificio Betancourt durante la semana del 21 al 28 de noviembre, y obtener algunas conclusiones.

2. Estudio de datos de temperatura

En la siguiente gráfica, se puede observar la evolución de las temperaturas en todos los espacios monitorizados del edificio Betancourt durante la semana del 21 al 28 de noviembre.

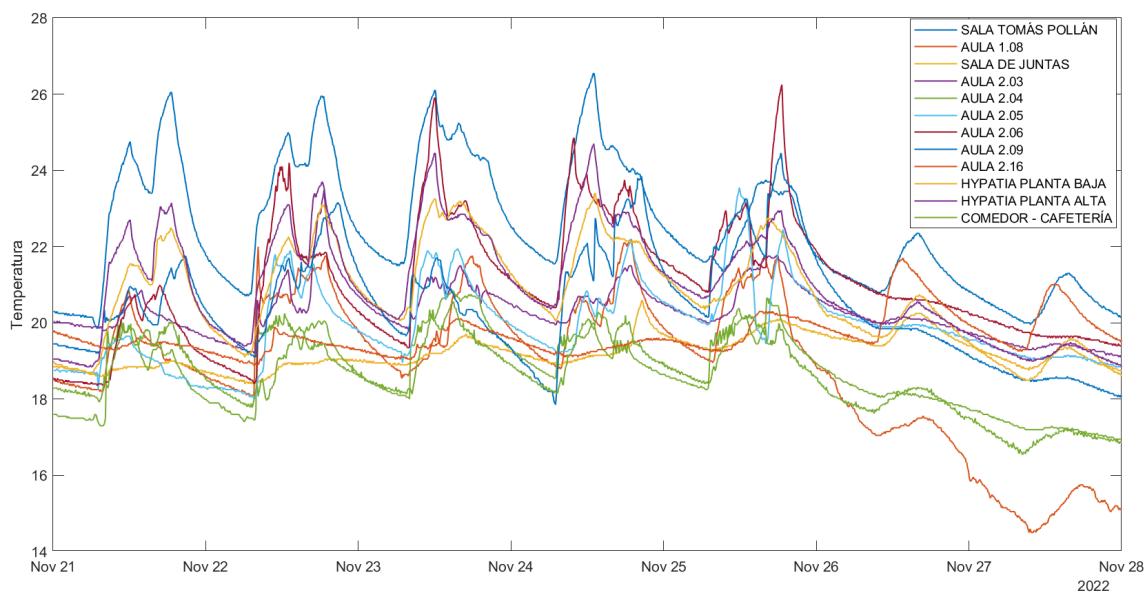


Figura 1. Evolución de la temperatura durante la semana del 21 al 28 de noviembre. Edificio Betancourt.

A partir de la gráfica, se obtienen las siguientes conclusiones

1. Hay espacios que no regulan correctamente: La Unidad de Tratamiento de Aire (UTA) correspondiente a la biblioteca y sala Tomás Pollán **no regula la temperatura correctamente**, ya que mientras está encendida la climatización, la temperatura asciende continuamente, llegando a alcanzar temperaturas superiores a 26 °C en invierno. También se observa una temperatura muy alta en el aula 2.06.

En la figura 2, se muestra el detalle de las temperaturas.

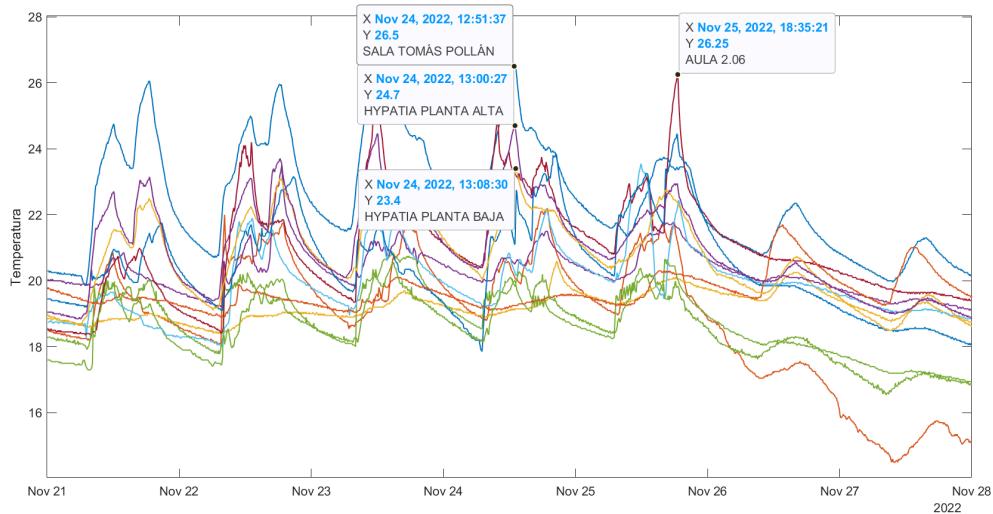


Figura 2. Evolución de la temperatura durante la semana del 21 al 28 de noviembre. Edificio Betancourt.

2. Hay aulas que **regulan** correctamente. Sin embargo, otras no regulan. En estas últimas, habría que revisar los **termostatos**.

En la figura 3, se observa un aula en la que la regulación funciona correctamente. Se aprecia, ya que aparece un diente de sierra entorno a la temperatura de consigna.

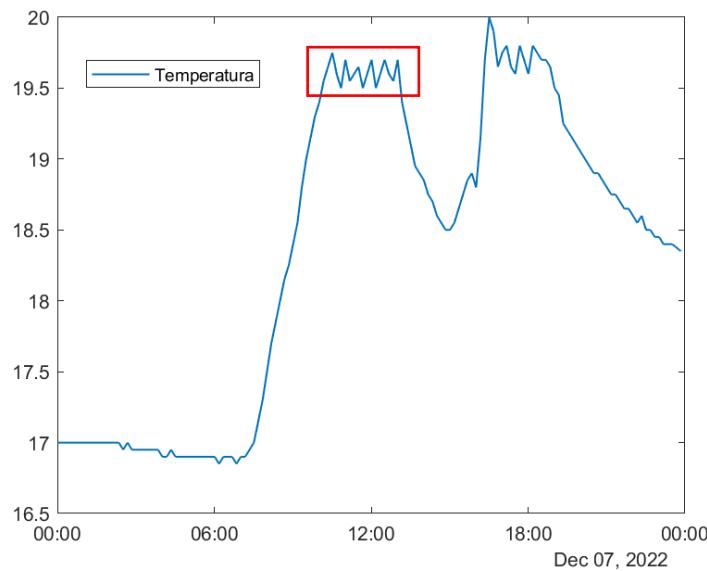


Figura 3. Ejemplo de espacio con una buena regulación.

3. La **parada de la franja al mediodía** podría ser innecesaria en caso de contar con una buena regulación. Actualmente, al hacer la parada, se pierde la ventilación mecánica. Sería conveniente mantener, en todo caso, la ventilación mecánica encendida.
4. La cafetería y aulas como la 2.04, presentan temperaturas inferiores, que pueden producir **falta de confort**.
5. sensoriZAR puede ayudar a detectar **ventanas abiertas**. Durante el fin de semana en el aula 1.08, se observa que la temperatura disminuye de forma mucho más pronunciada que en el resto de los espacios.
6. Tal y como se constató en el informe 15, sensoriZAR permite la **detección de incidencias**. Dado que algunos fines de semana el primario (bombas de calor) estuvo encendido para dar servicio a la biblioteca, algunas aulas también se calentaron innecesariamente por un fallo de conexión de termostatos. En este caso, se puede ver un aumento de temperatura en el aula 2.16.

3. Líneas de futuro

1. Estudiar el efecto de **desfasar el encendido del secundario** respecto del encendido del primario.
2. Estudiar el efecto de **desfasar la ventilación** del secundario (informe 20).
3. **Analizar la inercia térmica del edificio** mediante la pendiente de ascenso (invierno) o descenso (verano) de la temperatura ($^{\circ}\text{C}/\text{hora}$ o $^{\circ}\text{C}/\text{minuto}$). Posible correlación con respecto temperatura exterior (máxima, mínima o media).

En la figura 4, se muestra un ejemplo de la franja de temperatura (en naranja) en la que, por el arranque de la climatización, aumenta la temperatura. Esta es la zona en la que sería interesante estudiar la pendiente de ascenso.

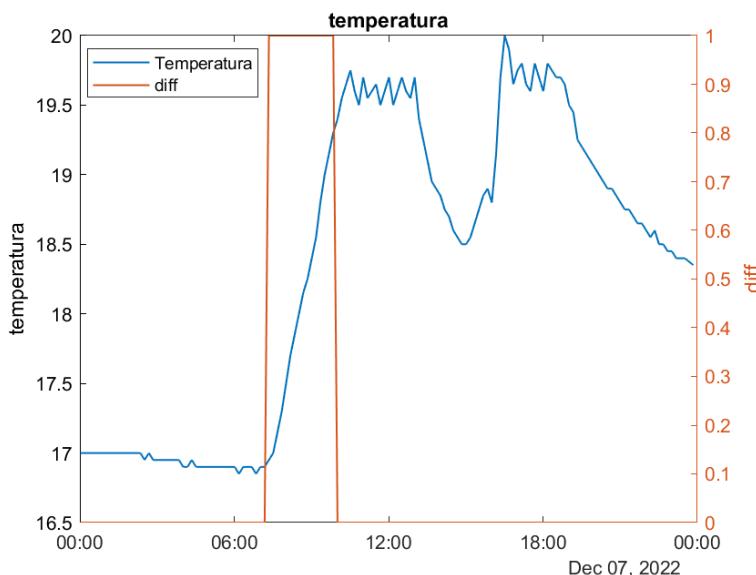


Figura 4. Evolución de la temperatura. Pendiente de temperatura en el arranque de la climatización.

4. **Detectar los espacios más desfavorables de los edificios**, es decir, aquellos en los que se tarda más en alcanzar la temperatura de confort. En los espacios más desfavorables, se podría sugerir a la dirección no utilizar dichos espacios en las primeras horas de la mañana.
5. Desarrollar un **algoritmo para calcular el tiempo necesario para alcanzar la temperatura de confort**, basado en:
 - Temperatura exterior
 - Temperatura del espacio
 - Inercia térmica del espacio ($^{\circ}\text{C}/\text{hora}$)
6. **Analizar el potencial del free-cooling** en los meses más cálidos, para mejorar las condiciones ambientales en espacios, especialmente aquellos de gran ocupación (bibliotecas, salas de estudio) y que cuenten con una Unidad de Tratamiento de Aire con la posibilidad de realizarlo.

En la figura 5, se observa que la temperatura en la sala de estudios Tomás Pollán del edificio Betancourt, supera algunos días el límite máximo de 27°C . Por otra parte, a partir de los datos de temperatura exterior, se observa que no se aprovechan las bajas temperaturas nocturnas para enfriar la sala.

Se plantea utilizar esta sala como caso de estudio para evaluar el efecto del free-cooling, realizado durante las horas de menor temperatura exterior. Posteriormente cuantificar el ahorro energético que supone.

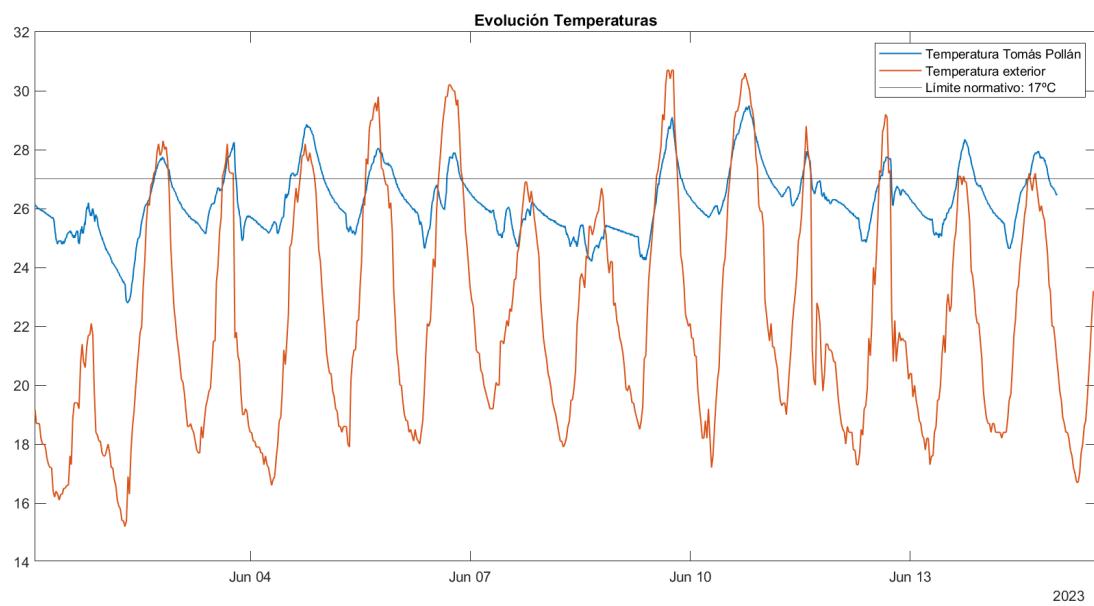


Figura 5. Evolución de la temperatura exterior e interior en la sala de estudios Tomás Pollán.

Informe 22. Metodología para la caracterización de la inercia térmica de edificios, mediante el estudio de las pendientes de ascenso de temperatura.

Para cualquier duda sobre este informe contactar con: Miguel García-Monge, Silvia Guillén y Belén Zalba (bzalba@unizar.es)

Índice

1. Objetivo de este estudio	1
2. Resultados y conclusiones	2
3. Líneas de futuro	3

1. Objetivo de este estudio

Proponer una metodología que permita caracterizar la inercia térmica del conjunto edificio e instalaciones de climatización, para su aplicación a los diferentes espacios monitorizados.

Para ello, se estudiará la franja de tiempo en la que se produce el arranque de las instalaciones de climatización. Por simplicidad, se ha abordado en primer lugar el análisis en modo calefacción y posteriormente se estudiará en modo refrigeración.

Para la realización de esta metodología, se ha diseñado un programa en Matlab que permite calcular las pendientes de ascenso de la temperatura ($^{\circ}\text{C}/\text{h}$). Esta herramienta tiene un gran potencial, ya que permite estudiar la variabilidad de las pendientes en un mismo edificio y entre edificios, **identificando los espacios más desfavorables**, es decir, los que cuesta más tiempo calentar. De este modo, al planificar los horarios de docencia, se podrá intentar dejar los espacios más fríos sin ocupación durante las primeras horas del día, ocupando en primer lugar, los espacios que se calientan más rápido. También es posible identificar espacios en los que es necesario realizar mantenimiento de los fancoils u otros equipos de climatización.

A modo de ejemplo del funcionamiento del programa, se representa la evolución de la temperatura y la zona de estudio en la figura 1. Por otra parte, se muestra el ajuste a de las temperaturas del arranque a una recta. Este tipo de gráficas se pueden obtener de forma automatizada.

La zona de estudio estará comprendida entre 5 a 9 de la mañana, aunque la franja se ajustará a la zona en la que el ascenso de la temperatura sea significativo, en este caso de 7 a 9 h.

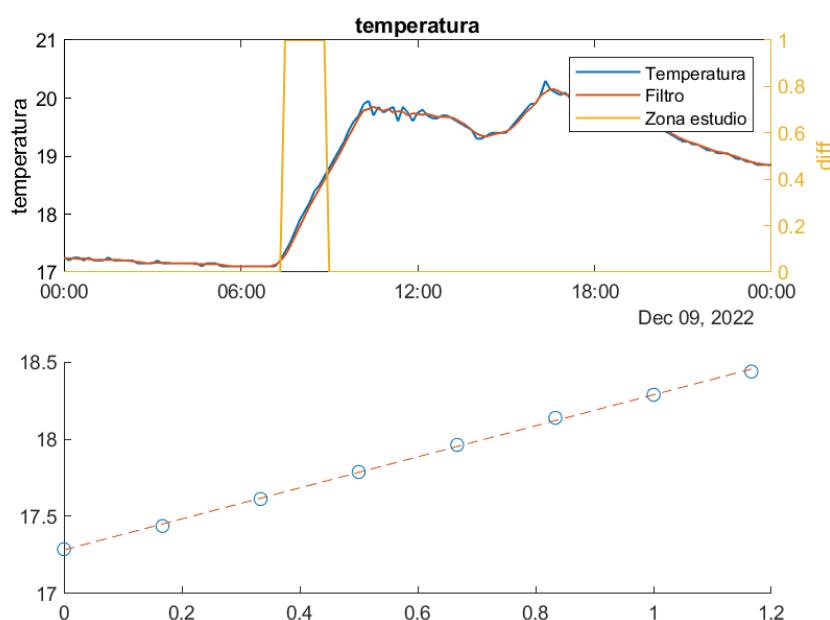


Figura 1. a) Representación de la zona de estudio para un día. b) Ajuste de valores a una recta.

2. Resultados y conclusiones

En este apartado se estudian los valores de las pendientes de ascenso para:

- Espacios representativos de los tres edificios de la EINA con monitorización.
- Durante la temporada de calefacción del curso 2022-23 (sólo días con climatización encendida, según la base de datos proporcionada por la Oficina Verde).

La figura 2 muestra los valores medios y el número de días en los que se han calculado las pendientes de ascenso. En la figura 3, se muestra un diagrama de cajas y bigotes que aporta mayor información de la variabilidad de los valores.

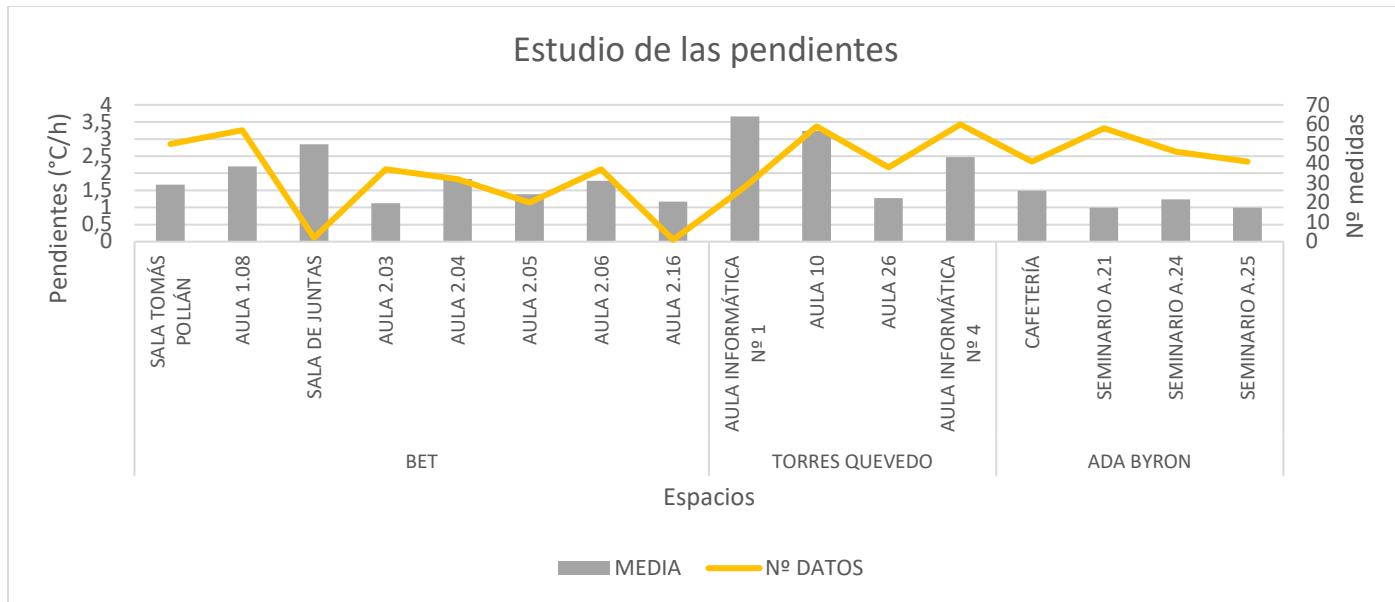


Figura 2. Valores medios y nº de días con pendientes de ascenso calculadas.

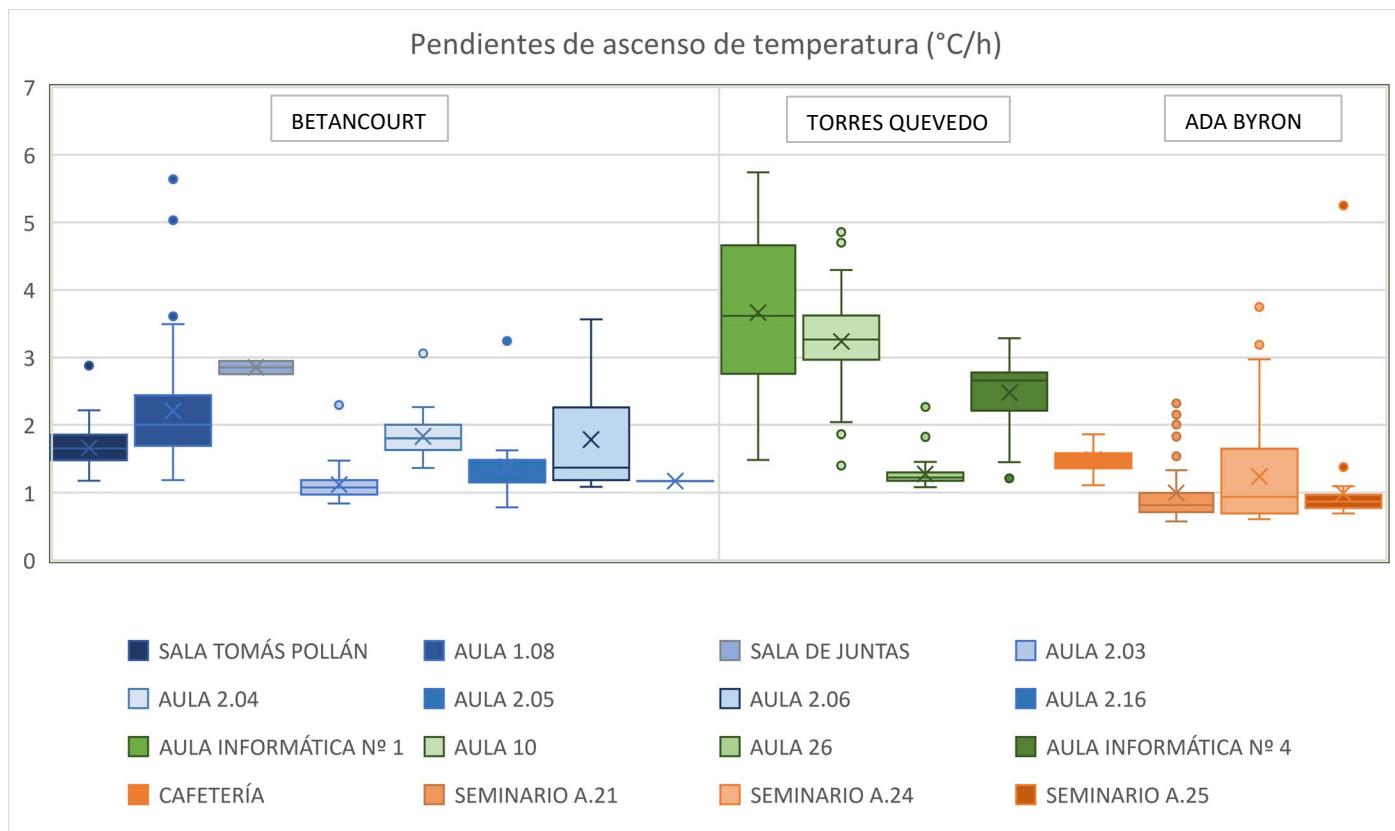


Figura 3. Diagrama de cajas y bigotes para los valores de las pendientes de ascenso de la temperatura calculados.

A partir de estos resultados, se observa que el edificio Torres Quevedo es el que presenta unas pendientes de ascenso de la temperatura mayores ($2,66^{\circ}\text{C}/\text{h}$ de media), por lo que se calienta más rápido. Por tanto, aunque sería necesario un análisis de un mayor número de espacios, sería posible encender la calefacción más tarde.

Los espacios del edificio Betancourt ($1,75^{\circ}\text{C}/\text{h}$ de media) se calientan ligeramente más rápido que los del edificios Ada Byron ($1,17^{\circ}\text{C}/\text{h}$ de media), aunque las pendientes de ascenso son bastante inferiores a las del Torres Quevedo.

Esta metodología es útil no solamente para comparar la inercia térmica de diferentes edificios, también para detectar espacios con comportamiento más desfavorable (valores más bajos en la figura 3). Para estos espacios más lentos en la velocidad de calentamiento hay que pasar a una segunda fase y revisar si el problema está asociado con la envolvente o con las instalaciones de climatización.

3. Líneas de futuro

- Aplicar el programa desarrollado a un mayor número de espacios.
- Correlacionar la temperatura en el momento del encendido de las instalaciones y el valor de la pendiente de ascenso.
- Desarrollar de un algoritmo que permita considerar el comportamiento del edificio a la hora de establecer los horarios de encendido de la climatización, para cada edificio.
- Estudio detallado de los espacios con velocidad de calentamiento más baja.

Informe 22. Anexo. Metodología para la caracterización de la inercia térmica del conjunto edificio-HVAC, mediante el estudio de las pendientes de ascenso de temperatura.

Para cualquier duda sobre este informe contactar con: Miguel García-Monge, Silvia Guillén y Belén Zalba (bzalba@unizar.es)

Índice

Anexo 1. Descripción detallada del programa	1
Anexo 2. Código de limpieza de la variable diff	8

Anexo 1. Descripción detallada del programa

El programa consta de los siguientes apartados:

1. Filtrado de la señal de temperatura:

Las medidas de temperatura recogidas por los sensores son puntuales con una frecuencia de medición y almacenamiento aproximada de 5 minutos. El archivo tt.temperature recoge los valores de fecha, hora y temperatura, para el espacio a estudiar, en la franja de tiempo que se desee.

En primer lugar y para evitar datos anómalos puntuales (errores de medida, medidas puntuales que cambian la tendencia, etc), se lleva a cabo un suavizado de la señal de temperatura. Se utilizará un filtro de media móvil, que calcula el valor medio de los datos contenidos en cada ventana de longitud `windowSize`, a lo largo de todos los datos de temperatura almacenados, mediante la instrucción `filter(b,a,x)`, mediante una función de transferencia racional:

$$y(n) = \frac{1}{windowSize} [x(n) + x(n - 1) + \dots + x(n - (windowSize - 1))].$$

Siendo:

<code>windowSize = 4.</code>	Indica el número de datos colindantes que utiliza la instrucción para realizar el filtrado. Se toma un valor de 4, para no distorsionar demasiado la señal original.
<code>b = (1/windowSize)*ones(1,windowSize).</code> <code>a = 1;</code>	<code>b</code> : Coeficiente del numerador de la función de transferencia racional. Para <code>windowSize = 4</code> , se trata de una matriz 1×4 : [0,25 0,25 0,25 0,25] <code>a</code> : Coeficiente del denominador de la función de transferencia racional
<code>x = tt.temperature.temperature</code>	Valores de temperatura (sin fecha y hora).

En la figura 1, se muestra un ejemplo del efecto de la aplicación del filtro durante un día. Se remarca un punto en el que, durante el arranque, la temperatura se estanca puntualmente. Ese estancamiento deja de ser pronunciado al aplicar el filtro.

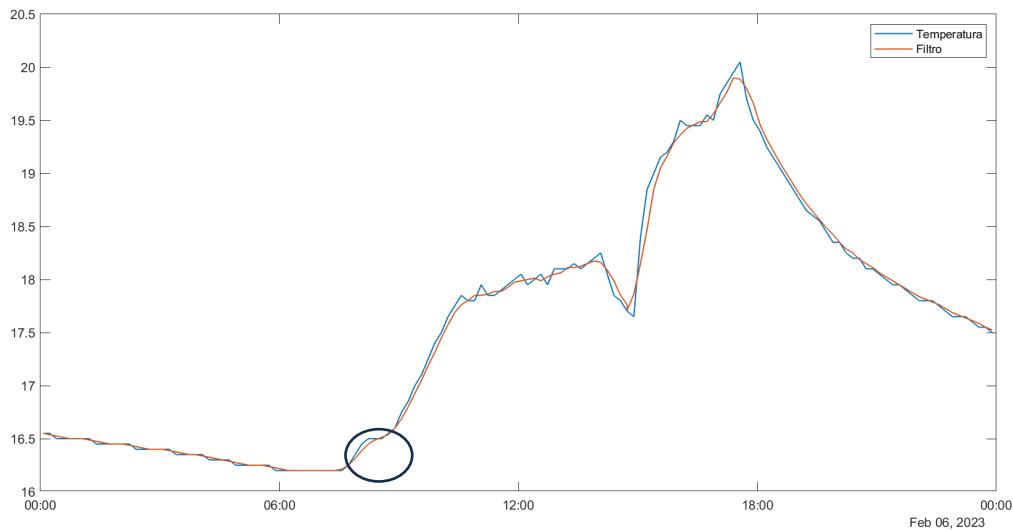


Figura 1. Visualización del efecto del filtro.

2. Selección de datos con delta de temperatura alto:

Seguidamente, se calcula el delta de temperatura filtrada (la diferencia entre dos valores de temperatura consecutivos tras aplicar el filtro), utilizando la instrucción “diff”. Los valores cuyo delta de temperaturas sea mayor a un valor establecido por el usuario “DeltaT_min” se almacenan en la variable “tt.temperature.diff” con valor unitario.

```
tt.temperature.diff(2:end)=diff(tt.temperature.filter)>DeltaT_min;
```

En la figura 2, se muestra un ejemplo de los cálculos realizados, para una serie de datos de temperatura. En la figura 3, se muestra más en detalle el delta de temperatura (Diff) y aquellos que superan el umbral de DeltaT_min (Diff>DeltaT_min).

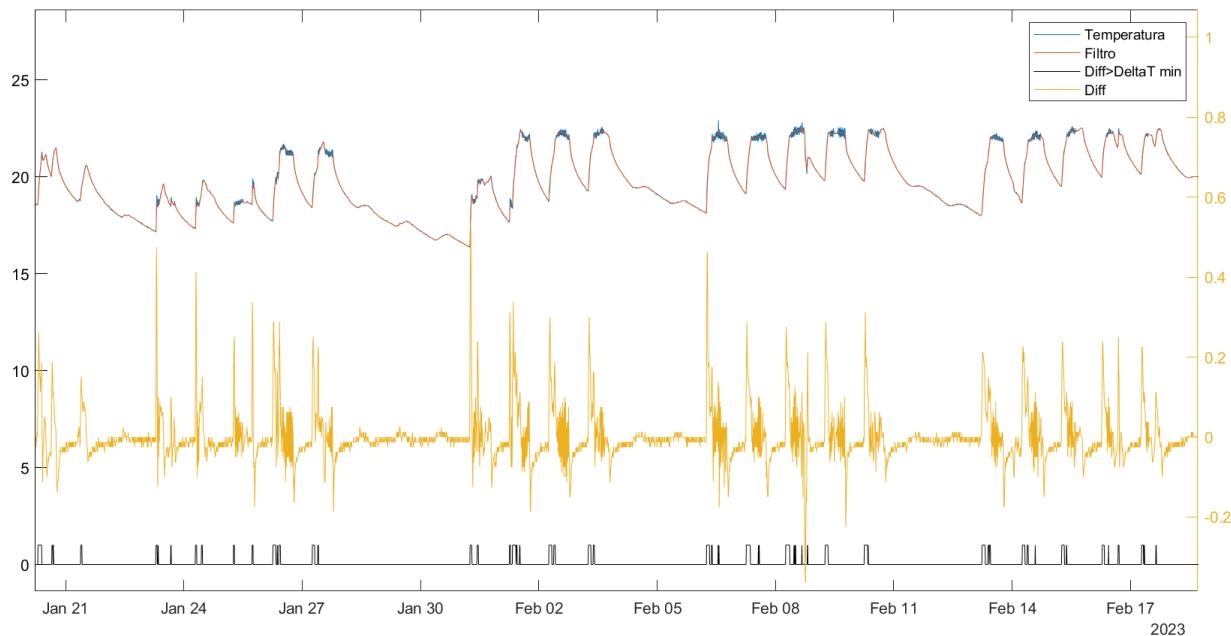


Figura 2. Visualización de: valores de temperatura, valores de temperatura filtrados, diferencia entre valores de temperatura consecutivos y diferencia entre valores de temperatura consecutivos que supera el umbral de DeltaT_min.

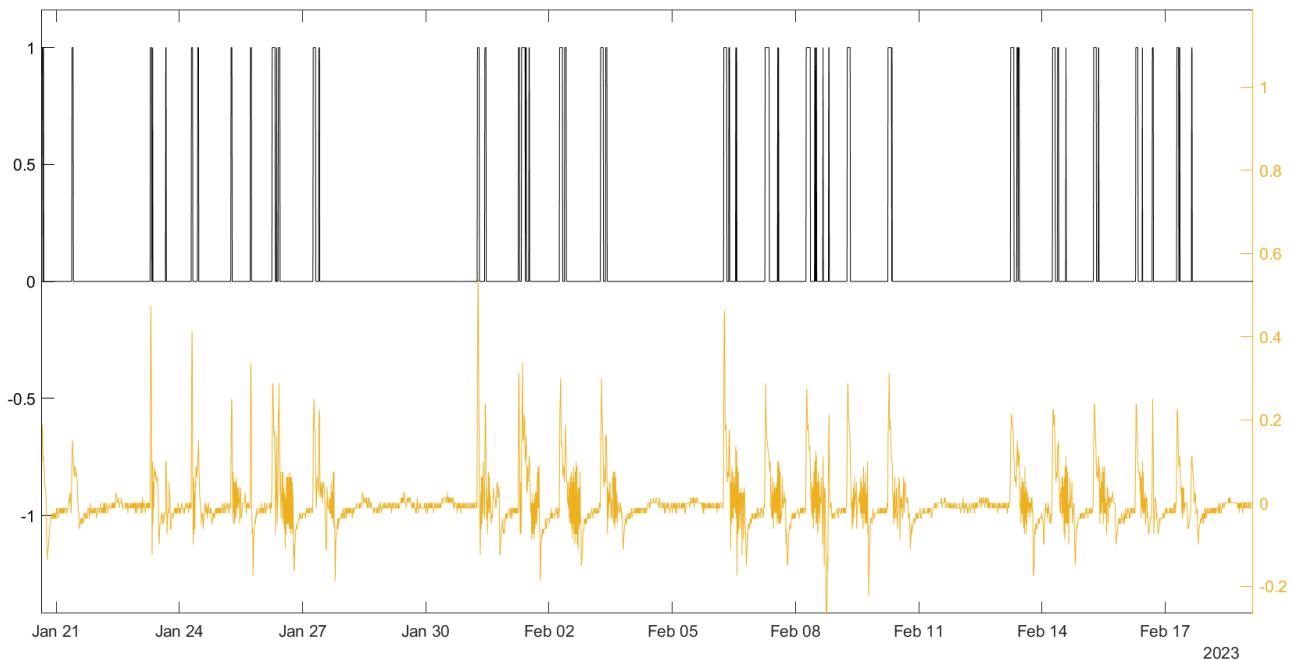


Figura 3. Diferencia entre valores de temperatura consecutivos y diferencia entre valores de temperatura consecutivos que supera el umbral de ΔT_{min} .

Dado que para el presente estudio interesa seleccionar únicamente la franja de datos para el horario de arranque de la instalación, se seleccionan únicamente los datos para el horario de 5 de la madrugada a 9 de la mañana. Con este horario se intenta reducir el número de datos con ocupación, para despreciar la influencia de la carga térmica de las personas.

```
H = (timeofday(tt.temperature.Time) >= '5:00:00' & timeofday(tt.temperature.Time) <=
'9:00:00'); %Horario de arranque
tt.temperature.diff(~H)=0;
```

En la figura 4, se muestra la temperatura y el filtro, junto con las franjas con delta de temperatura superior a ΔT_{min} .

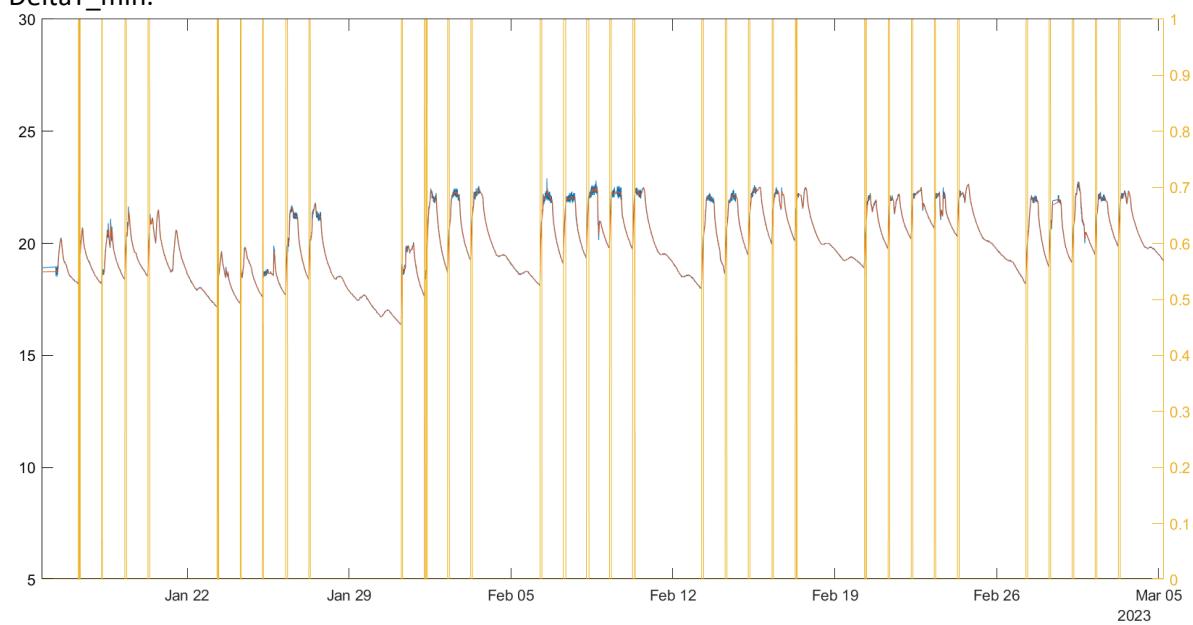


Figura 4. Ejemplo de franjas con delta de temperatura > ΔT_{min} , en el horario de arranque.

3. Depuración de la variable diff.

Se observa que hay días en los que, por una o por alguna causa desconocida (incidencia, desconexión indebida de los termostatos, apertura de ventanas, etc), hay dos o más tramos con un delta de temperatura superior a ΔT_{min} , es decir, con $diff=1$, (ver figura 5). Dado que para este estudio interesa por simplicidad estudiar únicamente un único tramo (en caso de existir más de uno, el primero que se produce), se llevará a cabo una limpieza de esta variable, denominada `tt.temperature.diff`.

Por otra parte, el programa dejará sólo los días en los que haya un número de registros consecutivos con delta de temperatura superior a ΔT_{min} ($diff=1$), de $N_{valores_mínimos}=8$;

Esto supondrá mayor fiabilidad en los cálculos, aunque implicará tener un menor número de días de estudio. Dado que el código es más extenso, se incluye en el anexo 2.

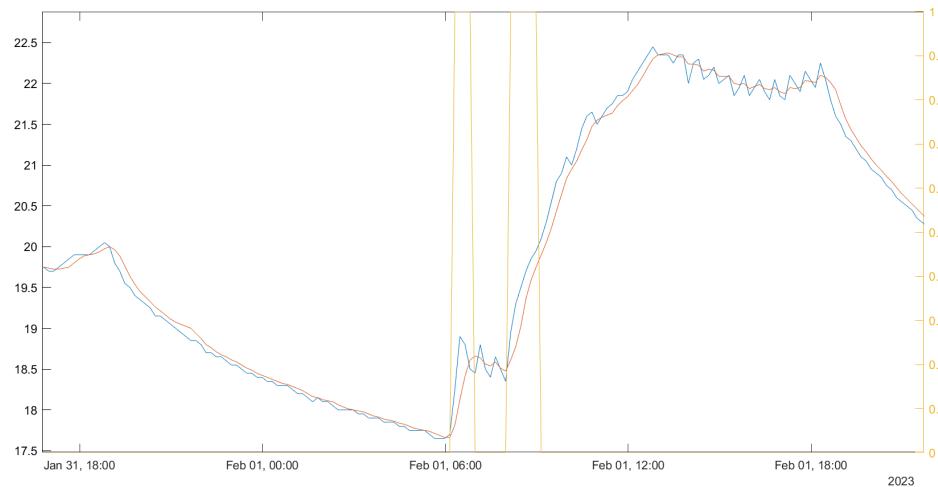


Figura 5. Ejemplo de un día con más de un tramo con delta de temperatura > ΔT_{min} .

La figura 6 es similar a la figura 4, tras realizar la depuración de la variable `tt.temperature.diff`.

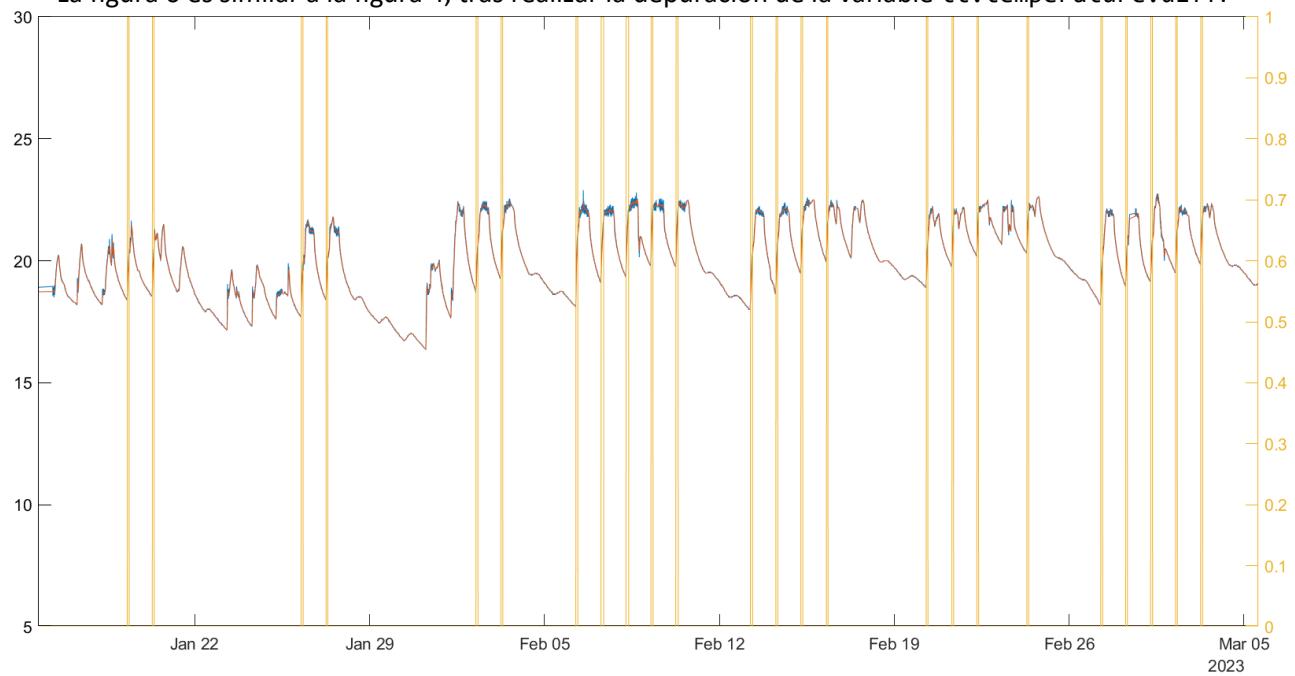


Figura 6. Ejemplo de franjas con delta de temperatura > ΔT_{min} , en el horario de arranque depuradas, con respecto a la figura 4.

4. Cálculo de pendientes

A continuación se muestra el código para el cálculo de las pendientes, comentado y explicado. Se tomará el día 9 de diciembre para ilustrar las variables.

Se obtiene el listado de días y se suma la variable tt.temperature.diff diariamente
`a=rettime(tt.temperature,'daily','sum');`

*Nota: Para los días de estudio, esta suma será como mínimo igual a N_valores_minimos=8.
 En la figura 7, se muestra un ejemplo de esta variable.*

Time	1 diff
30/01/2023 00:00	0
31/01/2023 00:00	0
01/02/2023 00:00	0
02/02/2023 00:00	10
03/02/2023 00:00	10
04/02/2023 00:00	0
05/02/2023 00:00	0
06/02/2023 00:00	11
07/02/2023 00:00	15
08/02/2023 00:00	15
09/02/2023 00:00	11
10/02/2023 00:00	12
11/02/2023 00:00	0
12/02/2023 00:00	0
13/02/2023 00:00	12
14/02/2023 00:00	10

Figura 7. Ejemplo de la variable a.

`for k=1:height(a)` A continuación se recorren todos los días (de la variable a)

`if a.diff(k)>0` Se calculará la pendiente si hay tramos con delta de temperatura altos en el arranque, es decir, que la suma de diff (a.diff) para un día sea mayor que cero.

Para cada día se selecciona la franja horaria de arranque (5 a 9 de la mañana).

```
dia=datetime(a.Time(k));
TR = timerange(dia+'5:00:00',dia+'9:00:00');
franja=tt.temperature(TR,:);
```

Time	temperature	filter	diff
'09/12/2022 05:00'	17,15	17,1375	0
'09/12/2022 05:10'	17,15	17,1375	0
'09/12/2022 05:20'	17,1	17,1375	0
'09/12/2022 05:30'	17,1	17,125	0
'09/12/2022 05:40'	17,1	17,1125	0
'09/12/2022 05:50'	17,1	17,1	0
'09/12/2022 06:00'	17,1	17,1	0
'09/12/2022 06:10'	17,1	17,1	0
'09/12/2022 06:20'	17,1	17,1	0
'09/12/2022 06:30'	17,1	17,1	0
'09/12/2022 06:40'	17,1	17,1	0
'09/12/2022 06:50'	17,1	17,1	0
'09/12/2022 07:00'	17,1	17,1	0
'09/12/2022 07:10'	17,1	17,1	0
'09/12/2022 07:20'	17,2	17,125	0
'09/12/2022 07:30'	17,35	17,1875	0
'09/12/2022 07:40'	17,5	17,2875	1
'09/12/2022 07:50'	17,7	17,4375	1
'09/12/2022 08:00'	17,9	17,6125	1
'09/12/2022 08:10'	18,05	17,7875	1
'09/12/2022 08:20'	18,2	17,9625	1
'09/12/2022 08:30'	18,4	18,1375	1
'09/12/2022 08:40'	18,5	18,2875	1
'09/12/2022 08:50'	18,65	18,4375	1

Tabla 1. Ejemplo de la variable franja para un día



try PRUEBA A CALCULAR LA PENDIENTE

Dentro de la franja de 5 a 9, se seleccionan los valores con diff=1

tiempo=franja.Time(franja.diff==1); Fecha y hora con diff=1

temp=franja.filter(franja.diff==1); Temperatura con diff=1

time	temp	filter	diff
'09/12/2022 07:40'	17,5	17,2875	1
'09/12/2022 07:50'	17,7	17,4375	1
'09/12/2022 08:00'	17,9	17,6125	1
'09/12/2022 08:10'	18,05	17,7875	1
'09/12/2022 08:20'	18,2	17,9625	1
'09/12/2022 08:30'	18,4	18,1375	1
'09/12/2022 08:40'	18,5	18,2875	1
'09/12/2022 08:50'	18,65	18,4375	1

Tabla 2. Ejemplo del filtrado en para diff=1

Calcula las horas acumuladas, en nueva variable (x):

x=zeros(height(tiempo),1); Crea la variable x

x(2:end)=hours(diff(tiempo)); Diferencia en horas entre medidas consecutivas
x=cumsum(x); Se acumulan las horas

time	hours(diff(tiempo))	cumsum(x)
09/12/2022 07:40	0	0
09/12/2022 07:50	0.1672	0.1672
09/12/2022 08:00	0.1663	0.3336
09/12/2022 08:10	0.1663	0.5000
09/12/2022 08:20	0.1669	0.6669
09/12/2022 08:30	0.1666	0.8336
09/12/2022 08:40	0.1666	1.0002
09/12/2022 08:50	0.1658	1.1661

Tabla 3. Ejemplo de las variables time, temp, x.

X = [ones(length(x),1) x]; Columna de unos y horas acumuladas
y=(temp); Columna de temperatura

X		y	
1	0	17,5	
1	0,1672	17,7	
1	0,3336	17,9	
1	0,5000	18,05	
1	0,6669	18,2	
1	0,8336	18,4	
1	1,0003	18,5	
1	1,1661	18,65	

b = X\y;

Nota: A\b Resuelve el sistema de ecuaciones lineales A*x = B.
Las matrices A y B deben tener el mismo número de filas.

b
17,2830
1,0039

Ordenada en el origen
Pendiente de ascenso

pendiente=b(2); La pendiente es el segundo valor de b, es decir, 1.0039
a.pendiente(k)=pendiente; Se guarda el valor calculado en el vector a

catch EN CASO DE ERROR, SE ALMACENA EL VALOR 0

a.pendiente(k)=0;

end

end

end

A modo de ejemplo, se representa la evolución de la temperatura, así como el filtro y la zona de estudio en la figura 8. Por otra parte, se muestra el ajuste a la recta. Este tipo de gráficas se pueden obtener de forma automatizada.

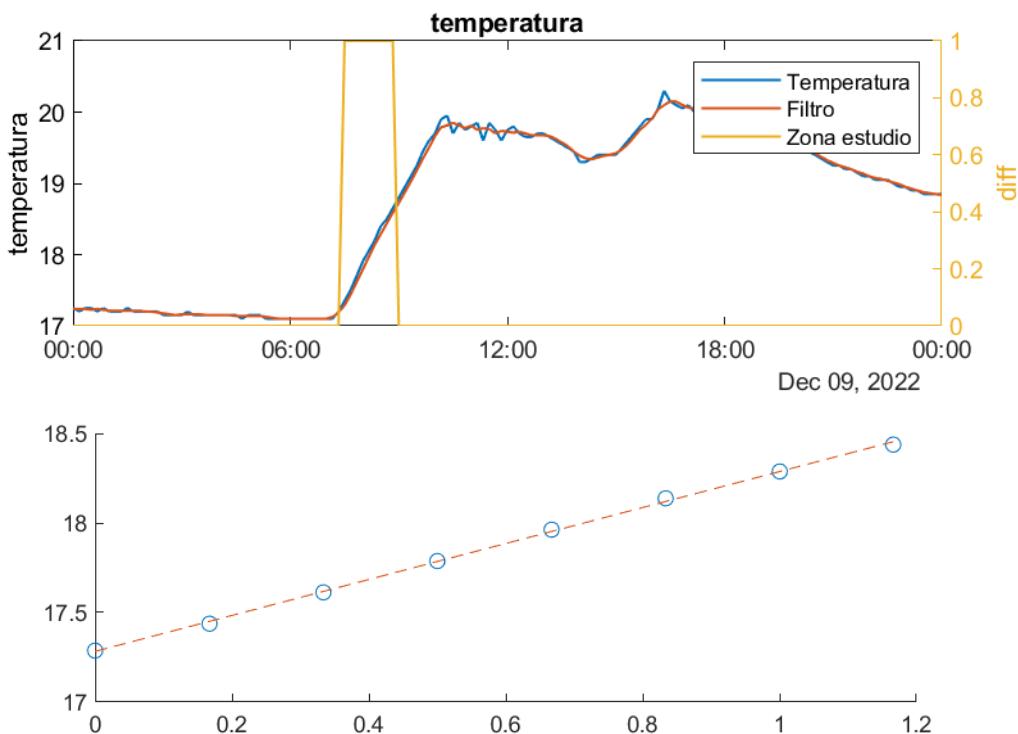


Figura 8. a) Representación de la zona de estudio ($diff=1$) para un día. b) Ajuste de valores a una recta.

Anexo 2. Código de limpieza de la variable diff

```
for i=1:height(franja)

    % Debe existir nº mínimo de valores con pendiente ASCENDENTE

    if franja.diff(i)==1 && inicio==0

        % VALOR = 1. Valores anteriores 0 ó 1 sin conseguir todavía franja con n_valores_minimos

        cont=cont+1;

    elseif (franja.diff(i)==0 && cont>=N_valores_minimos) % Se ha encontrado rampa con nº mínimo de valores

        % VALOR = 0 (se ha acabado rampa). Valores anteriores 1, se ha conseguido franja con n_valores_minimos

        inicio=1;

        cont=0;

    elseif (franja.diff(i)==0 && inicio==0 && cont>0)

        % VALOR = 0. Valores anteriores 1 (cont>0) sin conseguir franja con n_valores_minimos (inicio=0)

        franja.diff(i-cont:i)=0; %Elimina los valores con pendiente anteriores si no cumplen condición

        cont=0;

    elseif (franja.diff(i)==1 && inicio==1 && cont==0)

        % VALOR = 1. Valores anteriores 0 ó 1. Ya se ha encontrado una rampa (inicio=1) que ha acabado (cont=0), no nos interesan
        más rampas posteriores de ese día

        franja.diff(i)=0;

    end

    if i==height(franja) && height(franja)>1 % Al final de la franja. Si no se ha encontrado ningún 0, que acabe con la rampa

        if (franja.diff(i)==1 && cont>=N_valores_minimos) % Se ha encontrado rampa con nº mínimo de valores

            % VALOR = 1. Valor anterior

            inicio=1;

        end
    end
```

```
if(franja.diff(i)==1 && franja.diff(i-1)==0)
    % VALOR = 1. Valor anterior 0. Eliminación de último valor de lista con valor 1 si el anterior es 0
    franja.diff(i)=0;
end
if inicio==0 % Al final de la franja. Si no se ha encontrado ninguna rampa, se pone todo a cero
    franja.diff(:, :)=0;% Elimina el día para el cálculo si no hay valores ascendentes suficientes
end
end
end
```

Informe 23. Calidad de aire en el edificio de Filosofía y Letras.

Para cualquier duda sobre este informe contactar con: Miguel García-Monge y Belén Zalba (bzalba@unizar.es)

Índice

1. Objetivo de este estudio	1
2. Resultados.....	2
2.1. Comparativa de las mediciones de los sensores en la misma ubicación.	2
2.2. Análisis de la calidad de aire en la Facultad de Filosofía y Letras. Distintas ubicaciones.	7
3. Conclusiones	14
4. Líneas de futuro	15
5. Referencias.....	15

1. Objetivo de este estudio

El objetivo de este estudio es el análisis de la calidad de aire interior en 10 espacios diferentes del nuevo edificio de Filosofía y Letras. Para ello, se han utilizado equipos MICA de la compañía *inBiot Monitoring*, 5 de ellos MICA plus y 5 MICA estándar. Por otra parte, se verificará el funcionamiento de los sensores, mediante una comparativa de las mediciones de 8 de estos sensores en una misma ubicación durante 43 días. El análisis de los datos se realizará mediante el desarrollo de un visor Power Bi disponible en el siguiente [enlace](#).

En la figura 1 se muestra el proceso junto con las fechas para cada fase.



Figura 1. Proceso del estudio.

Las variables monitorizadas y los números identificadores de cada equipo se muestran en la tabla 1.

MICA	MICA Plus
Temperatura	Temperatura
Humedad relativa	Humedad relativa
CO ₂	CO ₂
TVOC	TVOC
PM _{2.5}	PM ₁
PM ₁₀	PM _{2.5} PM ₄ PM ₁₀ Formaldehído
Equipos Nº.: 1, 2, 6, 8, 10	Equipos Nº.: 3, 4, 5, 7, 9

Tabla 1. Comparativa sensor MICA y MICA Plus.

2. Resultados

2.1. Comparativa de las mediciones de los sensores en la misma ubicación.

Durante el periodo en el que 8 de los sensores han estado en la misma ubicación, las variables en las que se ha detectado una mayor diferencia entre los sensores son: formaldehído, temperatura y humedad.

Formaldehído:

A continuación, en la figura 2, se representa la evolución del formaldehído de cuatro sensores MICA Plus en el periodo del 9 de febrero al 23 de marzo (misma ubicación). Se observa que uno de los equipos (sensor 9) mide significativamente por debajo respecto a los otros tres, aunque la tendencia es muy similar.

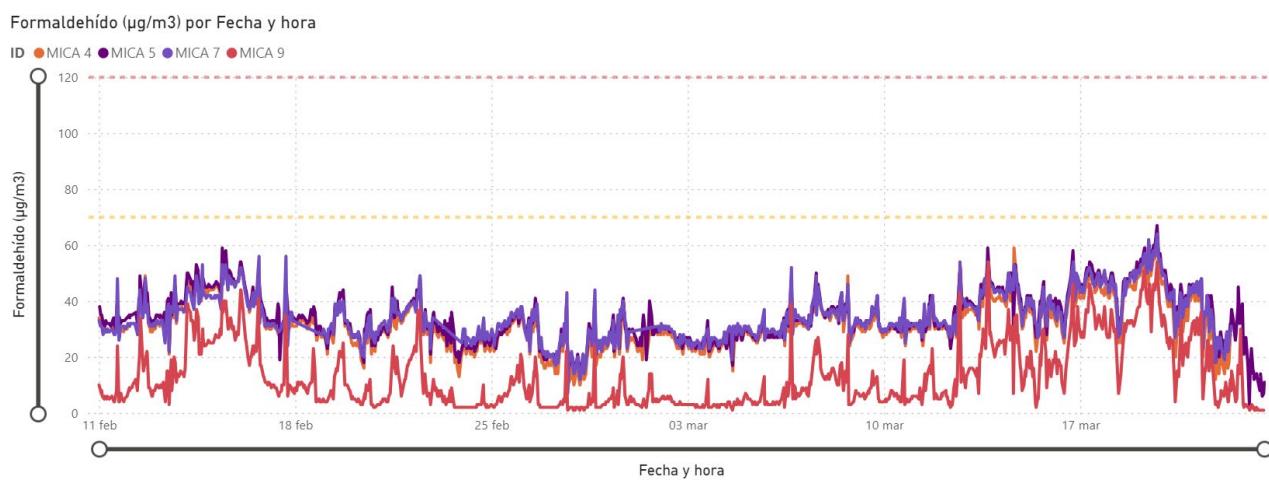


Figura 2. Evolución del formaldehído de 4 de sensores MICA plus en la misma ubicación. Periodo del 11/02 al 23/03

Dado que no se dispone de un dispositivo calibrado para tomarlo como referencia, se ha calculado el promedio diario de formaldehído de cada sensor y, posteriormente, se ha calculado la diferencia de dicho valor con respecto al promedio de todos los sensores.

Según nos informa la empresa inBiot, el sensor 9 parece estar calibrado algo por debajo del resto. En cualquier caso, está dentro del rango de precisión de ± 20 ppb del sensor de formaldehído, como se observa en la figura 3. La máxima diferencia del promedio diario del sensor 9 con respecto al promedio de todos los sensores es 18,7 ppb.

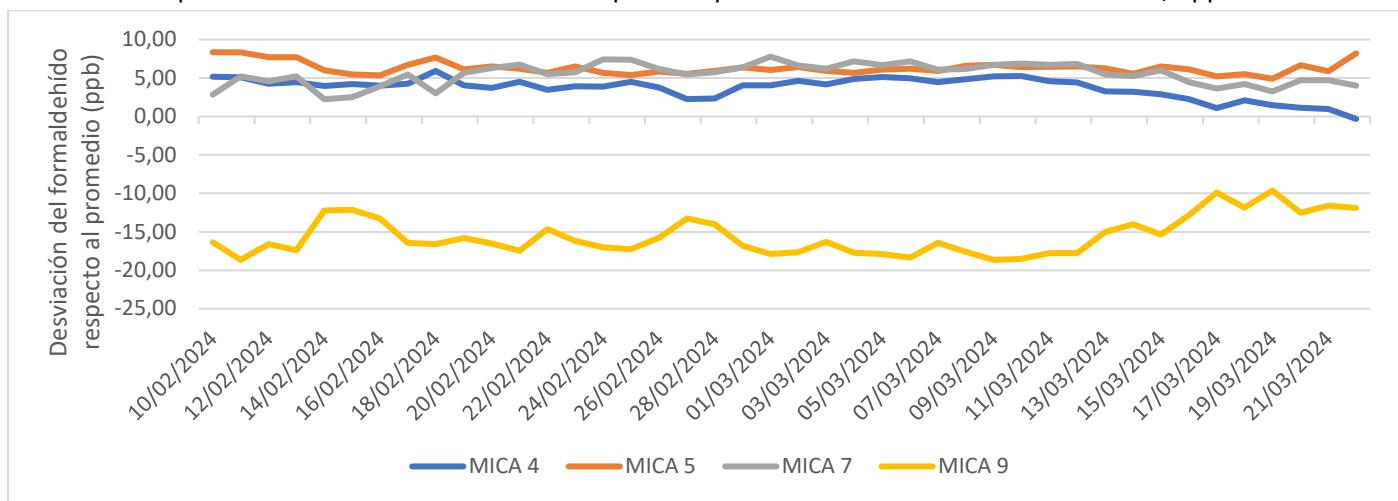


Figura 3. Formaldehído. Diferencia del valor del sensor 9 respecto al promedio del resto (ppb).

MICA4	MICA5	MICA7	MICA9
3,73	6,31	5,48	-15,52

Tabla 2. Promedio de las desviaciones de formaldehído por sensor.

Temperatura:

En la figura 4 se representa la evolución de la temperatura, en este caso entre el 6 al 13 de marzo (misma ubicación) para poder apreciar mejor las diferencias entre sensores, puesto que hay un mayor número de sensores.

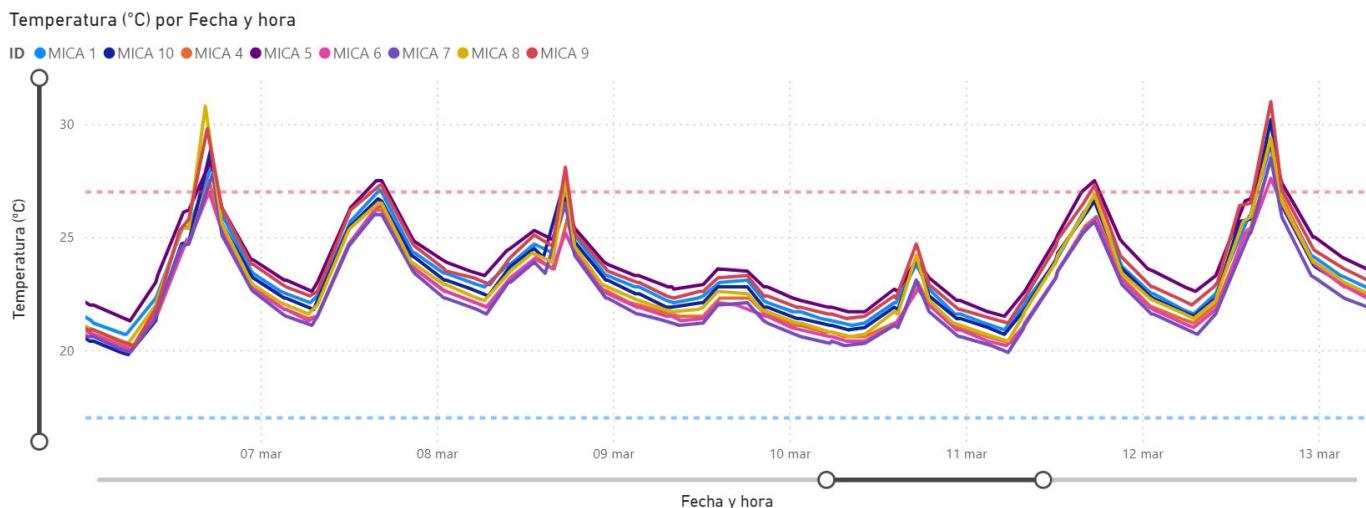


Figura 4. Evolución de la temperatura de 8 de sensores MICA y MICA plus en la misma ubicación. Período 6 al 13 de marzo.

Al igual que para el formaldehído, se ha calculado el promedio diario de temperatura por sensor. Posteriormente se ha calculado la diferencia de dicho valor con respecto al promedio de todos los sensores, como se representa en la figura 5.

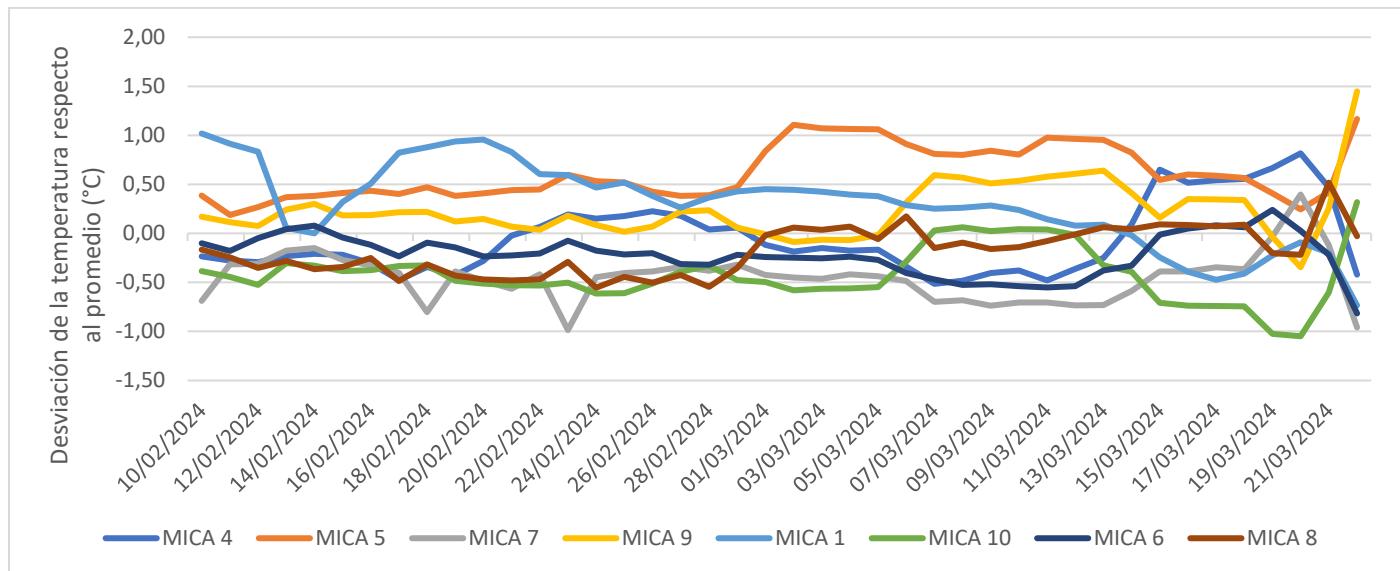


Figura 5. Temperatura. Diferencia del valor de cada sensor respecto al promedio del resto (°C). Tabla resumen del periodo (°C).

MICA4	MICA5	MICA7	MICA9	MICA1	MICA10	MICA6	MICA8
-0,06	0,62	-0,45	0,24	0,30	-0,42	-0,22	-0,18

Tabla 3. Promedio de las desviaciones de temperatura por sensor.

El rango de precisión de los sensores de temperatura es de $\pm 0,5$ °C. Tanto el MICA 5 y el MICA 1 llegan a medir hasta 1°C por encima del promedio. Desde la empresa nos trasladan que los dispositivos de sobremesa y los de pared tienen diferente offset en la calibración inicial, ya que el modo de instalación influye sensiblemente a la medición de temperatura. Sin embargo, no se observa una desviación diferenciada en función del modelo.

Humedad:

Análogamente para la humedad, en la figura 6 se representa su evolución dentro del periodo en el que los sensores han estado en la misma ubicación

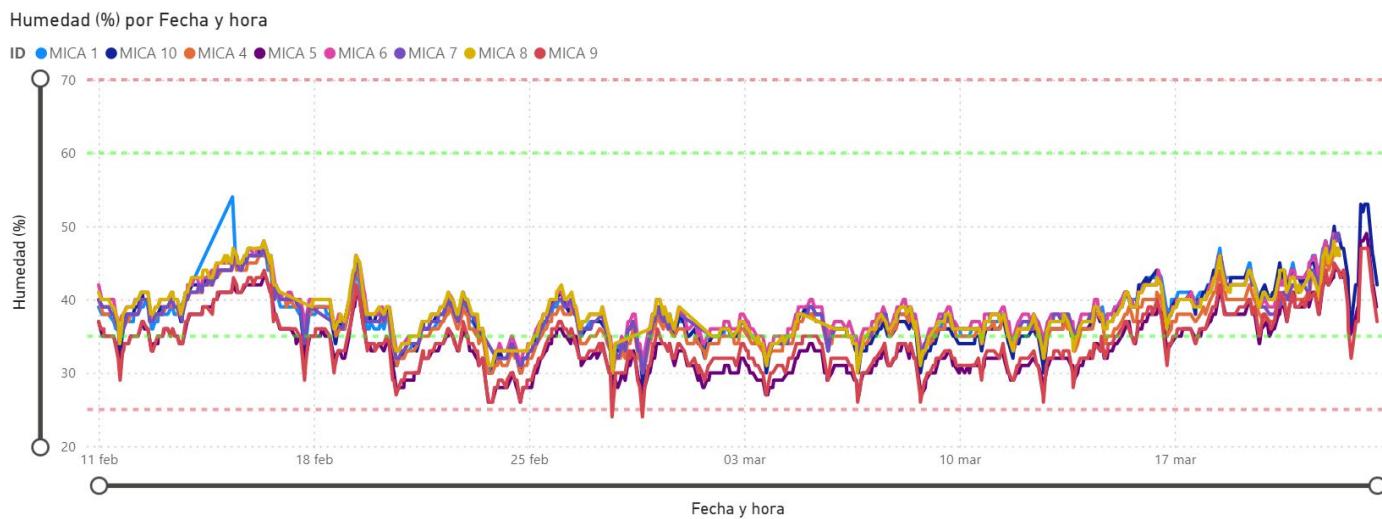
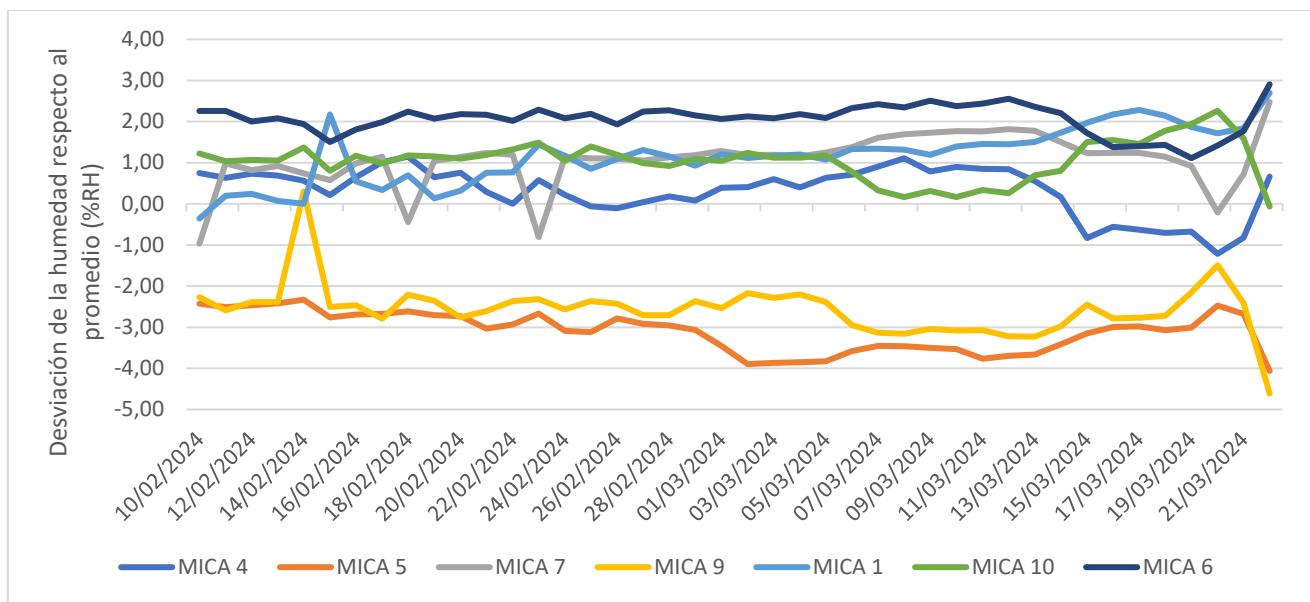


Figura 6. Evolución de la humedad de 8 de sensores MICA y MICA plus en la misma ubicación. Periodo del 11/02 al 23/03

El rango de precisión de los sensores de humedad es de $\pm 2\text{ \%RH}$. Como se observa en la figura 7, el MICA 5 y el MICA 9 miden ligeramente por debajo del resto de los sensores, llegando a estar el MICA 5 a 3,8% de humedad por debajo del promedio. El MICA 6, al contrario, mide hasta 2,6 % de humedad por encima del promedio. Por tanto, están ligeramente fuera del rango.



MICA4	MICA5	MICA7	MICA9	MICA1	MICA10	MICA6	MICA8
0,32	-3,10	1,07	-2,57	1,17	1,06	2,07	1,48

Figura 7. Humedad. Diferencia del valor de cada sensor respecto al promedio del resto (%RH). Tabla resumen del periodo (%RH).

El resto de las variables medidas no presentan grandes diferencias entre equipos, como se puede apreciar en las gráficas que se muestran a continuación. Mencionar que en algunos casos hay líneas rectas, que corresponden con períodos de tiempo en los que no se han registrado los datos.

CO₂:

CO₂ (ppm) por Fecha y hora

ID MICA 1 ● MICA 10 ● MICA 4 ● MICA 5 ● MICA 6 ● MICA 7 ● MICA 8 ● MICA 9

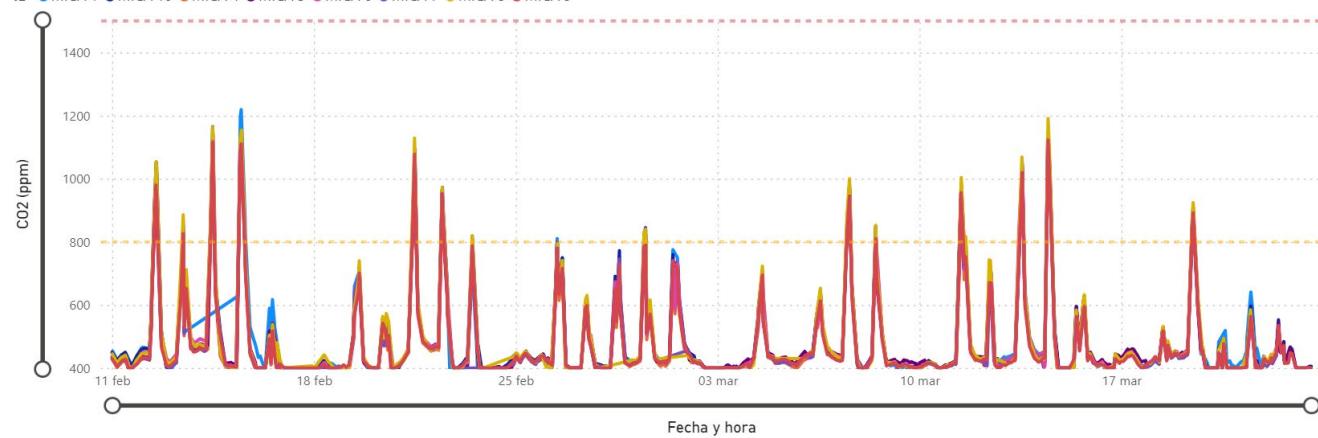


Figura 8. Evolución del CO₂ de 8 de sensores MICA y MICA plus en la misma ubicación. Período del 11/02 al 23/03.

TVOC:

TVOC (Index) por Fecha y hora

ID MICA 1 ● MICA 10 ● MICA 4 ● MICA 5 ● MICA 6 ● MICA 7 ● MICA 8 ● MICA 9

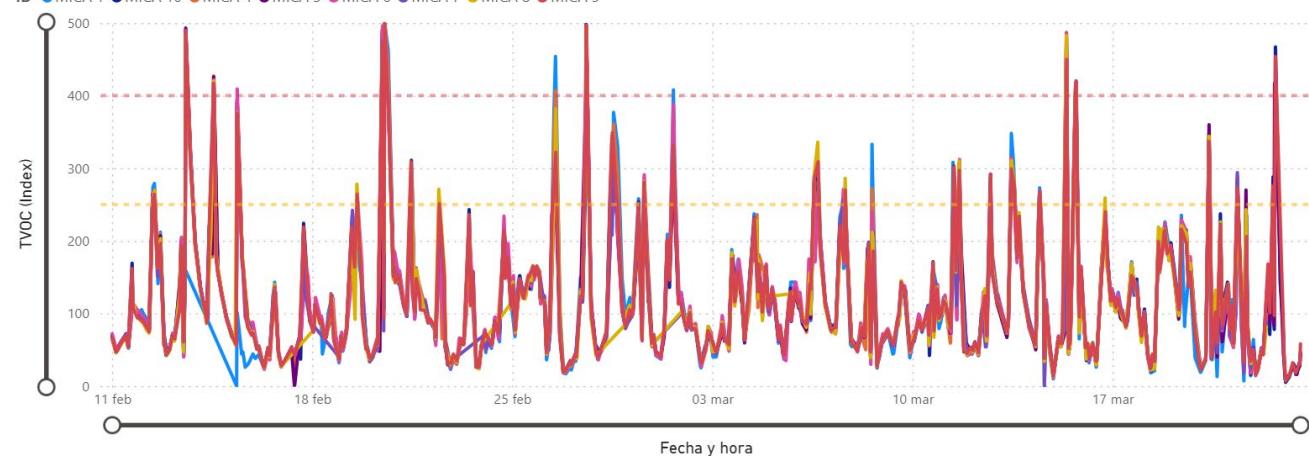


Figura 9. Evolución de TVOC de 8 de sensores MICA y MICA plus en la misma ubicación. Período del 11/02 al 23/03.

PM 1.0:

PM 1.0 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) por Fecha y hora

ID MICA 4 ● MICA 5 ● MICA 7 ● MICA 9

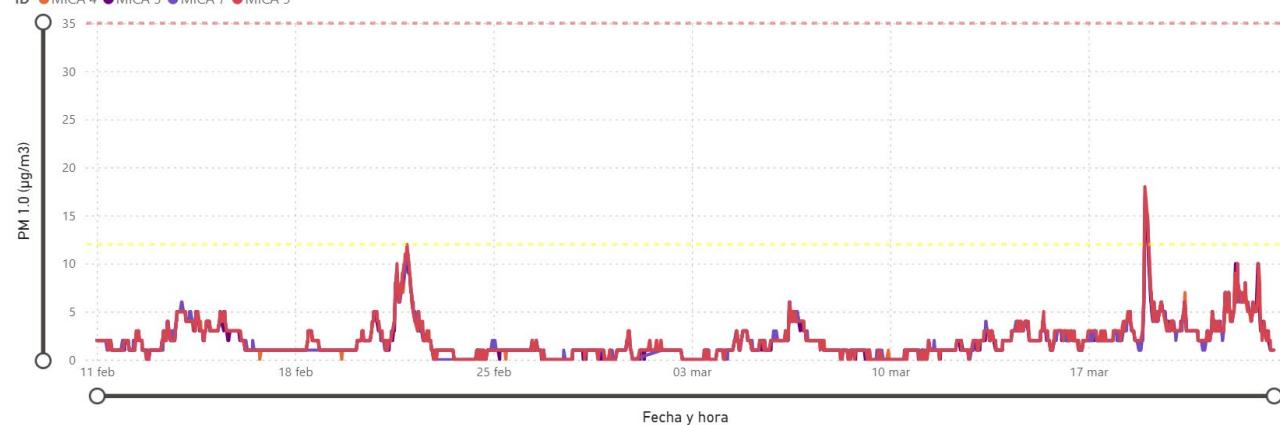


Figura 10. Evolución de PM 1.0 de 4 de sensores MICA plus en la misma ubicación. Período del 11/02 al 23/03.

PM 2.5:

PM 2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) por Fecha y hora

ID ● MICA 1 ● MICA 10 ● MICA 4 ● MICA 5 ● MICA 6 ● MICA 7 ● MICA 8 ● MICA 9

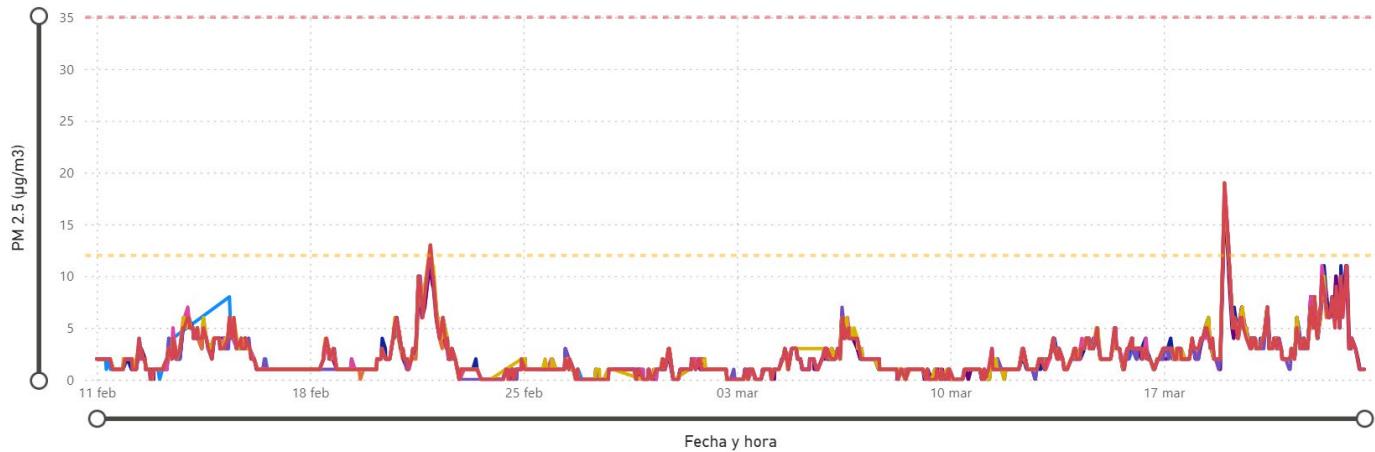


Figura 11. Evolución de PM 2.5 de 8 de sensores MICA y MICA plus en la misma ubicación. Período del 11/02 al 23/03.

PM 4:

PM 4.0 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) por Fecha y hora

ID ● MICA 4 ● MICA 5 ● MICA 7 ● MICA 9

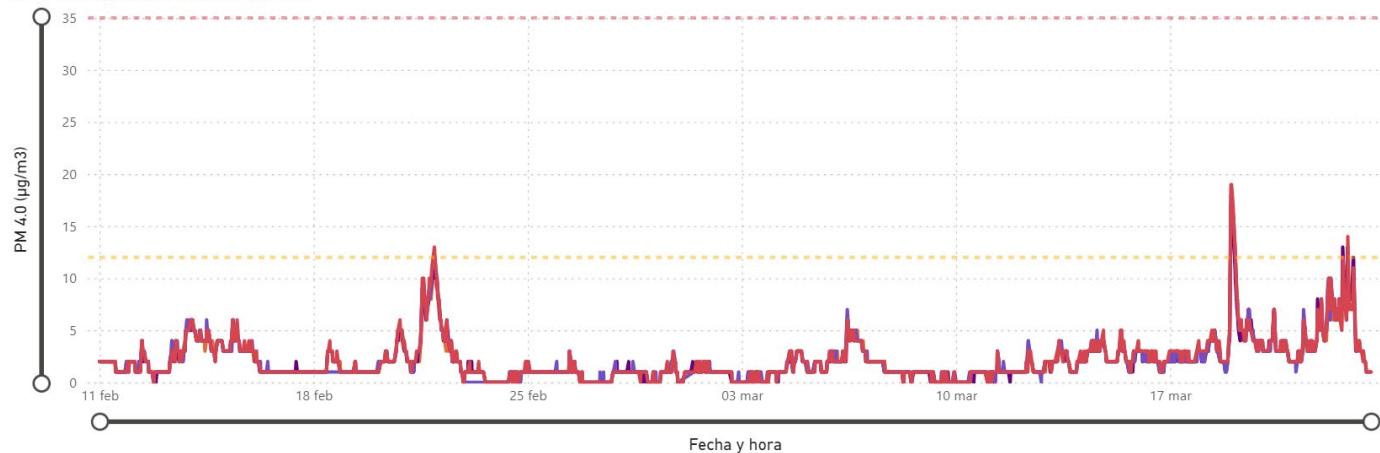


Figura 12. Evolución de PM 4.0 de 4 de sensores MICA plus en la misma ubicación. Período del 11/02 al 23/03.

PM 10:

PM 10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) por Fecha y hora

ID ● MICA 1 ● MICA 10 ● MICA 4 ● MICA 5 ● MICA 6 ● MICA 7 ● MICA 8 ● MICA 9

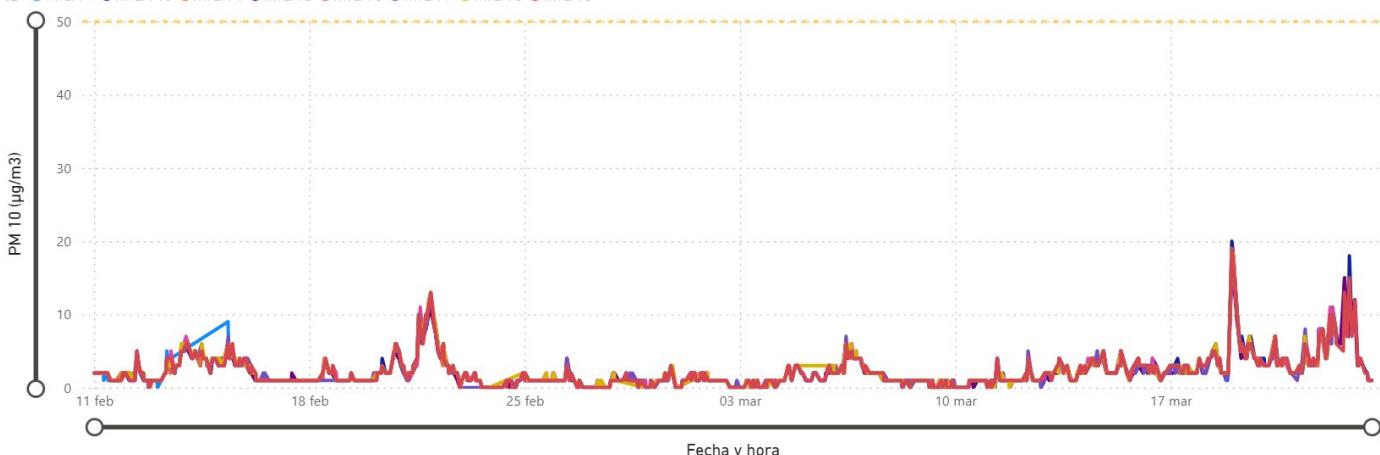


Figura 13. Evolución de PM 10 de 8 de sensores MICA y MICA plus en la misma ubicación. Período del 11/02 al 23/03.

2.2. Análisis de la calidad de aire en la Facultad de Filosofía y Letras. Distintas ubicaciones.

Tras haber llevado a cabo la comparativa de las mediciones en una ubicación fija, a partir del 26 de marzo de 2024, se instalaron los sensores en distintos espacios de la Facultad de Filosofía y Letras (ver figura 14).

Nº sensor	Ubicación	Uso
1 Pabellón A	Sala juntas A 1. 07	Sala juntas
2 Pabellón A	Planta 2	Secretaría
3 Pabellón E	E 2. 04	Despacho
4 Pabellón A	Aula A 3. 2	Aula
5 Pabellón B	B 2. S02	Despacho
6 Pabellón B	Seminario B 3. 2	Seminario
7 Pabellón A	Aula A 2. 2	Aula
8 Pabellón A	Aula A 4. 2	Aula
9 Pabellón B	B 2. N14	Despacho
10 Pabellón B	B 1. P05	Secretaría

Tabla 4. Ubicación de los sensores y tipo de uso.

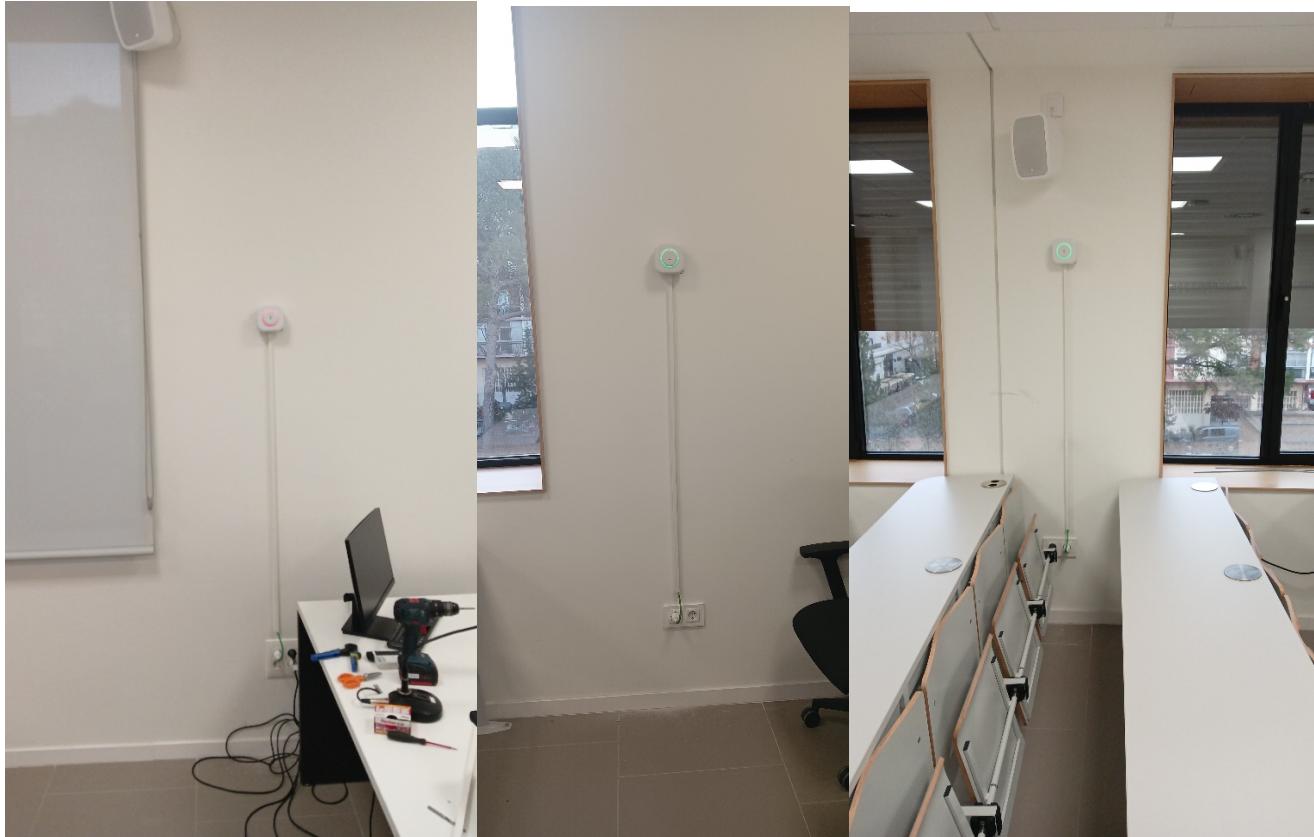


Figura 14. Imágenes de la colocación de los sensores en espacios de la facultad de Filosofía y Letras.

A continuación, se representan y analizan los siguientes parámetros: CO₂, TVOC, formaldehído, partículas, humedad y temperatura.

CO₂:

En la figura 15, se representa la evolución de los niveles de CO₂ por espacios. Se observa que el MICA 6, correspondiente a un seminario pequeño del nuevo bloque departamental, es el que presenta un mayor número de días con valores de CO₂ por encima de 1500 ppm. El 12 de abril, también hubo un pico puntual en el MICA 1 (sala juntas) y MICA 4 (aula), alcanzando casi los 3000 ppm. En promedio, aproximadamente el 50 % de los sensores en días laborables presentan valores superiores a 800 ppm y el 36% por encima de 1000 ppm.

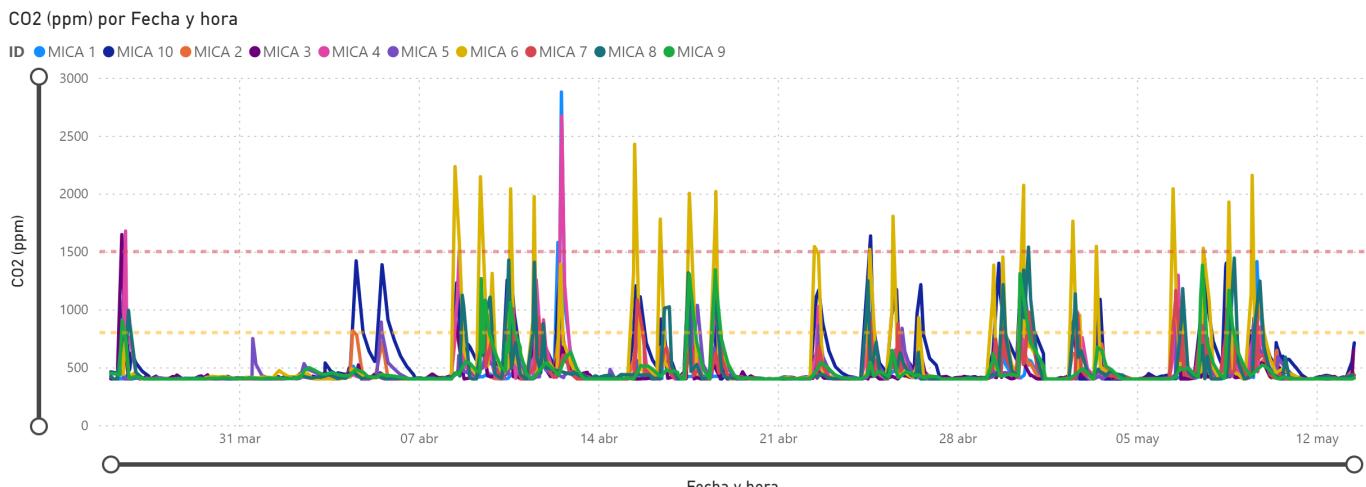


Figura 15. Evolución del CO₂ de los 10 de sensores MICA y MICA plus en distintas ubicaciones de la Facultad de FyL. Periodo del 26/03 al 13/05.

Por otra parte, en horario de 8 a 20 h y de lunes a viernes, se ha calculado el porcentaje de tiempo en el que los valores de CO₂ han estado en diferentes franjas: 400-800 ppm (verde oscuro); 800-1000 ppm (verde claro); 1000-1500 ppm (rojo claro) y > 1500 ppm (rojo oscuro). Para calcular los porcentajes respecto al periodo con ocupación y, dado que no se dispone de información de ocupación por espacio, se han seleccionado los valores de CO₂ superiores a 500 ppm (sin ocupación los valores son cercanos a 400 ppm). En la figura 16 se han representado dichos porcentajes por equipo, observando que el MICA 6 (seminario) está un 10,3% del horario de apertura por encima de 1500 ppm. El MICA 10, correspondiente a secretaría, es el que está un mayor porcentaje de tiempo por encima de 800 ppm, debido a su alta ocupación y uso continuado. En estos espacios sería deseable estudiar posibles mejoras en la ventilación.

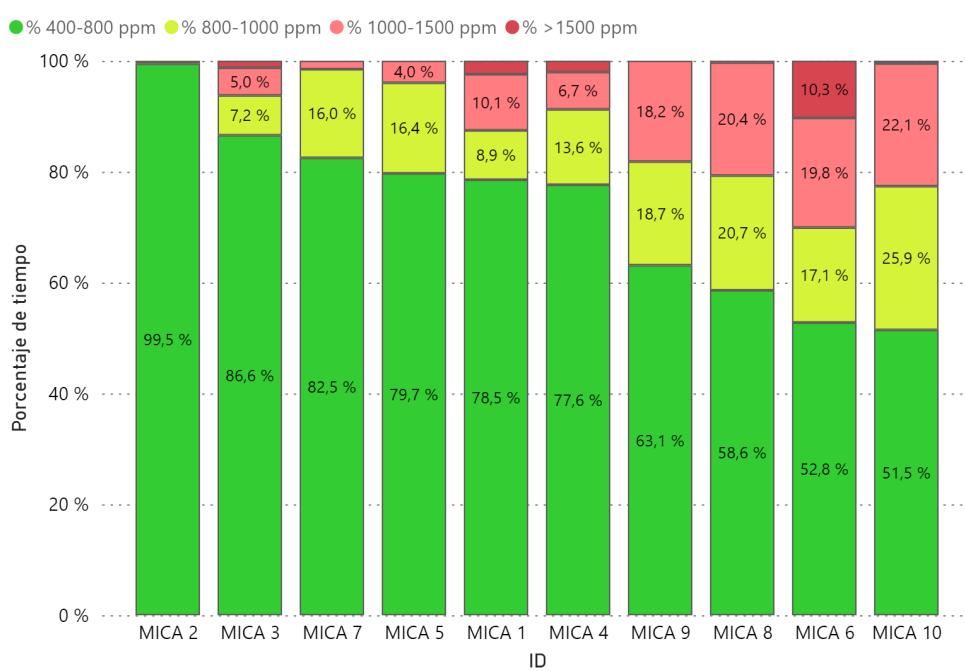


Figura 16. Porcentaje de tiempo (por equipo) en horario de ocupación con el CO₂ en distintas franjas.

TVOC:

Los equipos MICA determinan los niveles de TVOC con unidades relativas (Index Points) que definen la tendencia y amplitud de los cambios en la concentración de TVOC, debido a la amplia variedad de compuestos que se engloban y a la dificultad para determinar la concentración [1]. Dado que es necesario un periodo de calibración, se han eliminado los datos de las primeras 24 h.

Respecto a los compuestos orgánicos totales, se observa en la figura 17 que se supera en muchos casos el valor recomendado de 250 index.

TVOC (Index) por Fecha y hora

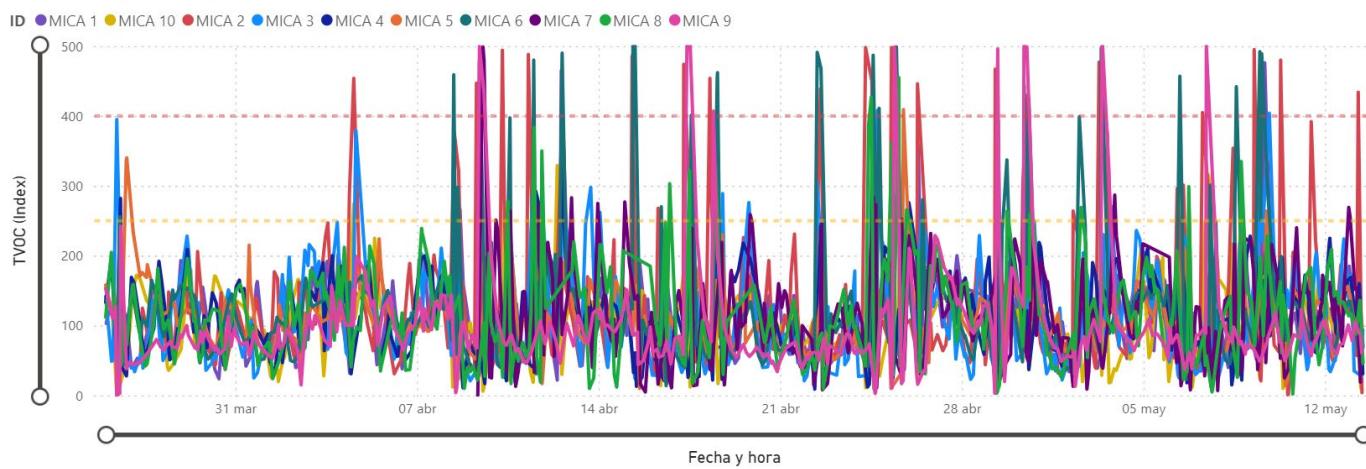


Figura 17. Evolución de TVOC desde el 26 de marzo de 2024.

Al igual que para el CO₂, se ha representado el porcentaje de tiempo en franjas. En este caso son las siguientes: < 100 index (verde oscuro); 100-200 (verde claro); 200-400 (rojo claro); >400 (rojo oscuro). Por encima del índice 400 destaca el MICA 9 (despacho) y MICA 6 (seminario), con entre un 15 y un 20% del tiempo en esta franja. En la franja de 200-400, los porcentajes oscilan entre 6 y 45%, destacando el MICA 3 (despacho) y MICA 2 (secretaría).

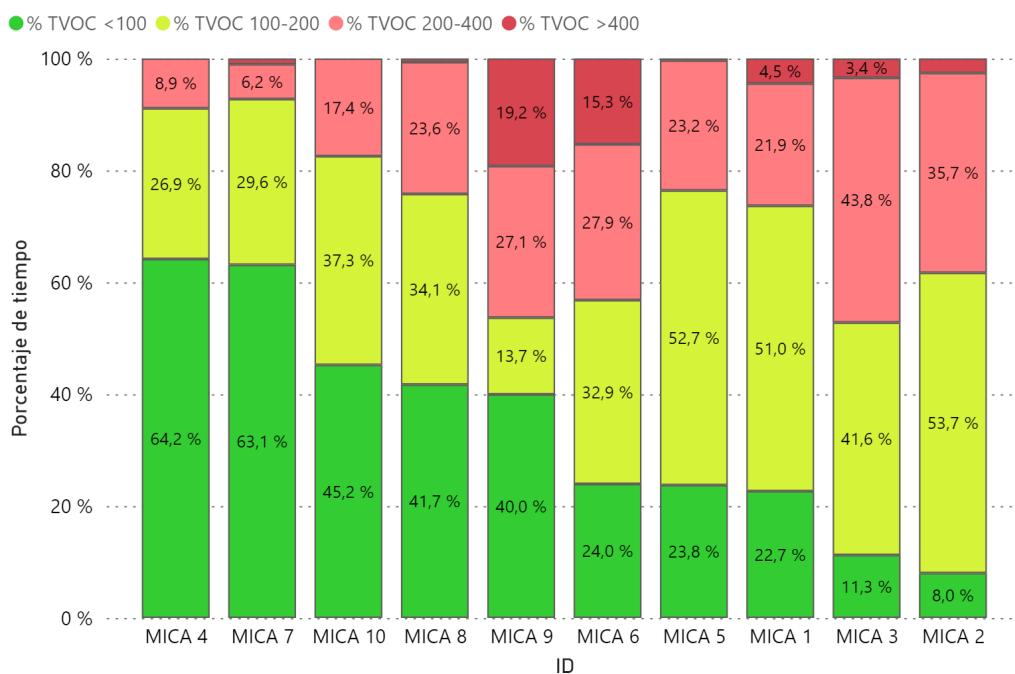


Figura 18. Porcentaje de tiempo (por equipo) en horario de ocupación con el TVOC en distintas franjas.

Por otra parte, se ha observado que en el MICA 2, correspondiente a la secretaría del bloque A, se produce un pico de TVOC cercano al máximo (500 index), casi todos los días a las 7:00 aproximadamente, antes de que lleguen los ocupantes. Se plantea que puede ser debido a algún tipo de ambientador o producto de limpieza. En la figura 19 se muestra la evolución de los TVOC junto con el CO₂, que es un indicativo de la ocupación.

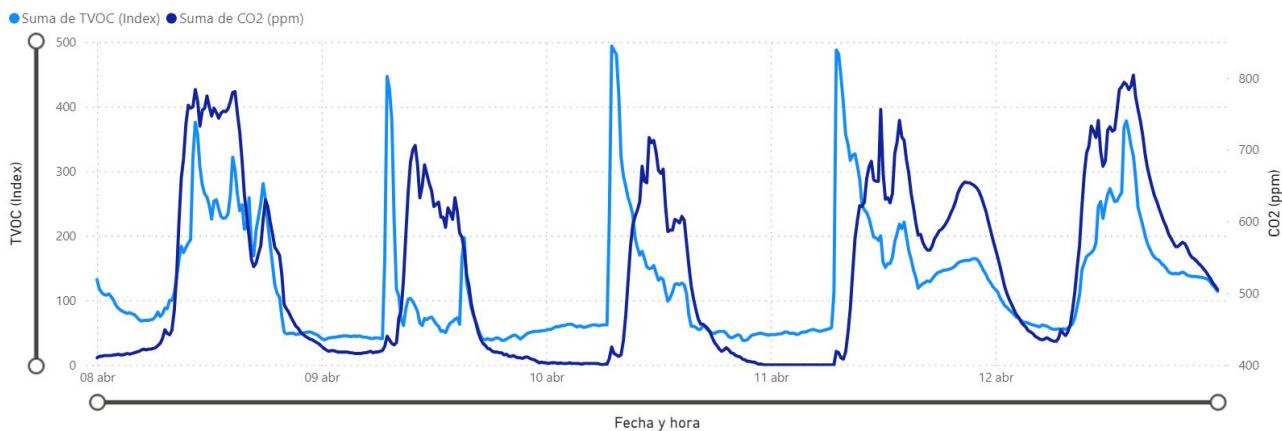


Figura 19. Representación conjunta de TVOC y CO₂. Picos debidos a productos de limpieza/ambientadores.

Realizando la misma representación en la figura 20 para el MICA 6 (Seminario B 3.2), se observa cómo en este caso, los TVOC van muy ligados al nivel de CO₂, dado que las personas son una fuente emisora de VOCs. Dado que los picos son cercanos a 500 index, sería deseable estudiar posibles mejoras en la ventilación para que, a pesar de la ocupación, se mantuvieran dichos niveles en los márgenes recomendados.

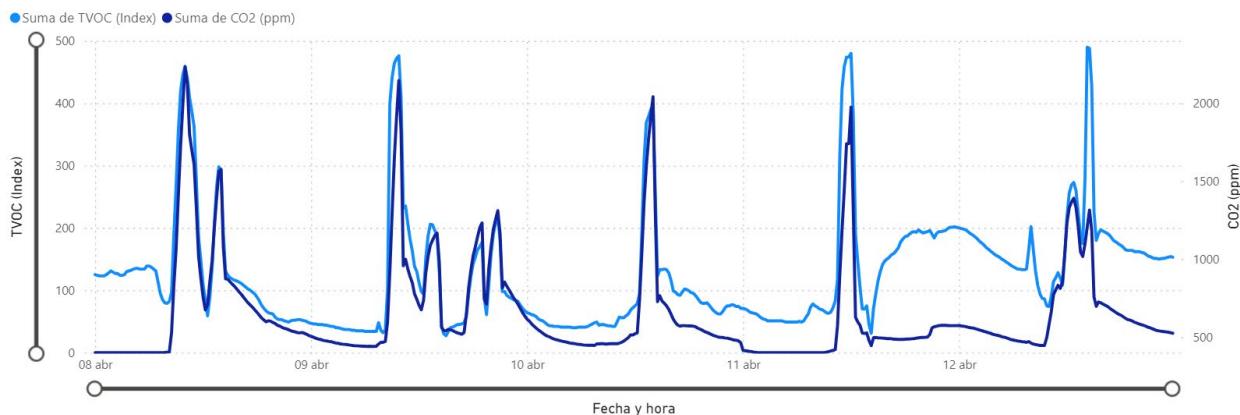


Figura 20. Representación conjunta de TVOC y CO₂. Ejemplo de alta correlación.

También la temperatura es un factor clave en la emisión de VOCs (ver figura 21). Un aumento de temperatura provoca un aumento de VOCs, como se observa de forma muy clara en un despacho (MICA 5). Este hecho lleva a pensar que en verano sería adecuado aumentar los caudales de ventilación respecto de los caudales de invierno.

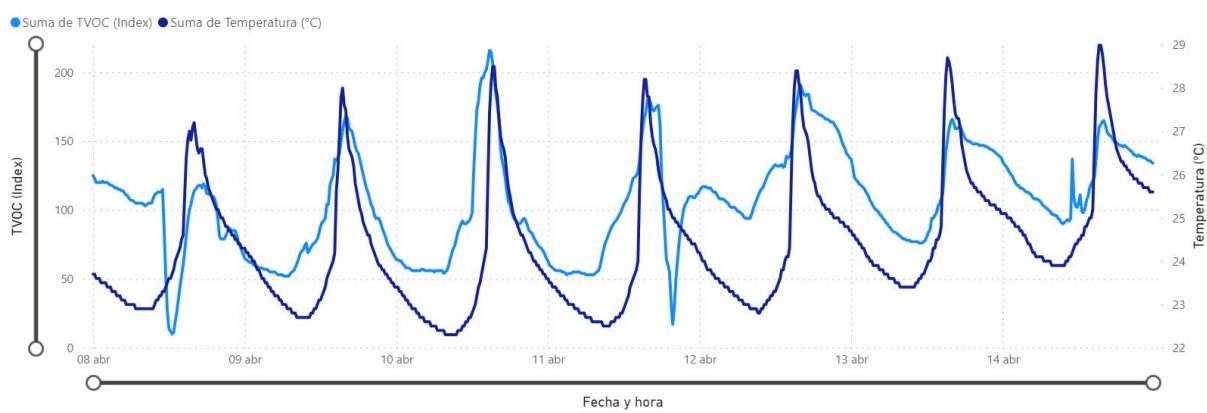


Figura 21. Representación conjunta de TVOC y Temperatura. Ejemplo de alta correlación.

Formaldehído:

En la figura 22 se representa la evolución en continuo del formaldehído y en la figura 23 los porcentajes en las siguientes franjas: < 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (verde oscuro); 70-120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (amarillo) y > 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (rojo). Los espacios 3, 5 y 9, correspondientes a despachos, presentan valores bajos, sin embargo, no ocurre lo mismo en aulas. El MICA 4 (aula A 3.2) presenta valores elevados, con un 30% del tiempo en la franja amarilla y casi un 5% en la franja roja, y el MICA 7, en menor medida, está un 24% del tiempo en la franja amarilla. Esto puede ser debido a los materiales de construcción utilizados y al equipamiento instalado, especialmente si está fabricado en materiales derivados de la madera, como conglomerados [2].

Formaldehído ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) por Fecha y hora

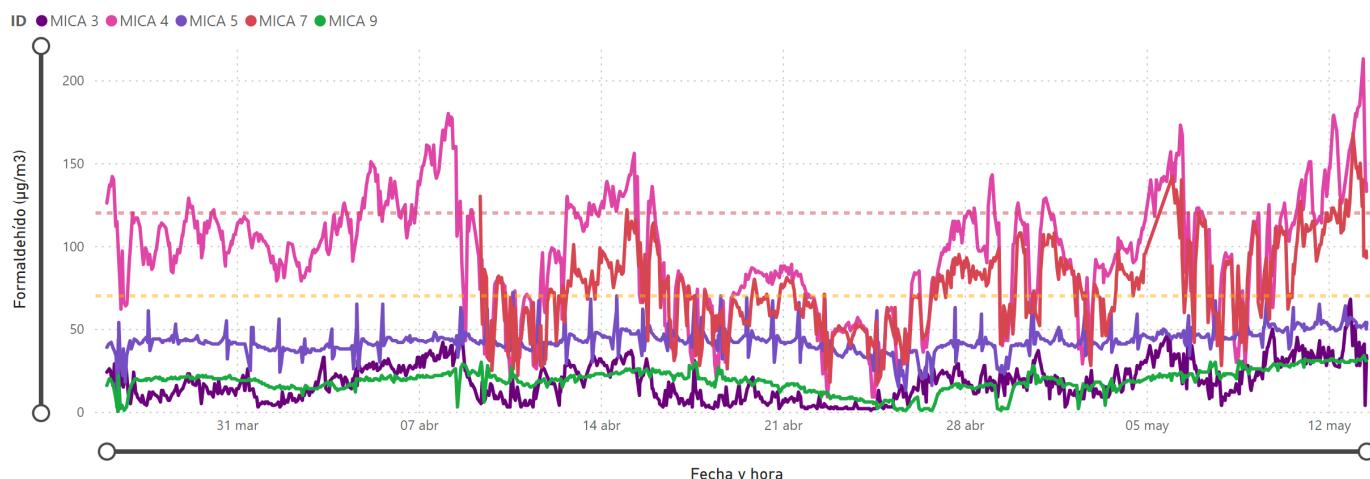


Figura 22. Evolución del Formaldehído desde el 26 de marzo de 2024.

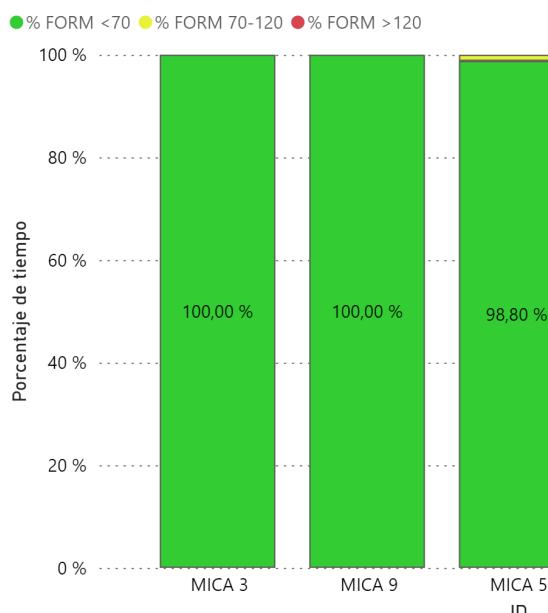


Figura 23. Porcentaje de tiempo (por equipo) en horario de ocupación con el formaldehído en distintas franjas.

Cuando no hay ocupación, se observa que se produce un aumento del formaldehído desfasado con la temperatura entre 3 y 4 horas. Por tanto, en verano sería adecuado aumentar los caudales de ventilación respecto al invierno.

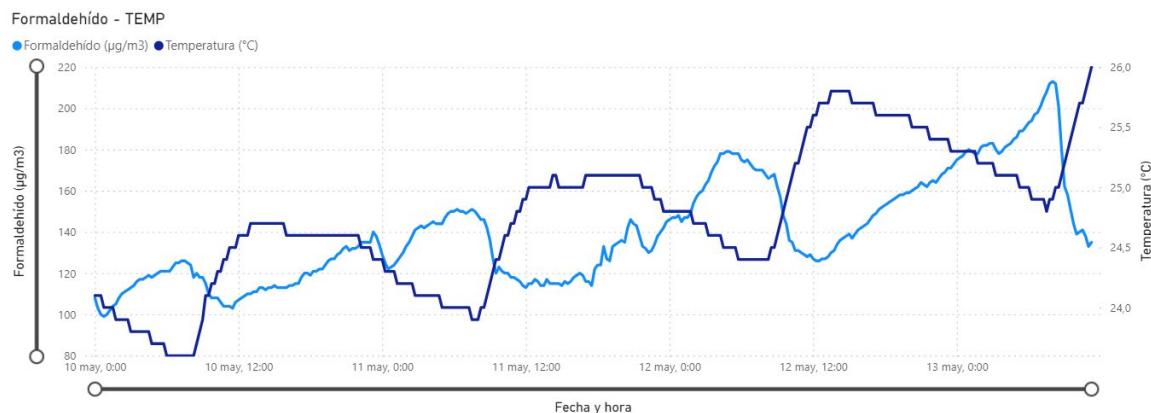


Figura 24. Representación conjunta de formaldehído y la temperatura.

Representando conjuntamente, la evolución del formaldehído y del CO₂ en la figura 25, se observa que los niveles de formaldehído son mayores cuando no hay ocupación. Por tanto, se constata el efecto de la ventilación mecánica que se activa cuando detecta ocupación y hace que los niveles de formaldehído bajen, si bien, sería conveniente mantener un caudal constante mínimo.

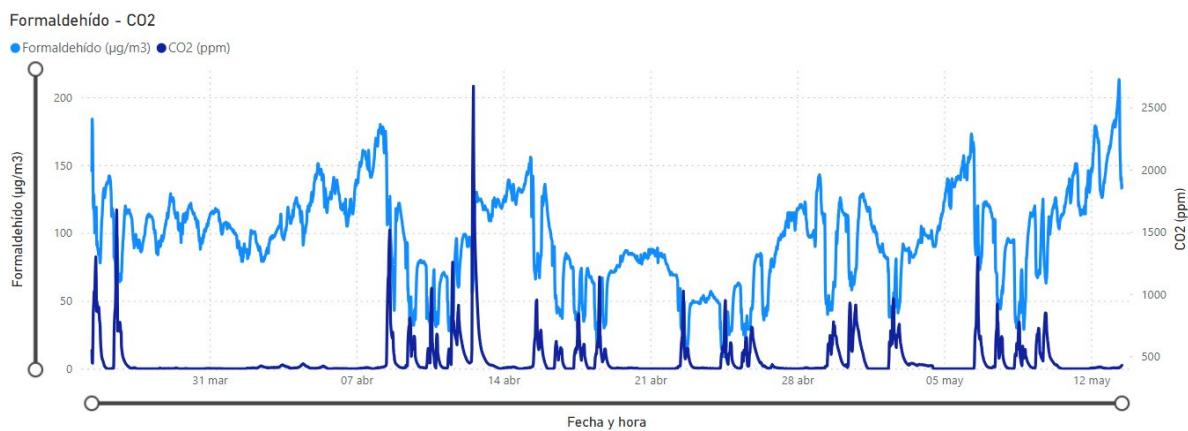


Figura 25. Representación conjunta de formaldehído y CO₂.

En la figura 26, se muestran estos dos parámetros en detalle en la franja del 6 al 10 de mayo. El formaldehído disminuye cuando el CO₂ aumenta, salvo durante el pico de CO₂ del día 6. Esta excepción pudo ser debida a un aumento de temperatura de 3°C por la ocupación, lo que favoreció la emisión de formaldehído sin que el sistema de ventilación pudiera llegar a contrarrestarlo. Sin embargo, al no observarse apenas desfase con la temperatura, más bien pudo ser debido a otras fuentes de emisión de formaldehído ligadas a la ocupación.

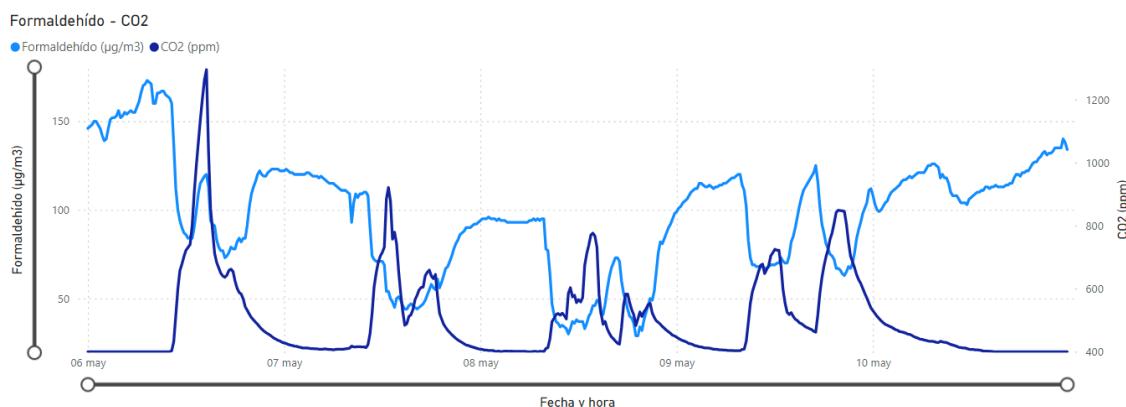


Figura 26. Representación conjunta de formaldehído y CO₂.

Partículas:

Se ha observado que los registros de partículas PM₁, PM_{2.5}, PM₄ y PM₁₀ son generalmente muy bajos y que, cuando se produce algún pico puntual, ocurre en todos estos parámetros en mayor o menor medida. A continuación, a modo representativo se representan los registros para PM_{2.5} en la figura 24.

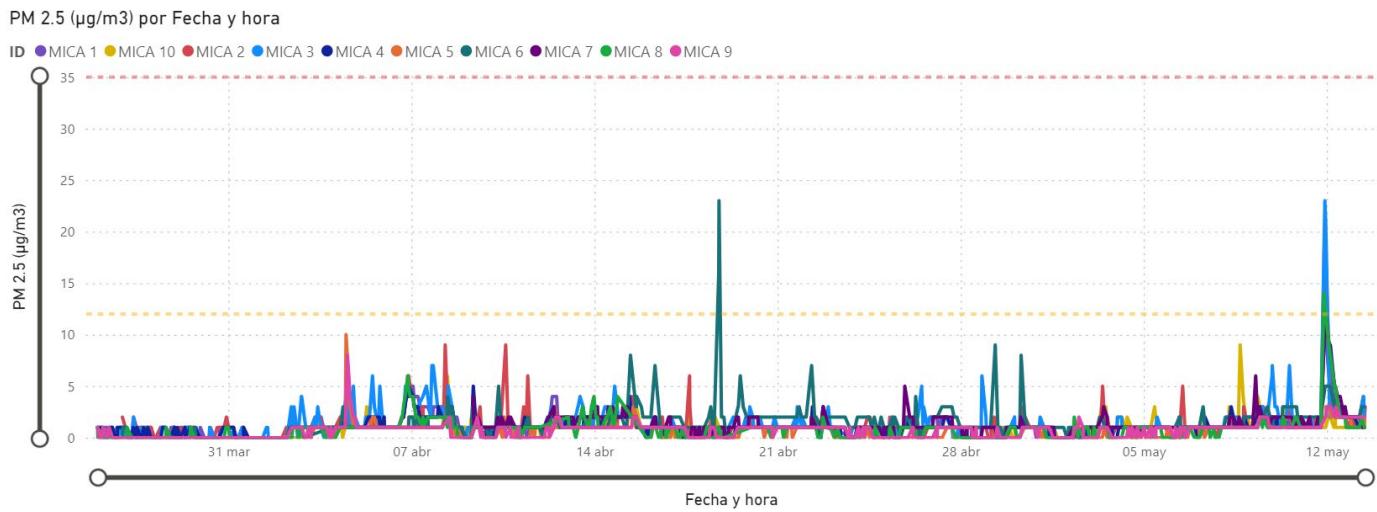


Figura 27. Evolución de las partículas PM 2.5 desde el 26 de marzo de 2024.

Se observa que ha habido dos picos los días 18/04 (MICA 6) y 11/05 (prácticamente en la totalidad de los sensores). El del día 11/05 coincide con el incendio originado en Batea, cuyo humo llegó a Zaragoza según informó el Heraldo de Aragón [3]. El del día 18/04 podría ser debido a otro incendio, el de una empresa de reciclaje en la Puebla de Alfindén [4], aunque al haberse detectado en sólo un espacio, podría deberse a otras causas como el corte del césped, polen, etc.

Humedad:

La humedad está generalmente en el umbral deseado, estando en algunos casos por debajo del umbral inferior recomendado de 35%.

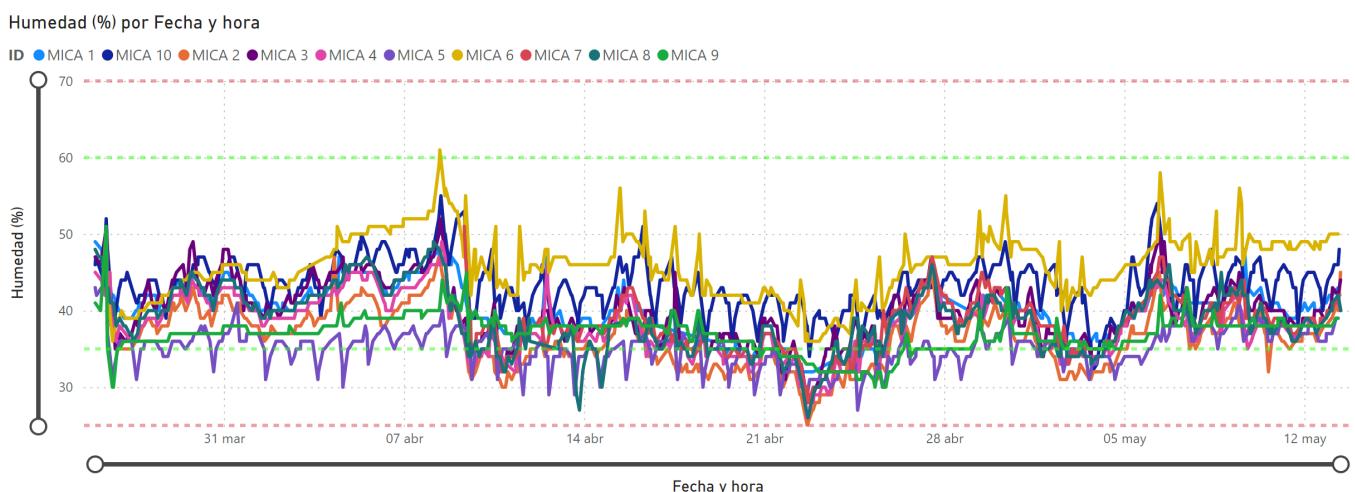


Figura 28. Evolución de la humedad desde el 26 de marzo de 2024.

3. Conclusiones

En este estudio se ha evaluado la calidad de aire interior en **10 espacios** diferentes del nuevo edificio de Filosofía y Letras mediante equipos MICA (*inBiot*), verificando previamente el funcionamiento de dichos sensores comparando las mediciones en una misma ubicación durante 43 días.

Durante la **fase de validación**, se han observado algunas diferencias poco significativas en las medidas de formaldehído (dentro del rango de precisión), así como en temperatura y humedad (ligeramente fuera del rango de precisión).

Respecto a las mediciones en la Facultad de Filosofía y Letras, los porcentajes de tiempo por encima de 1000 ppm de **CO₂** son de hasta un 30 %. Cabe destacar como peores resultados los obtenidos en los MICA 6, 8, 9 y 10. En estos espacios sería deseable estudiar posibles **mejoras en la ventilación**, especialmente en el seminario B 3.2 (MICA 6) por tener un porcentaje de tiempo por encima de 1500 ppm del 10% y la secretaría del bloque B, debido a su alta ocupación y uso continuado está un mayor porcentaje de tiempo por encima de 800 ppm.

Respecto a los **TVOC**, los porcentajes por encima del índice 400 index son elevados para el MICA 6 (seminario) y MICA 9 (despacho) con hasta un 20% del tiempo en esta franja. En la franja de 200-400, los porcentajes oscilan entre 6 y 45%, destacando el MICA 3 (despacho) y MICA 2 (secretaría). Se ha observado, en algunos casos, correlación entre los TVOC y el CO₂ (ocupación), así como entre los TVOC y la temperatura. También se ha observado que se producen diariamente en días laborables, picos de TVOC primera hora de la mañana (7:00 h) en la secretaría del bloque A (MICA 2). Sería conveniente revisar la causa de dichos picos y, en caso de que sean debido a **ambientadores**, informar al servicio de limpieza de que prescinda de ellos.

Los despachos presentan valores bajos de **formaldehído**, sin embargo, en aulas como la A 3.2 (MICA 4) hay valores elevados: 30% del tiempo en la franja 70-120 µg/m³ y casi un 5% en la franja > 120 µg/m³. Se ha observado que, gracias a la ventilación mecánica, los niveles disminuyen cuando hay ocupación. A pesar de ello, en algunas ocasiones la ventilación es insuficiente. En caso de que la modulación de los sistemas de ventilación se realice en función de la presencia o del nivel de CO₂ únicamente, se podrían conectar estos sensores MICA al control de los sistemas HVAC, para que aumente el caudal en caso de detectar altos niveles de formaldehído. Al igual que para los TVOC, en el caso del formaldehído también se ha observado un aumento de los valores con la temperatura. Este hecho lleva a pensar que en **verano** sería adecuado **aumentar los caudales de ventilación** respecto de los caudales de invierno.

Los TVOC en general parecen estar más ligados a la ocupación, mientras que el formaldehído parece estar más ligado al mobiliario o materiales de construcción. Esta hipótesis se deduce del hecho de que cuando hay ventilación el formaldehído baja, mientras que los TVOC aumentan, quizá porque la ventilación no es suficiente para contrarrestar la alta tasa de emisión de TVOC.

Las **partículas** no presentan valores elevados, salvo en alguna ocasión puntual y la **humedad** está generalmente en el umbral deseado, estando en algunos casos por debajo del umbral inferior recomendado de 35%.

Los datos recopilados han facilitado un **primer análisis sobre los niveles de los principales contaminantes** en el interior de este edificio. En base a los datos analizados parece razonable proponer **mejoras en ventilación** en algunos de los espacios.

En general, sería deseable mantener una **ventilación mínima** que ayudase a combatir las fuentes de contaminación constante relacionados con materiales de construcción y mobiliario (TVOC y formaldehido). Este caudal mínimo se debería de incrementar para combatir fuentes variables de contaminación en concreto:

- Ligadas a ocupantes (detectable por nivel de CO₂)
- Aumento de TVOC y formaldehido con la temperatura

A modo de **resumen**, la tabla 5 recoge los espacios en los que se ha detectado un nivel alto de alguno de los contaminantes y sería necesario aumentar la ventilación.

Nº sensor	Uso	% tiempo CO2 alto	% tiempo TVOC alto	% tiempo formaldehído alto	Resumen
1	Sala juntas				OK
2	Secretaría		200-400 index		Recomendable mayor ventilación y evitar fuentes de contaminación (ej. ambientadores)
3	Despacho		200-400 index		Recomendable mayor ventilación
4	Aula			> 120 µg/m³	Necesaria mayor ventilación
5	Despacho				OK
6	Seminario	> 1500 ppm	>400 index		Necesaria mayor ventilación
7	Aula			70-120 µg/m³	Recomendable mayor ventilación
8	Aula	1000-1500 ppm			Recomendable mayor ventilación
9	Despacho	1000-1500 ppm	>400 index		Necesaria mayor ventilación
10	Secretaría	1000-1500 ppm			Recomendable mayor ventilación

Tabla 5. Espacios con necesidad de ventilación adicional.

4. Líneas de futuro

Analizar qué materiales (mobilario, revestimientos, etc.) son diferentes en los distintos espacios y la influencia de los materiales en los niveles de TVOC y formaldehído.

Analizar otras aulas o espacios cambiando de sitio los equipos, por ejemplo:

- Aquellas en las que se haya instalado distintos materiales
- Aquellas con orientación sur que se puedan sobrecalentar más fácilmente
- Aquellas que sean final de ramal de ventilación.

5. Referencias

- [1] “Compuestos orgánicos volátiles - TVOC.” Accessed: May 14, 2024. [Online]. Available: <https://www.inbiot.es/wikinbiot/tvoc>
- [2] “Formaldehído.” Accessed: May 20, 2024. [Online]. Available: <https://www.inbiot.es/wikinbiot/formaldehyde>
- [3] “¿Por qué huele a quemado esta tarde en Zaragoza?” Accessed: May 14, 2024. [Online]. Available: <https://www.heraldo.es/noticias/aragon/2024/05/11/por-que-huele-a-quemado-esta-tarde-en-zaragoza-1733033.html>
- [4] “Incendio en una empresa de reciclaje en La Puebla de Alfindén.” Accessed: May 14, 2024. [Online]. Available: <https://www.aragondigital.es/articulo/sucesos/incendio-empresa-reciclaje-puebla-alfinden/20240418185057870203.html>

Tabla de nomenclaturas

C

CO₂

Dióxido de carbono.

M

MICA

Monitor Inteligente de Calidad de Aire Interior.

P

PM₁

Partículas con diámetro aerodinámico inferior a 1 µm.

PM₁₀

Partículas con diámetro aerodinámico inferior a 10 µm.

PM_{2.5}

Partículas con diámetro aerodinámico inferior a 2.5 µm.

PM₄

Partículas con diámetro aerodinámico inferior a 4 µm.

R

RH

Humedad relativa (relative humidity).

T

TVOC

Compuestos Orgánicos Volátiles Totales(Total Organic Compounds).

V

VOCs

Volatile Organic Compounds (Compuestos Orgánicos Volátiles).

Informe 24. Metodología para la caracterización de la inercia térmica del conjunto edificio e instalaciones de climatización de edificios, mediante el estudio de las pendientes de ascenso de temperatura durante el encendido del sistema HVAC en modo calefacción.

Para cualquier duda sobre este informe contactar con: Miguel García-Monge y Belén Zalba (bzalba@unizar.es)

Índice

1. Objetivo de este estudio	1
2. Descripción del visor Power Bi desarrollado.....	2
3. Factores de influencia y resultados.	10
4. Conclusiones	16
5. Líneas de futuro	19

1. Objetivo de este estudio

El objetivo de este estudio es avanzar en la caracterización térmica de los edificios para considerar el comportamiento del edificio e instalaciones a la hora de establecer los horarios de encendido de la climatización. Para ello se ha seguido la metodología planteada en el informe 22, **desarrollándose algunas de las líneas de futuro planteadas en éste**, como:

- *Aplicación del programa de cálculo de pendientes a un mayor número de espacios:* Se han añadido los espacios en los que se monitoriza la temperatura de forma continua en los edificios de la Universidad de Zaragoza (plataforma sensoUZ). En total hay alrededor de 400 sensores distribuidos en 45 edificios, de los cuales se han eliminado 26 para este estudio, dado que las lecturas presentan anomalías. En las figuras siguientes, se muestra el número de sensores por campus, así como los modelos instalados.

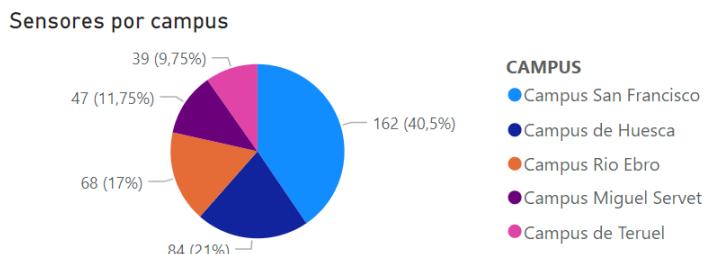


Figura 1. Sensores de temperatura instalados por campus.

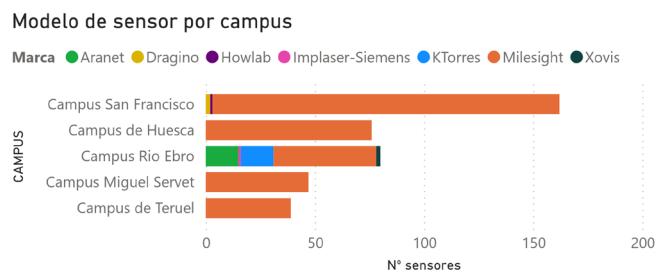


Figura 2. Fabricantes de sensores instalados.

- *Estudio de la correlación de la temperatura en el momento del encendido de las instalaciones y el valor de la pendiente de ascenso.* Para analizar los posibles factores de influencia en el valor de las pendientes de ascenso de la temperatura y para facilitar la interpretación de los datos, se ha llevado a cabo el desarrollo de un visor PowerBi, que permite visualizar distintos tipos de gráficas por campus, edificio y espacio.

El acceso al visor PowerBi es a través del siguiente enlace:

<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiZTAwMDIxMWUtNGIxNy00NTI0LTg5NWQtMTgzOWRhYU3MzA5IiwidCI6IjNmMjI3ZGJhLWYzZiQtNDU0NC1iMzE0LWM2ZWZkMzMlMGQwMCIsImMiOjh9>

2. Descripción del visor Power Bi desarrollado

El visor desarrollado enteramente para este estudio tiene 4 apartados principales: edificios, nº de sensores, estudio de las pendientes y análisis del confort, como se muestra en la figura 3. Seguidamente se detallan cada uno de ellos.



Caracterización de la inercia térmica y análisis de datos de calidad de aire interior en edificios del sector terciario.

Trabajo Fin de Máster

Edificios	Nº sensores	Pendientes	Confort
Edificios: Listado de los edificios de UNIZAR y algunas de sus características	Nº sensores: El número de sondas por edificio y campus, así como el número de edificios monitorizados.	Pendientes: Estudio Caracterización de la inercia térmica (edificio + instalaciones HVAC).	Confort y eficiencia energética: Estudio de las temperaturas en el interior de los edificios.

Universidad Zaragoza **Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza**

Autor: Miguel García-Monge Rábanos

Figura 3. Pantalla principal del visor.

- **Edificios:** Dado que el estudio se va a centrar principalmente en edificios de la Universidad de Zaragoza, se ha considerado de interés llevar a cabo una recopilación de los datos más relevantes de los edificios, lo que permitirá realizar correlaciones posteriormente.

Se ha recabado información de distintas fuentes, en concreto: del inventario de Mantenimiento de 2020, que contiene la información de los equipos de HVAC; del inventario de edificios de la UZ; de la memoria analítica de 2023 de la Oficina Verde, que contiene información de consumos eléctricos por edificio; de certificados energéticos de la Oficina Verde; etc.

Los parámetros que se pueden consultar en el visor son los siguientes:

- **Dirección y localidad**, junto con **mapa** de la ubicación integrado de SIGEYZ.
- **Imagen** del edificio.
- **Estudios o uso** del edificio.
- **Fechas:** Fecha de puesta en funcionamiento y, en casos en los que se haya llevado a cabo una remodelación, fecha de la última gran remodelación realizada.
- **Superficies:** Superficies construida y útil del edificio.
- **Certificación energética** del edificio (si está certificado).
- **Equipos de HVAC:** Equipos de calefacción y refrigeración, junto con sus **potencias**, así como información de las zonas que cuentan con ventilación mecánica
- **Electricidad:** Consumo eléctrico del edificio en 2023. En casos en los que varios edificios son alimentados a partir de un mismo CT, el reparto se ha realizado por superficie, por lo que puede haber cierto error. Por otra parte, se ha calculado el ratio de consumo por superficie (kWh/m²año).

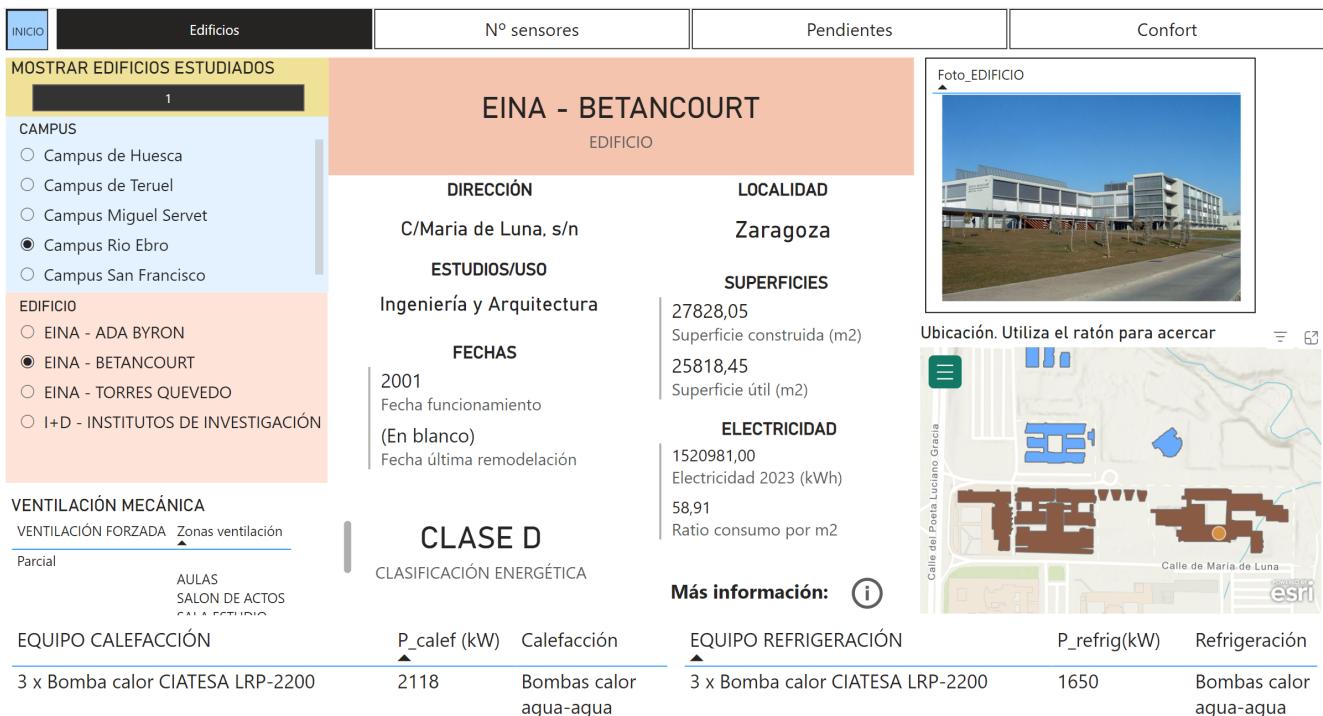


Figura 4. Ejemplo de la visualización de la pantalla de edificios en el visor.

- **Nº sensores:** Se ha realizado un apartado con los sensores analizados e información sobre éstos, que permite conocer la extensión del estudio. Se incluyen dos tablas, una de ellas con el número de sondas por edificio y campus y la otra con el número de sensores de cada marca y modelo instalados. Gráficamente, se muestra el número de edificios monitorizados por campus y el número de sensores (totales y desglosados por marca) por campus.

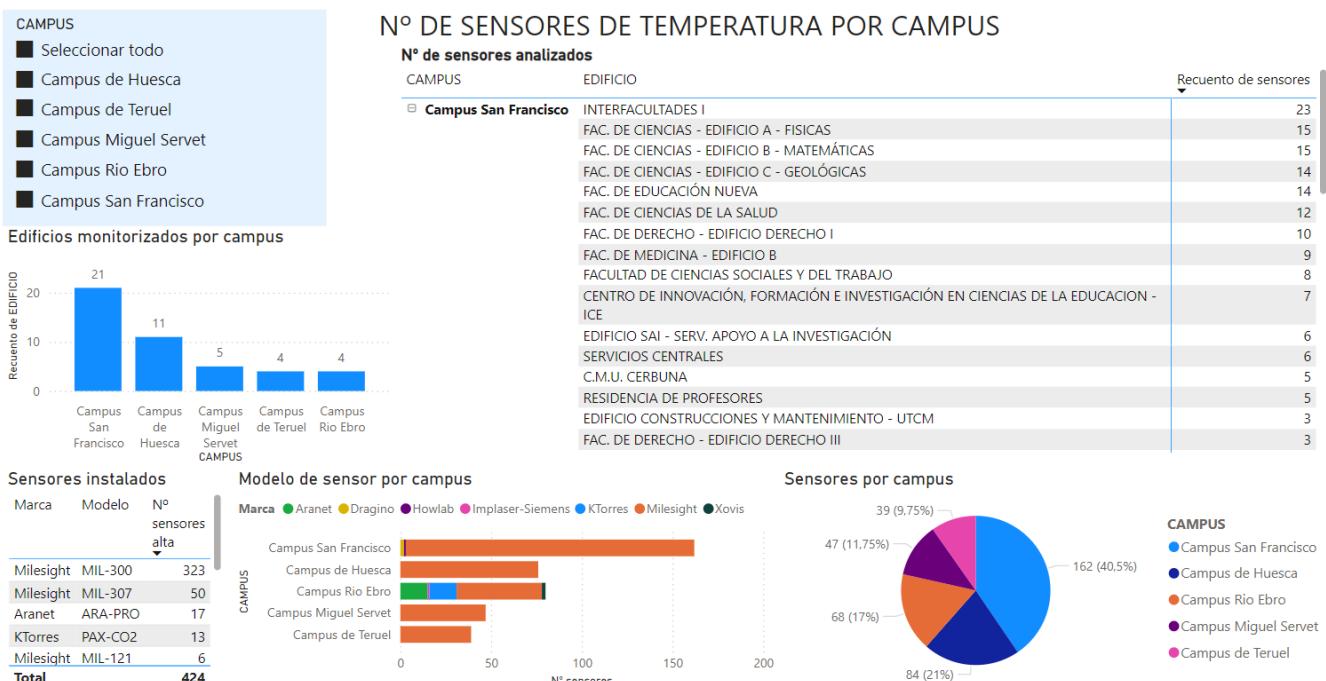


Figura 5. Ejemplo de la visualización de la pantalla de Nº de sensores en el visor.

- **Pendientes:** En cuanto a la caracterización de la inercia térmica (edificio + instalaciones HVAC) y con el fin de analizar los datos de las pendientes calculadas siguiendo el procedimiento del informe 22, se han desarrollado distintas páginas en el visor (ver figura 6). A continuación, se detalla cada una de ellas:

INICIO	Edificios	Nº sensores	Pendientes	Confort
Caracterización de la inercia térmica (edificio + instalaciones HVAC) mediante el estudio de las pendientes de ascenso de temperatura durante el encendido del sistema HVAC en modo calefacción.				
Temp interior-exterior	Temp interior-exterior: Representación de la temperatura interior de un espacio (cada 10 minutos aproximadamente) y exterior proveniente de Aemet (cada hora) y de la estación meteorológica del campus.			
Temperatura impulsión	Temperatura de impulsión: Representación conjunta de temperaturas ambiente de los edificios y temperaturas de impulsión del sistema HVAC.			
Representación gráfica	Representación gráfica: Representación de la temperatura interior de un espacio junto con las franjas temporales en las que se calcula la pendiente.			
Pendientes por fecha	Pendientes por fecha: Valor de las pendientes por fecha y por espacio del edificio seleccionado, así como el promedio por fecha, por espacio y por edificio. También se muestra el número de pendientes calculadas por espacio.			
Cajas-bigotes pendiente	Cajas-bigotes pendiente: Representación gráfica del promedio de las pendientes calculadas por fecha o por espacio para cada edificio, mediante un diagrama de cajas y bigotes			
Media pendientes (edificio-mes)	Media pendientes (edificio-mes): Evolución temporal del valor promedio de las pendientes por edificio.			
Correlación temp. ext.-pendiente (edificio)	Correlación temp. ext - pendiente (edificio): Gráfico de dispersión para comprobar si existe correlación entre la temperatura exterior y la pendiente.			
Correlación temperatura interior-pendiente	Correlación temp. interior - pendiente: Gráfico de dispersión para comprobar si existe correlación entre la temperatura interior y la pendiente.			
Correlación dia semana-pendiente	Correlación día semana - pendiente: Gráfico de dispersión para comprobar si existe correlación entre el día de la semana y la pendiente.			
Correlación potencia/pendientes	Correlación potencia - pendiente: Gráfico de dispersión para comprobar si existe correlación entre la potencia instalada y las pendientes.			
Coef. determinación	Coef. Determinación: Resumen en forma de tabla de los coeficientes de regresión lineal o de determinación R ² de las gráficas de correlación de temperatura exterior-pendiente y día de la semana-pendiente, de los campus de Zaragoza.			
Resumen pendientes	Resumen pendientes: Resumen en forma de tabla del promedio de pendientes por meses y edificio.			

Figura 6. Ejemplo de la visualización de la pantalla de pendientes en el visor.

- **Temperatura interior-exterior:**

Se representa gráficamente la evolución de la temperatura interior de los distintos espacios y exterior proveniente de la estación meteorológica del campus San Francisco, como se muestra en la figura 7.

Temperatura interior (°C) y Temperatura exterior (°C) por Time

● Temperatura interior (°C) ● Temperatura exterior (°C)

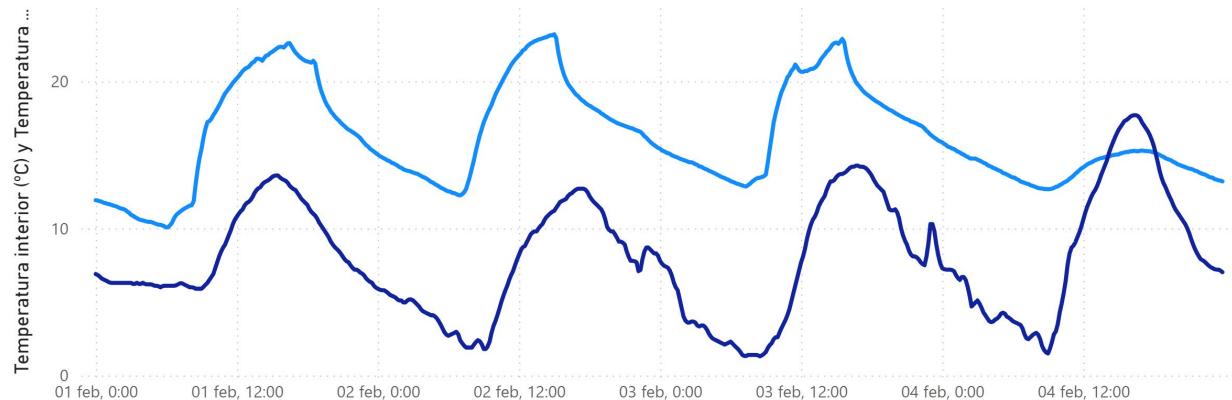


Figura 7. Ejemplo de la representación de la temperatura interior (azul claro) y exterior (azul oscuro) con el tiempo. 1 eje

- **Temperatura de impulsión:**

Representación conjunta de temperaturas ambiente de los edificios y temperaturas del agua del circuito de impulsión del sistema HVAC, provenientes del sistema SCADA (en los edificios en los que se dispone de sonda de temperatura de impulsión). El objetivo de esta representación es poder verificar los instantes en los que ha estado encendido el sistema de calefacción (comprobando por ejemplo si ha habido apagado al mediodía), así como analizar si en el arranque existe desfase entre la temperatura interior y la temperatura de impulsión. También es posible analizar el funcionamiento del sistema de regulación de la caldera o bomba de calor.

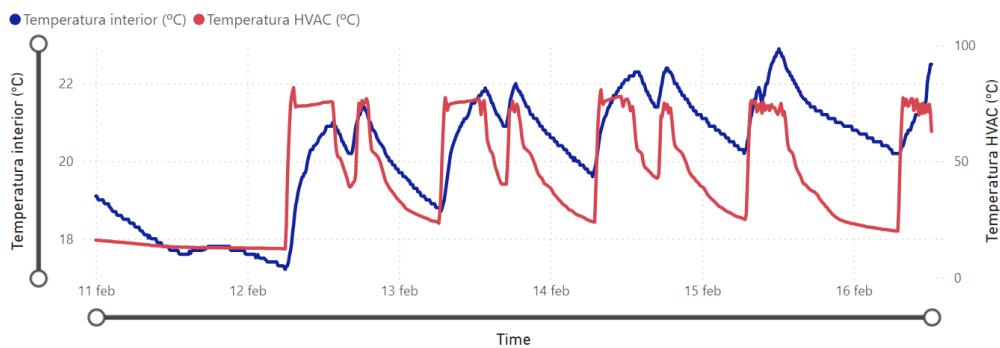


Figura 8. Ejemplo de la representación de la temperatura interior y la temperatura de impulsión del sistema de climatización.

En general, se ha observado un desfase entre el aumento de la temperatura de impulsión en el arranque y de la temperatura interior de entre 10 y 30 minutos, según el edificio. En la figura 9 se muestra un ejemplo en el que el desfase es de media hora, mientras que en la figura 10 el desfase es de apenas 10 minutos. También se observa que uno de los edificios está regulando (la temperatura de impulsión oscila una vez alcanzada la consigna en la figura 10 y la temperatura interior deja de aumentar de forma lineal), mientras que en el otro no se observa regulación (la temperatura de impulsión es constante una vez a régimen y la temperatura interior sigue subiendo de forma lineal).

De cara a establecer los horarios de climatización, no sólo habría que tener en cuenta las pendientes calculadas, sino también el tiempo desde que se produce el arranque hasta que empieza a aumentar la temperatura interior. Como línea de futuro, habrá que calcular de forma automatizada dicho desfase, para obtener un valor promedio de desfase por edificio.

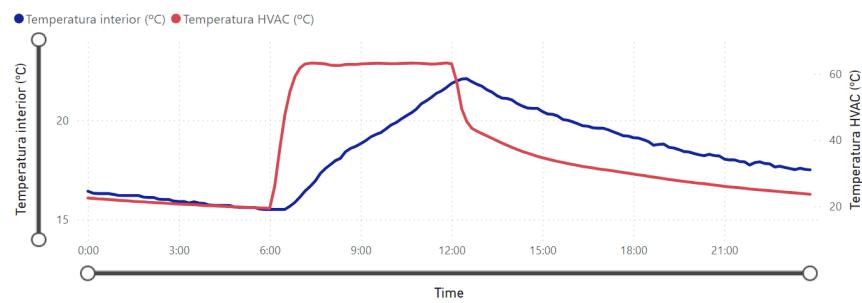


Figura 9. Ejemplo de desfase de 30' entre el arranque y el aumento de la temperatura interior. Edificio UTCE.

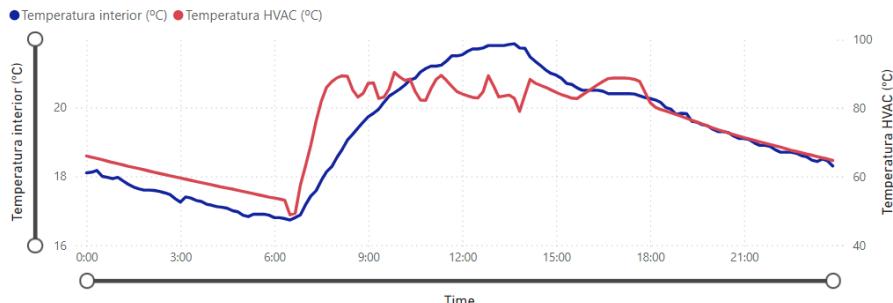


Figura 10. Ejemplo de desfase de 10' entre el arranque y el aumento de la temperatura interior. Edificio CTA.

- **Representación gráfica:**

La representación de la temperatura interior de un espacio, la temperatura interior tras aplicar el suavizado (comentado en el informe 22), así como las franjas temporales en las que se calcula la pendiente quedan representada en gráficos como el de la figura 11. En el visor desarrollado, este gráfico va acompañado de una tabla con el valor de las pendientes calculadas. El objetivo de esta pantalla es poder verificar el buen funcionamiento del programa desarrollado en Matlab, así como buscar la causa de valores de pendientes anómalos.

Temperatura interior (°C). Filtrado y Franja cálculo pendiente por Tiempo



Figura 11. Ejemplo de la representación de la temperatura interior y de las franjas en las que se ha calculado la pendiente.

Pulsando sobre “detalle franja de ascenso” se visualizan los datos de temperatura en la franja de estudio



Figura 12. Detalle del aumento de temperatura en la franja de estudio.

Un ejemplo de valor anómalo de pendiente debido a un funcionamiento incorrecto del sensor o a un error en el guardado del valor de temperatura en la base de datos, se muestra en la figura 13. Se ha observado ruido en las lecturas que produce oscilaciones bruscas, como la de las 5 h en la que la temperatura aumenta de 8 a 16°C en 10 minutos.

Temperatura interior (°C). Filtrado y Franja cálculo pendiente por Tiempo

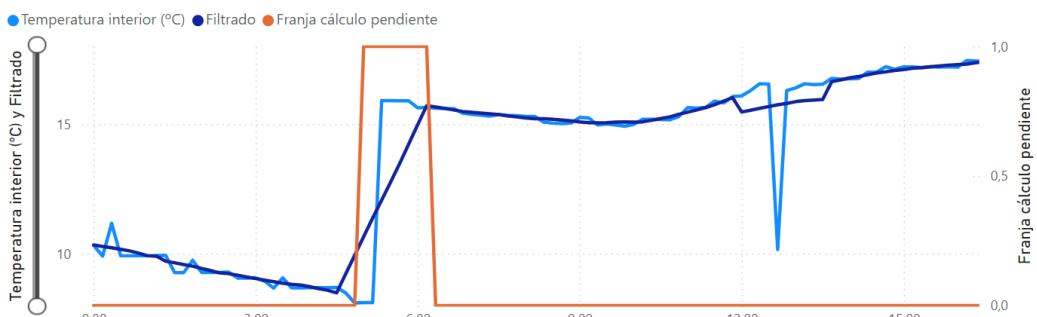


Figura 13. Ejemplo de valor anómalo de pendientes. Sala Estudio Betancourt (11/02/2024).

- **Pendientes por fecha:**

En formato tabla, se recoge el valor de las pendientes por fecha y por espacio del edificio seleccionado, así como el promedio por fecha, por espacio y por edificio. En el visor, también se representa gráficamente el número de pendientes calculadas por espacio.

Time	AULA DE DIRECCIÓN CD 1 1	CD 0 4	CONSERJERÍA	PASILLO DIRECCIÓN	SALA DE ESTUDIO	SECRETARÍA CD 0 6	SECRETARÍA DIRECCIÓN CD 1 1 6	Total
03/01/2023		2,11	2,15		1,70	2,20	2,33	2,10
04/01/2023			2,28			2,32		2,30
05/01/2023		0,48	2,49			2,36		1,78
09/01/2023		2,15	1,79		1,79	1,86	2,61	2,04
10/01/2023		2,49	2,59		2,48	2,40	2,53	2,50
11/01/2023		2,35	2,45		2,06	2,48	2,33	2,33
17/01/2023		2,24	2,24		2,22	2,22	2,32	2,25
18/01/2023		2,04	2,05		2,04	2,24	2,13	2,10
19/01/2023		2,12	2,17		2,21	2,18	2,36	2,21
20/01/2023		1,82	2,53		2,17	2,16	2,23	2,18
23/01/2023		2,41	2,33		2,42	2,47	2,59	2,44
24/01/2023		2,38	2,36		2,35	2,65	2,51	2,45
25/01/2023		2,17	2,43		2,25	2,66	2,39	2,38
Total		1,92	1,96		0,88	2,75	2,32	1,91
							2,00	2,06

Figura 14. Ejemplo de tabla con las pendientes por fecha y espacio.

- **Cajas-bigotes pendiente:**

En esta pantalla del visor, se representa gráficamente el promedio de las pendientes calculadas por fecha o por espacio para cada edificio, mediante un diagrama de cajas y bigotes.

Los diagramas de cajas y bigotes permiten visualizar la mediana, los cuartiles de los datos (caja), los extremos superior e inferior (bigotes) y también los valores atípicos (por encima/debajo de los bigotes).

En el caso del análisis de las pendientes, a mayor anchura de la caja, que es donde se concentran los valores más frecuentes, habrá un mayor número de factores de influencia (mayor dispersión).

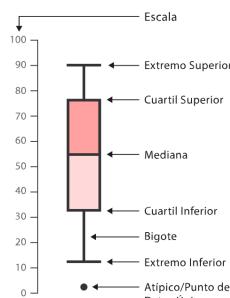


Figura 15. Diagrama de cajas y bigotes. Fuente: https://datavizcatalogue.com/ES/metodos/diagrama_cajas_y_bigotes.html

Time	ADMINISTRACIÓN SAI	DESPACHO 37	DESPACHO 39	SALA N° 14-2	SIMULACIÓN CONTROL	UNIDAD ADMINISTRATIVA SAI	Total
05/02/2024	0,60	0,85	0,73	0,83	0,81	0,81	0,77
06/02/2024	0,92	0,50		0,85	1,00	0,87	0,83
07/02/2024	1,03	1,16	0,84	0,90	0,80	0,88	0,93
08/02/2024	1,37	2,07	3,28	0,50	0,40	2,51	1,69
09/02/2024	0,79	0,81	1,12	0,67	0,30	2,76	1,07
12/02/2024	1,56	1,65	2,40	0,72	0,40	2,10	1,47
13/02/2024	1,32	1,30	0,59	0,83	0,35	2,44	1,14
14/02/2024	1,32	0,88		0,72	0,39	2,48	1,16
15/02/2024	0,54	0,99		0,76	0,37	3,00	1,13
16/02/2024	0,86	1,13		0,85	0,38	2,65	1,17
19/02/2024	1,29	1,38	0,87	0,75	0,42	2,35	1,18
20/02/2024	1,25	1,00		0,87		2,06	1,29
21/02/2024	0,89	1,38		0,82	0,28	2,08	1,09
Total	1,15	1,25	1,13	0,77	0,48	2,38	1,24

Figura 16. Ejemplo de cálculo de pendientes y promedios por sensor o por fecha. Edificios SAI – Campus San Francisco.

Se han realizado dos tipos de gráficos: En el primero (figura 17), **para cada día** en el que se haya calculado pendiente en al menos un sensor, se realiza el **promedio** de dichas **pendientes de todos los espacios del edificio** (columna de la derecha en la figura 16, en color marrón). De esta forma se puede ver si las pendientes se mantienen estables a lo largo del tiempo o si existe mucha variación. Más adelante se tratarán las causas por las que existe dispersión en los datos, así como los motivos por los que las pendientes son mayores o menores en función del edificio.

En este tipo de gráficos, la ventaja de agrupar por días es que el gráfico se elabora con un mayor número de datos y es menos probable que un dato erróneo introduzca demasiado error. Los datos atípicos pueden ser debidos a días en los que sólo se ha calculado pendiente en unos pocos espacios y que no se haya calculado correctamente la pendiente en alguno de ellos (como en el caso de la figura 13).

Media de las pendientes por fecha y edificio



Figura 17. Ejemplo de gráfico de cajas y bigotes del promedio de pendientes por fecha y edificio del Campus Río Ebro.

También se ha habilitado la comparativa por años. A modo de ejemplo se muestra el caso del Campus Río Ebro.

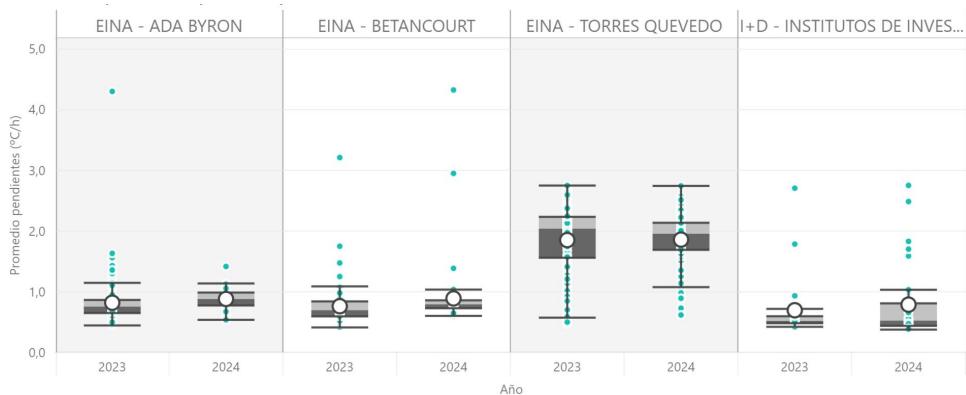


Figura 18. Ejemplo de gráfico de cajas y bigotes del promedio de pendientes por fecha y edificio del Campus Río Ebro con comparativa por años.

En el segundo tipo de gráficos, **para cada sensor del edificio** se realiza el **promedio de las pendientes de todos los días** en los que se haya calculado (fila inferior en la figura 16, en color azul).

Esta visualización puede ser útil para detectar variaciones entre sensores. Si bien, al realizar el promedio por sensor, este tipo de gráfico puede dar lugar a error si no hay suficiente número de sensores en el edificio.

Media de las pendientes por sensor y edificio

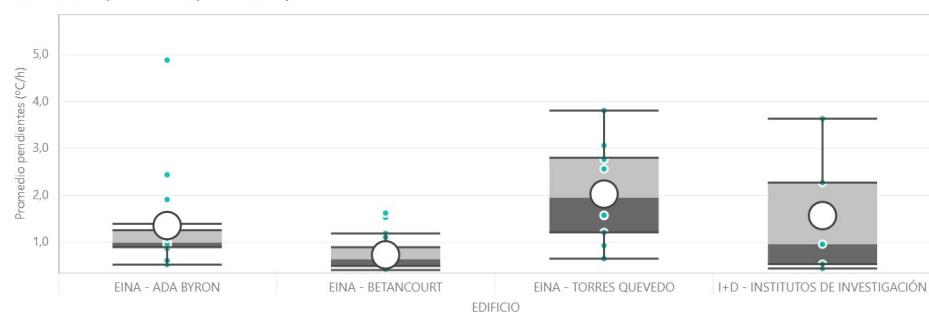


Figura 19. Ejemplo de gráfico de cajas y bigotes del promedio de pendientes por sensor y edificio del Campus Río Ebro.

En el visor, se pueden seleccionar los espacios a estudiar, así como el intervalo temporal en el que se han calculado las pendientes (por año, por mes, por semana...).

- **Media pendientes (edificio-mes):**

En esta pantalla se representa la evolución temporal del valor promedio de las pendientes por edificio. Generalmente, los valores mayores de pendientes se dan en los meses más fríos (diciembre, enero y febrero).

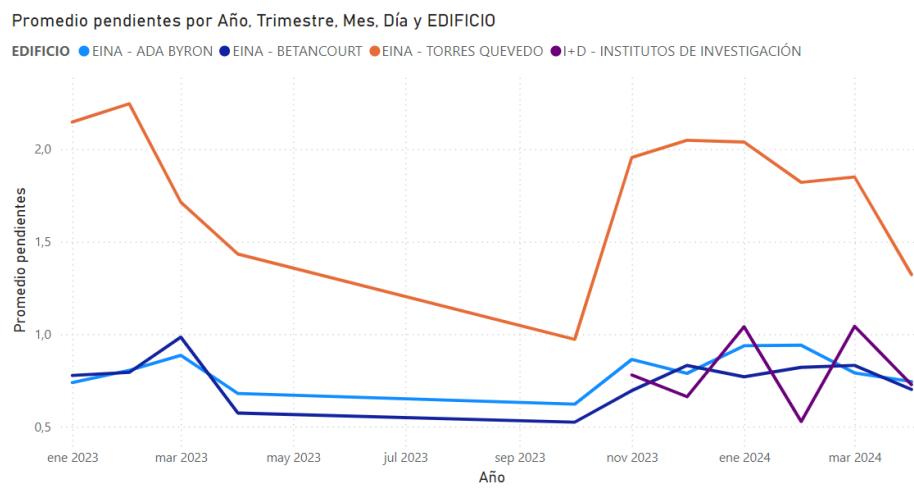


Figura 20. Ejemplo de la evolución del promedio de las pendientes por meses.

En el visor también se representan algunas de las correlaciones realizadas, que se comentarán más adelante:

- **Correlación temp. ext - pendiente (edificio):** Gráfico de dispersión para comprobar si existe correlación entre la temperatura exterior y la pendiente.
- **Correlación temp. interior - pendiente:** Gráfico de dispersión para comprobar si existe correlación entre la temperatura interior y la pendiente.
- **Correlación día semana - pendiente:** Gráfico de dispersión para comprobar si existe correlación entre el día de la semana y la pendiente.
- **Correlación potencia - pendiente:** Gráfico de dispersión para comprobar si existe correlación entre la potencia instalada y las pendientes.

A modo resumen de las correlaciones y de las pendientes, se incluyen las siguientes páginas en el visor:

- **Coef. Determinación:** Resumen en forma de tabla de los coeficientes de regresión lineal o de determinación R^2 de las gráficas de correlación de temperatura exterior-pendiente y día de la semana-pendiente, de los campus de Zaragoza.
- **Resumen pendientes:** Resumen en forma de tabla del promedio de pendientes por meses y edificios.
- **Confort y eficiencia energética:** Estudio de las temperaturas en el interior de los edificios y porcentaje de tiempo en distintas franjas. Este apartado se tratará en el informe 25.

3. Factores de influencia y resultados.

Algunos de los factores de influencia que hacen que aumente la dispersión en el análisis de los gráficos de cajas y bigotes son:

- Los distintos espacios que conforman el edificio se **comportan de forma distinta**
 - **Orientación** del espacio: Los espacios ubicados en la cara sur del edificio se calentarán más rápido que los de ubicación norte.
 - **Planta**: Las plantas superiores suelen tener una mayor irradiación solar, si bien, en las horas de estudio (antes de las 9:00 h), es un valor poco relevante en los meses de invierno.
 - **Principio o final del ramal** del sistema de **climatización**. La temperatura de impulsión será mayor en los espacios de principio de línea, por lo que se calentarán antes.
 - **Apertura de la válvula de tres vías** del fancoil (en caso de climatización con fancoils por aire). Lo habitual es que en el momento de encendido de la climatización, la válvula de tres vías esté en su máxima apertura. Si bien, puede ocurrir que por fallo o por el ajuste del termostato se encuentre en otra posición menor, por lo que el calentamiento del espacio sería a menor velocidad.
 - **Nivel de potencia del ventilador** del fancoil (en caso de climatización por aire). Si el usuario selecciona en la unidad de control del fancoil la posición de máxima potencia (velocidad) del ventilador, la estancia se calentará con mayor rapidez.
 - En caso de que hubiera **edificios con diferentes sistemas de climatización por espacios**, el comportamiento también sería distinto.
 - **Eventos aleatorios**: Por ejemplo, una ventana abierta.
 - **Ratio de potencia instalada disponible y demanda térmica**: Los sistemas de climatización por aire suelen ser más rápidos que los de agua (radiadores). De los edificios monitorizados del Campus Río Ebro, el Torres Quevedo cuenta mayoritariamente¹ con sistemas de climatización por agua y sin embargo, como se observa en la figura 17, presenta una mayor velocidad de calentamiento. Esto conduce a la hipótesis de que puede ser más determinante el balance entre demanda térmica y potencia disponible, que el sistema de climatización. En este caso, puede influir que la potencia por unidad de superficie de las calderas de gas del Torres Quevedo sea mayor que las de las bombas de calor de los otros edificios, o que la demanda por unidad de superficie en el Torres Quevedo sea inferior (menores ratios de ventilación, menor inercia térmica...).
- Para verificar dicha hipótesis se ha correlacionado la potencia de los equipos de climatización por metro cuadrado, de los distintos edificios (ver página del visor “correlación potencia – pendiente”). En el caso del Campus Río Ebro, se observa claramente cómo la potencia instalada por metro cuadrado en el Torres Quevedo es aproximadamente el triple a la del Betancourt, lo que podría ser la causa de que las pendientes sean mayores.

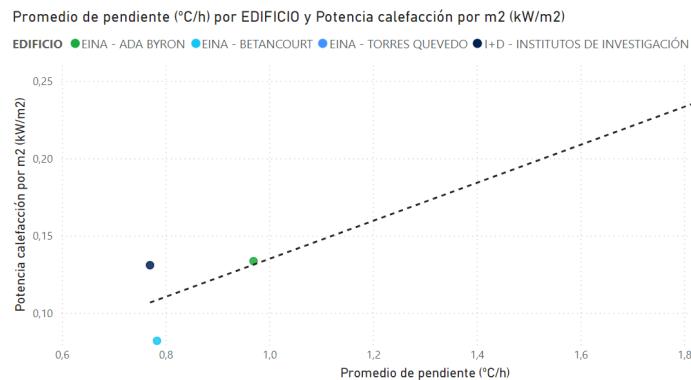


Figura 21. Correlación potencia instalada HVAC por metro cuadrado frente a promedio de pendientes.

¹ Dado que en el edificio Torres Quevedo, también hay algunos espacios climatizados por aire, habría que estudiar qué sistema hay en los locales en los que están los sensores.

- **Estado de la instalación:** Debido al envejecimiento de la instalación o a labores de mantenimiento, puede cambiar el comportamiento de la instalación afectando entre otros aspectos a la potencia disponible. Por ejemplo, la avería en los compresores del edificio Betancourt, disminuyó la potencia disponible durante cierto periodo de tiempo hasta que los compresores fueron sustituidos o reparados, lo que pudo afectar a las pendientes. Ejemplos como este ponen de manifiesto la importancia de basarse principalmente en los datos recientes.

Para comprobar el efecto de la reparación de los compresores del edificio Betancourt, se han comparado los valores promedio de las pendientes en el 2023 frente a 2024, observando que ha aumentado de 0,76 a 0,89°C/h, como se puede ver en la figura 18. Sin embargo en el resto de los edificios del Campus Río Ebro el valor ha permanecido aproximadamente constante.

- **Uso de la instalación:** Ejemplos como la residencia de profesores, que tienen ocupación permanentemente, mantendrán una temperatura más constante a lo largo del día, lo que puede hacer que las pendientes sean inferiores.

- **Influencia de las condiciones ambientales:**

- **Temperatura exterior:** Afecta a la demanda de energía térmica asociada con las pérdidas a través de los cerramientos y la ventilación. En la mayoría de los edificios estudiados, la pendiente aumenta a menores temperaturas exteriores. Esto se explica debido a que a menor temperatura exterior, el gradiente de temperatura será mayor (temperatura de impulsión - temperatura exterior) y, por tanto, la pendiente de ascenso de la temperatura será mayor. Por otra parte, en algunos sistemas de calefacción, la temperatura de impulsión se regula en función de la temperatura exterior (ver figura 22), por lo que, a menor temperatura exterior, mayor temperatura de impulsión y, por tanto, mayor pendiente de ascenso de la temperatura interior.

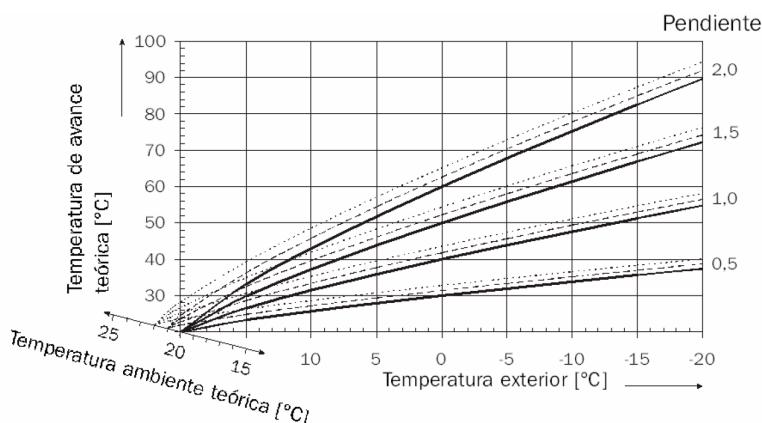


Figura 22. Regulación de la temperatura de impulsión en función de la temperatura exterior.

Fuente: <https://www.solarweb.net/forosolar/attachments/solar-termica/1222d1253609099-que-kit-solar-le-pagan-una-caldera-propano-curva-calefaccion.pdf>

De Zaragoza, 4 edificios presentan fuerte correlación ($>0,8$) entre las pendientes y la temperatura exterior al comienzo de la franja de estudio, 3 correlación media en el intervalo (0,6-0,8], 9 correlación débil (0,4-0,6] y 13 muy baja correlación, como se observa en la figura 23.

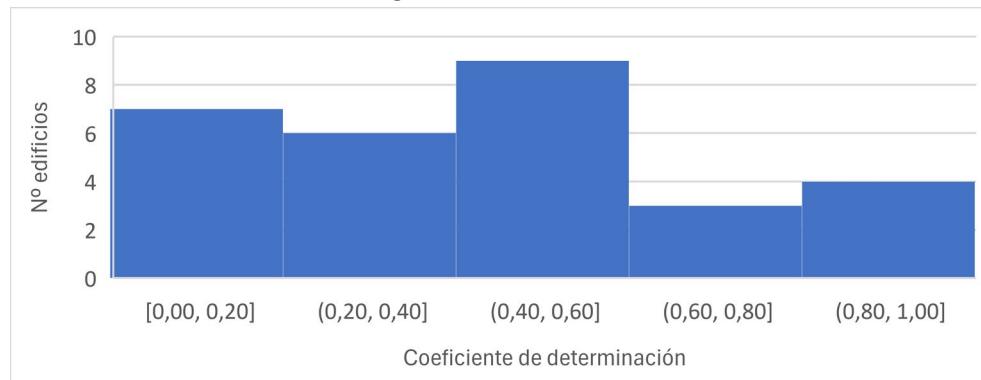


Figura 23. Distribución de los coeficientes de determinación temperatura exterior-pendientes en edificios UNIZAR (Zaragoza).

Un ejemplo de edificio con alta correlación con la temperatura exterior es el Torres Quevedo, como se observa en la figura 24. Consultando con el Servicio de Mantenimiento, este edificio cuenta con regulación de temperatura de impulsión en función de la temperatura exterior. Otros edificios no cuentan con este tipo de regulación o fue retirada por carecer el edificio de potencia suficiente.

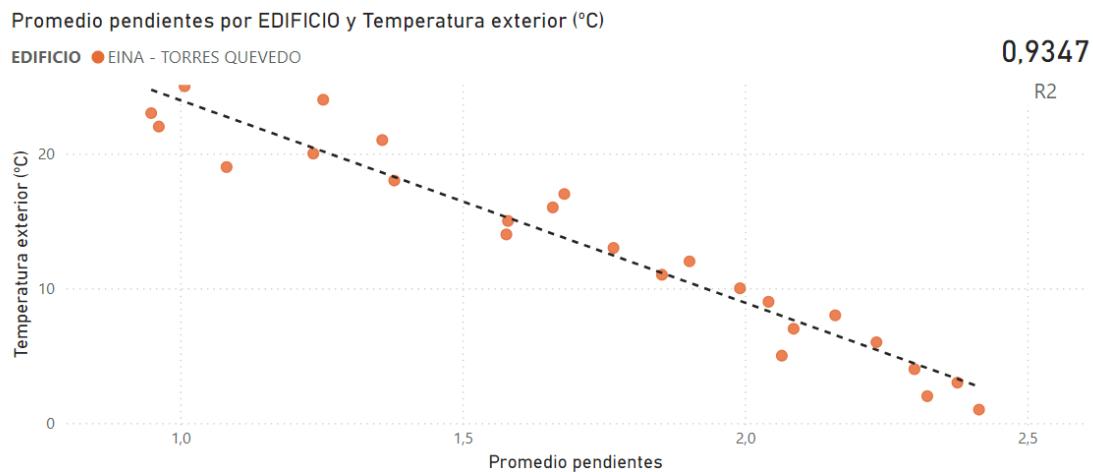


Figura 24. Ejemplo de fuerte correlación temperatura exterior - pendientes. Edificio Torres Quevedo.

Un edificio en el que no se observa correlación con la temperatura exterior es la Facultad de Medicina B, como se muestra en la figura 25.

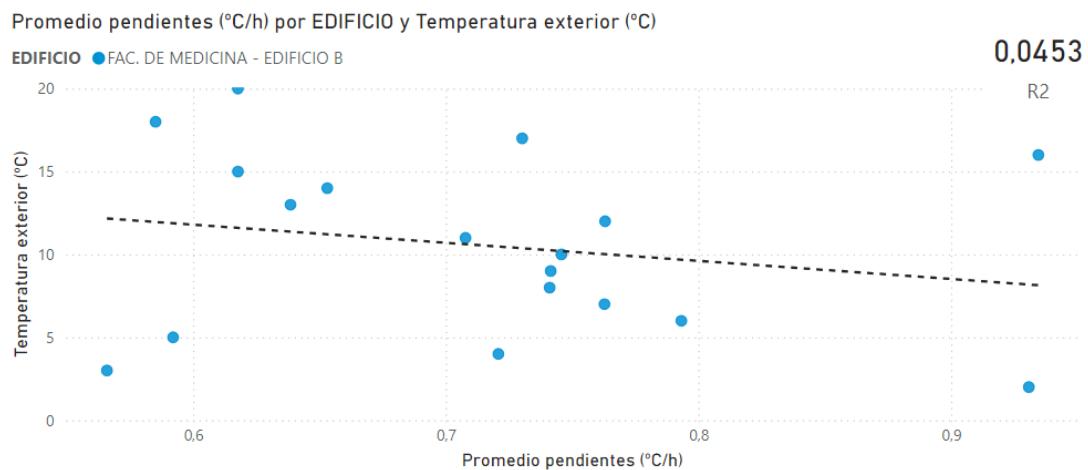


Figura 25. Ejemplo de edificio sin correlación temperatura exterior - pendientes. Facultad de Medicina B.

- **Velocidad del viento:** A mayor velocidad, habrá más pérdidas por convección, así como infiltraciones, por lo que la velocidad de ascenso de la temperatura será menor. Por el momento, no se han realizado correlaciones con este parámetro.
- **Temperatura interior** en el momento del arranque. Debido a la inercia térmica, el comportamiento de los edificios es distinto cuando el edificio está frío (por ejemplo a principios de semana cuando los muros siguen emitiendo el frío almacenado), que cuando se ha calentado (a final de semana). Al igual que ocurre con la temperatura exterior, hay edificios con alta y baja correlación. De Zaragoza, 8 edificios presentan fuerte correlación ($>0,8$) entre las pendientes y la temperatura exterior al comienzo de la franja de estudio, 8 correlación media en el intervalo ($0,6-0,8$], 4 correlación débil ($0,4-0,6$] y 9 muy baja correlación, como se observa en la figura 26.

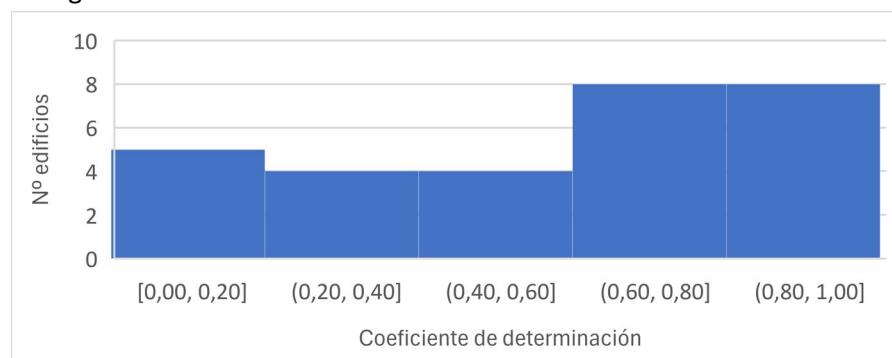


Figura 26. Distribución de los coeficientes de determinación temperatura interior-pendientes en edificios UNIZAR (Zaragoza).

Un ejemplo de edificio con alta correlación con la temperatura interior (figura 27) es la Facultad de Medicina B (que sin embargo no presentaba correlación con la temperatura exterior).

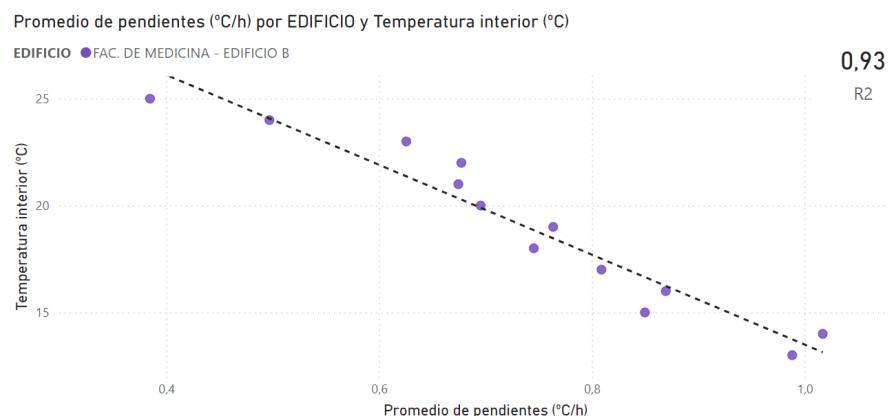


Figura 27. Ejemplo de edificio con fuerte correlación con la temperatura interior - pendientes. Facultad de Medicina B.

En otros edificios como el de la UTCE, las pendientes no presentan correlación con la temperatura interior.

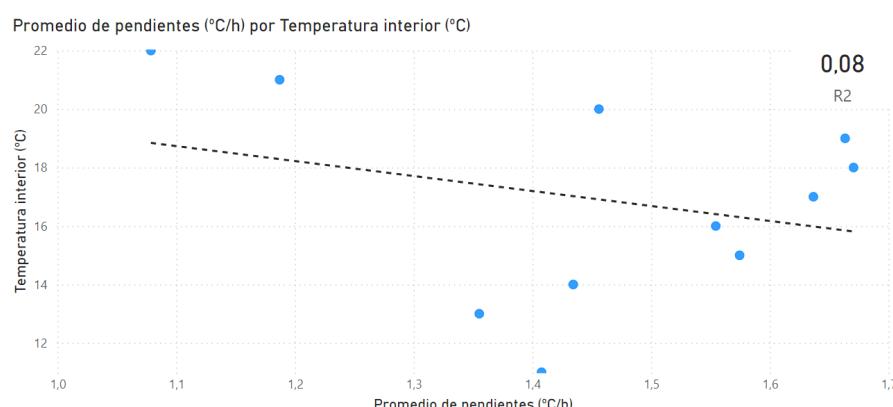


Figura 28. Ejemplo de edificio con fuerte correlación con la temperatura interior - pendientes. UTCE.

- **El día de la semana.** Se ha realizado también correlación entre las pendientes y el día de la semana, aunque en principio, este parámetro debería quedar englobado en el de la temperatura interior. Se ha observado que hay edificios en los que no hay correlación entre las pendientes y la temperatura interior, pero sí que existe entre las pendientes y el día de la semana. En la figura 29 se representa el coeficiente de determinación, observando que 13 edificios de Zaragoza presentan correlación, pero 17 tienen una muy baja correlación.

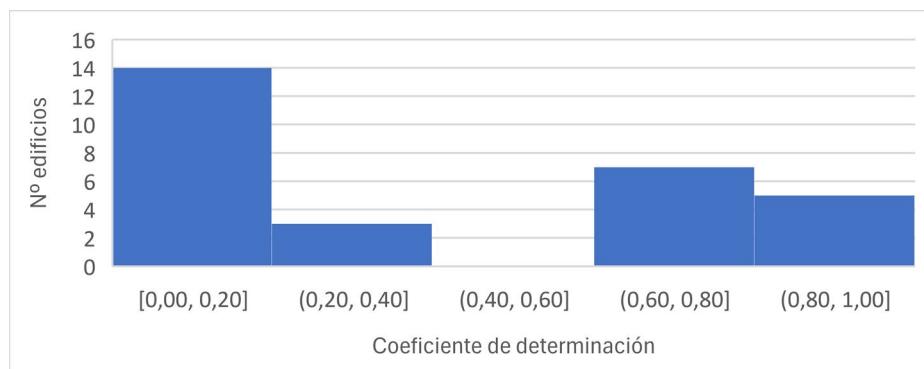


Figura 29. Distribución de los coeficientes de determinación temperatura interior-pendientes en edificios UNIZAR (Zaragoza).

Un ejemplo de edificio que presentan una alta correlación entre el día de la semana y la pendiente y en el que no había correlación con la temperatura interior es el de la UTCE, como se observa en la figura 30. Hay que destacar que, en los casos en los que hay correlación, la variación de la pendiente en función del día de la semana, es menos significativa que para la temperatura interior y exterior.

Por otra parte, en la figura 31, se muestra la evolución de las pendientes a lo largo de una semana tipo en este edificio, viendo cómo el valor va disminuyendo a lo largo de la semana desde 1,73 °C/h el lunes hasta 1,42 °C/h el viernes.

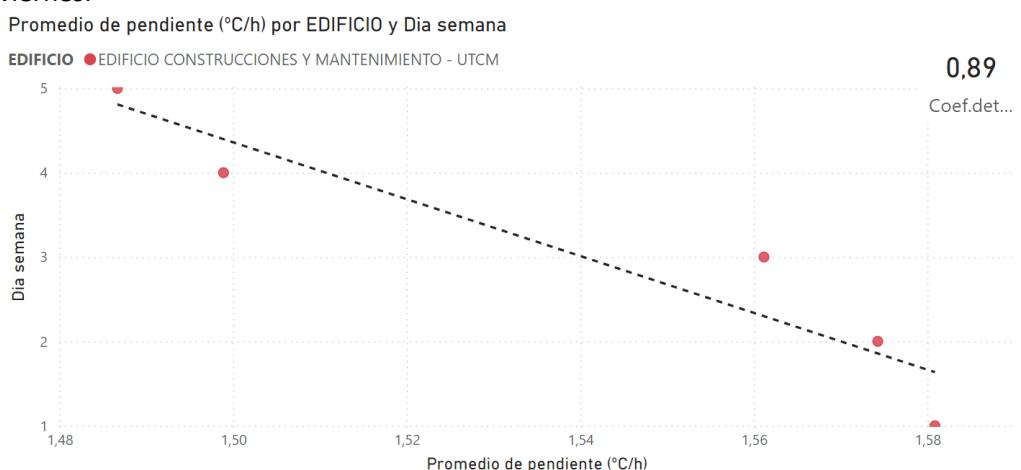


Figura 30. Ejemplo de correlación fuerte día de la semana-pendientes. Edificio UTCE.

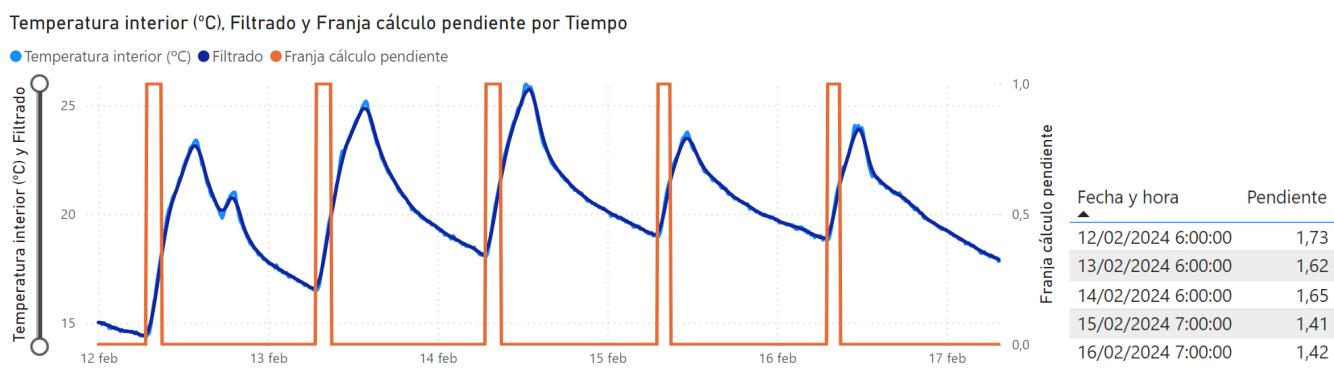


Figura 31. Evolución de las pendientes en una semana.

- **Registros incorrectos:** En algunos casos, los valores anómalos son debidos a que el sensor está averiado o a que hay errores en el envío o almacenamiento de los datos. Todos los registros que presentan este tipo de formas (ver figura 32) son excluidos del análisis.

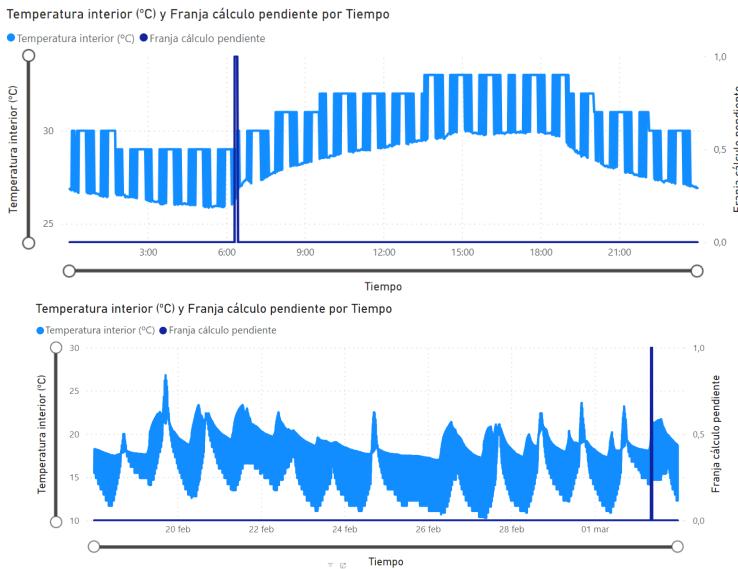


Figura 32. Ejemplos de registros de temperatura anómalos. La temperatura oscila o para cada valor de tiempo existen diferentes valores de temperatura.

- **Número de sensores instalados:** A mayor número de sensores instalados, podría haber una mayor dispersión si los espacios que conforman el edificio se comportan de forma distinta, aunque podría ocurrir lo contrario, si al aumentar el tamaño de la muestra se minimiza el impacto de los datos anómalos. En los edificios monitorizados, el máximo número de sondas es de 32 (Betancourt).
- **Pocos días con cálculo de pendiente:** Tomando como caso de estudio el edificio de I+D y analizando las pendientes calculadas en enero y febrero de 2024, hay tres espacios en los que sólo se han detectado dos días con pendientes de ascenso, mientras que en otros dos se han detectado veinte. Los espacios en los que se ha detectado un bajo número de días con pendiente presentan un aumento de temperatura más tarde de las 9 h, por lo que quizás conecten la climatización manualmente cuando haya ocupación. Además, en los espacios con un bajo número de días con pendientes calculadas, los datos presentan mayores variaciones.

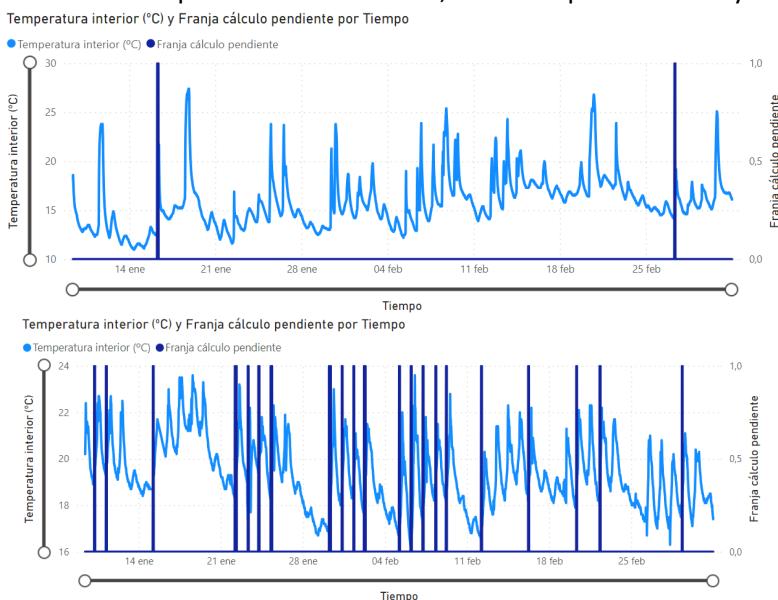


Figura 33. Edificio I+D. Espacio con bajo número de pendientes calculadas (izda.) y viceversa (dcha.).

4. Conclusiones

Este estudio ha puesto de manifiesto que hay claras diferencias entre los distintos edificios en el comportamiento de las pendientes de calentamiento del aire interior de en el periodo de arranque de la calefacción. La figura 35, obtenida de la pantalla del visor “Resumen pendientes”, muestra el valor promedio de las pendientes calculadas, ordenando los **edificios de mayor a menor velocidad de calentamiento**, de acuerdo con las **categorías** presentadas en la tabla 1. El rango de pendientes calculadas oscila entre 0,3 y 3 en promedio por mes y entre 0,4 y 2,2 en promedio total. En la figura 35, se muestra también el **número total de pendientes calculadas**, que puede ser un buen indicativo de la **fiabilidad** del valor de las pendientes promedio. Edificios en los que se han instalado sensores recientemente, como en el campus de Teruel, presentan valores de pendientes todavía provisionales, a falta de un mayor tiempo de estudio.

A (2-2.5] °C/h	Edificios muy rápidos
B (1.5-2] °C/h	Edificios rápidos
C (1-1.5] °C/h	Edificios medianamente rápidos
D (0.8-1] °C/h	Edificios medianamente lentos
E (0.6-0.8] °C/h	Edificios lentos
F (0.4-0.6] °C/h	Edificios muy lentos

Tabla 1. Categorías para la clasificación de los edificios, según la velocidad de calentamiento promedio en °C/h.

El edificio con mayor velocidad de calentamiento (**2 a 2,5 °C/h**) es el de Servicios Centrales (San Francisco). También los edificios Torres Quevedo (Río Ebro), CTA (Miguel Servet) y UTCM (San Francisco) en la franja de 1,5 a 2 °C/h.

Seguidamente (**1 a 1,5 °C/h**) la Facultad de Empresa (Huesca), los edificios SAI (Miguel Servet) y SAI (San Francisco), los edificios del Vicerrectorado (Huesca y Teruel), así como los laboratorios del edificio Loreto (Huesca), la nueva Facultad de Educación (San Francisco) y el edificio de Servicios (San Francisco).

La mayoría de los edificios se sitúan entre **0,8 y 1 °C/h**, como se puede ver en la figura 34 y en la figura 35.

Velocidad	Edificios	EDIFICIOS ENTRE 0,4 Y 2,5 °C/h
2 a 2,5 °C/h	SERVICIOS CENTRALES	
1,5 a 2 °C/h	EINA - TORRES QUEVEDO FAC. VET. - PLANTA PILOTO – CTA EDIFICIO CONSTRUCCIONES Y MANTENIMIENTO - UTCM	
1 a 1,5 °C/h	FAC. DE EMPRESA Y GESTIÓN PÚBLICA - RD. NIÑOS EDIFICIO SAI - SERV. APOYO A LA INVESTIGACIÓN SAI - NAVE N 5 - OFICINAS SAEA VICERRECTORADO DE HUESCA VICERRECTORADO TERUEL	E.P.S. - LABORATORIOS - ED. LORETO FAC. DE EDUCACIÓN NUEVA EDIFICIO DE SERVICIOS FACULTAD DE CIENCIAS SOCIALES Y DEL TRABAJO
0,8 a 1 °C/h	FAC. DE CIENCIAS DE LA SALUD FAC. CC. SALUD Y DEPORTE - ED. ODONTOLOGÍA FAC. DE DERECHO - EDIFICIO DERECHO I FAC. DE MEDICINA - EDIFICIO A E.P.S. - AULAS - ED. GRATAL FAC. DE DERECHO - EDIFICIO DERECHO III E.P.S. - POLITÉCNICA - ED. TOZAL DE GUARA	INTERFACULTADES I EINA - ADA BYRON FAC. VETERINARIA - AULARIO FAC. FILOSOFÍA Y LETRAS - BIBLIOTECA HUMANIDADES FAC. CIENCIAS HUMANAS Y EDUCACION - ED. PRINCIPAL FAC. CIENCIAS SOCIALES Y HUMANAS FAC. DE DERECHO - EDIFICIO DERECHO II
0,6 a 0,8 °C/h	EINA - BETANCOURT EDIFICIO CERVANTES - FAC. DE FILOSOFÍA Y LETRAS FAC. CC. SALUD Y DEPORTE - POLIDEP. RIO ISUELA FAC. VETERINARIA - EDIFICIO CENTRAL FAC. DE MEDICINA - EDIFICIO B E.P.S. - CHALETS - ED. SALTO DEL ROLDÁN	I+D - INSTITUTOS DE INVESTIGACIÓN FAC. DE CIENCIAS - EDIFICIO B - MATEMÁTICAS FAC. DE CIENCIAS - EDIFICIO A - FÍSICAS FAC. CIENCIAS HUMANAS Y EDUCACION - ANEXO FAC. VETERINARIA - EDIFICIO ZOOTECNIA
0,4 a 0,6 °C/h	FAC. DE CIENCIAS - EDIFICIO C - GEOLÓGICAS C.M.U. CERBUNA BELLAS ARTES	RESIDENCIA DE PROFESORES FAC. CC. SALUD Y DEPORTE Y C.M.U. RAMON ACÍN ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA DE TERUEL

Figura 34. Tabla resumen de los edificios en función del promedio de pendientes

Los edificios con menores pendientes (**0,4 a 0,6 °C/h**) son la Residencia de Profesores, la Facultad de Ciencias de la Salud y del Deporte y CMU Ramón Acín (Huesca), el Colegio Mayor Cerbuna (San Francisco) y la facultad de Geológicas (San Francisco). Es reseñable que en esta categoría, la mayoría de los edificios son colegios mayores o residencias, por lo que un uso diferente del edificio puede afectar a las pendientes.

Dada la variabilidad en las velocidades de calentamiento de los edificios, **es razonable agrupar los que se comporten de forma similar, de cara a plantear unos horarios de climatización distintos para cada tipología**. La diferencia en el comportamiento de cada edificio se debería tener en cuenta cuando las variaciones en los horarios de encendido sean significativas, por ejemplo para una diferencia mayor a 15-30 minutos.

Además, para algunos edificios se ha verificado **que existe correlación entre la pendiente y la temperatura exterior, temperatura interior o el día de la semana**. De cara a establecer los horarios de climatización, en aquellos edificios en los que se compruebe que existe correlación con alguna de estas variables, sería conveniente no utilizar únicamente el valor promedio, sino una relación matemática que establezca el valor de las pendientes según las condiciones de estudio. A modo de resumen, se ha creado una tabla en el visor PowerBi, “Coef. Determinación”, con los **coeficientes de regresión lineal o de determinación R² de las gráficas de correlación** de temperatura exterior-pendientes, día de la semana-pendientes y temperatura interior-pendientes. La tabla recoge los campus de Zaragoza (todavía no se disponen de los datos meteorológicos de Huesca y Teruel), marcando en color más oscuro aquellos espacios con una correlación mayor. En la figura 36 se muestra un ejemplo de esta tabla, para los registros del año 2023 y 2024. Hay edificios como Interfacultades I, en el que hay correlación con las tres variables, y otros en los que sólo hay correlación con una o dos de las variables.

Pendientes agrupadas	CAMPUS	EDIFICIO	Promedio pendientes	Recuento
A (2-2,5] °C/h	Campus San Francisco	SERVICIOS CENTRALES	2,18	402
B (1.5-2] °C/h	Campus Rio Ebro	EINA - TORRES QUEVEDO	1,97	989
B (1.5-2] °C/h	Campus Miguel Servet	FAC. VET. - PLANTA PILOTO - CTA	1,57	108
B (1.5-2] °C/h	Campus San Francisco	EDIFICIO CONSTRUCCIONES Y MANTENIMIENTO - UTCM	1,56	208
C (1-1.5] °C/h	Campus de Huesca	FAC. DE EMPRESA Y GESTIÓN PÚBLICA - RD. NIÑOS	1,40	161
C (1-1.5] °C/h	Campus San Francisco	EDIFICIO SAI - SERV. APOYO A LA INVESTIGACIÓN	1,30	163
C (1-1.5] °C/h	Campus Miguel Servet	SAI - NAVE N 5 - OFICINAS SAEA	1,24	732
C (1-1.5] °C/h	Campus de Huesca	VICERRECTORADO DE HUESCA	1,22	211
C (1-1.5] °C/h	Campus de Teruel	VICERRECTORADO TERUEL	1,18	34
C (1-1.5] °C/h	Campus de Huesca	E.P.S. - LABORATORIOS - ED. LORETO	1,17	92
C (1-1.5] °C/h	Campus San Francisco	FAC. DE EDUCACIÓN NUEVA	1,04	332
C (1-1.5] °C/h	Campus San Francisco	EDIFICIO DE SERVICIOS	1,02	58
C (1-1.5] °C/h	Campus San Francisco	FACULTAD DE CIENCIAS SOCIALES Y DEL TRABAJO	1,01	384
D (0.8-1] °C/h	Campus San Francisco	FAC. DE CIENCIAS DE LA SALUD	0,96	901
D (0.8-1] °C/h	Campus de Huesca	FAC. CC. SALUD Y DEPORTE - ED. ODONTOLOGÍA	0,95	130
D (0.8-1] °C/h	Campus San Francisco	FAC. DE DERECHO - EDIFICIO DERECHO I	0,95	394
D (0.8-1] °C/h	Campus San Francisco	FAC. DE MEDICINA - EDIFICIO A	0,94	114
D (0.8-1] °C/h	Campus de Huesca	E.P.S. - AULAS - ED. GRATAL	0,94	43
D (0.8-1] °C/h	Campus San Francisco	FAC. DE DERECHO - EDIFICIO DERECHO III	0,93	62
D (0.8-1] °C/h	Campus de Huesca	E.P.S. - POLITÉCNICA - ED. TOZAL DE GUARA	0,91	186
D (0.8-1] °C/h	Campus San Francisco	INTERFACULTADES I	0,88	1171
D (0.8-1] °C/h	Campus Rio Ebro	EINA - ADA BYRON	0,86	876
D (0.8-1] °C/h	Campus Miguel Servet	FAC. VETERINARIA - AULARIO	0,84	574
D (0.8-1] °C/h	Campus San Francisco	FAC. FILOSOFÍA Y LETRAS - BIBLIOTECA HUMANIDADES	0,83	50
D (0.8-1] °C/h	Campus de Huesca	FAC. CIENCIAS HUMANAS Y EDUCACION - ED. PRINCIPAL	0,82	136
D (0.8-1] °C/h	Campus de Teruel	FAC. CIENCIAS SOCIALES Y HUMANAS	0,82	105
D (0.8-1] °C/h	Campus San Francisco	FAC. DE DERECHO - EDIFICIO DERECHO II	0,80	112

E (0.6-0.8] °C/h	Campus Rio Ebro	EINA - BETANCOURT	0,79	1381
E (0.6-0.8] °C/h	Campus San Francisco	EDIFICIO CERVANTES - FAC. DE FILOSOFÍA Y LETRAS	0,78	23
E (0.6-0.8] °C/h	Campus de Huesca	FAC. CC. SALUD Y DEPORTE - POLIDEP. RIO ISUELA	0,78	309
E (0.6-0.8] °C/h	Campus Miguel Servet	FAC. VETERINARIA - EDIFICIO CENTRAL	0,77	369
E (0.6-0.8] °C/h	Campus San Francisco	FAC. DE MEDICINA - EDIFICIO B	0,74	190
E (0.6-0.8] °C/h	Campus de Huesca	E.P.S. - CHALETS - ED. SALTO DEL ROLDÁN	0,73	130
E (0.6-0.8] °C/h	Campus Rio Ebro	I+D - INSTITUTOS DE INVESTIGACIÓN	0,73	82
E (0.6-0.8] °C/h	Campus San Francisco	FAC. DE CIENCIAS - EDIFICIO B - MATEMÁTICAS	0,71	497
E (0.6-0.8] °C/h	Campus San Francisco	FAC. DE CIENCIAS - EDIFICIO A - FÍSICAS	0,68	611
E (0.6-0.8] °C/h	Campus de Huesca	FAC. CIENCIAS HUMANAS Y EDUCACION - ANEXO	0,67	66
E (0.6-0.8] °C/h	Campus Miguel Servet	FAC. VETERINARIA - EDIFICIO ZOOTECNIA	0,60	550
F (0.4-0.6] °C/h	Campus San Francisco	FAC. DE CIENCIAS - EDIFICIO C - GEOLÓGICAS	0,58	322
F (0.4-0.6] °C/h	Campus San Francisco	C.M.U. CERBUNA	0,57	76
F (0.4-0.6] °C/h	Campus de Teruel	BELLAS ARTES	0,56	71
F (0.4-0.6] °C/h	Campus San Francisco	RESIDENCIA DE PROFESORES	0,55	181
F (0.4-0.6] °C/h	Campus de Huesca	FAC. CC. SALUD Y DEPORTE Y C.M.U. RAMON ACÍN	0,54	188
F (0.4-0.6] °C/h	Campus de Teruel	ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA DE TERUEL	0,43	13
D (0.8-1] °C/h			1,00	13787

Figura 35. Valores promedio de pendientes por edificio y mes, en 2023-24 y número de pendientes totales calculadas.

CAMPUS		Coef.determinación T.text	Coef.determinación T.int	Coef.determinación Día.sem
▀ Campus Miguel Servet				
FAC. VET. - PLANTA PILOTO - CTA		0,5466	0,88	0,87
FAC. VETERINARIA - AULARIO		0,2442	0,67	0,79
FAC. VETERINARIA - EDIFICIO CENTRAL		0,6492	0,97	0,01
FAC. VETERINARIA - EDIFICIO ZOOTECNIA		0,4124	0,83	0,12
SAI - NAVE N 5 - OFICINAS SAEA		0,8222	0,63	0,80
▀ Campus Rio Ebro				
EINA - ADA BYRON		0,2009	0,39	0,00
EINA - BETANCOURT		0,3293	0,53	0,12
EINA - TORRES QUEVEDO		0,9347	0,40	0,87
I+D - INSTITUTOS DE INVESTIGACIÓN		0,0550	0,64	0,14
▀ Campus San Francisco				
C.M.U. CERBUNA		0,3531	0,00	0,11
EDIFICIO CERVANTES - FAC. DE FILOSOFÍA Y LETRAS		0,5289	0,78	0,06
EDIFICIO CONSTRUCCIONES Y MANTENIMIENTO - UTCM		0,3046	0,08	0,89
EDIFICIO DE SERVICIOS		0,6798	0,83	0,66
EDIFICIO SAI - SERV. APOYO A LA INVESTIGACIÓN		0,4179	0,13	0,13
FAC. DE CIENCIAS - EDIFICIO A - FÍSICAS		0,0042	0,61	0,88
FAC. DE CIENCIAS - EDIFICIO B - MATEMÁTICAS		0,2521	0,71	0,22
FAC. DE CIENCIAS - EDIFICIO C - GEOLÓGICAS		0,3544	0,26	0,64
FAC. DE CIENCIAS DE LA SALUD		0,1838	0,28	0,32
FAC. DE DERECHO - EDIFICIO DERECHO I		0,4991	0,15	0,72
FAC. DE DERECHO - EDIFICIO DERECHO II		0,4636	0,67	0,17
FAC. DE DERECHO - EDIFICIO DERECHO III		0,0569	0,32	0,73
FAC. DE EDUCACIÓN NUEVA		0,4115	0,74	0,29
FAC. DE MEDICINA - EDIFICIO A		0,1957	0,06	0,62
FAC. DE MEDICINA - EDIFICIO B		0,0453	0,93	0,05
FAC. FILOSOFÍA Y LETRAS - BIBLIOTECA HUMANIDADES		0,6087	0,90	0,05
FACULTAD DE CIENCIAS SOCIALES Y DEL TRABAJO		0,5545	0,54	0,16
INTERFACULTADES I		0,8317	0,96	0,85
RESIDENCIA DE PROFESORES		0,5955	0,41	0,04
SERVICIOS CENTRALES		0,9120	0,93	0,12

Figura 36. Coeficientes de determinación por edificios y tipo de gráfica.

5. Líneas de futuro

- Investigar las razones por las que en algunos casos se obtiene una baja correlación de las pendientes con el día de la semana, temperatura exterior o interior, mientras que en otros sí que existe dicha correlación.
- Crear nuevas correlaciones con otras variables (por ejemplo con la velocidad del viento).
- Analizar si los factores que afectan al valor de la pendiente son relevantes a la hora de establecer horarios de climatización (es decir, que impliquen una diferencia en el horario de encendido mayor a 15-30 minutos).
- En base a los cálculos de pendientes, proponer una metodología para establecer los horarios de climatización de forma automática. Habría que tener en cuenta, para los casos en los que exista correlación, la temperatura interior en el momento del arranque, la temperatura exterior y el día de la semana. En estos casos, sólo sería relevante si hay una variación significativa del valor de las pendientes, que implique una diferencia en el horario de encendido mayor a 15-30 minutos.

Informe 25. Metodología para el análisis de los datos de temperatura de los edificios. Confort y eficiencia energética.

Para cualquier duda sobre este informe contactar con: Miguel García-Monge y Belén Zalba (bzalba@unizar.es)

Índice

1. Objetivo de este estudio	1
2. Metodología.....	1
3. Conclusiones	4
4. Líneas de futuro	4

1. Objetivo de este estudio

El objetivo de este estudio es facilitar el análisis de los datos de temperatura en los edificios de UNIZAR, para conocer el estado de los edificios, poder verificar si los horarios de climatización planteados son los adecuados o detectar anomalías en espacios concretos o errores en los sensores.

2. Metodología

Se ha desarrollado el apartado 4 del visor Power Bi (ver informe 24), denominado “Confort y eficiencia energética: Estudio de las temperaturas en el interior de los edificios.” El objetivo es que pueda ser utilizado desde la Oficina Verde y el Servicio de Mantenimiento para verificar la idoneidad de los horarios de climatización.

En términos generales, la temperatura en el interior de los edificios no debería ser ni inferior a 17 °C ni superior a 27°C. Como se muestra en la figura 1, en modo calefacción no debería ser superior a 21°C si implica un consumo adicional de energía (19°C en edificios de la Admin. Gral. Estado y entidades del sector público institucional estatal según el BOE 8563 Orden PCM/466/2022). En modo refrigeración, no debería ser inferior a 26 °C si implica un consumo adicional de energía (27°C según el BOE 8563 Orden PCM/466/2022, aunque esto implica que no hay un mínimo margen para la regulación).



Figura 1. Temperaturas según normativa.

En el visor desarrollado, la franja de estudio se puede filtrar por: año, mes, día del mes, día de la semana y hora, y en este intervalo se calcula el porcentaje de tiempo en las siguientes franjas de temperatura:

- % tiempo T < 17°C
- % tiempo 17°C < T < 19°C
- % tiempo 19°C < T < 21°C
- % tiempo 21°C < T < 23°C
- % tiempo 23°C < T < 25°C
- % tiempo 25°C < T < 27°C
- % tiempo T > 27°C

En la **visualización por edificios**, se representan dichos porcentajes para cada edificio del campus en la franja de tiempo seleccionada. En primer lugar se calculan los porcentajes para cada sensor del edificio y, posteriormente, se realiza un promedio de todos ellos. A modo de ejemplo, se han representado en la figura 2 los porcentajes citados por edificio del Campus San Francisco, el 26 de enero de 2024 entre las 9 y las 10 h. Esta visualización permite comprobar que en esta franja hay edificios como el de la Residencia de Profesores o el de la UTCE, en los que llega a haber un porcentaje de tiempo en el intervalo de 25 a 27°C, lo que implica una ineficiencia en modo calefacción (si implica consumo de energía), debido a unas temperaturas anormalmente altas. Sin embargo, en edificios como el de la Facultad de Educación, hay un porcentaje de tiempo por debajo de 17°C, lo que podría implicar una falta de confort.

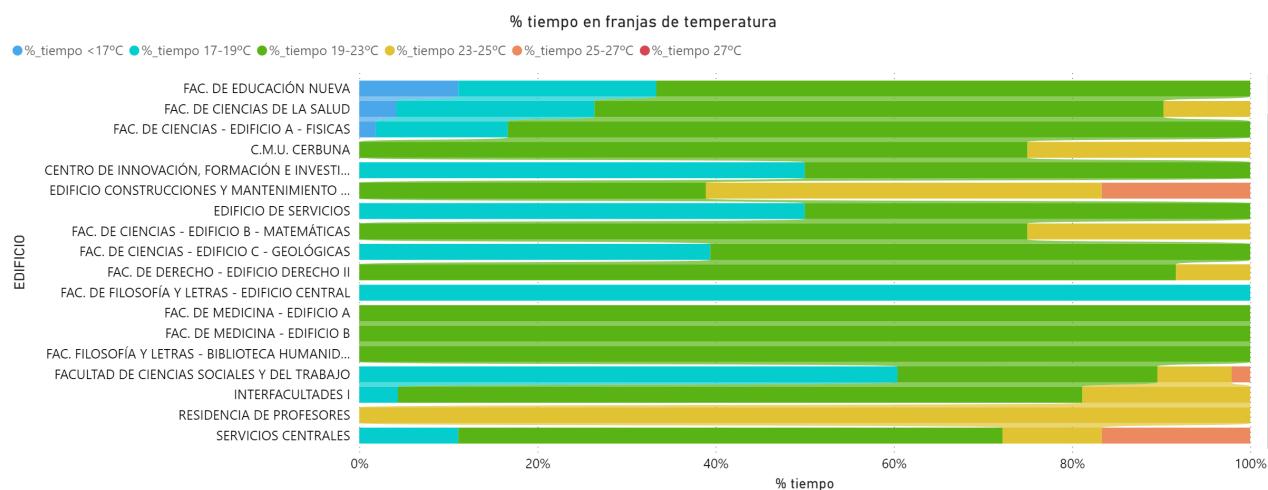


Figura 2. Comparativa de edificios. Ejemplo 26 de enero de 2024 entre las 9 y las 10 h.

La comparativa a nivel de edificios tiene sus limitaciones, puesto que puede haber espacios del edificio monitorizados sin ocupación, que estén enmascarando el porcentaje global al realizar el promedio. Por otra parte, si no hay suficientes sondas de temperatura en el edificio o no están en los lugares más desfavorables, puede ocurrir que la temperatura esté en algunas estancias por encima del umbral, mientras que en otras esté por debajo. Por ello, también se ha habilitado una **comparativa por espacios monitorizados**, como la mostrada en la figura 3. En el edificio de Derecho I, se observa que la sala de juntas está en este intervalo de tiempo seleccionado, en temperaturas por debajo de 17 °C, por lo que parece ser un sala con ocupación ocasional. Sin embargo, en la sala de grados hay un porcentaje de tiempo en la franja de 23 a 25 °C. Como líneas de futuro, se plantea cruzar los datos de ocupación provenientes de la aplicación “Reserva de aulas”, para filtrar en la visualización de edificio sólo aquellos espacios en los que haya o se prevea ocupación en las próximas horas.

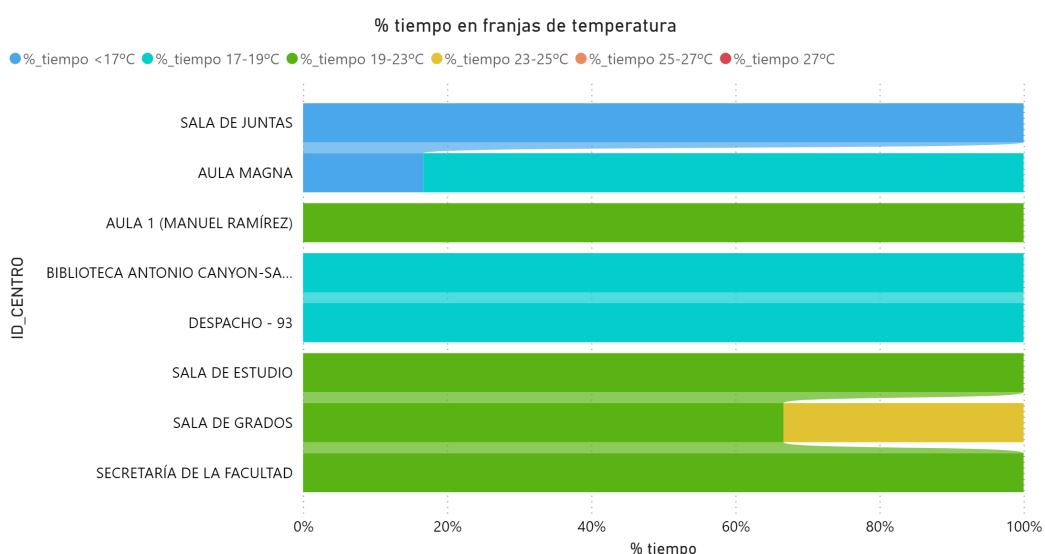


Figura 3. Comparativa de espacios monitorizados. Ejemplo 26 de enero de 2024 entre las 9 y las 10 h en Facultad de Derecho I.

Puede ser interesante tener **información de los espacios más fríos y calientes de un edificio por meses** (entre semana y en horario de apertura), de cara a revisar las instalaciones del edificio o tomar medidas para asegurar el confort y la eficiencia energética. En la pestaña del visor “Comparativa espacios”, se muestran por edificios tablas como las representadas en la figura 4 en la que se ve que la Sala de Juntas está un 23% del tiempo por debajo de 17°C, mientras que el despacho 136 está un 50% del tiempo por encima de 23°C (podría tratarse de un equipo de calefacción individual).

ID_CENTRO	% tiempo por debajo de 17°C				% tiempo por encima de 23°C		
	febrero	marzo	Total		febrero	marzo	Total
SALA DE JUNTAS	20,8 %	24,7 %	22,8 %				
BIBLIOTECA ANTONIO CANYON-SALA	11,8 %	16,8 %	14,3 %				
DERECHO FINANCIERO							
DESPACHO - 93	4,1 %	12,6 %	8,3 %	DESPLAZO - 136	54,7 %	45,2 %	49,7 %
AULA MAGNA	6,4 %	6,0 %	6,2 %	AULA 1 (MANUEL RAMÍREZ)	25,4 %	22,7 %	24,1 %
Total	10,8 %	15,0 %	12,9 %	SALA DE GRADOS	28,3 %	11,8 %	20,1 %
				SALA DE ESTUDIO	0,4 %	30,2 %	15,3 %
				DESPACHO - 148	6,0 %	7,1 %	6,6 %
				Total	22,6 %	23,4 %	23,0 %

Figura 4. Tabla de espacios con un mayor porcentaje de tiempo fuera de los límites. Modo calefacción. Facultad de Derecho I

Otro tipo de análisis interesante es el de la **evolución de los porcentajes por horas**, como se muestra a modo de ejemplo en la figura 5, para el día 26 de enero en el edificio Torres Quevedo. Se observa cómo a partir de las 7 h empieza a disminuir la franja de tiempo por debajo de 17°C. A las 11 h, el porcentaje de tiempo por encima de 23 °C es significativo (40%), debido principalmente al pasillo de dirección, secretarías y al aula 20 (ver figura 6). Por otra parte, se puede analizar cómo se produce el enfriamiento tras el apagado.

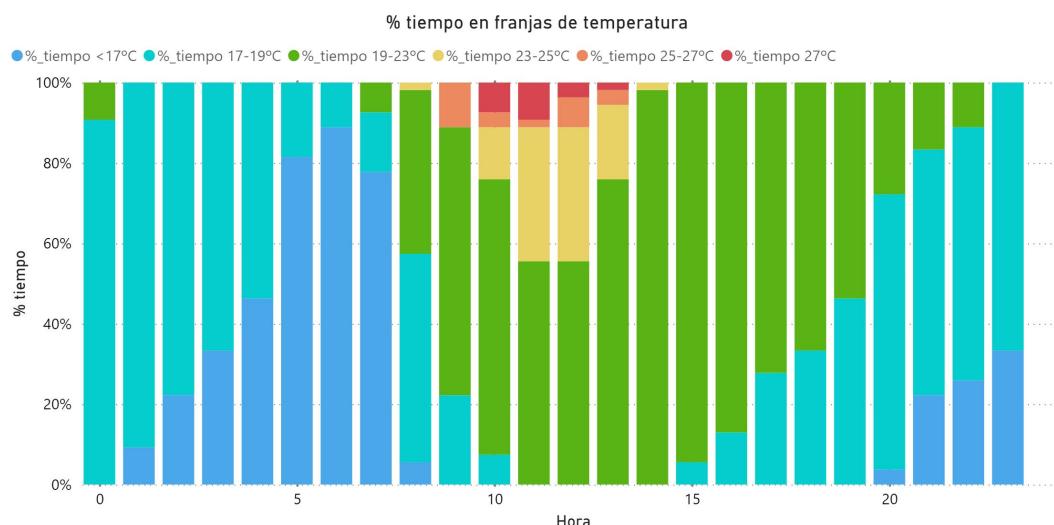


Figura 5. Evolución del porcentaje de tiempo en distintas franjas de temperatura por hora. Edificio Torres Quevedo (26/01/2024).

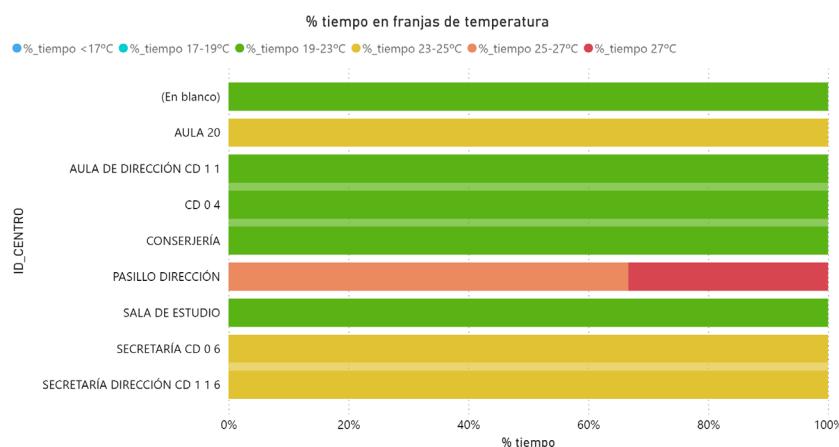


Figura 6. Comparativa de espacios. Torres Quevedo (11 h del 26/01/2024).

3. Conclusiones

Con el fin de analizar los registros de temperatura de un gran volumen de sondas de distintos edificios, se ha desarrollado un apartado en el visor Power Bi, con 4 subapartados en los que se calcula el porcentaje de tiempo en distintas franjas de temperatura:

- **“Evolución por fecha (edificios/espacios)”:** Muestra la evolución de los porcentajes en las franjas de temperatura de un edificio o espacio por:
 - Año
 - Mes
 - Día
 - Hora
- **“Edificios (por campus)”:** Promedio, en el intervalo deseado (año, mes, día del mes, día de la semana u hora), de los porcentajes en las franjas de temperatura por edificio del campus seleccionado.
- **“Espacios (por edificios y campus)”:** Promedio, en el intervalo deseado, de porcentajes en franjas de temperatura por espacios del edificio seleccionado.
- **“Espacios desfavorables (por edificios y campus)”:** Espacios más desfavorables, es decir, con mayores porcentajes de tiempo por debajo de 17°C (falta de confort) y por encima de 23°C (posible consumo de energía innecesario) por meses.

Este visor permite:

- Conocer el estado de los edificios en un instante o periodo de tiempo dado, verificando si están en rangos de temperatura adecuados.
- Poder verificar si los horarios de climatización planteados son los adecuados. Estudiar el efecto del apagado al mediodía.
- Detectar anomalías en espacios concretos o errores en los sensores.
- Analizar la evolución de las temperaturas del conjunto del edificio o de espacios concretos (enfriamiento o calentamiento).

4. Líneas de futuro

- Para calcular los porcentajes filtrando únicamente aquellos espacios en los que haya o se prevea ocupación en las próximas horas, sería interesante vincular los datos de ocupación provenientes de la aplicación “Reserva de aulas” o de sensores de ocupación (en caso de que haya).
- Analizar los datos de temperatura por plantas, orientación del edificio o tipo de uso.
- Incluir en estos gráficos la temperatura exterior.

Informe IAQ Hospital Sala 1.

Para cualquier duda sobre este informe contactar con: Belen Zalba (bzalba@unizar.es) o Miguel García-Monge (775676@unizar.es)

Contenido

Periodo estudiado	1
1. Monitorización de CO ₂	2
Sobre la medición de CO ₂	2
Gráficas CO ₂	2
2. Monitorización de Temperatura.....	4
Sobre la medición de temperatura	4
Gráficas temperatura	4
3. Monitorización de partículas	5
Sobre la medición de partículas.....	5
4. Monitorización de compuestos orgánicos volátiles (COVs)	6
Sobre la medición de compuestos orgánicos volátiles (COVs)	6
Gráficas COVs.....	6
Conclusiones	7

Periodo estudiado

Del 25 de agosto a 28 de septiembre de 2023.

Se ha considerado el siguiente horario: De 7 a 22 h.

Los porcentajes de tiempo de los distintos parámetros se refieren al citado horario, aunque los días sin ocupación (CO₂<550) son excluidos para el cálculo de los porcentajes.

1. Monitorización de CO₂

Sobre la medición de CO₂

- A. Gracias a la monitorización de CO₂ se puede afirmar que durante el periodo analizado los espacios en los que se han realizado las medidas han estado dentro de los intervalos de seguridad.
- B. Salvo el día 31 de agosto, los valores de CO₂ han sido inferiores a 1000 ppm, esto implica que solamente un 1,5% del aire respirado ha sido previamente respirado por otras personas. En general, el máximo diario se sitúa por debajo de 800 ppm.
- C. Por tanto, tal y como era de esperar, **un buen sistema de ventilación (doble flujo con recuperación de calor) proporciona la seguridad buscada en cuanto a contagio por aerosoles y con estos datos se puede demostrar.**
- D. Nota: Se observa que no hay ocupación los domingos, al registrarse un máximo inferior a 500 ppm.
- E. Posibles líneas de futuro.
 - Decidir espacios a monitorizar y ubicación de los sensores a colocar.
 - Averiguar si la climatización funciona 24 horas. Puede ser preocupante lo que ocurre cuando la climatización está apagada. A través de los conductos de climatización puede circular aire entre diversas estancias. Una habitación no está aislada del resto por tener la puerta cerrada, salvo que la climatización esté encendida y los caudales de aire fluyan en la dirección para la que han sido diseñados.

Gráficas CO₂

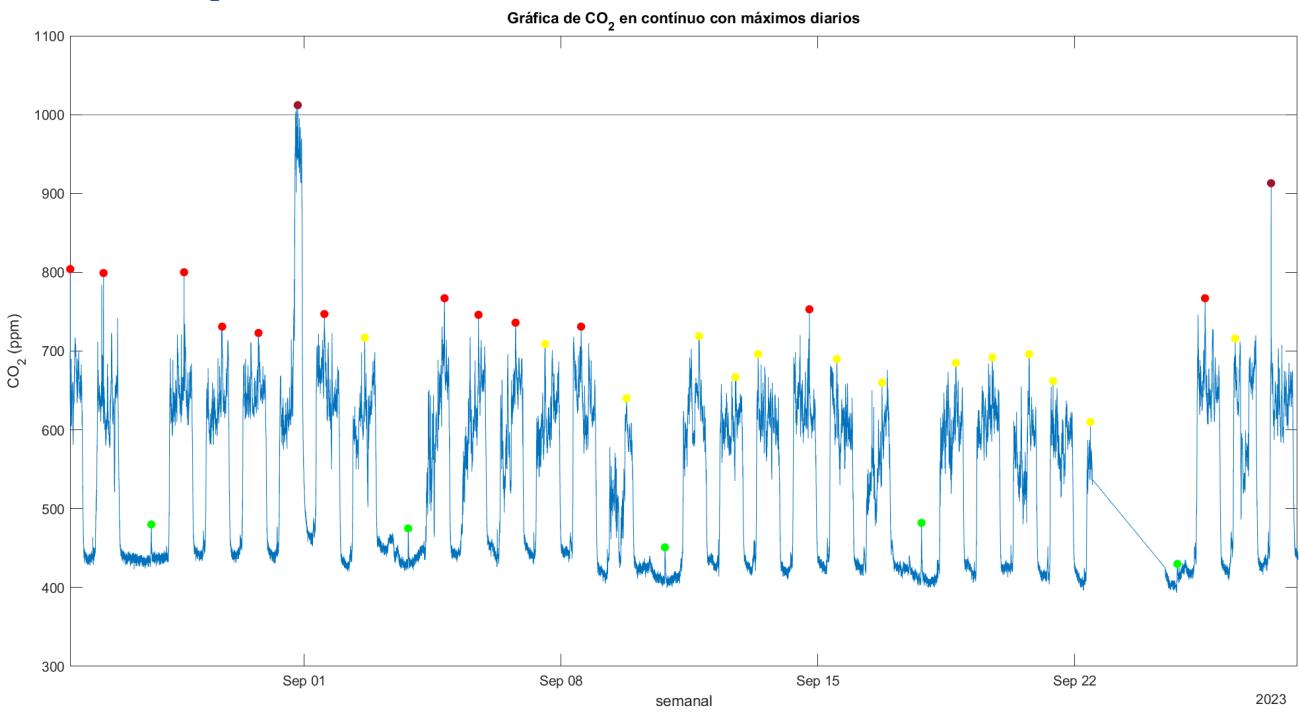


Figura 1. Evolución del CO₂ y máximos diarios, del viernes 25 de agosto hasta el jueves 28 de septiembre.

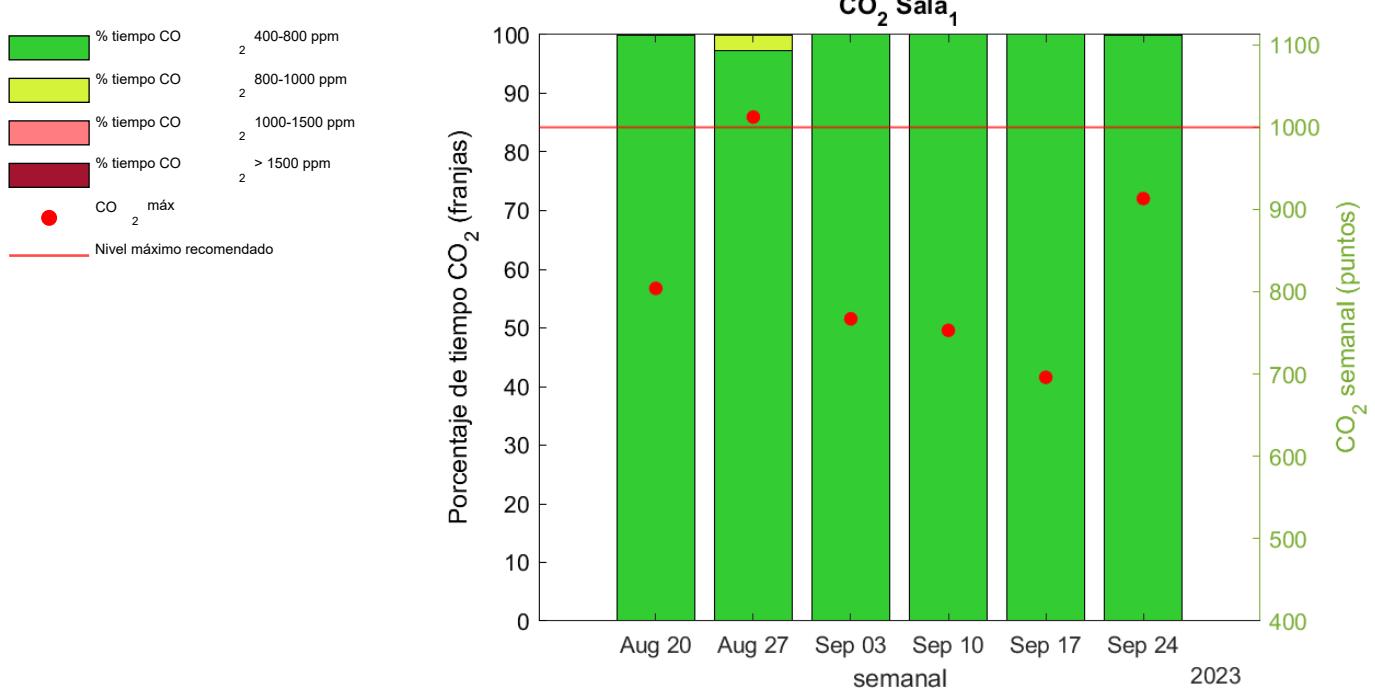


Figura 2. Porcentaje de tiempo en el que el CO₂ se encuentra en los intervalos indicados en la leyenda y máximos. Semanalmente del viernes 25 de agosto hasta el jueves 28 de septiembre. Horario: De 7 a 22 h

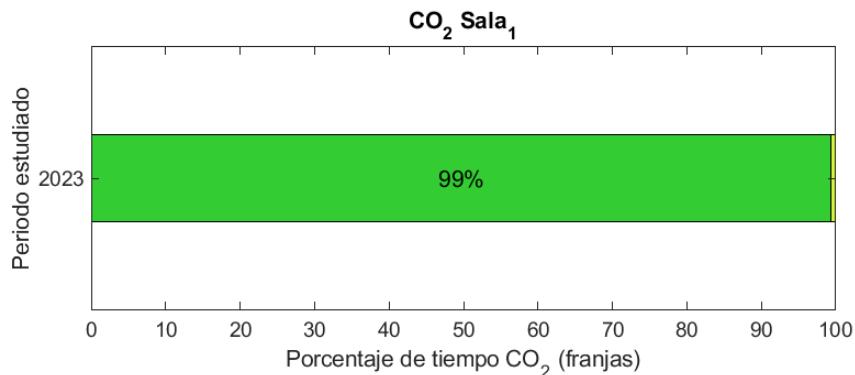


Figura 3. Porcentaje de tiempo en el que el CO₂ se encuentra en los intervalos indicados en la leyenda en todo el periodo. Horario: De 7 a 22 h

2. Monitorización de Temperatura

Sobre la medición de temperatura

- A. En el 91 % del periodo de tiempo analizado la temperatura ha sido inferior a 27°C (límite fijado por el Real Decreto RD-I 14/2022).
- B. La semana del 11 y 18 de septiembre se alcanzaron temperaturas altas con un 20-30% del tiempo por encima de 27°C. Los valores máximos registrados se sitúan en torno a 28-29°C. Sería conveniente estudiar la causa de estas temperaturas, que han podido provocar falta de confort.
- C. Las temperaturas por debajo de 23°C son relevantes, hasta un 25% en la franja 21-23°C en la semana del 17 de septiembre (figura 5a). Esto indica un posible derroche de energía si esa bajada de temperatura es con debida a la instalación de climatización. Otra opción es que estas franjas de menor temperatura coincidan con periodos de ventilación natural (free-cooling).

Gráficas temperatura

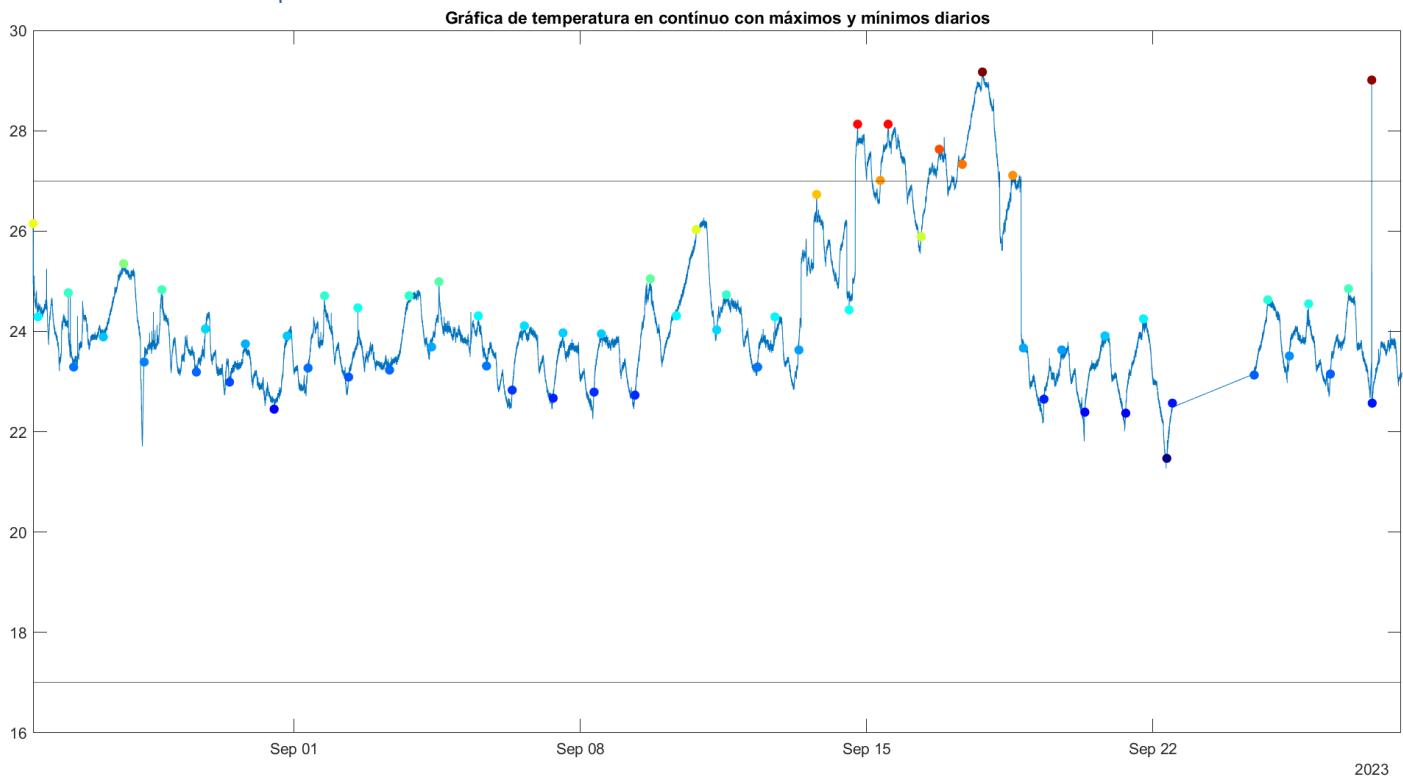


Figura 4. Evolución de la temperatura y máximos y mínimos diarios, del viernes 25 de agosto hasta el jueves 28 de septiembre.

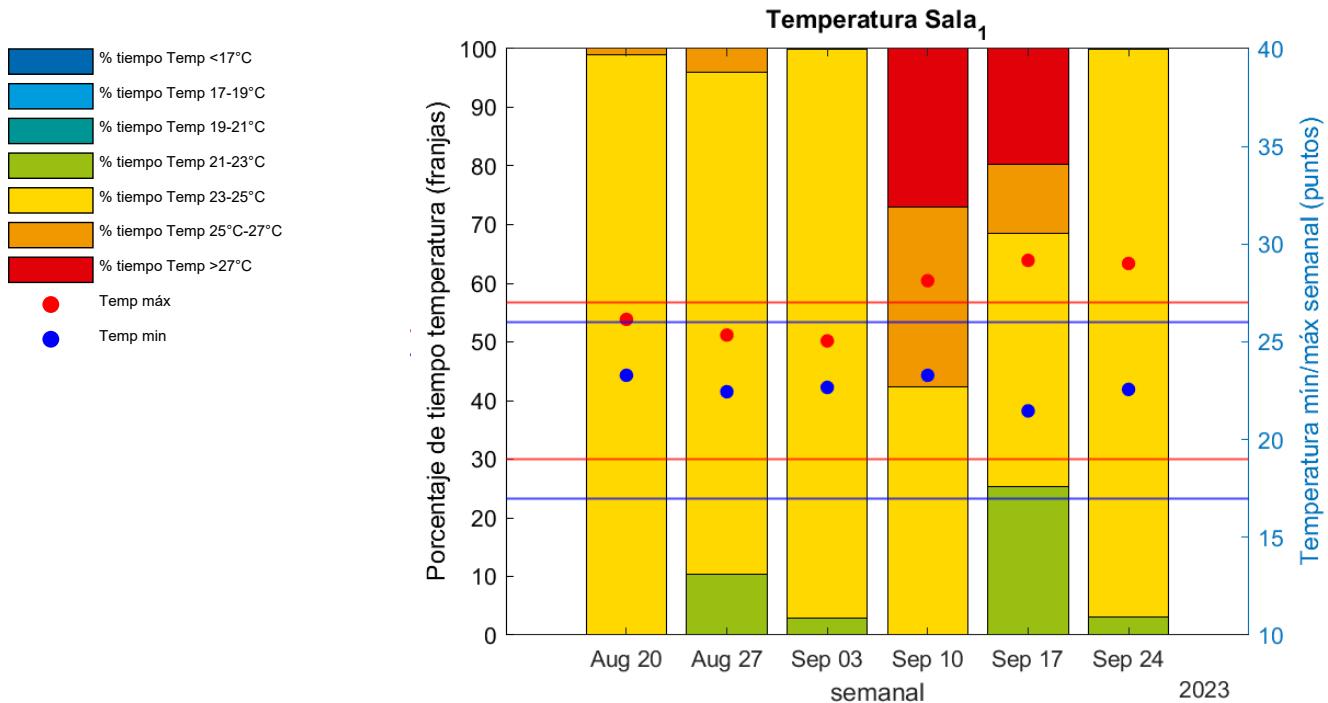


Figura 5. Porcentaje de tiempo en el que la temperatura se encuentra en los intervalos indicados en la leyenda y máximos y mínimos. Semanalmente del viernes 25 de agosto hasta el jueves 28 de septiembre. Horario: De 7 a 22 h

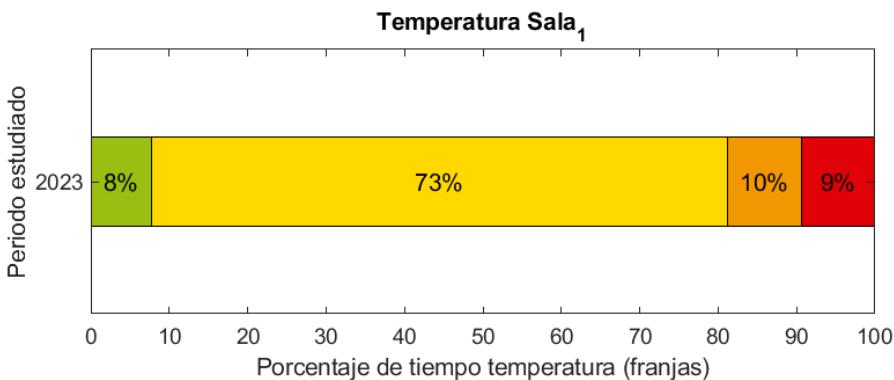


Figura 6. Porcentaje de tiempo en el que la temperatura se encuentra en los intervalos indicados en la leyenda en todo el periodo.

3. Monitorización de partículas

Sobre la medición de partículas

- Prácticamente el 100 % del tiempo los niveles de partículas han sido bajos. Esto es un dato muy favorable en sí mismo y también si se piensa en las partículas como “vehículos” en los que se pueden transportar los aerosoles infecciosos. **Por tanto, las mediciones han servido para verificar que el sistema de filtración es adecuado y está funcionando correctamente.**
- Hay un pico el viernes 1 de septiembre (16:54 h). Se podría intentar investigar las causas (tareas de limpieza...).

4. Monitorización de compuestos orgánicos volátiles (COVs)

Sobre la medición de compuestos orgánicos volátiles (COVs)

- A. Alrededor del 50 % del tiempo (7 a 22 h), los COVs están en valores medios (en la franja 220-660 ppb: no recomendados para una exposición continua) y el 6% del tiempo supera los 660 ppb. Por tanto, sería conveniente reducir estos niveles, buscando las causas que los producen.
- B. Se alcanzan picos de hasta 3200 ppb, como se muestra en la figura 7, a lo largo de todo el periodo.
- C. Posibles líneas de futuro: Seguir investigando sobre las fuentes (productos de limpieza, ambientadores, perfumes, tratamientos médicos, mobiliario, cocinas...) de COVs en base a las horas en los que se producen los picos cada semana y en cada ubicación.

Gráficas COVs

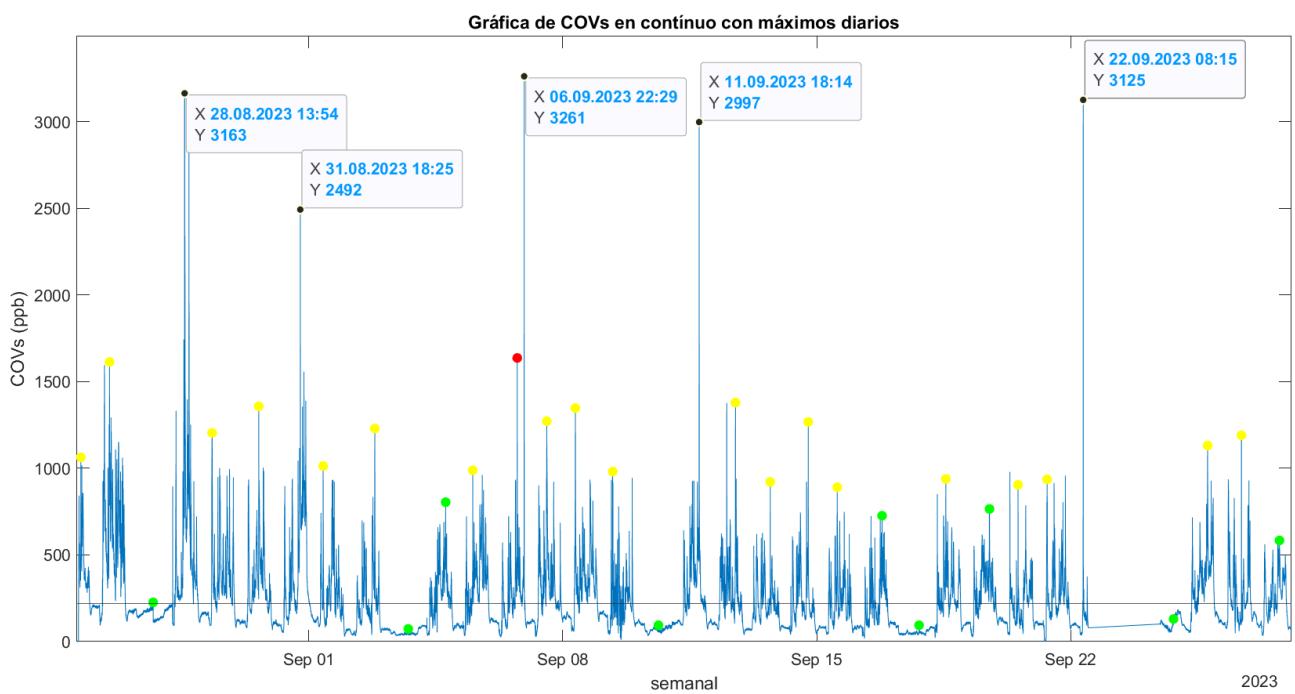


Figura 7. Evolución de los COVs y máximos diarios, del viernes 25 de agosto hasta el jueves 28 de septiembre.

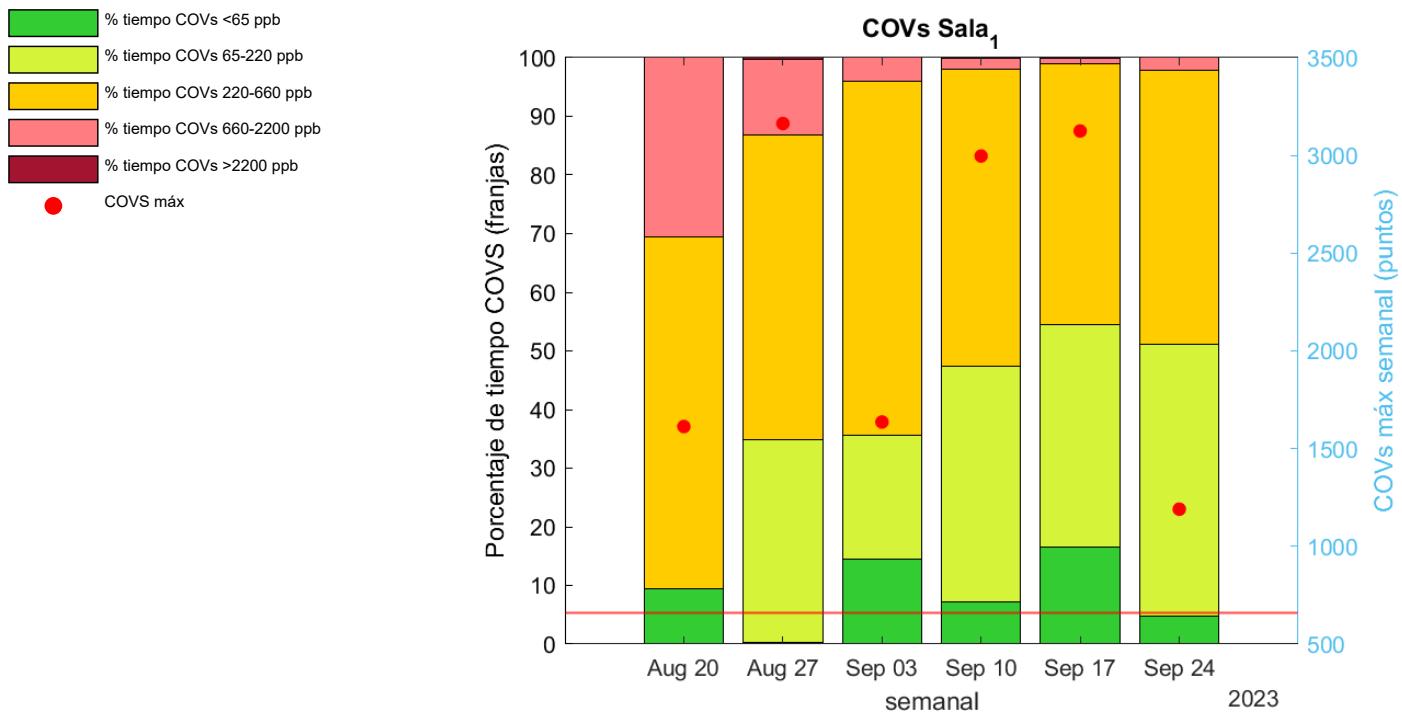


Figura 8. Porcentaje de tiempo en el que los COVs se encuentran en los intervalos indicados en la leyenda y máximos. Semanalmente del martes 25 de julio hasta el martes 5 de septiembre.

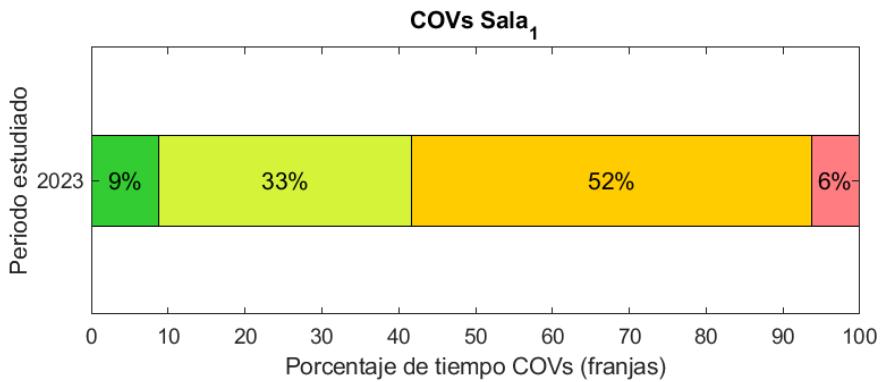


Figura 9. Porcentaje de tiempo en el que los COVs se encuentran en los intervalos indicados en la leyenda en todo el periodo.

Conclusiones

Estas primeras mediciones han servido para verificar el buen funcionamiento de las instalaciones y que en la mayoría de los casos se garantizan las condiciones de confort y seguridad para la salud, sobre todo en cuanto a valores de CO₂. También se ha detectado que hay oportunidades de mejora en cuanto a ahorro de energía y COVs.

Informe IAQ Hospital Sala 2.

Para cualquier duda sobre este informe contactar con: Belén Zalba (bzalba@unizar.es) o Miguel García-Monge (775676@unizar.es)

Contenido

Periodo estudiado	1
1. Monitorización de CO ₂	2
Sobre la medición de CO ₂	2
Gráficas CO ₂	2
2. Monitorización de Temperatura.....	4
Sobre la medición de temperatura	4
Gráficas temperatura	4
3. Monitorización de partículas	6
Sobre la medición de partículas.....	6
4. Monitorización de compuestos orgánicos volátiles (COVs)	7
Sobre la medición de compuestos orgánicos volátiles (COVs)	7
Gráficas COVs.....	7
Conclusiones	8

Periodo estudiado

Del 25 de agosto a 28 de septiembre de 2023.

Se ha considerado el siguiente horario: De 7 a 22 h.

Los porcentajes de tiempo de los distintos parámetros se refieren al citado horario, aunque los días sin ocupación (CO₂<550) son excluidos para el cálculo de los porcentajes.

1. Monitorización de CO₂

Sobre la medición de CO₂

- A. Gracias a la monitorización de CO₂ se puede afirmar que durante el periodo analizado los espacios en los que se han realizado las medidas han estado dentro de los intervalos de seguridad.
- B. En general, el máximo diario se sitúa por debajo de 800 ppm. Al igual que en la sala 1, el 31 de agosto, se registró un máximo ligeramente superior (933 ppm), aunque salvo el día 27 de septiembre, los valores de CO₂ han sido inferiores a 1000 ppm. Esto implica que solamente un 1,5% del aire respirado ha sido previamente respirado por otras personas.
- C. Por tanto, tal y como era de esperar, **un buen sistema de ventilación (doble flujo con recuperación de calor) proporciona la seguridad buscada en cuanto a contagio por aerosoles y con estos datos se puede demostrar.**
- D. Nota: Se observa que no hay ocupación los domingos, al registrarse un máximo inferior a 500 ppm.
- E. Posibles líneas de futuro.
 - Decidir espacios a monitorizar y ubicación de los sensores a colocar.
 - Averiguar si la climatización funciona 24 horas. Puede ser preocupante lo que ocurre cuando la climatización está apagada. A través de los conductos de climatización puede circular aire entre diversas estancias. Una habitación no está aislada del resto por tener la puerta cerrada, salvo que la climatización esté encendida y los caudales de aire fluyan en la dirección para la que han sido diseñados.

Gráficas CO₂

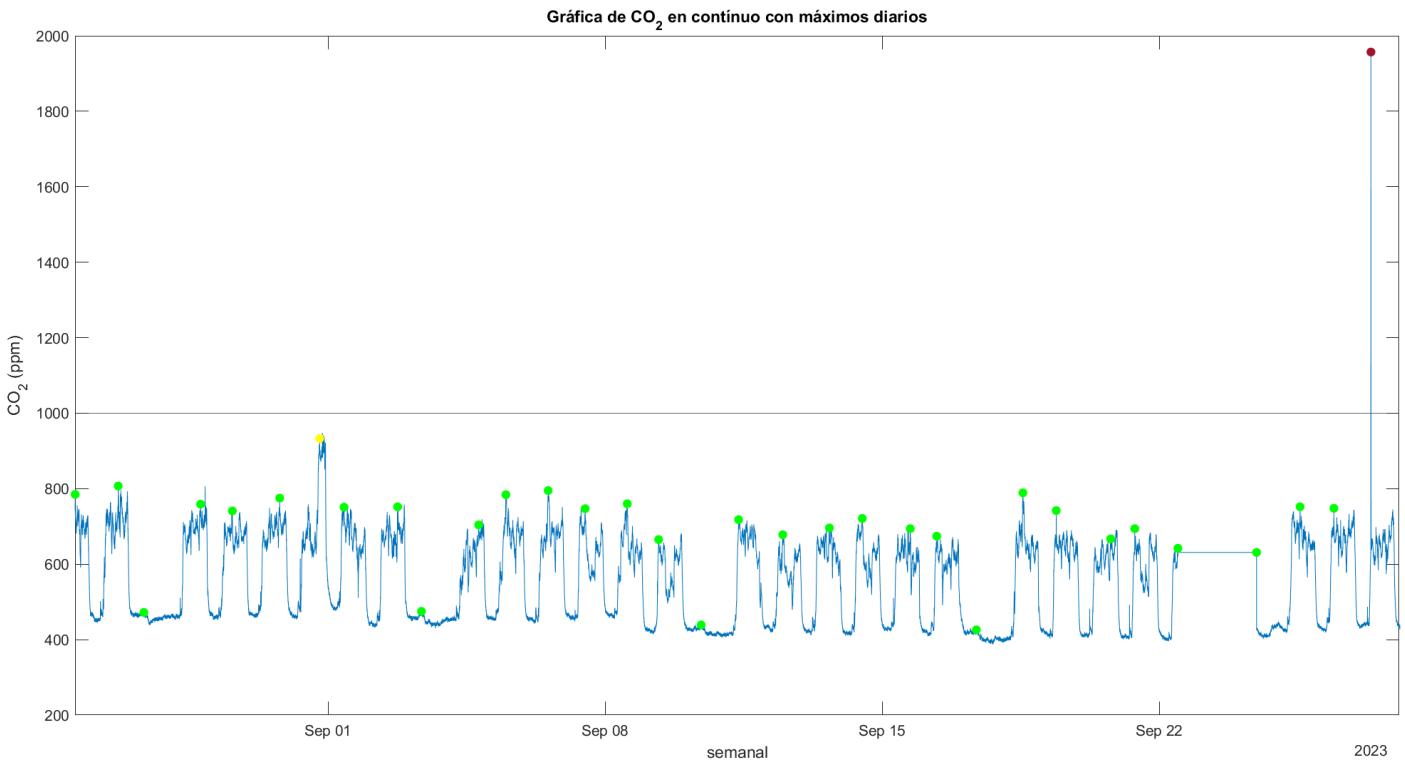


Figura 1. Evolución del CO₂ y máximos diarios, del viernes 25 de agosto hasta el jueves 28 de septiembre.

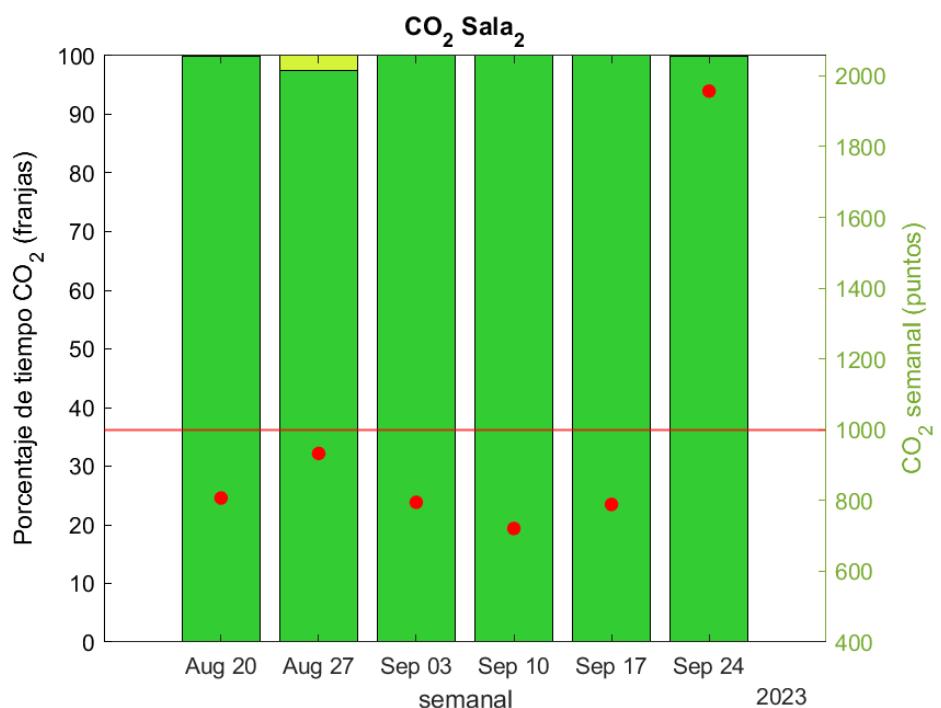
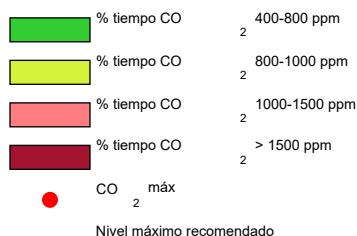


Figura 2. Porcentaje de tiempo en el que el CO₂ se encuentra en los intervalos indicados en la leyenda y máximos. Semanalmente del viernes 25 de agosto hasta el jueves 28 de septiembre. Horario: De 7 a 22 h

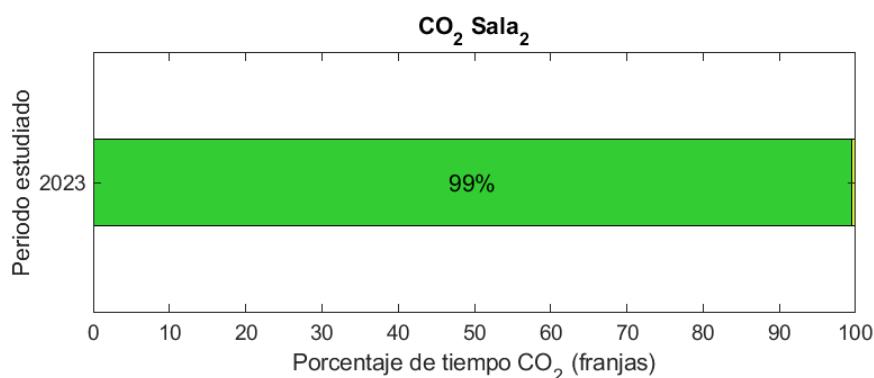


Figura 3. Porcentaje de tiempo en el que el CO₂ se encuentra en los intervalos indicados en la leyenda en todo el periodo. Horario: De 7 a 22 h

2. Monitorización de Temperatura

Sobre la medición de temperatura

- A. En el 94 % del periodo de tiempo analizado la temperatura ha sido inferior a 27°C (límite fijado por el Real Decreto RD-I 14/2022).
- B. La semana del 4 y la del 11 de septiembre se alcanzaron temperaturas altas, con un 15% del tiempo por encima de 27°C, alcanzando 34°C de máxima el viernes 15 de septiembre (temperaturas más elevadas que en la sala 1). Sería conveniente estudiar la causa de estas temperaturas, que han podido provocar falta de confort.
- C. Las temperaturas por debajo de 23°C no son relevantes. Aunque habría potencial de ahorro de energía en la franja 23-25°C, que supone en global un 34% del tiempo.

Gráficas temperatura

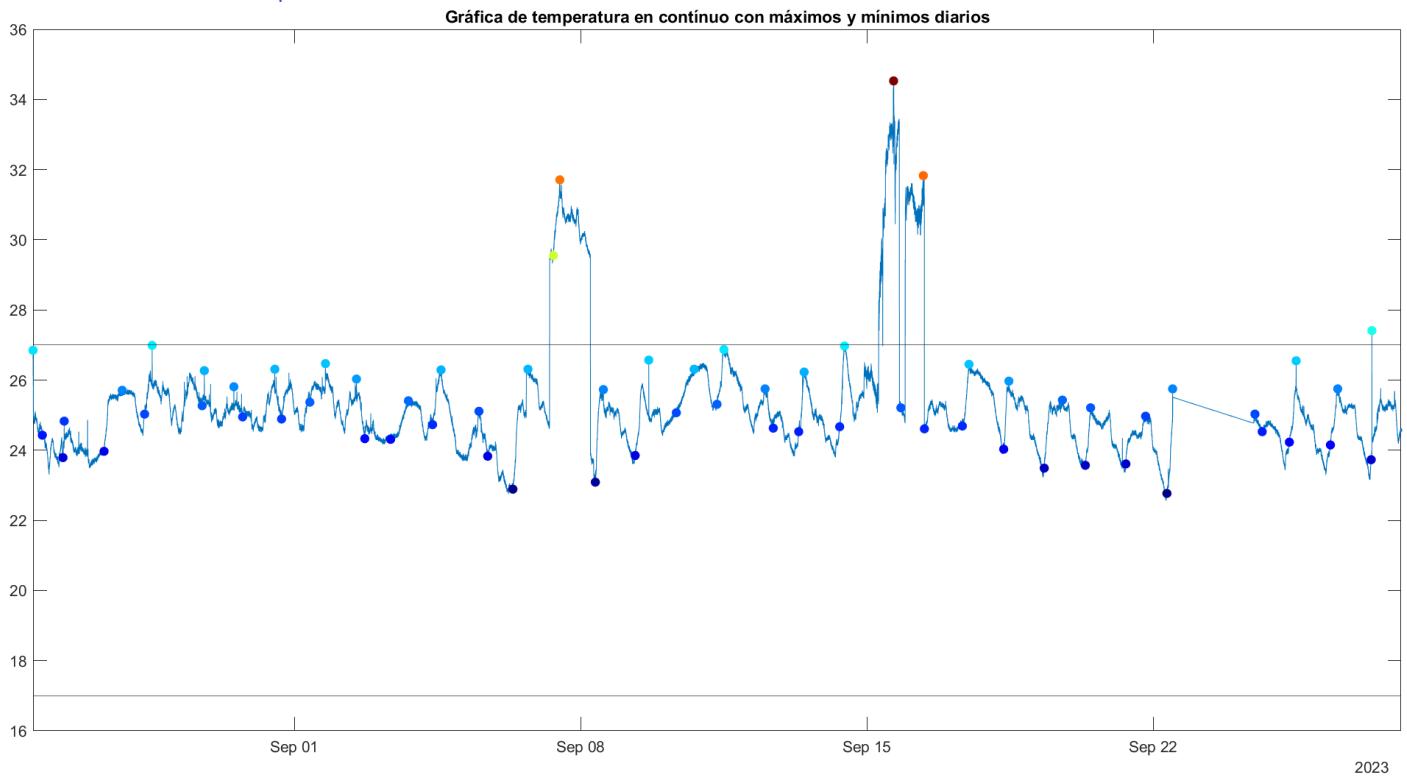


Figura 4. Evolución de la temperatura y máximos y mínimos diarios, del viernes 25 de agosto hasta el jueves 28 de septiembre.

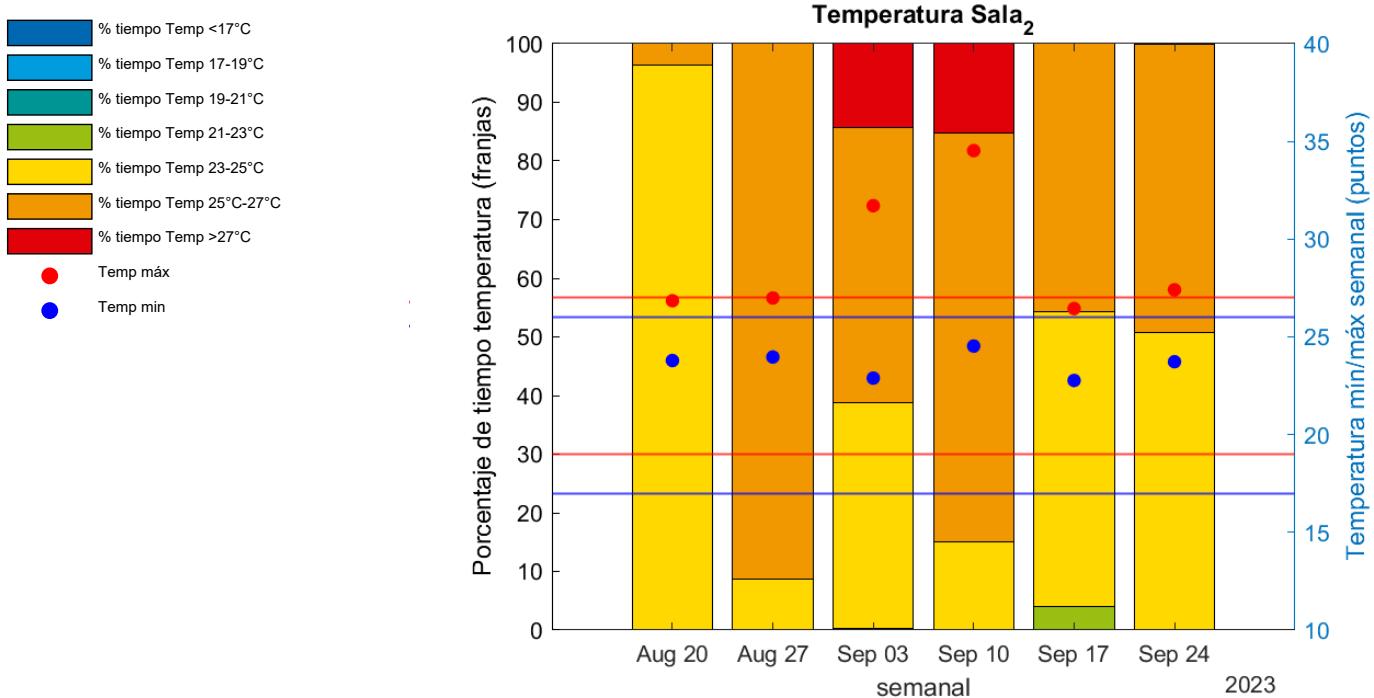


Figura 5. Porcentaje de tiempo en el que la temperatura se encuentra en los intervalos indicados en la leyenda y máximos y mínimos. Semanalmente del viernes 25 de agosto hasta el jueves 28 de septiembre. Horario: De 7 a 22 h

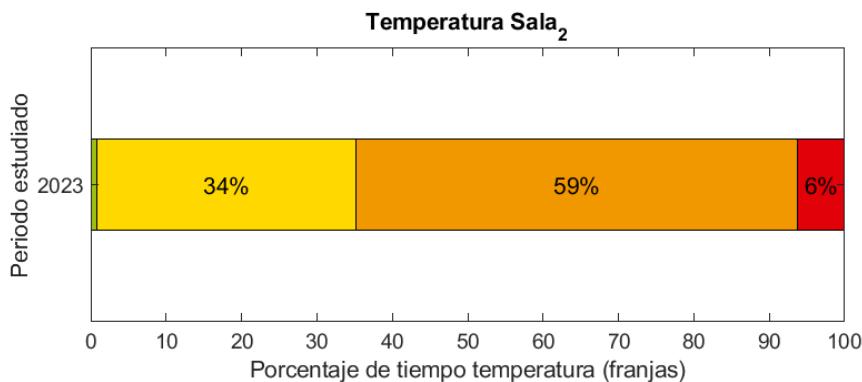


Figura 6. Porcentaje de tiempo en el que la temperatura se encuentra en los intervalos indicados en la leyenda en todo el periodo.

3. Monitorización de partículas

Sobre la medición de partículas

- A. Prácticamente el 100 % del tiempo los niveles de partículas han sido bajos. Si bien, entre el 25 y 27 de septiembre se han registrado picos elevados.
- B. Se podría intentar investigar las causas (tareas de limpieza...).

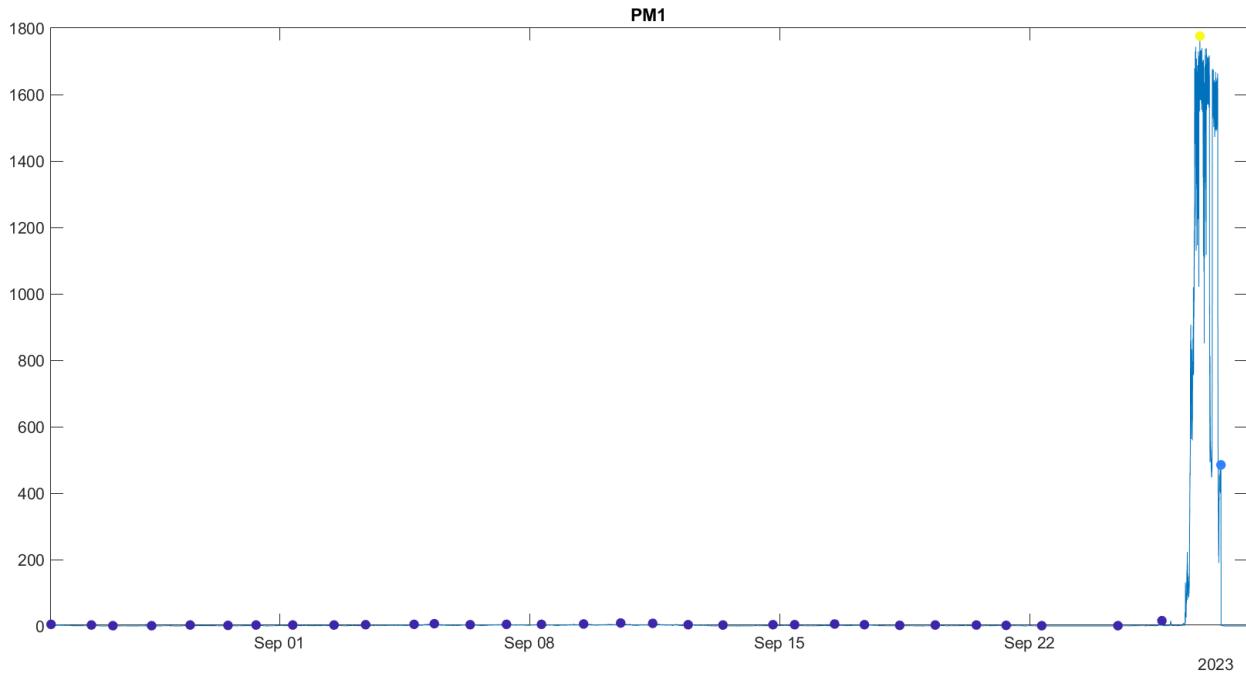


Figura 7. Evolución de las partículas PM1, del viernes 25 de agosto hasta el jueves 28 de septiembre.

4. Monitorización de compuestos orgánicos volátiles (COVs)

Sobre la medición de compuestos orgánicos volátiles (COVs)

- A. Un 58 % del tiempo (7 a 22 h), los COVs están en valores medios (en la franja 220-660 ppb: no recomendados para una exposición continua) y el 5% del tiempo supera los 660 ppb. Por tanto, sería conveniente reducir estos niveles, buscando las causas que los producen.
- B. Se alcanzan picos de hasta 3100 ppb, como se muestra en la figura 8, aunque sólo durante algunos días de agosto. Posteriormente los máximos se han situado en torno a 1000 – 1500 ppb.
- C. Posibles líneas de futuro: Seguir investigando sobre las fuentes (productos de limpieza, ambientadores, perfumes, tratamientos médicos, mobiliario, cocinas...) de COVs en base a las horas en los que se producen los picos cada semana y en cada ubicación.

Gráficas COVs

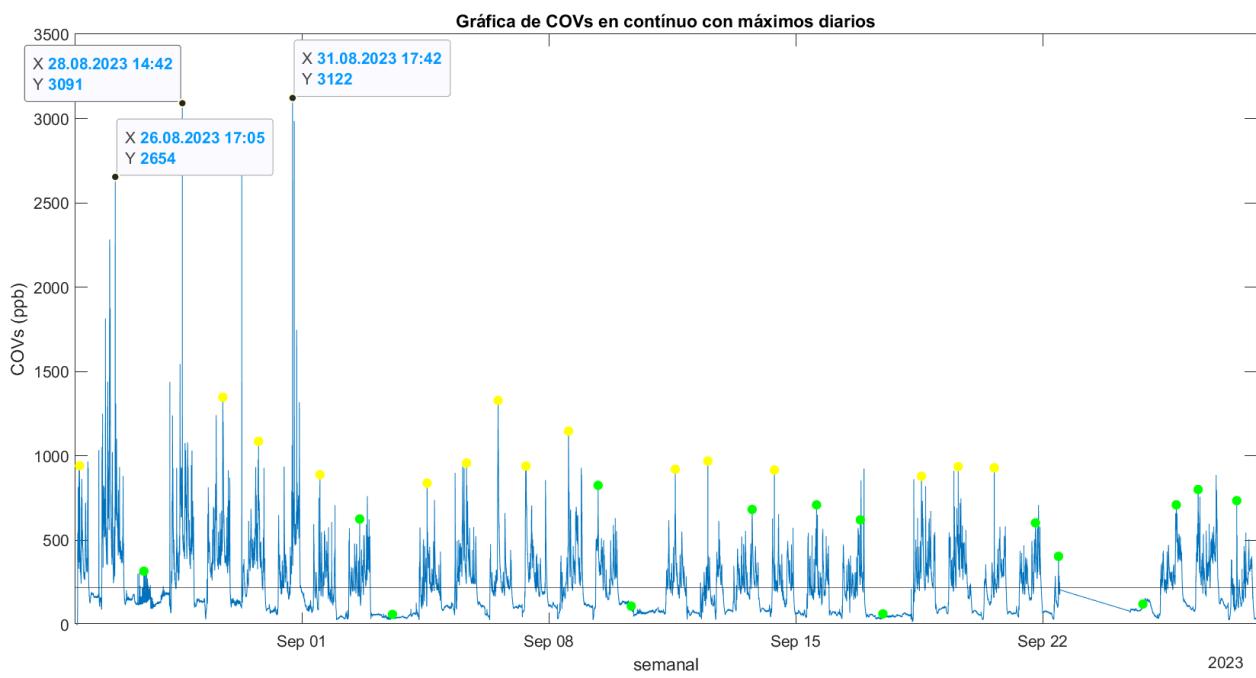


Figura 8. Evolución de los COVs y máximos diarios, del viernes 25 de agosto hasta el jueves 28 de septiembre.

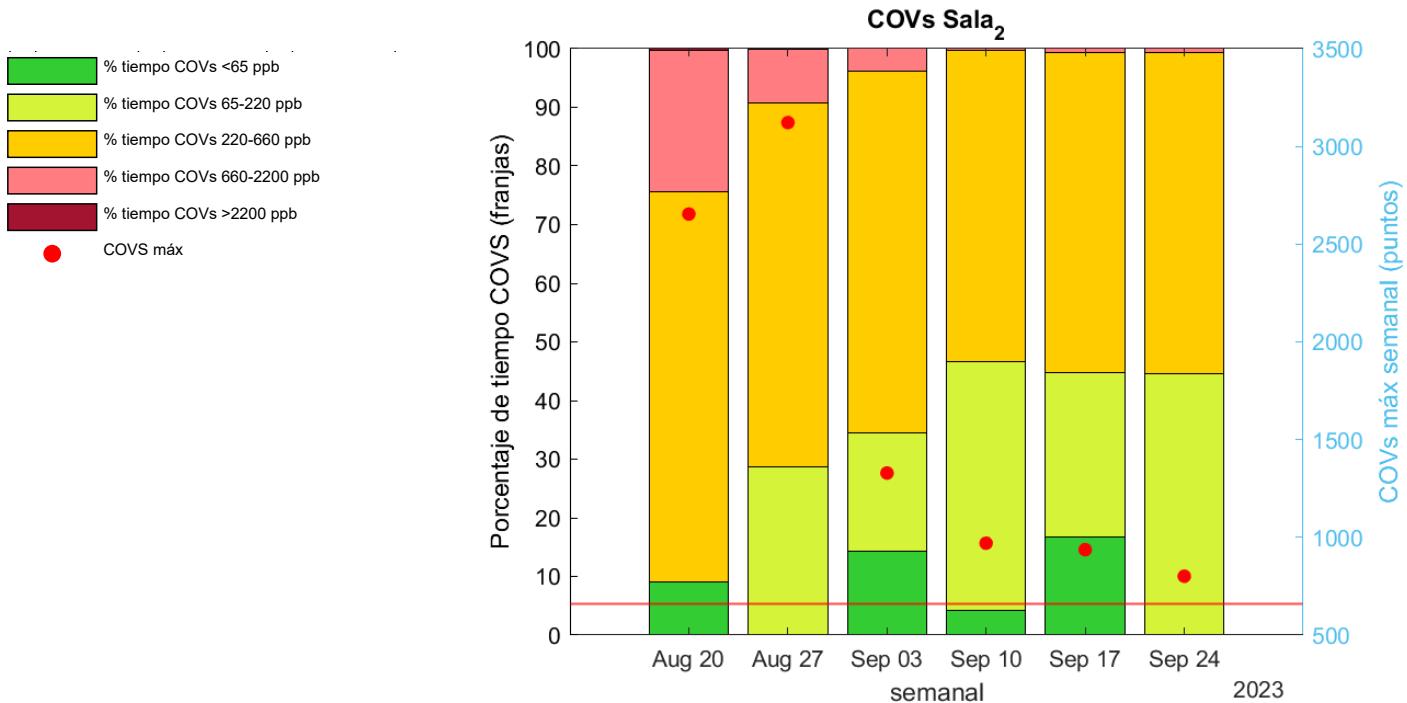


Figura 9. Porcentaje de tiempo en el que los COVs se encuentran en los intervalos indicados en la leyenda y máximos. Semanalmente del martes 25 de julio hasta el martes 5 de septiembre.

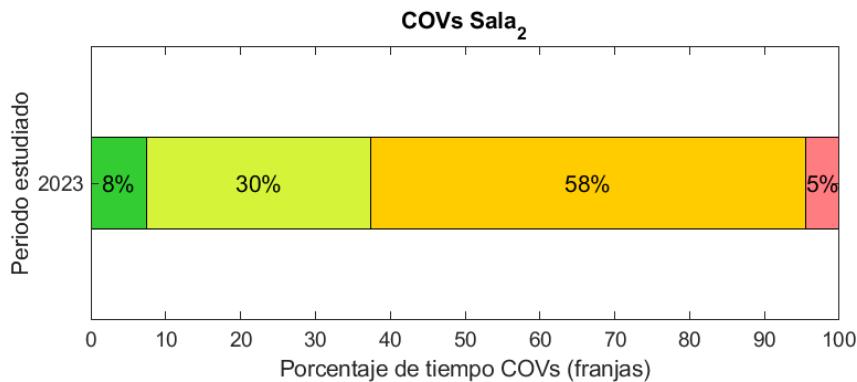


Figura 10. Porcentaje de tiempo en el que los COVs se encuentran en los intervalos indicados en la leyenda en todo el periodo.

Conclusiones

Estas primeras mediciones han servido para verificar el buen funcionamiento de las instalaciones y que en la mayoría de los casos se garantizan las condiciones de confort y seguridad para la salud, sobre todo en cuanto a valores de CO₂. También se ha detectado que hay oportunidades de mejora en cuanto a ahorro de energía y COVs.

Informe IAQ residencia 2 - Sensor MICA.

Para cualquier duda sobre este informe contactar con: Belen Zalba (bzalba@unizar.es) o Miguel García-Monge (775676@unizar.es)

Contenido

Periodo estudiado	1
1. Monitorización de CO ₂	2
Sobre la medición de CO ₂	2
Gráficas CO ₂	2
2. Monitorización de Temperatura.....	4
Sobre la medición de temperatura	4
Gráficas temperatura	4
3. Monitorización de partículas	6
Sobre la medición de partículas.....	6
4. Monitorización de compuestos orgánicos volátiles (COVs)	7
Sobre la medición de compuestos orgánicos volátiles (COVs)	7
Gráficas COVs.....	7
Conclusiones	10

Periodo estudiado

Del 25 de julio a 5 de septiembre

- Martes 25 de julio (Sala de visitas ambas residencias)
- 1 de agosto (Sala de convivencia de unas 30 personas ambas residencias)
- 8 de agosto (Sala de convivencia de unas 20 personas ambas residencias)
- 14 de agosto (Gimnasio de la residencia ambas residencias)
- 22 de agosto (Unidad de convivencia de 35 personas ambas residencias)
- 29 de agosto (unidad de convivencia de 30 personas ambas residencias)

1. Monitorización de CO₂

Sobre la medición de CO₂

- A. Gracias a la monitorización de CO₂ se puede afirmar que durante el periodo analizado los espacios en los que se han realizado las medidas han estado dentro de los intervalos de seguridad. El 99,85% del tiempo los valores de CO₂ han sido inferiores a 800 ppm, unos **valores sorprendentemente buenos**.
- B. Nota: Entre los días 12 y 24 de agosto, no hay **registro de datos** de ningún tipo, por lo que el análisis no se ha realizado para esos días.
- C. Posibles líneas de futuro.
 - Decidir espacios a monitorizar y ubicación de los sensores a colocar.
 - Solicitar información técnica sobre el sistema de calefacción, refrigeración y ventilación.
 - Averiguar si la climatización funciona 24 horas. Puede ser preocupante lo que ocurre cuando la climatización está apagada. A través de los conductos de climatización puede circular aire entre diversas estancias. Una habitación no está aislada del resto por tener la puerta cerrada, salvo que la climatización esté encendida y los caudales de aire fluyan en la dirección para la que han sido diseñados.
 - Monitorizar esta residencia con otro sensor de CO₂, para contrastar estos resultados tan bajos.

Gráficas CO₂

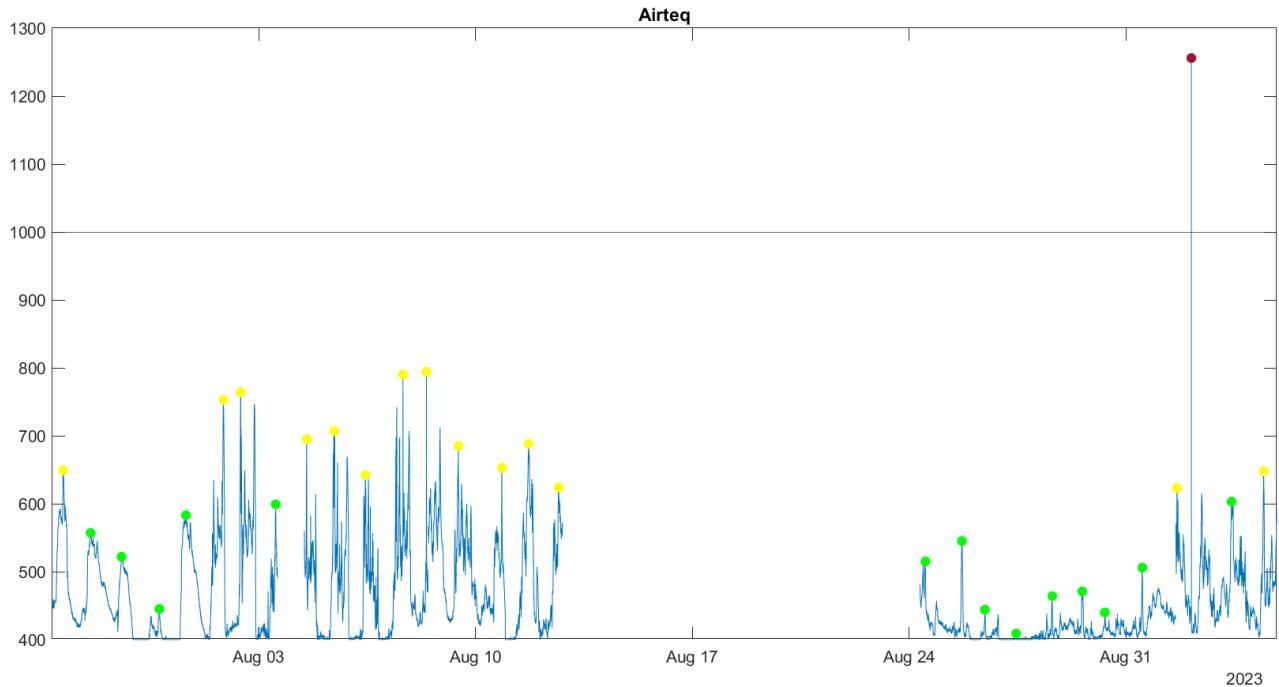


Figura 1. Evolución del CO₂ y máximos diarios, del martes 25 de julio hasta el martes 5 de septiembre.

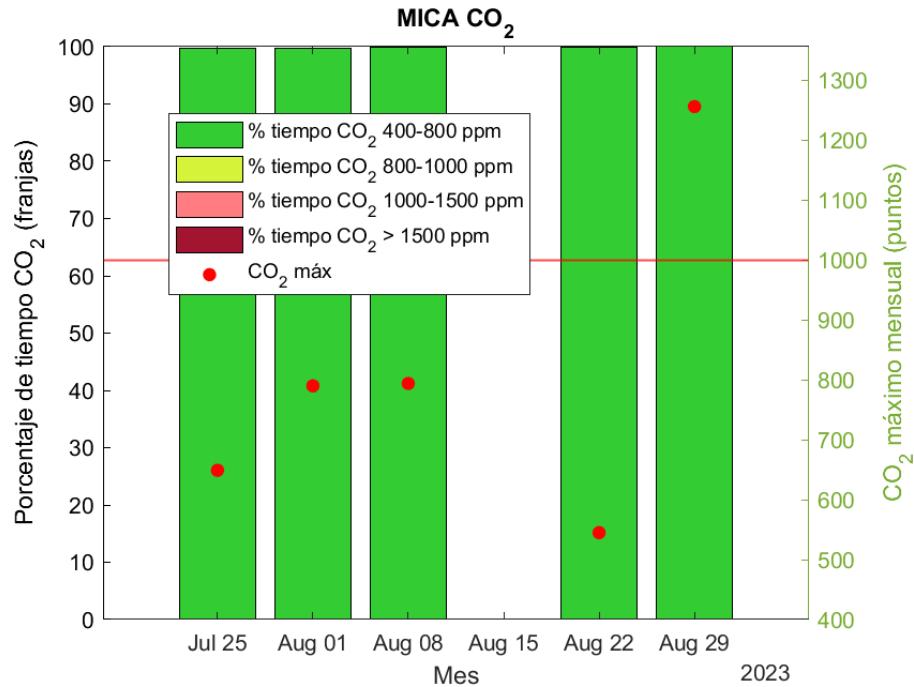


Figura 2. Porcentaje de tiempo en el que el CO₂ se encuentra en los intervalos indicados en la leyenda y máximos. Semanalmente del martes 25 de julio hasta el martes 5 de septiembre.

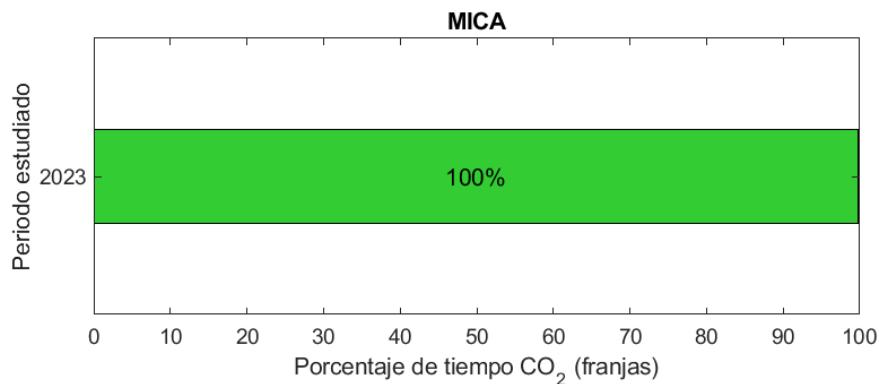


Figura 3. Porcentaje de tiempo en el que el CO₂ se encuentra en los intervalos indicados en la leyenda en todo el periodo.

2. Monitorización de Temperatura

Sobre la medición de temperatura

- A. Se pone de manifiesto que el 97 % del periodo de tiempo analizado la temperatura ha sido inferior a 27°C (límite fijado por el Real Decreto RD-I 14/2022). Por tanto, se han cumplido totalmente las condiciones de confort. Es un buen resultado, no ha sido un verano suave, olas de calor incluidas.
- B. Llama la atención que los mínimos de temperatura (figura 7) suelen ocurrir durante el día, además de a primera hora de la mañana. Se observa que la temperatura es inferior por el día.
- C. En la figura 5b (horario de 11:00 a las 20:00 h), se aprecia que en semanas como la del 25 de julio y el 1 de agosto, las temperaturas por debajo de 23°C son muy significativas (alrededor del 50% en la franja 21-23°C). Esto indica un derroche de energía, ya que esa bajada de temperatura es debida a la instalación de climatización y no por free-cooling, al ser la temperatura exterior alta.
- D. En la figura 5b también se observa que existe un gran número de horas en las que la temperatura interior se encuentra en la franja 23-25 °C en horario 11:00 a las 20:00 h. **Por tanto, existe un importante potencial de ahorro de energía.**
- E. Los días 9, 10 y 11 de agosto (sala de convivencia de unas 20 personas), se alcanzaron temperaturas cercanas a los 28°C a las 21 h. Sería conveniente revisar que el sistema de climatización funciona correctamente en este espacio o, en caso de que coincidiera con días de altas temperaturas exteriores, sería conveniente ampliar, si no se hizo ya, el periodo de funcionamiento del sistema de refrigeración.

Gráficas temperatura

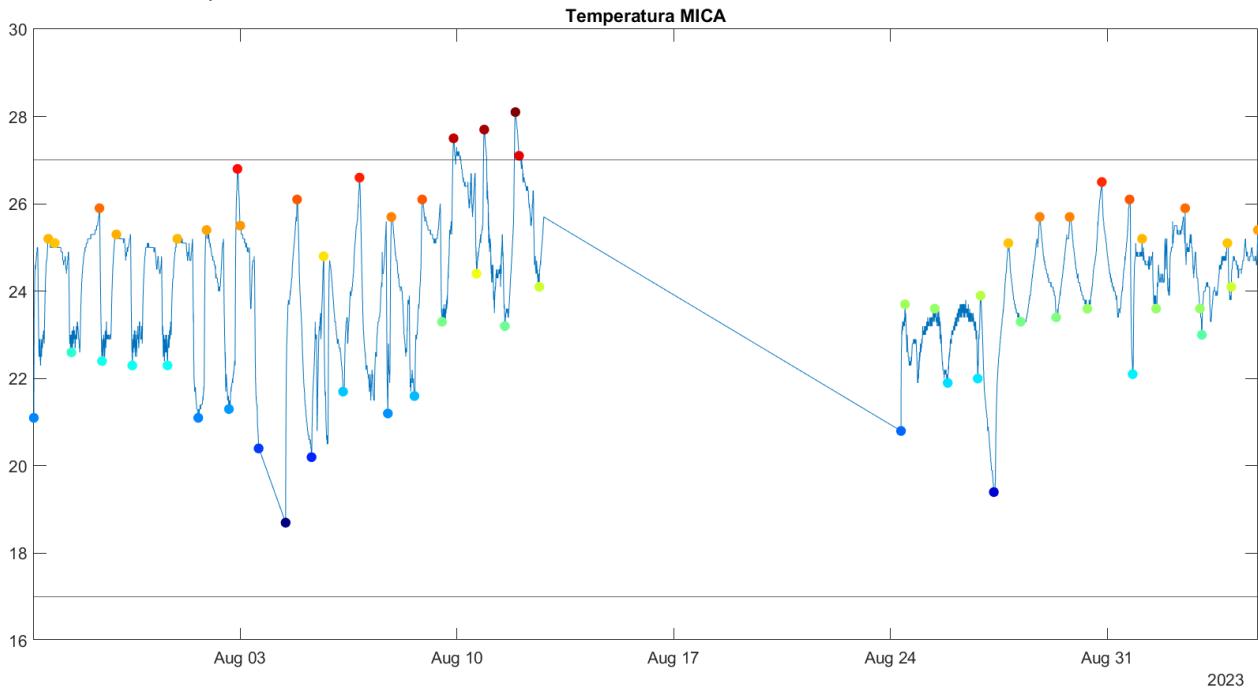


Figura 4. Evolución de la temperatura y máximos y mínimos diarios, del martes 25 de julio hasta el martes 5 de septiembre.

2023

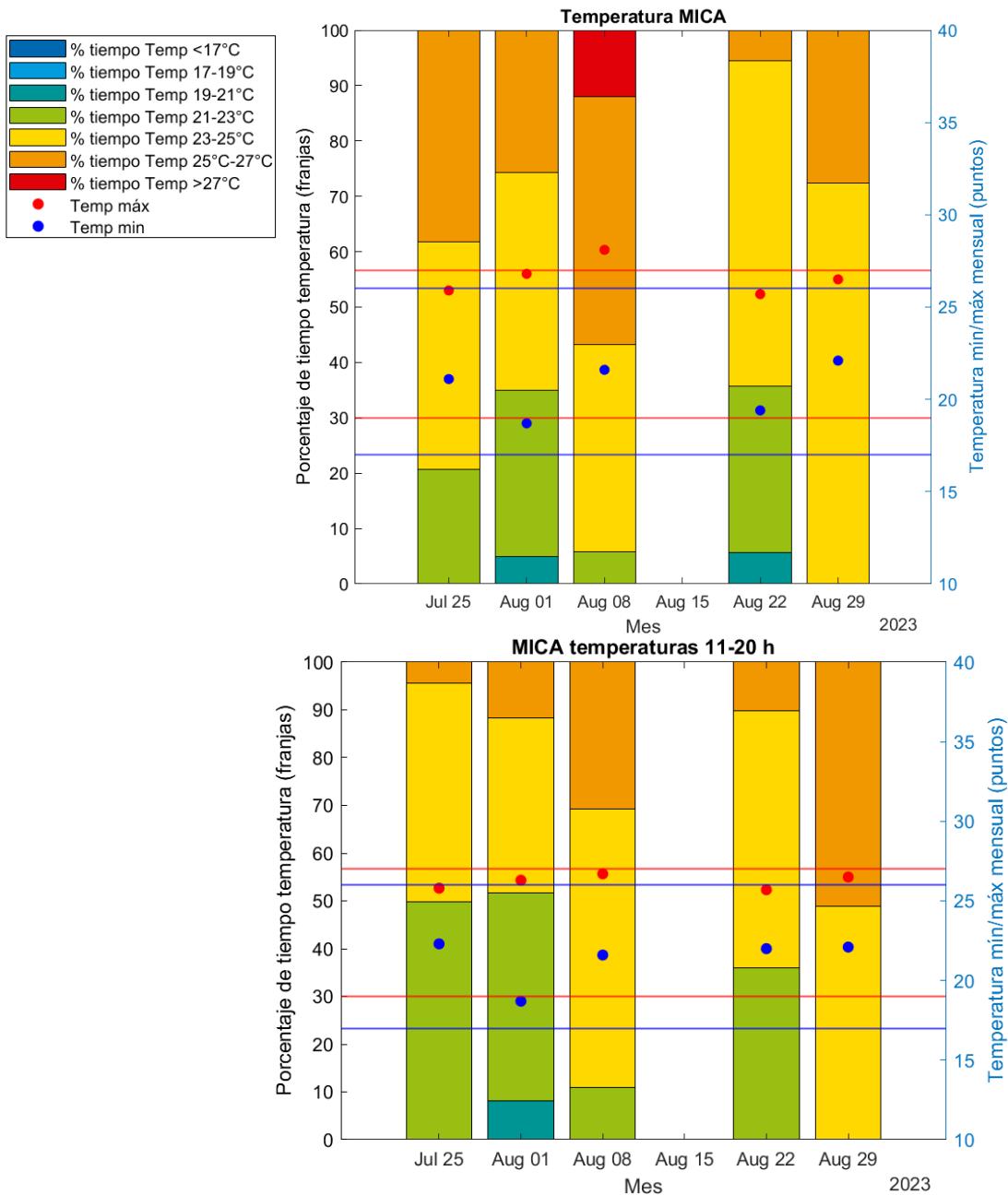


Figura 5. Porcentaje de tiempo en el que la temperatura se encuentra en los intervalos indicados en la leyenda y máximos y mínimos.
Semanalmente del martes 25 de julio hasta el martes 5 de septiembre.
A) Todo el periodo B) En horario de 11 a 20 h.

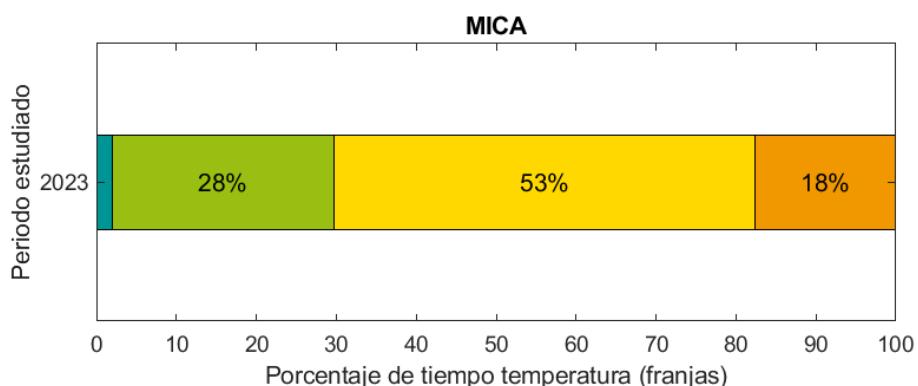


Figura 6. Porcentaje de tiempo en el que la temperatura se encuentra en los intervalos indicados en la leyenda en todo el periodo.

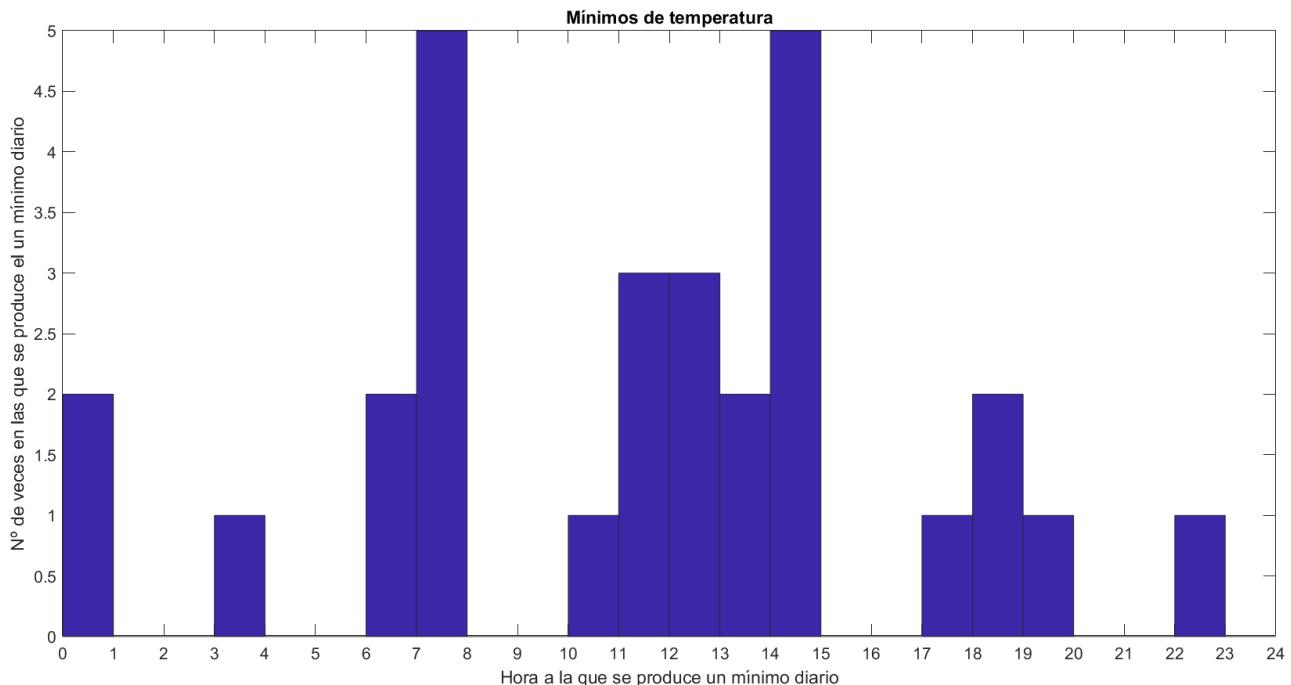


Figura 7. Hora a la que se producen los mínimos de temperatura.

3. Monitorización de partículas

Sobre la medición de partículas

- A. El 100 % del tiempo los niveles de partículas han sido bajos. Esto es un dato muy favorable en sí mismo y también si se piensa en las partículas como “vehículos” en los que se pueden transportar los aerosoles infecciosos. **Por tanto, las mediciones han servido para verificar que el sistema de filtración es adecuado y está funcionando correctamente.**

4. Monitorización de compuestos orgánicos volátiles (COVs)

Sobre la medición de compuestos orgánicos volátiles (COVs)

- A. Durante el 30% del tiempo aproximadamente, los COVs están por encima de 220 ppb (mediciones absolutas). Por tanto, sería conveniente reducir estos niveles, buscando las causas que los producen. En las siguientes gráficas se muestra el intervalo temporal en el que se producen los máximos diarios.
- B. No hay que perder de vista que este equipo de medida mide COVs de manera absoluta.
- C. Hay algunos máximos excesivamente elevados (de hasta 60.000 ppb el más alto y 14.000 el siguiente).
- D. **Posibles líneas de futuro:** El objetivo de las gráficas (fig. 12) es poder seguir investigando sobre las fuentes (productos de limpieza, ambientadores, perfumes, tratamientos médicos, mobiliario, cocinas...) de COVs en base a las horas en los que se producen los picos cada semana y en cada ubicación. En este caso, se observa que los máximos de COVs se producen cada día en una franja horaria diferente.

Gráficas COVs

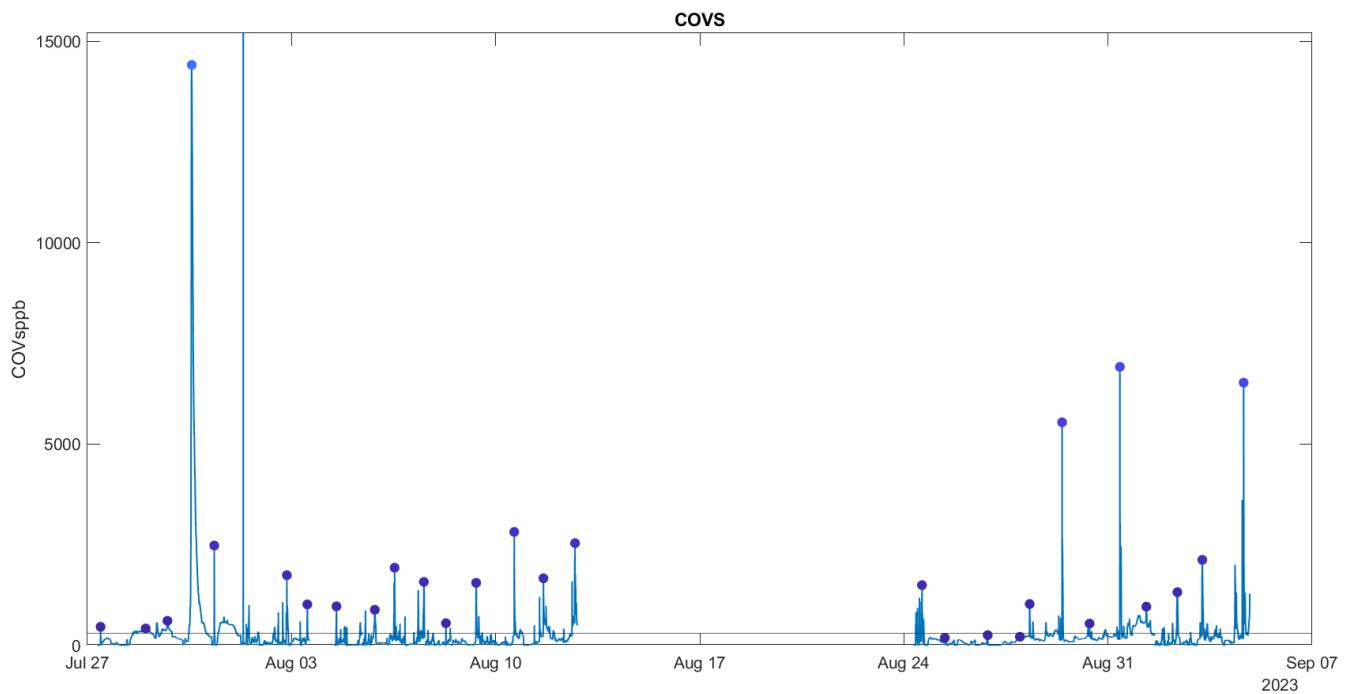


Figura 8. Evolución de los COVs y máximos diarios, del martes 25 de julio hasta el martes 5 de septiembre.

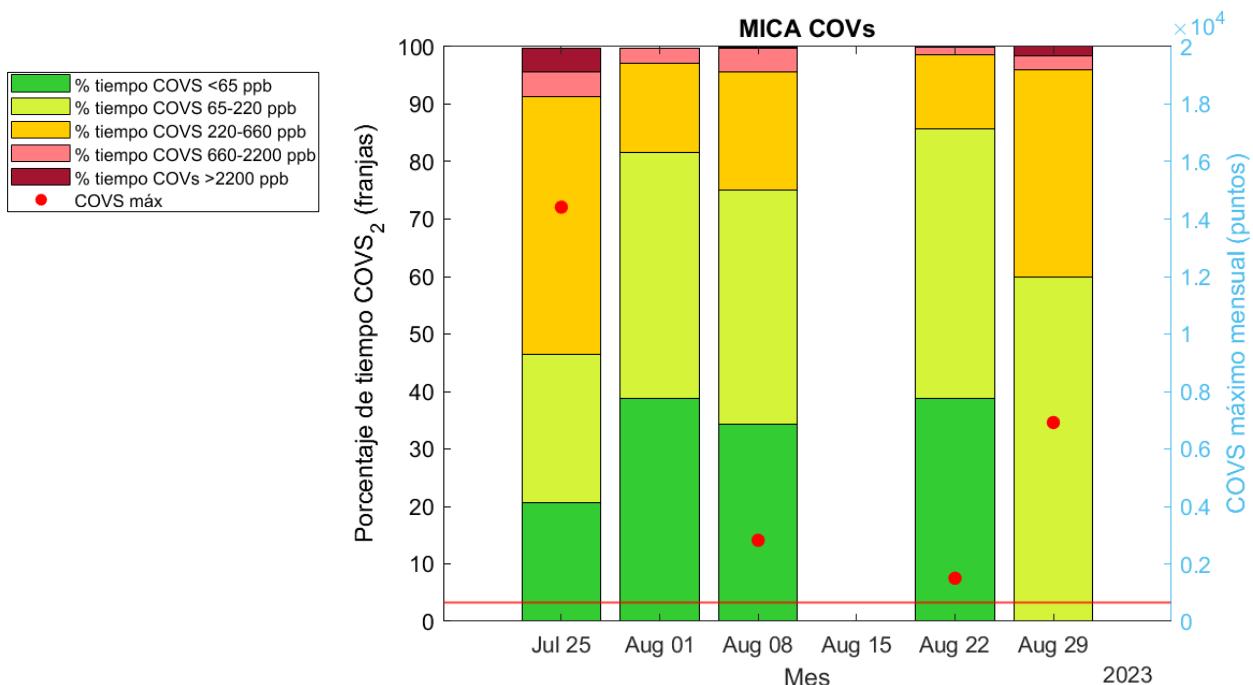


Figura 9. Porcentaje de tiempo en el que los COVs se encuentran en los intervalos indicados en la leyenda y máximos. Semanalmente del martes 25 de julio hasta el martes 5 de septiembre.

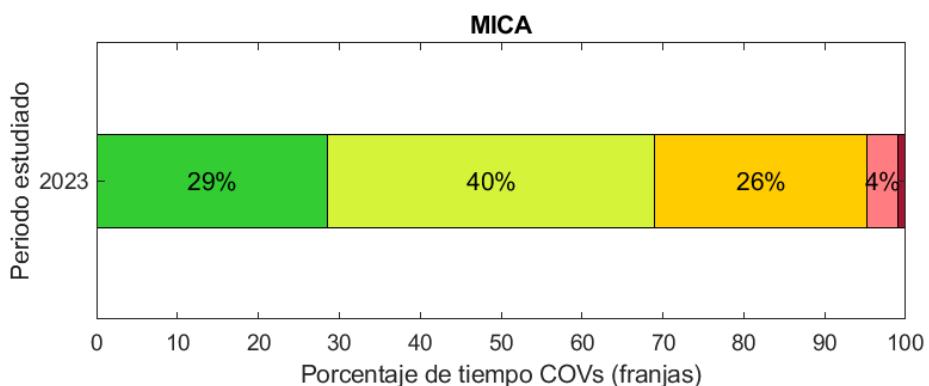


Figura 10. Porcentaje de tiempo en el que los COVs se encuentran en los intervalos indicados en la leyenda en todo el periodo.

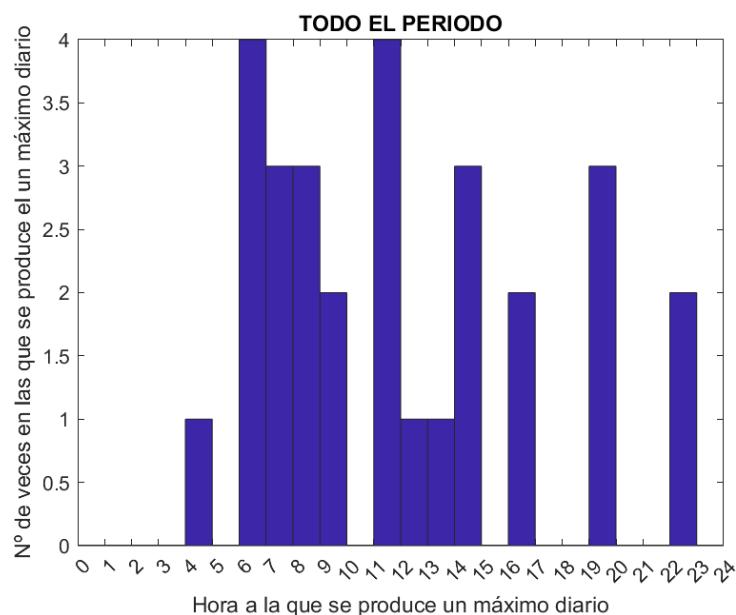


Figura 11. Hora a la que se producen los máximos de COVs.

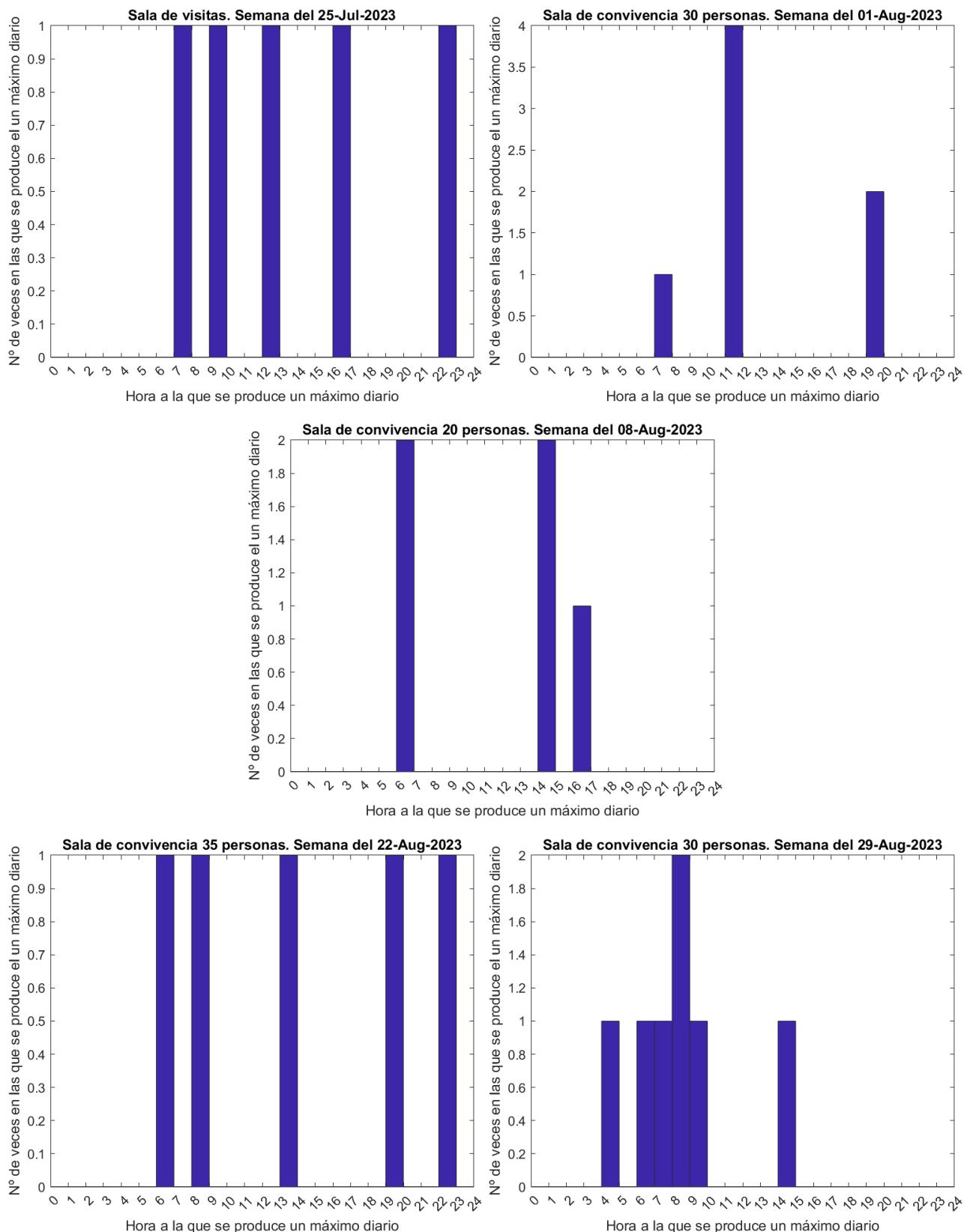


Figura 12. Hora a la que se producen los máximos de COVs por semanas.

Conclusiones

Estas primeras mediciones han servido para verificar el buen funcionamiento de las instalaciones y que se garantizan las condiciones de confort y seguridad para la salud. También se ha detectado que hay oportunidades de mejora en cuanto a ahorro de energía y habría que seguir investigando sobre los picos observados en compuestos orgánicos volátiles.

Informe IAQ residencia 1 - Sensor Airteq.

Para cualquier duda sobre este informe contactar con: Belen Zalba (bzalba@unizar.es) o Miguel García-Monge (775676@unizar.es)

Contenido

Periodo estudiado	1
1. Monitorización de CO2	2
Sobre la medición de CO ₂	2
Gráficas CO ₂	2
2. Monitorización de Temperatura.....	4
Sobre la medición de temperatura	4
Gráficas temperatura	4
3. Monitorización de partículas	6
Sobre la medición de partículas.....	6
4. Monitorización de compuestos orgánicos volátiles (COVs)	7
Sobre la medición de compuestos orgánicos volátiles (COVs)	7
Gráficas COVs	7
Conclusiones	10

Periodo estudiado

Del 25 de julio a 5 de septiembre

- Martes 25 de julio (Sala de visitas ambas residencias)
- 1 de agosto (Sala de convivencia de unas 30 personas ambas residencias)
- 8 de agosto (Sala de convivencia de unas 20 personas ambas residencias)
- 14 de agosto (Gimnasio de la residencia ambas residencias)
- 22 de agosto (Unidad de convivencia de 35 personas ambas residencias)
- 29 de agosto (unidad de convivencia de 30 personas ambas residencias)

1. Monitorización de CO₂

Sobre la medición de CO₂

- A. Gracias a la monitorización de CO₂ se puede afirmar que durante el periodo analizado los espacios en los que se han realizado las medidas han estado dentro de los intervalos de seguridad excepto un 2 % del tiempo. No obstante, si el estudio se hiciese solamente sobre el periodo de tiempo diurno este porcentaje sería superior ya que por la noche los valores de CO₂ son siempre bajos. El 98% del tiempo los valores de CO₂ han sido inferiores a 1000 ppm, esto implica que solamente un 1,5% del aire respirado ha sido previamente respirado por otras personas.
- B. Por tanto, tal y como era de esperar, **un buen sistema de ventilación (doble flujo con recuperación de calor) proporciona la seguridad buscada en cuanto a contagio por aerosoles y con estos datos se puede demostrar.**
- C. Hay que destacar los valores de la semana del 22 de agosto, ligeramente superiores (50% del tiempo por encima de 800 ppm). En base a los datos facilitados, la semana del 22 de agosto corresponde a la sala con mayor aforo.
- D. Posibles líneas de futuro.
 - Decidir espacios a monitorizar y ubicación de los sensores a colocar.
 - Averiguar si la climatización funciona 24 horas. Puede ser preocupante lo que ocurre cuando la climatización está apagada. A través de los conductos de climatización puede circular aire entre diversas estancias. Una habitación no está aislada del resto por tener la puerta cerrada, salvo que la climatización esté encendida y los caudales de aire fluyan en la dirección para la que han sido diseñados.

Gráficas CO₂

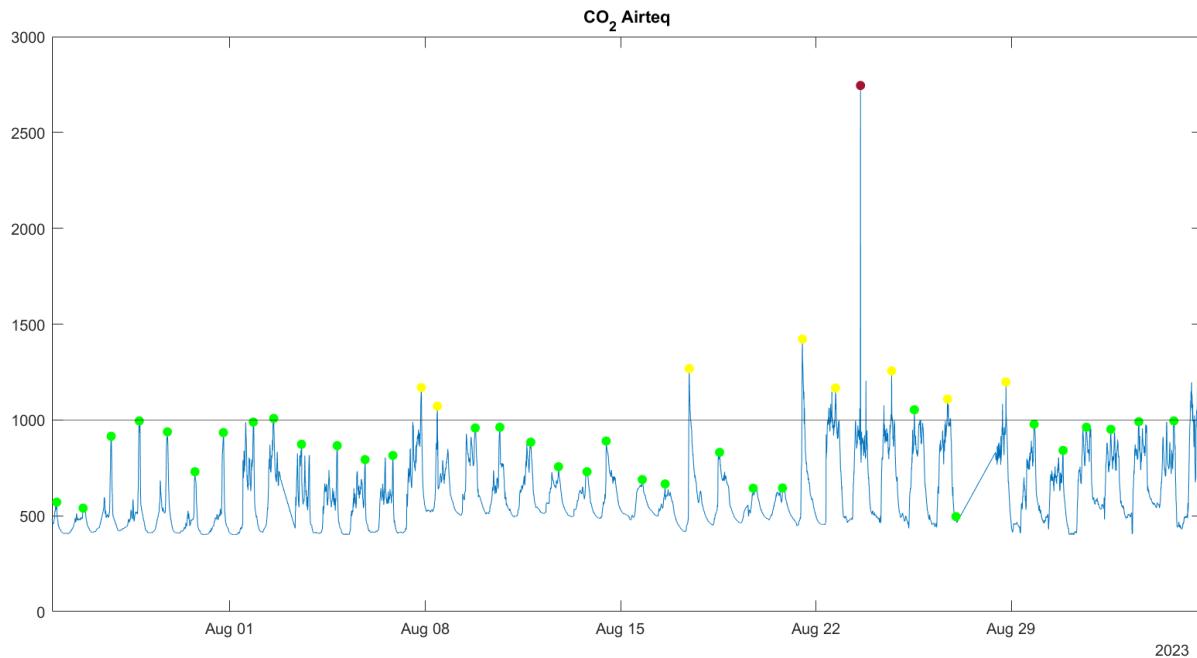


Figura 1. Evolución del CO₂ y máximos diarios, del martes 25 de julio hasta el martes 5 de septiembre.

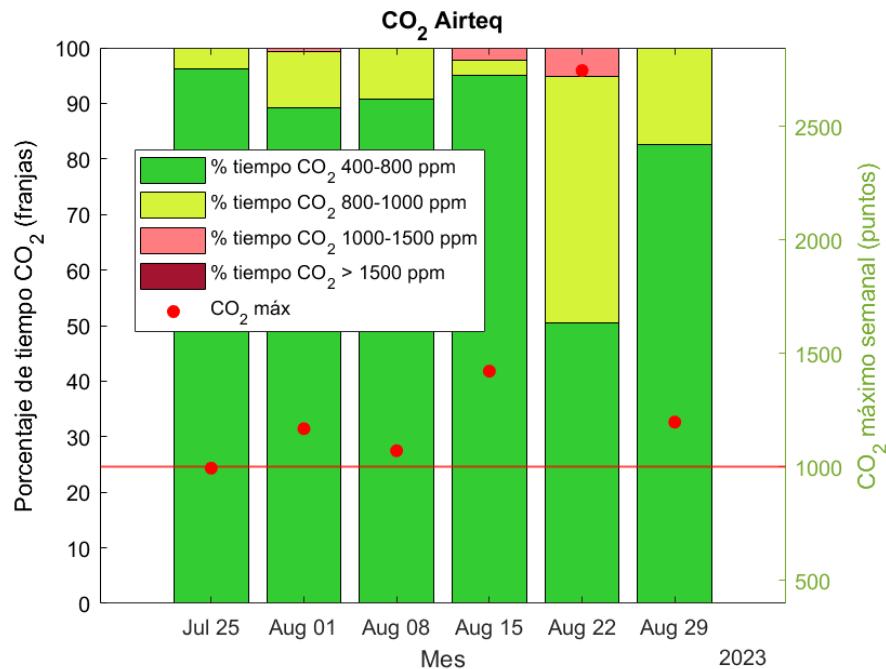


Figura 2. Porcentaje de tiempo en el que el CO₂ se encuentra en los intervalos indicados en la leyenda y máximos. Semanalmente del martes 25 de julio hasta el martes 5 de septiembre.

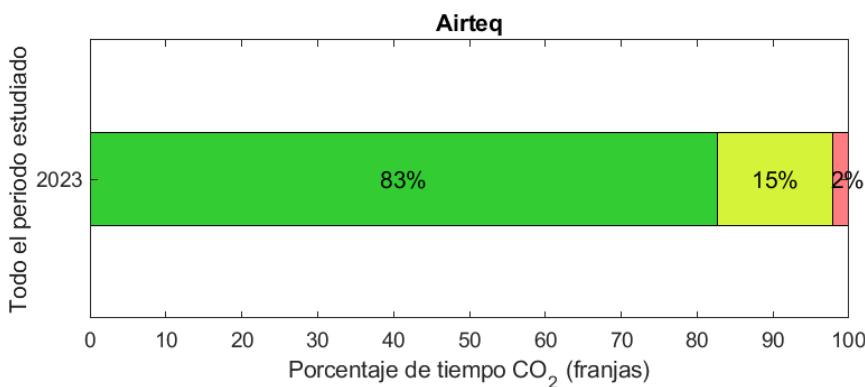


Figura 3. Porcentaje de tiempo en el que el CO₂ se encuentra en los intervalos indicados en la leyenda en todo el periodo.

2. Monitorización de Temperatura

Sobre la medición de temperatura

- A. Se pone de manifiesto que el 99 % del periodo de tiempo analizado la temperatura ha sido inferior a 27°C (límite fijado por el Real Decreto RD-I 14/2022). Por tanto, se han cumplido totalmente las condiciones de confort. Si el análisis se hace solo para el periodo diurno el porcentaje de tiempo dentro de las condiciones de confort sería inferior. Es un buen resultado, no ha sido un verano suave, olas de calor incluidas.
- B. También es destacable que el valor medido más alto es 27,2 °C por tanto nuevamente **se puede concluir que las condiciones de confort han estado garantizadas**.
- C. La semana del 29 de agosto, las temperaturas por debajo de 23°C son relevantes (29,3% franja 21-23°C en figura 5a). Esto indica un posible derroche de energía si esa bajada de temperatura es con debida a la instalación de climatización. Otra opción es que estas franjas de menor temperatura coincidan con periodos de ventilación natural (free-cooling). Se ha analizado y en la figura 7 se observa que los mínimos se producen mayoritariamente por la noche.
- D. Como se puede ver en la figura 5b existe un gran número de horas (40-100 % dependiendo de la semana) que la temperatura interior se encuentra en la franja 23-25 °C en horario 11:00 a las 20:00 h, periodo en el que no puede ser por free-cooling ya que en ese horario la temperatura exterior es alta. **Por tanto, existe un importante potencial de ahorro de energía**.
- E. Llama la atención las temperaturas alcanzadas el día 22 de agosto, unos de los peores días en cuanto a temperaturas debido a la ola de calor. Quizás en días así se podría ampliar, si no se hizo ya, el periodo de funcionamiento del sistema de refrigeración.

Gráficas temperatura

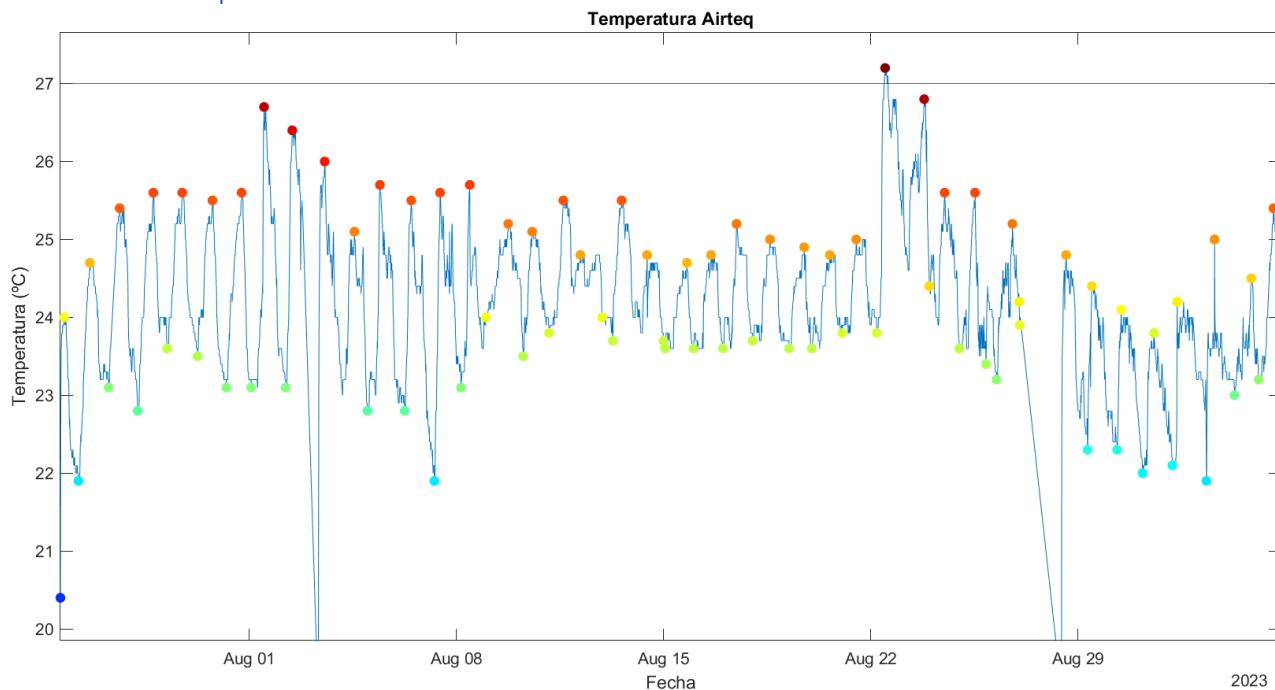


Figura 4. Evolución de la temperatura y máximos y mínimos diarios, del martes 25 de julio hasta el martes 5 de septiembre.

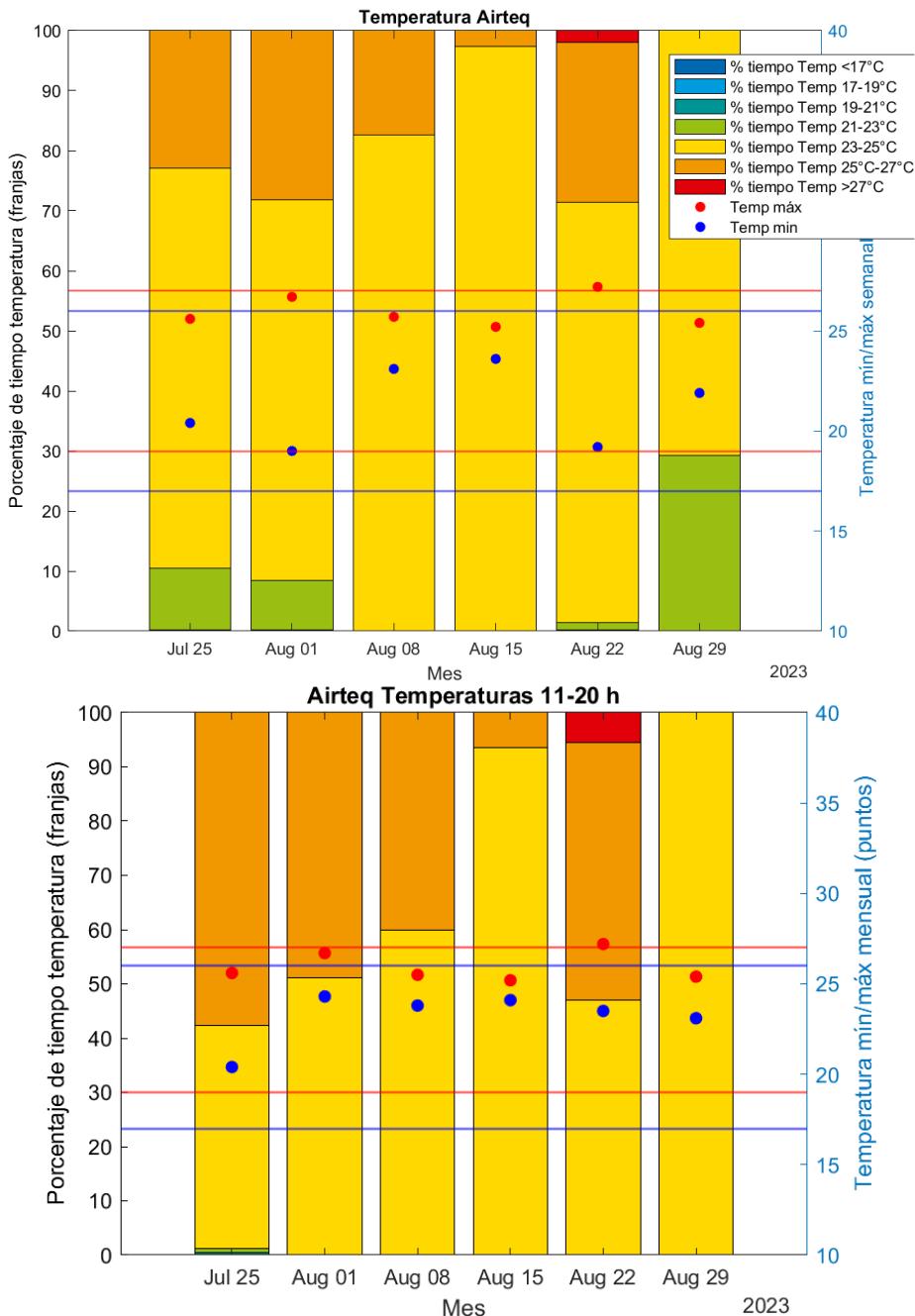


Figura 5. Porcentaje de tiempo en el que la temperatura se encuentra en los intervalos indicados en la leyenda y máximos y mínimos. Semanalmente del martes 25 de julio hasta el martes 5 de septiembre.
A) Todo el periodo B) En horario de 11 a 20 h.

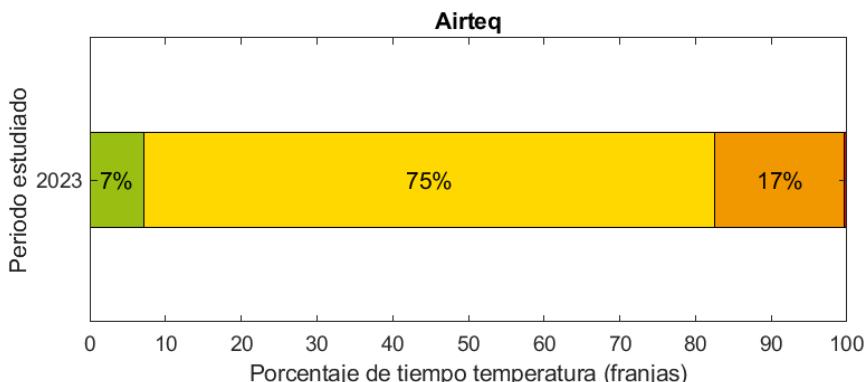


Figura 6. Porcentaje de tiempo en el que la temperatura se encuentra en los intervalos indicados en la leyenda en todo el periodo.

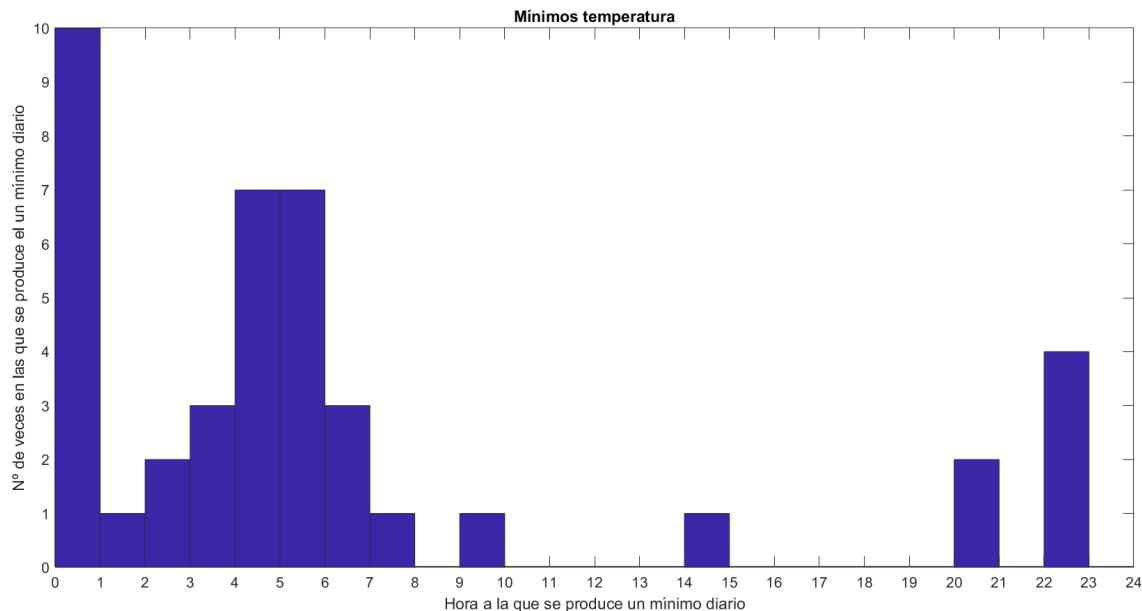


Figura 7. Hora a la que se producen los mínimos de temperatura.

3. Monitorización de partículas

Sobre la medición de partículas

- Prácticamente el 100 % del tiempo los niveles de partículas han sido bajos. Esto es un dato muy favorable en sí mismo y también si se piensa en las partículas como “vehículos” en los que se pueden transportar los aerosoles infecciosos. **Por tanto, las mediciones han servido para verificar que el sistema de filtración es adecuado y está funcionando correctamente.**
- Hay un pico el viernes 18 de agosto (11:30 h). Gimnasio. Se podría intentar investigar las causas (tareas de limpieza, corte de césped...).

4. Monitorización de compuestos orgánicos volátiles (COVs)

Sobre la medición de compuestos orgánicos volátiles (COVs)

- A. Durante el 40% del tiempo aproximadamente, los COVs están por encima de 100 ppb. El periodo de tiempo por encima de 300 ppb es de entorno a un 8%. Por tanto, sería conveniente reducir estos niveles, buscando las causas que los producen. En las siguientes gráficas se muestra el intervalo temporal en el que se producen los máximos diarios.
- B. No hay que perder de vista que este equipo de medida mide COVs de manera relativa, en relación a las medidas obtenidas en periodos previos y asignando el valor de 500 ppb al valor máximo registrado.
- C. **Posibles líneas de futuro:** El objetivo de las gráficas de la figura 12 es poder seguir investigando sobre las fuentes (productos de limpieza, ambientadores, perfumes, tratamientos médicos, mobiliario, cocinas...) de COVs en base a las horas en los que se producen los picos cada semana y en cada ubicación.

Gráficas COVs

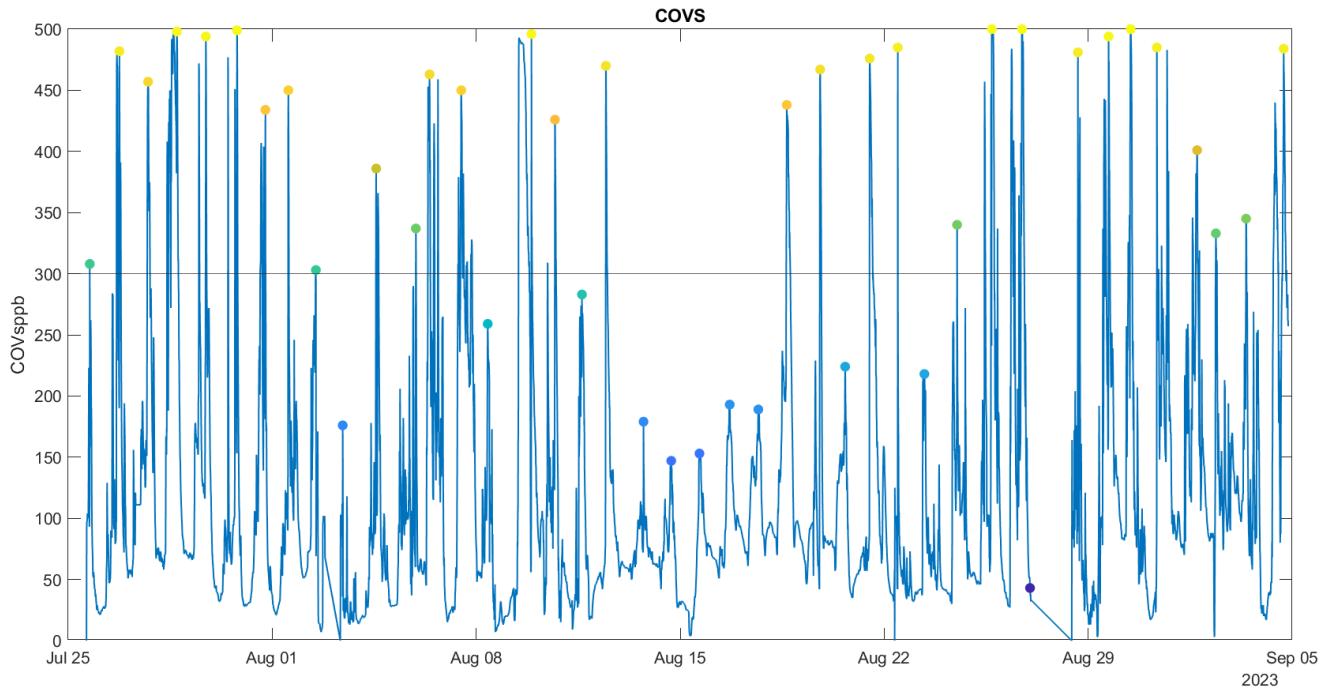


Figura 8. Evolución de los COVs y máximos diarios, del martes 25 de julio hasta el martes 5 de septiembre.

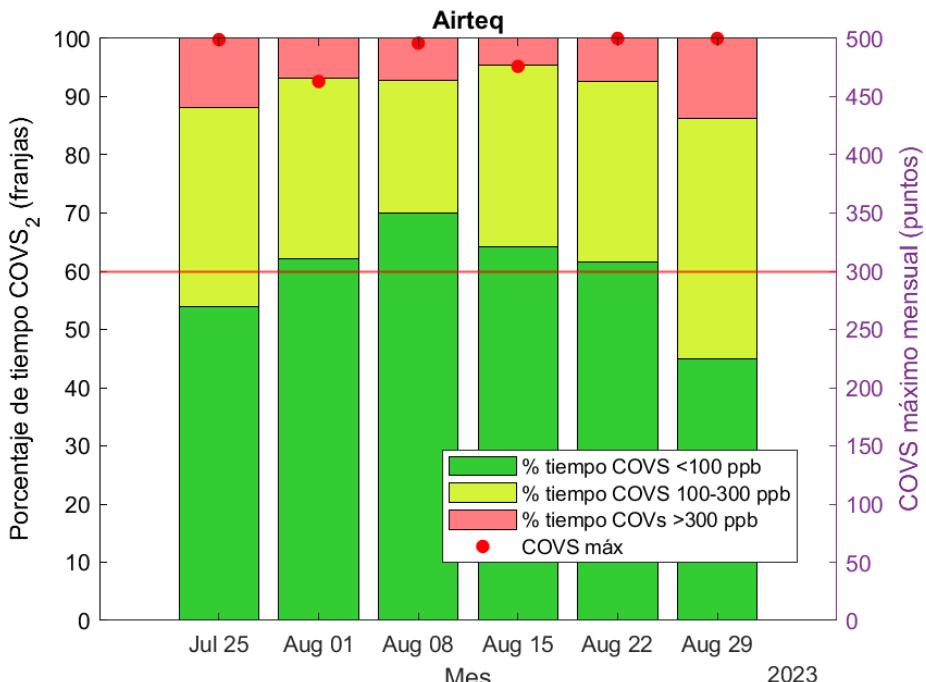


Figura 9. Porcentaje de tiempo en el que los COVs se encuentran en los intervalos indicados en la leyenda y máximos. Semanalmente del martes 25 de julio hasta el martes 5 de septiembre.

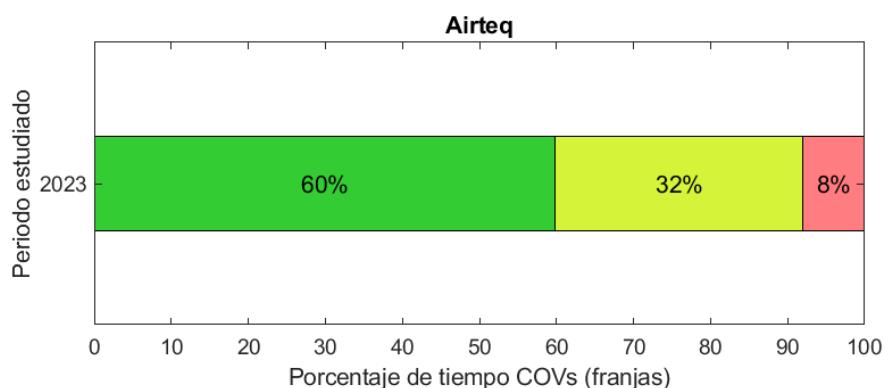


Figura 10. Porcentaje de tiempo en el que los COVs se encuentran en los intervalos indicados en la leyenda en todo el periodo.

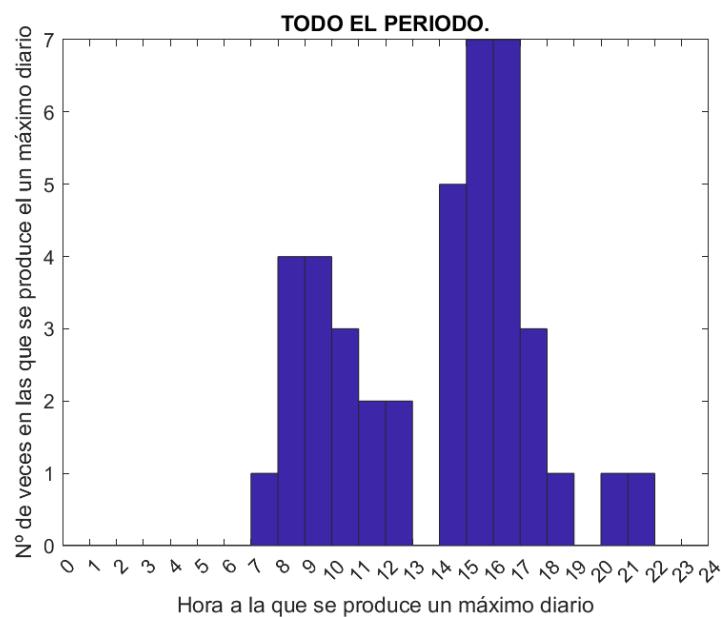


Figura 11. Hora a la que se producen los máximos de COVs.

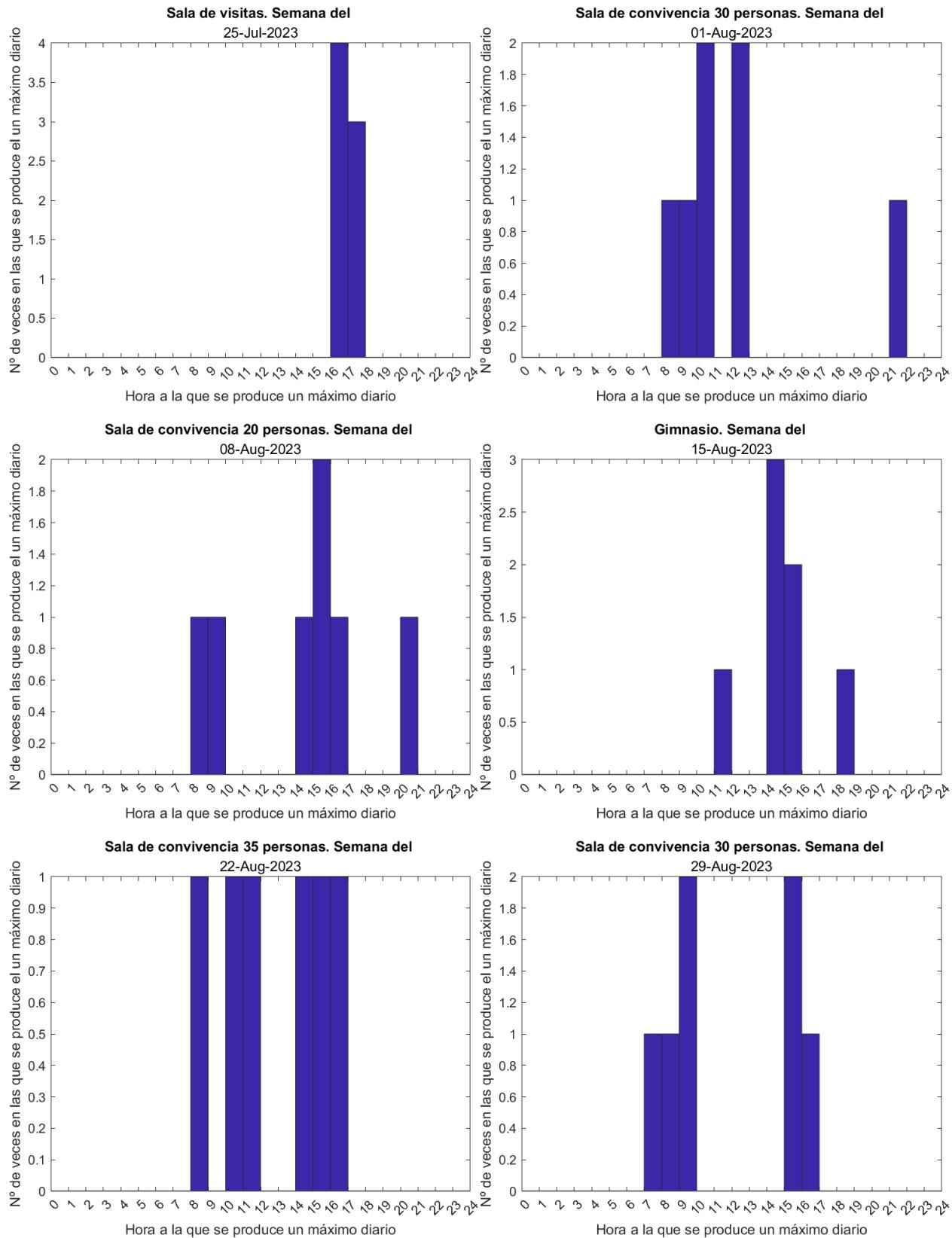


Figura 12. Hora a la que se producen los máximos de COVs por semanas.

Conclusiones

Estas primeras mediciones han servido para verificar el buen funcionamiento de las instalaciones y que se garantizan las condiciones de confort y seguridad para la salud. También se ha detectado que hay oportunidades de mejora en cuanto a ahorro de energía.