



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

VENTILACIÓN Y EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EDIFICIOS
EINA-UNIZAR.
ANÁLISIS DE DATOS DE LA APLICACIÓN SENSORIZAR
Y DE CONSUMOS ELÉCTRICOS DE 2020 A 2022.

Autor

Miguel García-Monge Rábanos

Directora

Belén Zalba Nonay

Agradecimientos

Al **Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A)** y a la **Cátedra de Transformación Industrial**, por fomentar el acceso y la iniciación a la investigación y la innovación industrial, al concederme una de las 10 becas de prácticas en el marco del Trabajo Fin de Grado.

A mi tutora **Belén Zalba**. Por su implicación y dedicación en este trabajo. Por su entusiasmo y motivación. Por sus consejos y por ser un ejemplo a seguir.

A **Ignacio Martínez**, por su confianza, liderazgo y por dar a conocer y poner en valor algunos resultados de este trabajo en el Ateneo de la EINA; a **Ángel Fernández**, por su interés, su tiempo y su contribución en el procesamiento de datos y redes neuronales; y a todos los demás integrantes del equipo **Smart Cities Lab**.

A **Michael Marchica**, por su colaboración e implicación en este proyecto.

Al personal de **Mantenimiento** y a **Ferrovial**. A **Cándido Gastón** por su constante colaboración y su ayuda para resolver nuestras dudas; y a **Salvador Nevot** sus comentarios. A **Enrique Cano**, subdirector de infraestructuras de la EINA, por ayudarnos y facilitarnos contactos y tareas.

A **David Cambra** de la Oficina Verde, por proveernos los datos de consumos eléctricos y horarios de encendido de la climatización; a **Luis Laspuertas**, de la Unidad de Seguridad, por los datos de aforo en la sala de estudio; y a **Pilar Brufau**, por sus sugerencias y por facilitarnos un estudio de ocupación de las aulas.

A **Carlos Monné** por su propuesta de medir caudales de ventilación y por su ayuda con las mediciones.

Al personal de **conserjería** y, en especial, a **Carlos Rubio**, por facilitarnos información del programa de control de la climatización del edificio Betancourt.

A **Javier Aramburu** de TROX, por su asesoramiento en términos de aumentar el caudal de ventilación y por la revisión del informe realizado en el climatizador de las aulas del edificio Betancourt.

A **Begoña Peña** y **Pilar Lisbona** por sus consejos y comentarios para mejorar este trabajo.

A todas las demás personas, que han hecho que este trabajo sea posible.

Resumen

Este trabajo se enmarca en el proyecto **SensoriZAR** [1], gracias a una beca concedida por parte del Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón (**I3A**) [2]. SensoriZAR es un ecosistema IoT que permite monitorizar en tiempo real las condiciones ambientales del interior de cualquier edificio. En este trabajo se ha puesto de manifiesto la importancia de las mediciones en continuo y de la ventilación mecánica, para asegurar una buena calidad de aire interior y eficiencia energética en edificios. Las tareas desarrolladas se han ido adaptando a los aspectos que podían ser de mayor interés para la **EINA** y para SensoriZAR y se han desarrollado 14 informes por orden cronológico, recogidos en el anexo 1. Estos informes demuestran el **potencial de la herramienta SensoriZAR**, para conocer con datos cómo funciona el edificio y sus instalaciones y plantear **metodologías** que se van a automatizar. De cara a la presentación de los resultados, se ha redactado esta memoria en base a dos líneas temáticas: **eficiencia energética (capítulo 1)** y **salud y calidad de aire interior (capítulo 2)**.

Tras llevar a cabo una revisión del contexto y normativa, el primer capítulo comienza con el análisis de **consumos eléctricos** del edificio Betancourt de 2020 y 2021. En este análisis se ha visto que existe una buena correlación entre el consumo eléctrico y la temperatura exterior en invierno. El incremento de consumo es de 0,53 MWh por cada grado (°C) que baja la temperatura media exterior. Además, se ha caracterizado el consumo pico (120 MWh/año) y total en stand-by (280 MWh/año) durante el año 2021. También se ha puesto de manifiesto que, el consumo eléctrico del edificio es proporcional al número de horas de encendido de la climatización de forma lineal, debido a que la climatización es el mayor consumo eléctrico del edificio y que, por tanto, las medidas de ahorro de energía deben ir en esta línea. Gracias a los datos recogidos por la aplicación SensoriZAR y desarrollando un programa en Java, se ha expuesto una metodología para analizar las **temperaturas** de las aulas y se ha constatado que existe **margen de mejora** para disminuir el porcentaje de tiempo en el que la temperatura está por encima de los límites normativos (21°C en calefacción). También se ha observado que las **aulas se climatizan aunque no haya ocupación**. Aproximadamente un 50 % del tiempo las aulas están vacías, por tanto, el potencial de ahorro de energía es importante. Se han propuesto soluciones para evitar estas dos fuentes de consumo de energía innecesario.

Respecto al capítulo de calidad de aire interior, se han analizado diferentes contaminantes interiores y se ha visto que los niveles son bajos y que es suficiente medir el **nivel de CO₂**, para decidir cuando es necesario ventilar. Se han evaluado los diferentes tipos de sensores de SensoriZAR y se han valorado aquellos más fiables. También se han analizado datos de CO₂ con el programa Java desarrollado anteriormente, observando que, el porcentaje de tiempo en el que se superan los niveles límite recomendados es bajo. Por otra parte, se ha estudiado el funcionamiento de la ventilación mecánica en las aulas del edificio **Betancourt**, concluyendo que **al apagarse el fancoil¹ se pierde la ventilación mecánica** en el aula, por lo que se propone no detener el ventilador si el nivel de CO₂ es alto. Se han realizado medidas de **caudal de aire de ventilación** cuantificando cómo influye el **mantenimiento** en las prestaciones del climatizador. También se han revisado los sistemas de ventilación del edificio **Torres Quevedo**, comprobando que se dispone de ventilación mecánica en la mayoría de los espacios, pero que es necesario revisar los sistemas. Por último, se ha analizado la sala de estudios Tomás Pollán, proponiendo una metodología para calcular **aforos máximos**, para asegurar un cierto nivel de ventilación y se ha utilizado la metodología de redes **neuronales**, para predecir temperatura y niveles de CO₂ en esta sala. En la sesión 338 del **Ateneo** de la EINA [3] (11/5/2022), se presentaron algunos de los resultados de este TFG.

¹ Fancoil, del inglés, fan (ventilador) y coil (batería), es un emisor usado para calentar o enfriar el ambiente en sistemas de climatización, compuesto por una batería que actúa como intercambiador de calor y un ventilador. [41]

Índice

Agradecimientos.....	2
Resumen.....	3
Glosario de términos.....	6
Listado de figuras.....	8
Relación de este trabajo con los ODS.....	10
Introducción y contexto	11
Calidad de Aire Interior en edificios (CAI)	11
Eficiencia energética en edificios	15
Ventilación y eficiencia energética.....	16
1. Eficiencia energética.....	18
1.1 Análisis de consumos eléctricos del edificio Betancourt de los años 2020-2021	18
1.2 Análisis de datos de temperaturas de la aplicación SensoriZAR.....	21
1.3 Propuestas de ahorro de energía en fancoils.....	24
2. Salud y Calidad de Aire Interior.....	27
2.1 ¿Es necesario medir formaldehído, COV's y partículas en edificios de la EINA?	27
2.2 Análisis de datos de CO ₂ de la aplicación SensoriZAR.....	29
2.3 Funcionamiento de la ventilación mecánica en aulas del edificio Betancourt.....	31
2.4 Medidas de caudales de ventilación en el edificio Betancourt.....	33
2.5 Método para establecer aforos máximos según el nivel de CO ₂	38
2.6 Red neuronal para predecir CO ₂ y temperatura.....	39
Conclusiones.....	44
Líneas de futuro.....	48
Bibliografía.....	49
Anexo 1. Informes	52
Informe 1. Diagnóstico del funcionamiento de la instalación de climatización a partir de datos de temperatura y CO ₂ obtenidos de SensoriZAR.....	53
Informe 2. Propuestas para ahorrar energía en fancoils.....	61
Informe 3. Análisis de consumos eléctricos del edificio Betancourt de los años 2020-2021.....	64
Informe 4. Ejemplo de ineficiencia de un aula	72
Informe 5. Método para establecer aforos máximos según el nivel de CO ₂	75
Informe 6. Ventilación mecánica en el edificio Torres Quevedo	79
Informe 7. Estimación del ahorro energético por apagado de la climatización desde el 11/07/2022 en el edificio Betancourt.....	88
Informe 8. Medidas de caudal de ventilación en el edificio Betancourt.....	91

Informe 9. Programa de control de la climatización Metasys (Johnson Controls).....	99
Informe 10. Medidas de caudal de ventilación en el edificio Betancourt tras el mantenimiento en la UTA.....	103
Informe 11. Redes neuronales para predecir CO ₂ y temperatura.....	113
Informe 12. ¿Es necesario medir formaldehído, COV's y partículas (PM 1, PM 2,5 y PM10) en edificios de la EINA?	119
Informe 13. Comparativa y estado de los sensores de la plataforma SensoriZAR.....	124
Informe 14. Estudio de temperaturas e influencia de la refrigeración en el edificio Betancourt.....	129
Anexo 2. Programa Java.	133

Glosario de términos

A

AEMET

Agencia Estatal de Meteorología

B

BIM

Modelado de información para la edificación (Building Information Modeling)

BOE

Boletín Oficial del Estado.....

C

CAI

Calidad Aire Interior

CO

Monóxido de carbono

CO₂

Dióxido de carbono

COV

Compuestos Orgánicos Volátiles.....

CPD

Centro de Procesamiento de Datos.....

CT

Centro de Transformación.....

CTE

Código Técnico de la Edificación

D

DB-HS

Documento básico de salubridad del CTE

DCV

Demanded Controlled Ventilation

E

EE. UU.

Estados Unidos

EINA

Escuela de Ingeniería y Arquitectura (Zaragoza).....

EPA

Environmental Protection Agency.....

H

HTML

Lenguaje de marcado de hipertexto (páginas web)

HVAC

Climatización (Heating Ventilation and Air Conditioning).....

I

IAQ
Indoor Air Quality

IDA
Indoor Air.....

IoT
Internet de las Cosas (Internet Of Things).....

IT (RITE)
Instrucción Técnica.....

J

JSON
JavaScript Object Notation

L

LoRaWan
Low Power Wide Area Network

M

MOx
Metal oxide sensor

MSE
Error Cuadrático Medio.....

N

NDIR
Non Dispersive Infrared Detector

O

ODS
Objetivos de Desarrollo Sostenible

OMS
Organización Mundial de la Salud

ONU
Organización de las Naciones Unidas.....

P

PM
Material Particulado.....

ppm
Concentración en partes por millón.....

R

RD
Real Decreto

RITE
Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios

RNN
Recurrent Neural Network

S

SIGEUZ

Sistema de Información Geográfica de la Universidad de Zaragoza

SRI

Smart Readiness Indicator

T

TFG

Trabajo de Fin de Grado

U

UE

Unión Europea

UNE

Una Norma Española

UNIZAR

Universidad de Zaragoza

UPRL

Unidad de Prevención de Riesgos Laborales

UTA

Unidad de Tratamiento de Aire

UVC

Rayos Ultravioleta C de Onda Corta

V

VCD

Ventilación Controlada por Demanda





Listado de figuras

Figura 1. Concentración de CO ₂ y niveles de calidad de aire interior. Elaboración propia.	12
Figura 2. Método de cálculo de caudal de ventilación por concentración de CO ₂ . Fuente: Elaboración propia basada en RITE (tabla 1.4.2.3.).....	13
Figura 3. Agentes implicados en materia de ventilación. Elaboración propia.....	13
Figura 4. Normativa de ventilación según el uso del edificio. Elaboración propia.....	13
Figura 5. Exigencias de calidad de aire interior según el RITE. Elaboración propia.....	14
Figura 6. Cronología del contexto normativo Europeo y Español en materia de energía. Elaboración propia basada en la figura 3 del TFG de Clara Vicioso [24].	15
Figura 7. Dominios que estructuran el catálogo de SRI	16
Figura 8. Características de los recuperadores según [29].....	16
Figura 9. Recuperador rotativo (izda.) y de placas (dcha). Imagen propia, tomada en la visita a Evair.....	17
Figura 10. Registro de consumos y costes del CT del edificio Betancourt. Enero-marzo 2021 y 2022. Fuente: Oficina Verde	18
Figura 11. Comparativa del consumo mensual y anual en el edificio Betancourt. Años 2020 y 2021. Elaboración propia. Fuente de datos: Oficina Verde.....	19
Figura 12. Consumo del edificio Betancourt de 23 p.m. hasta las 5 a.m. durante el año 2021.	19
Figura 13. Curva de carga del consumo anual del edificio Betancourt por horas. Elaboración propia. Fuente de datos: Oficina Verde.	20

Figura 14. Relación entre temperatura media exterior y consumo eléctrico en el edificio Betancourt (invierno). Años 2020-2021. Elaboración propia. Fuente de datos: Oficina Verde y Aemet.	20
Figura 15. Consumo eléctrico y horas de encendido de climatización en el edificio Betancourt en 2021. Elaboración propia.....	21
Figura 16. Rango de temperaturas admisibles. Elaboración propia.....	21
Figura 17. Temperaturas máximas y mínimas en el aula 2.05 del 27/10/21 al 27/02/22. Elaboración propia a partir de datos de SensoriZAR.	22
Figura 18. Porcentaje de tiempo fuera del rango de temperaturas de normativa, en aulas 2.03 a 2.05. Elaboración propia.....	22
Figura 19. Evolución de la temperatura en espacios del edificio Betancourt. Elaboración propia.	23
Figura 20. Evolución de la temperatura en el aula 1.08 (29/3/2022).....	24
Figura 21. Ocupación de las aulas y potencial de ahorro. Elaboración propia a partir de un estudio realizado por Pilar Brufau.	25
Figura 22. Representación del fancoil de un aula.....	25
Figura 23. Propuestas para el ahorro de energía en fancoils. Elaboración propia.....	26
Figura 24. Monitor Inteligente de Calidad de Aire (MICA) utilizado en las mediciones. Elaboración propia.....	27
Figura 25. Mediciones de Formaldehído en los diferentes espacios. Elaboración propia.	27
Figura 26. Mediciones de partículas PM 1 en los diferentes espacios. Elaboración propia.....	28
Figura 27. Mediciones de partículas PM 2,5 en los diferentes espacios. Elaboración propia.....	28
Figura 28. Mediciones de partículas PM 10 en los diferentes espacios. Elaboración propia.....	28
Figura 29. Evolución del CO ₂ máximo por días en el aula 2.03 del 27/10/21 al 27/02/22. Elaboración propia.....	29
Figura 30 Porcentaje de tiempo con niveles de CO ₂ superiores a 800 ppm en aulas 2.03-2.05. Elaboración propia.	30
Figura 31. Entradas (izda.) y salidas (dcha.) del programa Java desarrollado.	30
Figura 32. Climatizador o UTA de las aulas. Elaboración propia.	31
Figura 33. Placa de características de la UTA.	31
Figura 34. Esquema de flujos de aire de ventilación y retorno en un aula. Elaboración propia sobre planos de climatización del edificio.	32
Figura 35. Esquema de funcionamiento con fancoil encendido y con fancoil apagado. Elaboración propia.	33
Figura 36. Mediciones de caudal realizadas en los conductos de impulsión.	33
Figura 37. Testo 480 y sonda de molinete. Fuente: GIMIM.	34
Figura 38. Compuerta de regulación de flujo de aire de la 2ª planta. Vista general y detalle de la llave.	35
Figura 39. Comparativa de caudales de impulsión antes y después del mantenimiento de la UTA. Elaboración propia.	37
Figura 40. Distribución del caudal de ventilación por plantas. Elaboración propia.	37
Figura 41. Correlación aforo-CO ₂ . Líneas de tendencia de todos los valores y de los valores máximos. Elaboración propia.....	38
Figura 42. Correlación aforo-CO ₂ . Línea de tendencia de los valores máximos. Elaboración propia.....	39
Figura 43. Diferencias entre la predicción y los valores reales. Fuente: [36]	40
Figura 44. Modelos predictivos de consumo de energía, temperatura, humedad, CO ₂ y COV. Fuente: [39]	40
Figura 45. Ejemplo de datos introducidos a Matlab. Elaboración propia.	41
Figura 46. Resultados del entrenamiento de la red neuronal en Matlab.....	41
Figura 47. Red neuronal. Predicción y valores reales de CO ₂ . Elaboración propia.....	42
Figura 48. Red neuronal. Predicción y valores reales de temperatura. Elaboración propia.	42
Figura 49. Comprobación de la red neuronal. Predicción y valores reales de CO ₂ . Elaboración propia.	43
Figura 50. Comprobación red neuronal. Predicción y valores reales de temperatura. Elaboración propia.	43

Relación de este trabajo con los ODS

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030 propuestos por Naciones Unidas [4], se han convertido en un elemento fundamental para manifestar el compromiso con los valores medioambientales por parte de naciones e instituciones. Este trabajo está plenamente ligado a los ODS, especialmente en términos de salud y eficiencia energética. En concreto, se han seleccionado los ODS más representativos, junto con los puntos más relacionados con este trabajo.

Objetivo de Desarrollo Sostenible		Descripción
Objetivo 3: Garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos en todas las edades.		3.3 Combatir enfermedades transmisibles 3.4 Promover el bienestar 3.9 Reducir el número de muertes y enfermedades por la contaminación del aire
Objetivo 7: Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos.		7.3 De aquí a 2030, duplicar la tasa mundial de mejora de la eficiencia energética
Objetivo 11: Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles		11.6 De aquí a 2030, reducir el impacto ambiental negativo de las ciudades, prestando especial atención a la calidad del aire 11.c Proporcionar apoyo [...] para construir edificios sostenibles y resilientes utilizando materiales locales
Objetivo 13: Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos		13.3 Mejorar la educación, la sensibilización y la capacidad humana e institucional respecto de la mitigación del cambio climático , la adaptación a él, la reducción de sus efectos y la alerta temprana

Introducción y contexto

Calidad de Aire Interior en edificios (CAI)

La OMS estima que las personas permanecen entre un **80-90% del tiempo en el interior de espacios cerrados**, donde la calidad del aire es del orden de **2 a 5 veces peor que en el exterior** según la EPA (EE. UU.) [5].

Las concentraciones de la mayoría de los contaminantes son superiores en interiores, debido a que a los contaminantes provenientes del exterior, se suman los producidos en el interior. Todo ello se acentúa con una ventilación inadecuada. [6]

Los contaminantes interiores son emitidos por los ocupantes, por los elementos que conforman el edificio (mobiliario, pintura) o por las actividades que se llevan a cabo (productos de limpieza, combustión en estufas o cocinas, etc.) Se pueden clasificar en [7]:

- Físicos: Partículas en suspensión, etc.
- Biológicos: Virus, bacterias, hongos, etc.
- Químicos: Compuestos orgánicos volátiles (COV), gases (CO₂, CO, radón...), etc.

La presencia de estos contaminantes puede tener **efectos perjudiciales para la salud** [6] como irritación ocular, dolor de cabeza o fatiga y pueden propiciar el desarrollo de enfermedades respiratorias (alergias, asma, etc.) Por otra parte, también es posible la transmisión de enfermedades por vía aérea, mediante aerosoles infectivos [8] (COVID-19, gripe, etc.)

Es por ello por lo que en España, el Ministerio de Sanidad junto con el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico han desarrollado el **Plan Estratégico de Salud y Medio Ambiente** [7], que entre otros aspectos vela por proteger la salud de la población, frente a los efectos adversos para la salud derivados de una mala calidad ambiental interior.

Una buena **Calidad de Aire Interior (CAI o IAQ)** proporciona, bienestar, confort, salud y productividad en las personas. Para **mejorarla**, es importante [6]:

- Elegir materiales de construcción y mobiliario con **bajas tasas de emisión de contaminantes** (edificios nuevos o rehabilitaciones) y **reducir los focos** de emisión de contaminantes (estufas, productos de limpieza).
- **Ventilar el interior de los edificios**, lo que permite diluir cualquier tipo de contaminante, mediante el aporte de aire exterior.
- **Purificar el aire**, por filtración de partículas, eliminación de gases contaminantes y control microbiológico.

Para que la **ventilación** sea **efectiva**, debe realizarse de forma mecánica [9], normalmente mediante los sistemas de climatización. Las principales ventajas [10] de la **ventilación mecánica**, frente a la ventilación natural (por ventana) son:

1. Es posible **recuperar energía** del aire de extracción, mediante la utilización de **recuperadores de calor**.
2. El **caudal** de ventilación es estable y suficiente, a diferencia de la ventilación natural, que depende del viento y de la diferencia de temperaturas entre el local y el exterior.
3. Es posible implementar un sistema de **Ventilación Controlada por Demanda** (Demand Controlled Ventilation, **DCV**), lo que permite ventilar sólo cuando sea necesario y en la cuantía necesaria, **reduciendo el consumo energético** asociado a la ventilación.

4. Se puede **distribuir el aire exterior de forma homogénea, a través de las diversas técnicas de difusión de aire**, alcanzando altos niveles de inducción. Esto permite llegar a todas las zonas del local evitando corrientes de aire molestas.
5. Hay una menor influencia del **ruido** exterior y se evita la entrada de insectos.

Otra de las ventajas de la ventilación mecánica es que puede complementarse con los sistemas de purificación de aire mencionados anteriormente:

1. Sistemas de **filtrado**, para la eliminación de **partículas** tanto del aire exterior que se introduce para ventilar, como del aire recirculado.
2. Sistemas de **adsorción o carbón activado**, para eliminar **gases contaminantes**.
3. Sistemas de **radiación UVC y fotocátalisis**, para el **control microbiológico**, inactivando aerosoles.

Aunque, para que la ventilación mecánica funcione correctamente, se requiere de un mantenimiento que puede estar propiciado por la existencia de inspecciones. En la actualidad, los únicos países en los que es obligatoria la inspección de los sistemas de ventilación en edificios son: Bélgica, Finlandia y Suecia [11]. Por ello, desde la Unión Europea se ha estado trabajando en una propuesta técnica para la posible **introducción de inspecciones en los sistemas de ventilación de los edificios**. Se verificaría el buen funcionamiento del sistema, la estanqueidad de los conductos, la eficiencia energética, los caudales de aire, la calidad del aire interior, el confort térmico, la limpieza del sistema, nivel de ruido, etc. En este documento [11], se analiza la normativa existente en diferentes países y los distintos tipos de sistemas de ventilación y se comenta que, medir calidad de aire interior es algo poco común, lo que indica lo mucho que queda por hacer en términos de IAQ.

Cuando el **principal foco** emisor de contaminantes son las **personas**, una forma sencilla de evaluar si se está ventilando un espacio correctamente, es mediante la utilización de **sensores de CO₂** [12]. Al respirar se exhala aire con una mayor concentración de CO₂ que la inhalada, lo que hace que aumente la concentración de CO₂ en el interior del local. Por ello, cuanto más cercana sea la concentración de CO₂ en el interior respecto al exterior (se sitúa actualmente alrededor de 400 ppm [13]), menor fracción de aire habrá sido ya respirado y menor posibilidad de contraer enfermedades contagiosas por vía respiratoria [8] [14]. Por otra parte, algunos estudios sugieren que un alto nivel de CO₂ puede afectar al **rendimiento cognitivo** [15] debido a que, al aumentar la concentración de CO₂ en sangre, disminuye el metabolismo de oxígeno en el cerebro. Cabe destacar que la medición de CO₂ no es un buen indicativo de la presencia de otros contaminantes presentes en el edificio [16], si bien, algunos estudios [17] han encontrado una ligera correlación entre contaminantes de aire interiores y CO₂.

El RITE [18] (Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios) presenta cuatro **categorías de calidad del aire interior (IDA)**, en función del uso de los edificios (IT 1.1.4.2.2) y establece los niveles de CO₂ en función de la calidad de aire interior (IT 1.1.4.2.3). Estos niveles se pueden ver en las figuras 1 y 2.

IDA 1	IDA 2	IDA 3	IDA 4
400-750 PPM	750-900 PPM	900-1200 PPM	>1200 PPM
Óptima	Buena	Media	Baja

Figura 1. Concentración de CO₂ y niveles de calidad de aire interior. Elaboración propia.

Categoría	Concentración de CO ₂ (ppm) por encima de la concentración en el aire exterior.	Concentración de CO ₂ (ppm) en valor absoluto , suponiendo una concentración exterior de CO ₂ de 400 ppm.
IDA 1. Aire de calidad óptima Hospitales, clínicas, laboratorios y guarderías.	350	750
IDA 2. Aire de buena calidad Oficinas, residencias, salas de lectura, museos, salas de tribunales, aulas de enseñanza y asimilables y piscinas.	500	900
IDA 3. Aire de calidad media Edificios comerciales, cines, teatros, salones de actos, habitaciones de hoteles y similares, restaurantes, cafeterías, bares, salas de fiestas, gimnasios, locales para el deporte (salvo piscinas) y salas de ordenadores.	800	1200
IDA 4. Aire de calidad baja,	1.200	1600

Figura 2. Método de cálculo de caudal de ventilación por concentración de CO₂. Fuente: Elaboración propia basada en RITE (tabla 1.4.2.3.).

La **importancia** de la ventilación queda reflejada en la gran cantidad de grupos de trabajo en este ámbito, tanto en España como en el resto del mundo. En la figura 3, se recogen muchos de los agentes implicados en materia de ventilación, que engloban tanto a estos grupos de trabajo, como a centros de investigación-universidades y a la administración pública.



Figura 3. Agentes implicados en materia de ventilación. Elaboración propia.

Respecto a la **normativa** que rige la ventilación en España, se distinguen dos casos (ver figura 4):



Figura 4. Normativa de ventilación según el uso del edificio. Elaboración propia.

Edificios de viviendas, almacenes de residuos, trasteros y garajes: Los requisitos de CAI quedan establecidos en la **Sección HS 3 del CTE** [19], que establece la obligatoriedad de la ventilación mecánica o híbrida en viviendas, con unos caudales mínimos según el tipo de estancia.

Resto de los edificios, el **RITE** [18] establece que “dispondrán de un **sistema de ventilación** para el aporte del suficiente caudal de aire exterior que evite, en los distintos locales en los que se realice alguna actividad humana, la formación de elevadas concentraciones de contaminantes, de acuerdo con lo que se establece en el apartado 1.4.2.2 y siguientes”. Los hospitales, salas limpias y locales de hostelería, son casos en los que se aplica además, normativa más restrictiva.

En la figura 5, se han esquematizado las **instrucciones técnicas del RITE relacionadas con la ventilación**, y las **normas UNE** a las que hacen referencia.

Aunque el RD 238/2013 de Modificaciones del RITE ya plantea como obligatoria con periodicidad anual la **revisión de la calidad de aire interior** para potencias superiores a 70 kW, no hace referencia a su **medición en continuo**. Este aspecto es muy importante, ya que las mediciones puntuales en el tiempo y en el espacio pueden no ser representativas de la CAI en un local, estos valores pueden cambiar rápidamente en cuestión de minutos, ante situaciones de alta ocupación y baja ventilación. Es por ello por lo que se está trabajando en una norma UNE con este objetivo [20].

	CTE DB HE2 - RITE No residenciales	NORMAS UNE
DISEÑO	IT 1.1.4.2 Exigencia de calidad del aire interior. IT 1.1.4.2.1. Se considera válido lo establecido en el procedimiento de la UNE-EN 13779 (Anulada)	UNE-EN 16798-1:2020 Parte 1: Parámetros del ambiente interior para el diseño y la evaluación de la eficiencia energética de edificios incluyendo la calidad del aire interior... UNE-EN 16798-3:2018 Parte 3: Para edificios no residenciales. Requisitos de eficiencia para los sistemas de ventilación y climatización. Anula a la UNE-EN 13779:2008
CONTROL AUTOMÁTICO	IT 2.3.4 Control automático Son válidos a estos efectos los protocolos establecidos en la norma UNE-EN-ISO 16484-3.	UNE-EN ISO 16484-3:2006 Sistemas de automatización y control de edificios (BACS). Parte 3: Funciones (ISO 16484-3:2005).
PRUEBAS FINALES	IT 2.2.7. Pruebas finales siguiendo las instrucciones indicadas en la norma UNE-EN 12599, capítulos 5 y 6.	UNE-EN 12599:2014 Ventilación de edificios. Procedimiento de ensayo y métodos de medición para la recepción de los sistemas de ventilación y de climatización instalados.
MANTENIMIENTO PREVENTIVO	TABLA 3.3. Potencia útil >70 kW 38. Revisión de la red de conductos según criterio de la norma UNE 100012: t. 39. Revisión de la calidad ambiental según criterios de la norma UNE 171330: t. t: Una vez por temporada (año).	UNE-EN 100012:2005 Higienización de sistemas de climatización. UNE 171330 Calidad ambiental en interiores Parte 1 (2008) Diagnostico de CAI Parte 2 (2014) Procedimiento de inspección de CAI Parte 3 (2010) Sistema de gestión de los ambientes interiores
INSPECCIÓN	IT 4.2.2. IT 4.2.2 Inspección de los sistemas de las instalaciones de aire acondicionado y ventilación. Será válido a efectos de cumplimiento de esta obligación la inspección realizada conforme a la norma UNE EN 16798-17.	UNE-EN 16798-17:2018. Eficiencia energética de los edificios. Ventilación de los edificios. Parte 17: Directrices para la inspección de los sistemas de ventilación y acondicionamiento de aire. Nada sobre CAI
RESPONSABILIDAD	Real Decreto 238/2013 artículo 29. “Los órganos competentes de la Comunidad Autónoma adoptarán las medidas necesarias para la realización de las inspecciones periódicas previstas en este Reglamento. Además, podrán acordar cuantas inspecciones juzguen necesarias [...], con el fin de comprobar y vigilar el cumplimiento de este RITE a lo largo de la vida de las instalaciones térmicas en los edificios.”	

Figura 5. Exigencias de calidad de aire interior según el RITE. Elaboración propia.

Eficiencia energética en edificios

Actualmente, el **cambio climático** [21] y la degradación del medio ambiente son una grave amenaza a nivel global. La eficiencia energética es fundamental para contribuir a la descarbonización y limitar, como se fijó en el **Acuerdo de París en 2015**, a 1,5°C el aumento de la temperatura del planeta [22].

En este contexto, la ONU ha establecido distintos **Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)** para el año 2030 [4], entre los que se encuentra: energía asequible y no contaminante; ciudades y comunidades sostenibles; y acción por el clima.

En la Unión Europea, los **edificios son responsables del 40% del consumo energético** y del 36% de las emisiones de gases de efecto invernadero. Además, se estima que el **75% del parque inmobiliario de la UE es ineficiente** [23]. Por ello, uno de los objetivos de la Unión en materia de energía y cambio climático está enfocado en renovar el parque inmobiliario priorizando la eficiencia energética y realizar reformas profundas. La mejora de la eficiencia energética de los edificios es vital para conseguir la neutralidad en emisiones de carbono, de acuerdo con el Pacto Verde Europeo.

La normativa Europea relativa a energía en edificios en las últimas décadas, ha estado enfocada en la reducción del consumo, aumentar la eficiencia energética e implantar energías renovables. El **contexto normativo en Europa y España** en materia de energía se recoge de forma cronológica en la figura 6.

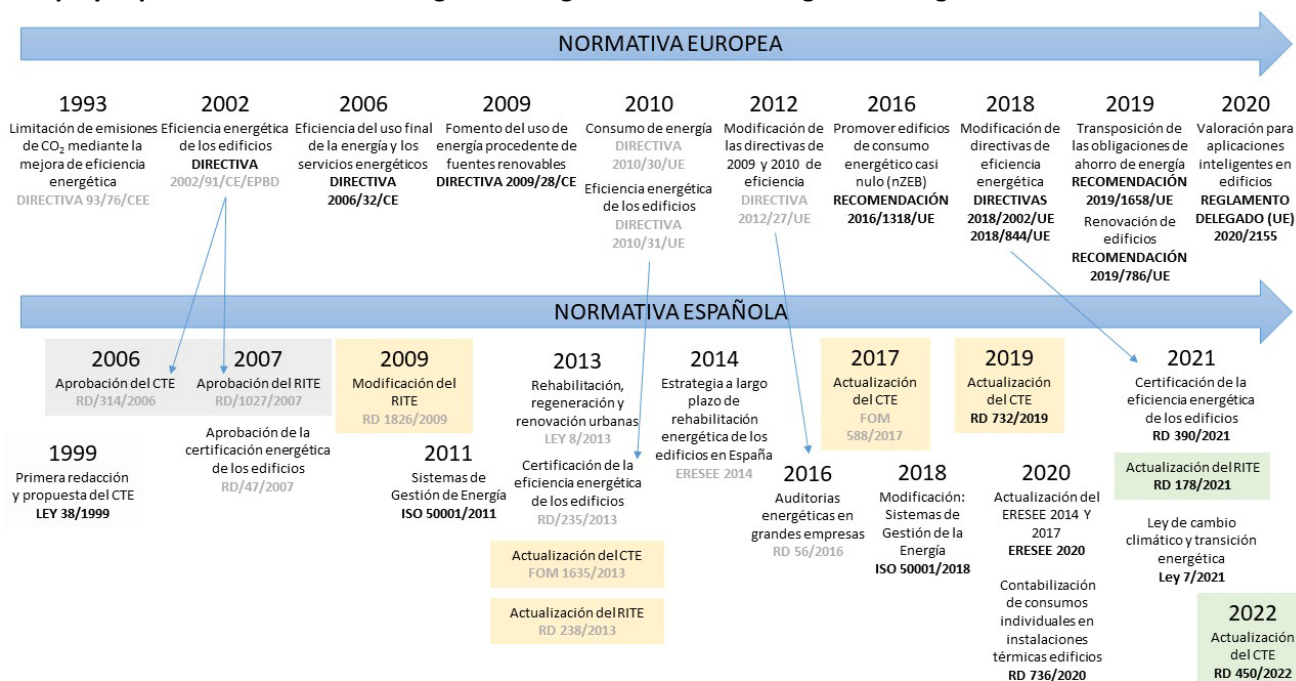


Figura 6. Cronología del contexto normativo Europeo y Español en materia de energía. Elaboración propia basada en la figura 3 del TFG de Clara Vicioso [24].

Las normativas relativas a la eficiencia energética de los edificios suelen basarse en **estimaciones** de consumo de energía en el periodo de diseño, mediante simulación [25]. Numerosos estudios [25] [26], han demostrado que existe una gran diferencia entre estos valores teóricos y los valores reales de consumo, lo que se denomina **Building energy performance gap**. Estas diferencias son debidas a las numerosas hipótesis simplificadoras necesarias para modelar o simular sistemas complejos. Esto demuestra que no sólo hay que simular, sino que **hay que monitorizar los edificios**, para comprender cómo se comportan, conocer el consumo energético real e identificar ineficiencias. Por otra parte, monitorizar los edificios facilitaría la realización de auditorías energéticas. [27]

Para aumentar la **eficiencia energética en edificios**, conseguir ahorros en emisiones de carbono, así como una mejora en el **confort** y comodidad para los ocupantes de los edificios, la Unión Europea a través de la Directiva 2018/844/EU, introdujo el marco de implantación de los **SRI** (Smart Readiness Indicator). Ello permite la integración de tecnologías inteligentes de vanguardia en los edificios (ver figura 7) y califica la preparación inteligente de los edificios (o unidades de construcción) en su capacidad para realizar 3 funcionalidades clave [28]:

- Optimizar la eficiencia energética y el rendimiento general en uso
- Adaptar su funcionamiento a las necesidades del ocupante
- Adaptarse a las señales de la red (por ejemplo, flexibilidad energética)

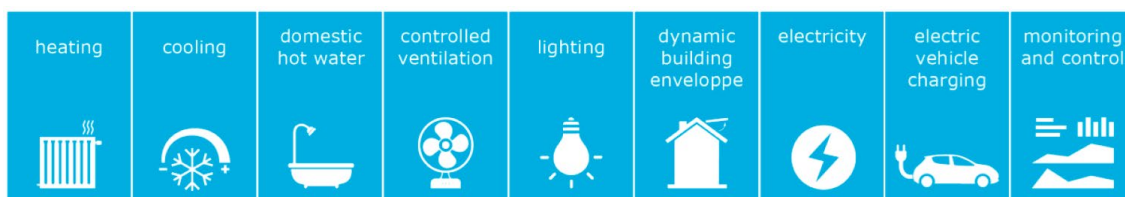


Figura 7. Dominios que estructuran el catálogo de SRI

La introducción de los SRI puede ayudar a disminuir el “gap” anteriormente mencionado, al medir y monitorizar en continuo y al introducir sistemas que actúen en función de estas medidas.

Ventilación y eficiencia energética

Dentro del marco de la eficiencia energética y la ventilación en edificios, merecen mención destacada los **recuperadores de calor** y los sistemas de **ventilación controlada por demanda**, ya que la carga térmica debida a ventilación puede ser una parte muy importante de la demanda térmica de climatización de los edificios.

Los **recuperadores de calor** son aquellos dispositivos que permiten la **reutilización del calor residual** de un sistema y cuyo objetivo final es alcanzar la eficiencia máxima de la instalación [29]. El RITE en la IT 1.2.4.5.2. de recuperación de calor del aire de extracción [18] establece que *en los sistemas de climatización de los edificios en los que el caudal de aire expulsado al exterior, por medios mecánicos, sea superior a 0,5 m³/s, se recuperará la energía del aire expulsado*. Las prestaciones de un recuperador de calor se expresan mediante la eficacia con la que se trasfiere calor sensible (temperatura de bulbo seco), calor latente (humedad absoluta) y calor total (entalpía). La eficiencia se define como el cociente entre cantidad de energía recuperada y la máxima recuperable. En la figura 8 se recogen los **tipos de recuperadores y sus características**.

Recuperador	Calor transferido	Rango de eficiencias	Pérdida de presión (Pa)	Velocidad aire (m/s)
Rotativo	Total	70-90 %	100-180	2,5-4
Placas	Sensible	45-65 %	120-400	1,5-6
Circulación y rociado	Total	60-70 %	150-300	1,5-3
Dos baterías con bomba	Sensible	40-60 %	150-300	1,5-2,5
Evaporador-condensador	Sensible	50-70 %	-	-
Tubos de calor	Sensible	50-80 %	100-500	2-4,1
Evaporativo indirecto	Sensible	50-70 %	50-350	1,5-5

Figura 8. Características de los recuperadores según [29].

En la figura 9 se muestran dos imágenes de dos de los tipos de recuperadores más habituales.



Figura 9. Recuperador rotativo (izda.) y de placas (dcha). Imagen propia, tomada en la visita a Evair.

Los sistemas de **ventilación controlada por demanda** (VCD, o por sus siglas en inglés DCV Demand Controlled Ventilation) se caracterizan por controlar los **caudales de aire** de ventilación en función de mediciones de calidad del aire interior (**IAQ**), mediante sondas de temperatura, humedad y CO₂. Puesto que la mayoría de los espacios en un edificio **no están ocupados en su totalidad**, el sistema de DCV funciona con caudales de aire reducidos durante una gran parte del tiempo de funcionamiento, lo que permite **reducir el consumo de energía** del ventilador y el consumo de la batería de calentamiento/enfriamiento del aire de suministro. El mayor potencial de ahorro se puede conseguir en **espacios de ocupación variable** como salas de estudio. Un estudio [30] llevado a cabo en 2018 demuestra que se pueden conseguir importantes reducciones de energía, mediante la implantación de un sistema de DCV con recuperación de calor. El ahorro de energía en **ventiladores** es de alrededor del **50%** y en cuanto a la reducción de las **pérdidas de calor**, de entre un **34%** y un **47%**, respecto un sistema a caudal de aire constante.

1. Eficiencia energética

1.1 Análisis de consumos eléctricos del edificio Betancourt de los años 2020-2021

En los últimos meses y debido a las tensiones geopolíticas con Rusia, se ha disparado el precio de la energía incluida la electricidad. La Universidad de Zaragoza no ha sido una excepción y, comparando los datos de consumos y precio de la electricidad del CT del edificio Betancourt de los meses de enero a marzo de 2021, con el mismo periodo en 2022, aunque el consumo ha disminuido ligeramente, **el precio se ha incrementado un 178,2%**, lo que equivale a 151.592€, como se puede observar en la figura 10.

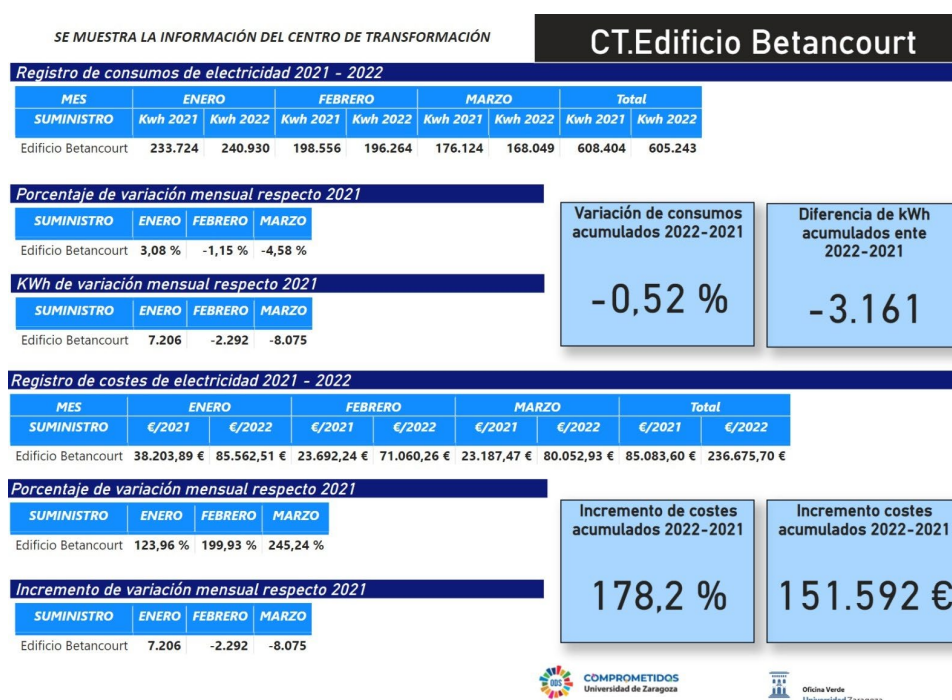


Figura 10. Registro de consumos y costes del CT del edificio Betancourt. Enero-marzo 2021 y 2022. Fuente: Oficina Verde

Por este motivo, urge la necesidad de reducir los consumos eléctricos, implantando mejoras que supongan una mayor eficiencia energética en los edificios. En este apartado se analizarán los históricos de consumos eléctricos de los años 2020 y 2021 del edificio Betancourt, con el fin de:

- Estudiar las **diferencias entre los años 2020 y 2021**.
- Observar cuándo se producen los **picos de consumo**, tanto por meses como por horas.
- Cuantificar el **consumo** en horas en las que el **centro cierra**.
- Analizar la relación entre **temperaturas exteriores y consumos eléctricos**.
- **Proponer posibles medidas para reducir consumos eléctricos**.

En la figura 11 se ha representado el consumo eléctrico por meses a lo largo de los años 2020 y 2021.

Los meses de **invierno** (noviembre a febrero) son los que presentan un **consumo eléctrico mayor**. Ello puede ser debido a factores como que la necesidad de iluminación es mayor, debido a que el número de horas de sol es menor, y se precisa de mayor tiempo de encendido de la climatización, al ser la temperatura exterior menor.

Destacan los meses de marzo y junio del año 2020, en los que el consumo fue significativamente menor, debido al **cierre del edificio por el confinamiento** durante la pandemia (ver figura 11), siendo el balance total del año 2020 un 10,6% inferior al de 2021. También es llamativo el mes de agosto de 2020, puesto que el consumo eléctrico fue bastante alto, para ser un mes en el que el edificio cierra.

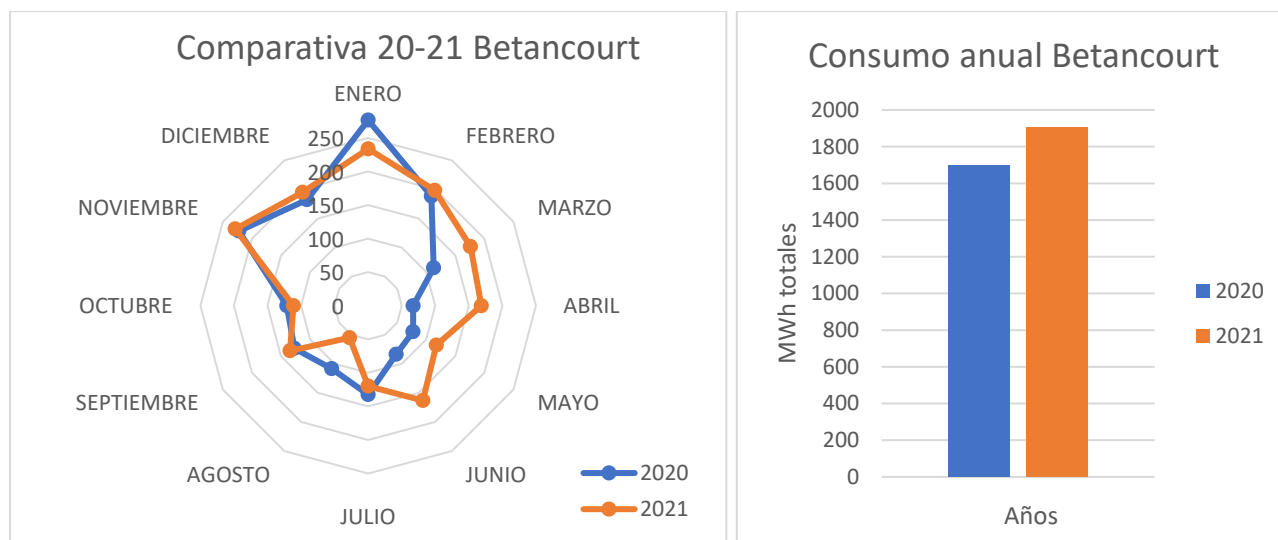


Figura 11. Comparativa del consumo mensual y anual en el edificio Betancourt. Años 2020 y 2021. Elaboración propia. Fuente de datos: Oficina Verde.

A continuación se analiza el **consumo en stand-by** del edificio, es decir, el que se produce en las horas en las que el **edificio está cerrado y la climatización desconectada** (de 23 p.m. hasta las 5 a.m. aproximadamente).

En la figura 12, se representa el consumo en cada hora de stand-by a lo largo del año 2021. Se aprecia que este valor es aproximadamente constante e igual a **0,1 MWh**, salvo horas puntuales de mayor consumo, que puede coincidir con días en los que es necesario climatizar durante más horas. El promedio del consumo de cada hora nocturna del año 2021 es de 0,111 MWh.

En la figura 13, se representa gráficamente el **consumo anual** del edificio Betancourt **por horas** en los años 2020 y 2021, en forma de curva de carga. Cada hora de **consumo nocturno** supone unos 41 MWh/año, lo que alcanza un total de **280 MWh/año en todo el periodo nocturno de 23 p.m. hasta las 5 a.m.**

El consumidor principal en stand-by es el CPD (Centros de Procesamiento de Datos) y la climatización asociada, que consume alrededor de 40 kWh (TFG Javier Turón Blas, 2019, página 55-58) [31], lo que supone un 36% del total (0,04 MWh de 0,111 MWh). El resto de consumo es debido a **alumbrado** nocturno, sistemas de **vigilancia** y protección contra incendios, **equipos** que permanecen conectados por la noche (ordenadores, routers y neveras de laboratorios), etc.

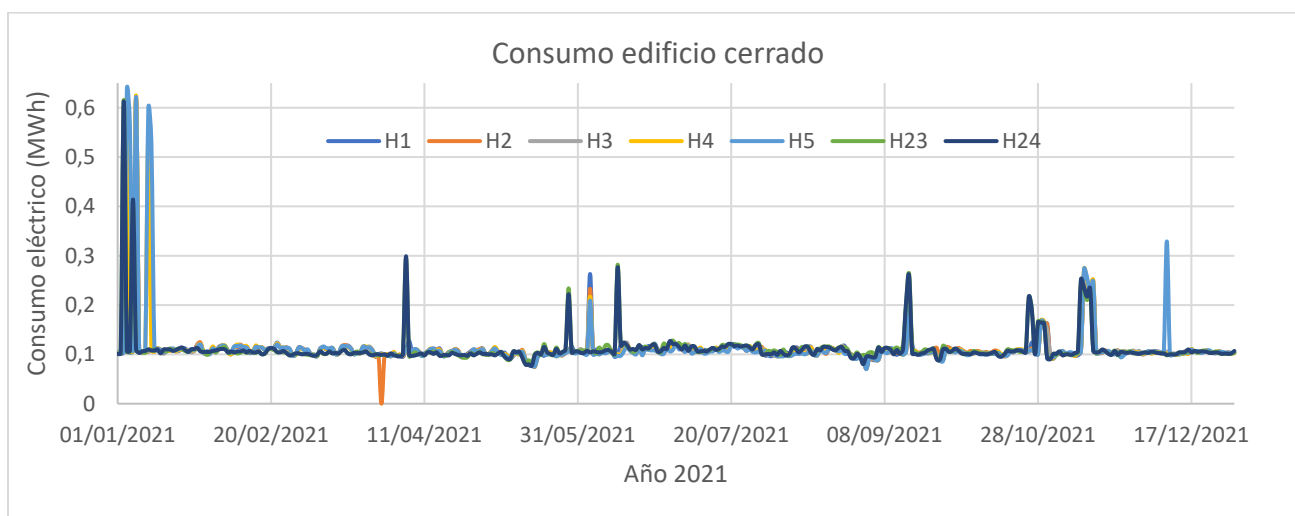


Figura 12. Consumo del edificio Betancourt de 23 p.m. hasta las 5 a.m. durante el año 2021.

En la figura 13 también se aprecia que a partir de las 6 de la mañana comienza el pico de consumo, puesto que es la hora a la que se conecta la climatización generalmente. Asimismo, la duración del **pico de consumo es mayor por la mañana** (alcanzando los 120 MWh/año) que por la tarde, en los dos años estudiados. La causa principal es que por la mañana, la climatización tiene que hacer frente a una mayor carga térmica (mayor diferencia de temperatura). En el *anexo 1, informe 3*, se detallan la curvas de carga por meses.

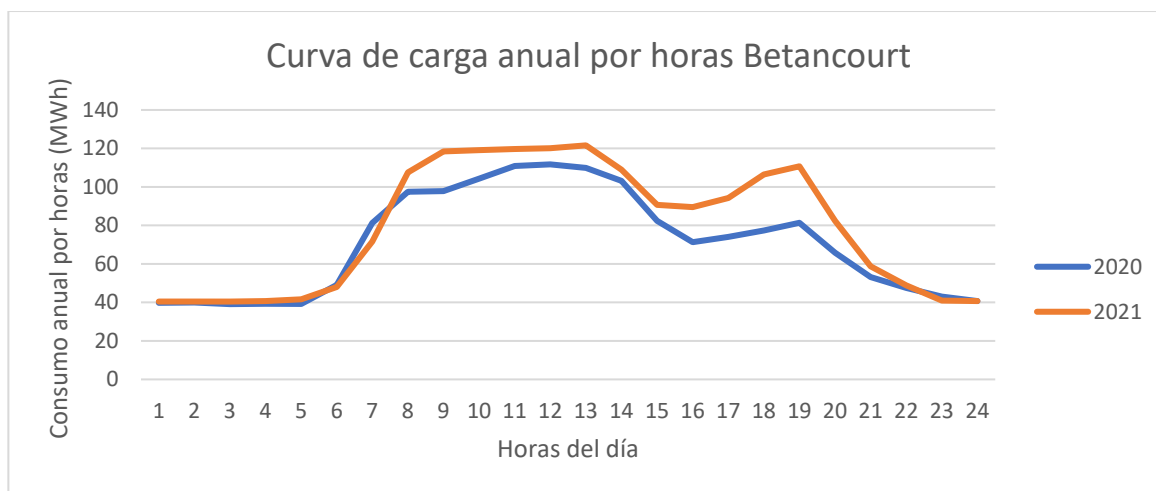


Figura 13. Curva de carga del consumo anual del edificio Betancourt por horas. Elaboración propia. Fuente de datos: Oficina Verde.

Por otra parte, se han correlacionado los datos de consumo eléctrico durante los **meses de invierno** (octubre a marzo) de 2020 y 2021, con datos de temperatura media exterior, obtenidos desde AEMET (ver figura 14). Se ha comprobado, como era esperable, que dicha **correlación es inversa**, por lo que, al aumentar la temperatura media exterior, el consumo eléctrico disminuye. Los datos se ajustan bastante bien a una recta, con un valor de R^2 de 0,74, aunque mejor a una curva polinómica de grado 2, ya que su valor de R^2 es de **0,77**. En el ajuste a una recta, por cada grado de disminución de temperatura media exterior en invierno, aumenta 0,53 MWh el consumo anual.

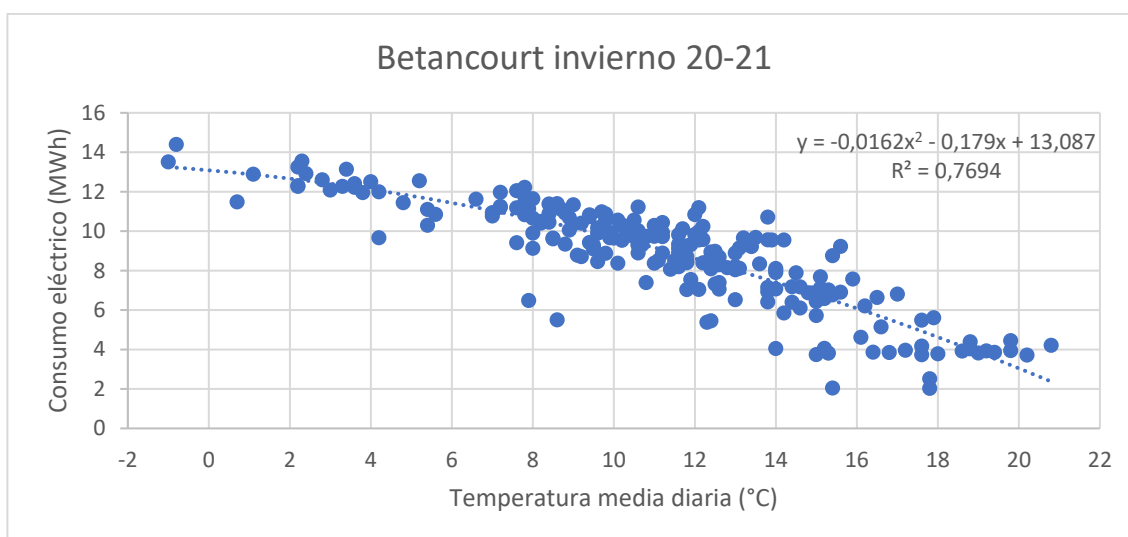


Figura 14. Relación entre temperatura media exterior y consumo eléctrico en el edificio Betancourt (invierno). Años 2020-2021. Elaboración propia. Fuente de datos: Oficina Verde y Aemet.

Se ha correlacionado también el número de horas de encendido de la climatización con el consumo eléctrico del edificio a lo largo de 2021 (ver figura 15). En este caso la correlación es directa (a mayor horas de encendido, mayor consumo), con una tendencia lineal con coeficiente de regresión de **0,86**.

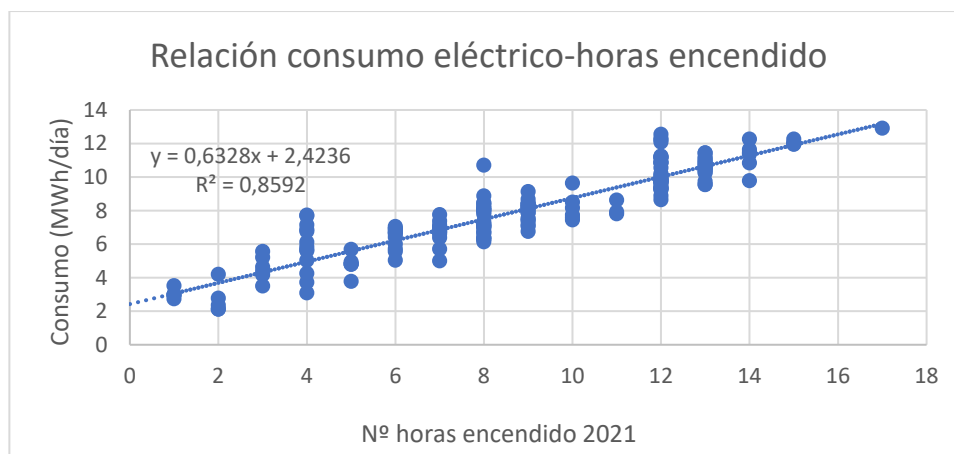


Figura 15. Consumo eléctrico y horas de encendido de climatización en el edificio Betancourt en 2021. Elaboración propia.

Esta relación pone de manifiesto que **la climatización supone el principal consumo eléctrico del edificio**, y que **las medidas de ahorro de energía eléctrica deben ir en esa línea**, como se detalla en el apartado 1.3.

El estudio de los datos de consumos eléctricos del edificio Betancourt, ha permitido establecer una correlación entre el consumo eléctrico y la temperatura media exterior en invierno (0,53 MWh/°C) y caracterizar el consumo pico (120 MWh/año) y en stand-by (280 MWh/año) durante el año 2021. Se propone instalar un mayor número de **contadores de energía eléctrica para identificar exactamente dónde se producen los consumos más importantes**, después de la climatización. Se tiene especial interés en comprender con más detalle los consumos en stand-by **y poder tomar medidas para su reducción**.

1.2 Análisis de datos de temperaturas de la aplicación SensoriZAR.

Con el fin de reducir el consumo de energía, el RD 1826/2009 estableció una **limitación a las temperaturas** a mantener en establecimientos de edificios y **locales climatizados**. En modo calefacción, establece un límite máximo de 21°C, cuando para ello se requiera consumo de energía convencional, para la generación de calor por parte del sistema de calefacción. De la misma forma, en modo refrigeración, la temperatura no será inferior a 26 °C. Recientemente, la Orden PCM/466/2022 publicada en el BOE el 25 de mayo, todavía limita más estas temperaturas, aunque sólo se aplica a edificios de la Administración General del Estado y las entidades del sector público institucional estatal. Los límites en estos casos pasan a ser 19°C en modo calefacción y 27°C en modo refrigeración.

Por otra parte, el RD 486/1997 [32] establece que la temperatura de los locales donde se realicen trabajos sedentarios propios de oficinas o similares estará comprendida entre 17 y 27 °C.

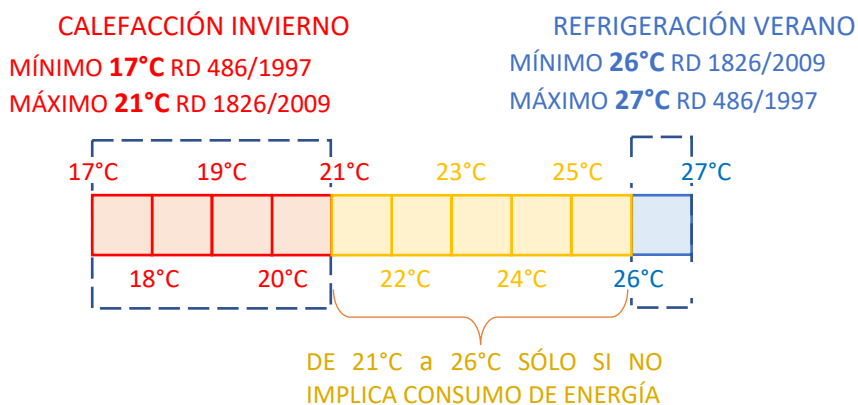


Figura 16. Rango de temperaturas admisibles. Elaboración propia.

Para evaluar si la temperatura de las aulas se encuentra dentro de estos márgenes, **se ha desarrollado un programa en Java** (disponible en el anexo 2). Este programa utiliza los históricos de temperatura recogidos por la aplicación **SensoriZAR** y calcula las **temperaturas máximas y mínimas** y el **número de horas en el que las temperaturas están fuera del rango establecido**, durante el horario de apertura del centro.

En este caso, se han estudiado datos del 27/10/21 al 27/02/22, de las aulas 2.03, 2.04 y 2.05 del edificio Betancourt. En la figura 17, se han representado, **a modo de ejemplo**, las temperaturas máximas y mínimas calculadas por el programa en el **aula 2.05**. En esta gráfica se señalan los días festivos en color gris y los días en los que no se tienen datos, en color verde. También se ha representado con líneas horizontales la temperatura máxima y mínima según normativa. El estudio completo está disponible en *anexo 1, informe 1*.

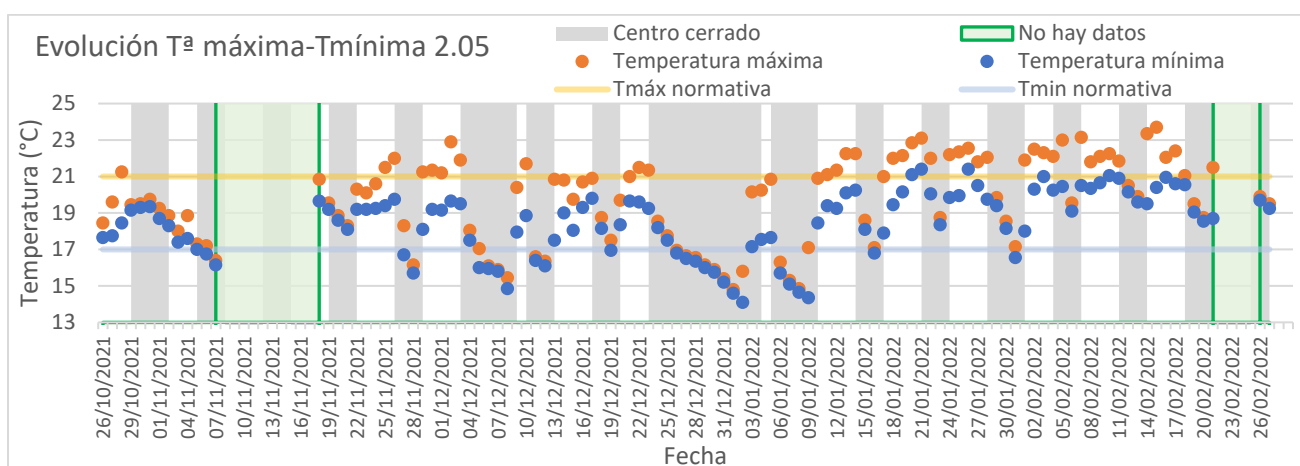


Figura 17. Temperaturas máximas y mínimas en el aula 2.05 del 27/10/21 al 27/02/22. Elaboración propia a partir de datos de SensoriZAR.

Se ha comparado el porcentaje de horas de apertura del centro en las que la temperatura está por debajo de 17°C (en azul) y por encima de 21°C (en naranja). El resultado se puede ver en la figura 18.

El porcentaje de tiempo en el que la temperatura está por debajo de 17°C es muy pequeño, inferior al 6 %. Esto es una buena noticia en cuanto a la respuesta del conjunto edificio-instalación-horarios. Sin embargo, el **porcentaje de tiempo por encima de 21°C es mayor**, superando el 30% en el aula 2.05. En este aspecto, existe un **amplio margen de mejora**, para no climatizar en exceso, con el consumo innecesario de energía que conlleva.

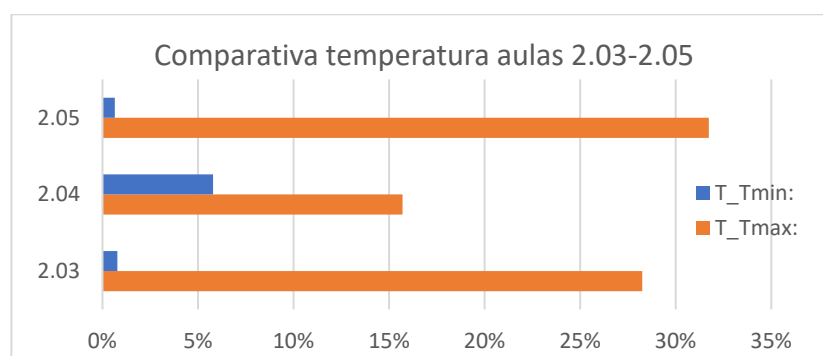


Figura 18. Porcentaje de tiempo fuera del rango de temperaturas de normativa, en aulas 2.03 a 2.05. Elaboración propia.

Se propone **automatizar la generación de informes** en los que se analice el porcentaje de tiempo fuera del rango de temperaturas (figura 16), implementando este programa **en la plataforma SensoriZAR**. De esta forma, se podría trabajar en una mejora continua de la instalación, para ir disminuyendo ese porcentaje de horas de consumo de energía innecesaria. Gracias a los informes podría cuantificarse la repercusión de las medidas tomadas.

Gracias a SensoriZAR, se ha estudiado la **evolución de las temperaturas** entre el 13 y 17 de junio de 2022, en las aulas 1.06, 1.08 y 2.03 a 2.06 del edificio Betancourt y en la sala de estudios Tomás Pollán, para observar la influencia de la climatización en días de altas temperaturas exteriores y verificar si las temperaturas se encuentran dentro del margen normativo. La evolución de las temperaturas se muestra en la figura 19.

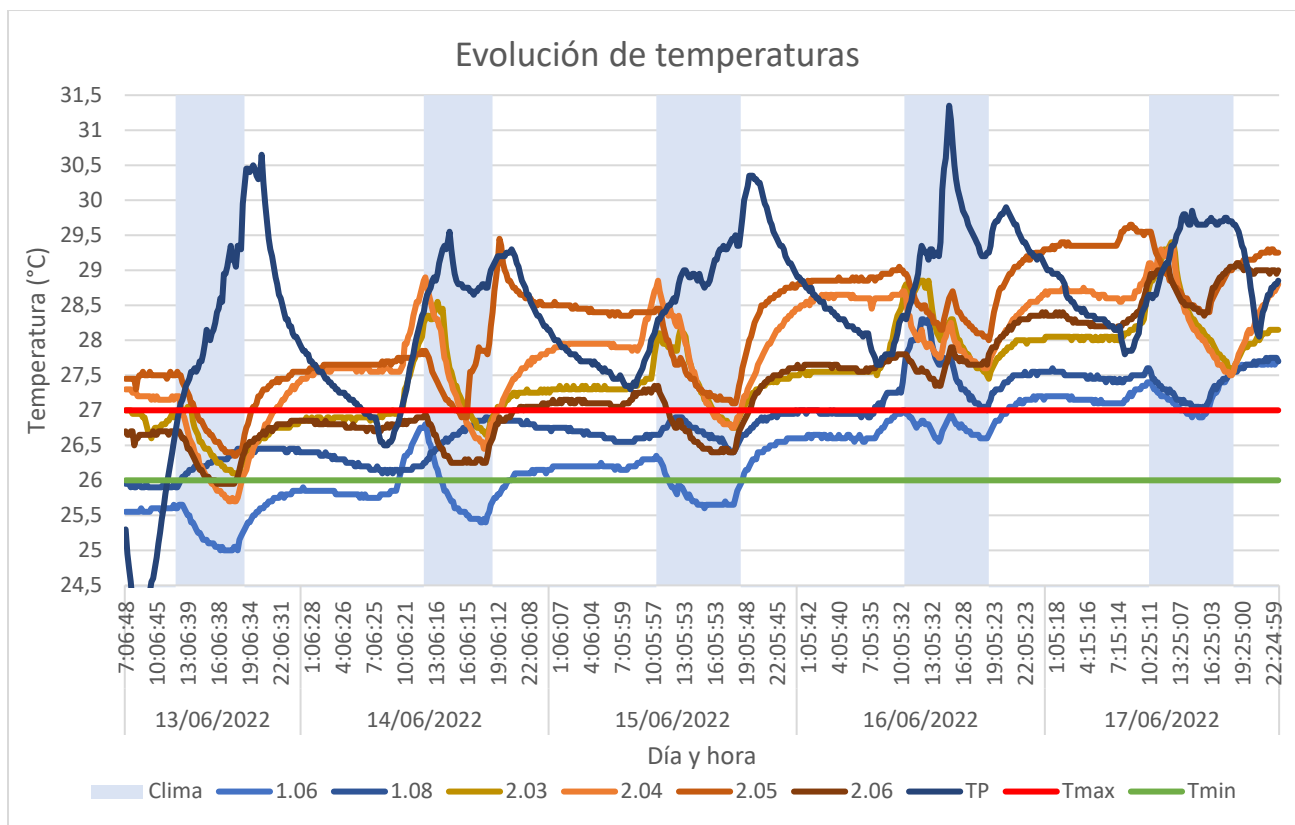


Figura 19. Evolución de la temperatura en espacios del edificio Betancourt. Elaboración propia.

Respecto a las aulas, se observa que las de la **planta primera presentan unas temperaturas menores** que las de la planta segunda. De hecho, el aula 1.06 es climatizada por debajo de los 26°C (RD 1826/2009), entre el lunes y miércoles. Por otra parte, la temperatura **va aumentando a lo largo de la semana** y al final de ésta, se **supera la temperatura máxima de 27°C** establecida en la normativa laboral (RD 486/1997), en todas las aulas, a pesar de estar la climatización encendida. Al conectarse la **climatización**, se observa un descenso de la temperatura en las aulas, aunque en la mayoría de los casos **no es suficiente para bajar la temperatura** por debajo de 27°C o se consigue al final de la jornada. Esto es un indicativo de que las bombas de calor no tienen la **capacidad frigorífica necesaria**, debido a la **avería de compresores**, por lo que, el agua suministrada a los fancoils está a mayor temperatura. Destaca el aula 2.05 puesto que, pese a ser un aula pequeña, alcanza temperaturas superiores a las de las aulas grandes (2.03 y 2.04). Esto puede ser debido a una ocupación mayor.

Respecto a la sala **Tomás Pollán**, se ha observado un **mal funcionamiento** de la climatización, debido a que **la temperatura sigue aumentando** a pesar de la conexión de la climatización, alcanzando valores de **hasta 31°C** (ver figura 19). Ello induce a pensar que hay una avería en el sistema, o que la capacidad frigorífica es insuficiente debido a cargas térmicas elevadas (ocupantes, radiación solar...) y al mal funcionamiento de algunos compresores.

El estudio detallado se encuentra disponible en el *anexo 1, informe 14* y muestra que, gracias a **SensoriZAR**, es posible **detectar incidencias y comprobar el funcionamiento de los sistemas de climatización**.

1.3 Propuestas de ahorro de energía en fancoils

Dado que la climatización supone el consumo más alto del edificio, las medidas de ahorro de energía deben ir encaminadas a reducir estos consumos.

Se ha observado que, para el encendido de los fancoils de las aulas, **no se tienen en cuenta los horarios en los que el aula va a estar ocupada**. Por lo que, si la temperatura es menor que la consigna del termostato (en invierno o mayor en verano), **los fancoils se ponen en marcha** al conectar la climatización general del edificio. A modo de ejemplo, gracias a la aplicación SensoriZAR, se detectó que el aula 1.08 del edificio Betancourt llegó a alcanzar 25,2°C sin tener docencia a lo largo de todo el día, según se comprobó en reserva de aulas (más información en el *anexo 1, informe 4*). De hecho, en la figura 20 se puede observar cómo la temperatura del aula empieza a ascender en el momento de conexión de la climatización a las 7 a.m. hasta que se desconecta a las 12 p.m. Esta situación se da en un mayor número de aulas, de ahí la importancia de las medidas que se proponen a continuación.

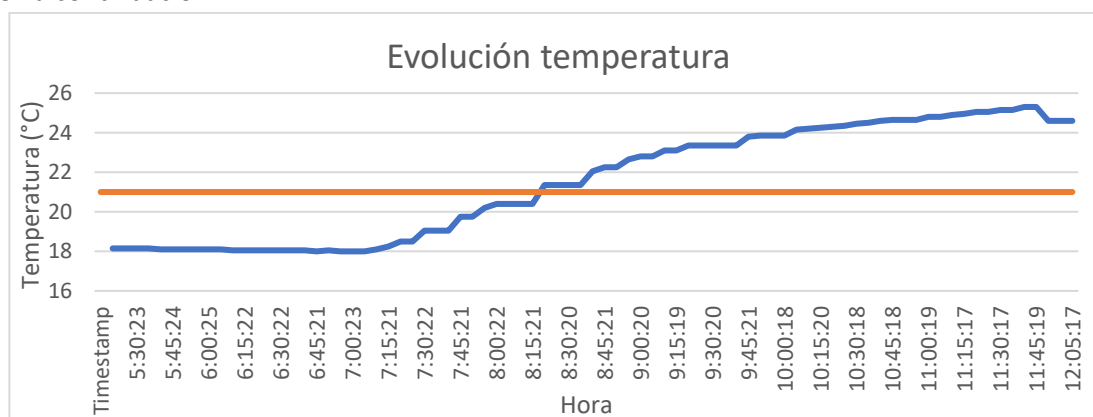


Figura 20. Evolución de la temperatura en el aula 1.08 (29/3/2022).

Propuesta 1: Climatizar sólo las aulas ocupadas.

Si el fancoil de cada aula se encendiera **antes de empezar la clase** (el tiempo necesario para que se climatizara), se conseguiría un ahorro considerable, especialmente en los espacios en los que la primera clase se produce a final de la mañana o por la tarde. Al desconectar fancoils de aulas sin ocupación, deja de haber **consumo de energía térmica**, al evitar que pase agua por la batería, lo que repercute en un **menor consumo del primario**. También supone un ahorro la desconexión del ventilador.

Los horarios en los que las aulas están ocupadas son accesibles a través de la página web de reserva de espacios. Según un estudio llevado a cabo por la profesora de la EINA, Pilar Brufau, sobre estos horarios, las horas promedio de ocupación son del 47 % en el edificio Betancourt, del 39% en el Torres Quevedo y del 37% en el Ada Byron. En la figura 21 se puede visualizar la ocupación y el potencial de ahorro, por edificio y día de la semana. Dado que el ahorro por la desconexión de los fancoils es inversamente proporcional a la ocupación, se podría hablar de un **ahorro aproximado** del consumo de la **climatización de las aulas del 53% en el edificio Betancourt**, del 61% en el Torres Quevedo **y del 63 % en el Ada Byron**, como se muestra en la tabla 1.

	Ada Byron	Torres Quevedo	Betancourt
Lunes	58%	61%	52%
Martes	59%	59%	43%
Miércoles	65%	65%	54%
Jueves	62%	60%	55%
Viernes	72%	62%	62%
Promedio	63%	61%	53%

Tabla 1. Potencial de ahorro por edificio y día de la semana. Elaboración propia.

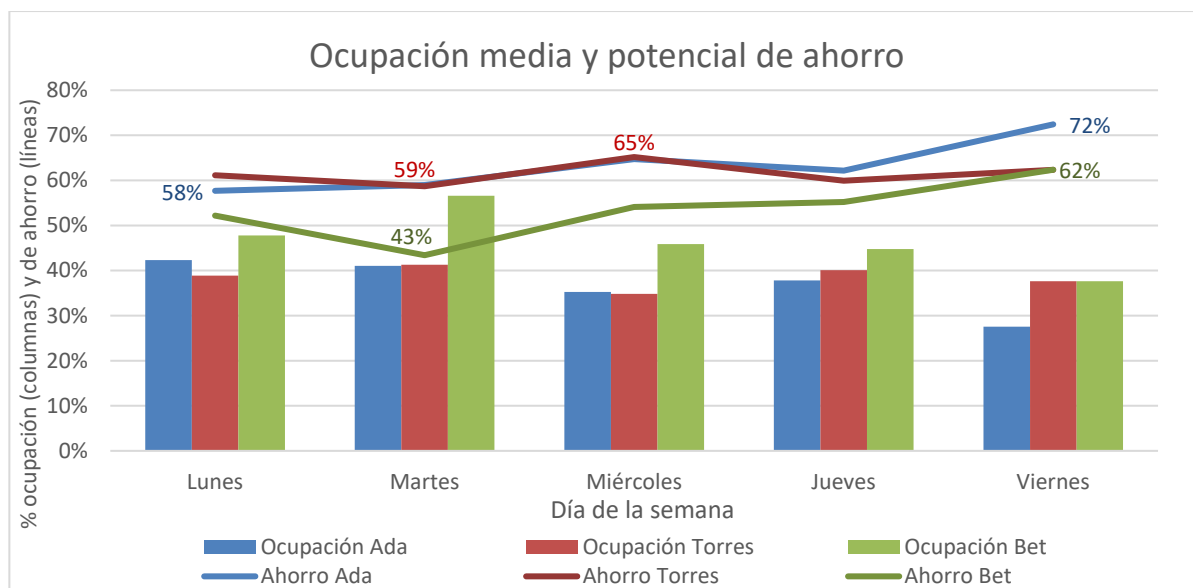


Figura 21. Ocupación de las aulas y potencial de ahorro. Elaboración propia a partir de un estudio realizado por Pilar Brufau.

Actualmente, el programa que controla la climatización en el edificio Betancourt se denomina Metasys (Johnson Controls), y permite visualizar en los diferentes espacios, la **temperatura ambiente** en el retorno, la temperatura de **consigna**, el **estado del fancoil** (on/off), el **grado de apertura de la válvula de tres vías** del fancoil, el **modo de climatización** (invierno/verano) y el **modo de funcionamiento** del fancoil (confort, desactivado...). Además, el programa permite encender y apagar el fancoil desde el ordenador, remotamente. En la figura 22, se muestra una captura del programa. Para más información, consultar el *anexo 1, informe 9*.

En base a esta información, podría ser una buena opción crear un **programa puente** que conecte **Metasys** con la aplicación de **reserva de espacios** [33], para que sea posible implantar horarios individuales por aula, dado el alto desembolso económico que supondría modificar el programa Metasys. Este programa puente podría consistir en un grabador de macros que reprodujera las acciones que haría una persona en el ordenador (Metasys) para apagar o encender un fancoil, en función de reserva de espacios.

Por otra parte, dado que el programa Metasys permite visualizar la temperatura, sería posible verificar que los termostatos funcionan correctamente, comparando datos de SensoriZAR con los que se visualizan en esta aplicación.



Figura 22. Representación del fancoil de una aula.

2. Salud y Calidad de Aire Interior

2.1 ¿Es necesario medir formaldehído, COV's y partículas en edificios de la EINA?

Con el fin de responder a la pregunta que se plantea de cabecera de este apartado y comprender si es suficiente con la medida de CO₂ en las aulas de la EINA, se han medido diferentes tipos de contaminantes y se ha verificado si éstos se encuentran dentro del rango deseable. Este estudio está disponible en el *anexo 1, informe 12*.

Para estas mediciones se ha utilizado el equipo MICA (figura 1), que mide los siguientes parámetros: dióxido de carbono, humedad, temperatura, compuestos orgánicos volátiles, formaldehído, y partículas en suspensión de diferentes tamaños (PM 1, PM 2,5 y PM 10). El sensor usa cuatro sensores primarios: NDIR, electroquímico, MOx, y un láser de partículas.



Figura 24. Monitor Inteligente de Calidad de Aire (MICA) utilizado en las mediciones. Elaboración propia.

El rango de valores para mantener una buena calidad de aire para cada elemento se muestra en la tabla 2.

Rango	Formaldehído	COV's	PM 2,5	PM 10	PM 1
Inferior	-	-	-	-	-
Superior	70,0	220	25	50	-

Tabla 2. Rango de valores. Fuente: inBiot

En las figuras 25 a 28, se representan los valores máximos, promedio y mínimo de los contaminantes medidos.

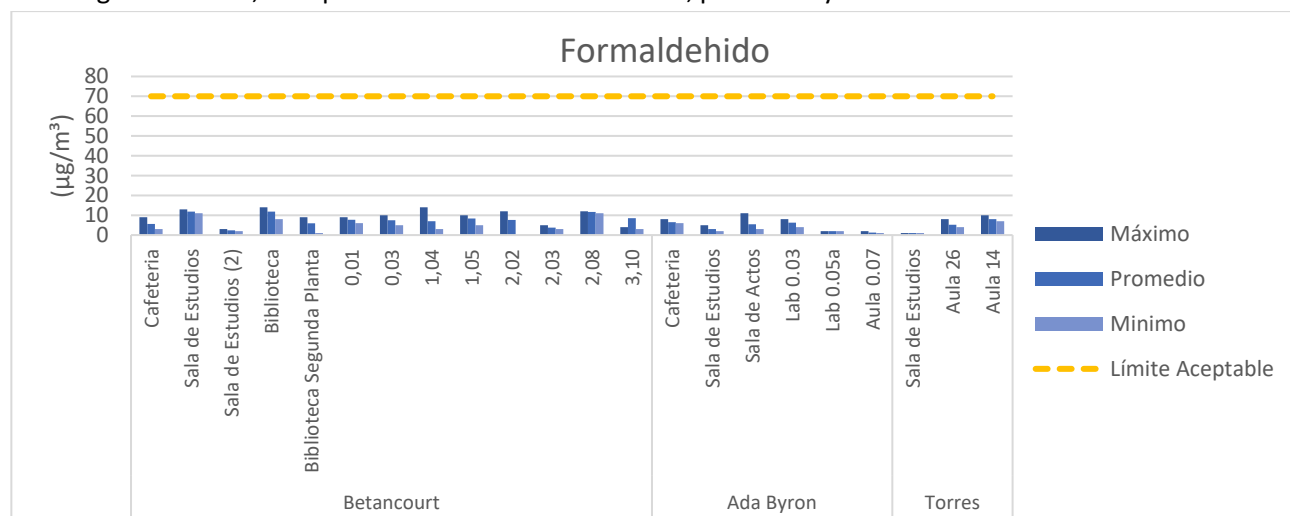


Figura 25. Mediciones de Formaldehído en los diferentes espacios. Elaboración propia.

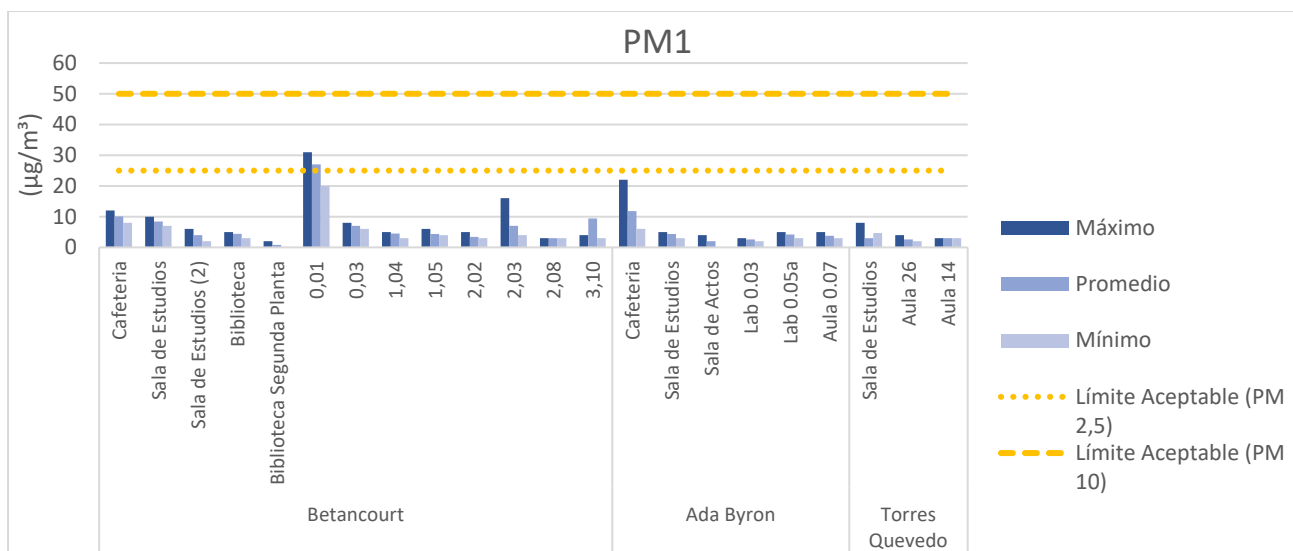


Figura 26. Mediciones de partículas PM 1 en los diferentes espacios. Elaboración propia.

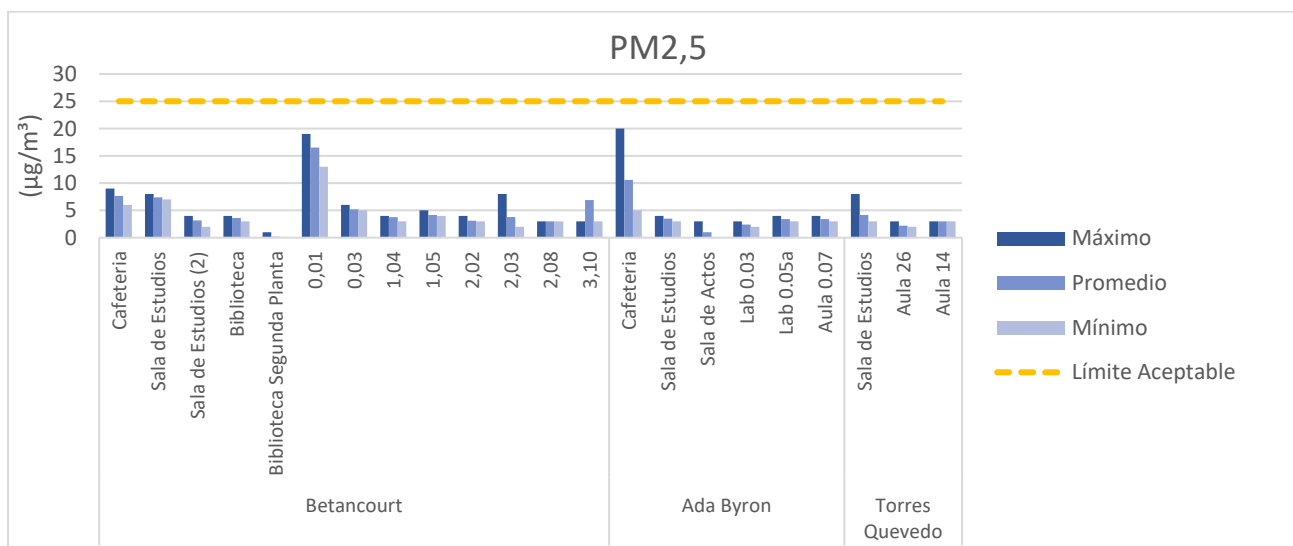


Figura 27. Mediciones de partículas PM 2,5 en los diferentes espacios. Elaboración propia.

En la cafetería del Ada Byron y en el aula 0.01 del edificio Betancourt, se detectaron valores de partículas PM2,5 superiores, pero dentro de los límites.

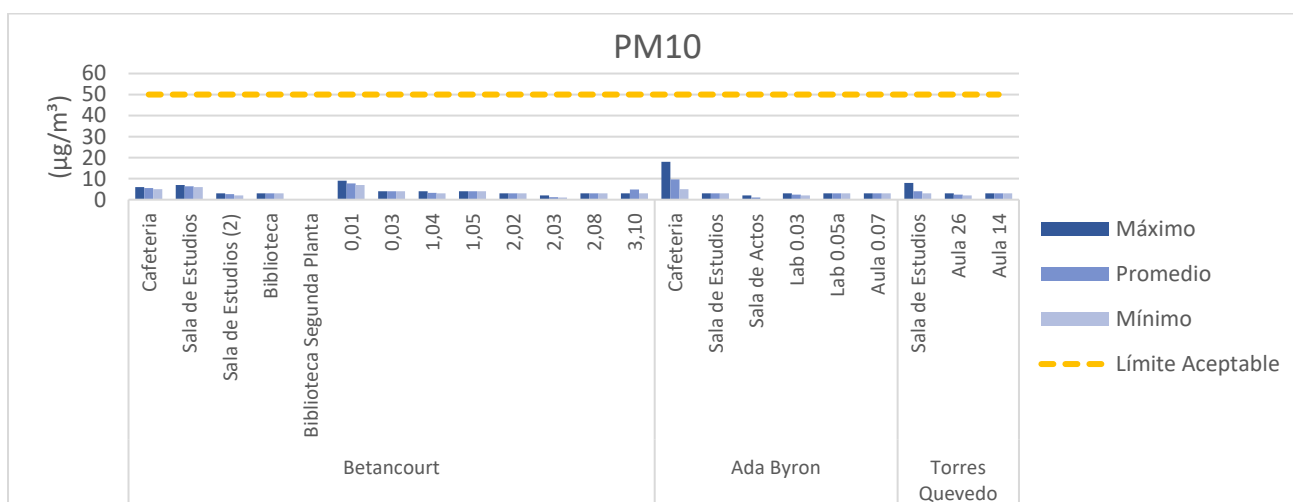


Figura 28. Mediciones de partículas PM 10 en los diferentes espacios. Elaboración propia.

Este análisis se ha llevado a cabo también para COVs pero, tras detectar incoherencias en las medidas, se ha contactado con el fabricante, que ha indicado que el sensor de COVs necesita un periodo de unas 12 horas de calibración, con exposición a una adecuada renovación del aire. Además, no guarda la calibración, es decir, ante cada desconexión, se vuelve a iniciar un nuevo ciclo de calibración. Por ello, **es necesario repetir las mediciones de COVs**. En las últimas mediciones, con el sensor calibrado, se ha observado que los niveles de COVs disminuyen rápidamente al ventilar y que dependen de la temperatura. Un aumento en la emisión de COVs al aumentar la temperatura, ya ha sido observada por Lee et al. [34], en el caso de suelos de madera, lo que es extrapolable a la madera en general.

En las mediciones llevadas a cabo en los edificios de la EINA, no se han detectado valores altos de formaldehído y partículas (PM 1, PM 2,5 y PM10). Estos resultados inducen a pensar que el mayor contaminante en los espacios de la EINA es debido a los bioefluentes, por la presencia humana. Por ello, a falta de comprobar los niveles de COVs, se estima que sería **suficiente la medida de CO₂ como indicador de una buena calidad de aire**, ya que indica la cantidad de aire que ya ha sido respirado y del posible riesgo de contagio de enfermedades por vía aérea, mediante aerosoles infectivos.

Sería conveniente repetir las mediciones con un instrumento calibrado en laboratorio, de mayor fiabilidad, y tomar medidas en laboratorios. Sería interesante repetir este estudio con la ventilación mecánica encendida.

2.2 Análisis de datos de CO₂ de la aplicación SensoriZAR.

Una forma de evaluar si se está ventilando un espacio ocupado correctamente, es mediante la utilización de sensores de CO₂, como se ha tratado en el apartado anterior y en la introducción. En el *anexo 1, informe 13* se ha hecho una recopilación de los distintos sensores instalados en la EINA y de cuáles son más fiables.

El programa realizado en Java para el análisis de temperaturas (apartado 1.2), incorpora también la función de **analizar datos de CO₂**. Este programa calcula la concentración máxima en el horario de apertura, así como el número de horas en las que el nivel de CO₂ ha permanecido por encima de 800 ppm.

Al igual que para el análisis de temperaturas, se han estudiado datos del 27/10/21 al 27/02/22, de las aulas 2.03, 2.04 y 2.05 del edificio Betancourt. En la figura 29, se ha representado un **ejemplo** de la evolución del nivel de CO₂ máximo diario. El estudio completo está disponible en el *anexo 1, informe 1*.

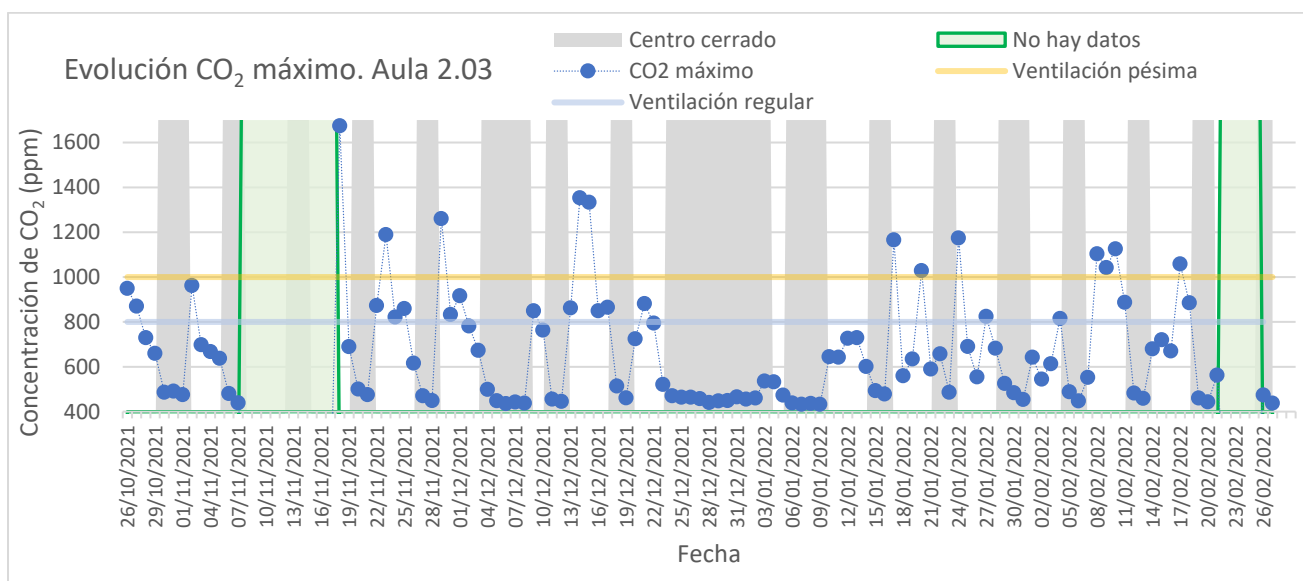


Figura 29. Evolución del CO₂ máximo por días en el aula 2.03 del 27/10/21 al 27/02/22. Elaboración propia.

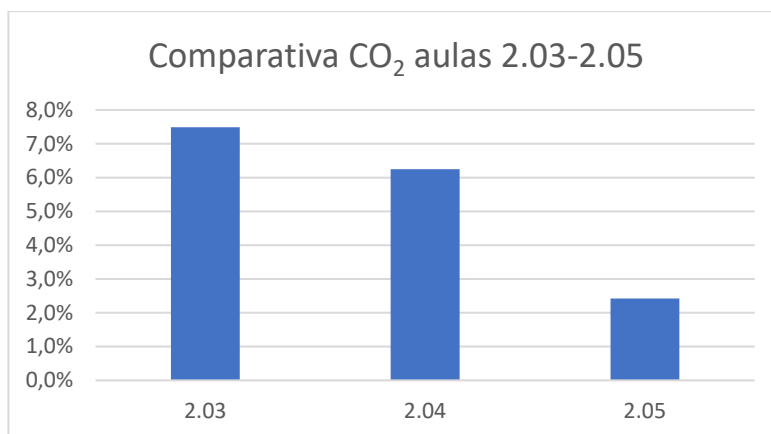


Figura 30 Porcentaje de tiempo con niveles de CO₂ superiores a 800 ppm en aulas 2.03-2.05. Elaboración propia.

Comparando las tres aulas elegidas para este estudio en este periodo (ver figura 30), y seleccionando únicamente las horas de apertura del centro, el aula 2.03 es la que está durante más **horas (7,5%)** por encima de 800 ppm de CO₂, seguida del aula 2.04 con un **6,3%** de las **horas**. En el aula 2.05, con poca frecuencia (**2,4%** de las **horas**) sube la concentración de CO₂ de 800 ppm. Los resultados son razonablemente buenos, aunque para obtener un cálculo más fidedigno, sería bueno calcular el porcentaje de horas respecto a las horas de docencia, en lugar de las horas de apertura del edificios

Se podría implantar la **generación automática de informes** en la plataforma SensoriZAR, utilizando el código del programa creado, en los que se obtuviera el CO₂ máximo diario y el porcentaje de horas en las que el CO₂ está por encima de 800 ppm, en todos los espacios monitorizados y en el rango de tiempo seleccionado por el usuario. Esto permitiría estudiar cómo se comportan los espacios, conocer el estado de situación y de riesgo, así como analizar el efecto de las mejoras llevadas a cabo en los edificios.

En la figura 31 se muestran dos capturas de pantalla de ejemplo con las entradas y salidas del programa Java desarrollado. El programa completo se puede consultar en el *anexo 2*.

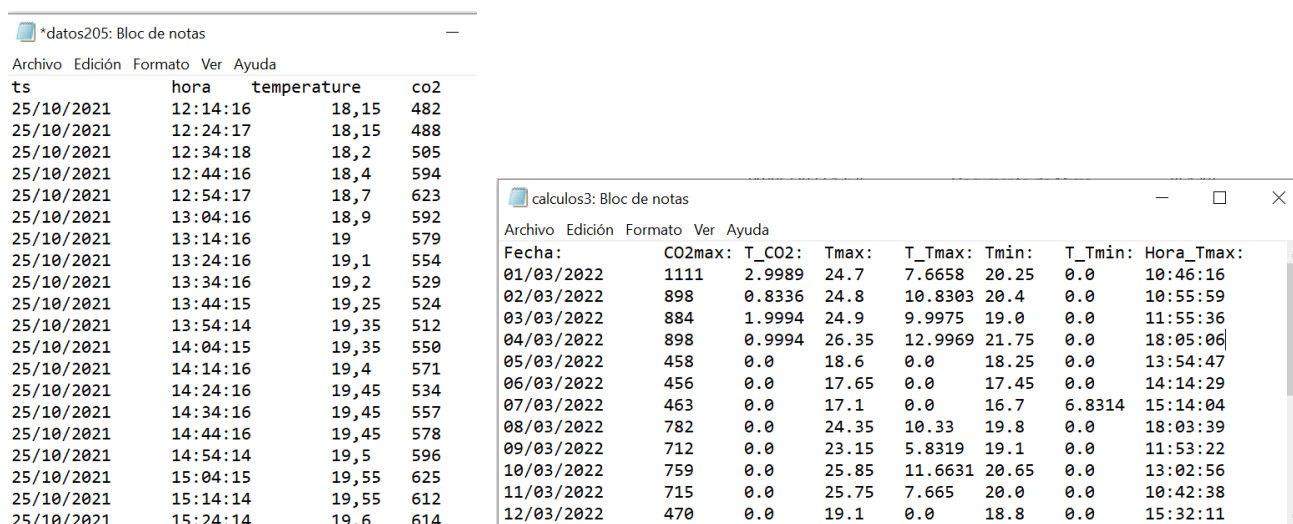


Figura 31. Entradas (izda.) y salidas (dcha.) del programa Java desarrollado.

2.3 Funcionamiento de la ventilación mecánica en aulas del edificio Betancourt.

La ventilación mecánica en las aulas del edificio Betancourt se lleva a cabo gracias al **doble flujo de aire** (exterior y de extracción) proporcionado por la **Unidad de Tratamiento de Aire (UTA)** o climatizador de aire primario de ventilación, que cuenta con recuperador de calor y filtrado. Este sistema de suministrar el aire exterior es el más habitual en las instalaciones HVAC y lo incluyen la mayoría de los edificios de UNIZAR. Este equipo **toma aire de la sala** (que está abierta al exterior), lo **filtra** e **intercambia calor** con el aire viciado de retorno, que es expulsado fuera de la sala. Cuenta también con dos **baterías de intercambio de calor agua-aire**, una para agua caliente en régimen de calefacción y otra para agua fría en régimen de refrigeración, que climatizan el aire exterior, para **evitar** que éste suponga una **carga demasiado alta para los fancoils** de las aulas. En la figura 32 se muestra una imagen de la UTA, en la que se ha representado el flujo de aire con flechas y se ha escrito el nombre de los distintos elementos que la componen.



Figura 32. Climatizador o UTA de las aulas. Elaboración propia.

En la placa de características que se muestra a continuación, se observa que el caudal nominal de aire calculado para la instalación es de $39.240 \text{ m}^3/\text{h}$ tanto para la impulsión como para el retorno.



Figura 33. Placa de características de la UTA.

Para comprender el funcionamiento de la ventilación mecánica en las aulas, se han desmontado distintos tramos de placas de escayola del falso techo. El funcionamiento se ha esquematizado en la figura 34 y es el siguiente:

El ventilador del fancoil toma el **aire** que proviene del **retorno** del aula, que se junta con **aire limpio** proveniente de la UTA de aire primario. Este aire es calentado o enfriado mediante la batería de agua del fancoil, y es conducido y distribuido al aula mediante los **difusores rotacionales**.

El **aire retorna por unas rejillas** que se encuentran en el extremo final de cada aula, y **circula por el falso techo sin ser conducido** por el interior de conductos (retorno por plenum). Parte del aire de retorno vuelve al fancoil a través de un conducto situado en el falso techo, en la zona de encima de la pizarra, y parte retorna a la UTA a través de un orificio que se encuentra sobre la puerta de acceso al aula. El retorno a la UTA está conducido a partir del pasillo, por lo que el aire accede a éste a través de una rejilla situada en el conducto de retorno, que absorbe aire del falso techo.

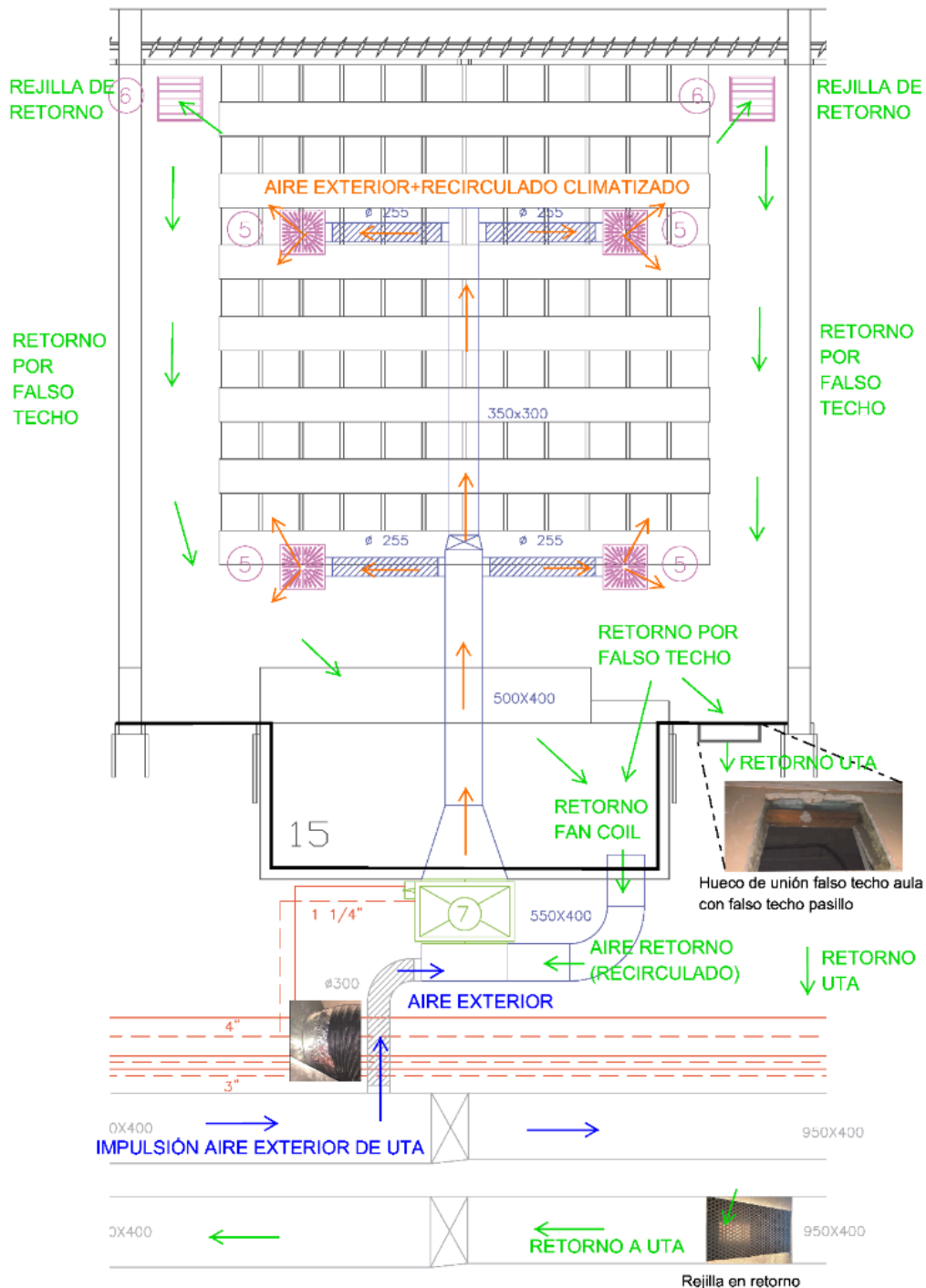


Figura 34. Esquema de flujos de aire de ventilación y retorno en un aula. Elaboración propia sobre planos de climatización del edificio.

Al apagarse el fancoil y detenerse el ventilador, se ha observado que no sale aire ni por los difusores rotacionales ni tampoco por las rejillas de retorno del aula, lo que indica que el aporte de aire exterior que recibe el fancoil no accede al aula. Esto puede ser debido a que el conjunto fancoil (ventilador, filtro y batería aletada), conductos y difusores supone una mayor pérdida de carga para el aire, que circular por el retorno. Por tanto, como se puede ver en la figura 35, al detenerse el fancoil, el aire circula por el retorno que comunica con el falso techo del aula y desde allí, por el hueco que se encuentra sobre la puerta del aula, para volver por la rejilla de retorno, al conducto de retorno de planta.

De ahí la importancia de la tercera medida propuesta para ahorrar energía en fancoils, expuesta en el apartado 1.3.

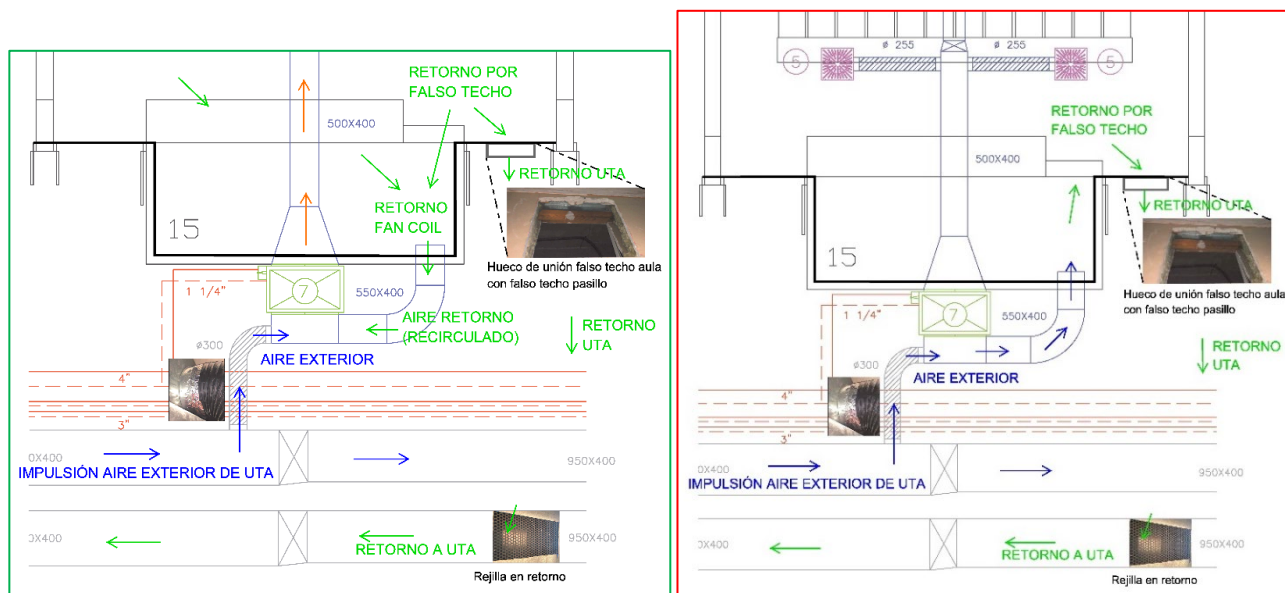


Figura 35. Esquema de funcionamiento con fancoil encendido y con fancoil apagado. Elaboración propia.

Respecto a la ventilación mecánica del edificio Torres Quevedo, se encuentra detallada en el *anexo 1, informe 6*.

2.4 Medidas de caudales de ventilación en el edificio Betancourt



Figura 36. Mediciones de caudal realizadas en los conductos de impulsión.

Uno de los objetivos de este trabajo era verificar el caudal real que proporcionaba la UTA y si se repartía correctamente por todas las plantas. Para ello se han tomado 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). En

la planta baja no ha sido posible tomar medidas, debido a que es necesario un andamio, al ser la altura hasta el punto de medida de 3,7 m, superior a la altura máxima (3,5 m) que establece la UPRL para una escalera de tijera.

Para más información, consultar el *anexo 1, informes 8 y 10*.

Para medir caudales volumétricos, se ha utilizado el instrumento calibrado **TESTO 480** con la **sonda de molinete de 16 mm**, montada en el extremo de una varilla telescópica (ver figura 37). En general se han utilizado 6 puntos de medición para cada medida, lo que permite al equipo evaluar si existe un perfil de velocidad laminar o turbulento, y calcular el margen de error en la medición. Además cada medida se ha repetido varias veces.



Figura 37. Testo 480 y sonda de molinete. Fuente: GIMIM.

El procedimiento de medición ha sido el siguiente:

1. Se han seleccionado en los planos los **puntos de medición** que corresponden a tramos rectos, lo más lejos de curvas, derivaciones o estrechamientos, con el fin de que el flujo de aire se encuentre totalmente desarrollado.
2. Se han localizado dichos puntos de medición **físicamente** en el edificio, con la ayuda de una escalera y levantando las placas de yeso que conforman el falso techo.
3. Con la ayuda de un taladro inalámbrico y una broca para chapa de un diámetro mayor de 16 mm, **se han perforado los conductos** en los puntos elegidos para medir el caudal.
4. Para la medición de caudales con el TESTO 480, se han seguido los siguientes pasos:
 - a. Introducir datos de las medidas del conducto (alto x ancho).
 - b. Seleccionar el programa de medición de rejilla y el número de puntos de medida, por defecto 6.
 - c. Introducir la sonda de molinete a la distancia indicada por el instrumento y guardar la medida.
 - d. Repetir el apartado c) para la totalidad de los puntos de medición.
 - e. Finalizada la medición aparece en pantalla el caudal volumétrico.
5. Se ha repetido el procedimiento del punto 4 varias veces y se ha sellado el orificio con cinta de aluminio para conductos de climatización.

Al realizar la medida de caudal en la segunda planta, se detectó que el caudal de aire era nulo y se comprobó que había una **compuerta cortafuegos cerrada**, pero al rearmarla seguía sin haber flujo de aire. Tras inspeccionar el conducto, se detectó una **compuerta de regulación de flujo** con una apertura del 25 % (ver figura 38). Al mover la llave de la posición “C” a la posición “A”, comenzó a circular aire. Se ha verificado que, además de en planta primera, existen compuertas como ésta en todas las plantas y se han abierto por completo. En la tabla 3 se puede observar la apertura antes y después de las mediciones.

Planta	% de apertura antes	% apertura actual
Planta baja	75 %	100 %
Planta primera	50 %	100 %
Planta segunda	25 %	100 %
Planta tercera	100 %	100 %

Tabla 3. Apertura de las compuertas antes de la medición y apertura actual.



Figura 38. Compuerta de regulación de flujo de aire de la 2ª planta. Vista general y detalle de la llave.

Las mediciones realizadas se han llevado a cabo con las **compuertas de regulación abiertas al 100 % y con la UTA y los fancoils de las aulas en marcha**. Las medidas se han realizado **antes y después del cambio previsto de filtros y correas en la UTA**.

En las tablas 4 y 5 se recogen las medidas realizadas con el TESTO 480. Se muestra el **caudal medido** junto con el **margen de error** que calcula el instrumento de medida y el número de puntos que se han utilizado para cada medición. También se ha calculado el **promedio**, la **desviación típica** de los valores promedio y el **porcentaje de la desviación típica respecto al promedio**.

Planta	P1		P2		P3		Sala máquinas P2	
Ancho x alto (mm)	1100 x 400		1100 x 400		500 x 400		800x1400	
Conducto	Impulsión		Impulsión		Impulsión		Impulsión	
Mantenimiento	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después
Medida 1 (m ³ /h)	2870 (+/-) 584 6 puntos	9256 (+/-) 1448 6 puntos	3015 (+/-) 544 6 puntos	9311 (+/-) 1525 6 puntos	1047 (+/-) 182 6 puntos	3914 (+/-) 253 6 puntos	9955 (+/-) 1087 4 puntos	27773 (+/-) 2363 4 puntos
Medida 2 (m ³ /h)	2960 (+/-) 614 6 puntos	9341 (+/-) 1296 6 puntos	3174 (+/-) 520 6 puntos	8969 (+/-) 1514 6 puntos	1095 (+/-) 186 6 puntos	3978 (+/-) 330 6 puntos	9319 (+/-) 1027 4 puntos	28143 (+/-) 2015 4 puntos
Medida 3 (m ³ /h)					1104 (+/-) 167 6 puntos		9517 (+/-) 1426 3 puntos	30336 (+/-) 3529 3 puntos
Medida 4 (m ³ /h)							9480 (+/-) 1069 6 puntos	30066 (+/-) 2600 4 puntos
Medida 5 (m ³ /h)								28617 (+/-) 1838 4 puntos
Medida 6 (m ³ /h)								27180 (+/-) 1892 4 puntos
Media (m³/h)	2915	9299	3094,5	9140	1082	3946	9567,75	28686
Desviación típica	63,64	60,10	112,43	241,83	30,64	45,25	9955	1267,13
% Desviación	2,2%	0,6%	3,6%	2,6%	2,8%	1,1%	2,8%	4,4%

Tabla 4. Resultados de las mediciones en conductos de impulsión antes y después del mantenimiento estacional. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos con el TESTO 480.

Toma número	4	
Planta	Sala máquinas	
Dimensiones mm (ancho x altura)	800x1400	
Conducto	Retorno	
Antes/después del mantenimiento	Antes	Después
Medida 1 (m ³ /h)	7130 (+/-) 938 6 puntos	7695 (+/-) 1107 6 puntos
Medida 2 (m ³ /h)	7293 (+/-) 1103 6 puntos	8215 (+/-) 972 6 puntos
Medida 3 (m ³ /h)	7111 (+/-) 928 6 puntos	7301 (+/-) 1097 6 puntos
Medida 4 (m ³ /h)		7242 (+/-) 938 6 puntos
Media (m³/h)	7178	7613
Desviación típica	7293	448,74
% Desviación	1,4%	5,9%

Tabla 5. Resultados de las mediciones en retorno del climatizador antes y después del mantenimiento estacional. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos con el TESTO 480.

En la tabla 6 se recoge el promedio de los resultados de las mediciones en la impulsión y en la figura 39 se han representado los resultados gráficamente.

Planta	Caudal antes (m ³ /h)	Caudal ahora (m ³ /h)	% aumento
PO (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 6. Caudales de impulsión por plantas antes y después del mantenimiento. 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**, por lo que se propone **realizar dicha medición con periodicidad**, para revisar filtros, correas de ventiladores y rodamientos de motores, 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.

Se plantea **implementar soluciones de bajo coste pero robustas** (que sus prestaciones se mantengan en el tiempo), **que sirvan para monitorizar en continuo el caudal de impulsión del climatizador de aire primario a las aulas**. Para vigilar la pérdida 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, estos equipos dejan de funcionar al cabo de poco tiempo, de ahí la importancia de la robustez de los equipos.

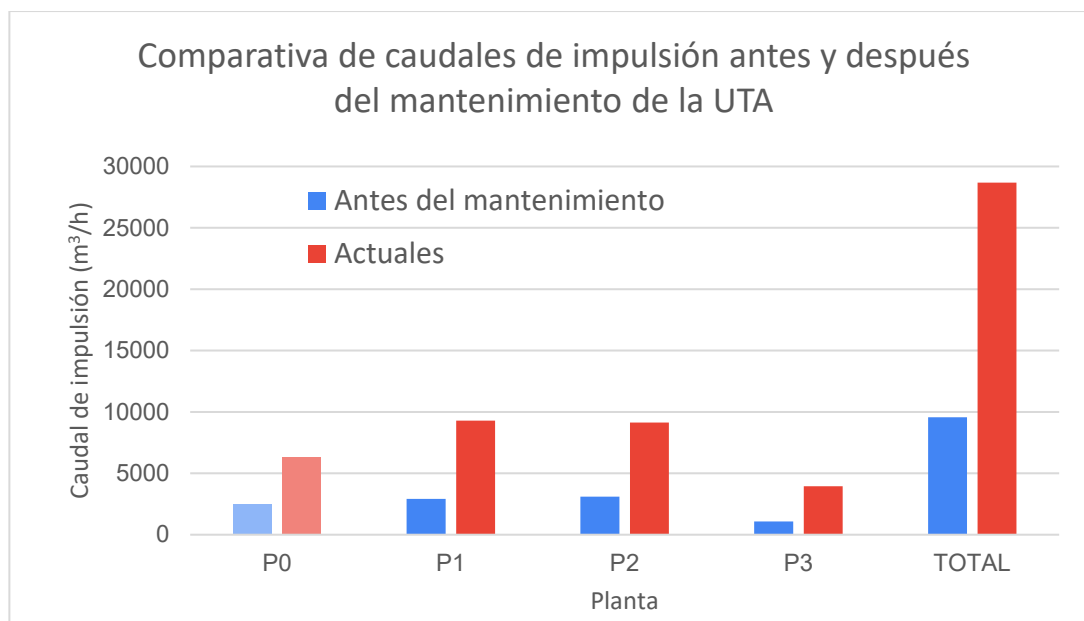


Figura 39. Comparativa de caudales de impulsión antes y después del mantenimiento de la UTA. Elaboración propia.

Respecto al **retorno** del climatizador, el valor máximo medido antes del mantenimiento fue de 7293 m³/h. En las últimas mediciones, tras el mantenimiento, el valor máximo medido ha sido de 8215 m³/h, por lo que este valor apenas ha cambiado. El caudal nominal de retorno es igual que el de impulsión, de 39240 m³/h, por lo que el último valor medido supone casi **una quinta parte del valor nominal** (20,9% del valor nominal). Sería conveniente estudiar por qué no ha variado dicho caudal.

Por otra parte, se ha analizado el reparto de caudal de impulsión por plantas. Se observa que las plantas con mayores caudales son la planta primera y segunda, que son también las que cuentan con más aulas. El reparto no ha variado significativamente entre ambas mediciones.

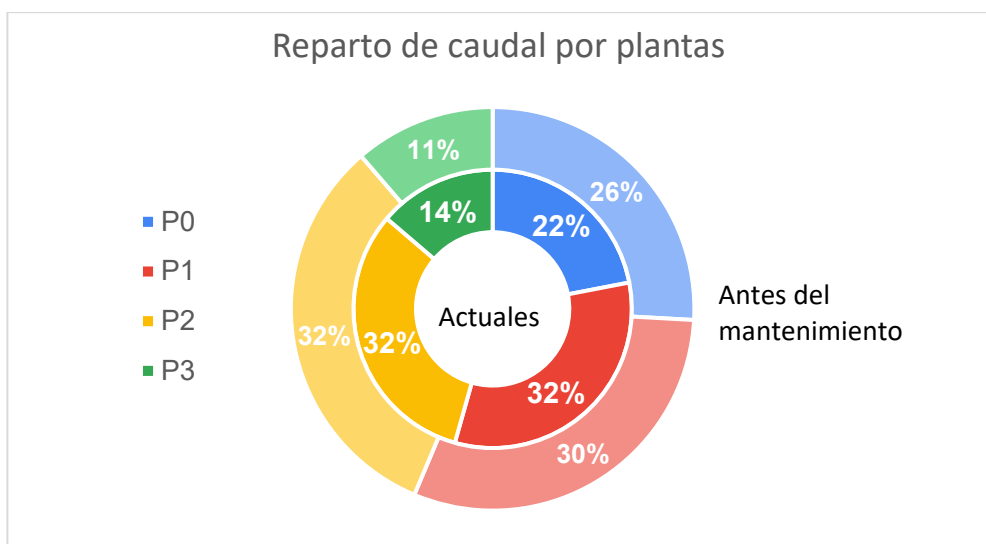


Figura 40. Distribución del caudal de ventilación por plantas. Elaboración propia.

Tomar medidas de caudales de aire de ventilación ha permitido: detectar **anomalías**, como las compuertas cerradas; cuantificar la **pérdida de caudal** de impulsión al colmatarse los filtros y desgastarse las correas, lo que pone de manifiesto la importancia del mantenimiento y de medir; comprobar si el **orden de magnitud** del caudal coincide con la placa de características de la UTA y obtener un **reparto** de caudales **por plantas**. Se propone monitorizar en continuo el caudal de impulsión y revisar el caudal de retorno, que no ha aumentado.

2.5 Método para establecer aforos máximos según el nivel de CO₂.

En este apartado se propone una metodología para estimar el aforo de cualquier espacio en función del nivel de ventilación deseable que se puede resumir en tres pasos:

1. **Recopilar datos de CO₂ y aforo** para un periodo de tiempo representativo, excluyendo los valores en los que el aforo es nulo.
2. **Representar gráficamente** y obtener una correlación entre los valores máximos de CO₂ y el nivel de aforo.
3. Según la situación, determinar cuál sería el nivel de CO₂ y por tanto de **ventilación aceptable** para establecer el nivel de **aforo a no sobrepasar**.

Para este estudio, se ha seleccionado la **sala de estudios Tomás Pollán**, puesto que dispone de un sensor de ocupación gestionado por la Unidad de Seguridad de la Universidad de Zaragoza. Los datos de CO₂ se han obtenido de la aplicación SensoriZAR. El intervalo temporal de este estudio es de un mes, en concreto de marzo de 2022. El estudio detallado está disponible en el *anexo 1, informe 5*.

En la figura 41, se han correlacionado los datos de aforo y de CO₂ en azul. En naranja se ha establecido la correlación del CO₂ máximo para cada nivel de aforo.

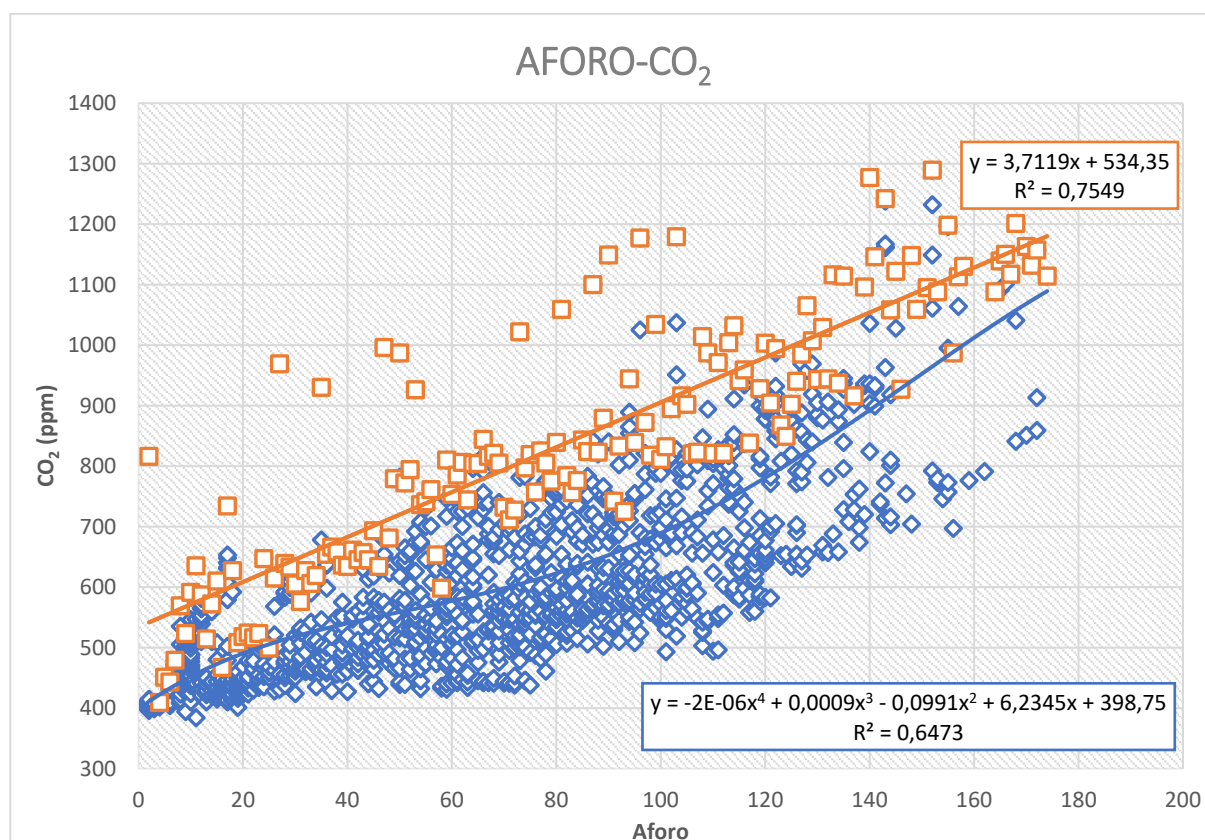


Figura 41. Correlación aforo-CO₂. Líneas de tendencia de todos los valores y de los valores máximos. Elaboración propia.

Si se desea conocer el **máximo valor de aforo**, para que no se supere un cierto valor de CO₂, se puede acceder a dicha **correlación de valores máximos**, puesto que estos valores son los más desfavorables y los más seguros para la salud de los ocupantes.

A modo de ejemplo, si en la situación actual no se desean superar 1000 ppm de CO₂, accediendo a la línea naranja en la figura 42, se observa que el aforo máximo sería de 125 personas aproximadamente (línea roja).

Si en una situación de pandemia no se desean superar 800 ppm de CO₂, el aforo máximo sería de unas 70 personas (línea amarilla en la figura 42).

El aforo propuesto durante la pandemia por la Unidad de Prevención de Riesgos Laborales fue de 87 personas en la etapa de mayor incidencia y de 145 en la etapa de incidencia menor. Se representa en la figura 42 con unas líneas verticales de color verde. Por tanto, se propusieron aforos ligeramente superiores a los propuestos con esta metodología.

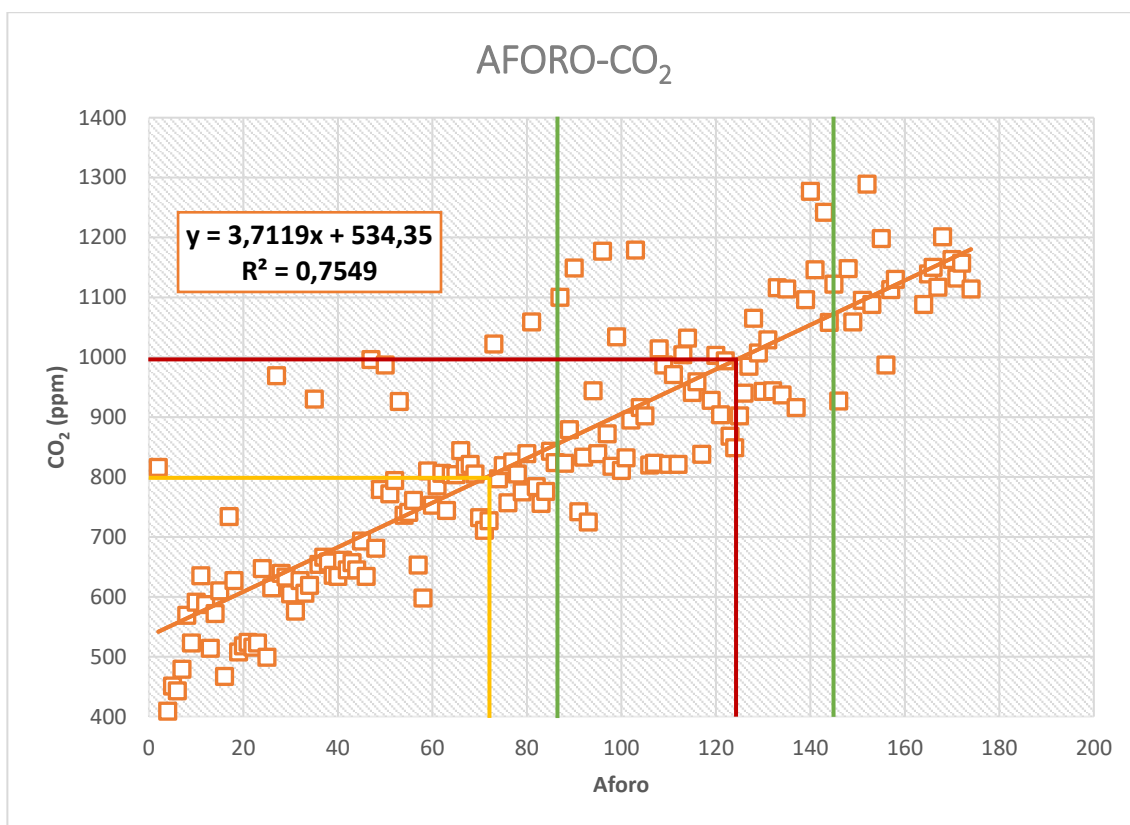


Figura 42. Correlación aforo-CO₂. Línea de tendencia de los valores máximos. Elaboración propia.

2.6 Red neuronal para predecir CO₂ y temperatura

Tan importante es conocer el valor de CO₂ en un instante dado, como su evolución en los próximos minutos, de cara a evaluar la calidad de aire interior y tomar acciones, si fuera necesario. Predecir el valor de CO₂ podría ser útil para activar la ventilación mecánica manualmente o, en caso de implantar un sistema de **ventilación controlado por demanda** (DCV), éste podría anticiparse a episodios de altos niveles de CO₂ y mantener un caudal de ventilación mayor. Del mismo modo con la temperatura, si el **sistema de control de la climatización** pudiera anticipar el valor de temperatura en los próximos instantes, podría desconectar la climatización para evitar que se sobrepase la temperatura consigna, con el consiguiente ahorro de energía.

En primer lugar, se hará una breve revisión de artículos científicos que han implementado diferentes soluciones para la predicción de temperatura, CO₂, o ambas.

El estudio llevado a cabo por Tian et al. [35], pone de manifiesto que un modelo de regresión lineal no es capaz de predecir indicadores del ambiente interior con gran precisión. Para ello es necesario el desarrollo de modelos más complejos, que pueden estar basados en redes neuronales.

En Italia (Universidad de Brescia), se llevó a cabo un estudio [36] para **predecir confort (temperatura y humedad) y calidad de aire interior (CO₂)**. Para predecir los niveles de CO₂, utilizaron datos de algo más de dos meses (desde el 15/10/2017 al 22/12/2017), para entrenar una red neuronal RNN (Recurrent Neural Network). De estos datos, el 75% lo dedicaron a entrenar la red y el 25% restante a modo de test. Cabe destacar que en su caso, el intervalo de tiempo entre mediciones de CO₂ fue de **media hora**, un valor demasiado amplio. En la figura 43 se muestra la gráfica en la que se comparan sus predicciones y los valores reales.

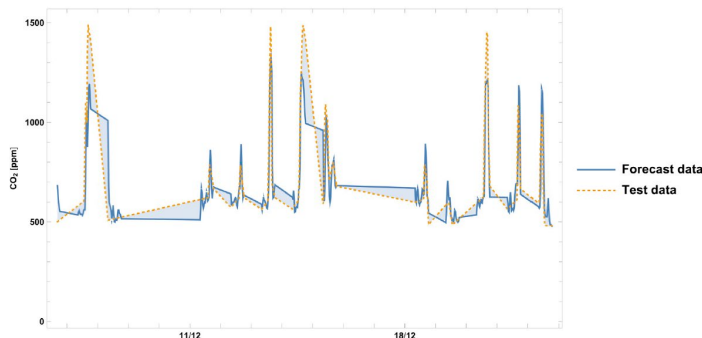


Figura 43. Diferencias entre la predicción y los valores reales. Fuente: [36]

Bellagarda et al. [37] proponen una metodología basada en redes neuronales para la **gestión energética de los sistemas de climatización (HVAC)**, mediante la **previsión de la temperatura** del aire interior de los edificios inteligentes. En este caso, la red neuronal se entrena primero en un conjunto de datos artificial basado en **simulaciones BIM** con datos meteorológicos reales de 6 años, y se verifica con un conjunto de datos recogidos por dispositivos IoT durante únicamente un mes, en intervalos de 15 minutos. Los resultados de este estudio sugieren que puede predecirse la temperatura únicamente con datos simulados, pero que el horizonte de previsión aumenta al incluir datos reales. Según Cifuentes et al. [38], para predecir con precisión la temperatura del aire interior, se requiere adquirir largas series temporales de datos (3 años para el entrenamiento de la red y un año para verificarla) o sistemas de simulación complementarios para generar suficientes muestras para realizar el proceso de entrenamiento-validación.

Por último, mencionar este interesante estudio de Afroz et al. [39], que propone un enfoque de modelado y optimización, para **minimizar el consumo energético de los sistemas HVAC**, asegurando una correcta **calidad ambiental interior**. Han desarrollado distintos modelos predictivos en tiempo real para **predecir parámetros ambientales interiores** (humedad, temperatura, CO₂ y COV) y el **consumo de energía** de HVAC, utilizando redes neuronales y consiguiendo muy alta fiabilidad. En la figura 44, se muestra una comparación entre **datos reales y la predicción** durante un día. El histórico de datos reales, es de un año en intervalos de 5 minutos y, para cada parámetro, se ha entrenado la red con diferentes entradas hasta encontrar la combinación con mejores resultados.

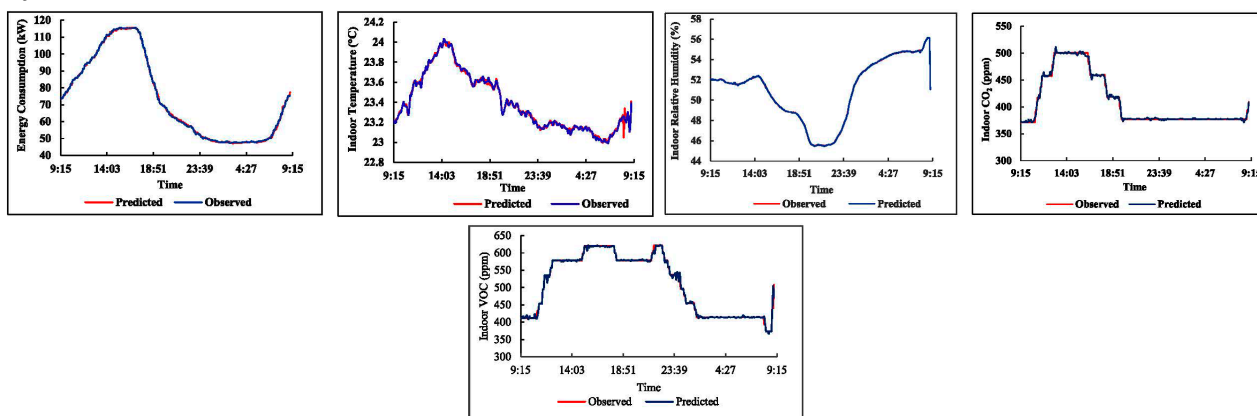


Figura 44. Modelos predictivos de consumo de energía, temperatura, humedad, CO₂ y COV. Fuente: [39]

Tras esta revisión, se ha planteado una **metodología basada en redes neuronales** para predecir valores a 50 minutos-1hora de **CO₂ y temperatura**, en base a los valores medidos en el momento de la predicción. Para ello, se ha utilizado la aplicación de redes neuronales de Matlab: Neural Net Fitting. El procedimiento detallado se puede consultar en el *anexo 1, informe 11*.

Los **datos de entrada a la red** han sido los siguientes: CO₂, humedad, temperatura, aforo, aforo acumulado (suma de aforo de los últimos 5 periodos), intervalo entre registros (en minutos) y estado de la climatización (on/off). Los **datos objetivo** de la red son: CO₂ al cabo de 5 periodos y temperatura al cabo de 5 periodos.

Para este estudio se han utilizado los mismos datos que en el apartado 2.4, correspondientes al mes de **marzo de 2022**. A modo de ejemplo, en la figura 45 se han seleccionado los primeros 8 registros del entrenamiento de marzo. En color naranja se han representado los datos de entrada “input” y en azul los datos objetivo “target”. Se ha remarcado en amarillo, que los datos de predicción corresponden a los valores medidos 5 periodos después.

DÍA + HORA	CO2	Humedad	Tª	AFORO	Intervalo	Aforo ac	Clima on	CO2 pred.	Tª pred.
01/03/2022 15:47:22	805	37,2	23,44	78	0,00	78	0	721	23,69
01/03/2022 15:58:40	825	36	23,54	77	11,30	155	0	776	23,66
01/03/2022 16:09:58	783	35,4	23,63	81	11,30	236	0	736	23,64
01/03/2022 16:21:16	743	34,7	23,68	82	11,30	318	0	776	23,65
01/03/2022 16:32:34	702	34,3	23,69	93	11,30	411	0	702	23,63
01/03/2022 16:43:52	721	34,1	23,69	92	11,30	503	0	659	23,61
01/03/2022 16:55:09	776	33,9	23,66	78	11,28	503	0	686	23,59

Figura 45. Ejemplo de datos introducidos a Matlab. Elaboración propia.

Para el entrenamiento de la red se ha utilizado el algoritmo “**Bayesian Regularization**” puesto que, aunque más lento, es más preciso. El 70% de los datos introducidos se ha utilizado para el entrenamiento y del 30% restante, un 15% para validación (validar la red y dejar de entrenar antes de que se produzca un sobreajuste) y un 15% para probar la red de forma independiente. El **número de neuronas ocultas** (tamaño de la capa) es de **10**, como se indica por defecto [40].

Se ha entrenado la red neuronal obteniendo un valor de regresión R de 0,996 y los datos se ajustan bastante bien a la recta de 45°. El resultado de MSE indica que el error en la predicción es de su raíz cuadrada ($\sqrt{535,0979} = 23,13$). En este punto cabe incidir en que, como la red predice temperatura y CO₂, estos resultados de regresión se refieren al CO₂, al ser éstos de mayor orden de magnitud. En la figura 46 se puede ver que los datos de temperatura quedan prácticamente apilados.

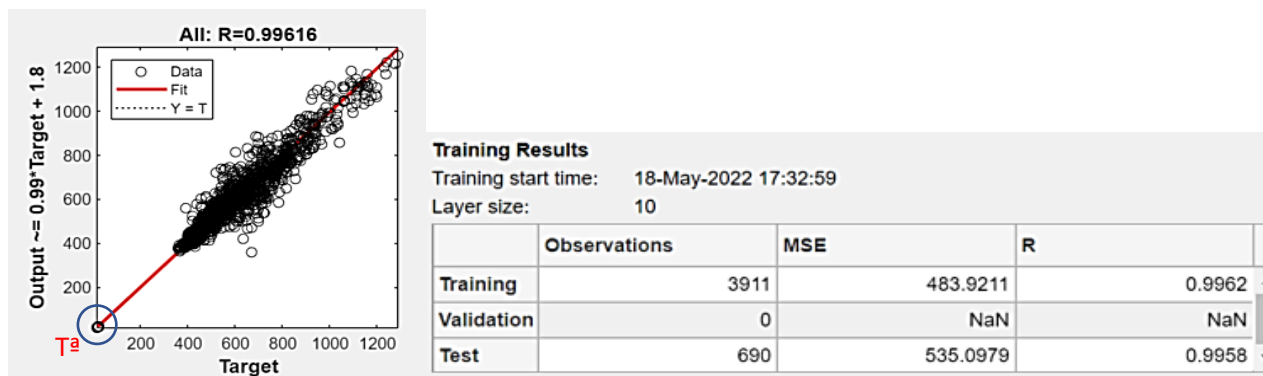


Figura 46. Resultados del entrenamiento de la red neuronal en Matlab.

A partir de las constantes calculadas por Matlab, es posible **implementar los cálculos** en un programa de cálculo numérico o una hoja de cálculo de Excel. En este caso, se ha implementado la red en una hoja Excel y se han representado gráficamente la predicción a 5 periodos, así como los valores reales al cabo de 5 periodos para el CO₂ y temperatura (figuras 47 y 48), para el mes de marzo de 2021.

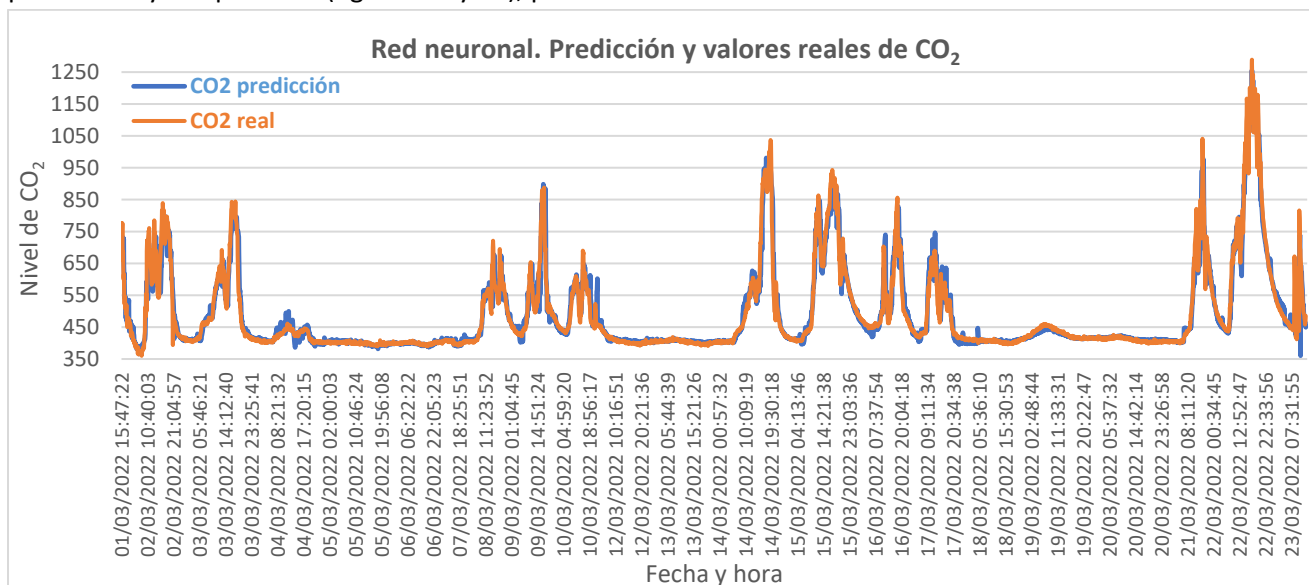


Figura 47. Red neuronal. Predicción y valores reales de CO₂. Elaboración propia.

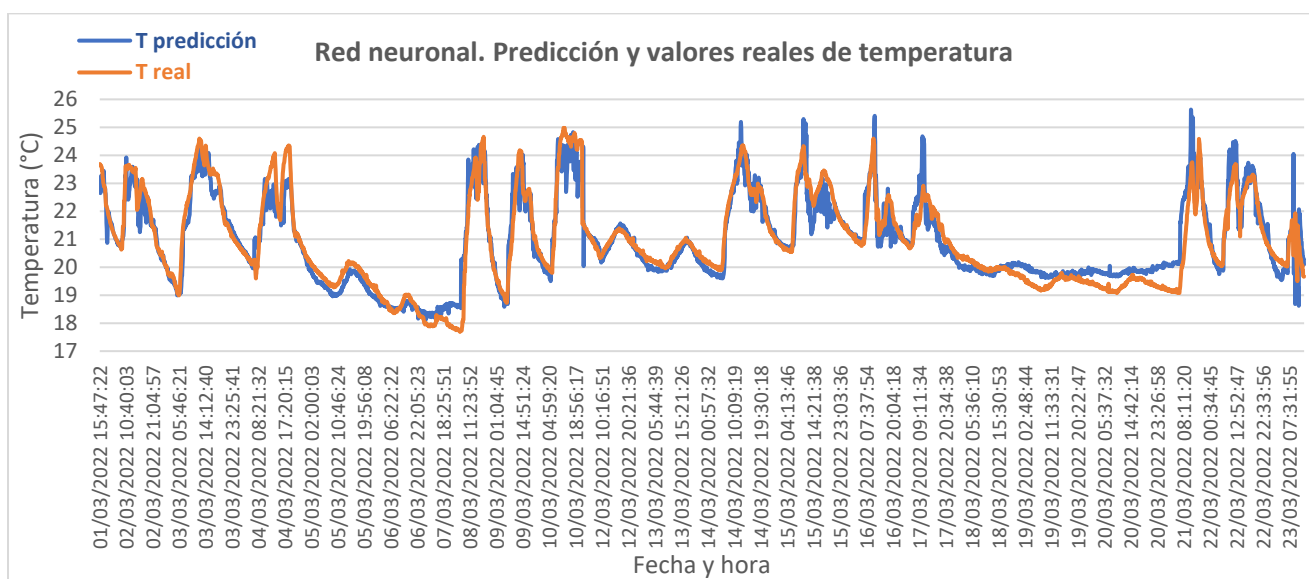


Figura 48. Red neuronal. Predicción y valores reales de temperatura. Elaboración propia.

Se observa que la predicción de CO₂ es más precisa que la predicción de temperatura. Para mejorar la predicción de temperatura sería conveniente introducir la medida de temperatura exterior, que se podría implementar a partir de la base climatológica exterior.

Con el fin de comprobar la red neuronal, se han introducido datos desde el 26 de mayo al 13 de junio y se ha comprobado que la predicción no es buena, y que es necesario entrenar la red con una serie de datos mayor. Se ha observado que la predicción de temperatura es menor que la temperatura real y la predicción de CO₂ es mayor que la real. Esto es lógico, puesto que la red neuronal se entrenó en marzo y, en mayo-junio, las temperaturas son más altas y la ventilación es mayor, al mantenerse las ventanas abiertas constantemente. Los resultados se muestran en las figuras 49 y 50.

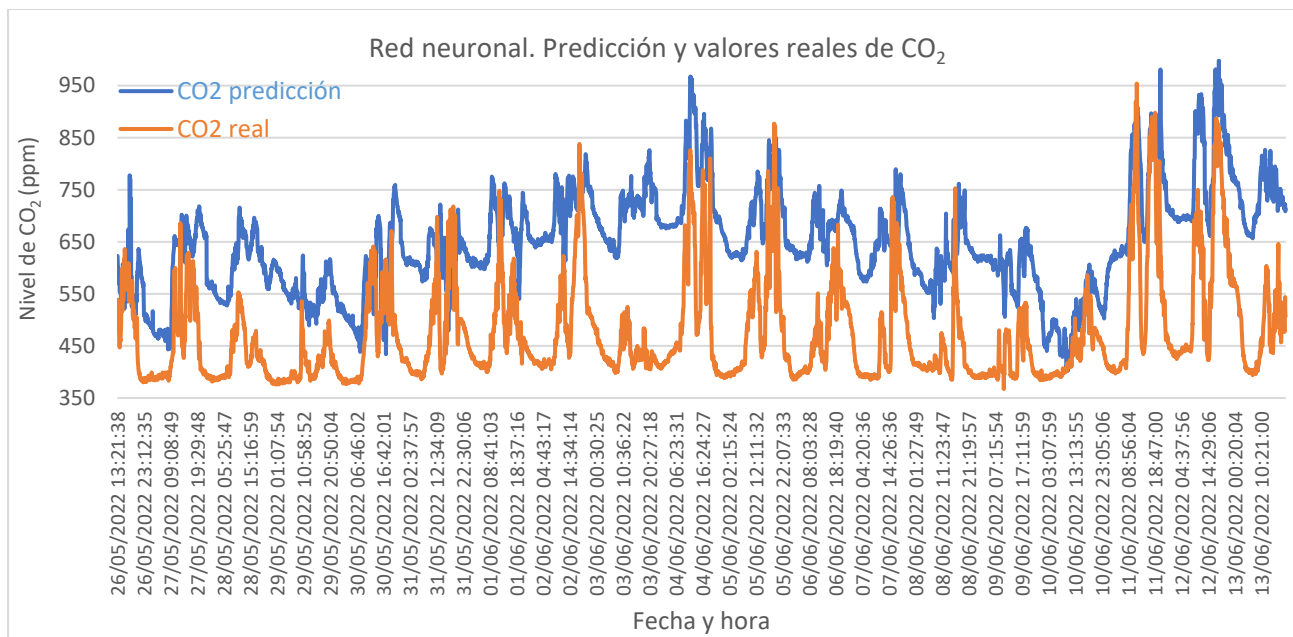


Figura 49. Comprobación de la red neuronal. Predicción y valores reales de CO₂. Elaboración propia.

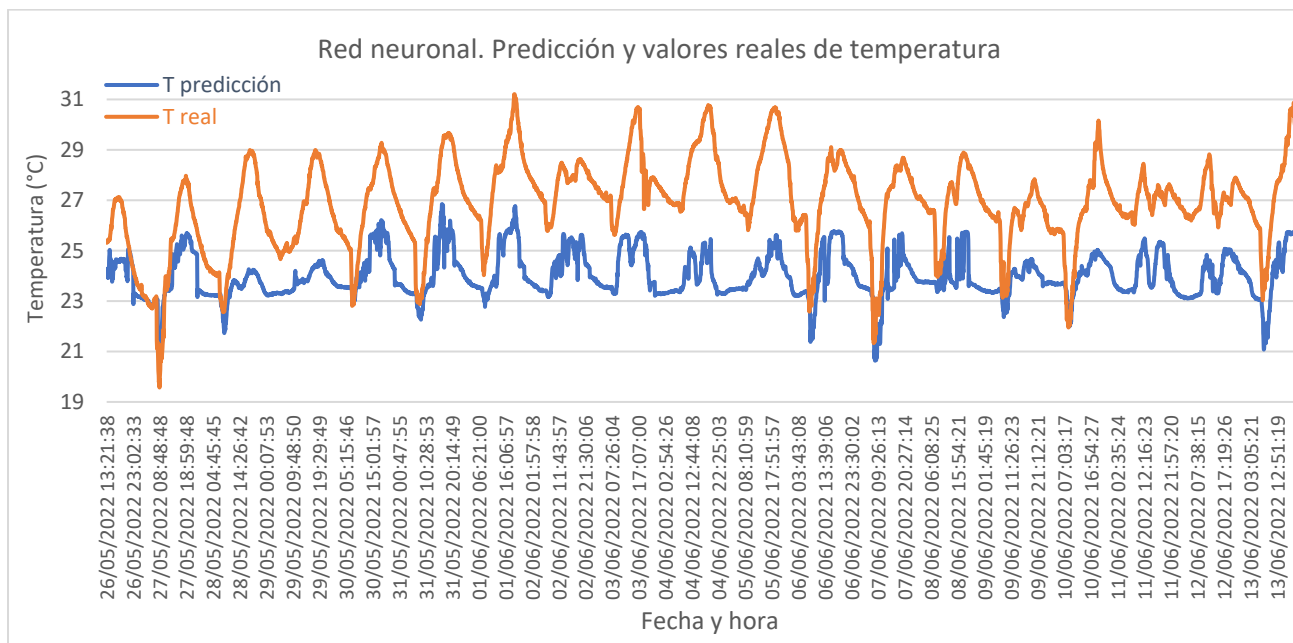


Figura 50. Comprobación red neuronal. Predicción y valores reales de temperatura. Elaboración propia.

Las redes neuronales pueden ser una buena herramienta para predecir CO₂ y temperatura, aunque es necesario conseguir mejores aproximaciones matemáticas al problema, **utilizando un periodo más amplio de datos**. Una red neuronal entrenada con un periodo de datos mayor se podría implementar en SensoriZAR, de forma que en base a los valores actuales calcule y muestre en pantalla tendencias con líneas discontinuas. Posteriormente se podría implementar en un sistema inteligente de control del sistema de HVAC.

Conclusiones

La relación entre los capítulos, conclusiones y líneas de futuro se plasman de forma esquemática en la tabla 7 y seguidamente se muestra una recopilación de las principales conclusiones agrupadas en base a los dos temas principales de este trabajo: eficiencia energética y calidad de aire interior.

TEMA	CONCLUSIONES	LÍNEAS DE FUTURO	APORTACIÓN
EFICIENCIA ENERGÉTICA			
1.1	1.1 Principal consumo: Climatización. Medidas de ahorro en esa línea		
1.3	1.2 No se tienen en cuenta los horarios en los que el aula va a estar ocupada	1.1 Viabilidad de implantación de las soluciones propuestas en fancoils	Elaboración de propuestas de mejora.
1.2	1.3 El porcentaje de tiempo por encima de 21°C es mayor, superando el 30% en el aula 2.03	1.3 Implementar esta funcionalidad en SensoriZAR	Elaboración programa en java.
1.2	1.4 SensoriZAR para detectar incidencias del funcionamiento de la climatización.		Medir para diagnosticar
1.2	1.5 Refrigeración: Ante cargas térmicas elevadas, la capacidad frigorífica es insuficiente.		Medir para diagnosticar
1.1	1.6 Pico de consumo: Por la mañana 120 MWh/año		
1.1	1.7 Consumo total en stand-by es constante y alto: 280 MWh/año	1.2 Instalar contadores	Medir para diagnosticar
1.1	1.8 Consumo mayor en invierno. Correlación inversa con la temperatura: 0,53 MWh/°C		
1.1	1.9 Consumo en 2020: un 10,6 % inferior respecto a 2021		
CALIDAD DE AIRE INTERIOR			
2.1	2.1 Bajo nivel de formaldehído y partículas. Sonda de CO ₂ suficiente	2.2 Repetir medidas de COVs.	Medir para diagnosticar
2.1	2.2 COVs aumentan con temperatura.		
2.2	2.3 Sensores más fiables de SensoriZAR. Aranet4Pro y Siemens.	2.3 Apostar por sensores más fiables y conectividad LoRaWan.	
2.2	2.4 Buena ventilación. Bajo porcentaje de tiempo con CO ₂ alto	1.3 Implementar esta funcionalidad de SensoriZAR	Elaboración programa en java.
2.3	2.5 Al apagarse el fancoil, el aula pierde el aporte de aire exterior	2.1 Viabilidad de conectar los ventiladores de los fancoils, en función de la señal de CO ₂	Elaboración de propuestas de mejora.
2.4	2.6 Se ha triplicado el caudal de aire de la impulsión tras el mantenimiento	2.4 Monitorizar en continuo el caudal de aire de impulsión	Importancia de medir y del mantenimiento.
2.4	2.7 Caudal de aire de retorno no ha variado	2.5 Estudiar por qué no ha variado	Medir para diagnosticar
2.4	2.8 Reparto de caudales correcto. Mayor % plantas con más aulas		
2.5	2.9 Estimar aforos límites: Medir CO ₂ y aforo y correlacionar valores máximos.		Metodología de cálculo de aforos.
2.6	2.10 Redes neuronales para predecir CO ₂ y temperatura.	2.7 Implementar en SensoriZAR	Metodología basada en redes neuronales.
2.6	2.11 No es posible predecir CO ₂ y temperatura en junio, con datos de marzo	2.6 Periodo más amplio de datos.	

Tabla 7. Relación entre conclusiones, líneas de futuro

1. Eficiencia energética

- 1.1 Se ha verificado que existe una correlación lineal directa, entre el consumo eléctrico del edificio y el número de horas de encendido de la climatización. Debido a dicha correlación, se ha estimado que el **principal consumo eléctrico del edificio** es debido a la **climatización**, y que **las medidas de ahorro de energía eléctrica deben ir en esa línea**.
- 1.2 Para el encendido de los fancoils de las aulas en los edificios de la EINA, **no se tienen en cuenta los horarios en los que el aula va a estar ocupada**. Conectar los fancoils de las aulas antes del comienzo de la clase, el tiempo necesario para climatizarla, podría suponer un **ahorro de entre un 40% y un 70%** del consumo de la climatización de las aulas, según la ocupación por día de la semana y edificio. (Línea de futuro 1.1)
- 1.3 Se han estudiado tres aulas del edificio Betancourt concluyendo que, en el periodo estudiado, el porcentaje de tiempo en el que la temperatura está por debajo de 17°C es muy pequeño, inferior al 6%. Sin embargo, el **porcentaje de tiempo por encima de 21°C es mayor**, superando el 30% en el aula 2.05. En este aspecto, existe un **amplio margen de mejora**, para no climatizar en exceso, con el consiguiente consumo innecesario de energía. (Línea de futuro 1.3)
- 1.4 Gracias al análisis de temperaturas de SensoriZAR, es posible **detectar incidencias y comprobar el funcionamiento de los sistemas de climatización**. Por ejemplo, en el edificio Betancourt, se ha observado que las aulas de la segunda planta son más calurosas que las de la primera. También se ha visto que, en la sala de estudios Tomás Pollán, se han alcanzado altas temperaturas en junio y la temperatura no disminuye al conectar la climatización
- 1.5 En días de altas temperaturas exteriores, el sistema de climatización no es capaz de reducir la temperatura ambiental por debajo de 27°C, o se consigue al final de la jornada. Esto es un indicativo de que, ante **cargas térmicas elevadas** (ocupantes, radiación solar...), las **bombas de calor no tienen la capacidad frigorífica necesaria**, debido a la **avería de compresores**, por lo que el agua suministrada a los fancoils está a una temperatura mayor.

Respecto al análisis de los consumos eléctricos del edificio Betancourt en el año 2021:

- 1.6 El **pico de consumo** a lo largo del día se produce por la **mañana** (alcanzando los 120 MWh/año).
- 1.7 El **consumo** en stand-by es aproximadamente constante y alcanza un total de alrededor de **280 MWh/año** en todo el periodo de 23 p.m. hasta las 5 a.m. (Línea de futuro 1.2)
- 1.8 Los meses de **invierno** (noviembre a febrero), son los que presentan un **consumo eléctrico mayor**. Se comprueba que en modo calefacción existe una **buena correlación inversa de la temperatura media exterior y el consumo eléctrico**. Al aumentar la temperatura media exterior, el consumo eléctrico disminuye con la proporción 0,53 MWh/°C.
- 1.9 El consumo eléctrico en el año **2020** fue un 10,6% inferior al del año 2021, debido al **cierre del edificio por el confinamiento**.

2. Calidad de aire interior:

- 2.1 Se han llevado a cabo mediciones en los edificios de la EINA, en las que no se han detectado valores altos de formaldehído y partículas (PM 1, PM 2,5 y PM10). Estos resultados inducen a pensar que el mayor contaminante en los espacios de la EINA, es debido a los bioefluentes por la presencia humana. Por ello, **el CO₂ es un buen indicador** de la cantidad de aire que ya ha sido respirado y del posible riesgo de contagio de enfermedades por vía aérea, mediante aerosoles infectivos. (Línea de futuro 2.2).
- 2.2 Respecto a los **COVs**, se ha observado que **aumentan con la temperatura**, por lo que es crítico en verano, pero los niveles bajan rápidamente al ventilar. Se ha comprobado que los valores son mayores en lugares en los que hay madera y sus correspondientes recubrimientos (barnices, adhesivos, pinturas, lacas, ...).
- 2.3 Se han analizado los diferentes **sensores de la plataforma SensoriZAR**, concluyendo que los más fiables son Aranet4Pro y Siemens. Puesto que Aranet4Pro no cuenta con tecnología LoRaWan, se proponen otros sensores como Milesight y MicaLite. Los sensores SenseCAP son los que más fallos reportan, debido a la escasa duración de las baterías. (Línea de futuro 2.3)
- 2.4 El porcentaje de tiempo en el que **el nivel de CO₂** está por encima de los 800 ppm de CO₂, en las tres aulas estudiadas del edificio Betancourt, es relativamente bajo, siendo un 7,5% del tiempo de apertura del centro, el caso más desfavorable (aula 2.03). Esto indica que, en general, ha habido una buena ventilación. (Línea de futuro 1.3)

En lo referente a la ventilación de las aulas del edificio Betancourt, se ha constatado que:

- 2.5 **Al apagarse el fancoil, el aula pierde el aporte de aire exterior**. Lo mismo ocurre en periodo de primavera-otoño cuando todavía no se ha conectado la climatización. (Línea de futuro 2.1)

De acuerdo con las medidas de caudales de ventilación en el climatizador de aire primario de las aulas del edificio Betancourt:

- 2.6 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**, por lo que se propone **realizar dicha medición con periodicidad**, para revisar filtros y correas de ventiladores cuando disminuya el caudal. (Línea de futuro 2.4)
- 2.7 El caudal máximo medido en el retorno del climatizador apenas ha variado y se sitúa en 8215 m³/h, casi **una quinta parte del valor nominal**. (Línea de futuro 2.5)
- 2.8 El **reparto de caudales** de ventilación en las plantas del edificio Betancourt se reparte en: un 22% para la planta baja, un 32% para la planta primera, otro 32% para la segunda y un 14% para la planta tercera. Dado que las plantas primera y segunda son las que tienen un mayor número de aulas, se estima que es un reparto adecuado.

Respecto al estudio llevado a cabo en la sala de estudios Tomás Pollán del edificio Betancourt

- 2.9 Si se desea conocer el **máximo valor de aforo** para que no se supere un cierto valor de CO_2 , se pueden recopilar **datos de CO_2 y aforo, representarlos gráficamente, correlacionar los valores máximos de CO_2 para cada nivel de aforo** y según la situación, determinar cuál sería el nivel de CO_2 y, por tanto, de **ventilación aceptable**, para establecer el nivel de **aforo a no sobrepasar**.
- 2.10 Las redes neuronales pueden ser una buena herramienta para **predecir CO_2 y temperatura**, aunque es necesario conseguir **mejores aproximaciones matemáticas al problema**, utilizando un periodo más amplio de datos. (Líneas de futuro 2.6 y 2.7)
- 2.11 No es posible predecir correctamente valores de **CO_2 y temperatura** en el mes de junio, entrenando una red neuronal con datos de marzo. (Líneas de futuro 2.6 y 2.7)

Líneas de futuro

A continuación, se enumeran distintas líneas de futuro agrupadas por eficiencia energética y calidad de aire interior.

1. Eficiencia energética:

- 1.1 Estudiar la **viabilidad de implantación de las soluciones propuestas para el ahorro de energía en fancoils**. Estas medidas consisten en: implementar un grabador de macros que conecte Metasys con reserva de espacios (<http://reservadeaulas.unizar.es/>) y limitar los termostatos.
- 1.2 **Instalar un mayor número de contadores eléctricos**, para identificar exactamente dónde se producen los consumos más importantes, después de la climatización. Se tiene especial interés en comprender con más detalle los consumos en stand-by y poder tomar medidas para su reducción.
- 1.3 **Implementar en SensoriZAR** la posibilidad de descargar informes basados en la metodología propuesta en el **programa Java**, de análisis de temperaturas y CO₂, de forma automática.

2. Calidad de aire interior:

- 2.1 Dada la importancia de priorizar siempre la ventilación mecánica con recuperación de calor y filtrado, frente a la ventilación natural, y puesto que se disponen de sensores de CO₂ en la mayoría de las aulas, se propone **mantener el ventilador del fancoil en marcha si el nivel de CO₂ se encuentra por encima de 700-800 ppm**. Sería conveniente estudiar la viabilidad de la implantación de dicha propuesta o estudiar cómo hacerlo de la forma más económica.
- 2.2 **Revisar** los niveles de **compuestos orgánicos volátiles (COVs)** en los distintos espacios de la EINA. Para realizar este tipo de mediciones con el equipo MICA, es necesario un periodo de calibración de 12 horas, sin desconectar el equipo.
- 2.3 Apostar en SensoriZAR por los **sensores más fiables** con conectividad LoRaWan.
- 2.4 Buscar soluciones de bajo coste para **monitorizar en continuo el caudal de impulsión del climatizador de aire primario a las aulas**. Esto permitiría caracterizar el comportamiento de la UTA con el tiempo y cuantificar el momento exacto para realizar el cambio de filtros y/o correas. Si funciona correctamente, se podría aplicar al resto de UTAs de la Universidad.
- 2.5 Estudiar la razón por la que el **caudal de retorno del climatizador de las aulas es tan bajo** y tomar medidas correctoras.
- 2.6 Aplicar el procedimiento descrito en este trabajo, para **crear una red neuronal con datos de un periodo de tiempo más amplio** (superior a un año), en la sala de estudios Tomás Pollán. Reentrenar la red periódicamente ante posibles cambios en el comportamiento del edificio (nuevos sistemas de ventilación, reformas, cambio de uso de un espacio, etc.)
- 2.7 **Implementar la metodología de redes neuronales en SensoriZAR**, de forma que además de visualizar los valores actuales, se mostrara con líneas discontinuas el valor hacia el que se tiende. Posteriormente se podría implementar en un sistema inteligente de control del sistema de HVAC.

Bibliografía

- [1] “SensoriZAR | Escuela de Ingeniería y Arquitectura.” <https://eina.unizar.es/sensorizar> (accessed Jun. 10, 2022).
- [2] “10 becas para prácticas de estudiantes de Grado Universitario en el marco de su TFG | I3A.” <https://i3a.unizar.es/es/noticias/abierta-la-convocatoria-de-10-becas-para-practicas-de-estudiantes-de-grado-universitario> (accessed Jun. 10, 2022).
- [3] “El proyecto SensoriZAR propone medidas para crear espacios más sostenibles y mejorar la calidad de vida – Cátedra SAMCA de Desarrollo Tecnológico de Aragón.” <https://catedrasamcadt.unizar.es/noticias/el-proyecto-sensorizar-propone-medidas-para-crear-espacios-mas-sostenibles-y-mejorar-la-calidad-de-vida/> (accessed Jun. 10, 2022).
- [4] “Objetivos y metas de desarrollo sostenible - Desarrollo Sostenible.” <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/> (accessed May 29, 2022).
- [5] “Why Indoor Air Quality is Important to Schools | US EPA.” <https://www.epa.gov/iaq-schools/why-indoor-air-quality-important-schools> (accessed May 24, 2022).
- [6] “Documento de Posicionamiento de ASHRAE sobre Calidad del Aire Interior (CAI) Aprobado por el Comité de Dirección (BOD) de ASHRAE,” 2020, Accessed: May 24, 2022. [Online]. Available: www.ashrae.org
- [7] Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico and Ministerio de Sanidad, “Plan Estratégico de Salud y Medio Ambiente.” <https://www.sanidad.gob.es/ciudadanos/pesma/home.htm> (accessed May 23, 2022).
- [8] Z. Peng and J. L. Jimenez, “Exhaled CO₂s as a COVID-19 infection risk proxy for different indoor environments and activities,” *Environmental Science and Technology Letters*, vol. 8, no. 5, pp. 392–397, May 2021, doi: 10.1021/ACS.ESTLETT.1C00183/ASSET/IMAGES/MEDIUM/EZ1C00183_M040.GIF.
- [9] Subcomité de Calidad de Aire Interior del Comité Técnico de Atecyr., “DRA 010204. Exigencias de calidad de aire interior.”
- [10] P. G. Vicente Quiles, S. Aledo Vives, and M. Gallardo Salazar, “DTIE 2.08: operación y reforma para la mejora de la calidad del aire en los edificios,” 2021.
- [11] E. Commission *et al.*, *Technical study on the possible introduction of inspection of stand-alone ventilation systems in buildings : final report*. Publications Office, 2020. doi: doi/10.2833/621790.
- [12] Á. Muelas *et al.*, “Analysis of different ventilation strategies and CO₂ distribution in a naturally ventilated classroom,” *Atmospheric Environment*, vol. 283, p. 119176, 2022, doi: 10.1016/J.ATMOENV.2022.119176.
- [13] “La concentración de dióxido de carbono alcanza niveles récord pese a la reducción de emisiones causada por la pandemia - Agencia Estatal de Meteorología - AEMET. Gobierno de España.” http://www.aemet.es/es/noticias/2021/06/Record_concentraciones_co2_2021 (accessed May 24, 2022).
- [14] M. Z. Bazant, O. Kodio, A. E. Cohen, K. Khan, Z. Gu, and J. W. M. Bush, “Monitoring carbon dioxide to quantify the risk of indoor airborne transmission of COVID-19,” *Flow*, vol. 1, p. 2018995118, 2021, doi: 10.1017/FLO.2021.10.
- [15] U. Satish *et al.*, “Is CO₂ an Indoor Pollutant? Direct Effects of Low-to-Moderate CO₂ Concentrations on Human Decision-Making Performance,” *Environmental Health Perspectives*, vol. 120, no. 12, p. 1671, 2012, doi: 10.1289/EHP.1104789.

- [16] “ASHRAE Position Document on Indoor Carbon Dioxide,” 2022, Accessed: May 24, 2022. [Online]. Available: www.ashrae.org
- [17] O. Ramalho *et al.*, “Association of carbon dioxide with indoor air pollutants and exceedance of health guideline values,” *Building and Environment*, vol. 93, no. P1, pp. 115–124, Nov. 2015, doi: 10.1016/J.BUILDENV.2015.03.018.
- [18] “Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico - Rite - Reglamento instalaciones térmicas en los edificios.” <https://energia.gob.es/desarrollo/EficienciaEnergetica/RITE/Paginas/InstalacionesTermicas.aspx> (accessed May 24, 2022).
- [19] *Código Técnico de la Edificación. DB-HS*. Accessed: Jun. 10, 2022. [Online]. Available: <https://www.codigotecnico.org/DocumentosCTE/Salubridad.html>
- [20] “Arranca el desarrollo de la primera norma UNE sobre CAI en el mundo.” <https://www.climanoticias.com/texto-diario/mostrar/3581099/arranca-desarrollo-primera-norma-une-mundo-sobre-cai> (accessed Jun. 02, 2022).
- [21] “Cambio climático | Naciones Unidas.” <https://www.un.org/es/global-issues/climate-change> (accessed Jun. 02, 2022).
- [22] “Acuerdo de París.” https://ec.europa.eu/clima/eu-action/international-action-climate-change/climate-negotiations/paris-agreement_es (accessed Jun. 05, 2022).
- [23] “In focus: Energy efficiency in buildings | Comisión Europea.” https://ec.europa.eu/info/news/focus-energy-efficiency-buildings-2020-lut-17_es (accessed May 27, 2022).
- [24] Clara Vicioso Palacín, “Análisis de metodologías para el estudio de la rehabilitación de edificios universitarios en Unizar. Caso de estudio edificio Lorenzo Normante.” 2021.
- [25] I. Uriarte, A. Erkoreka, A. Legorburu, K. Martin-Escudero, C. Giraldo-Soto, and M. Odriozola-Maritorea, “Decoupling the heat loss coefficient of an in-use office building into its transmission and infiltration heat loss coefficients,” *Journal of Building Engineering*, vol. 43, p. 102591, Nov. 2021, doi: 10.1016/J.JOBE.2021.102591.
- [26] M. Herrando, D. Cambra, M. Navarro, L. de la Cruz, G. Millán, and I. Zabalza, “Energy Performance Certification of Faculty Buildings in Spain: The gap between estimated and real energy consumption,” *Energy Conversion and Management*, vol. 125, pp. 141–153, Oct. 2016, doi: 10.1016/J.ENCONMAN.2016.04.037.
- [27] M. Way and B. Bordass, “Building Research & Information Making feedback and post-occupancy evaluation routine 2: Soft landings-involving design and building teams in improving performance,” 2007, doi: 10.1080/09613210500162008.
- [28] E. Commission *et al.*, *Final report on the technical support to the development of a smart readiness indicator for buildings: final report*. Publications Office, 2020. doi: doi/10.2833/41100.
- [29] Universidad de Valladolid Grupo de Termotecnia., *DTIE 8.01. Recuperación de energía en sistemas de climatización. Atecyr*. Madrid: El Instalador, 1996.
- [30] B. Merema, M. Delwati, M. Sourbron, and H. Breesch, “Demand controlled ventilation (DCV) in school and office buildings: Lessons learnt from case studies,” *Energy and Buildings*, vol. 172, pp. 349–360, Aug. 2018, doi: 10.1016/J.ENBUILD.2018.04.065.
- [31] Javier Turón Blas, “Auditoría energética de las bombas de calor del edificio Betancourt,” Universidad de Zaragoza, Zaragoza, 2019.
- [32] *Real Decreto 486/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo*.

- [33] Servicio de Informática y Telecomunicaciones, “Reserva de espacios UNIZAR.” <http://reservadeaulas.unizar.es/> (accessed May 13, 2022).
- [34] Y. K. Lee and H. J. Kim, “The effect of temperature on VOCs and carbonyl compounds emission from wooden flooring by thermal extractor test method,” *Building and Environment*, vol. 53, pp. 95–99, Jul. 2012, doi: 10.1016/J.BUILDENV.2011.10.016.
- [35] X. Tian, Y. Cheng, and Z. Lin, “Modelling indoor environment indicators using artificial neural network in the stratified environments,” *Building and Environment*, vol. 208, p. 108581, Jan. 2022, doi: 10.1016/J.BUILDENV.2021.108581.
- [36] L. C. Tagliabue, F. Re Cecconi, S. Rinaldi, and A. L. C. Ciribini, “Data driven indoor air quality prediction in educational facilities based on IoT network,” *Energy and Buildings*, vol. 236, p. 110782, Apr. 2021, doi: 10.1016/J.ENBUILD.2021.110782.
- [37] A. Bellagarda *et al.*, “Effectiveness of neural networks and transfer learning for indoor air-temperature forecasting,” *Automation in Construction*, vol. 140, p. 104314, Aug. 2022, doi: 10.1016/J.AUTCON.2022.104314.
- [38] J. Cifuentes, G. Marulanda, A. Bello, and J. Reneses, “Air Temperature Forecasting Using Machine Learning Techniques: A Review”, doi: 10.3390/en13164215.
- [39] Z. Afroz, G. M. Shafiullah, T. Urmee, M. A. Shoeb, and G. Higgins, “Predictive modelling and optimization of HVAC systems using neural network and particle swarm optimization algorithm,” *Building and Environment*, vol. 209, p. 108681, Feb. 2022, doi: 10.1016/J.BUILDENV.2021.108681.
- [40] “Fit Data with a Shallow Neural Network - MATLAB & Simulink - MathWorks España.” <https://es.mathworks.com/help/deeplearning/gs/fit-data-with-a-neural-network.html> (accessed Jun. 21, 2022).
- [41] “¿Qué es un FanCoil? cómo funciona, tipos y precio.” <https://precioigas.com/instalaciones/equipamiento/fancoil> (accessed Jun. 14, 2022).

Anexo 1. Informes

En este anexo 1, se recogen los diferentes informes que se han ido desarrollando, por orden cronológico.

En la figura siguiente se muestra el índice de informes, los temas a los que hace referencia y las herramientas utilizadas.

INFORMES en orden cronológico	Temas		Herramientas	
	Salud y CAI	Eficiencia energética	Big data	Factoría de aprendizaje
1. Diagnóstico del funcionamiento de la instalación de climatización a partir de datos de temperatura y CO ₂ obtenidos de Sensorizar.				
2. Propuestas para ahorrar energía en fancoils				
3. Análisis de consumos eléctricos del edificio Betancourt de los años 2020-2021				
4. Ejemplo de ineficiencia de un aula				
5. Método para establecer aforos máximos según el nivel de CO ₂				
6. Ventilación en edificio Torres Quevedo				
7. Estimación del ahorro energético por apagado de la climatización desde el 11/07/2022 en el edificio Betancourt				
8. Medidas de caudal de ventilación en el edificio Betancourt.				
9. Programa de control de la climatización Metasys (Johnson Controls)				
10. Medidas de caudal de ventilación en el edificio Betancourt tras el mantenimiento estacional				
11. Redes neuronales para predecir el nivel de CO ₂ y la temperatura.				
12. ¿Es necesario medir formaldehído, COV's y partículas (PM 1, PM 2,5 y PM10) en edificios de la EINA?				
13. Comparativa y estado de los sensores de la plataforma SensoriZAR				
14. Estudio de temperaturas e influencia de la refrigeración en el edificio Betancourt.				3

Informe 1. Diagnóstico del funcionamiento de la instalación de climatización a partir de datos de temperatura y CO_2 obtenidos de SensoriZAR.

AULAS 2.03, 2.04 y 2.05 del Edificio Betancourt del 26/10/2021 al 27/02/2022.

1. Objetivo de este estudio:
2. Metodología
3. Estudio de las temperaturas
4. Concentración de CO_2 máxima por aulas
5. Conclusiones
6. Próximas líneas de trabajo a llevar a cabo

1. Objetivo de este estudio:

El objetivo de este estudio es analizar **si la temperatura** de las aulas objeto de este estudio (en horario de 8 a 21 h y con el centro abierto), **se encuentra entre los límites establecidos por la normativa vigente**. En caso de que se encuentre fuera de estos límites, se cuantificará el **porcentaje de horas en las que esto no ocurre**. Asimismo se representará gráficamente la **evolución de la temperatura en función del tiempo**, en el periodo a estudiar y las **temperaturas máximas y mínimas** que se alcanzan en horario de 8 a 21 h. Se analizarán también las franjas horarias en las que se alcanzan las temperaturas máximas.

Por otra parte, se representará el **CO_2 máximo** que se alcanza en cada aula por día y se cuantificará el porcentaje de tiempo, en el que las aulas tienen una concentración de CO_2 mayor a 800 ppm.

Finalmente se compararán los resultados obtenidos de las aulas a estudiar.

Ámbito de aplicación y alcance del estudio

Las aulas objeto de este estudio son la **2.03, 2.04 y 2.05**, todas ellas situadas en la planta segunda del edificio **Betancourt**. Se analizarán los datos en el periodo del que se disponen datos que engloba del **26/10/2021 al 27/02/2022**, con la excepción de los días del 8/11/2021 al 17/11/2021 y del 22/02/2022 al 25/02/2022 por incidencias en la recogida de datos, debido en el segundo caso, a un corte en el suministro eléctrico.

La **ubicación** de dichas aulas se puede ver en el siguiente plano (figura 1), obtenido de SIGEUZ:



Figura 1. Planta 2ª Edificio Betancourt. Fuente: SIGEUZ

2. Metodología

A partir de la plataforma **SensoriZAR** se pueden obtener datos en formato csv (datos separados por comas) de **temperatura, CO₂ y humedad**, por días y con una frecuencia de medición de 10 minutos. Para satisfacer los objetivos propuestos, es necesario realizar los siguientes cálculos:

- Temperaturas máximas y mínimas diarias
- Nº de horas en el que las temperaturas están fuera del rango establecido
- Nivel de CO₂ máximo diario
- Nº de horas en el que se superan 800 ppm de CO₂.

A tal efecto, se ha realizado un **programa en Java**, que importando los datos de SensoriZAR, devuelve los cálculos mencionados. Estos datos son posteriormente representados gráficamente en **Excel**.

3. Estudio de las temperaturas

La normativa laboral establece que en modo invierno, el **límite mínimo** de temperatura será de **17 °C**. El límite máximo viene definido por el RD 1826/2009 en la I.T. 3.8.2 *“La temperatura del aire en los recintos calefactados no será superior a 21 °C, cuando para ello se requiera consumo de energía convencional para la generación de calor por parte del sistema de calefacción.”*

En modo verano, el límite mínimo viene definido por el RD 1826/2009 en la I.T. 3.8.2 *“La temperatura del aire en los recintos refrigerados no será inferior a 26 °C, cuando para ello se requiera consumo de energía convencional para la generación de calor por parte del sistema de calefacción”*. El **límite máximo**, definido en la normativa laboral, es de **27 °C**.

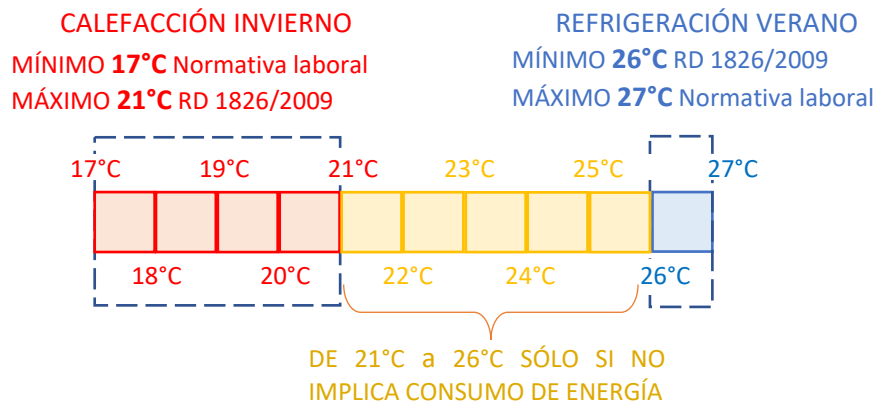


Figura 2. Rango de temperaturas admisibles. Elaboración propia

En primer lugar, se representará la **evolución de las temperaturas** (figuras 3-5-7) en las distintas aulas, indicando con líneas verticales de color azul el comienzo de cada semana.

A continuación, la evolución de las **temperaturas máximas y mínimas** (figuras 4-6-8) en las aulas y el periodo de tiempo anteriormente mencionado. En esta gráfica se señalan los días festivos en color gris y los días en los que no se tienen datos, en color verde.

En todas las gráficas se señalan las temperaturas máxima y mínima de calefacción, 17 °C y 21 °C.

Aula 2.03

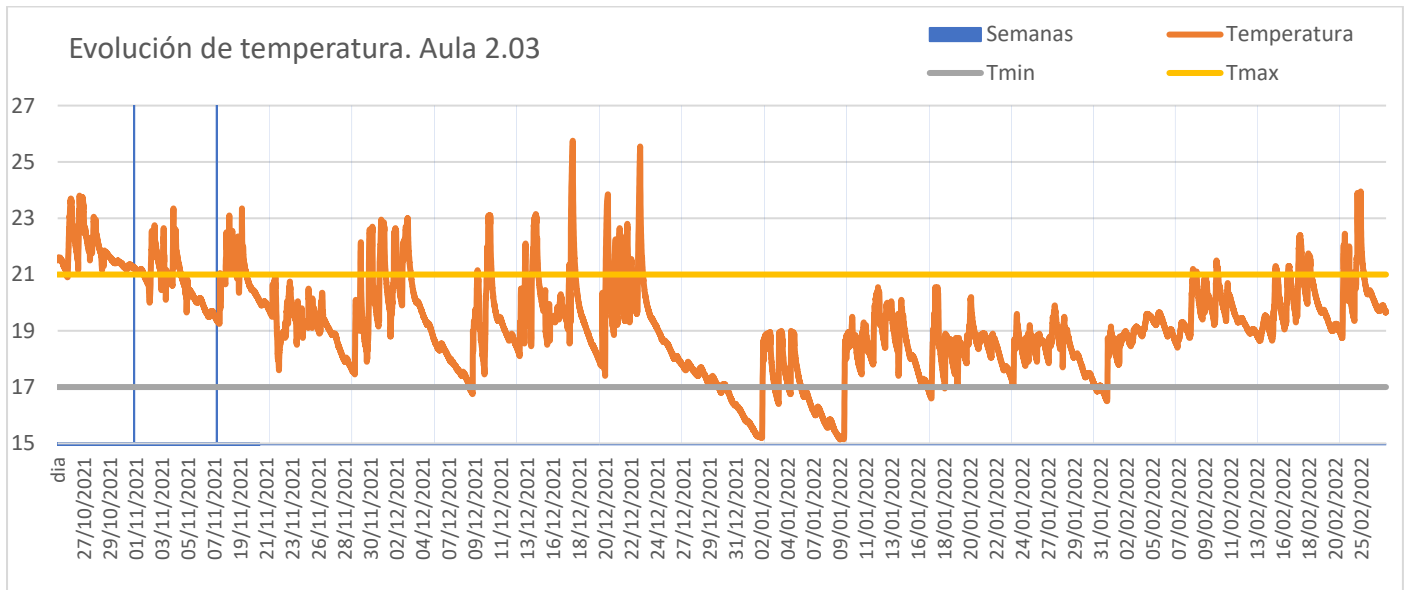


Figura 3. Evolución de la temperatura en el aula 2.03 del 27/10/21 al 27/02/22

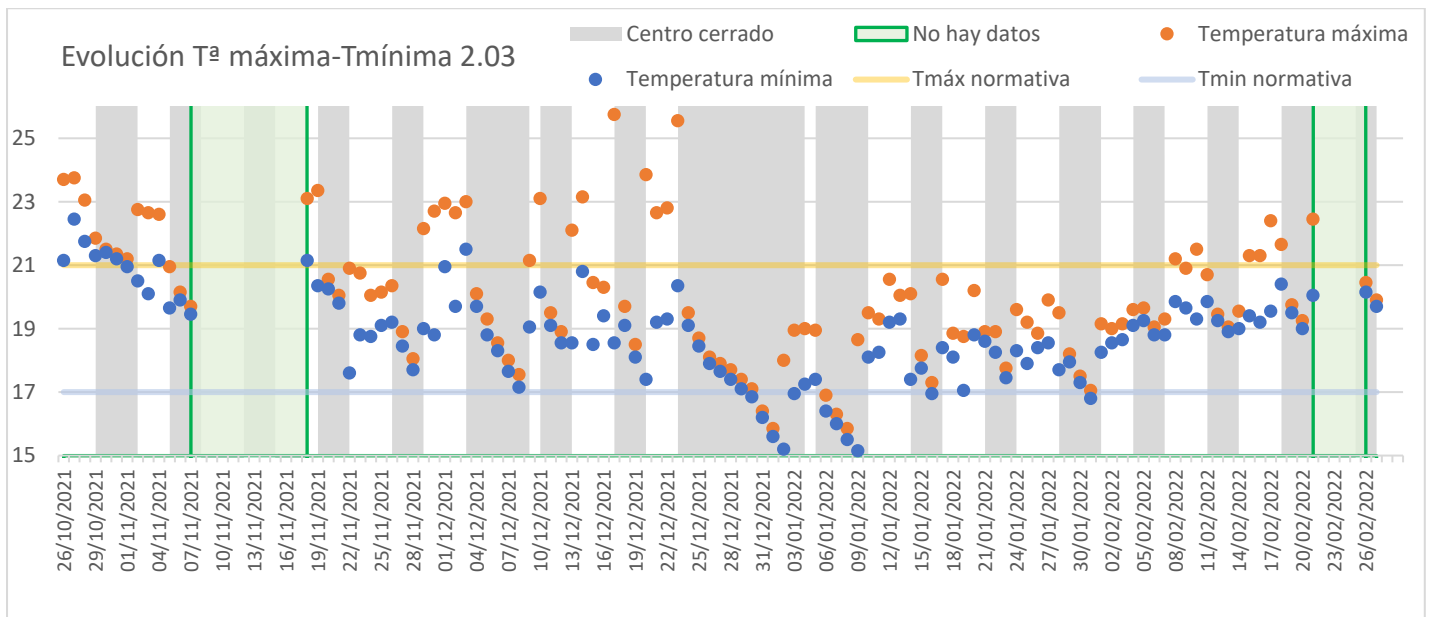


Figura 4. Temperaturas máximas y mínimas diarias en el aula 2.03 del 27/10/21 al 27/02/22

Se observa que el número de días que superan los 21 °C es especialmente alto antes del periodo de Navidad llegando a alcanzar los 26 °C.

Aula 2.04

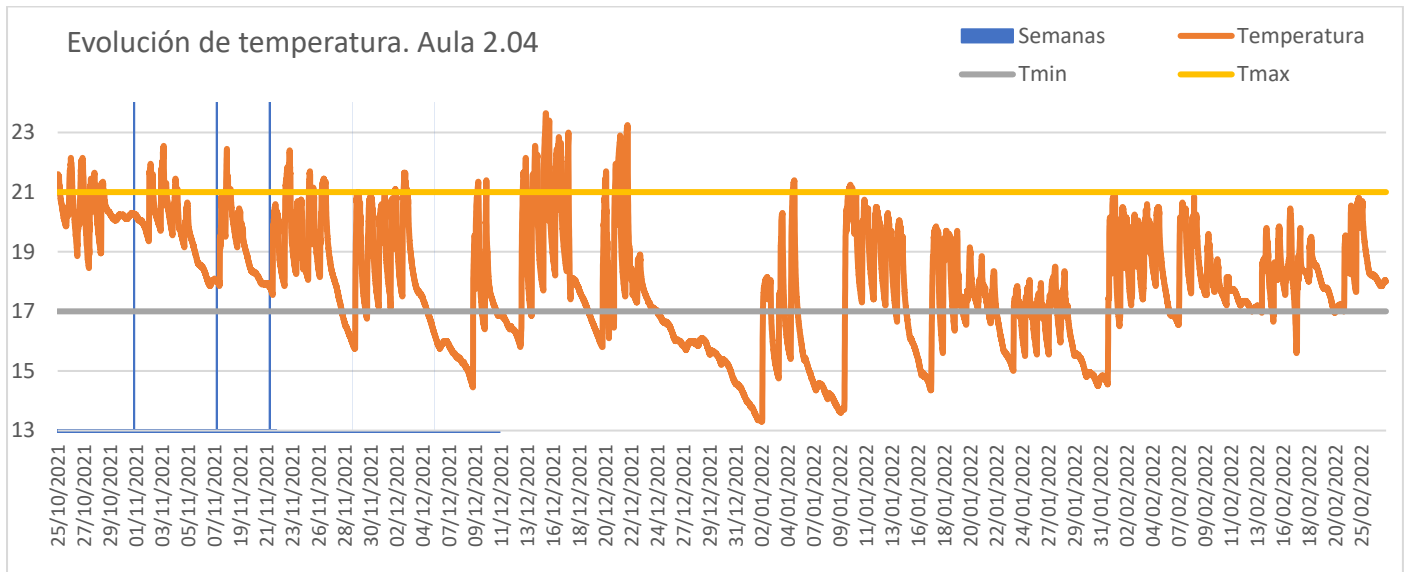


Figura 5. Evolución de la temperatura en el aula 2.04 del 27/10/21 al 27/02/22

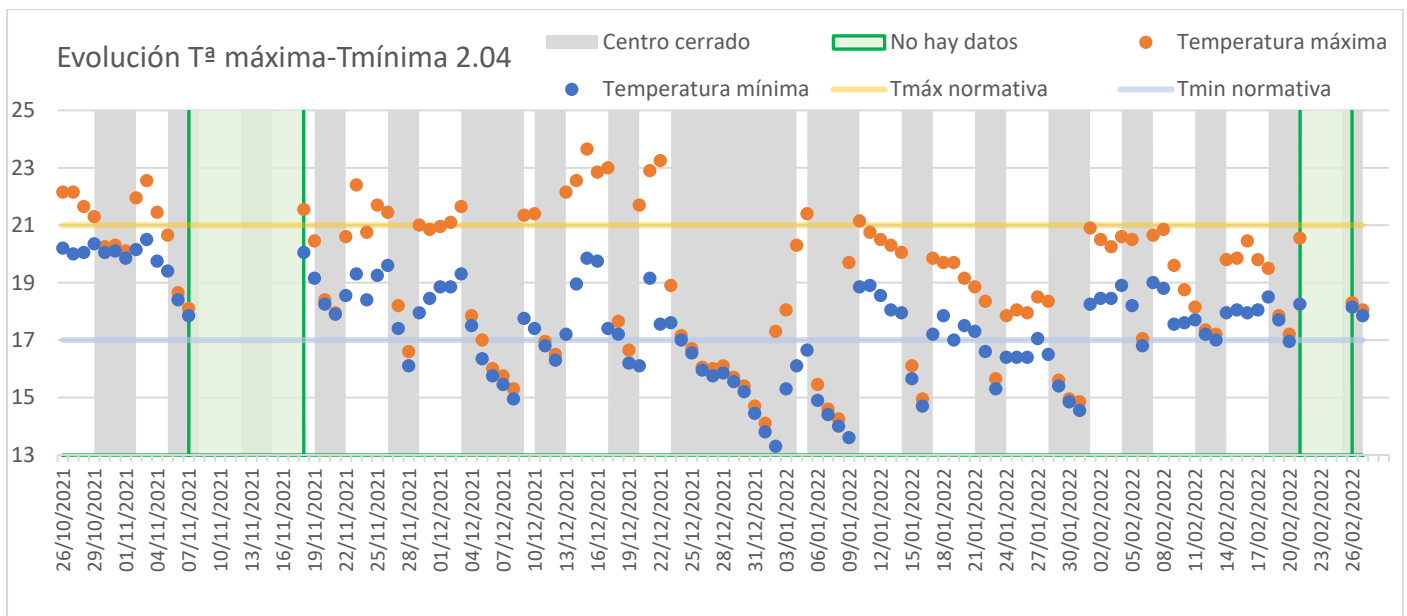


Figura 6. Temperaturas máximas y mínimas diarias en el aula 2.04 del 27/10/21 al 27/02/22

Al igual que en el aula 2.03, el número de días que superan los 21 °C es especialmente alto antes de Navidad, aunque en este caso, dichas temperaturas no alcanzan los 24 °C. También se observa que hay un mayor número de días en los que la temperatura desciende por debajo de los 17 °C, aunque generalmente sucede en días festivos.

Aula 2.05

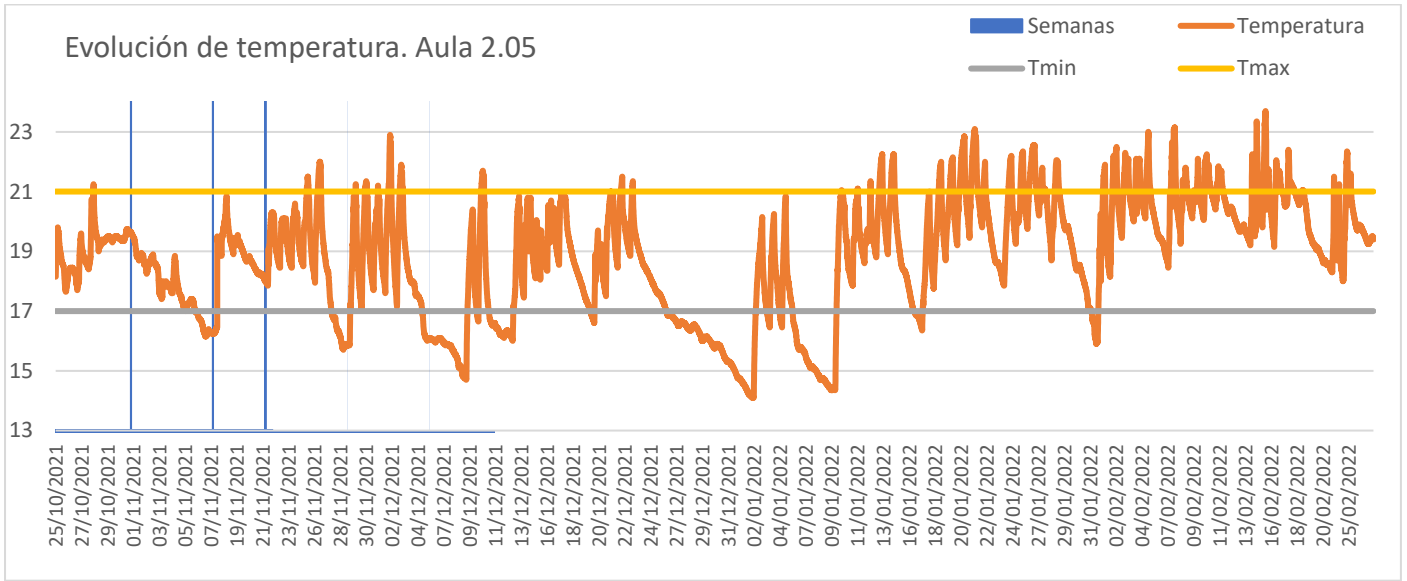


Figura 7. Evolución de la temperatura en el aula 2.05 del 27/10/21 al 27/02/22

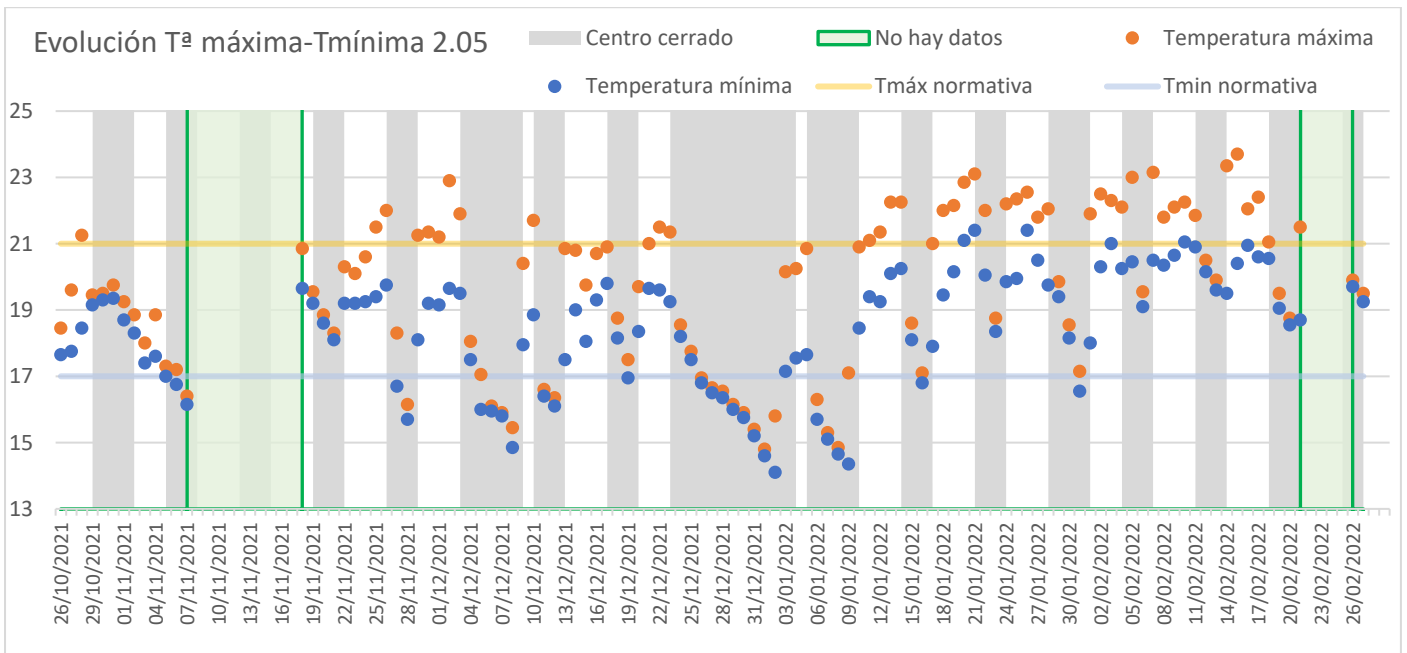


Figura 8. Temperaturas máximas y mínimas diarias en el aula 2.05 del 27/10/21 al 27/02/22

Al contrario que en los dos casos anteriores, a partir de enero hay un mayor número de días con temperaturas por encima de 21 °C. En general, las diferencias que se observan podrían deberse a que es un aula de menor superficie.

Porcentaje de tiempo en el que las temperaturas están fuera del margen establecido

Superar los 21 °C supone un **consumo energético** innecesario, que se podría optimizar con una buena **regulación** de temperatura. Si la temperatura no alcanza los 17°C, supone falta de confort.

Analizando el número de horas (en horario de 8 a 21 h y con el centro abierto) en las que las temperaturas no se adecúan a este margen, se obtienen los siguientes porcentajes. El aula 2.05 es la que mayor número de horas superan los 21 °C. Estas temperaturas más altas pueden ser debidas a cargas positivas (solar, ocupantes, ordenadores, iluminación). Sería deseable que el sistema de regulación fuese capaz de detectar estos aumentos de temperatura y aprovecharlos para disminuir el consumo de las baterías de los fancoils de las aulas.

	% Tiempo T>21 °C:	% Tiempo T<17 °C:
2.03	28,2%	0,8%
2.04	15,7%	5,8%
2.05	31,7%	0,6%

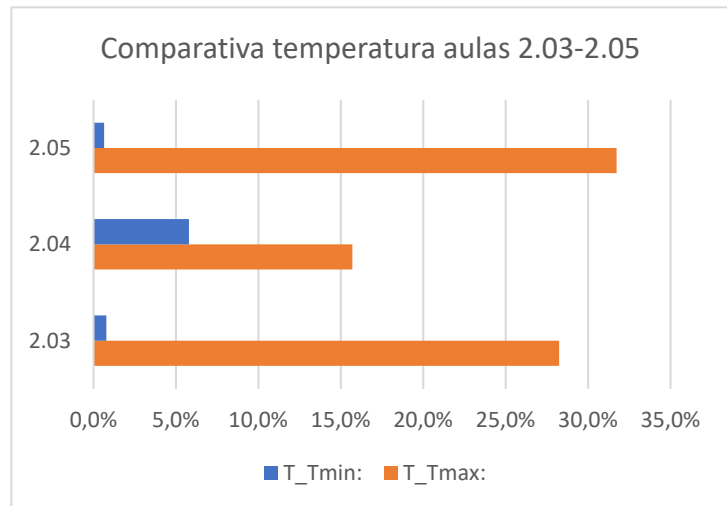


Figura 9. Comparativa temperaturas aulas 2.03 a 2.05

Instante en el que se producen las temperaturas máximas

Otro aspecto que se ha analizado es el **instante del día en el que se producen las temperaturas máximas diarias**. Se observa que en las aulas 2.03 y 2.04 se producen dichas temperaturas por la mañana o al mediodía principalmente. Sin embargo en el aula 2.05 ocurre lo contrario, lo que nos indica que estos máximos podrían estar ligados a la **carga por ocupantes**, es decir, el momento en el que hay una mayor ocupación de las aulas.

	2.03	2.04	2.05
MAÑANA (8-13)	50%	67%	35%
MEDIODÍA (13-15)	18%	6%	10%
TARDE (15-21)	32%	27%	56%

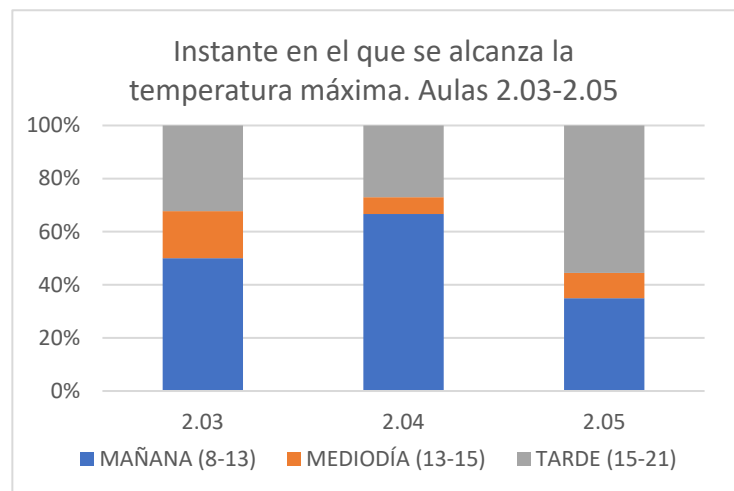


Figura 10. Instante en el que se alcanza la temperatura máxima en aulas 2.03 a 2.05

4. Concentración de CO₂ máxima por aulas

A continuación, se representa gráficamente (figuras 11-12-13) la evolución del CO₂ máximo en las aulas en el periodo de tiempo anteriormente mencionado.

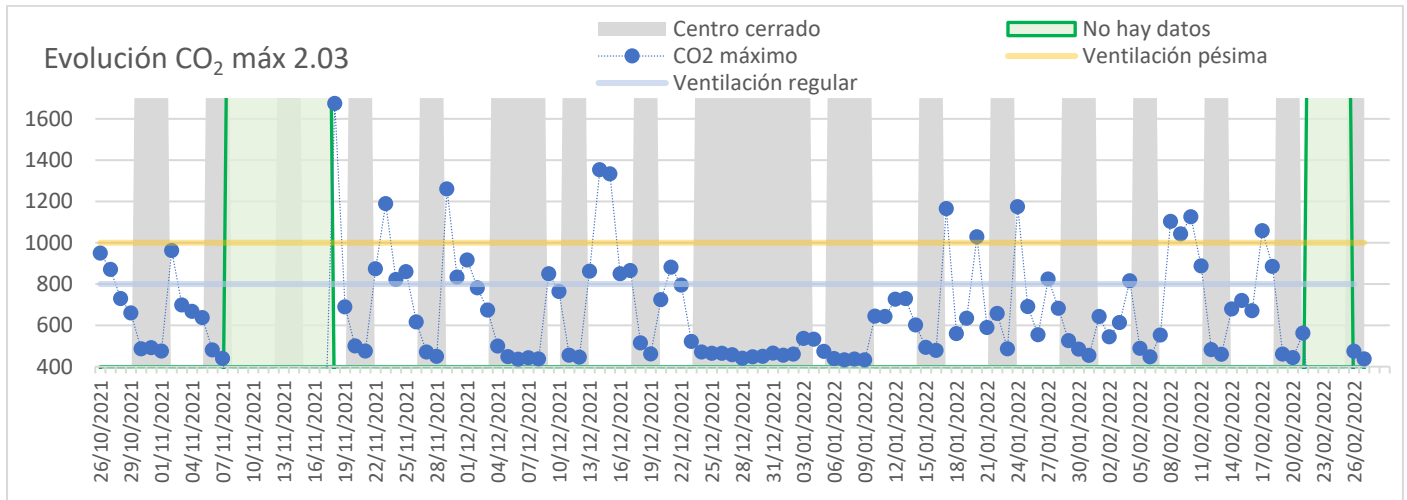


Figura 11. Evolución del CO₂ máximo por días en el aula 2.03 del 27/10/21 al 27/02/22

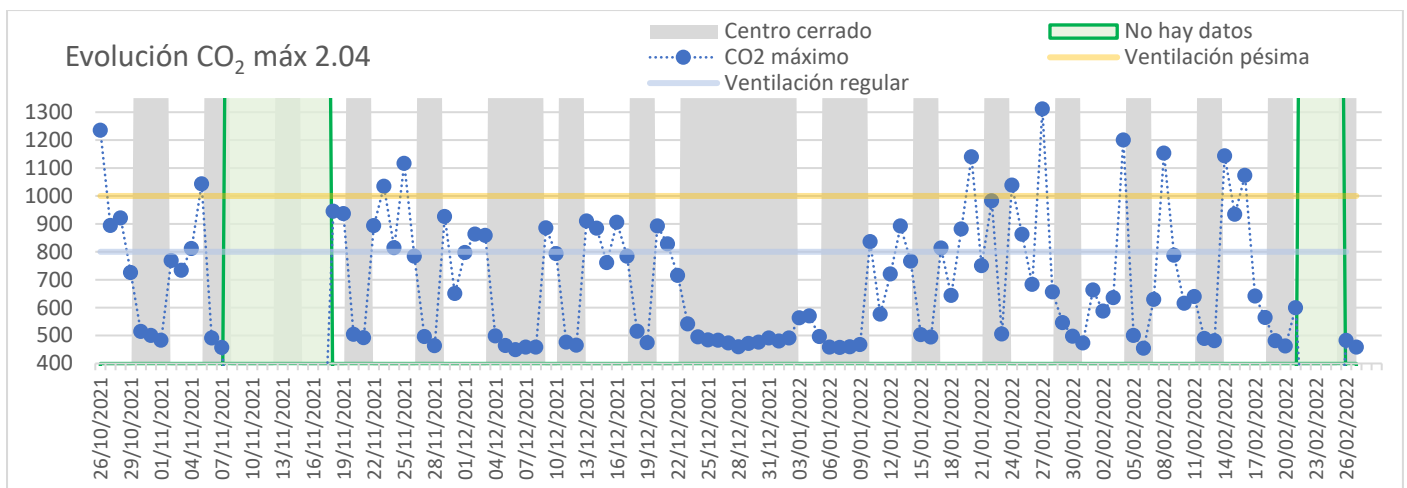


Figura 12. Evolución del CO₂ máximo por días en el aula 2.04 del 27/10/21 al 27/02/22

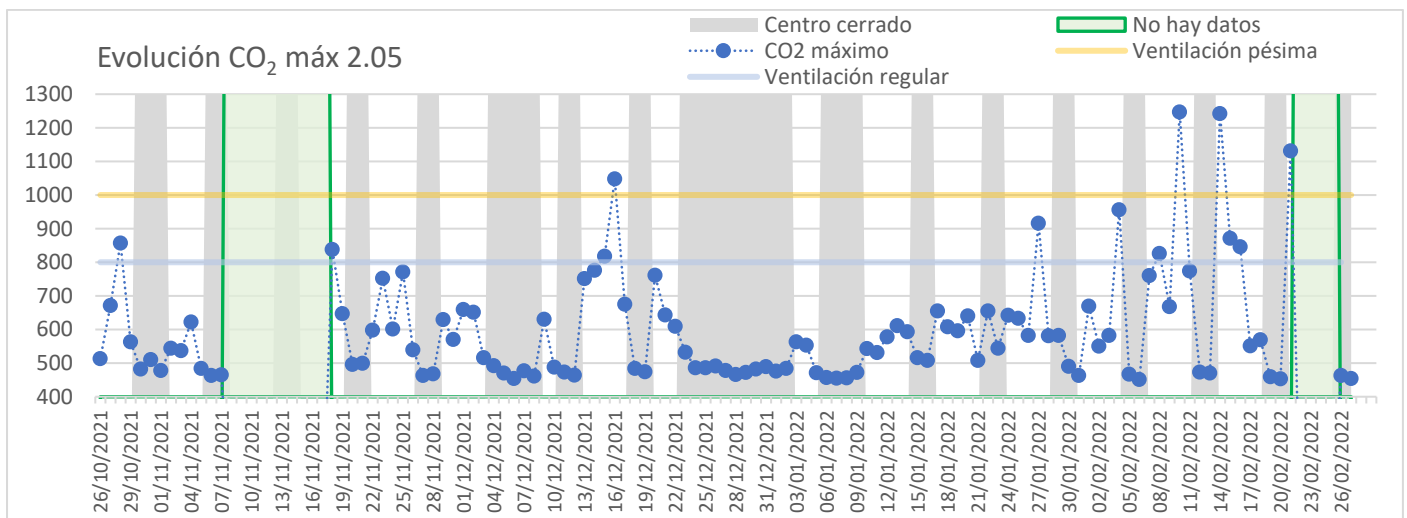


Figura 13. Evolución del CO₂ máximo por días en el aula 2.05 del 27/10/21 al 27/02/22

Porcentaje de tiempo en el que el CO₂ supera las 800 ppm

	% Tiempo CO ₂ >800 ppm
2.03	7,5%
2.04	6,3%
2.05	2,4%

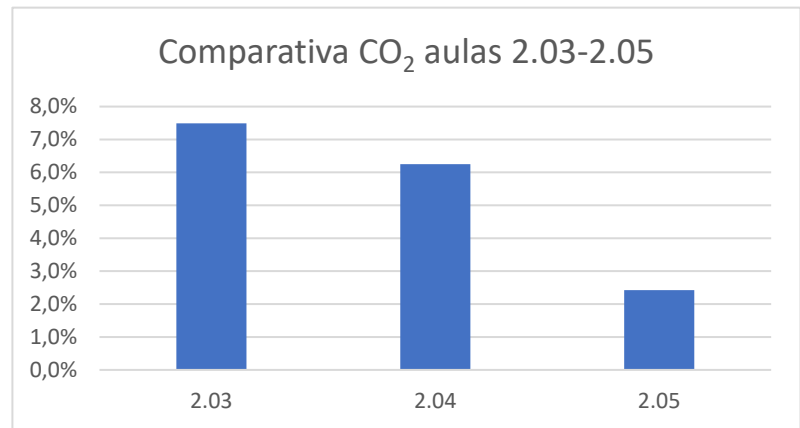


Figura 14. Comparativa CO₂ aulas 2.03 a 2.05

El aula 2.03 es la que está durante más **horas (7,5%)** por encima de los 800 ppm de CO₂. Le sigue el aula 2.04 con un **6,3%** de las **horas**.

En el aula 2.05 con poca frecuencia (**2,4%** de las **horas**) la concentración de CO₂ sube de 800 ppm.

Para establecer conclusiones, sería necesario conocer, entre otros aspectos, la **ocupación de las aulas**. Se va a seguir trabajando en este análisis.

5. Conclusiones

- Entre un **15-30%** de las horas que el edificio está en **horario de apertura** se tienen **temperaturas superiores a 21°C en las aulas analizadas**. Este hecho implica que sería interesante seguir analizando, por ejemplo, en que horarios se producen esas temperaturas para intentar **ajustar** los periodos de **encendido y apagado** de la instalación de climatización. Sería aconsejable hacer mejoras en la **regulación** para evitar esos periodos de temperatura por encima de 21°C. Estudiar porqué hay una concentración de temperaturas interiores más elevadas los días anteriores a las vacaciones de Navidad, **analizar influencia de la climatología**.
- El porcentaje de tiempo **por debajo de 17°C es muy pequeño**, esto es una buena noticia en cuanto a la respuesta del conjunto edificio-instalación-horarios.
- La **metodología** propuesta y el programa realizado se puede implementar para que Sensorizar genere este tipo de informes de manera automática, si se considera interesante.
- En relación a las medidas de CO₂, los resultados se consideran razonablemente buenos. Se va a continuar trabajando en este análisis (siguiente apartado líneas de trabajo nº3)

6. Próximas líneas de trabajo a llevar a cabo

- Verificar sensores** que no miden correctamente. Hecho 17 marzo 2022. 4 sensores en el Ada Byron.
- Video divulgativo** para que los usuarios conozcan Sensorizar y para que sepan que siempre que haya ventilación mecánica (con recuperador de calor) su uso debe ser prioritario. Por tanto, tenemos que abrir ventanas lo mínimo, solamente cuando sea necesario complementar o ayudar a la ventilación mecánica en momentos puntuales.
- Elaboración de **modelos predictivos para temperatura y CO₂** en función de las principales variables de influencia.

Informe 2. Propuestas para ahorrar energía en fancoils

1. Antecedentes
2. Propuestas
3. Figuras/gráficos

1. Antecedentes:

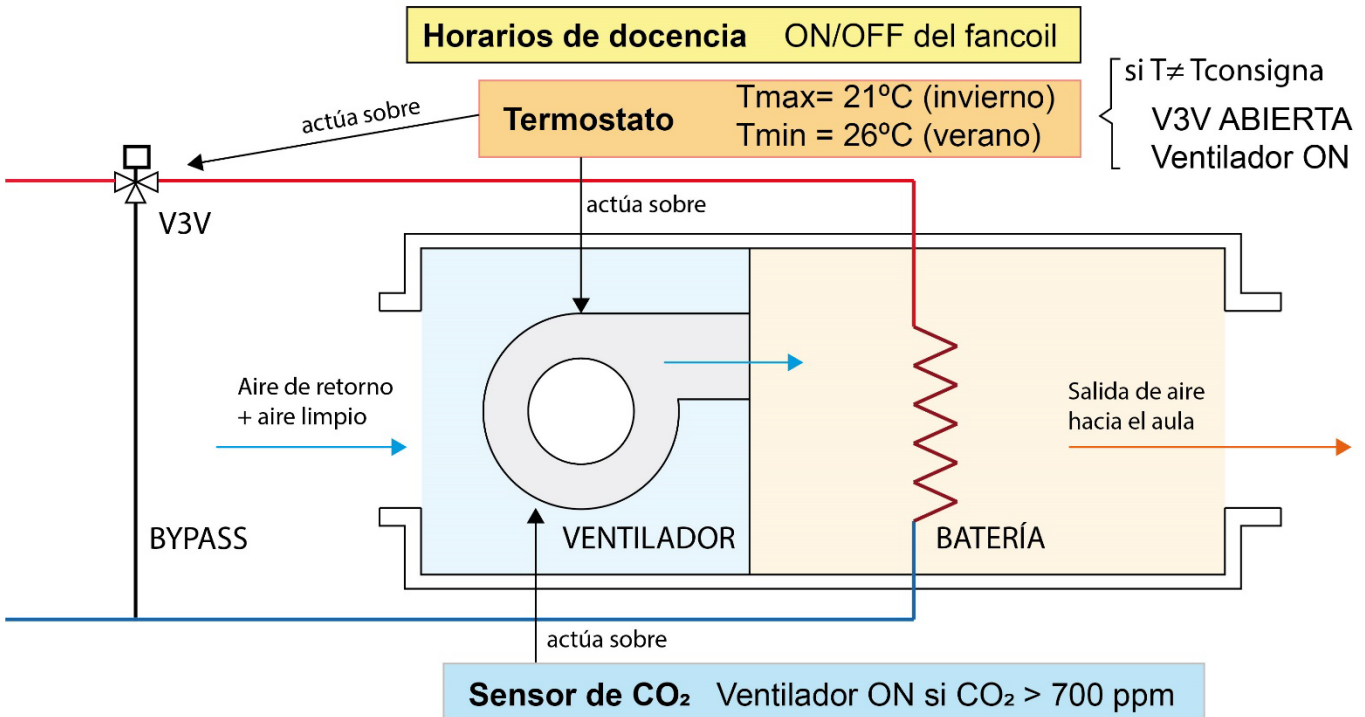
- Se ha observado que para el encendido de los fancoils de las aulas, **no se tiene en cuenta los horarios en los que el aula va a estar ocupada**. Por lo que, si la temperatura es menor que la consigna del termostato, los fancoils se ponen en marcha al conectar la climatización general del edificio.
- A partir de los datos de Sensorizar en las aulas 2.03-2.05 del Edificio Betancourt entre los días 26/10/21 y 27/02/2022, se observó (ver informe 1) que entre un **15-30%** de las horas que el edificio está en **horario de apertura** se tienen **temperaturas innecesariamente elevadas superiores a 21°C**.
- Por otra parte, se ha comprobado que la **ventilación mecánica** (con recuperación de calor y filtrado) procedente de la UTA de primario de las aulas **sólo accede a un aula si el ventilador del fancoil del aula está encendido** (ver figura 2). Actualmente ocurre que, al alcanzar la temperatura consigna el ventilador se detiene, perdiendo dicho caudal de ventilación de la UTA. Esto conlleva a que se abran las ventanas más de lo que sería necesario, con la consiguiente pérdida de calor y aumento de consumo.

2. Propuestas:

1. Si el fancoil de cada aula se encendiera justo antes de empezar la clase, se conseguiría un ahorro considerable, especialmente en los espacios en los que la primera clase se produce a final de la mañana o por la tarde. Los **horarios en los que las aulas están ocupadas** son accesibles a través de: <http://reservadeaulas.unizar.es/>
Se propone la implementación de un relé en el cuadro eléctrico del aula, programado según los horarios de reserva de aulas para **climatizar sólo si hay ocupación**. Interesaría que se actualicen los horarios, de modo que si alguien reserva una aula, quede reflejado el cambio en la programación del relé.
2. **Limitar los termostatos de las aulas**, de modo que la temperatura no sea superior a 21°C en invierno, ni inferior a 26°C en verano. Comprobar también su correcto funcionamiento.
3. Priorizar siempre la ventilación mecánica con recuperación de calor y filtrado frente a la ventilación natural. Dado que se disponen de sensores de CO₂ en la mayoría de las aulas, se podría **mantener el ventilador del fancoil en marcha si el nivel de CO₂ está por encima de 700 ppm**. Para evitar que la estancia siga calentándose **si ya ha alcanzado la consigna de temperatura**, se propone cerrar la válvula de tres vías para que el **agua circule por el bypass** en lugar de por la batería. De este modo se abrirían las ventanas durante menor tiempo y se aprovecharía la ventilación mecánica en días de primavera/otoño en los que no es necesario encender las bombas de calor.
Para la implantación de esta medida habría que estudiar qué modificaciones sería necesario realizar en el control del fancoil.

4. Figuras/gráficos:

En la figura 1 se ilustran las medidas propuestas mediante el esquema de un fancoil.



1. Automatizar el encendido de fan-coils según docencia: <http://reservadeaulas.unizar.es/>
Se podría automatizar el corte de suministro eléctrico desde el cuadro con un relé
2. Priorizar ventilación mecánica con recuperación de calor: si CO₂ > 700 ppm no parar ventilador
3. Verificar termostatos y ajustar a 21°C máx en invierno y 26°C mín en verano.

Figura 1. Fancoil aulas y resumen de propuestas. Elaboración propia.

En la figura 2, se representan gráficamente los flujos de aire de ventilación y retorno en un aula. El funcionamiento es el siguiente:

El fancoil toma el **aire** que proviene del **retorno** del aula junto con **aire limpio** proveniente de la UTA de primario. Lo impulsa gracias al ventilador y lo calienta o enfría mediante la batería. Posteriormente es conducido y se distribuye al aula mediante los **difusores rotacionales**.

El **aire retorna por unas rejillas** que se encuentran en el extremo final de las aulas y **circula por el falso techo sin ser conducido**. Parte del aire de retorno vuelve al fancoil a través de un conducto situado sobre la pizarra y parte a la UTA a través de un orificio que se encuentra sobre la puerta de acceso al aula. El retorno a la UTA está conducido a partir del pasillo, por lo que suponemos que existe algún orificio en dicho conducto que absorbe aire del falso techo.

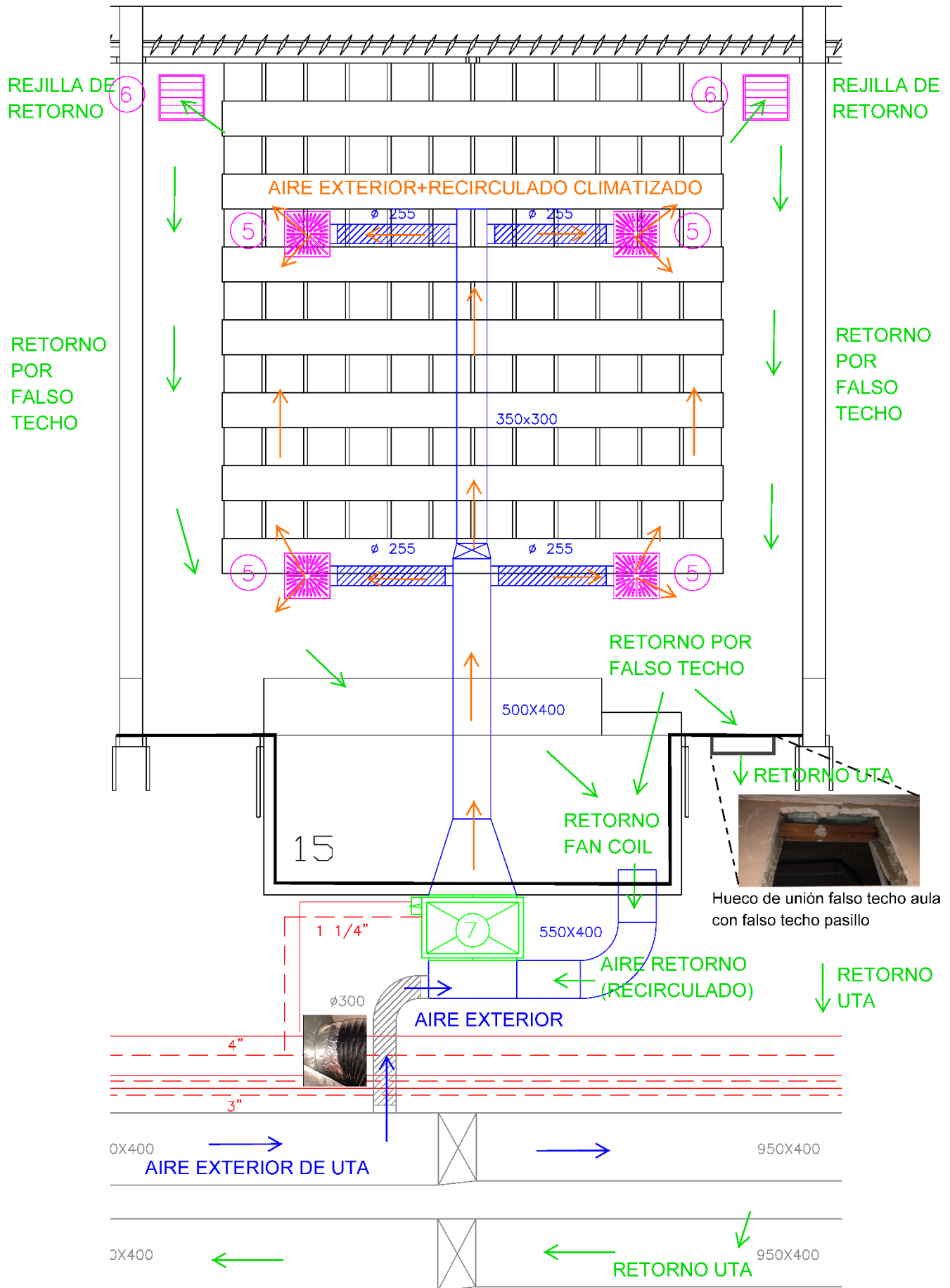


Figura 2. Esquema de flujos de aire de ventilación y retorno en un aula. Elaboración propia sobre planos de climatización del edificio.

Informe 3. Análisis de consumos eléctricos del edificio Betancourt de los años 2020-2021

1. Objetivo de este estudio:
2. Metodología
3. Representación y análisis de los datos
4. Conclusiones
5. Líneas de futuro

1. Objetivo de este estudio:

En este estudio se analizarán los datos de consumos eléctricos del edificio Betancourt entre los años 2020 y 2021. Los objetivos son los siguientes:

- Realizar una **comparativa** de los consumo **entre los años 2020 y 2021** y estudiar las **diferencias**.
- Observar cuándo se producen los **picos de consumo** tanto por meses como por horas.
- Cuantificar el **consumo** en horas en las que el **centro cierra**.
- Analizar la relación entre **temperaturas exteriores y consumos eléctricos**.
- Analizar posibles **medidas** para **reducir consumos** eléctricos.
- Cuantificar el **ahorro energético** por una buena regulación de **fancoils**

2. Metodología

En este estudio se han utilizado datos de **consumos eléctricos** en los años **2020 y 2021** en el edificio **Betancourt** proporcionados por la **Oficina Verde**. Asimismo se utilizan datos **climatológicos** provenientes de **AEMET open data** en formato JSON. Para poder convertir los datos a tabla HTML, se ha utilizado la herramienta [convertjson.com](https://www.convertjson.com/) disponible online.

El apartado en el que se cuantifica el **potencial ahorro energético** se basa en el **estudio de ocupación** realizado por la profesora **Pilar Brufau**, denominado *Informe de ocupación de aulas en la EINA curso 2019-2020*.

Todos los **datos y gráficas** han sido realizados con la herramienta **Excel**.

3. Representación y análisis de los datos

En primer lugar, se representa gráficamente el **consumo anual** (figura 1) y el **consumo mensual** (figura 2) para los años 2020 y 2021 del edificio Betancourt.

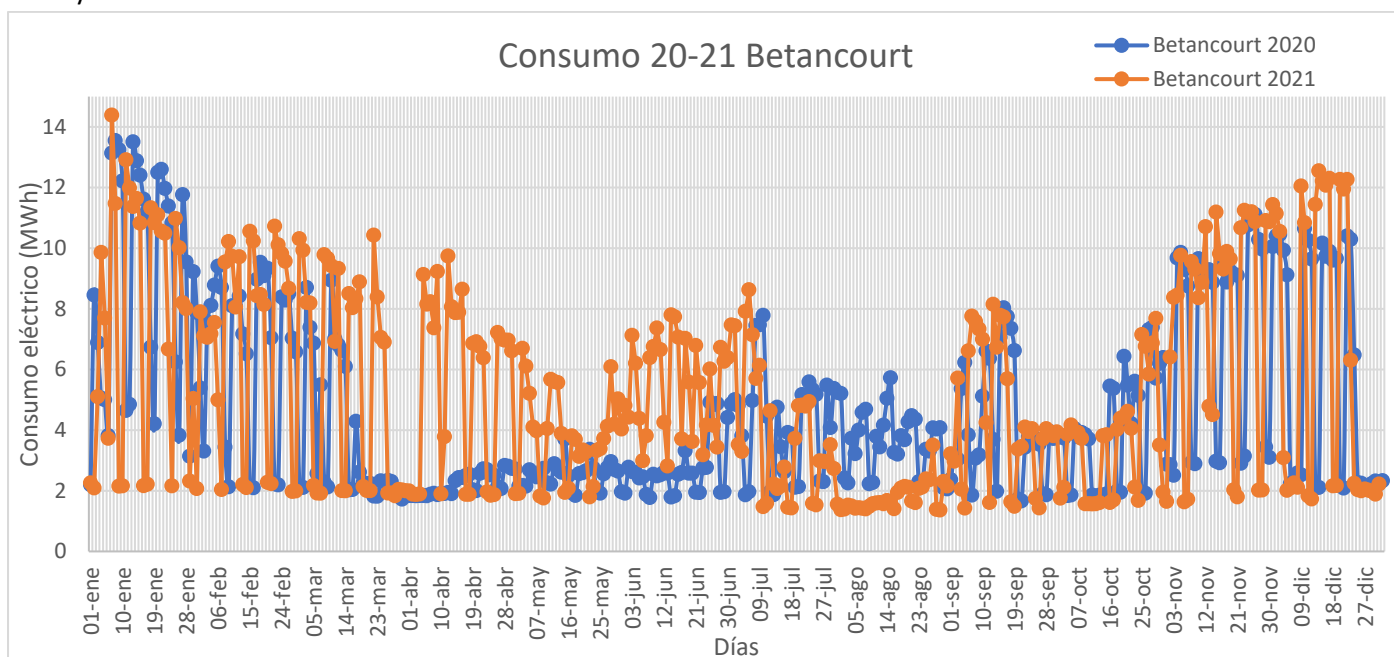


Figura 1. Evolución del consumo diario en el edificio Betancourt. Años 2020 y 2021. Elaboración propia. Fuente Oficina Verde.

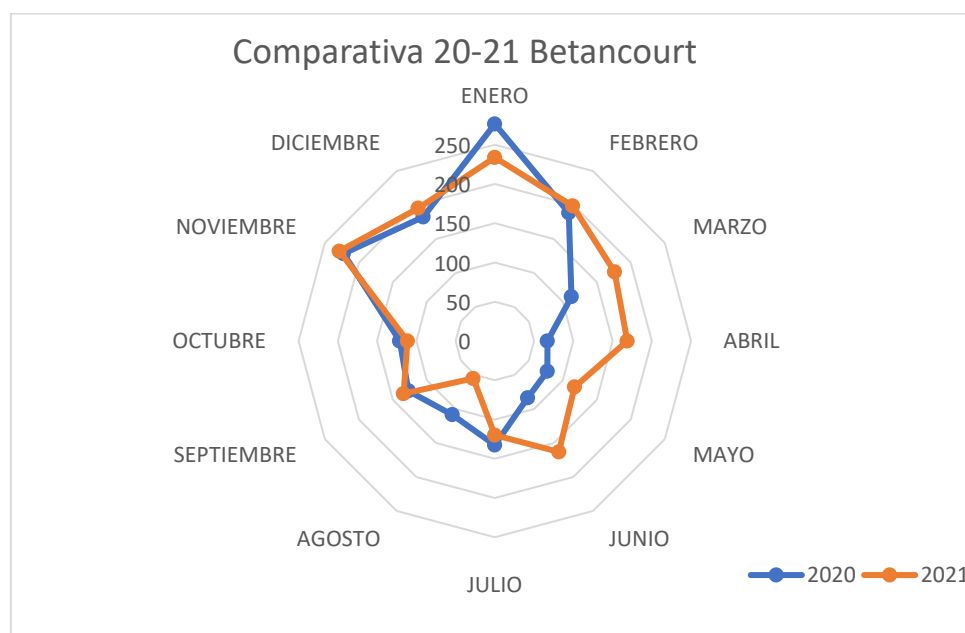


Figura 2. Comparativa del consumo mensual en el edificio Betancourt. Años 2020 y 2021. Elaboración propia. Fuente Oficina Verde.

Los meses de **invierno** (noviembre a febrero) son los que presentan un **consumo eléctrico mayor**. Ello es debido a que la temperatura exterior es menor y se precisa de mayor tiempo de encendido de la climatización. Por otro lado, el número de horas de sol es menor y se requiere de mayor necesidad de iluminación.

En la comparativa entre los años 2020 y 2021, se observa que entre los meses de marzo y junio del año 2020 el consumo fue significativamente menor, debido al **cierre del edificio por el confinamiento** por la pandemia. El balance total de consumo (figura 3) también fue menor en el año 2020.

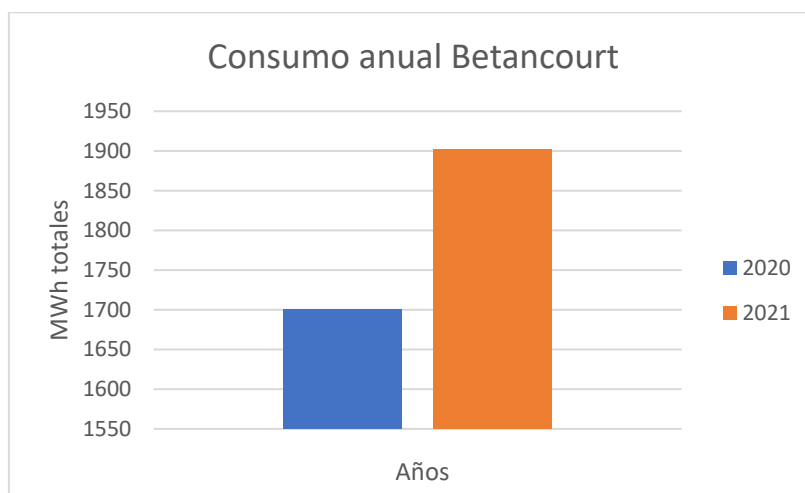


Figura 3. Consumo anual. Años 2020 y 2021. Elaboración propia. Fuente Oficina Verde.

Además de ello, se observan algunas **diferencias entre los años 20 y 21**.

De los meses de invierno, octubre, diciembre y enero de 2020 presentan un **mayor consumo** que en 2021. Sin embargo, noviembre, diciembre y febrero de 2021 presentan un mayor consumo que en 2020. La causa de ello podría ser debido en la mayoría de los casos, a que la **temperatura** fuera **menor** esos meses, como se puede visualizar en la figura 4.

De los meses de verano, julio y agosto de 2020 y septiembre de 2021 presentan **mayor consumo y mayores temperaturas**. Destaca el mes de agosto de 2020, puesto que el consumo eléctrico es bastante algo para ser un mes en el que el edificio cierra.

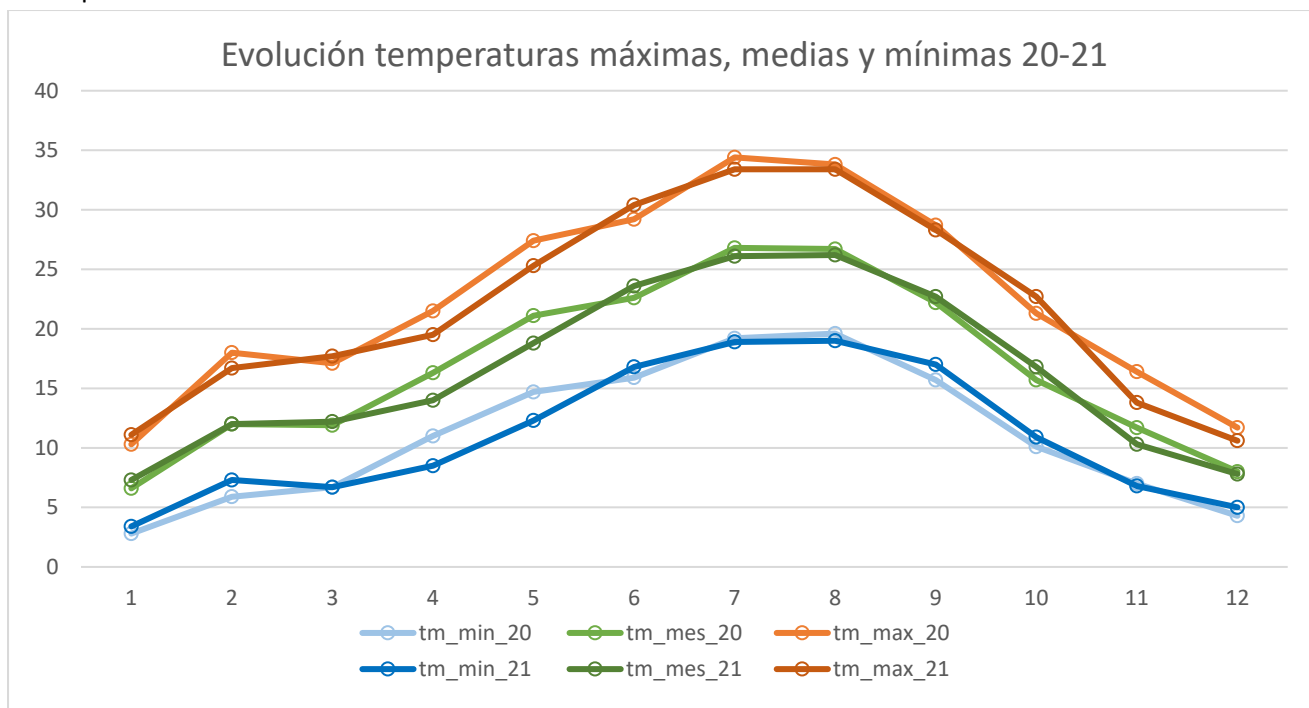


Figura 4. Evolución de las temperaturas máximas, medias y mínimas mensuales en 2020 y 2021. Elaboración propia. Fuente Aemet.

Para estimar si existe una relación directa entre la **temperatura exterior y el consumo eléctrico** durante los meses de invierno (octubre a marzo) y en días de apertura del centro, se han correlacionado los datos de consumo eléctrico en estos días con la temperatura media exterior (figura 5). Los datos de temperatura exterior se han obtenido desde AEMET.

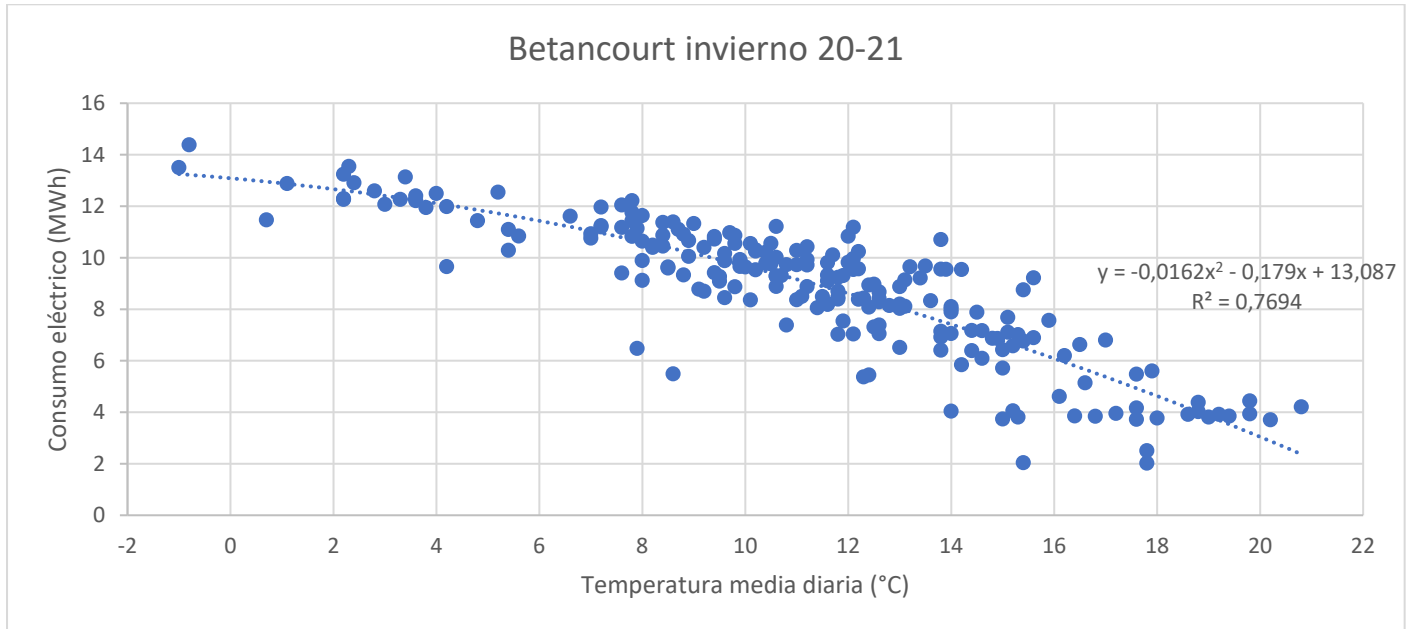


Figura 5. Relación entre temperatura media exterior y consumo eléctrico en el edificio Betancourt (invierno). Años 2020-2021. Elaboración propia. Fuente Oficina Verde y Aemet.

Se comprueba que dicha **correlación es inversa**, por lo que al aumentar la temperatura media exterior, el consumo eléctrico disminuye. Los datos se ajustan bastante bien a una recta, con un valor de R^2 de 0,74, aunque mejor a una curva polinómica de grado 2, ya que su valor de R^2 es de **0,77**.

En la figura 6, se realiza el mismo procedimiento para verano de 2021 (2020 no hubo ocupación). Los datos presentan una **correlación directa** (a mayor temperatura, mayor consumo), aunque con un bajo coeficiente de regresión.

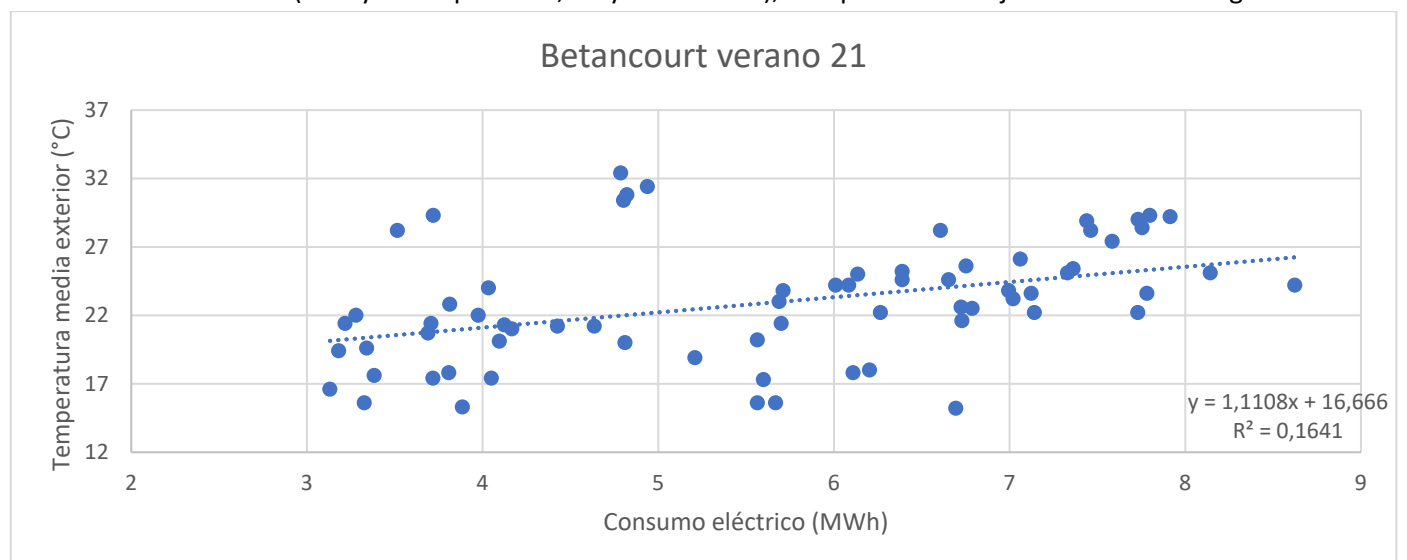


Figura 6. Relación entre temperatura media exterior y consumo eléctrico en el edificio Betancourt (verano). Año 2021. Elaboración propia. Fuente Oficina Verde y Aemet.

A continuación se analiza el **consumo** en stand-by del edificio, es decir el que se produce en las horas en las que el **edificio está cerrado y la climatización desconectada** (de 23 p.m. hasta las 5 a.m. aproximadamente).

En la figura 7 se representa el consumo diario en estas horas a lo largo del año 2021. Se aprecia que el valor es aproximadamente constante e igual a **0,1 MWh**, salvo días más fríos o en los que el edificio está más frío (por ejemplo a la vuelta de las vacaciones de Navidad) y es necesario climatizar durante más horas. El promedio de este año es de 0,111 MWh, un valor considerablemente alto que **debe reducirse** desconectando equipos no imprescindibles. El consumidor principal en stand-by es el CPD (Centros de Procesamiento de Datos) y a la climatización asociada, que consume alrededor de 40 kWh, lo que supone un 36% del total. El resto de consumo es debido a **alumbrado** nocturno, sistemas de **vigilancia** y protección contra incendios, **equipos** que permanecen conectados por la noche (ordenadores, routers, neveras de laboratorios...), etc.

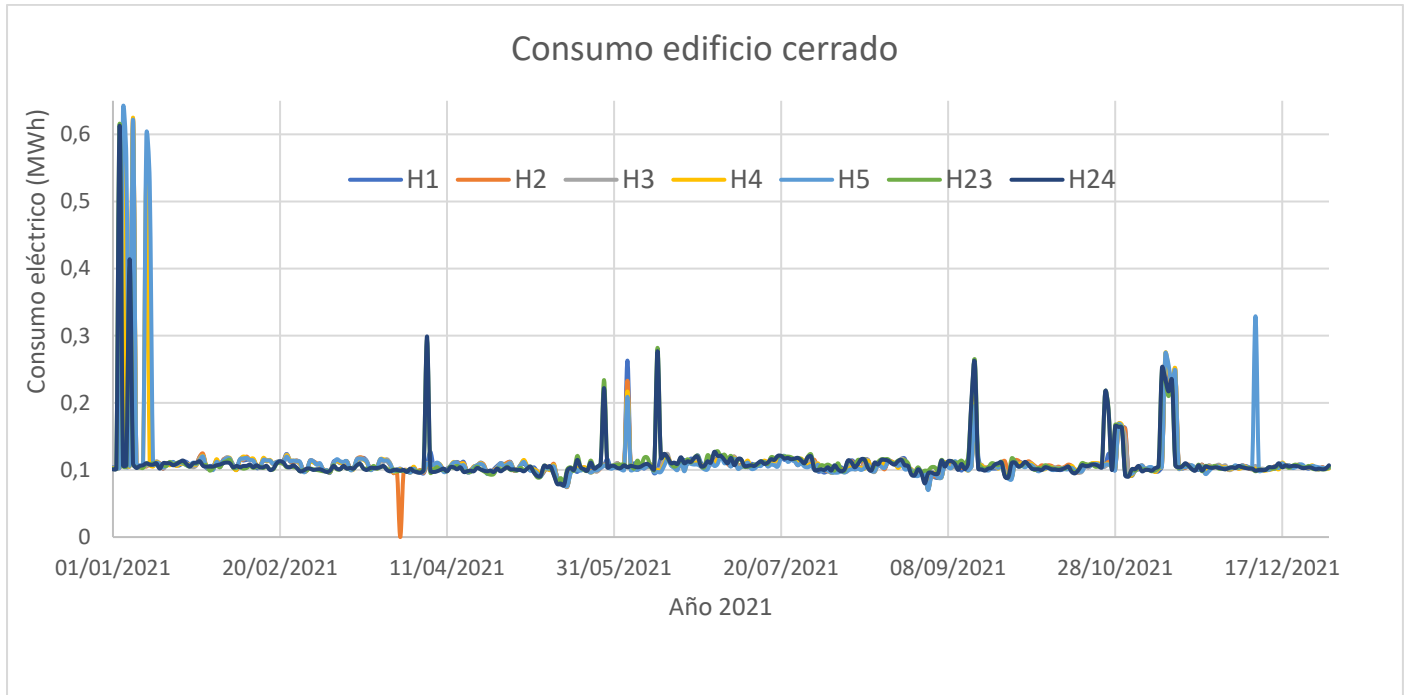


Figura 7. Consumo del edificio Betancourt de 23 p.m. hasta las 5 a.m. durante el año 2021.

En la figura 8, se representa gráficamente el **consumo anual** del edificio Betancourt **por horas** en los años 2020 y 2021, en forma de curva de carga. Se puede observar que el consumo por la noche es estable con un consumo total por hora de unos 41 MWh/año, lo que alcanza un total de **280 MWh/año** considerando el **periodo de 23 p.m. hasta las 5 a.m.** También se aprecia que el consumo y la duración del **pico de consumo es mayor por la mañana** (alcanzando los 120 MWh/año), que por la tarde en los dos años estudiados. La causa principal es que por la mañana, la climatización tiene que hacer frente a una mayor diferencia de temperatura que por la tarde. Puesto que el principal uso de la electricidad va destinado a la climatización, es de gran importancia **sectorizar y regular los fancoils** según los horarios de ocupación (ver informes 2 y 4).

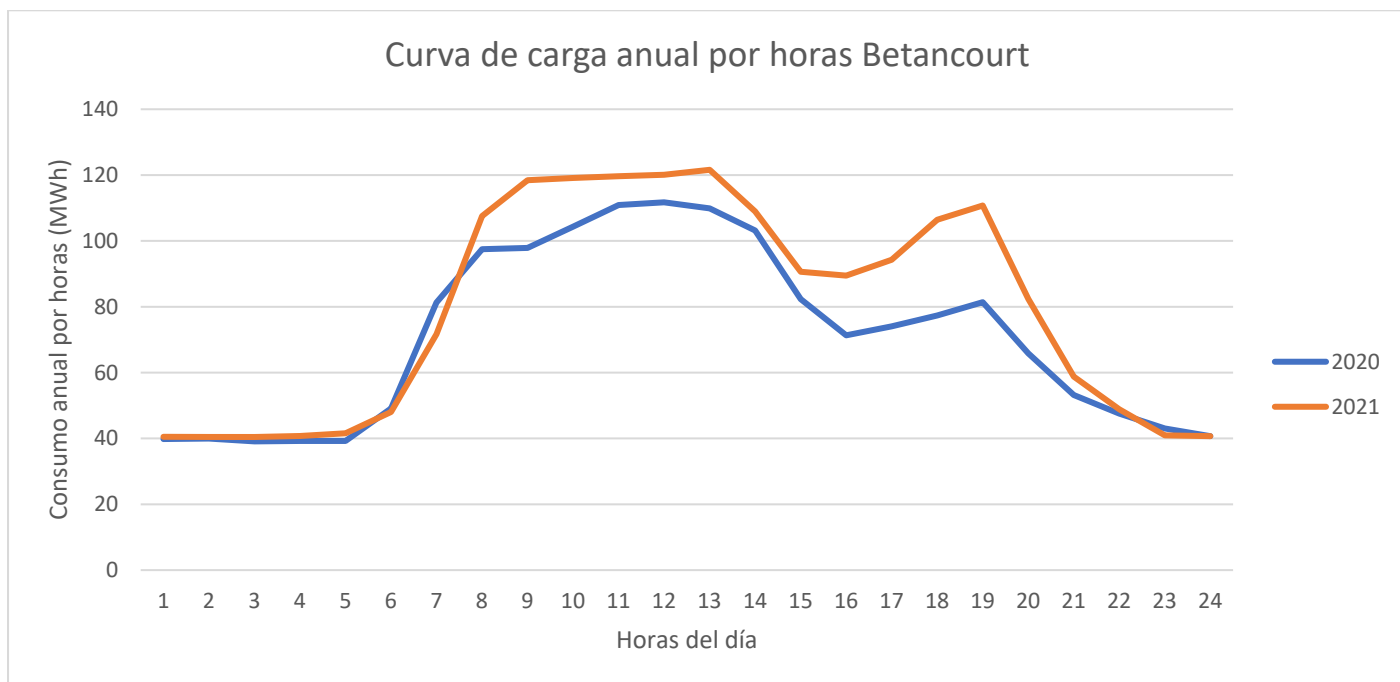


Figura 8. Curva de carga del consumo anual del edificio Betancourt por horas. Elaboración propia. Fuente Oficina Verde.

Con el fin de analizar el patrón de las curvas de carga en invierno y en verano, se han representado las curvas de carga mensuales en los meses de noviembre a abril (figura 9) y de mayo a octubre (figura 10).

En los meses de invierno, el patrón de las curvas es similar y se asemeja al de la curva de carga anual (figura 8). En los meses más fríos, se observa que el consumo es mayor al funcionar durante más horas, y que la conexión de la climatización se realiza antes.

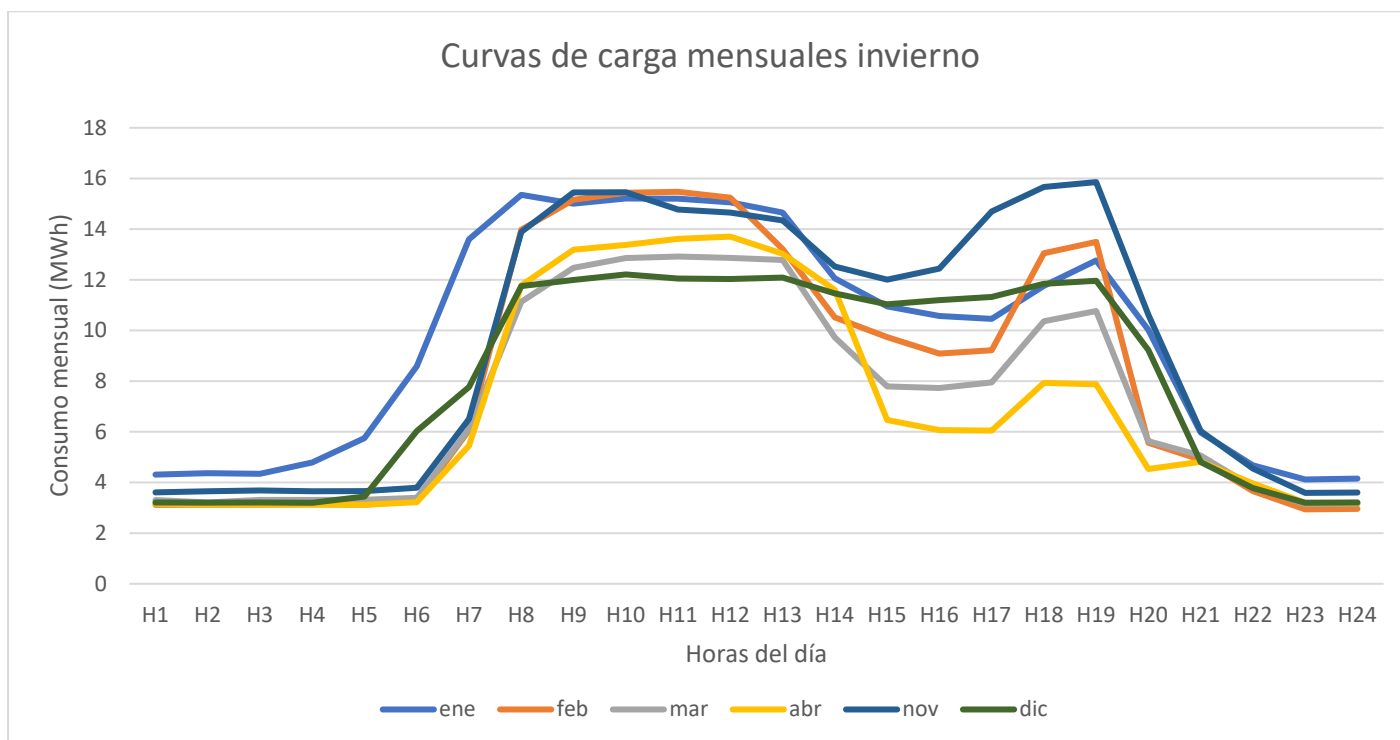


Figura 9. Curvas de carga mensuales en los meses de noviembre a abril de 2021. Elaboración propia. Fuente Oficina Verde.

En los meses de verano, no se observa ningún patrón fijo

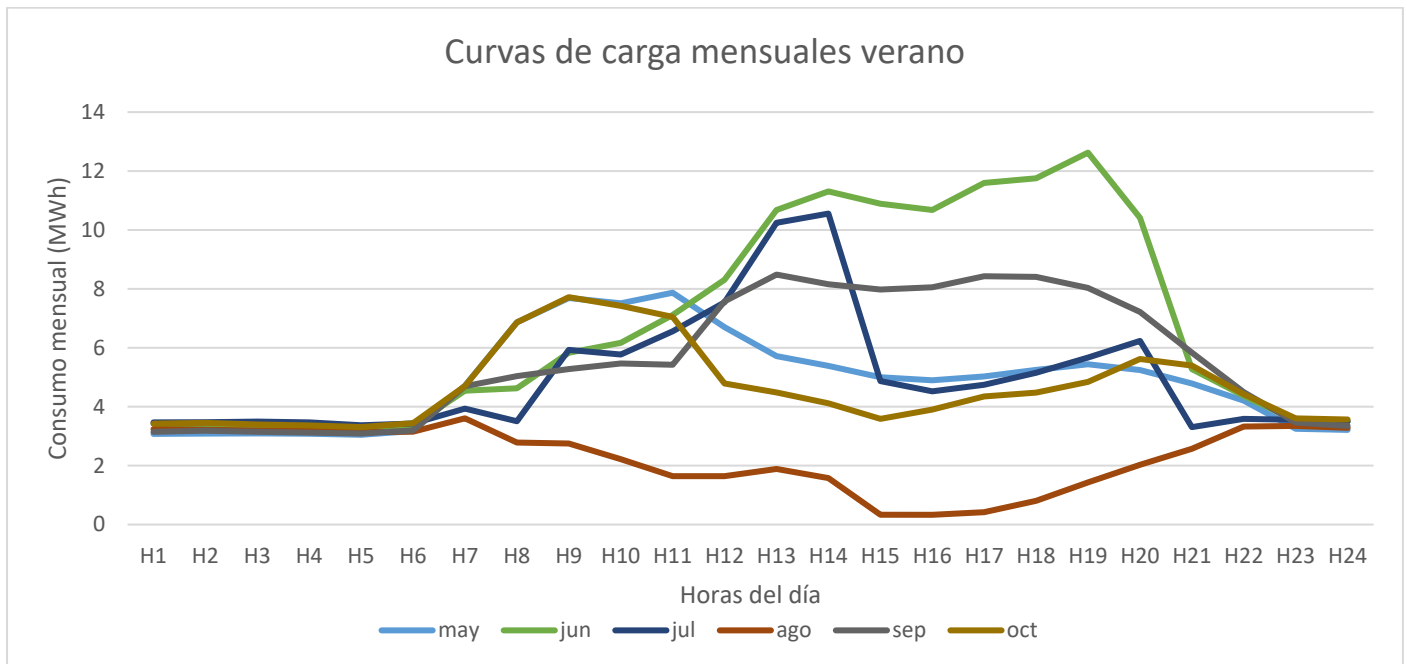


Figura 10. Curvas de carga mensuales en los meses de mayo a octubre de 2021. Elaboración propia. Fuente Oficina Verde.

El **principal consumo** energético del edificio es debido a la **climatización** y se ha observado que, para el encendido de los fancoils de las aulas no se tiene en cuenta los horarios en los que el aula va a estar ocupada. Desconectar fancoils de aulas sin ocupación repercute en un menor consumo del primario, ya que no hay consumo de energía térmica en las baterías al no circular agua por ellas. A partir de los datos de ocupación de las aulas, es posible **cuantificar el ahorro que supondría conectar los fancoils de las aulas justo antes de empezar la clase**.

En la figura 11, se observa que los espacios con mayor ocupación no superan el 80% de las horas de apertura del edificio. El promedio de las horas con ocupación oscila entre el 38% y el 57%, por lo que podríamos hablar de un **ahorro de entre un 62% y un 43%** según los días de la semana, suponiendo que la climatización está conectada durante la totalidad de las horas de docencia.

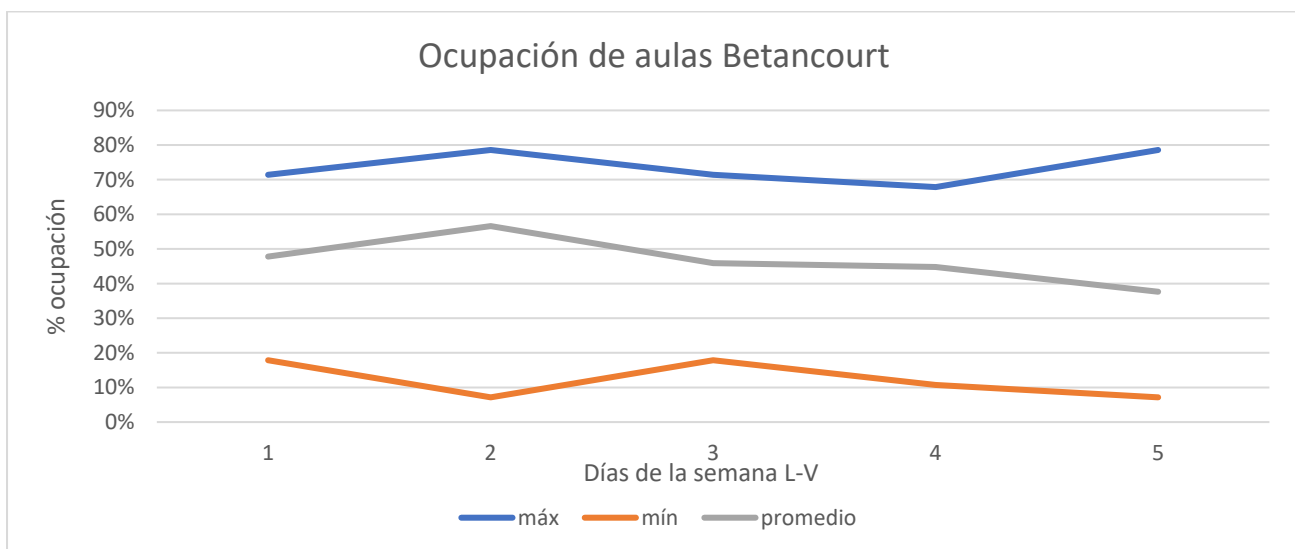


Figura 11. Ocupación de las aulas. Elaboración propia. Fuente: Pilar Brufau.

4. Conclusiones

Las principales conclusiones de este estudio han sido las siguientes:

- Los meses de **invierno** (noviembre a febrero) son los que presentan un **consumo eléctrico mayor**.
- El consumo eléctrico en el año **2020** fue menor debido al **cierre del edificio por el confinamiento**.
- Se comprueba que en modo calefacción existe una **buena correlación inversa de la temperatura media exterior y el consumo eléctrico**. Al aumentar la temperatura media exterior, el consumo eléctrico disminuye.
- Debido a dicha correlación, se ha estimado que **el principal consumo eléctrico del edificio es debido a la climatización** y que las **medidas de ahorro de energía** eléctrica deben ir en esa línea.
- El **consumo** en stand-by (de 23 p.m. hasta las 5 a.m. aproximadamente) es aproximadamente constante e igual **0,1 MWh** y alcanza un total de alrededor de **280 MWh/año**. Este consumo debe reducirse desconectando equipos no imprescindibles. Para acometer esta tarea es deseable instalar **contadores** para detectar principales consumidores en periodo nocturno.
- **El pico de consumo** a lo largo del día se produce por la **mañana** (alcanzando los 120 MWh/año).
- Conectar los fancoils de las aulas justo antes de empezar la clase podría suponer un **ahorro de electricidad de entre el 40% y el 60%** del consumo eléctrico de climatización. Al desconectar fancoils de aulas sin ocupación no hay consumo de energía térmica al evitar que pase agua por la batería. Esto repercute en un menor consumo del primario.

5. Líneas de futuro

- Estudiar si se puede obtener **más información** a partir de los datos de consumos eléctricos.
- Realizar el estudio de forma **periódica** para analizar la evolución de los consumos y la **influencia de las medidas de ahorro de energía** adoptadas.
- **Extender** el estudio en el **resto de los edificios** del Campus Rio Ebro, si se considera de utilidad.

Informe 4. Ejemplo de ineficiencia de un aula

Aula 1.08. Edificio Betancourt

1. Objetivo de este estudio:
2. Metodología
3. Representación y análisis de los datos
4. Conclusiones

1. Objetivo de este estudio:

Este informe es una continuación a los informes anteriores, en especial al informe 2 relativo a propuestas para el ahorro de energía. El objetivo es poner de manifiesto la importancia de una buena regulación de los fancoils de las aulas según el horario de docencia. En este caso, se estudia un aula sin ocupación en la que se alcanzan temperaturas altas.

2. Metodología:

Los datos se obtienen de la plataforma SensoriZAR y se corroboran con el equipo de medición calibrado Testo. Las gráficas se realizan a partir de estos datos con la ayuda de Excel.



Ilustración 3. Imagen del aula 1.08

3. Representación y análisis de los datos

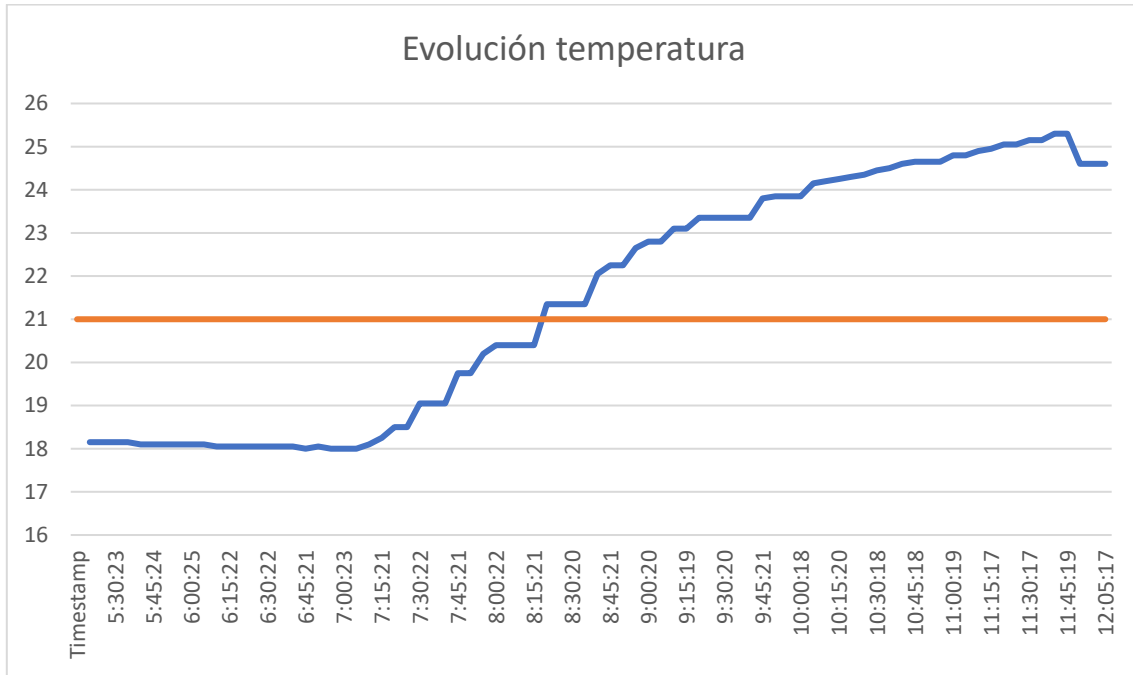


Figura 1. Evolución de la temperatura en el aula 1.08 (29/3/2022).

La climatización se enciende a las 7:00 h y al cabo de 1 hora aproximadamente se alcanza la temperatura de 21°C. Por lo tanto, el aula ha estado calentándose por encima de la temperatura máxima según el RD 1826/2009 durante 4 horas hasta las 12:00. Ese es el instante en el que la climatización general se desconecta y la **temperatura del aula llega a 25,2°C**, como se puede ver en el gráfico de la figura 1, así como en los imágenes del sensor del aula (figura 3) y en el equipo de medida Testo, utilizado para corroborar esta medición (figura 2). Esta temperatura es 4,2°C superior a la temperatura máxima de 21°C.

En las primeras horas la tendencia es lineal ascendente, estabilizándose al alcanzar mayores temperaturas.



Figuras 51 y 52. Equipo de medida TESTO y sensor Aranet.

En la figura 4 se observa que el aula 1.08 está **vacía durante toda la mañana**, por lo que se podría haber mantenido el termostato a 18°C para evitar un consumo de energía innecesario.

Hora:	Aula 1.08 (70)
08:00	✿
08:15	✿
08:30	✿
08:45	✿
09:00	✿
09:15	✿
09:30	✿
09:45	✿
10:00	✿
10:15	✿
10:30	✿
10:45	✿
11:00	✿
11:15	✿
11:30	✿
11:45	✿
12:00	✿
12:15	✿
12:30	✿
12:45	✿

Figura 2. Reserva de espacios Unizar. Aula 1.08 a 29/3/2022.

4. Conclusiones

Este ejemplo muestra que si no se controla el horario de encendido del fancoil según las horas de docencia, se está desperdiciando energía térmica que podría utilizarse para otras aulas y supone un consumo eléctrico innecesario.

Informe 5. Método para establecer aforos máximos según el nivel de CO₂

Análisis de la sala de estudio Tomás Pollán

1. Objetivo de este estudio:
2. Metodología
3. Representación y análisis de los datos
4. Conclusiones
5. Líneas de futuro

1. Objetivo de este estudio

En este estudio se analizará y se representará gráficamente la relación **aforo-CO₂** de la sala de estudio Tomás Pollán del edificio Betancourt.

A partir de este estudio se propondrá una metodología para estimar el aforo de un aula en función del nivel de ventilación deseable.

2. Metodología

Se han seleccionado datos de CO₂ de la sala durante el mes de marzo de 2022, desde la plataforma SensoriZAR. Los datos de aforo han sido proporcionados por la Unidad de Seguridad de la Universidad de Zaragoza y se obtienen mediante un sensor situado en la puerta de la sala.

Para el tratamiento de los datos se ha utilizado una hoja de cálculo Excel y se ha seguido la siguiente metodología:

- 1) En primer lugar se han filtrado los datos de CO₂ de 8-22 h y se han omitido los registros que no contenían información de CO₂.
- 2) Con el fin de juntar los datos de aforo a los datos de CO₂ se ha utilizado la fórmula BUSCARV en Excel. Esta fórmula busca el registro de aforo con fecha (día-hora) más cercana a la del registro de CO₂.

A continuación se muestran unos registros a modo de ejemplo:

Registro SensoriZAR	CO ₂	Registro aforo	AFORO
01/03/2022 20:19:17	520	01/03/2022 20:17:53	61
01/03/2022 20:30:54	487	01/03/2022 20:30:43	46
01/03/2022 20:42:12	456	01/03/2022 20:38:58	39
01/03/2022 20:53:29	450	01/03/2022 20:51:58	25
01/03/2022 21:05:06	453	01/03/2022 21:02:02	7

- 3) A continuación se ha representado gráficamente la relación **aforo-CO₂** y se han analizado los resultados.
- 4) Por último se ha generalizado una metodología para estimar el aforo de cualquier espacio, en función del nivel de ventilación deseable.

3. Representación y análisis de los datos

En la figura 1, se representa gráficamente la relación aforo-CO₂ a lo largo del mes de marzo de 2022.

Se verifica que, como era de esperar, **a mayor ocupación**, el nivel de **CO₂ aumenta**. Si se seleccionan los valores máximos de CO₂ para cada nivel de aforo (color naranja), se observa que existe una buena correlación con un coeficiente de 0,75.

La nube de puntos es bastante dispersa, algo lógico, puesto que el nivel de CO₂ en el aire depende tanto de lo que ocurre en el instante de la medida como de lo que ha ocurrido en el tiempo anterior.

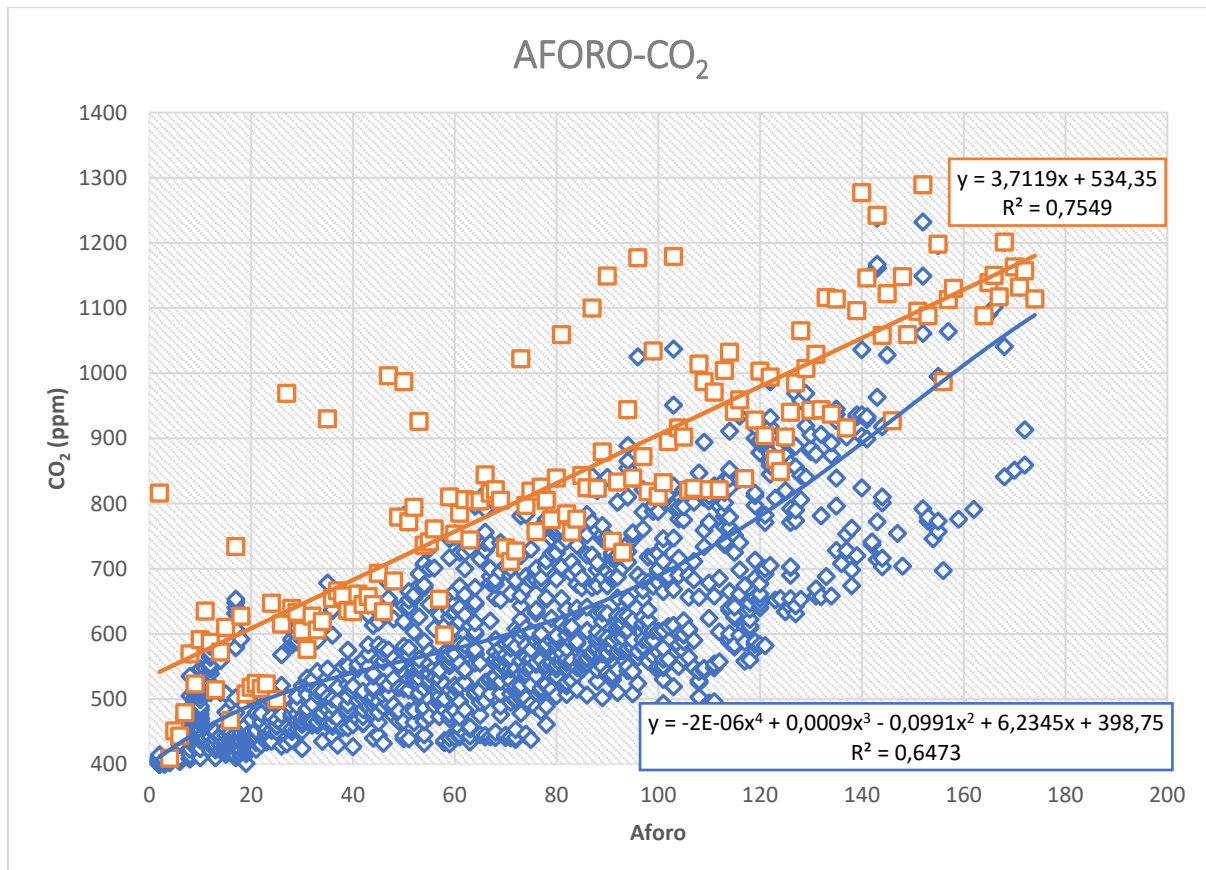


Figura 1. Correlación aforo-CO₂. Líneas de tendencia de todos los valores y de los valores máximos. Elaboración propia.

Si se desea conocer el **máximo valor de aforo** para que no se supere un cierto valor de CO₂, se puede acceder a dicha correlación de valores máximos.

A modo de ejemplo, si en la situación actual no se desean superar las 1000 ppm de CO₂, accediendo a la línea naranja en la figura 2, se observa que el aforo máximo sería de 125 personas aproximadamente (línea roja). Si en una situación de pandemia no se desean superar las 800 ppm de CO₂, el aforo máximo sería de unas 70 personas (línea amarilla). El aforo propuesto durante la pandemia por la Unidad de Prevención de Riesgos Laborales fue de 87 personas en la etapa de mayor incidencia y de 145 en la etapa de incidencia menor. Se representa en la figura 2 con unas líneas verticales de color verde.

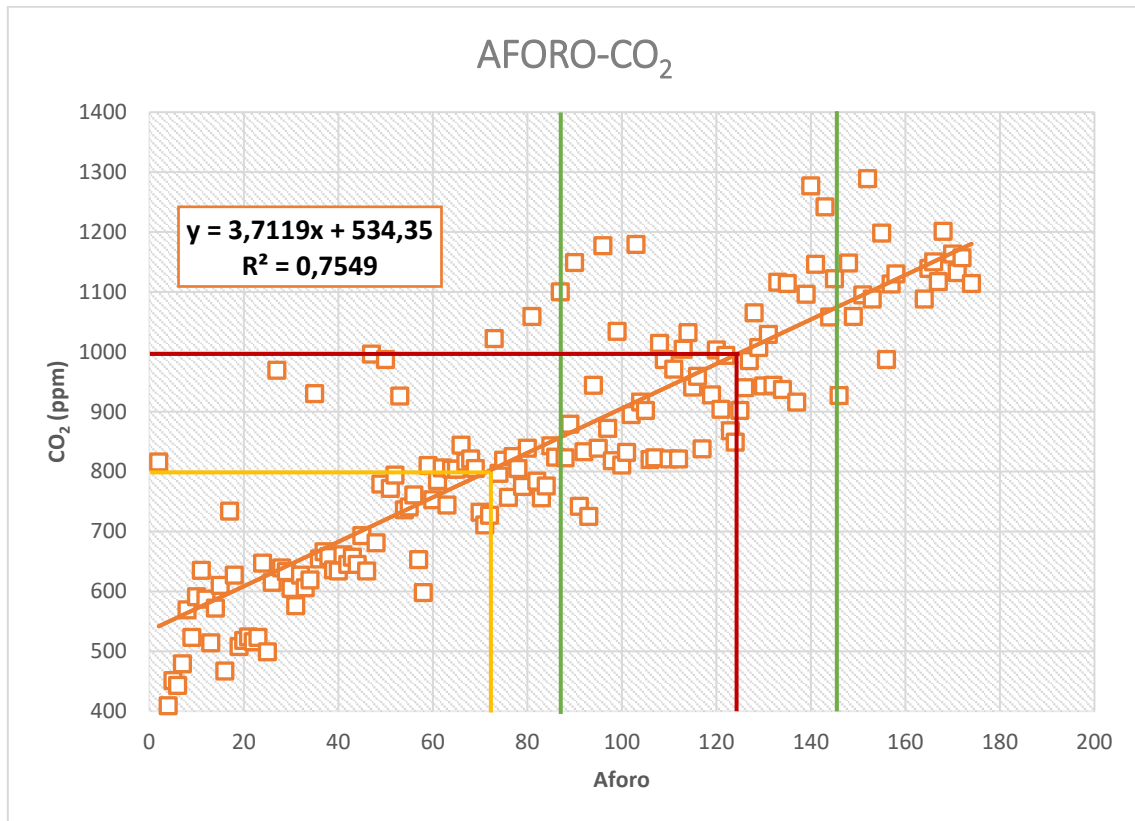


Figura 2. Correlación aforo-CO₂. Línea de tendencia de los valores máximos. Elaboración propia.

A modo de comprobación, se ha medido a día 10 de mayo un aforo de 136 personas y un valor de CO₂ de 964 ppm (ver figura 3). Accediendo a la fórmula obtenida en la regresión anterior: $y = 3,7119 \cdot x + 534,35$ con $x = 136$, se obtiene un valor de CO₂ de 1039 ppm, superior a 964 ppm y por tanto válido.

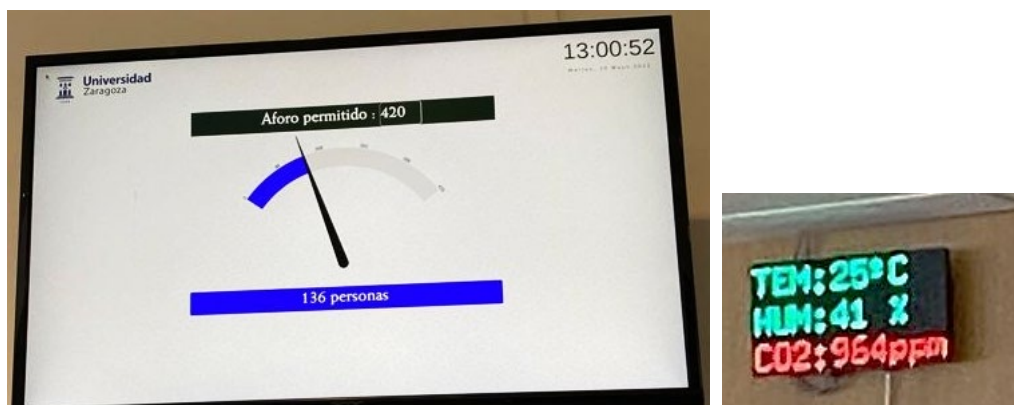


Figura 3. Aforo y valores de temperatura, humedad y CO₂ en las pantallas de la sala de estudio. Imagen propia.

4. Conclusiones

A partir de este estudio es posible predecir el valor de CO₂ máximo que se alcanzará en función del aforo.

Se propone una metodología para estimar el aforo de cualquier espacio en función del nivel de ventilación deseable que se puede resumir en tres pasos:

1. **Recopilar datos de CO₂ y aforo** para un periodo de tiempo representativo, excluyendo los valores en los que el aforo es nulo.
2. **Representar gráficamente** y obtener una correlación entre los valores máximos de CO₂ y el nivel de aforo.
3. Según la situación, determinar cuál sería el nivel de CO₂ y por tanto de **ventilación aceptable** para establecer el nivel de **aforo a no sobrepasar**.

5. Líneas de futuro

Se continuará estudiando esta sala con un mayor número de registros y se extenderá a otras aulas. Se procederá a estudiar modelos predictivos del valor de CO₂ en función de las variables disponibles (aforo, aforo acumulado, temperatura, humedad...).

Informe 6. Ventilación mecánica en el edificio Torres Quevedo

1. Objetivo de este estudio
2. Metodología
3. Descripción de sistemas de ventilación
4. Conclusiones y Líneas de futuro

1. Objetivo de este estudio

El objetivo de este estudio es comprobar si existe ventilación mecánica en los espacios más concurridos como aulas, seminarios, salas de estudio, etc.

2. Metodología

Se basa en la revisión de los planos de la instalación de climatización, elaborados por Ferrovial en la reforma de 2011. También se ha realizado una visita a las instalaciones, acompañados por personal de mantenimiento, para entender mejor algunos aspectos no reflejados en los planos o que no quedaban claros.

3. Descripción de sistemas de ventilación

Aulas grandes

Las aulas **12 a 17** de la planta primera y las aulas **21 a 26** de la segunda planta, climatizan mediante **fancoils** situados en el falso techo de los pasillos, junto a las aulas (ver figura 1). La ventilación se lleva a cabo mediante recuperadores de calor Novovent Recunovo 190, situados en la cubierta de la planta segunda del edificio (ver figuras 2-5).

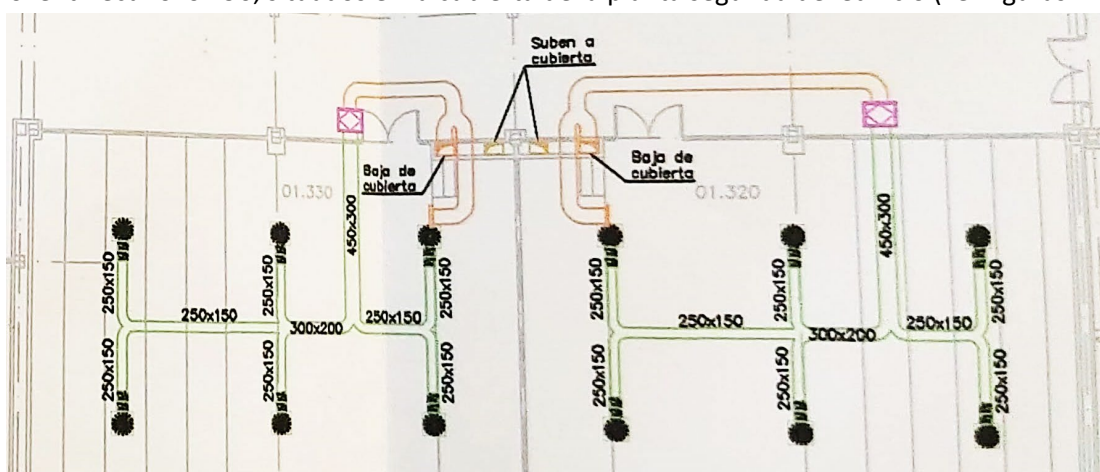


Figura 1. Climatización aulas 16-17. Detalle de los planos. Fuente: Ferrovial.

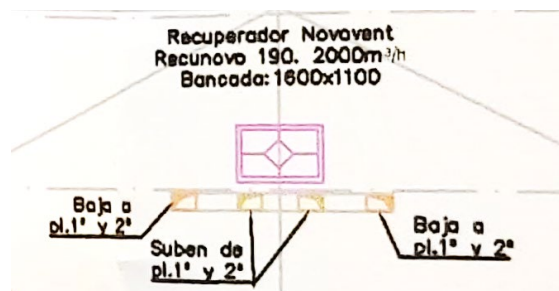


Figura 2. Recuperador de cubierta (aulas 16-17) y conductos de ventilación a aulas. Detalle de los planos. Fuente: Ferrovial.

En la Figura 3 se puede ver el recuperador, en una imagen de catálogo. Las figuras 4 y 5 muestran uno de los tres recuperadores (el de las aulas 16 y 17) junto con los conductos de aporte que bajan hacia las plantas 1ª y 2ª y los conductos de extracción de aire que suben de dichas plantas.



Figura 3. Recuperador Novovent Recunovo 190. Imagen de catálogo.



Figura 4. Recuperador Novovent Recunovo 190. Cubierta Torres Quevedo. Imagen propia.



Figura 5. Recuperador con las tapas desmontadas. Cubierta Torres Quevedo. Imagen propia.

En la visita a los equipos, se han detectado **desperfectos** en las uniones de los conductos de chapa (ver figura 6), que hacen que el recuperador no haga su función correctamente al escaparse el aire por dichas roturas. Se precisa de mantenimiento urgentemente.



Figura 6. Desperfectos en las uniones de los conductos.

Aula de dibujo

El climatizador tiene impulsión y retorno, aunque en los planos (ver figura 7) sólo está representado el conducto de impulsión. El climatizador también cuenta con aporte y extracción de aire de ventilación, como se puede ver en la figura 8.

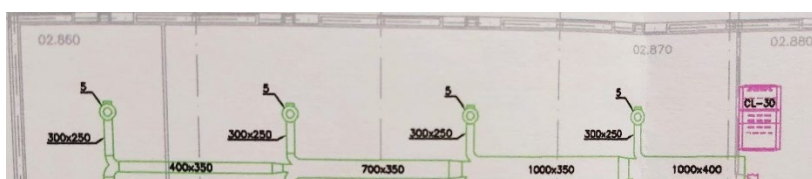


Figura 7. Planos de conductos del aula de dibujo. Detalle de los planos. Fuente: Ferrovial.

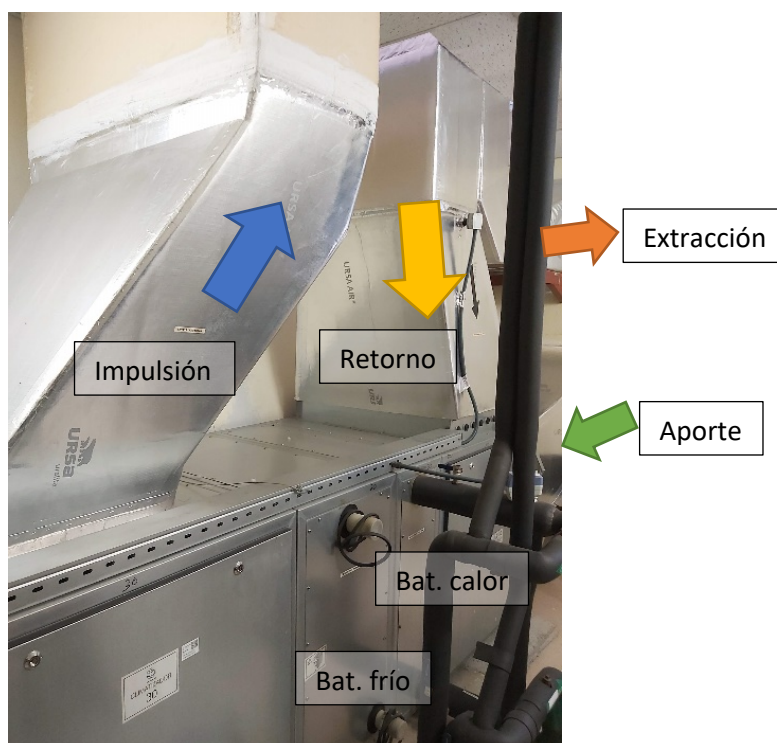


Figura 8. Climatizador aula de dibujo. Imagen propia.

Secretaría

En la figura 9 se observa el detalle del plano de la 2ª planta, dónde se ubica el climatizador de secretaría. Aunque no se aprecia en el plano, tiene aporte de aire exterior, como se puede ver en la figura 10. Se ha observado que las tuberías de la batería de frío no están conectadas y que las compuertas de aire exterior están sin motorizar.

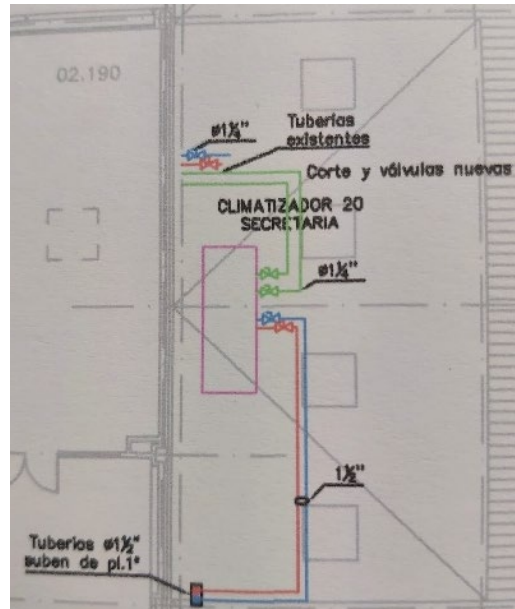


Figura 9. Climatizador de Secretaría. Detalle de los planos. Fuente: Ferrovial.



Figura 10. Climatizador de Secretaría. Imagen propia.

Otros

En la visita se observó una UTA instalada, a falta de conectar las tuberías agua caliente, por lo que sigue funcionando el equipo antiguo. Sería importante terminar estos detalles cuya inversión económica es mucho menor que los equipos ya instalados.



Figura 11. Climatizador antiguo en cubierta. Imagen propia.



Figura 12. UTA nueva sin utilizar. Imagen propia.

Resumen de ventilación por espacios

PLANTA BAJA



Figura 13. Planta baja. Fuente: SIGEUZ

Espacio	Ventilación	¿En Sensorizar?
SALA ESTUDIOS	Aporte ventilación y extracción mediante climatizador (Nuevo)	SI
SALA INFORMÁTICA 1	Aporte ventilación y extracción mediante climatizador (Nuevo)	SI
SECRETARÍA	Aporte ventilación y extracción mediante climatizador en cubierta (ver figuras 9 y 10)	SI
CAFETERÍA	Se observan climatizadores en planos, en principio con aporte y extracción.	NO
SEMINARIO ARQUITECTURA C1 0 8	Aporte ventilación mediante climatizador (Nuevo)	NO

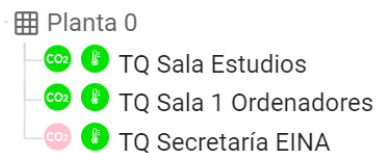


Figura 14. Sensorizar planta baja

PLANTA PRIMERA



Figura 15. Planta primera. Fuente: SIGEUZ

Espacio	Ventilación	¿En Sensorizar?
AULAS 10-11 y 18-19	Aporte de ventilación y extracción con climatizadores situados junto a los baños.	AULAS 10, 19
AULAS 12-17	Aporte de ventilación y extracción a fancoils mediante recuperadores en cubierta (ver figuras 1-6).	AULAS 16, 17
SEMINARIO CB1 1 19	Aporte de ventilación y extracción mediante climatizador (nuevo)	NO
SEMINARIO C5 1 11	Aporte de ventilación y extracción mediante climatizador (nuevo)	NO
SEMINARIO C4 1 19	Aporte de ventilación y extracción mediante climatizador (nuevo)	NO
Comedor CRE.1065.01.090	Sólo extracción.	SI



Figura 16. Sensorizar planta 1ª

PLANTA SEGUNDA



Figura 17. Planta segunda. Fuente: SIGEUZ

Espacio	Ventilación	¿En Sensorizar?
AULAS 20B, 20 y salas ordenadores 3-6	Aporte de ventilación y extracción con climatizadores en cubierta.	AULA 20B SALA ORDENADORES 3, 4 Y 5
AULAS 21-26	Aporte de ventilación y extracción a fancoils mediante recuperadores en cubierta (ver figuras 1-6).	AULAS 21, 25 Y 26
SEMINARIO C5 2 5	Aporte de ventilación y retorno mediante climatizador (nuevo)	NO
AULA TALLER DIBUJO C5 2 23	Aporte ventilación y extracción mediante climatizador (junto al aula)	NO

Sensorizar planta 2:



Figura 18. Sensorizar planta 2ª.

PLANTA TERCERA



Figura 19. Planta tercera. Fuente: SIGEUZ

Espacio	Ventilación	¿En Sensorizar?
AULA IDIOMAS C4 3 11	Aporte de ventilación y extracción (nuevo)	NO

4. Conclusiones y líneas de futuro

Todos los espacios revisados cuentan con ventilación mecánica, salvo el comedor, en el que hay extracción pero no aporte, según los planos.

A pesar de que exista ventilación mecánica, sería importante revisar el buen funcionamiento de los equipos y comprobar que el caudal de aporte es suficiente. En especial, sería importante revisar los recuperadores de las aulas 12-17 y 21-26, puesto que se ha visto que algunos conductos presentan graves desperfectos, que precisan de mantenimiento urgente.

Por otro lado, sería conveniente terminar de conectar las tuberías de las UTAs nuevas, que se encuentran actualmente fuera de uso.

Informe 7. Estimación del ahorro energético por apagado de la climatización desde el 11/07/2022 en el edificio Betancourt

1. Objetivo de este estudio:
2. Metodología
3. Representación y análisis de los datos
4. Conclusiones

1. Objetivo de este estudio:

En este estudio se analizarán los datos de **consumos eléctricos del edificio Betancourt en verano de 2021**, con el fin de cuantificar el **ahorro energético** que supondrá el apagado de la climatización previsto desde el **11 de julio hasta el 3 de agosto de 2022**.

2. Metodología

En este estudio se han utilizado datos de **consumos eléctricos de 2021** y datos del tiempo de encendido de la climatización en el edificio **Betancourt**, proporcionados por la **Oficina Verde**.

Todos los **datos y gráficas** han sido realizados con la herramienta **Excel**.

3. Representación y análisis de los datos

El primer lugar, se representan (ver figura 1) los consumos eléctricos del edificio Betancourt en los días en los que la **climatización** ha estado **encendida** de los meses de **junio y julio de 2021**. Se observa que desde mitad de julio, se disminuye el horario de encendido de la climatización, por una menor ocupación del edificio.

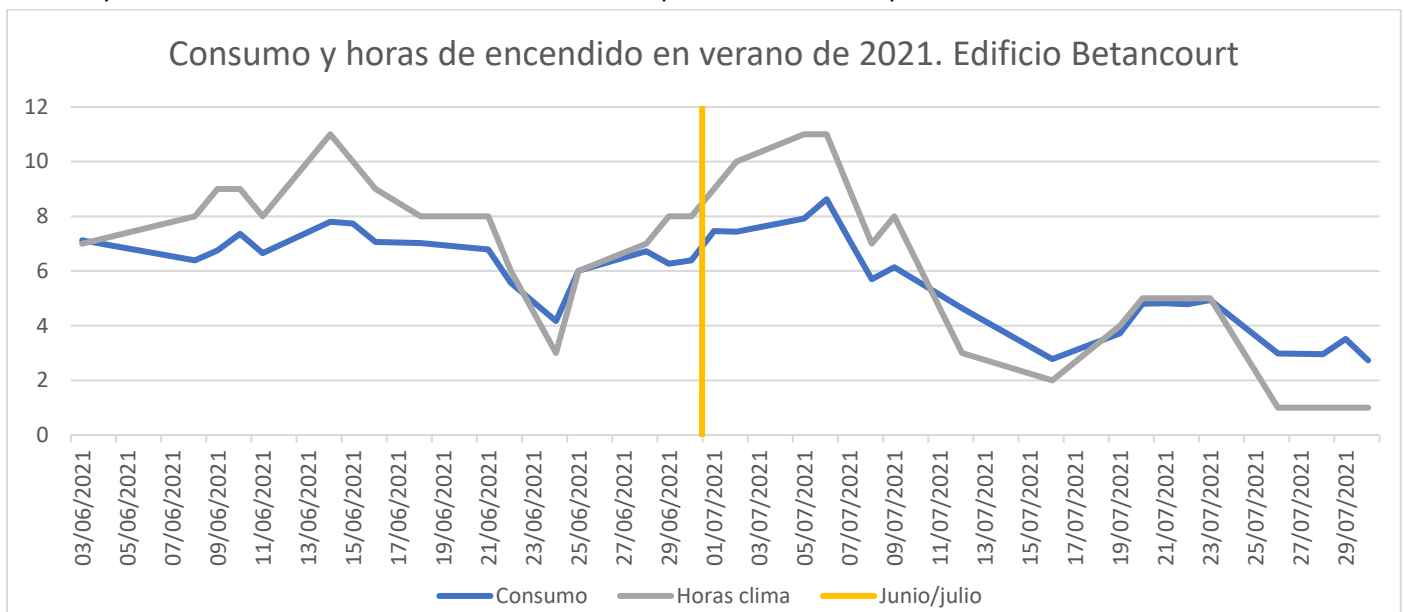


Figura 1. Consumo eléctrico y horas de encendido de climatización en el edificio Betancourt en verano 2021. Elaboración propia.

Analizando estos datos, se comprueba que **el consumo eléctrico diario es directamente proporcional al número de horas de encendido** y tiene una tendencia que se ajusta a una recta, con un coeficiente de regresión del 0,95 (ver figura 2).

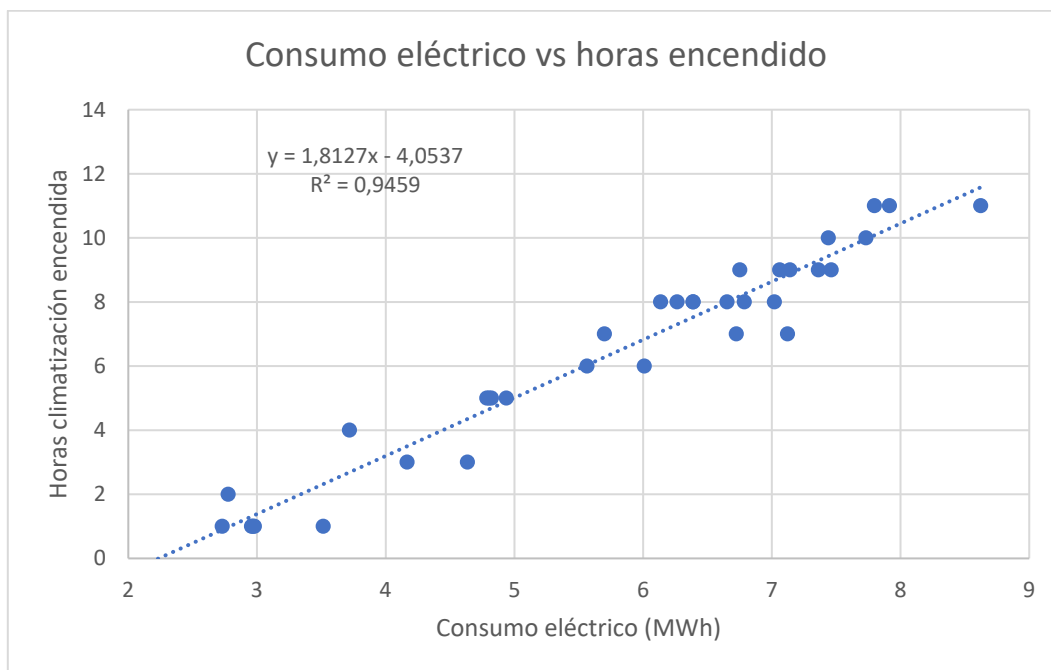


Figura 2. Consumo eléctrico y horas de encendido de climatización en el edificio Betancourt en verano 2021. Elaboración propia.

En la tabla siguiente, se muestra el consumo eléctrico del edificio y el número de horas en las que la climatización estuvo encendida entre el 11 de julio y el 3 de agosto de 2021.

Día	Consumo (MWh/día)	Horas clima (h/día)
12/07/2021	4,636	3
16/07/2021	2,776	2
19/07/2021	3,719	4
20/07/2021	4,803	5
21/07/2021	4,822	5
22/07/2021	4,786	5
23/07/2021	4,938	5
26/07/2021	2,98	1
27/07/2021	2,969	1
28/07/2021	2,958	1
29/07/2021	3,515	1
30/07/2021	2,73	1
PROMEDIO	3,8	2,83
TOTAL	45,63	34

Día <i>*fin de semana</i>	Consumo (MWh/día)	Horas clima (h/día)
11/07/2021*	1,583	0
13/07/2021	2,219	0
14/07/2021	2,069	0
15/07/2021	2,156	0
17/07/2021*	1,45	0
18/07/2021*	1,428	0
24/07/2021*	1,579	0
25/07/2021*	1,53	0
31/07/2021*	1,551	0
01/08/2021*	1,373	0
02/08/2021	1,392	0
03/08/2021	1,519	0
PROMEDIO	1,65	0
TOTAL	19,8	0

En los días en los que hubo climatización, se observa que el **consumo promedio** del edificio fue de **3,8 MWh/día**, para un tiempo medio de encendido de climatización de 2,83 horas diarias.

En el mes de julio de 2021, hubo 3 días hábiles en los que la climatización estuvo desconectada. El consumo fue similar en estos días y de alrededor de **2,15 MWh/día**. Este valor, coincide aproximadamente con el consumo que se predice en la figura 2, para un número de horas de encendido nulas.

Día	Consumo MWh/día
MARTES 13/07/2021	2,219
MIÉRCOLES 14/07/2021	2,069
JUEVES 15/07/2021	2,156
Promedio	2,148

Durante los días hábiles 2 y 3 de agosto tampoco hubo climatización y el consumo fue menor que en los 3 días de julio anteriormente mencionados. Para este estudio, se tomará el valor de **2,15 MWh/día**, como **consumo del edificio en verano con la climatización apagada**, al ser el caso más desfavorable.

El **ahorro** que implica desconectar la climatización durante un día laborable es de **1,65 MWh** aproximadamente (3,8-2,148).

Considerando el periodo desde el 11 de julio hasta el 3 de agosto de 2022, que suman un total de **18 días hábiles** (lunes a viernes), el ahorro energético se estima en **29,7 MWh**, según el criterio anterior.

El consumo total de energía eléctrica en 2021 fue de 1902,1 MWh, del cual 175,02 MWh se consumieron en los meses de julio y agosto de 2021. Una reducción en el consumo de 29,7 MWh supondría un **1,56%** de ahorro **anual** y un **17%** de ahorro en periodo de verano (julio-agosto), considerando los consumos de 2021.

4. Conclusiones

Analizando datos de consumo del edificio Betancourt del verano de 2021, se ha estimado que el **consumo eléctrico sin climatización es de 2,15 MWh en días hábiles de verano**. En días con la **climatización encendida**, el consumo es **directamente proporcional a las horas** de encendido de la misma, con un **consumo medio de 3,8 MWh/día entre el 11 de julio y 3 de agosto de 2021**.

Por tanto, el **ahorro** que implica desconectar la climatización durante un día hábil de verano es de **1,65 MWh** aproximadamente, por lo que si en los 18 días hábiles del **periodo** desde el 11 de julio hasta el 3 de agosto de 2022, se desconecta la climatización, el ahorro energético se estima en **29,7 MWh**. Esto representaría un **1,56%** de ahorro **anual** y un **17%** de ahorro en periodo de verano (julio-agosto), considerando los consumos de 2021.

Informe 8. Medidas de caudal de ventilación en el edificio Betancourt.

1. Objetivo de este estudio
2. Metodología
3. Puntos de medida e incidencias.
4. Mediciones
5. Conclusiones
6. Referencias

1. Objetivo de este estudio

El objetivo de este estudio es analizar el caudal de aire de ventilación que proporciona el climatizador 1 del edificio Betancourt a las aulas. Para ello se tomarán medidas en los conductos de impulsión y retorno del climatizador y de cada una de las plantas del edificio (planta baja, primera, segunda y tercera).

En este informe se recoge el procedimiento de medición y un breve análisis de las medidas realizadas hasta el día 28/4/2022.

2. Metodología

Con el fin de tomar medidas de caudal volumétrico de aire en conductos se ha seguido el procedimiento que se describe a continuación.

1. Se han seleccionado en los planos los **puntos de medición** que corresponden a tramos rectos, lo más lejos de curvas, derivaciones o estrechamientos, con el fin de que el flujo de aire se encuentre totalmente desarrollado.
2. Se han localizado dichos puntos de medición **físicamente** en el edificio, con la ayuda de una escalera y levantando las placas de yeso que conforman el falso techo.
3. Con la ayuda de un taladro inalámbrico y una broca para chapa de un diámetro mayor de 16 mm, **se han perforado los conductos** en los puntos elegidos para medir el caudal.

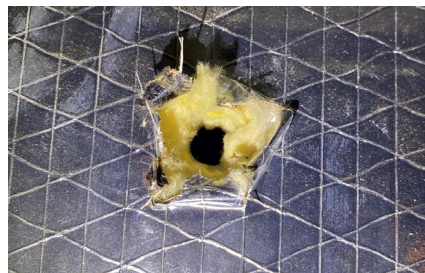


Figura 1. Orificio realizado en conducto de impulsión de la primera planta.

4. Para medir caudales volumétricos, se ha utilizado el instrumento calibrado **TESTO 480** con la **sonda de molinete de 16 mm** montada en el extremo de una varilla telescópica. El proceso de medición se realiza del siguiente modo:
 - a. Introducir datos de las medidas del conducto (alto x ancho).
 - b. Seleccionar el programa de medición de rejilla y el número de puntos de medida, por defecto 6.
 - c. Introducir la sonda de molinete a la distancia indicada por el instrumento y guardar la medida.
 - d. Repetir el apartado c) para la totalidad de las medidas
 - e. Finalizada la medición aparece en pantalla el caudal volumétrico.



Figura 2. Testo 480 y sonda de molinete Fuente: [1]

5. Se ha repetido el procedimiento del punto 4 varias veces y se ha sellado el orificio con cinta de aluminio para conductos de climatización.



Figura 3. Michael y Miguel tomando medidas en los conductos.

3. Puntos de medida e incidencias

Planta baja: No se han tomado medidas todavía. Es necesario un andamio puesto que la altura hasta el punto de medida es de 3,7 m, superior a la altura máxima (3,5 m) que establece la UPRL para una escalera de tijera.

Planta primera: Se han tomado medidas en los conductos de impulsión (azul) y retorno (amarillo), al comienzo de la distribución de la planta, como se muestra en la figura 4.

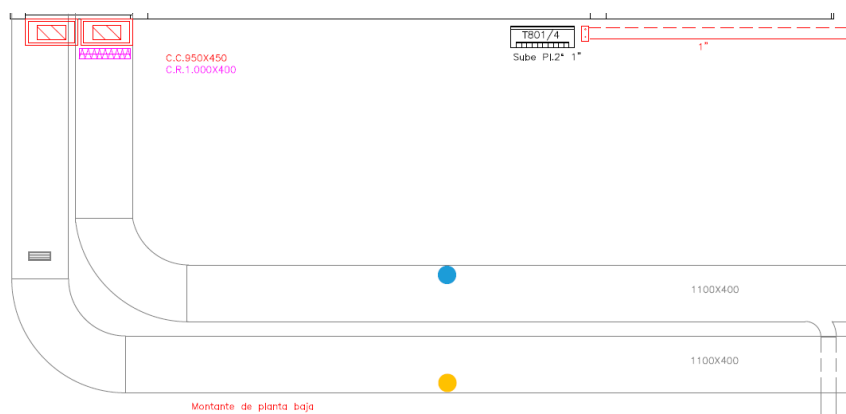


Figura 4. Ubicación de los puntos de medida en plantas primera y segunda. Planos instalador Incliza.

Planta segunda: Se han tomado medidas en los conductos de impulsión y retorno, al comienzo de la distribución de la planta.

Al realizar la medida de caudal en la impulsión se detectó que el caudal de aire era nulo y se comprobó lo siguiente:

- Había una **compuerta cortafuegos cerrada**. Pero al rearmarla seguía sin haber flujo de aire.
- Tras inspeccionar el conducto, se detectó una **compuerta de regulación de flujo** con una apertura del 25 %. Al mover la llave de la posición "C" a la posición "A", comenzó a circular aire (ver figura 5). Esto implica que, en caso de que haya estado en esta posición durante estos meses de pandemia, no habrá habido caudal de aire de ventilación en esta planta.
- Se ha verificado que, además de en planta primera, existen compuertas como esta en todas las plantas y se han abierto por completo.

Planta	% de apertura antes	% apertura actual
Planta baja	75 %	100 %
Planta primera	50 %	100 %
Planta segunda	25 %	100 %
Planta tercera	100 %	100 %

- Se plantea como hipótesis que estas compuertas fueran reguladas inicialmente a este nivel, para favorecer un buen **reparto de caudales** de aire en todas las plantas.

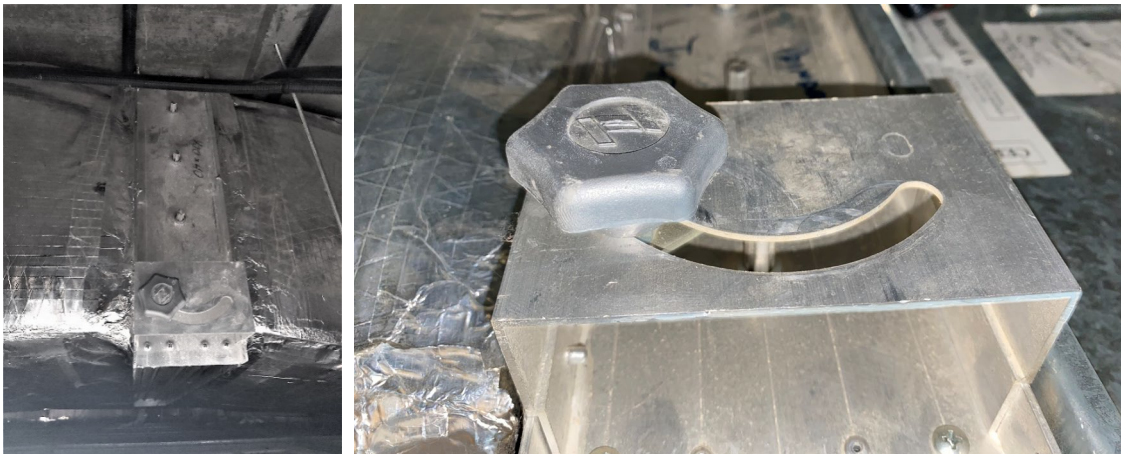


Figura 5. Compuerta de regulación de flujo de aire de la 2ª planta. Vista general y detalle de la llave.

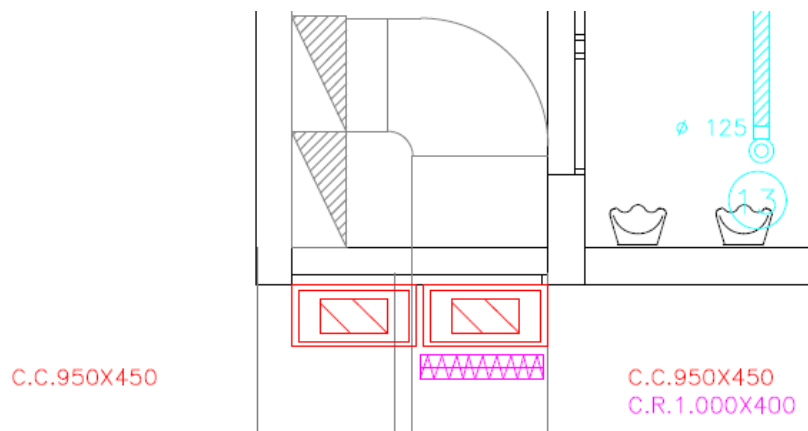


Figura 6. Detalle de planos. Compuertas cortafuegos y compuerta de regulación de flujo en impulsión de la 2ª planta. Planos instalador Incliza.

Planta segunda. Climatizador

En la figura 7 se muestra el **climatizador de las aulas** junto con cada elemento que lo compone y unas flechas que indican el sentido de los flujos de impulsión y retorno.

Junto con el personal de mantenimiento, se ha detectado la necesidad de cambiar **correas** de los motores y **filtros**.



Figura 7. Climatizador o UTA de las aulas. Elaboración propia.

Las medidas de caudal a la salida del climatizador se han tomado en los puntos indicados en la figura 8.



Figura 8. Conductos de impulsión y retorno a la salida del climatizador. Puntos de medida. Al fondo, reparto a plantas.

Planta tercera.

La compuerta de regulación de caudal de la tercera planta se sitúa en los aseos de esta planta (ver figura 9), a diferencia del resto de plantas, en las que las compuertas se sitúan en los pasillos.

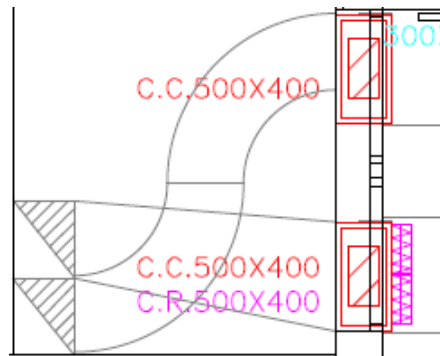


Figura 9. Conductos de impulsión y retorno de planta 3ª. Compuertas cortafuegos y compuerta de regulación. Planos instalador Incliza.

Las medidas de caudal a la salida de la tercera planta se han tomado en los puntos indicados en la figura 10.

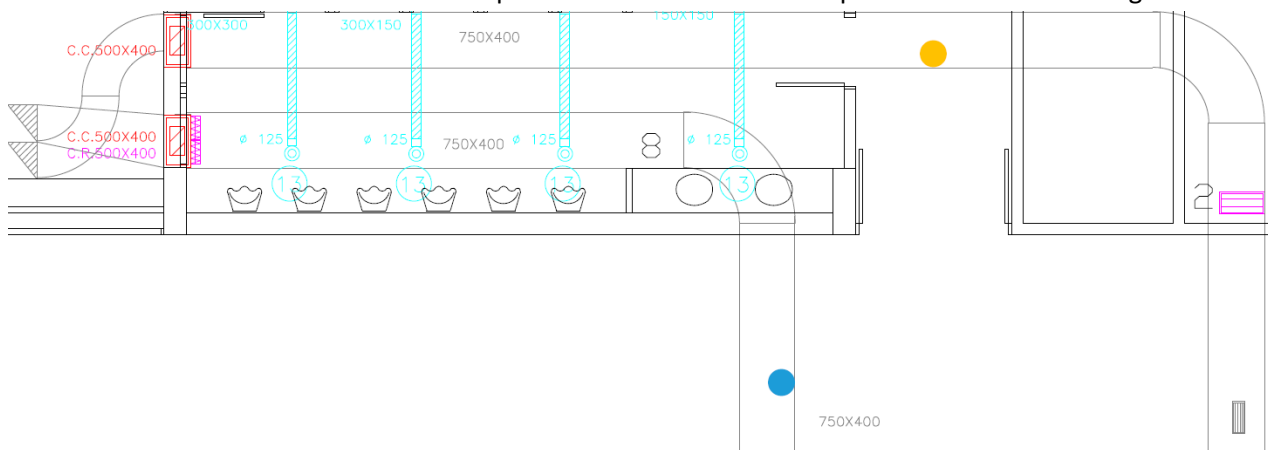


Figura 10. Ubicación de los puntos de medida en planta tercera. Planos instalador Incliza.

4. Mediciones

Las mediciones realizadas se han llevado a cabo en las siguientes condiciones de la instalación:

- Compuertas de regulación abiertas al 100 %
- Antes del cambio de filtros y correas.
- Climatizador (UTA) y fancoils de las aulas en marcha.

Es importante remarcar este último punto, puesto que si los fancoils está desconectados, los ventiladores de los fancoils también están apagados y la pérdida de carga aumenta. En condiciones normales, los ventiladores encendidos facilitan la entrada del aire de ventilación procedente de la UTA (ver informe 2).

A continuación se muestra una tabla con las mediciones realizadas bajo los condicionantes mencionados. Se muestra el caudal medido junto con el margen de error que calcula el instrumento de medida y el número de puntos que se han utilizado para cada medición. También se ha calculado el promedio, la desviación típica de los valores promedio y el porcentaje de la desviación típica respecto al promedio.

Toma número	1	2	6	7	8	9	5	4
Planta	P1	P1	P2	P2	P3	P3	Sala máq.	Sala máq.
Conducto	Impulsión	Retorno	Impulsión	Retorno	Impulsión	Retorno	Impulsión	Retorno
Dimensiones mm (ancho x altura)	1100 x 400	1100 x 400	1100 x 400	1100 x 400	500 x 400	500 x 400	800x1400	800x1400
Medida 1 (m ³ /h)	2870 (+/-) 584	-	3015 (+/-) 544	2339 (+/-) 355	1047 (+/-) 182	625 (+/-) 177	9955 (+/-) 1087	7130 (+/-) 938
	6 puntos		6 puntos	6 puntos	6 puntos	6 puntos	4 puntos	6 puntos
Medida 2 (m ³ /h)	2960 (+/-) 614	-	3174 (+/-) 520	2379 (+/-) 363	1095 (+/-) 186	649 (+/-) 159	9319 (+/-) 1027	7293 (+/-) 1103
	6 puntos		6 puntos	6 puntos	6 puntos	6 puntos	4 puntos	6 puntos
Medida 3 (m ³ /h)	-	-	-	-	1104 (+/-) 167	661 (+/-) 182	9517 (+/-) 1426	7111 (+/-) 928
					6 puntos	6 puntos	3 puntos	6 puntos
Medida 4 (m ³ /h)	-	-	-	-	-	-	9480 (+/-) 1069	-
							6 puntos	
Media (m³/h)	2915	-	3094,5	2359	1082	645	9567,75	7178
Desviación típica	63,64	-	112,43	28,28	30,64	18,33	9955	7293
% Desviación	2,2%	-	3,6%	1,2%	2,8%	2,8%	2,8%	1,4%

*Falta medir en el retorno de la planta primera con las compuertas abiertas en su totalidad.

Se ha considerado más importante la medición del **caudal de impulsión** que la del caudal de retorno ya que parte del aire **retorna por ventanas** que están abiertas y por tanto, esta medida puede depender de como estén las ventanas en el momento de la medición. En la figura 11 se representa de forma esquemática el **caudal promedio** de las mediciones en la impulsión junto con las dimensiones de los conductos.

CAUDALES DE IMPULSIÓN POR PLANTAS



CLIMATIZADOR:
800 x 1400 mm
9567,75 m³/h

PLANTA 3ª: 500 x 400 mm	1082 m³/h
PLANTA 2ª: 1100 x 400 mm	3094,5 m³/h
PLANTA 1ª: 1100 x 400 mm	2915 m³/h
PLANTA 0: 700 x 400 mm	2476,3 m³/h *

*Caudal estimado (por diferencia)

Figura 11. Dimensiones de los conductos y caudales de aire por plantas. Elaboración propia.

El caudal de impulsión se reparte en cada planta en la proporción indicada en la figura 12.

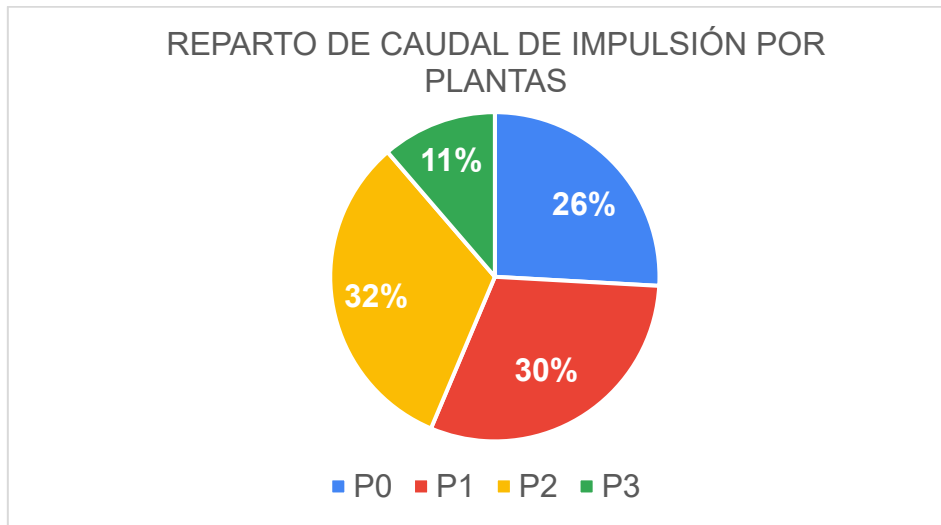


Figura 12. Distribución del caudal de ventilación por plantas. Elaboración propia.

Tras revisar la **placa de características** del climatizador (figura 13), se hace constar que el caudal nominal es de 39,240 m³/h y las medidas tomadas muestran un valor máximo de 9955 m³/h, **una cuarta parte de este valor**.



Figura 13. Placa de características del climatizador.

Por otra parte, en el trabajo de fin de grado de Javier Baselga, junio 2021 [2], se estudió la **tasa de renovación de aire en base a una siembra de CO₂**. Para poder comparar resultados sería necesario conocer en qué **grado de apertura** se encontraban las compuertas reguladoras de caudal de ventilación en el momento de la realización de estas mediciones. También sería necesario disponer de **más aulas con medidas** de siembra de CO₂ por planta. Se va a seguir trabajando en ello.

AULA	ACH (1/h)	V (m ³)	Qv (m ³ /h)
1.01	1,3	415,93	540,71
1.05	1,46	261,39	381,63
2.18	1,755	211,41	371,02
3.08	1,462	549,6	803,52

Figura 14. Tasa de renovación y caudal de aporte de ventilación. Fuente: TFG Javier Baselga [2].

5. Conclusiones

El caudal de impulsión a la salida del climatizador ha sido de 9955 m³/h, una cuarta parte del valor nominal del equipo. Esto puede deberse a que el punto de funcionamiento del ventilador es diferente en la instalación que en escape libre (placa de características). Otros factores pueden ser la antigüedad del equipo y la necesidad de cambio de filtros y correas.

Se repetirán las medidas tras la realización del mantenimiento previsto próximamente y se verificará si el caudal aumenta.

Referencias

- [1] “GIMIM. Testo 480 Medición multifuncional - Medidores de rpm / sonido / luz - Catálogo de Productos.” <https://gimim.com/testo/medidores-de-rpm-sonido-luz-co-co2/testo-480-medicion-multifuncional> (accessed Apr. 23, 2022).
- [2] Javier Baselga Casas, “Ventilación en centros universitarios y estudio sobre la monitorización de la climatización en los edificios de la EINA. Bases de modelo predictivo.” pp. 33–36, 2021.

Informe 9. Programa de control de la climatización Metasys (Johnson Controls)

1. Objetivo de este informe
2. Metodología
3. Conclusiones

1. Objetivo de este informe

El objetivo de este informe es analizar si es viable la conexión y desconexión de fancoils de las aulas del edificio Betancourt en función de los horarios de docencia, mediante el sistema de control de la climatización actual (Metasys de Johnson Controls). La desconexión de fancoils de aulas vacías supondría un potencial ahorro de energía. En este informe se analizan las **funcionalidades** de Metasys y se proponen soluciones para implantar horarios en los fancoils de las aulas.

2. Metodología

Se ha accedido al sistema a través del ordenador de conserjería con la ayuda de Carlos Rubio, conserje del edificio Betancourt.

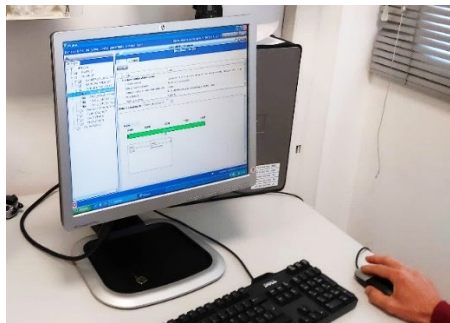


Ilustración 4. Ordenador de conserjería.

Este programa permite el control y visualización de algunos parámetros de **climatización** (primario y secundario), **alumbrado**, **incendios** y **fontanería**. Este informe se centra en el apartado de climatización-fancoils.

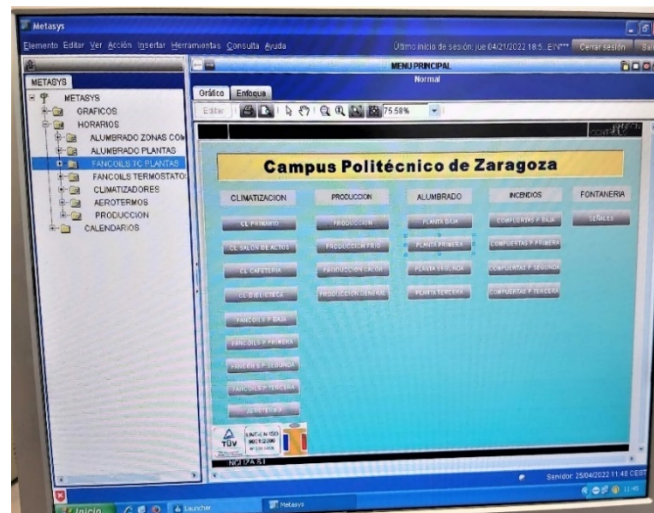


Ilustración 5. Menú principal Metasys.

Aunque el programa permite implantar **horarios de encendido** de fancoils **por plantas** (ver ilustración 3), **no permite implantarlos individualmente por aulas**.

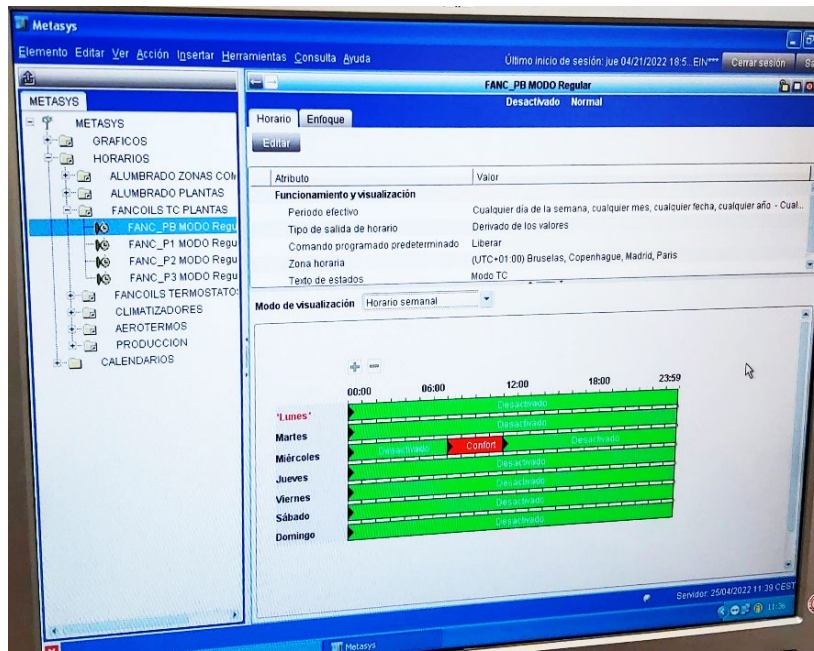


Ilustración 6. Posibilidad de establecer horarios semanales por planta.

Por ello se plantea la creación de un **programa puente** que conecte **Metasys** con la aplicación de **reserva de espacios**, de forma que, automáticamente programe el encendido y apagado de la climatización de cada aula. Esta mejora, permitiría conseguir grandes ahorros en materia de energía, como se propone en el informe 2.

Otra mejora que se podría implantar es la de **almacenar en forma de histórico el estado de los fancoils** para su posterior estudio.

El programa permite visualizar la **temperatura ambiente** (medida en el retorno) y la temperatura de **consigna** y el **estado** del fancoil (on/off) de los diferentes espacios (ver ilustración 4). Para verificar que los termostatos funcionan correctamente, se podrían comparar los datos obtenidos de Sensorizar con los que se visualizan en esta aplicación

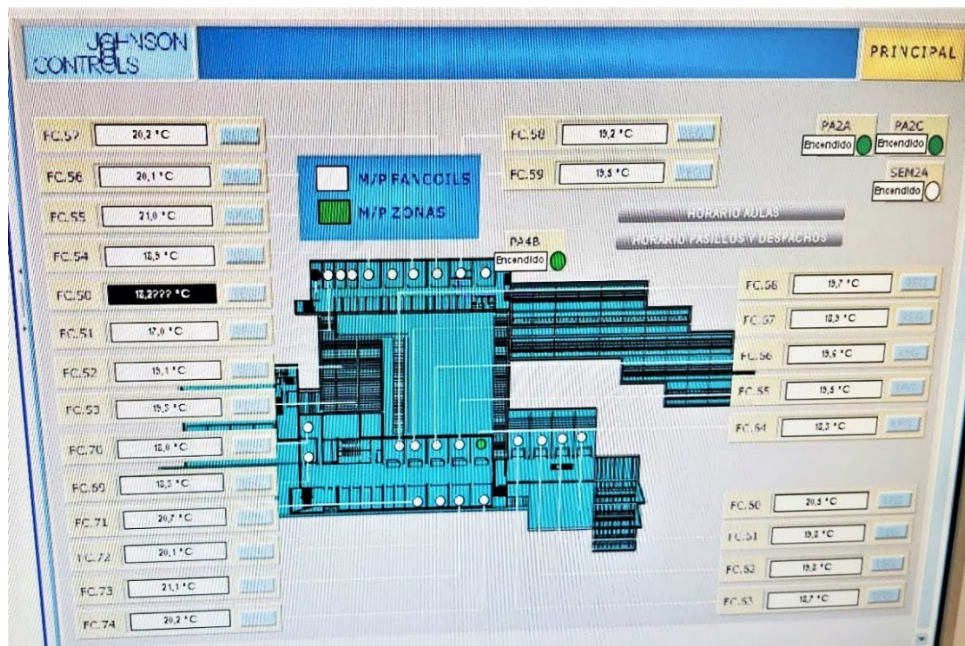


Ilustración 7. Vista de temperaturas aulas y estado de fancoils.

También es posible visualizar el **grado de apertura de la válvula de tres vías** del fancoil, el **modo de climatización** (invierno/verano) y el **modo de funcionamiento** del fancoil (confort, desactivado...), como se muestra en la ilustración 5.

El ventilador girando con color verde indica que el fancoil está en funcionamiento, parado en color rojo indica que el fancoil está apagado y girando en color negro indica que no recibe señal, lo que ocurre al desconectar el PIA del fancoil desde el aula.

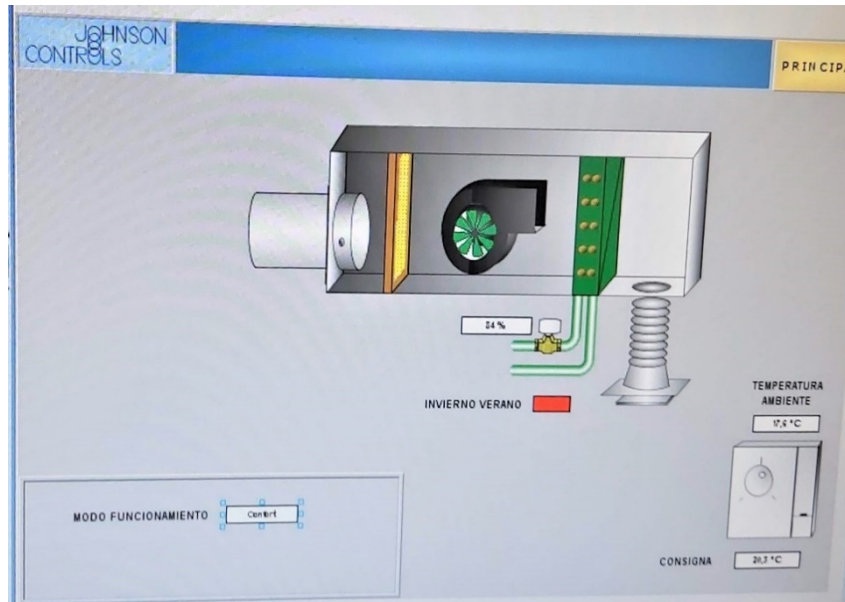


Ilustración 8. Fancoil de un aula encendido.

El operador del programa **puede cambiar el modo de funcionamiento del fancoil** (encenderlo, apagarlo...), pero no la consigna de temperatura, que queda fijada por el termostato del aula.

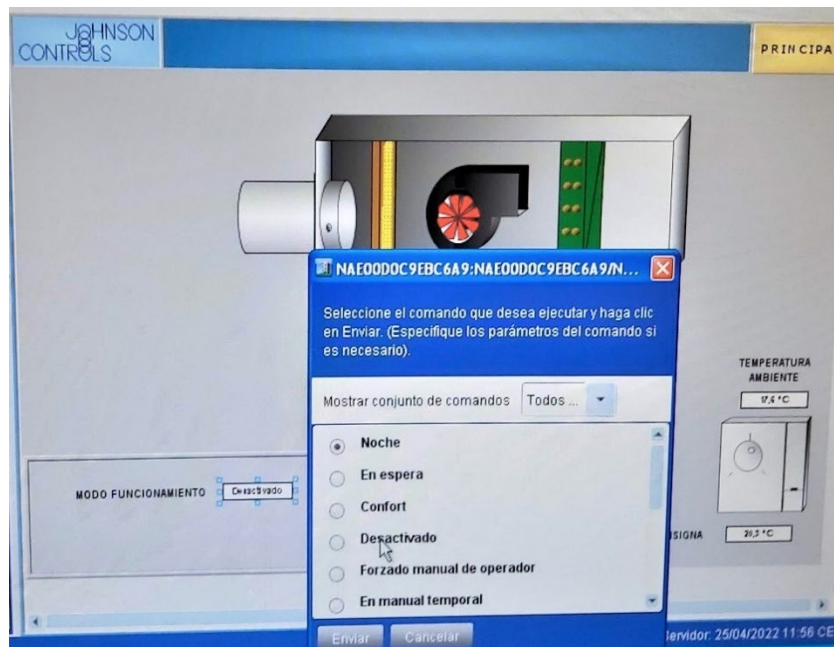


Ilustración 9. Fancoil de una aula apagado. Modificación del estado de ese fancoil.

3. Conclusiones

Este programa permite el control y visualización de algunos parámetros de **climatización** (primario y secundario), **alumbrado**, **incendios** y **fontanería**.

En cuanto a los fancoils, el programa permite visualizar en los diferentes espacios, la **temperatura ambiente** en el retorno, la temperatura de **consigna**, el **estado** del fancoil (on/off), el **grado de apertura de la válvula de tres vías** del fancoil, el **modo de climatización** (invierno/verano) y el **modo de funcionamiento** del fancoil (confort, desactivado...). Esto último puede ser modificado desde el programa.

Como líneas de futuro, se propone:

- la creación de un **programa puente** que conecte **Metasys** con la aplicación de **reserva de espacios**, para que sea posible implantar horarios individuales por aula.
- Almacenar en forma de histórico el estado de los fancoils, para el estudio de dichos datos.
- Verificar que los termostatos funcionan correctamente, comparando datos de Sensorizar con los que se visualizan en esta aplicación.

Informe 10. Medidas de caudal de ventilación en el edificio Betancourt tras el mantenimiento en la UTA.

1. Objetivo de este estudio
2. Metodología
3. Incidencias detectadas
4. Mediciones
5. Conclusiones
6. Referencias

1. Objetivo de este estudio

Este informe es continuación del trabajo expuesto en el informe 8.

El objetivo de este estudio es analizar el caudal de aire de ventilación que proporciona el climatizador 1 del edificio Betancourt a las aulas, **tras la realización del mantenimiento estacional**. Este mantenimiento incluye la sustitución de todos los filtros de la UTA y de las correas de los ventiladores, en caso de encontrarse en mal estado.

Para ello se han tomado medidas en los conductos de impulsión y retorno del climatizador (UTA) y de impulsión de cada una de las plantas del edificio (planta baja, primera, segunda y tercera). Este informe recoge también mediciones de caudal de aporte de aire a cuatro aulas de la planta primera (aulas 1.01, 1.05, 1.07 y 1.09).

Se realizará un breve análisis de las medidas realizadas el día 16/5/2022.

2. Metodología

En función del tipo de medición, se distinguen dos metodologías:

a. Medición en los **conductos de entrada/salida del climatizador** y medición del caudal de **impulsión por plantas**:

Se ha seguido el procedimiento descrito en el informe 8 (puntos 4 y 5 de la metodología propuesta). En el caso de la medición en los conductos del falso techo, se han localizado los puntos de medición utilizados anteriormente gracias a que dichos puntos fueron marcados con la letra "M" en el marco de aluminio que sostiene las planchas del falso techo.

b. Medición del caudal de **aporte de ventilación a aulas**.

1. Se han seleccionado tres aulas, una al comienzo, una a mitad y otra al final del ramal de la planta primera.
2. Con la ayuda de una escalera, se han levantado las placas de yeso que conforman el falso techo y se ha localizado el conducto flexible de sección circular de aporte de aire de ventilación al fancoil de cada aula.

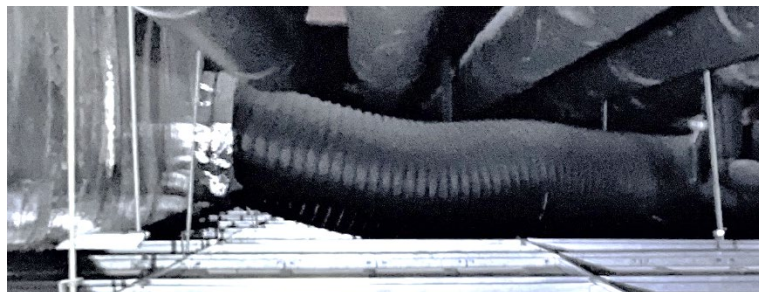
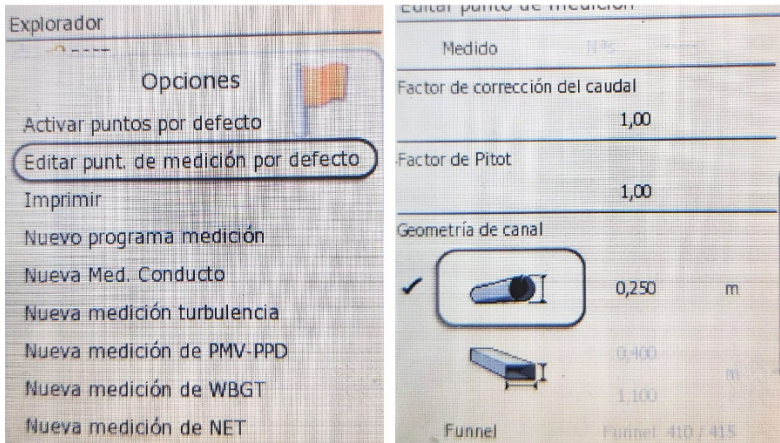


Figura 1. Conexión del conducto de impulsión con un aula mediante tubo flexible.

3. Con ayuda de un elemento punzante, se han perforado dichos conductos.
4. Para medir caudales volumétricos, se ha utilizado el instrumento calibrado **TESTO 480** con la **sonda de bola caliente** montada en el extremo de una varilla telescópica. Se ha utilizado esta sonda debido a que permite perforar el conducto sin dañarlo, dado que su diámetro es muy pequeño, de 3 mm.

5. El proceso de medición se realiza del siguiente modo:
 - a. Introducir datos de la medida del conducto (diámetro).
 - b. Seleccionar el programa de medición de rejilla y el número de puntos de medida, por defecto 4.
 - c. Introducir la sonda a la distancia indicada por el instrumento y guardar la medida.
 - d. Repetir el apartado c) para los 4 puntos de medición.
 - e. Finalizada la medición aparece en pantalla el caudal volumétrico.

1 Introducir dimensiones del conducto



3 Resultados medición

Protocolo de medición		
Resultado valores		
Default Point CAUDAL, 27.04.2022 10:15 Sonda: 60831064 / 16 mm		
Velocidad de flujo		
	1.5	m/s
+/-	0.3	m/s
+/-	17.4	%
Caudal de funcionamiento		
	1047	m ³ /h
+/-	182	m ³ /h
+/-	17.4	%
Caudal volumétrico teórico		
	0	m ³ /h

2 Iniciar medición

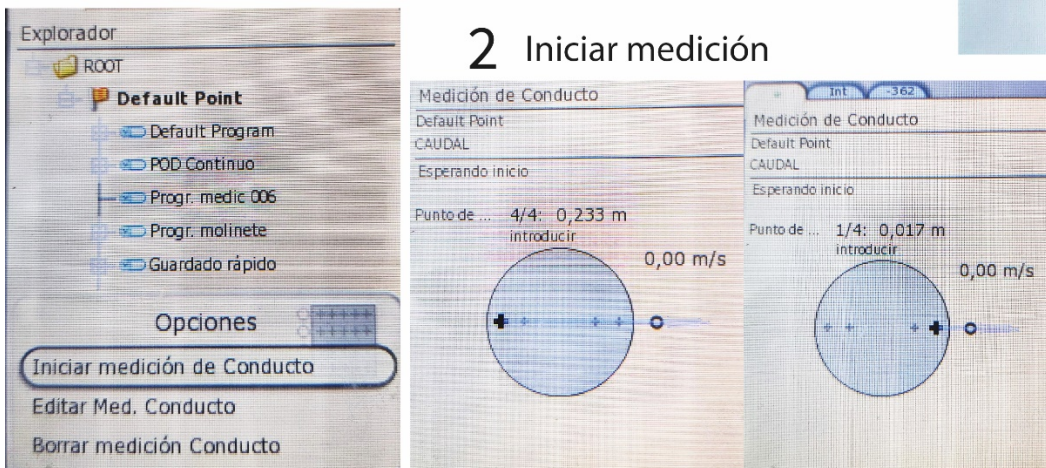


Figura 2. Proceso de medición con el TESTO 480. Fuente: Imágenes propias.



Figura 3. Testo 480 y sonda de bola caliente. Fuente [1] y [2].

6. Se ha repetido el procedimiento del punto anterior varias veces y se ha sellado el orificio con cinta de aluminio para conductos de climatización.

En las figuras 4 y 5 se muestran dos ejemplos del proceso de medición. La primera figura corresponde a la medición del caudal de aire en el conducto de impulsión a la salida del climatizador y la segunda a la medición de caudal de aporte de ventilación al aula 1.01 del edificio Betancourt.



Figuras 4 y 5 Mediciones realizadas el día 16/5/2022.

3. Incidencias detectadas

Durante la medición en los conductos flexibles de aporte de ventilación a las aulas, se han detectado algunas incidencias, que ya han sido comunicadas.

1. El conducto flexible de aporte de aire de ventilación al aula 1.09 presentaba una **fisura** por la que se perdía una gran cantidad de caudal (figura 6). Ha sido reparada con cinta de aluminio.



Figura 6. Estado de la fisura en el conducto flexible de aporte de aire de ventilación, antes de su reparación.

2. El fancoil del aula 1.09, producía más **ruido** del habitual. Esto podría deberse a que el filtro no estaba bien anclado y producía ruido al vibrar.
3. Además, la **abertura** por la que se sustituyen los filtros de este mismo fancoil estaba completamente **abierta** y la **chapa doblada**, como se puede ver en la figura 7.

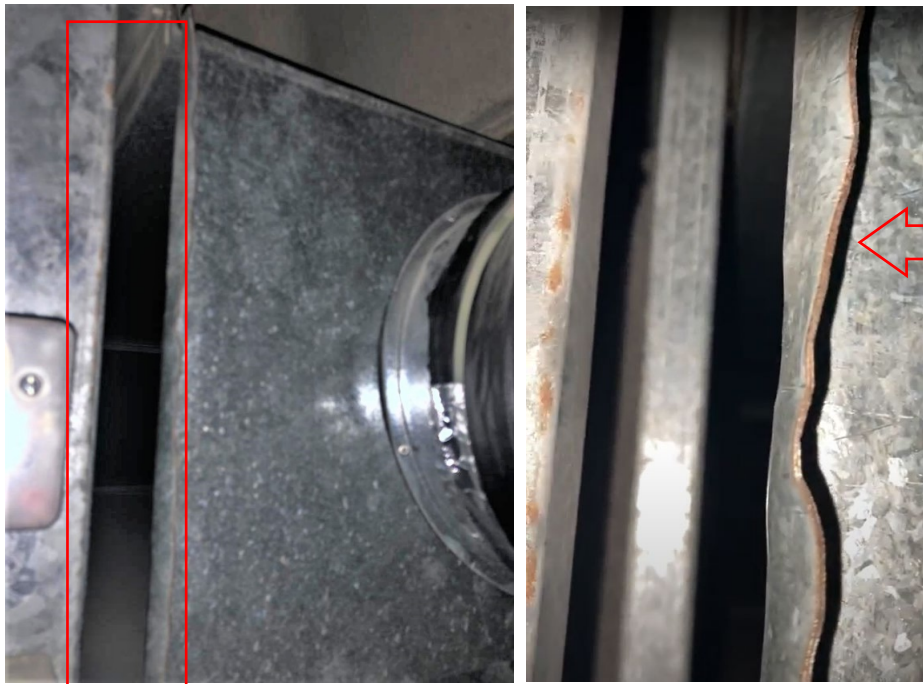


Figura 7. Detalle de apertura en fancoil.

4. Mediciones

Las mediciones realizadas se han llevado a cabo en las siguientes condiciones de la instalación:

- Compuertas de regulación abiertas al 100 %
- Tras el cambio de filtros y correas.
- Climatizador (UTA) y fancoils de las aulas en marcha.

A continuación se muestra la tabla 1 con las mediciones realizadas bajo las condiciones mencionadas. Se muestra el caudal medido junto con el margen de error que calcula el instrumento de medida y el número de puntos que se han utilizado para cada medición. También se ha calculado el promedio, la desviación típica de los valores promedio y el porcentaje de la desviación típica respecto al promedio.

CONDUCTOS					
Toma número	1	6	8	5	4
Planta	P1	P2	P3	Sala máq.	Sala máq.
Conducto	Impulsión	Impulsión	Impulsión	Impulsión	Retorno
Dimensiones mm (ancho x altura)	1100 x 400	1100 x 400	500 x 400	800x1400	800x1400
Medida 1 (m ³ /h)	9256 (+/-) 1448	9311 (+/-) 1525	3914 (+/-) 253	27773 (+/-) 2363	7695 (+/-) 1107
	6 puntos	6 puntos	6 puntos	4 puntos	6 puntos
Medida 2 (m ³ /h)	9341 (+/-) 1296	8969 (+/-) 1514	3978 (+/-) 330	28143 (+/-) 2015	8215 (+/-) 972
	6 puntos	6 puntos	6 puntos	4 puntos	6 puntos
Medida 3 (m ³ /h)	-	-	-	30336 (+/-) 3529	7301 (+/-) 1097
	-	-	-	3 puntos	6 puntos
Medida 4 (m ³ /h)	-	-	-	30066 (+/-) 2600	7242 (+/-) 938
	-	-	-	4 puntos	6 puntos
Medida 5 (m ³ /h)	-	-	-	28617 (+/-) 1838	-
	-	-	-	4 puntos	-
Medida 6 (m ³ /h)	-	-	-	27180 (+/-) 1892	-
	-	-	-	4 puntos	-
Media (m³/h)	9299	9140	3946	28686	7613
Desviación típica	60,10	241,83	45,25	1267,13	448,74
% Desviación	0,6%	2,6%	1,1%	4,4%	5,9%

Tabla 1. Resultados de las mediciones en conductos. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos con el TESTO 480.

En la tabla 2 y en la figura 8, se muestra la comparativa entre las mediciones de impulsión actuales y las tomadas antes de realizar el mantenimiento de la UTA. Los resultados demuestran que se triplica el caudal total.

Planta	Caudal antes (m ³ /h)	Caudal ahora (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 2. Caudales de impulsión por plantas antes y después del mantenimiento. Elaboración propia.

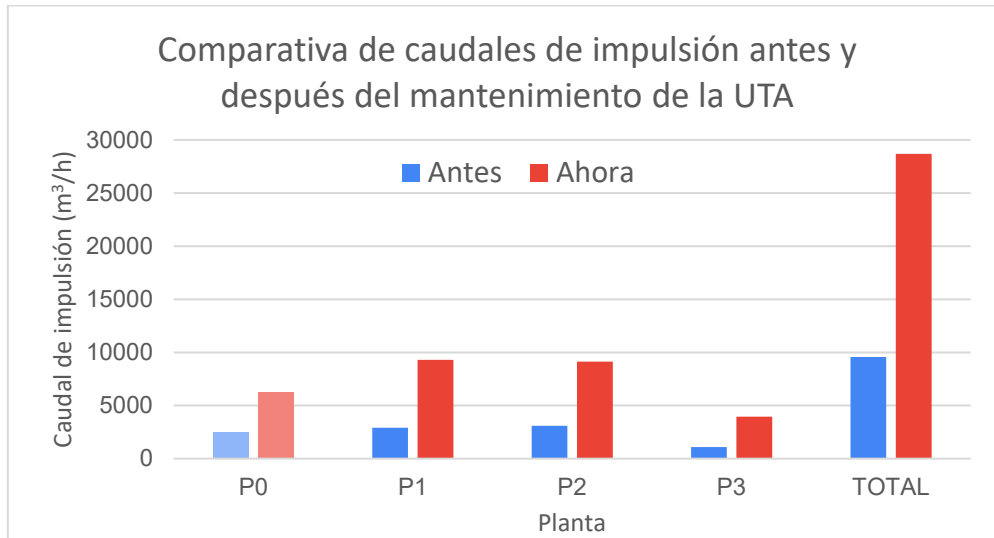


Figura 8. Comparativa de caudales de impulsión antes y después del mantenimiento de la UTA. Elaboración propia.

En la figura 9, se representa de forma esquemática los caudales por plantas, así como las dimensiones de los conductos.

CAUDALES DE IMPULSIÓN POR PLANTAS



CLIMATIZADOR:
800 x 1400 mm
28685,8 m³/h



*Caudal estimado (por diferencia)

Figura 9. Dimensiones de los conductos y caudales de aire por plantas. Elaboración propia.

El caudal de impulsión (antes y después del mantenimiento de la UTA) se reparte en cada planta en la proporción indicada en la figura 10. Esta proporción no varía significativamente.

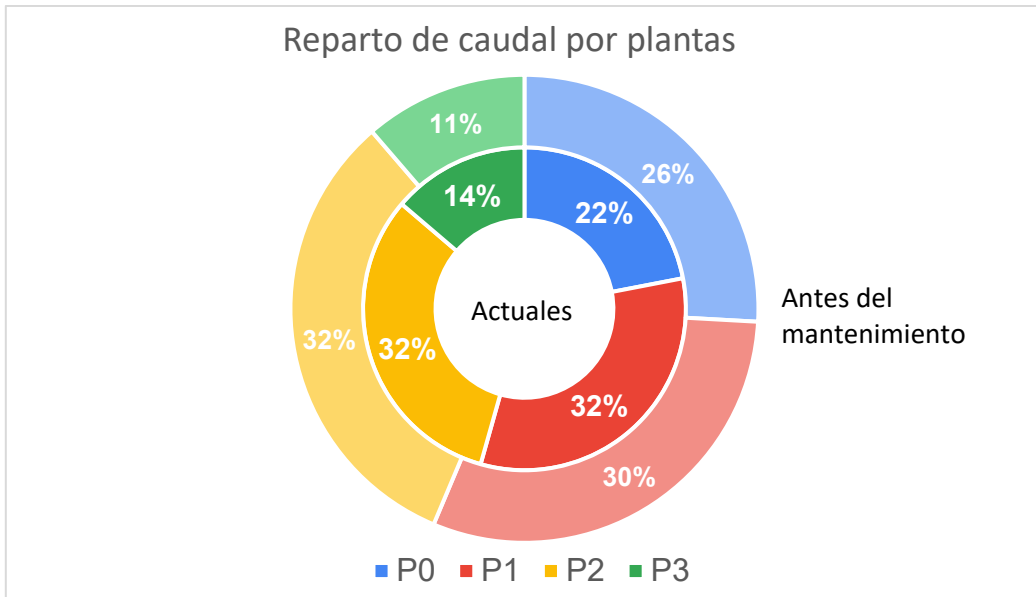


Figura 10. Distribución del caudal de ventilación por plantas. Elaboración propia.

En la **placa de características** del climatizador (figura 11), se constata que el caudal nominal es de 39240 m³/h y las últimas medidas tomadas en la impulsión muestran un valor máximo de 30336 m³/h, un **77% del valor nominal**.

En el retorno, el valor máximo medido ha sido de 8215 m³/h. En las últimas mediciones antes del mantenimiento, el valor máximo medido fue de 7293 m³/h, por lo que este valor apenas ha cambiado. El caudal nominal de retorno es igual que el de impulsión, de 39240 m³/h, por lo que el último valor medido supone casi una quinta parte del valor nominal (20,9% del valor nominal).



Figura 11. Placa de características del climatizador.

En la tabla 3, se muestran las medidas realizadas en los conductos flexibles de las aulas 1.01, 1.05, 1.07 y 1.09 (ver figura 12), que conectan el conducto de impulsión de la planta con cada aula.



Figura 12. Aulas en las que se ha medido el caudal de aporte de ventilación. Fuente: SIGEUZ.

APORTE DE AIRE DE VENTILACIÓN A FAN COILS				
Toma número	10	11	12	13
Aula	1.09	1.07	1.05	1.01
Dimensiones mm (diámetro)	250	250	250	250
Medida 1 (m ³ /h)	715 (+/-) 227	536 (+/-) 131	793 (+/-) 64	581 (+/-) 46
	4 puntos	4 puntos	4 puntos	4 puntos
Medida 2 (m ³ /h)	526 (+/-) 332	419 (+/-) 103	855 (+/-) 117	641 (+/-) 73
	4 puntos	4 puntos	4 puntos	4 puntos
Medida 3 (m ³ /h)	570 (+/-) 271	513 (+/-) 175	821 (+/-) 109	674 (+/-) 76
	4 puntos	4 puntos	4 puntos	4 puntos
Medida 4 (m ³ /h)	709 (+/-) 87	-	-	-
	4 puntos	-	-	-
Medida 5 (m ³ /h)	740 (+/-) 60	-	-	-
	4 puntos	-	-	-
Media (m³/h)	652	489	823	632
Desviación típica	96,90	61,99	31,05	47,15
% Desviación	14,9%	12,7%	3,8%	7,5%

Tabla 3. Medidas en los conductos flexibles de aporte de ventilación a las aulas arriba mencionadas. Elaboración propia.

Se observa que en este tipo de conductos existe mayor incertidumbre en la medida, puesto que el porcentaje de desviación asciende hasta el 15 % en el aula 1.09 y el caudal de error que calcula el instrumento es significativo.

El caudal de aporte de ventilación promedio de las cuatro aulas es de 650 m³/h. Es llamativo que el aula 1.05 reciba casi el doble de caudal que el aula 1.07, a pesar de que el aula 1.07 se encuentra más cerca de la UTA. El aula 1.01, debería tener un caudal de aire mayor, al tener una superficie mayor. Esto puede deberse a encontrarse al final del ramal.

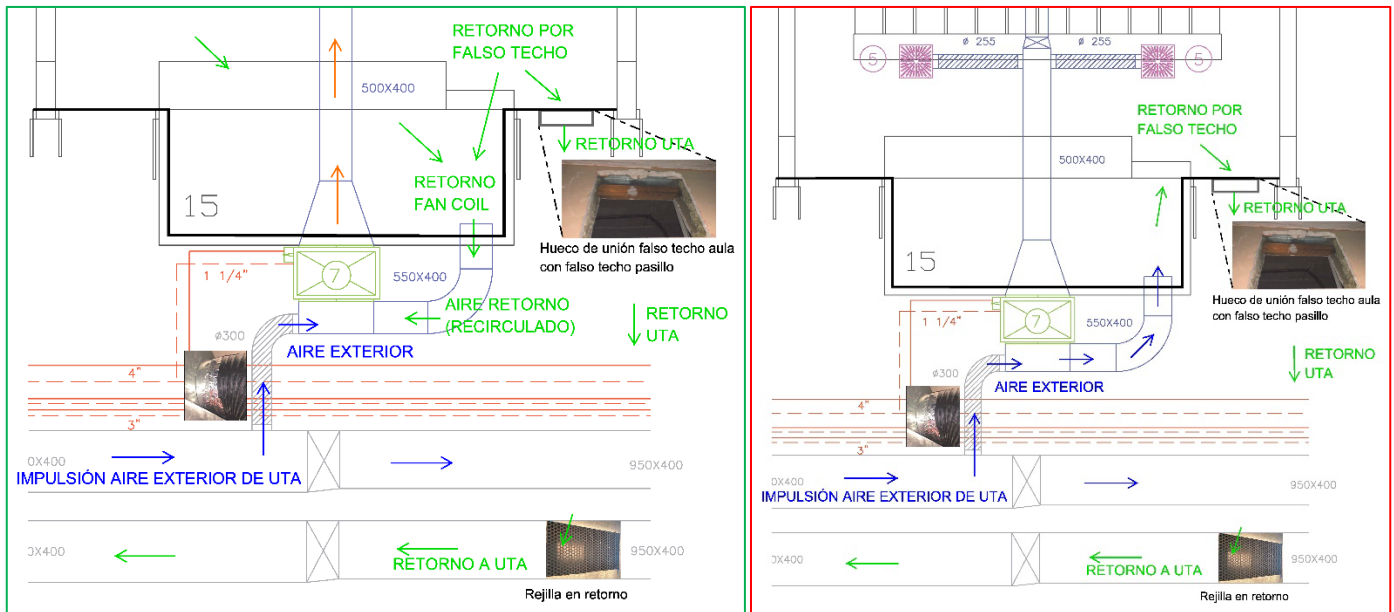
Por otra parte, se ha comprobado que estos caudales **no se ven alterados** por la conexión o no del fancoil al que alimenta, lo que ha permitido comprender el funcionamiento de la instalación.

Las figuras 13 y 14 muestran de forma esquemática los flujos de aire con el fancoil encendido y apagado.

Con el fancoil en marcha, el caudal de aporte de ventilación se une al caudal de retorno y se distribuye por los rotacionales.

Al apagarse el fancoil, el caudal no disminuye puesto que el aporte de aire exterior circula por el retorno que comunica con el falso techo del aula. Desde allí, circula por el hueco que se encuentra sobre la puerta del aula y vuelve por la rejilla de retorno, al conducto de retorno de planta.

Por tanto **al apagarse el fancoil, el caudal de ventilación que entra al aula es nulo**, de ahí la importancia de mantener los ventiladores en marcha si el nivel de CO₂ está por encima de los valores umbrales.



Figuras 13 y 14. Esquema de funcionamiento con fancoil encendido y con fancoil apagado. Elaboración propia.

5. Conclusiones

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 **un aumento del 25 % del valor nominal a un 77% del valor nominal**. Esto demuestra la **importancia de un buen mantenimiento**, por lo que se propone **realizar dicha medición con periodicidad**, para revisar filtros y correas de ventiladores cuando disminuya el caudal.

Se propone analizar soluciones de bajo coste que sirvan para monitorizar en continuo el caudal de impulsión del climatizador de aire primario a las aulas. Es un asunto muy importante, puesto que a menor caudal de aire, menor ventilación, más riesgo de contagios y más ventanas abiertas para conseguir bajar el CO₂. Se debería intentar sacar el máximo partido posible a las instalaciones que tenemos y aprovechar la recuperación de calor en el climatizador.

El caudal de retorno a la UTA sigue siendo bajo, similar a anteriores mediciones antes del mantenimiento realizado. **Se ha solicitado al Servicio de Mantenimiento que vuelvan a revisar el ventilador de retorno de este climatizador.**

Por otra parte, se ha visto que si el fancoil de un aula para, no accede ventilación al aula y ese caudal se pierde por el retorno, de ahí la importancia de **mantener los ventiladores en marcha si el nivel de CO₂ está por encima de los valores umbrales**.

Referencias

- [1] “GIMIM. Testo 480 Medición multifuncional - Medidores de rpm / sonido / luz - Catálogo de Productos.” <https://gimim.com/testo/medidores-de-rpm-sonido-luz-co-co2/testo-480-medicion-multifuncional> (accessed Apr. 23, 2022).
- [2] “Sonda de velocidad digital de bola caliente | Velocidad - térmico | Velocidad | Parámetro | Instrumentos Testo S.A.” <https://www.testo.com/es-ES/sonda-de-velocidad-digital/p/0635-1051> (accessed May 16, 2022).

Informe 11. Redes neuronales para predecir CO₂ y temperatura.

1. Contexto y objetivos de este estudio
2. Metodología
3. Resultados
4. Conclusiones
5. Referencias

1. Contexto y objetivos de este estudio

Tan importante es conocer el valor de CO₂ en un instante dado, como su evolución en los próximos minutos, de cara a evaluar la calidad de aire interior y tomar acciones, si fuera necesario. Predecir el valor de CO₂ podría ser útil para activar la ventilación mecánica manualmente o, en caso de implantar un sistema de ventilación controlado por demanda (DCV), éste podría anticiparse a episodios de altos niveles de CO₂ y mantener un caudal de ventilación mayor. Del mismo modo con la temperatura, si el sistema de control de la climatización puede anticipar el valor de temperatura en los próximos instantes, podría desconectar la climatización para evitar que se sobrepase la temperatura consigna, con el consiguiente ahorro de energía.

Este informe tiene como objetivo plantear una metodología basada en redes neuronales para predecir valores de CO₂ y temperatura, en base a los valores medidos en el momento de la predicción.

2. Metodología

En este estudio se utiliza la aplicación de redes neuronales de Matlab: Neural Net Fitting de Matlab.

Para ello, se ha partido de los datos recogidos a lo largo del mes de marzo en la sala de estudios Tomás Pollán, para entrenar la red neuronal.

Los datos de entrada a la red han sido los siguientes:

- CO₂
- Humedad
- Temperatura
- Aforo
- Aforo acumulado de los últimos 5 periodos.
- Intervalo entre registros (en minutos)
- Estado de la climatización (on/off)

Los datos objetivo de la red son:

- CO₂ al cabo de 5 periodos.
- Temperatura al cabo de 5 periodos.

Para este estudio se han utilizado los mismos datos que en el informe 5. A modo de ejemplo, se han seleccionado los primeros 8 registros del entrenamiento de marzo. En color naranja se han representado los datos de entrada "input" y en azul los datos objetivo "target". Se ha remarcado en amarillo, que los datos de predicción corresponden a los valores medidos 5 periodos después.

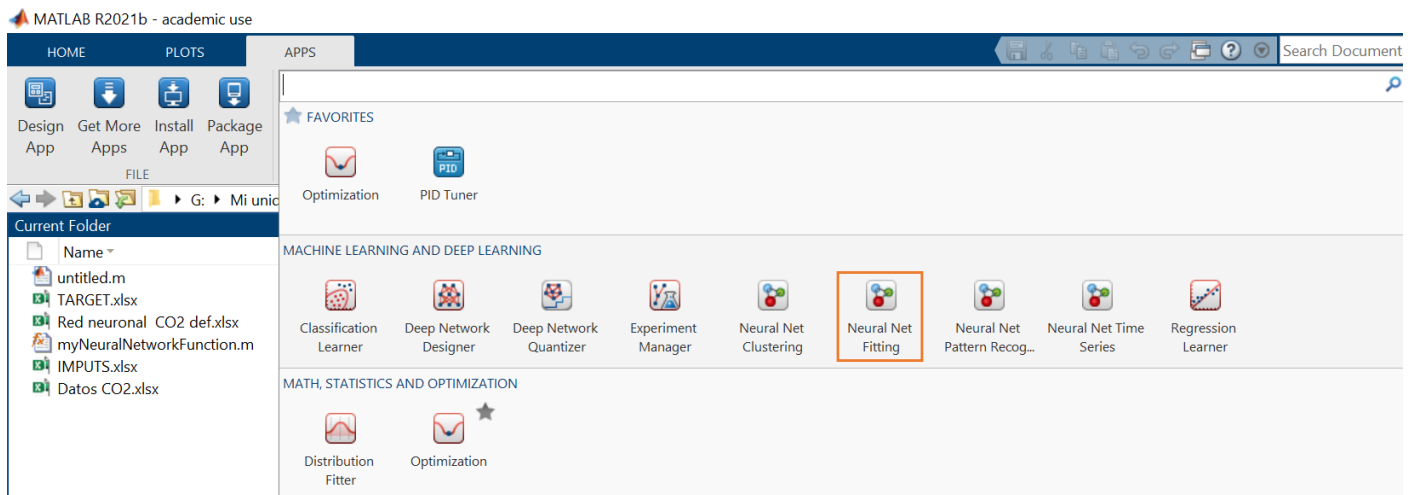
DÍA + HORA	CO2	Humedad	Tª	AFORO	Intervalo	Aforo ac	Clima on	CO2 pred.	Tª pred.
01/03/2022 15:47:22	805	37,2	23,44	78	0,00	78	0	721	23,69
01/03/2022 15:58:40	825	36	23,54	77	11,30	155	0	776	23,66
01/03/2022 16:09:58	783	35,4	23,63	81	11,30	236	0	736	23,64
01/03/2022 16:21:16	743	34,7	23,68	82	11,30	318	0	776	23,65
01/03/2022 16:32:34	702	34,3	23,69	93	11,30	411	0	702	23,63
01/03/2022 16:43:52	721	34,1	23,69	92	11,30	503	0	659	23,61
01/03/2022 16:55:09	776	33,9	23,66	78	11,28	503	0	686	23,59

El procedimiento seguido para entrenar la red ha sido el siguiente:

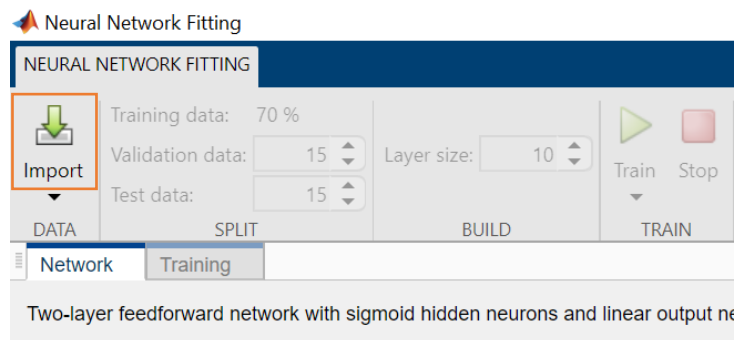
1. Preparar los datos en dos hojas Excel distintas: "Inputs" y "Target".
2. Instalar los siguientes "Add-Ons":



3. Acceder a la aplicación Neural Net Fitting:



4. Importar los datos preparados en el punto 1.



4.1. Importar “inputs” o “predictors”: Seleccionar archivo del directorio y marcar la casilla “rows”.

Import Data from Workspace

Select data for training the network.

Predictors: <No valid workspace variables> Browse

Responses: <No valid workspace variables> Browse

Observations in: Columns Rows

Add variables to the workspace or click Browse to import from file.

Refresh OK Cancel

	1	2	3	4	5	6	7
1	805	37.2000	23.4400	78	0	78	0
2	825	36	23.5400	77	11.3000	155	0
3	783	35.4000	23.6300	81	11.3000	236	0
4	743	34.7000	23.6800	82	11.3000	318	0
5	702	34.3000	23.6900	93	11.3000	411	0
6	721	34.1000	23.6900	92	11.3000	503	0
7	776	33.9000	23.6600	78	11.2833	503	0
8	736	34.1000	23.6400	81	11.3000	507	0
9	776	33.8000	23.6500	84	11.3000	510	0
10	702	33.2000	23.6300	78	11.3000	506	0
11	659	32.6000	23.6100	73	11.3000	486	0
12	686	32.1000	23.5900	77	11.5167	471	0
13	606	31.3000	23.5600	73	11.3000	466	0
14	599	32	23.4600	77	11.6000	462	0
15	615	32	23.4600	81	11.3000	459	0
16	540	31.5000	23.3500	90	11.3000	471	0

Import	Name	Size	Bytes	Class
<input checked="" type="checkbox"/>	data	4601x7	257656	double

4.2. Importar “target” o “responses”. Seleccionar archivo y cambiar nombre, para no sobrescribir los datos importados en el punto 4.1.

Import Data from Workspace

Select data for training the network.

Predictors: data - [4601x7 double] Browse

Responses: data - [4601x7 double] Browse

Observations in: Columns Rows

data: double array of 4601 observations with 7 features.
 data: double array of 4601 observations with 7 features.

Refresh OK Cancel

	1	2
1	721	23.6900
2	776	23.6600
3	736	23.6400
4	776	23.6500
5	702	23.6300
6	659	23.6100
7	686	23.5900
8	606	23.5600
9	599	23.4600
10	615	23.4600
11	540	23.3500
12	527	23.1700
13	522	23.1500
14	546	23.0300
15	523	22.9800
16	506	22.9200

Import	Name	Size	Bytes	Class
<input checked="" type="checkbox"/>	target	4601x2	73616	double

4.3. Finalizar la importación

Import Data from Workspace

Select data for training the network.

Predictors: data - [4601x7 double] Browse

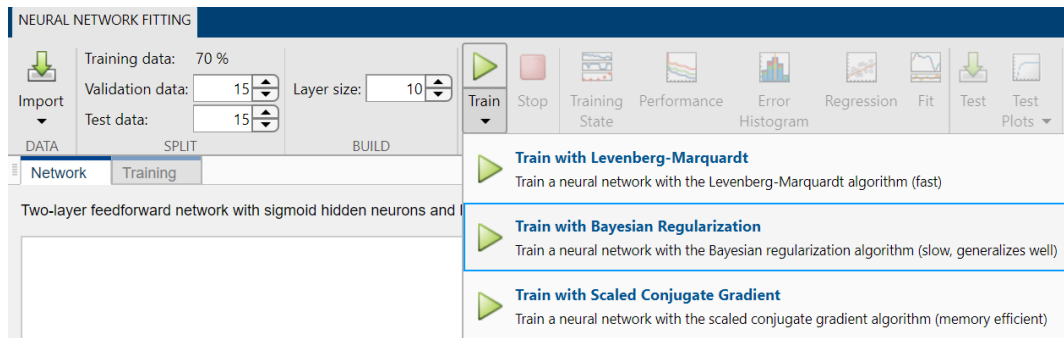
Responses: target - [4601x2 double] Browse

Observations in: Columns Rows

data: double array of 4601 observations with 7 features.
 data: double array of 4601 observations with 7 features.

Refresh OK Cancel

5. Iniciar el entrenamiento



NEURAL NETWORK FITTING

Training data: 70 %
 Validation data: 15 %
 Test data: 15 %
 Layer size: 10

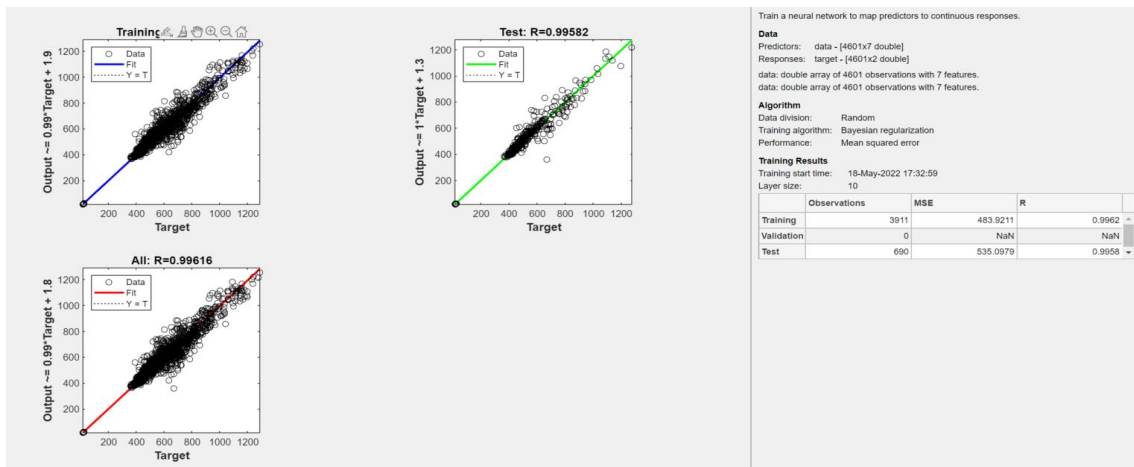
Train Stop Training State Performance Error Regression Fit Test Test Plots

Network Training

Two-layer feedforward network with sigmoid hidden neurons and

- Train with Levenberg-Marquardt
Train a neural network with the Levenberg-Marquardt algorithm (fast)
- Train with Bayesian Regularization
Train a neural network with the Bayesian regularization algorithm (slow, generalizes well)
- Train with Scaled Conjugate Gradient
Train a neural network with the scaled conjugate gradient algorithm (memory efficient)

6. Comprobar si los datos se ajustan a la recta de 45° y si el nivel de regresión es adecuado.



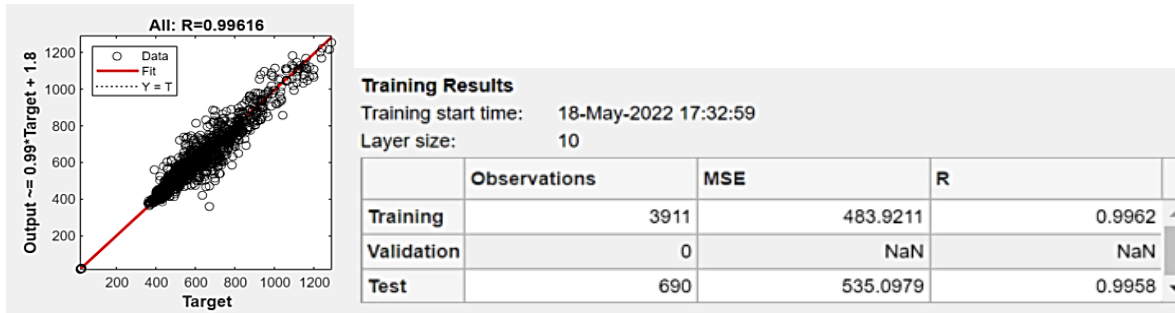
7. Es posible implementar la red neuronal en Excel a partir de las constantes calculadas.

```

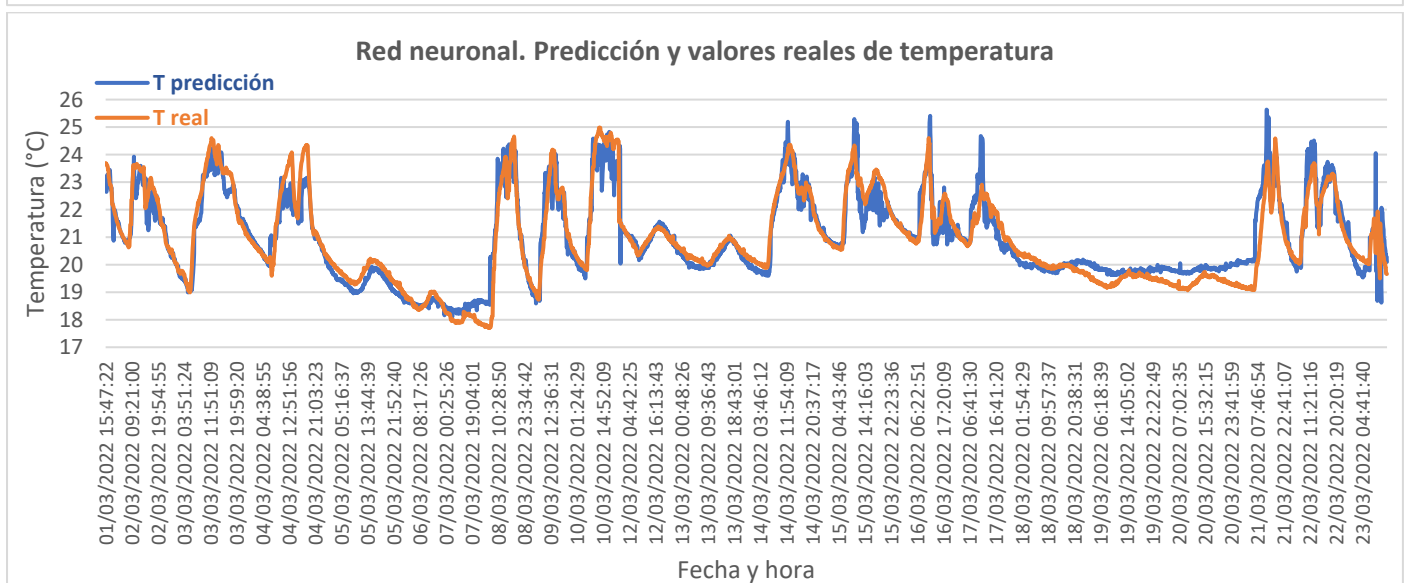
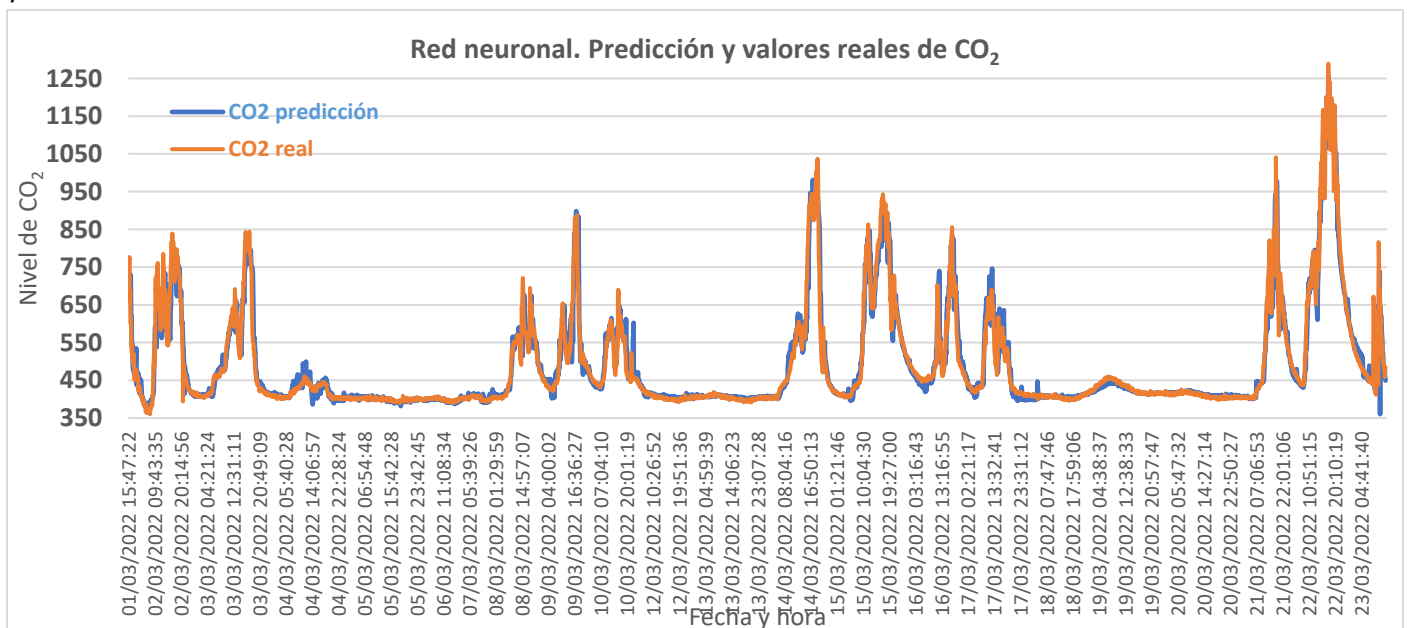
myNeuralNetworkFunction.m
19 % ===== NEURAL NETWORK CONSTANTS =====
20
21 % Input 1
22 x1_step1.xoffset = [360;29;17.7;0;0;0];
23 x1_step1.gain = [0.00215285252960172;0.0869565217391304;0.274725274725275;0.0114942528735632;0.00164284540824708;0.00164284540824708;0.00164284540824708];
24 x1_step1.ymin = -1;
25
26 % Layer 1
27 b1 = [-0.24937017663940311274;-2.6815172445847537119;-0.10204015833085740284;1.7089894391228344084;-0.24455370300267;0.00164284540824708;0.00164284540824708];
28 IW1_1 = [-0.068711834569210844537 2.0580258773366111313 2.2313613739184900986 -0.30536297444753202068 0.03459055452;0.00164284540824708;0.00164284540824708];
29
30 % Layer 2
31 b2 = [0.94796650356419565053;0.10419054812899197771];
32 LW2_1 = [-1.8617923606140560633 -0.24227547994994177993 -0.14989535785206550833 1.5490967065732408336 2.942320226614;0.00164284540824708;0.00164284540824708];
33
34 % Output 1
35 y1_step1.ymin = -1;
36 y1_step1.gain = [0.00215285252960172;0.274725274725275];
37 y1_step1.xoffset = [360;17.7];
38
    
```

3. Resultados

Siguiendo el procedimiento indicado en metodología, se ha entrenado la red neuronal obteniendo un valor de regresión R de 0,996 y los datos se ajustan bastante bien a la recta de 45°.



Se ha implementado la red neuronal en Excel y se han comparado y representado gráficamente los valores esperados y los valores reales.



Se observa que la predicción de CO₂ es más precisa que la predicción de temperatura. Para mejorar la predicción de temperatura sería conveniente introducir la medida de temperatura exterior.

4. Conclusiones

Los resultados obtenidos a partir del entrenamiento de la red neuronal en el mes de marzo en la sala de estudios Tomás Pollán han sido muy buenos, obteniendo un valor de R de 0,996, pero es necesario verificar que la red se comporta bien en otros meses. Por el momento, no ha sido posible realizar dicha verificación, puesto que ha habido un problema de cobertura con el sensor de la sala y no se han registrado los datos correctamente. Por tanto, se ha instalado a fecha 20/5/2022 un nuevo router y se ha complementado el sensor existente con otro sensor Aranet, que permite almacenar los datos durante 7 días, para poder descargar los datos manualmente en caso de fallo.

Informe 12. ¿Es necesario medir formaldehído, COV's y partículas (PM 1, PM 2,5 y PM10) en edificios de la EINA?

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

1. Objetivo de este estudio

El objetivo de este estudio es medir formaldehído, COV's y partículas (PM 1, PM 2,5 y PM10) en diferentes espacios interiores de los edificios de la EINA (Ada Byron, Betancourt y Torres Quevedo) para justificar la necesidad de incluir este tipo de sensores o si, en caso contrario, es suficiente con las mediciones de CO₂, para garantizar una buena calidad de aire.

2. Metodología

Para estas mediciones se ha utilizado el equipo MICA (figura 1), que mide los siguientes parámetros: dióxido de carbono, humedad, temperatura, compuestos orgánicos volátiles, formaldehído, y partículas en suspensión de diferentes tamaños (PM 1, PM 2,5 y PM 10). El sensor usa cuatro sensores primarios: NDIR, electroquímico, MOx, y un láser de partículas.



Figura 1. Monitor Inteligente de Calidad de Aire (MICA) utilizado en las mediciones. Elaboración propia.

1. **Enchufar el equipo** a una toma de corriente, bien directamente a la pared o bien mediante el puerto USB de un ordenador. Es importante intentar ubicar el equipo en el lugar más desfavorable y en el centro de la estancia (lejos de las ventanas y puertas)
2. Tras la conexión, es necesario **esperar unos minutos** para que el equipo se calibre y se prepare para empezar a tomar medidas. Los sensores de formaldehído que incluye este equipo requieren de alrededor de 6 minutos para calibrarse.
3. Pasados estos minutos, el equipo **toma medidas cada tres minutos**. En general, se ha pasado entre 15-30 minutos en cada espacio para intentar tomar por lo menos 3 medidas de formaldehído.
4. **Descargar los datos** desde la página de MICA en formato Excel.
5. **Organizar y analizar los datos**.

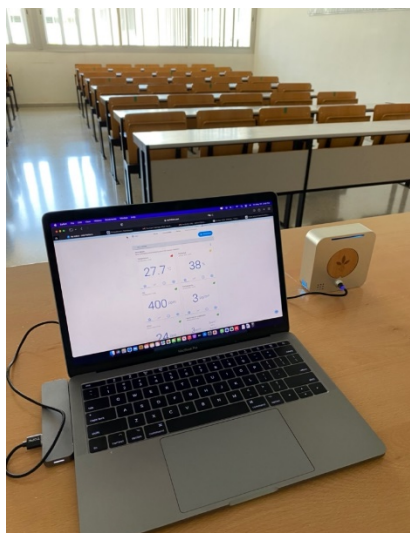


Figura 2. Conexión del equipo MICA al ordenador y visualización de datos desde la plataforma web. Elaboración propia.

3. Mediciones

El rango de valores para mantener una buena calidad de aire para cada elemento se muestra en la tabla 1.

Rango	Formaldehído	COV's	PM 2,5	PM 10	PM 1	Temperatura	Humedad	CO ₂
Inferior	-	-	-	-	-	17	40,0	-
Superior	70,0	220	25	50	-	27	60,0	800,0

Tabla 1. Rango de valores. Fuente: inBiot

En las figuras 3-7, se representan los valores máximo, promedio y mínimo de los contaminantes medidos.

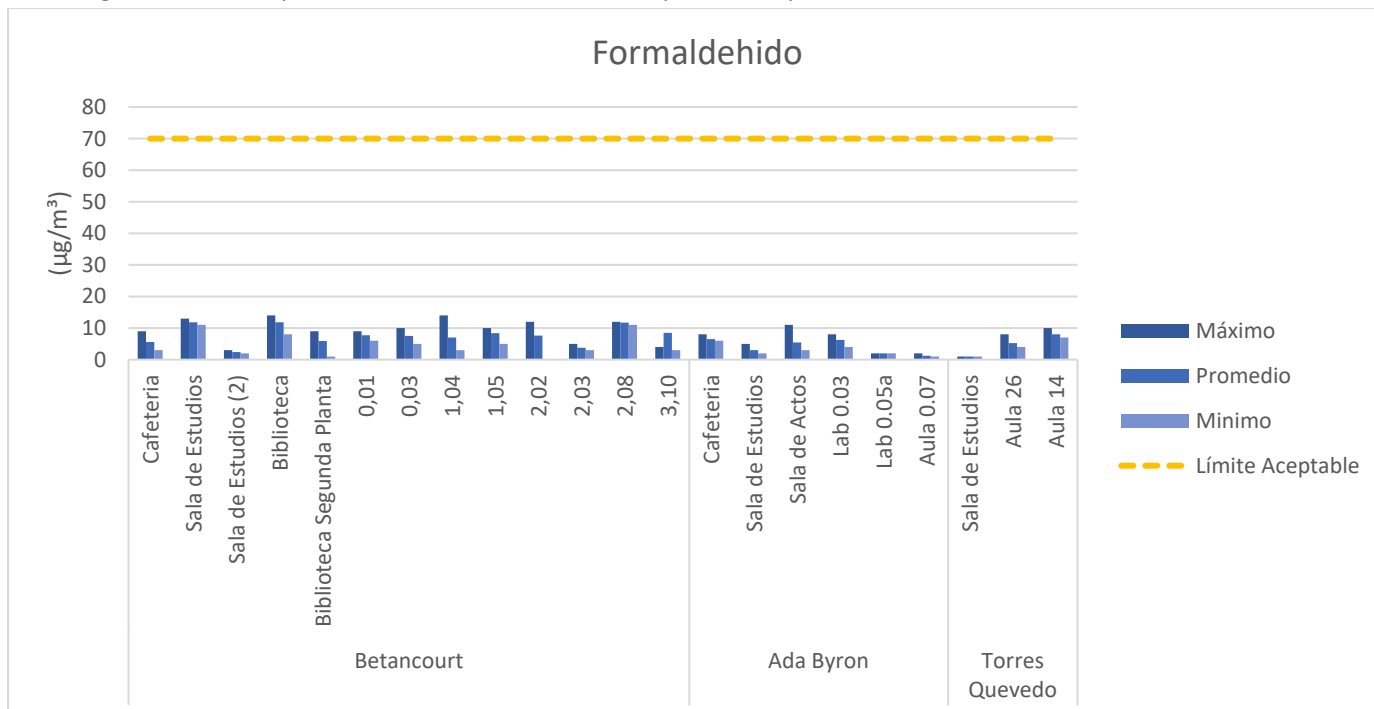


Figura 3. Mediciones de Formaldehído en los diferentes espacios. Elaboración propia.

INFORME 12. ¿Es necesario medir formaldehído, COV's y partículas (PM 1, PM 2,5 y PM10) en edificios de la EINA?

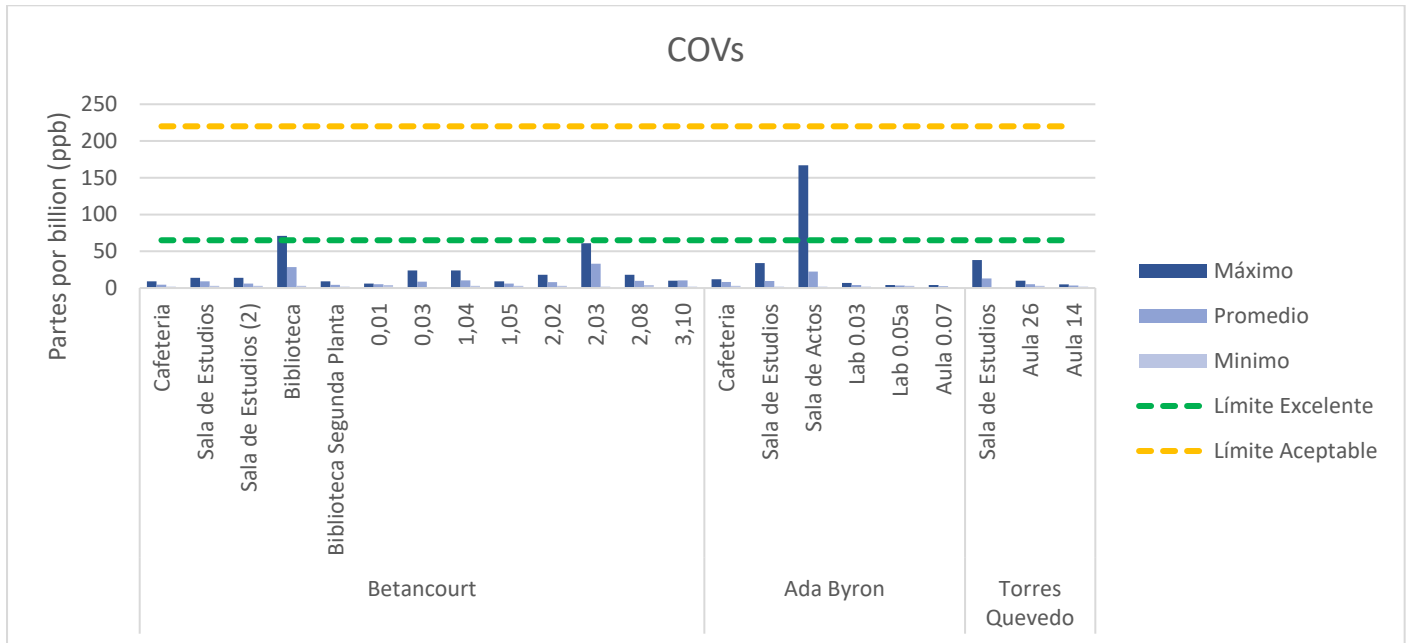


Figura 4. Mediciones de COVs en los diferentes espacios. Elaboración propia.

En el salón de actos, se han observado valores de COVs máximos mayores, aunque dentro del margen recomendado.

Tras detectar incoherencias en las medidas, se ha contactado con el fabricante, que ha indicado que el sensor de COVs necesita un periodo de unas 12 horas de calibración, con exposición a una adecuada renovación del aire. Además, no guarda la calibración, por lo que ante cada desconexión, se vuelve a iniciar un nuevo ciclo de calibración. Para mostrar la influencia de la calibración, se mantuvo el sensor encendido durante varios días, dentro de la *Sala de colaboradores I3A*. Los resultados se muestran en la figura 5. Se observa que los valores de COVs se mantuvieron en valores muy bajos las primeras horas, pero posteriormente aumentaron, llegando a superar el valor aceptable en algunos instantes. **Estos resultados confirman que es necesario repetir las mediciones de COVs**, puesto que no se ha mantenido el equipo encendido 12 horas antes de la medición. En esta figura también se ha incluido la temperatura de la sala, ya que se observa una dependencia de ésta con los niveles de COVs. Se ha observado que los niveles de COVs disminuyen rápidamente al ventilar.

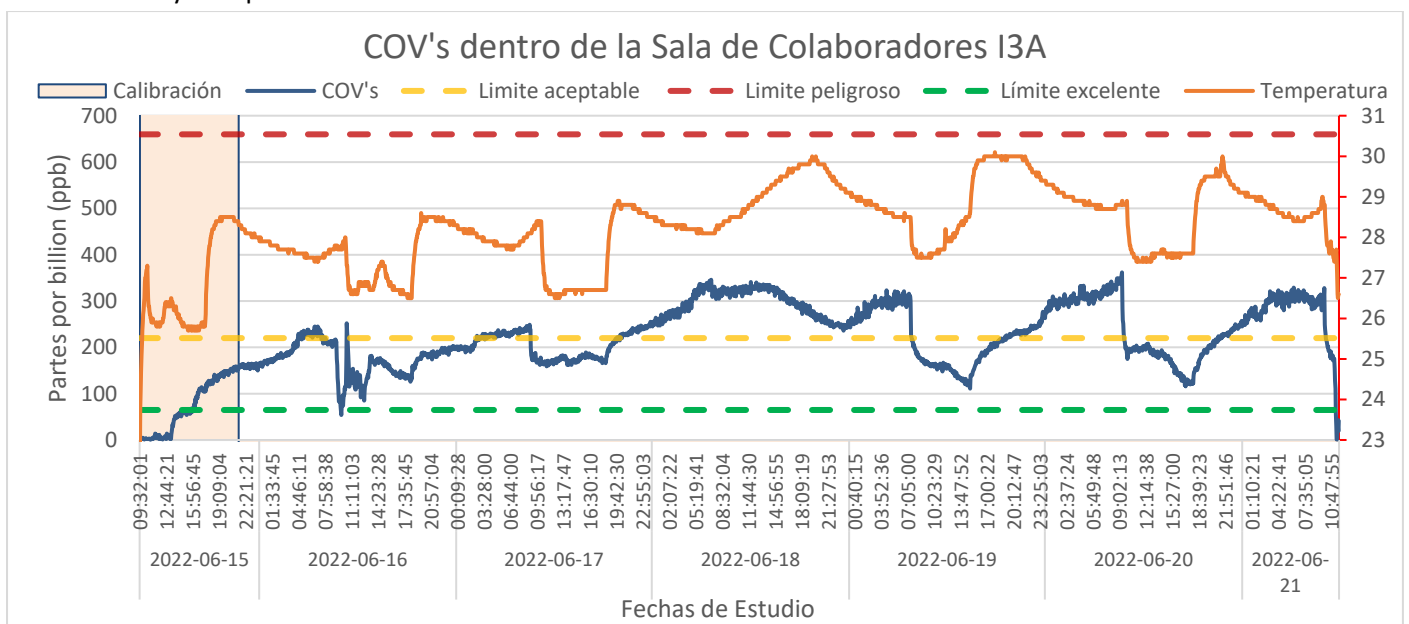


Figura 53: COVs en la sala de colaboradores I3A

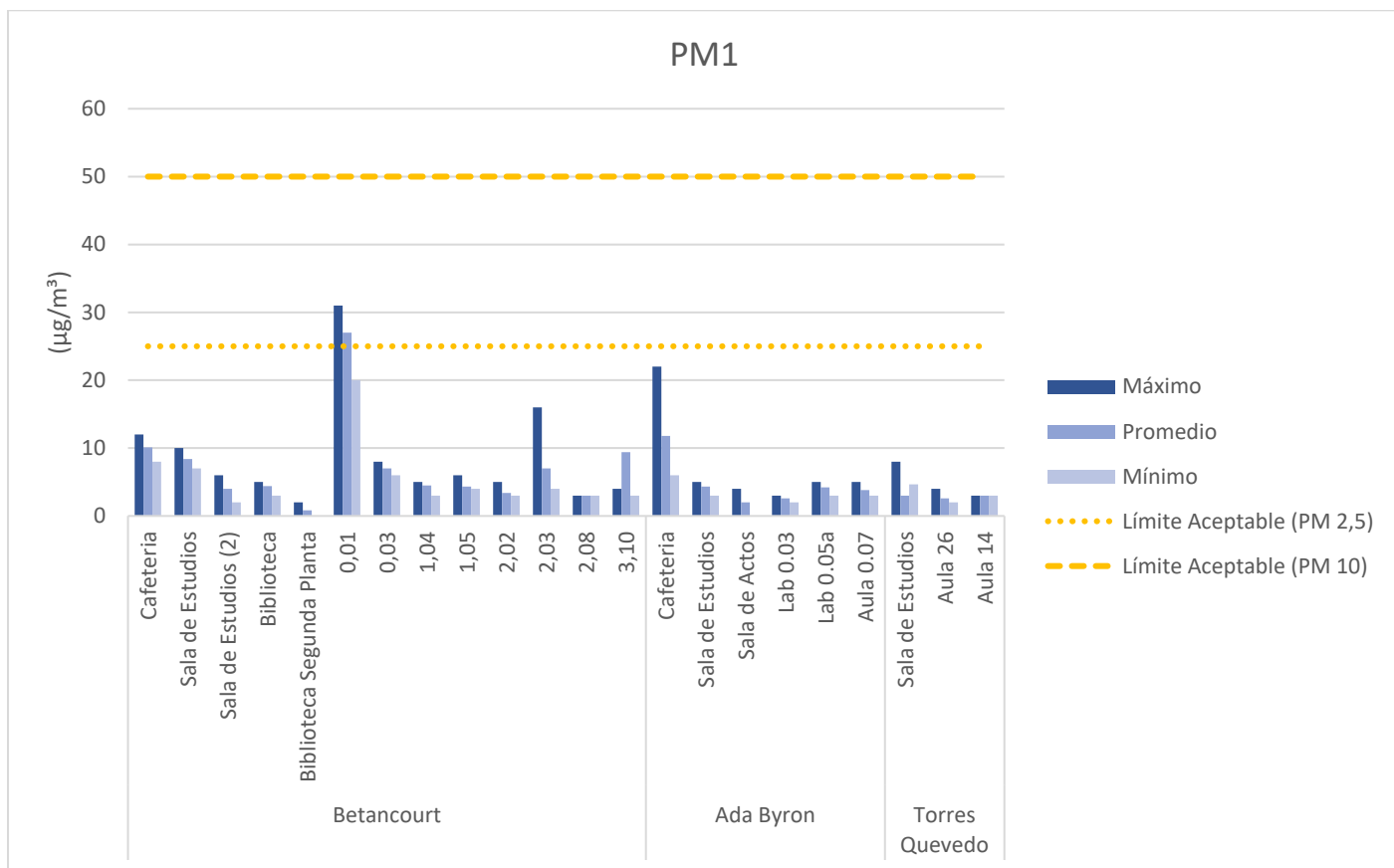


Figura 6. Mediciones de partículas PM 1 en los diferentes espacios. Elaboración propia.

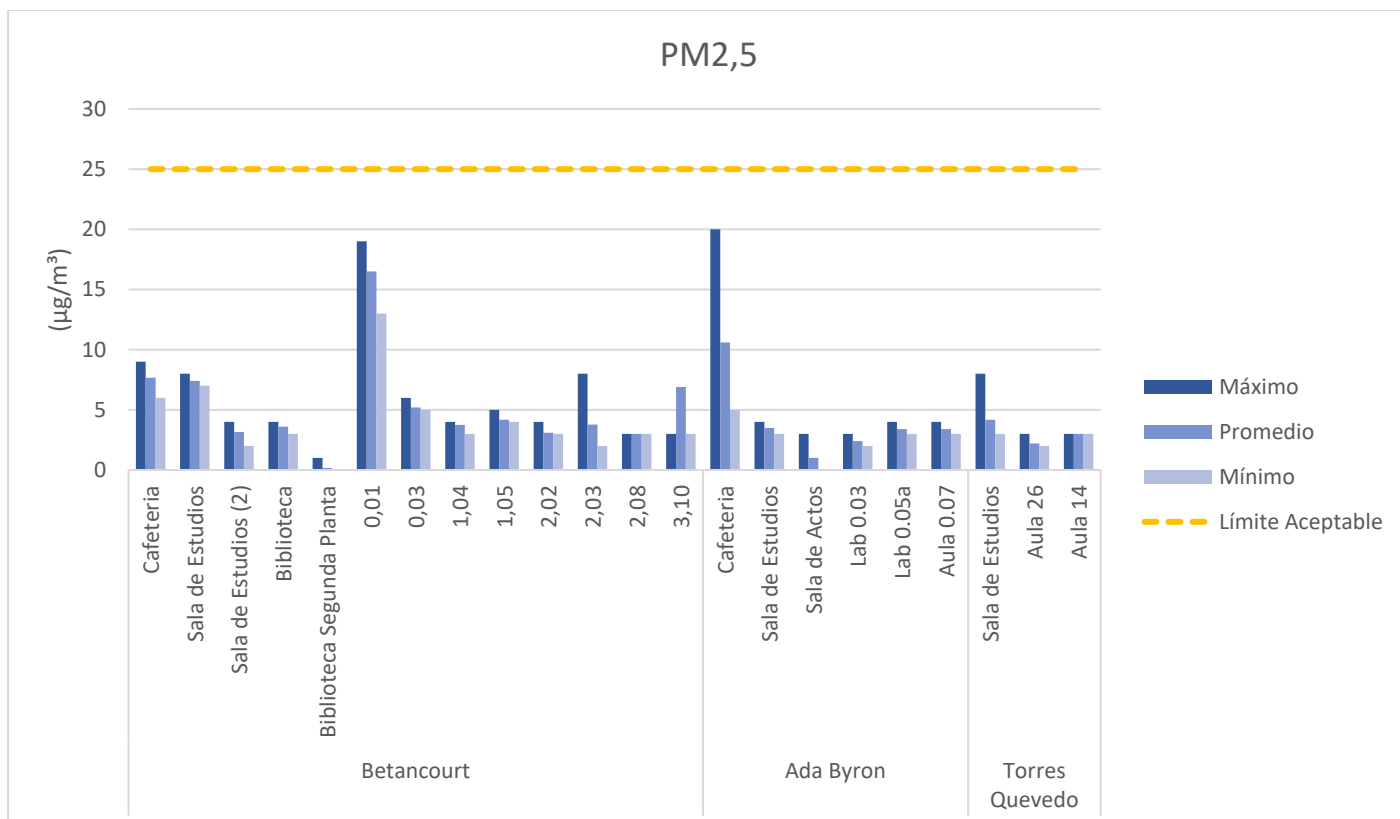


Figura 7. Mediciones de partículas PM 2,5 en los diferentes espacios. Elaboración propia.

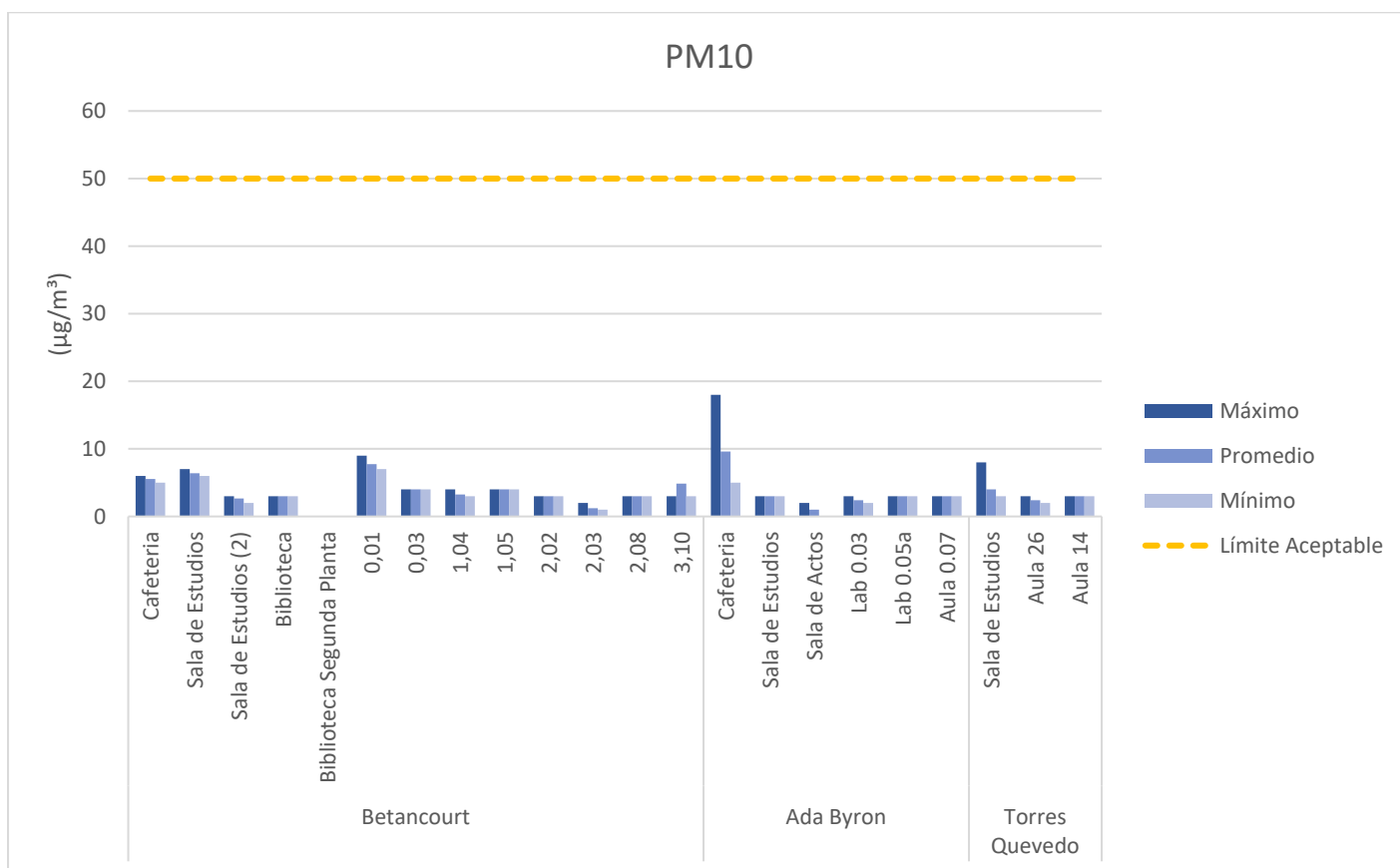


Figura 8. Mediciones de partículas PM 10 en los diferentes espacios. Elaboración propia.

En algunos espacios como la cafería del Ada Byron y el aula 0.01 del edificio Betancourt, se han medido valores mayores de partículas PM 1 y PM 2,5, sin superar los límites recomendados.

Conclusiones

Se han llevado a cabo mediciones en los edificios de la EINA, en las que no se han detectado valores altos de formaldehído y partículas (PM 1, PM 2,5 y PM10). Estos resultados inducen a pensar que el mayor contaminante en los espacios de la EINA es debido a los bioefluentes por la presencia humana. Por ello, a falta de comprobar los niveles de COVs (equipo encendido mínimo 12 horas), se estima que sería **suficiente la medida de CO₂ como indicador de una buena calidad de aire**, ya que indica la cantidad de aire que ya ha sido respirado y del posible riesgo de contagio de enfermedades por vía aérea, mediante aerosoles infectivos.

Líneas de futuro

Sería conveniente repetir las mediciones con un instrumento calibrado en laboratorio, de mayor fiabilidad, y tomar medidas en laboratorios. Sería interesante repetir este estudio con la ventilación mecánica encendida.

Es necesario repetir las medidas de COVs, y observar su dependencia con la temperatura.

Informe 13. Comparativa y estado de los sensores de la plataforma SensoriZAR

1. Objetivo de este estudio
2. Sensores y estado de funcionamiento
3. Conclusiones

1. Objetivo de este estudio

El objetivo de este estudio es realizar una comparativa de los distintos sensores de la plataforma SensoriZAR instalados en la EINA. De estos sensores, se estudiará cuáles funcionan correcta e incorrectamente (no reciben señal o es necesario realizar una calibración).

2. Sensores y estado de funcionamiento

En la tabla siguiente se muestran los tipos de sensores instalados en la EINA, los parámetros que miden y su precio aproximado.






Tipo de sensor	Imagen	Descripción
Aranet4Pro		CO ₂ , temperatura, humedad relativa y presión atmosférica https://www.aranet4.es/ Precio: 300 € Conexión: LoRa
Siemens		CO ₂ , temperatura y humedad relativa https://mall.industry.siemens.com/mall/es/W/Catalog/Products/10277132 Precio: 300 € Conexión: LoRaWan
LHT65		Temperatura y humedad relativa https://www.dragino.com/products/temperature-humidity-sensor/item/151-lht65.html Precio: 50 € Conexión: LoRaWan
SenseCAP		CO ₂ https://www.seedstudio.com/LoRaWAN-CO2-Sensor-EU868-p-4311.html Precio: 150 € Conexión: LoRaWan
DiisCo2 o PAX-CO2		CO ₂ "Hand-made" Precio: En función de materiales (60 €) Conexión: LoRaWan

Tabla 1. Tipos de sensores instalados en la EINA.

Otros sensores que se podrían instalar en los próximos meses son los siguientes:



MICALite		CO ₂ , temperatura, humedad relativa y PM 2,5 https://www.inbiot.es/soluciones/dispositivos-mica/mica-lite Precio: 360-420 € (según cantidad) Conexión: LoRaWan
Milesight AM103		CO ₂ , temperatura, humedad relativa y presión atmosférica https://www.wmsensors.com/ Precio: 265-290 € (según cantidad) Conexión: LoRaWan

Tabla 2. Posibles sensores a instalar

A continuación, en las tablas 3-5, se muestran los diferentes espacios que cuentan con sensor, el tipo de sensor y si éstos funcionan correctamente.

Torres Quevedo	Tipo de sensor	Medida	CO2	T, H	Validez
TQ Sala Estudios	SenseCAP	CO2	NO	-	ERROR
TQ Sala Estudios	LHT65-E1	T, H	-	NO	ERROR
TQ Sala 1 Ordenadores	Aranet4Pro	CO2, T, H	631	SI	CORRECTO
TQ Secretaría EINA	DiisCo2	CO2	NO	NO	ERROR
TQ Móvil 01	Aranet4Pro	CO2, T, H	449	SI	CORRECTO
TQ Móvil 02	Aranet4Pro	CO2, T, H	450	SI	CORRECTO
TQ Aula 19	Aranet4Pro	CO2, T, H	564	SI	CORRECTO
TQ Dirección	Aranet4Pro	CO2, T, H	456	SI	CORRECTO
TQ Aula 17	SenseCAP	CO2	NO	-	ERROR
TQ Aula 16	Aranet4Pro	CO2, T, H	461	SI	CORRECTO
TQ Aula 10	Aranet4Pro	CO2, T, H	446	SI	CORRECTO
TQ Aula 26	Aranet4Pro	CO2, T, H	449	SI	CORRECTO
TQ Aula 25	SenseCAP	CO2	NO	-	ERROR
TQ Aula 21	SenseCAP	CO2	NO	-	ERROR
TQ Aula 21	LHT65-E1	T, H	-	NO	ERROR
TQ Aula 20B	SenseCAP	CO2	NO	-	ERROR
TQ Sala 3 Ordenadores	Aranet4Pro	CO2, T, H	472	SI	CORRECTO
TQ Sala 4 Ordenadores	Aranet4Pro	CO2, T, H	476	SI	CORRECTO
TQ Sala 5 Ordenadores	SenseCAP	CO2	242	-	ERROR
TQ Sala 5 Ordenadores	LHT65-E1	T, H	-	SI	CORRECTO
TQ Aula Taller	SenseCAP	CO2	NO	-	ERROR
TQ Aula Taller	LHT65-E1	T, H	-	NO	ERROR

50%	sensores correctos
11	sensores correctos
22	sensores totales

Tabla 3. Sensores en el edificio Torres Quevedo.

INFORME 13. Comparativa y estado de los sensores de la plataforma SensoriZAR

ADA-BYRON	Tipo de sensor	Medida	CO2	T, H	Validez
Ada Aula A.1	Aranet4Pro	CO2, T, H	478	SI	CORRECTO
Ada Aula A.2	Aranet4Pro	CO2, T, H	497	SI	CORRECTO
Ada Aula A.3	Aranet4Pro	CO2, T, H	467	SI	CORRECTO
Ada Aula A.6	SenseCAP	CO2	NO	-	ERROR
Ada Aula A.6	LHT65-E1	T, H	-	SI	CORRECTO
Ada Aula A.7	Aranet4Pro	CO2, T, H	510	SI	CORRECTO
Ada Lab 0.01	DiisCo2	CO2, T, H	624	SI	CORRECTO
Ada Lab 0.02	DiisCo2	CO2, T, H	639	SI	CORRECTO
Ada Lab 0.03	DiisCo2	CO2, T, H	886	SI	CORRECTO
Ada Lab 0.04	DiisCo2	CO2, T, H	NO	NO	ERROR
Ada Lab 0.05a	DiisCo2	CO2, T, H	446	SI	CORRECTO
Ada Lab 0.05b	DiisCo2	CO2, T, H	679	SI	CORRECTO
Ada Lab 0.06	DiisCo2	CO2, T, H	NO	NO	ERROR
Ada Cafetería	Siemens	CO2, T, H	426	SI	CORRECTO
Ada Móvil 03	Aranet4Pro	CO2, T, H	501	SI	CORRECTO
Ada Móvil 04	Aranet4Pro	CO2, T, H	483	SI	CORRECTO
Ada Pasillo P1	LHT65-E1	T, H	-	SI	CORRECTO
Ada Lab 0.1.02	DiisCo2	T, H	625	SI	CORRECTO
Ada Salón Actos	SenseCAP	CO2	NO	-	ERROR
Ada Salón Actos	LHT65-E1	T, H	-	NO	ERROR
Ada Aula A.21	Aranet4Pro	CO2, T, H	430	SI	CORRECTO
Ada Aula A.22	SenseCAP	CO2	NO	-	ERROR
Ada Aula A.22	LHT65-E1	T, H	-	NO	ERROR
Ada Aula A.23	Aranet4Pro	CO2, T, H	508	SI	CORRECTO
Ada Aula A.24	Aranet4Pro	CO2, T, H	514	SI	CORRECTO
Ada Aula A.25	Aranet4Pro	CO2, T, H	507	SI	CORRECTO
Ada Sala Estudios	SenseCAP	CO2	NO	-	ERROR
Ada Sala Estudios	LHT65-E1	T, H	-	SI	CORRECTO
Ada Lab 4.03	Aranet4Pro	CO2, T, H	450	SI	CORRECTO
Ada Lab 4.02	SenseCAP	CO2	NO	-	ERROR
Ada Lab 4.02	LHT65-E1	T, H	-	SI	CORRECTO

71%	sensores correctos
22	sensores correctos
31	sensores totales

Tabla 4. Sensores en el edificio Ada Byron.

BETANCOURT	Tipo de sensor	Medida	CO2	T, H	Validez
Bet Sala Ordenadores P0	SenseCAP	CO2	NO	-	ERROR
Bet Sala Ordenadores P0	LHT65-E1	T, H	-	SI	CORRECTO
Bet Cafetería	Siemens	CO2, T, H	444	SI	CORRECTO
Bet Sala Estudios Tpollán	Siemens	CO2, T, H	469	SI	CORRECTO
Bet Aula 0.03	DiisCo2	NO	NO	NO	ERROR
Bet Aula 0.02	DiisCo2	NO	NO	NO	ERROR
Bet Aula 0.01	DiisCo2	NO	NO	NO	ERROR
Bet Salón Actos	SenseCAP	CO2	NO	-	ERROR
Bet Salón Actos	LHT65-E1	T, H	-	SI	CORRECTO
Bet Móvil 01	Aranet4Pro	CO2, T, H	652	SI	CORRECTO
Bet Sala Juntas	Aranet4Pro	CO2, T, H	613	SI	CORRECTO
Bet Aula 1.08	Aranet4Pro	CO2, T, H	502	SI	CORRECTO
Bet Aula 1.06	Aranet4Pro	CO2, T, H	458	SI	CORRECTO
Bet Aula 1.04	DiisCo2	CO2, T, H	NO	NO	ERROR
Bet Aula 1.03	Aranet4Pro	NO	518	SI	CORRECTO
Bet Aula 1.01	SenseCAP	CO2	NO	-	ERROR
Bet Aula 1.01	LHT65-E1	T, H	-	SI	CORRECTO
Bet Aula 2.16	Aranet4Pro	CO2, T, H	495	SI	CORRECTO
Bet Aula 2.09	Aranet4Pro	CO2, T, H	516	SI	CORRECTO
Bet Aula 2.07	SenseCAP	CO2	NO	-	ERROR
Bet Aula 2.06	Aranet4Pro	CO2, T, H	425	SI	CORRECTO
Bet Aula 2.05	Aranet4Pro	CO2, T, H	923	SI	CORRECTO
Bet Aula 2.04	Aranet4Pro	CO2, T, H	511	SI	CORRECTO
Bet Aula 2.03	Aranet4Pro	CO2, T, H	451	SI	CORRECTO
Bet Aula 2.02	SenseCAP	CO2	451	SI	CORRECTO
Bet Aula 2.02	LHT65-E1	T, H	-	SI	CORRECTO
Bet Aula 2.01	DiisCo2	CO2, T, H	NO	NO	ERROR

67%	sensores correctos
18	sensores correctos
27	sensores totales

Tabla 5. Sensores en el edificio Betancourt.

Seguidamente se muestra un resumen de los sensores por edificios:

	TORRES QUEVEDO	ADA BYRON	BETANCOURT	TOTAL
% de sensores correctos	50%	71%	67%	63,8%
Sensores correctos	11	22	18	51
Sensores totales	22	31	27	80

Tabla 6. Resumen de sensores por edificios.

Se observa que en promedio, un 64% de los sensores funcionan correctamente. Es importante destacar que en función del tipo de sensor, hay un mayor o menor número de fallos. Por ello, en la figura 1 se recoge el número de sensores que funcionan correcta e incorrectamente y el porcentaje de error, **por tiempo de sensor**.

Se observa que los **Aranet4Pro** y los **Siemens** son los que mejor funcionan. Los sensores SenseCAP tienen un porcentaje de fallo muy alto, del 94%, debido a la corta duración de las baterías y a la dificultad de su reemplazamiento.

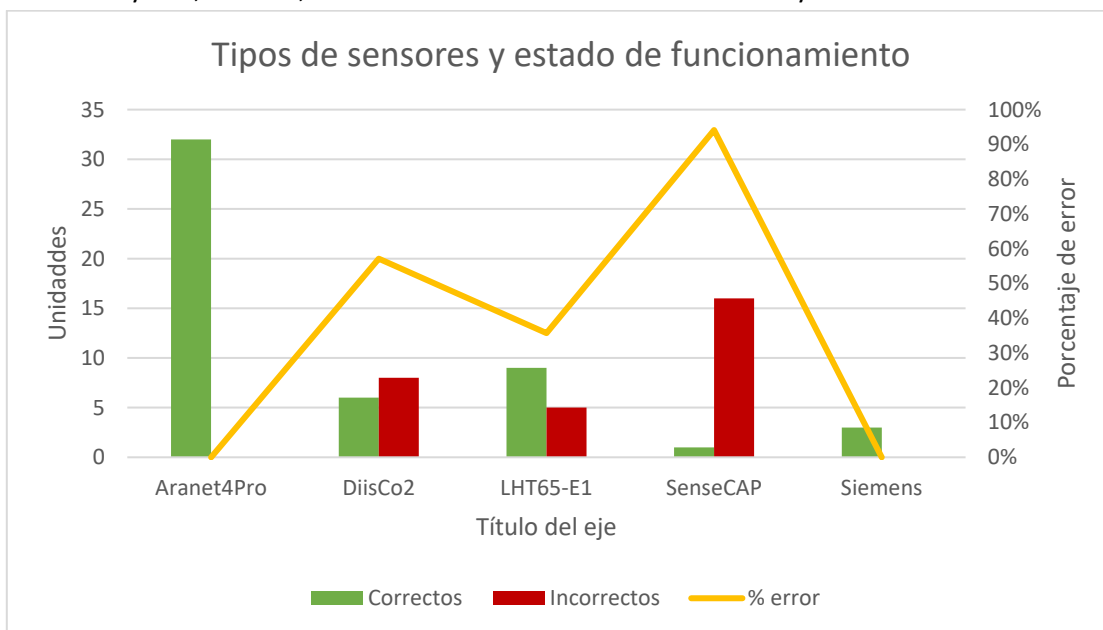


Figura 1. Tipos de sensores y estado de funcionamiento. Elaboración propia.

3. Conclusiones

Puesto que el número de sensores en SensoriZAR va siendo elevado, se ha de tender hacia aquellos más fiables y que presenten un menor mantenimiento. En este aspecto, sería prioritario elegir aquellos que tengan una mayor duración de baterías y que hayan demostrado suficiente fiabilidad como los sensores Aranet4Pro o Siemens.

El problema de Aranet4Pro es que no dispone de conexión LoRaWAN (Low Power Wide Area Network), por eso, se están estudiando otras alternativas como los sensores Milesight y MicaLite, además de Siemens

Informe 14. Estudio de temperaturas e influencia de la refrigeración en el edificio Betancourt.

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

1. Objetivo de este estudio

El objetivo de este estudio es realizar una comparativa de la evolución de la temperatura en diferentes espacios del edificio Betancourt, para observar la influencia de la climatización y verificar si las temperaturas se encuentran dentro del margen normativo. Se estudiarán datos de SensoriZAR de los espacios que disponen de sensores Aranet4Pro, entre el 13 y 17 de junio de 2022.

2. Estudio de temperaturas

En las figura 1 a 3 se representan la ubicación de las aulas estudiadas. De la primera planta del edificio Betancourt, se han estudiado las aulas 1.06 y 1.08 y de la segunda planta, las aulas 2.03 a 2.06. Se ha estudiado también las sala de estudios Tomás Pollán.



Figura 1. Detalle de la planta primera del edificio Betancourt. Fuente: SIGEUZ

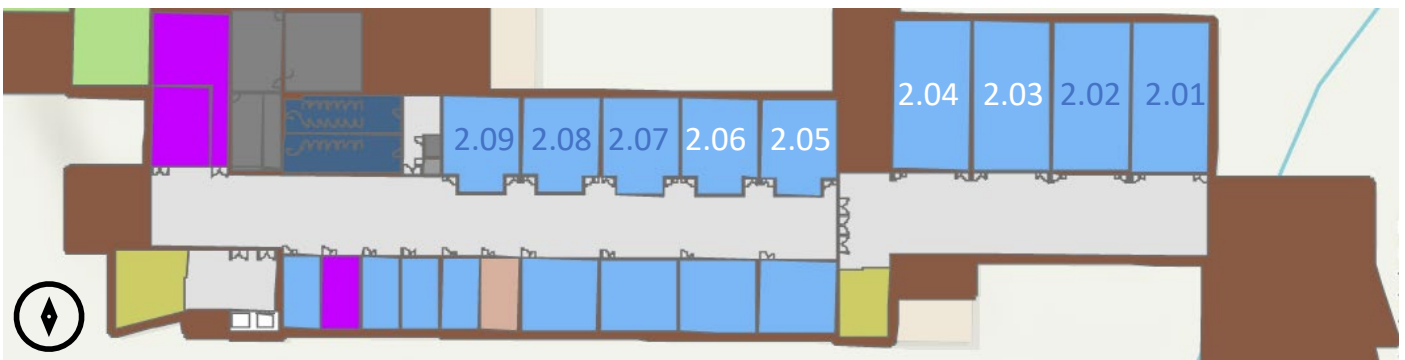


Figura 2. Detalle de la planta segunda del edificio Betancourt. Fuente: SIGEUZ



Figura 3. Detalle de la planta baja del edificio Betancourt. Fuente: SIGEUZ

A continuación, se representa gráficamente la evolución de las temperaturas entre el 13 y 17 de junio de 2022 de las aulas estudiadas. Se ha marcado la franja horaria en la que se conecta la climatización cada uno de estos días.

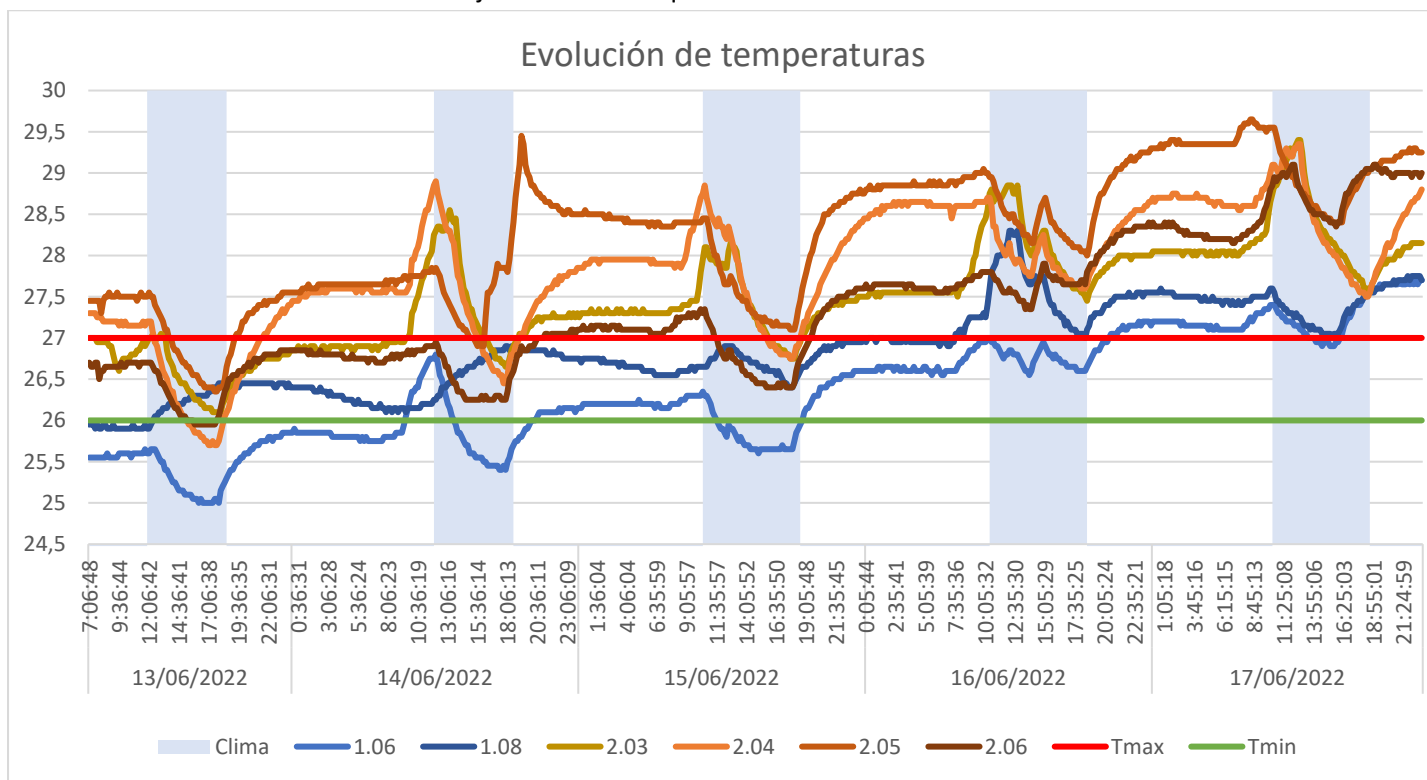


Figura 4. Evolución de la temperatura en aulas de la primera y segunda planta del edificio Betancourt. Elaboración propia.

Se observa que las aulas de la planta primera presentan unas temperaturas menores que las de la planta segunda. De hecho, el aula 1.06 es climatizada por debajo de los 26°C (RD 1826/2009), entre el lunes y miércoles. Por otra parte, la temperatura va aumentando a lo largo de la semana y al final de ésta, se supera la temperatura máxima de 27°C establecida en la normativa laboral (RD 486/1997) en todas las aulas, a pesar de estar la climatización encendida. Al conectarse la climatización, se observa un descenso de la temperatura en las aulas, aunque en la mayoría de los casos no es suficiente para bajar la temperatura por debajo de 27°C o se consigue al final de la jornada. Destaca el aula 2.05, puesto que pese a ser un aula pequeña, llega a alcanzar temperaturas superiores a las de las aulas grandes (2.03 y 2.04). Esto puede ser debido a una ocupación mayor.

Respecto a la sala Tomás Pollán, se ha observado que la temperatura sigue aumentando a pesar de la conexión de la climatización, alcanzando valores de hasta 31°C (ver figura 5). Ello induce a pensar que hay una avería en el sistema de climatización de la sala o que la carga térmica (ocupantes, radiación solar...) es demasiado alta para éste. Se propone revisar los sistemas de climatización de esta sala y colocar cortinas que permitan el paso de la luz pero no de la radiación solar en verano.

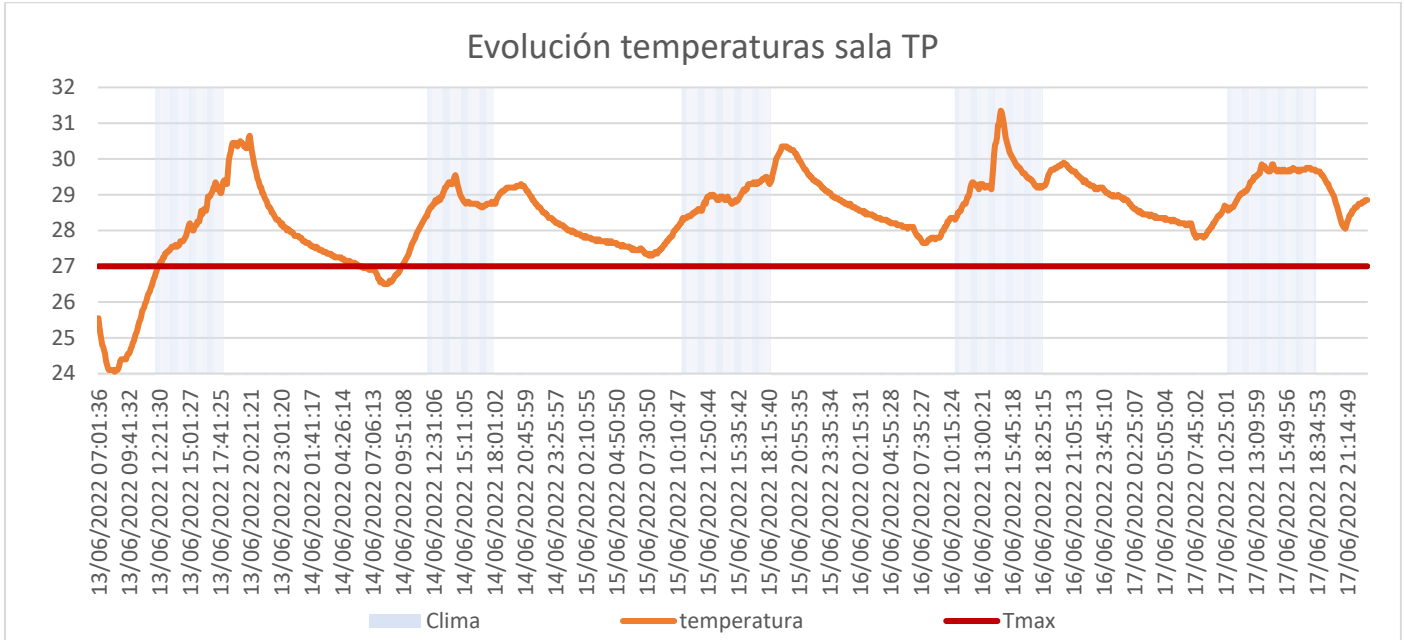


Figura 5. Evolución de la temperatura en la sala Tomás Pollán. Elaboración propia

En la figura 6 se recoge la evolución de las temperaturas de las aulas y de la sala Tomás Pollán, junto con la temperatura exterior. Debido a las altas temperaturas exteriores, el edificio se ha ido calentando progresivamente a lo largo de la semana.

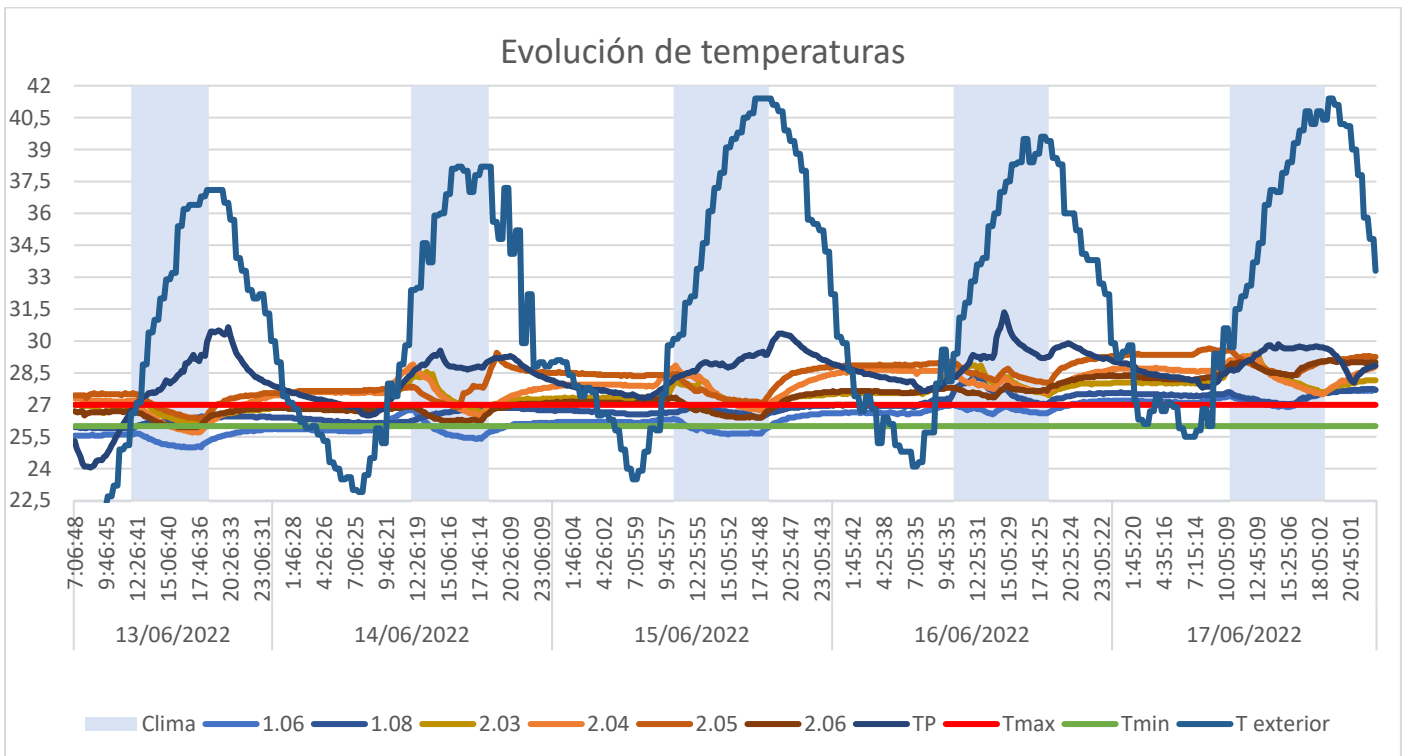


Figura 6. Evolución de la temperatura en espacios del edificio Betancourt. Elaboración propia.

El incremento de temperatura desde la conexión hasta la desconexión de la climatización se ha representado en la figura 7. En la mayoría de las aulas hay un descenso en la temperatura ambiental, aunque en aulas como la 1.08, hay un incremento de la temperatura (lunes y martes), por una alta ocupación, por mantener las ventanas abiertas o porque la capacidad frigorífica del sistema es insuficiente. La sala Tomás Pollán presenta incrementos positivos de temperatura todos los días de la semana de hasta 3°C.

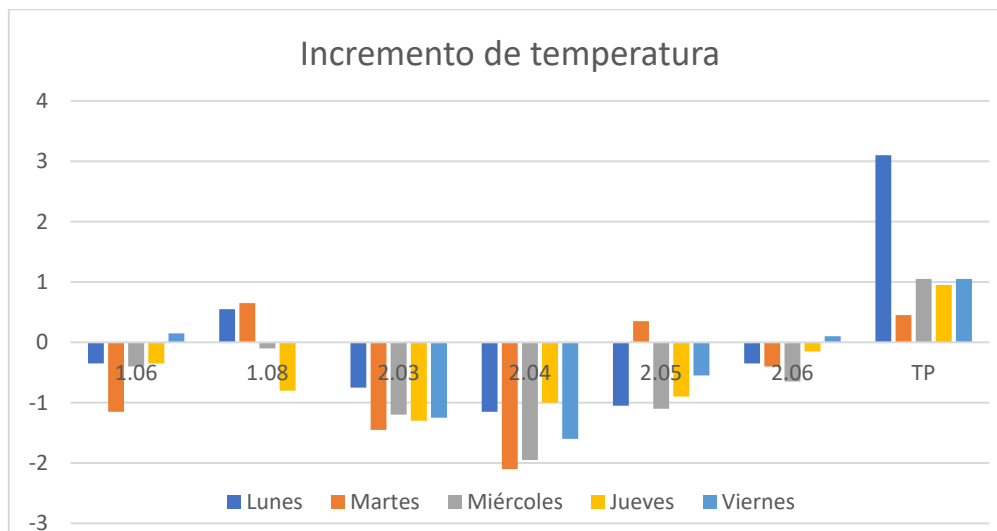


Figura 7. Incremento de temperaturas desde la conexión hasta la desconexión de la climatización. Elaboración propia.

3. Conclusiones

Se ha observado que las aulas de la segunda planta son más calurosas que las de la primera planta, por lo que se recomienda, siempre que sea posible, programar eventos (docencia, exámenes) en planta primera antes que en planta segunda.

En días de altas temperaturas exteriores, el sistema de climatización no es capaz de reducir la temperatura ambiental por debajo de 27°C, o se consigue al final de la jornada. Esto es un indicativo de que las bombas de calor no tienen la capacidad frigorífica necesaria, debido a la avería de compresores, y el agua suministrada a los fancoils está a una temperatura mayor.

Por otra parte, en la sala de estudios Tomás Pollán, se ha observado un mal funcionamiento de la climatización, debido a que se alcanzan altas temperaturas y la temperatura no disminuye al conectar la climatización. Las causas pueden ser: avería en el sistema, una capacidad frigorífica insuficiente o cargas térmicas elevadas (ocupantes, radiación solar...). Gracias a SensoriZAR, es posible detectar incidencias y comprobar el funcionamiento de los sistemas de climatización.

4. Líneas de futuro

1. Realizar un estudio similar en la planta tercera, para comprobar si las temperaturas son todavía mayores que en la planta segunda.
2. Revisar los sistemas de climatización de la sala de estudios Tomás Pollán. Una solución para no alcanzar altas temperaturas sería colocar cortinas que permitan el paso de la luz, pero no de la radiación solar en verano.
3. Debido a la baja capacidad frigorífica del sistema, sería conveniente sustituir los compresores averiados o reemplazar las bombas de calor, si fuera necesario.
4. Sectorizar por aulas, o en su defecto por plantas. Esto supone un ahorro de energía y una mayor capacidad para enfriar los espacios ocupados.

Anexo 2. Programa Java.

En este anexo se adjunta el código del programa Java generado para el análisis de datos de temperatura y CO₂.

```
package sensorizar;
import java.util.Scanner;

import java.io.PrintStream;
import java.io.File;

public class prueba {

    public static void main(String[] args) {
        Scanner input = new Scanner(System.in);
        //directorios de lectura y escritura
        String directorio = "G:\\Mi unidad\\Universidad\\4º\\CUATRIMESTRE
2\\Becas\\Trabajo\\Programa\\datos203.txt";
        String directorio2 = "G:\\Mi unidad\\Universidad\\4º\\CUATRIMESTRE
2\\Becas\\Trabajo\\Programa\\calculos.txt";

        int longitud = Longitud(directorio);
        Parametros[] año = new Parametros[longitud];
        año = LeerAño(año, directorio,longitud); //lee los datos del fichero prueba de todo el mes
        CalculosAño(año, directorio2);

        //for (int i = 0; i < longitud; i = i + 1) {
        //MostrarDatos(año, i);
        //}

    }

    //leer datos de temperaturas, CO2... a lo largo de un mes
    public static Parametros[] LeerAño(Parametros[] año, String directorio,int longitud) {
        File f = new File(directorio);
        try {
            Scanner input = new Scanner(f);
            int contador = 0;
            input.nextLine();
            while (input.hasNext()&contador<longitud) {
                Parametros datos = new Parametros();
                datos.dia = input.next();
                datos.hora = input.next();
                datos.temperatura = input.nextDouble();
                try {
                    datos.CO2 = input.nextInt();
                } catch (Exception e) {
                    datos.CO2=0;
                }
                año[contador] = datos;
                contador = contador + 1;
            }
        }
        catch (Exception e) {
            System.out.println("F2-Archivo no encontrado");
        }
        return año;
    }

    public static void CalculosAño(Parametros[] Año, String directorio2) {
        for (int i=1;i<=12;i=i+1) {
            int datos=0;
        }
    }
}
```



```
int cont=0;
try {
    datos=ParametrosMes(Año,i);
    cont=BuscaMes(Año,i);
    Parametros[] Mes = new Parametros[datos];
    //datos del día
    for (int cont1=0;cont1<datos;cont1=cont1+1) {
        Mes[cont1]=Año[cont];
        //MostrarDatos(Mes, cont);
        cont = cont+1;
    }
    String [][] pendiente = CalculosMes(Mes,datos); //calcula pendiente y la almacena en
matriz pendiente + fecha
    System.out.println(i);
    int dias_mes=Integer.parseInt(Mes[Mes.length-1].dia.substring(0,2))+1;//último día del
mes
    guarda (pendiente,"G:\\Mi unidad\\Universidad\\4º\\CUATRIMESTRE
2\\Becas\\Trabajo\\Programa\\calculos"+i+".txt",dias_mes); //guarda cálculos + fecha en archivo
}catch (Exception e) {
}
}

//calcular longitud archivo
public static int Longitud(String directorio) {
    int longitud = 0;
    File f = new File(directorio);
    try {
        Scanner input = new Scanner(f);
        input.nextLine();
        while (input.hasNextLine()) {
            longitud = longitud + 1;
            input.nextLine();
        }
        longitud=longitud;
        //System.out.println("long"+longitud);
    } catch (Exception e) {
        System.out.println("F1 - Archivo no encontrado");
    }
    return longitud;
}

// Función: MOSTRAR POR PANTALLA DATOS
public static void MostrarDatos(Parametros[] mes, int diaAMostrar) {
    System.out.println("Día = " + mes[diaAMostrar].dia + ", hora = " + mes[diaAMostrar].hora
+ ", temperatura = " + mes[diaAMostrar].temperatura+ ", CO2 = " +
mes[diaAMostrar].CO2);
}

//calcular la pendiente térmica de un día desde que se conecta la climatización. Esta función no se ha
implementado.
public static double Pendiente(Parametros[] dia, int datos) {
    double Tmin=0;
    double Pendiente=0;

    Tmin=dia[0].temperatura;
    double Tconsigna=0;
    String t_Tmin="0";
    String t_consigna="0";
    //int contador_Tmin=11;
```

```
//Calcula Tmin y tiempo(Tmin)
int apertura=BuscaHora(dia,5);
for (int i=apertura; i < datos/2; i = i + 1) { //alcanza Tconsigna desde que se enciende la
clima hasta mitad del día máximo
    if (dia[i].temperatura<=Tmin) {
        Tmin=dia[i].temperatura;
        t_Tmin=dia[i].hora;
        //contador_Tmin=contador_Tmin+1;
    }
}

double Consigna=20;
boolean AlcanzaConsigna=false;
//calcula tiempo alcanzar consigna (20°C)
for (int i=apertura; i < datos-1; i = i + 1) {
    if (dia[i].temperatura<Consigna) {
        Tconsigna=0;
    }
    if (dia[i].temperatura>Consigna & dia[i].temperatura>Tmin) {
        Tconsigna=dia[i].temperatura;
        t_consigna=dia[i].hora;
        AlcanzaConsigna=true;
        break;
    }
}
//Incremento de tiempo
double tiempo=0;
if (AlcanzaConsigna) {
    tiempo=CalculaTiempo(t_Tmin,t_consigna)*60;
    tiempo=Math.round(tiempo*10000.0)/10000.0;
}
Pendiente=((Tconsigna-Tmin)/tiempo);
Pendiente=Math.round(Pendiente*10000.0)/10000.0;
return Pendiente;
}

public static double CalculaTiempo (String ti, String tf) {
    double tiempo=0;
    int hora_i=0;
    int minuto_i=0;
    int segundo_i=0;
    int hora_f=0;
    int minuto_f=0;
    int segundo_f=0;
    try {
        hora_i=Integer.parseInt(ti.substring(0,2));
        minuto_i=Integer.parseInt(ti.substring(3,5));
        segundo_i=Integer.parseInt(ti.substring(6,8));
    } catch (Exception e) {
        hora_i=Integer.parseInt(ti.substring(0,1));
        minuto_i=Integer.parseInt(ti.substring(2,4));
        segundo_i=Integer.parseInt(ti.substring(5,7));
    }
    try {
        hora_f=Integer.parseInt(tf.substring(0,2));
        minuto_f=Integer.parseInt(tf.substring(3,5));
        segundo_f=Integer.parseInt(tf.substring(6,8));
    } catch (Exception e) {
        hora_f=Integer.parseInt(tf.substring(0,1));
        minuto_f=Integer.parseInt(tf.substring(2,4));
        segundo_f=Integer.parseInt(tf.substring(5,7));
    }
}
```

```
        tiempo=(hora_f-hora_i)*3600+(minuto_f-minuto_i)*60+(segundo_f-segundo_i);//segundos
        tiempo=tiempo/3600;//horas
        return tiempo;
    }

    public static String [][] CalculosMes(Parametros[] mes, int longitud) {
        //Pendiente por días
        int Fecha=Integer.parseInt(mes[0].dia.substring(0,2)); //día 1 del mes
        String [][] pendientes=new String [9][Integer.parseInt(mes[mes.length-
1].dia.substring(0,2))+1];

        //días mes
        for (int
i=Integer.parseInt(mes[0].dia.substring(0,2));i<=Integer.parseInt(mes[mes.length-1].dia.substring(0,2));i=i+1) {
            int datos=ParametrosDia(mes,i);
            int cont=BuscaDia(mes,i);
            //System.out.println("fecha "+mes[cont].dia);
            //System.out.println(datos+" "+cont+" "+i);

            Parametros[] dia = new Parametros[datos];
            //datos de del día
            for (int cont1=0;cont1<datos;cont1=cont1+1) {
                dia[cont1]=mes[cont];
                //MostrarDatos(mes, cont);
                cont = cont+1;
            }
            pendientes [1][i]=mes[cont-1].dia;
            if (datos>100) {
                try {
                    double pendiente=Pendiente(dia,datos);
                    if (pendiente<0) {
                        pendientes [0][i]="Ti>Tf";
                    } else {
                        pendientes [0][i]=String.valueOf(pendiente);
                    }
                } catch (Exception e){
                    pendientes [0][i]="ErrCalc";
                }
                pendientes [2][i]=String.valueOf(CO2max(dia,datos));
                pendientes [5][i]=String.valueOf(Tiempo_CO2alto(dia,datos));
                pendientes [3][i]=String.valueOf(Tmax(dia,datos));
                pendientes [8][i]=String.valueOf(hora_Tmax(dia,datos));
                pendientes [4][i]=String.valueOf(Tmin(dia,datos));
                pendientes [6][i]=String.valueOf(Tiempo_Talto(dia,datos));
                pendientes [7][i]=String.valueOf(Tiempo_Tbajo(dia,datos));

                //System.out.println(pendientes [0][i]+" "+pendientes [1][i]+"
"+pendientes [2][i]);

                try {
                    //escribe cada día del mes
                    Fecha=Integer.parseInt(mes[cont].dia.substring(0,2));
                    //System.out.println(" ");
                } catch (Exception e) {
                    break;
                }
            } else {
                pendientes [0][i]="Registros insuficientes";
                //System.out.println(pendientes [0][i]+" "+pendientes [1][i]);
            }
        }
        return pendientes;
    }
}
```

```
//Calcula el número de filas de datos que se han almacenado un día
public static int ParametrosDia(Parametros[] mes, int fecha) {
    int pos=BuscaDia(mes, fecha);
    //System.out.println("pos "+pos+" fecha"+fecha);

    int cont=0;
    int fecha_siguiente=Integer.parseInt(mes[pos].dia.substring(0,2));
    while (fecha==fecha_siguiente&pos<mes.length) {
        fecha_siguiente=Integer.parseInt(mes[pos].dia.substring(0,2)); //día
        pos=pos+1;
        cont=cont+1;
    }
    if (cont>0) {
        cont=cont-1;
    }
    return cont;
}

//Busca la posición de un día concreto
public static int BuscaDia(Parametros[] mes, int fecha) {
    int cont=0;
    int fecha_siguiente=Integer.parseInt(mes[cont].dia.substring(0,2));
    while (fecha>fecha_siguiente) {
        fecha_siguiente=Integer.parseInt(mes[cont].dia.substring(0,2)); //día
        cont=cont+1;
    }
    if (cont>0) {
        cont=cont-1;
    }
    return cont;
}

public static int BuscaHora(Parametros[] dia, int hora) {
    int cont=0;
    int hora_siguiente=0;
    while (hora!=hora_siguiente) {
        try {
            hora_siguiente=Integer.parseInt(dia[cont].hora.substring(0,2));
        }catch (Exception e) {
            hora_siguiente=Integer.parseInt(dia[cont].hora.substring(0,1));
        }
        cont=cont+1;
    }
    if (cont>0) {
        cont=cont-1;
    }
    return cont;
}

//Calcula el número de filas de datos que se han almacenado un mes
public static int ParametrosMes(Parametros[] Año, int mes) {
    int pos=BuscaMes(Año, mes);
    //System.out.println("pos "+pos+" fecha"+fecha);

    int cont=0;
    int mes_siguiente=Integer.parseInt(Año[pos].dia.substring(3,5));
    while (mes==mes_siguiente&pos<Año.length) {
        mes_siguiente=Integer.parseInt(Año[pos].dia.substring(3,5)); //mes
        pos=pos+1;
        cont=cont+1;
    }
    if (cont>0) {
        cont=cont-1;
    }
    return cont;
}
}
```

```
//Busca la posición de un mes concreto
public static int BuscaMes(Parametros[] Año, int mes) {
    int cont=0;
    int mes_siguiente=Integer.parseInt(Año[cont].dia.substring(3,5));
    while (mes!=mes_siguiente) {
        mes_siguiente=Integer.parseInt(Año[cont].dia.substring(3,5)); //día
        cont=cont+1;
    }
    if (cont>0) {
        cont=cont-1;
    }
    return cont;
}

public static int CO2max (Parametros dia[], int datos){
    int CO2maximo=0;
    int apertura=BuscaHora(dia,8);
    int cierre=BuscaHora(dia,21);
    for (int i=apertura; i < cierre; i = i + 1) {
        if (dia[i].CO2>CO2maximo) {
            CO2maximo=dia[i].CO2;
        }
    }
    //System.out.println("CO2 máximo diario: "+CO2maximo);
    return CO2maximo;
}

public static int CO2min (Parametros dia[], int datos){
    int CO2minimo=3000;
    int apertura=BuscaHora(dia,8);
    int cierre=BuscaHora(dia,21);
    for (int i=apertura; i < cierre; i = i + 1) {
        if (dia[i].CO2<CO2minimo) {
            CO2minimo=dia[i].CO2;
        }
    }
    //System.out.println("CO2 máximo diario: "+CO2maximo);
    return CO2minimo;
}

public static double Tmax (Parametros dia[], int datos){
    double Tmax=0;
    int apertura=BuscaHora(dia,8);
    int cierre=BuscaHora(dia,21);
    for (int i=apertura; i < cierre; i = i + 1) {
        if (dia[i].temperatura>Tmax) {
            Tmax=dia[i].temperatura;
        }
    }
    //System.out.println("Temperatura máxima: "+Tmax);
    return Tmax;
}

public static String hora_Tmax (Parametros dia[], int datos){
    double Tmax=0;
    String t_Tmax="0";
    int apertura=BuscaHora(dia,9);
    int cierre=BuscaHora(dia,21);
    for (int i=apertura; i < cierre; i = i + 1) {
        if (dia[i].temperatura>Tmax) {
            Tmax=dia[i].temperatura;
            t_Tmax=dia[i].hora;
        }
    }
    //System.out.println("Temperatura máxima: "+Tmax);
    return t_Tmax;
}
```

```
public static double Tmin (Parametros dia[], int datos){
    double Tmin=30;
    int apertura=BuscaHora(dia,9);
    int cierre=BuscaHora(dia,21);
    for (int i=apertura; i < cierre; i = i + 1) {
        if (dia[i].temperatura<Tmin) {
            Tmin=dia[i].temperatura;
        }
    }
    //System.out.println("Temperatura máxima: "+Tmax);
    return Tmin;
}

public static double Tiempo_CO2alto (Parametros dia[], int datos){
    double tiempo=0.0;
    int apertura=BuscaHora(dia,8);
    int cierre=BuscaHora(dia,21);
    for (int i=apertura; i < cierre; i = i + 1) {
        if (dia[i].CO2>800) {
            tiempo=CalculaTiempo(dia[i].hora,dia[i+1].hora)+tiempo;
        } if (dia[i].CO2>800&&dia[i+1].CO2==0) {
            tiempo=CalculaTiempo(dia[i].hora,dia[i+1].hora)+tiempo;
            dia[i+1].CO2=801;
        }
        //System.out.println(dia[i].dia+" "+dia[i].hora+" "+tiempo);
    }
    //System.out.println("CO2 máximo diario: "+CO2maximo);
    tiempo=Math.round(tiempo*10000.0)/10000.0;
    return tiempo;
}

public static double Tiempo_Talto (Parametros dia[], int datos){
    double tiempo=0.0;
    int apertura=BuscaHora(dia,8);
    int cierre=BuscaHora(dia,21);
    for (int i=apertura; i < cierre; i = i + 1) {
        if (dia[i].temperatura>21) {
            tiempo=CalculaTiempo(dia[i].hora,dia[i+1].hora)+tiempo;
        } if (dia[i].temperatura>21&&dia[i+1].temperatura==0) {
            tiempo=CalculaTiempo(dia[i].hora,dia[i+1].hora)+tiempo;
            dia[i+1].temperatura=21.1;
        }
        //System.out.println(dia[i].dia+" "+dia[i].hora+" "+tiempo);
    }
    //System.out.println("CO2 máximo diario: "+CO2maximo);
    tiempo=Math.round(tiempo*10000.0)/10000.0;
    return tiempo;
}

public static double Tiempo_Tbajo (Parametros dia[], int datos){
    double tiempo=0.0;
    int apertura=BuscaHora(dia,8);
    int cierre=BuscaHora(dia,21);
    for (int i=apertura; i < cierre; i = i + 1) {
        if (dia[i].temperatura<17) {
            tiempo=CalculaTiempo(dia[i].hora,dia[i+1].hora)+tiempo;
        } if (dia[i].temperatura<17&&dia[i+1].temperatura==0) {
            tiempo=CalculaTiempo(dia[i].hora,dia[i+1].hora)+tiempo;
            dia[i+1].temperatura=16.9;
        }
        //System.out.println(dia[i].dia+" "+dia[i].hora+" "+tiempo);
    }
    //System.out.println("CO2 máximo diario: "+CO2maximo);
    tiempo=Math.round(tiempo*10000.0)/10000.0;
    return tiempo;
}
```



```
public static void guarda(String [][]pendientes, String directorio2, int dias_mes) {
    File f = new File(directorio2);
    try {
        PrintStream output = new PrintStream(f);
        output.println("Fecha:\t\tCO2max:\tT_CO2:\tTmax:\tT_Tmax:\tTmin:\tT_Tmin:\tHora_Tmax:");
        for (int i = 1; i < dias_mes; i = i + 1) {
            String
cadena=pendientes[1][i]+\t"+pendientes[2][i]+\t"+pendientes[5][i]+\t"+pendientes[3][i]+\t"+pendientes[6][i]+\t"+
t"+pendientes[4][i]+\t"+pendientes[7][i]+\t"+pendientes[8][i];
            output.println(cadena);
        }
    } catch (Exception e) {
        System.out.println("Error al guardar archivo");
    }
}
```

```
package sensorizar;
```

```
public class Parametros {
    public String dia;
    public String hora;
    public double temperatura;
    public int CO2;
}
```

