

Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

Análisis de la calidad ambiental de espacios docentes del CUD-ENM. Propuesta de opciones de mejora.

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: Guillermo Cervantes Saura

DIRECTORES: Alicia Vázquez Carpentier

Pedro Jesús Carrasco Pena

CURSO ACADÉMICO: 2022-2023

Universidade Vigo

Centro Universitario de la Defensa
en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

Análisis de la calidad ambiental de espacios docentes del CUD-ENM. Propuesta de opciones de mejora.

Grado en Ingeniería Mecánica

Intensificación en Tecnología Naval

Cuerpo General / Infantería de Marina

RESUMEN

La calidad ambiental en espacios interiores es un factor que pasa desapercibido y al que no se le da la importancia necesaria debido al desconocimiento y falta de concienciación. Como consecuencia, en muchos espacios no se respetan los niveles adecuados para lograr una buena calidad ambiental, repercutiendo en la salud de las personas. La reciente pandemia del virus SARS-CoV-2 ha provocado un aumento del interés en cuanto al mantenimiento y mejoría de la calidad ambiental en interiores, pero sigue sin ser suficiente.

Este TFG es un estudio de la calidad ambiental, mediante el análisis de la concentración de CO_2, entre otros parámetros, en espacios docentes del CUD-ENM, para determinar el cumplimiento de los niveles establecidos para una correcta calidad del aire interior. Los parámetros se midieron mediante equipos IoT a lo largo de un periodo de 27 días, lo que nos ha permitido conformar una base de datos para los 5 espacios analizados de más de 180000 datos.

Hemos analizado con herramientas estadísticas datos, entre otros, de niveles de ocupación, temperatura ambiente y concentración de CO_2, para determinar la calidad ambiental y definir las posibles actuaciones para la mejora de la calidad ambiental en estos espacios.

PALABRAS CLAVE

Control ambiental (CO_2), espacios docentes CUD, calidad del aire, análisis estadístico.

AGRADECIMIENTOS

Mis primeras palabras de agradecimiento van dirigidas a mi familia, a mis padres y a mi hermano y hermana mayores. Gracias a su educación, sacrifico y dedicación soy la persona que actualmente ven. Todos ellos han sido un ejemplo a seguir para mí.

Por otro lado, me gustaría agradecer a todos mis compañeros de promoción, con los cuales he compartido casi todo el tiempo en estos últimos 5 años y estoy seguro de que sin ellos no estaría en el punto en el que me encuentro ahora.

Por supuesto, agradecer a mis tutores del TFG, tanto a Alicia Vázquez Carpentier como al TN Pedro Carrasco Pena por su profesionalidad, ayuda y guía durante estos meses ya que sin ellos no hubiera sido posible la realización de este trabajo.

CONTENIDO

Contenido 1

Índice de Figuras 5

Índice de Tablas 7

1 Introducción y objetivos 9

1.1 Motivación del trabajo 9

1.1.1 El aire exterior 9

1.1.2 El aire interior 11

1.1.3 El aire en espacios docentes de la Escuela Naval Militar 12

1.2 Objetivos 13

1.3 Metodología 13

2 Estado del arte 15

2.1 Calidad ambiental en interiores 15

2.1.1 Calidad del aire según la norma UNE 171330 16

2.1.2 Factores que afectan a la calidad ambiental interior 17

2.1.3 Efecto de la ventilación en interiores 18

2.2 Importancia del CO_2 21

2.2.1 Niveles de CO_2 en interiores 22

2.3 Problemas de salud debido a la calidad del aire 23

2.3.1 Virus SARS-CoV-2 24

2.4 Dispositivo de medición de CO_2 25

2.4.1 Dispositivo utilizado en este estudio 26

2.5 Análisis bidimensional 28

2.5.1 Coeficiente de correlación de Pearson 28

3 Elección y estudio de los espacios 31

3.1 Estudio en aulas 32

3.1.1 Dimensiones y distribución 32

3.1.2 Ocupación y horario 33

3.1.3 Base de datos 34

3.2 Estudio en seminarios 35

3.2.1 Dimensiones y distribución del seminario 1 35

3.2.2 Ocupación y horario del seminario 1 36

3.2.3 Base de datos seminario 1 37

3.2.4 Dimensiones y distribución del seminario 2 37

3.2.5 Ocupación y horario del seminario 2 38
3.2.6 Base de datos del seminario 2 39
3.3 Estudio en despachos 39
3.3.1 Dimensiones y distribución 40
3.3.2 Ocupación y horario 41
3.3.3 Base de datos 41
3.4 Estudio en oficinas 42
3.4.1 Dimensiones y distribución 42
3.4.2 Ocupación y horario 43
3.4.3 Base de datos 44
4 Análisis y resultados 45
4.1 Análisis de datos del aula 10 45
4.1.1 Análisis de las Correlaciones de Pearson 45
4.1.2 Análisis general de la concentración de CO_2 50
4.1.3 Análisis puntual de la concentración de CO_2 52
4.1.4 Soluciones y medidas 54
4.2 Análisis de datos del seminario 1 y 2 55
4.2.1 Análisis de las correlaciones de Pearson 55
4.2.2 Análisis general de la concentración de CO_2 62
4.2.3 Análisis puntual de la concentración de CO_2 63
4.2.4 Soluciones y medidas 64
4.3 Análisis de datos en el despacho 109 64
4.3.1 Análisis de las correlaciones de Pearson 64
4.3.2 Análisis general de la concentración de CO_2 69
4.3.3 Análisis puntual de la concentración de CO_2 71
4.3.4 Soluciones y medidas 72
4.4 Análisis de datos en la secretaría económica del CUD 73
4.4.1 Análisis de las correlaciones de Pearson 73
4.4.2 Análisis general de la concentración de CO_2 78
4.4.3 Análisis puntual de la concentración de CO_2 79
4.4.4 Soluciones y medidas 80
5 Conclusiones y líneas futuras 81
5.1 Conclusiones 81
5.2 Líneas futuras 83
6 Bibliografía 85

Anexo I: Implicaciones Sociales, y/o Económicas, y/o Ambientales 87

Anexo II: Reflexiones Éticas y Sociales 89

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Niveles establecidos por la OMS 10
Figura 2 Noticia de la sanción de la UE 11
Figura 3 Ejemplo del horario de los alumnos de quinto curso 13
Figura 4 Diagrama de flujo de la metodología 14
Figura 5 Fuentes de contaminación interior y exterior 16
Figura 6 Flujograma del proceso de diagnóstico 16
Figura 7 Factores de la calidad ambiental interior 17
Figura 8 Valores mínimos según Real Decreto 486/1997 18
Figura 9 Recomendaciones de renovación del aire 19
Figura 10 Ventilación por Dilución 20
Figura 11 Extracción forzada 20
Figura 12 Evolución de la concentración de CO_2 en el tiempo 21
Figura 13 Evolución de las emisiones de CO_2 en el tiempo 22
Figura 14 Calidad del aire en base al CO_2 22
Figura 15 Enfermedades y síntomas relacionados con la baja calidad del aire. 24
Figura 16 Ventilación y renovación de aire en espacios cerrados 25
Figura 17 Medidor de CO_2 AirQMonitor 26
Figura 18 Pantalla y configuración inicial 27
Figura 19 Diagrama de bloques del dispositivo 28
Figura 20 Representación de los espacios estudiados 32
Figura 21 Distribución del aula 10 33
Figura 22 Foto del aula 10 33
Figura 23 Horario Aspirante de 1º en el aula 10 34
Figura 24 Ejemplo de la plataforma *Thingsboard* 34
Figura 25 Distribución seminario 1 36
Figura 26 Foto del seminario 1 36
Figura 27 Gráficas generadas por la plataforma *Thingsboard* 37
Figura 28 Distribución seminario 2 38
Figura 29 Foto del seminario 2 38
Figura 30 Menú secundario de la plataforma *Thingsboard* 39
Figura 31 Distribución despacho 109 40
Figura 32 Despacho 109 41
Figura 33 Ejemplo tabla Excel de datos 42

Figura 34 Distribución de la secretaría económica 43
Figura 35 Foto de la secretaría económica 43
Figura 36 Gráfico de dispersión de CO_2 y temperatura 46
Figura 37 Gráfico de dispersión de CO_2 y HR 47
Figura 38 Gráfico de dispersión de CO_2 y Disp. Móviles 48
Figura 39 Gráfico de dispersión de la temperatura y HR 49
Figura 40 Gráfico de dispersión de la temperatura y los Disp. Móviles 49
Figura 41 Gráfico de dispersión de HR y los Disp. Móviles 50
Figura 42 Gráfico de concentración de CO_2 del aula 10 51
Figura 43 Horario y ocupación del aula 10 el lunes 23 de enero 52
Figura 44 Gráfico de concentración de CO_2 del lunes 23 en el aula 10 53
Figura 45 Gráfico de dispersión de CO_2 y temperatura 56
Figura 46 Gráfico de dispersión de CO_2 y HR 57
Figura 47 Gráfico de dispersión de CO_2 y Disp. Móviles 58
Figura 48 Gráfico de dispersión de temperatura y HR 59
Figura 49 Gráfico de dispersión de temperatura y Disp. Móviles 60
Figura 50 Gráfico de dispersión de HR y Disp. Móviles 61
Figura 51 Gráfico de concentración de CO_2 del seminario 2 62
Figura 52 Concentración de CO_2 del día 25 en el seminario 2 63
Figura 53 Gráfico de dispersión del CO_2 y la temperatura 65
Figura 54 Gráfico de dispersión del CO_2 y HR 66
Figura 55 Gráfico de dispersión del CO_2 y los Disp. Móviles 67
Figura 56 Gráfico de dispersión de la temperatura y HR 67
Figura 57 Gráfico de dispersión de la temperatura y los Disp. Móviles 68
Figura 58 Gráfico de dispersión de HR y los Disp. Móviles 69
Figura 59 Gráficas concentración de CO_2 en el despacho 109 70
Figura 60 Concentración de CO_2 del día 25 de enero 71
Figura 61 Gráfico de dispersión de CO_2 y temperatura 74
Figura 62 Gráfico de dispersión de CO_2 y HR 74
Figura 63 Gráfico de dispersión de CO_2 y Disp. Móviles 75
Figura 64 Gráfico de dispersión de temperatura y HR 76
Figura 65 Gráfico de dispersión de temperatura y Disp. Móviles 76
Figura 66 Gráfico de dispersión de HR y Disp. Móviles 77
Figura 67 Gráfico de concentración de CO_2 de la secretaria económica 78
Figura 68 Gráfica de concentración de CO_2 del día 26 de enero 79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Contaminantes químicos del aire 18
Tabla 2 Valores de CO_2 del aire sobre el nivel exterior 23
Tabla 3 Parámetro de Temperatura Ambiental 27
Tabla 4 Parámetro de Humedad Relativa 27
Tabla 5 Parámetro de CO_2 27
Tabla 6 Generalidades del medidor 27
Tabla 7 Distribución de valores de *r* 29
Tabla 8 Correlaciones de Pearson del aula 10 46
Tabla 9 Correlaciones de Pearson en los seminarios 55
Tabla 10 Correlaciones de Pearson del Despacho 109 64
Tabla 11 Correlaciones de Pearson de la secretaria económica del CUD 73

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Motivación del trabajo

La calidad del aire es un término que se refiere a la cantidad de contaminantes presentes en el aire que respiramos, pero no hay una concienciación de que la calidad se ha ido degradando los últimos dos siglos aproximadamente ni de las consecuencias que ello puede producir en los seres vivos.

1.1.1 El aire exterior

La contaminación ambiental es un problema global que afecta a la calidad de vida de los seres vivos y el medio ambiente en general. Se produce cuando los residuos tóxicos, las emisiones y otros materiales dañinos son liberados en el aire, agua y suelo. La principal causa de la contaminación ambiental es la actividad humana, como la industria, el transporte, la agricultura, la ganadería y la generación de energía.

La contaminación del aire exterior es un problema cada vez más urgente que afecta de forma general a todo lo que nos rodea. Se produce cuando los contaminantes como los gases de escape de los vehículos, las emisiones industriales y, de forma más general, los residuos de la combustión de combustibles fósiles son liberados en la atmósfera. Estos contaminantes pueden tener efectos negativos graves en la salud humana y en el medio ambiente.

Una de las principales causas de la contaminación del aire exterior es el transporte, que emite una gran cantidad de gases de escape y otros contaminantes. La industria también es responsable de una gran cantidad de emisiones de contaminantes, especialmente de gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono y el metano. La quema de combustibles fósiles para la generación de energía también es una importante fuente de contaminación del aire exterior.

Los efectos negativos de la contaminación del aire exterior son amplios y graves. Puede aumentar el riesgo de enfermedades respiratorias y cardiovasculares, e incrementar las posibilidades de padecer cáncer y otros problemas de salud.

Para abordar la contaminación del aire exterior, es necesario adoptar medidas de forma general, tanto a nivel individual como a nivel empresarial y a nivel nacional. Esto puede incluir la adopción de tecnologías más limpias y eficientes en la industria y el transporte. En España el modelo de transporte de mercancías es por carretera además de ser el sector que más consume energía y el que más emisiones de CO_2 causa, a diferencia de los países europeos que apuestan por el transporte mediante el ferrocarril, siendo el país con menos cuota modal de transporte en ferrocarril [1]. Por ello, es importante la promoción de prácticas sostenibles y la educación pública sobre la importancia de cuidar el medio ambiente.

La contaminación del aire exterior es un problema grave y no se tiene consciencia en su totalidad de la importancia que realmente tiene. En 2019 el 99% de la población mundial vivía en lugares donde la calidad del aire no se respetaba conforme lo había estipulado la OMS. Esta mala calidad del aire provocó en el mismo año la muerte de 4,2 millones de personas a nivel mundial [2]. Para mitigar los problemas la OMS redactó una serie de requisitos para el mantenimiento de niveles de ciertos compuestos, mostrados en la Figura 1.

Contaminante	Tiempo promedio	Meta intermedia				Nivel de las directrices sobre la calidad del aire
		1	2	3	4	
$MP_{2,5}$, µg/m³	Anual	35	25	15	10	5
	24 horas[a]	75	50	37,5	25	15
MP_{10}, µg/m³	Anual	70	50	30	20	15
	24 horas[a]	150	100	75	50	45
O_3, µg/m³	Temporada alta[b]	100	70	–	–	60
	8 horas[a]	160	120	–	–	100
NO_2, µg/m³	Anual	40	30	20	–	10
	24 horas[a]	120	50	–	–	25
SO_2, µg/m³	24 horas[a]	125	50	–	–	40
CO, mg/m³	24 horas[a]	7	–	–	–	4

Figura 1 Niveles establecidos por la OMS
Fuente OMS

El problema de la calidad del aire es más cercano de lo que puede parecer. El pasado año 2022 la Unión Europea (UE) sancionó a España, como se muestra en la Figura 2, debido a que no se respetó de forma sistemática la norma comunitaria de la calidad del aire en Madrid y Barcelona, permitiendo exceder los valores de dióxido de nitrógeno por encima de lo que se había acordado, durante ocho años, del 2010 al 2018. Debido a ello, el Tribunal de Justicia de la Unión Europea (TJUE) declaró que se adoptasen medidas de forma inmediata para no proceder al abono de la sanción [3]. Esta toma de medidas de forma desesperada las podemos observar, por ejemplo, en el gran cambio a la hora del uso del automóvil en ambas ciudades, limitando la entrada solo a ciertos coches que no superan los límites de contaminación.



POLUCIÓN · De momento, no se impone multa

La Justicia de la UE concluye que España no veló por calidad del aire de Madrid y Barcelona entre 2010 y 2018

Tras un largo proceso, considera que "no adoptó oportunamente las medidas adecuadas" y que los planes puestos en marcha no fueron eficaces

Figura 2 Noticia de la sanción de la UE
Fuente El Mundo

1.1.2 El aire interior

Con una mala calidad del aire exterior, difícilmente la calidad del aire interior tendrá unos requisitos mínimos para la estancia en ese lugar en concreto.

La calidad ambiental en espacios cerrados es crucial para el desarrollo de las pertinentes actividades en su interior. Esta preocupación por la calidad del aire data como punto inicial en la revolución de la higiene en el año 1850 [4], teniendo un papel muy importante en la actualidad, más aún si cabe, por la reciente pandemia de SARS-CoV-2 en la que numerosos contagios se han producido en espacios interiores. Dicha pandemia ha provocado un incentivo, tanto por el control del ambiente en interiores como, en instrumentos y maquinaria para mejorarla. Se observa desde entonces un aumento del uso de dispositivos de medición de la calidad del aire interior para conseguir los niveles mínimos de calidad y salubridad, impidiendo así más contagios de esta enfermedad en sitios cerrados. Destaca también el desarrollo por la calidad de medición de estos dispositivos, siendo de una calidad cuestionable antes de que se produjese la pandemia y mejorando y aumentando su fiabilidad conforme al desarrollo de esta.

Se sabe que las personas pasan más de un 90% del tiempo en espacios cerrados al día [5] y que más de la mitad del aire que inhalamos durante nuestra vida es aire perteneciente a un lugar cerrado, principalmente la casa del individuo [4].

En general, no se le da la importancia necesaria a la calidad del aire en espacios cerrados, a la hora de estar en una clase, en la propia vivienda o incluso el simple hecho de dormir en una habitación. Se han estipulado una serie de valores umbral para el mantenimiento de la calidad, pero estos, a veces, no llegan a cumplirse de forma correcta. En 1999 se publica un estudio en el que muestra que si se mantiene un alto nivel de contaminación del aire interior puede afectar de forma notoria y desfavorable a las personas que se encuentran en ese espacio, afectando a las funciones cognitivas y con ello al rendimiento y la productividad hasta llegar a ser problemáticas para la salud, incluso llegando a causar la muerte [6].

La calidad del aire está determinada según la norma UNE 171330, la cual indica que existen dos partes diferentes en términos de calidad. Por un lado, existe el nivel de contaminación, tanto química como microbiológica y por otro lado los niveles de los factores físicos siguientes: temperatura, humedad,

acústica y luminiscencia. Con todo lo citado anteriormente, se podría determinar la calidad del ambiente realizando mediciones y con ello determinar si es segura para realizar la actividad requerida en el interior de una forma segura y sin riesgo.

1.1.3 El aire en espacios docentes de la Escuela Naval Militar

Repasado ya la calidad del aire en exteriores e interiores, nos focalizamos en la calidad del aire en espacios docentes, concretamente en los espacios de la Escuela Naval Militar destinados para la impartición de clases a un gran número de personas.

La calidad del aire interior en las aulas es un tema importante que afecta la salud y el bienestar de los estudiantes y del profesorado. Esta importancia a la calidad del aire en los espacios docentes del CUD-ENM se había hecho notar en años anteriores, mediante la propuesta del Centro Universitario de la Defensa de trabajos de fin de grado como por ejemplo el realizado por el alumno Jesús Ruiz Fontán que desarrolló el trabajo de "Sistema de evaluación y control de la renovación del aire para prevenir la transmisión del COVID-19 en aulas". En el citado trabajo también se realiza un estudio de la calidad ambiental de una forma diferente al presente trabajo, estudiando la calidad en aulas que coinciden con las que vamos a analizar nosotros en este trabajo. La mala calidad del aire puede causar problemas respiratorios, dolores de cabeza y fatiga, lo que afecta negativamente el rendimiento académico [7]. Hay varios factores que contribuyen a la mala calidad del aire interior en las aulas, incluyendo el uso de productos químicos para la limpieza, la presencia de contaminantes en el material de construcción y la falta de ventilación adecuada. También puede haber niveles elevados de partículas en el aire, como el polvo y los ácaros, que pueden provocar alergias y asma.

Para mejorar la calidad del aire interior en las aulas, es importante realizar un seguimiento de los niveles de contaminantes y tomar medidas para reducirlos. Además, el personal de limpieza estar mentalizado en el correcto uso de los químicos de limpieza para mantener una calidad adecuada del aire interior. Tampoco nos podemos olvidar de los protagonistas en un aula, tanto profesorado como alumnado deben ser educados sobre la importancia de la calidad del aire interior y cómo pueden ayudar a mantener un ambiente saludable.

El alumnado de la Escuela naval Militar tanto de Cuerpo General como de Infantería de Marina pasan numerosas horas, aproximadamente 40 horas a la semana dentro de las aulas para llevar a La quema de combustibles fósiles para la generación de energía también es una importante fuente de contaminación del aire exterior.

Como se ha mencionado anteriormente, una mala calidad del aire puede afectar negativamente en el rendimiento de los alumnos y con el apretado horario establecido es necesario tener unas condiciones óptimas para obtener el mayor rendimiento a todas las clases impartidas. En la Figura 3 podemos ver un ejemplo del horario en un día cualquiera de los alumnos.

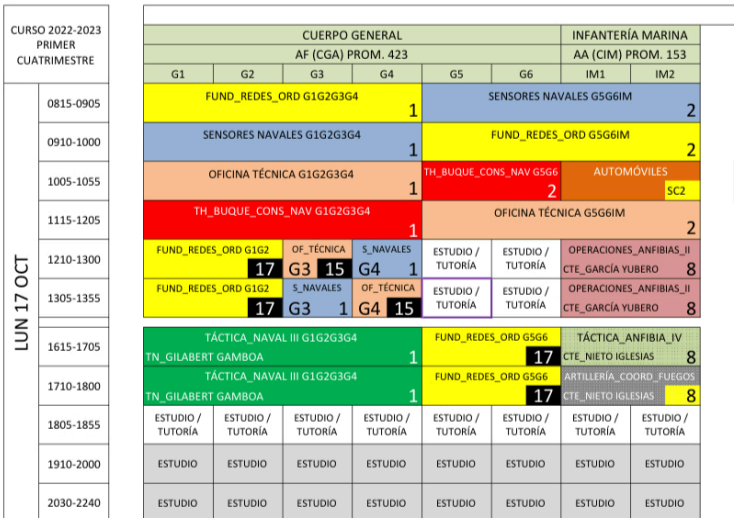


Figura 3 Ejemplo del horario de los alumnos de quinto curso
Fuente Sabana Horario ENM

Por ello, el objetivo de este TFG es el estudio de la calidad del aire, centrándonos en el CO_2 dentro de los espacios docentes para determinar si las situaciones en las que se imparten las clases son óptimas o no, con el fin de mantenerlas si son favorables o proponer cambios si no lo son. Para llevar a cabo el estudio de la calidad ambiental interior es necesario de herramientas concretas como medidores de CO_2 para la obtención de datos. Estos medidores se instalarán durante dos meses con el fin de obtener la cantidad máxima de datos y ser lo más preciso en el estudio. Posteriormente se interpretarán y analizarán los datos de forma exhaustiva para llegar a unas conclusiones.

1.2 Objetivos

Este TFG tiene como objetivo el estudio y análisis de la calidad del aire mediante las concentraciones de CO_2 en espacios cerrados, concretamente en espacios docentes, con la finalidad de conocer si se cumplen los niveles mínimos de la calidad del aire conforme a lo estipulado para que se desarrollen las actividades pertinentes de forma correcta. Para conocer la calidad del aire y poder determinar su calidad, se marcan los siguientes objetivos intermedios:

1. Conocer el estado del arte de la materia de la calidad ambiental en interiores, mediante la investigación, estudio y análisis de la bibliografía en relación con el tema.
2. Obtener los datos de la calidad del aire mediante instrumentos de medida en cada espacio y construir una base de datos.
3. Estudiar cada uno de los espacios elegidos y sus características para analizar los datos obtenidos en función de ellos.
4. Establecer si se mantiene la calidad del aire en función de los resultados del análisis y los requisitos establecidos para ello.
5. Plantear soluciones si no se mantuviese la calidad ambiental.

1.3 Metodología

La metodología de este TFG se basa en la norma UNE 171330 que nos permite evaluar los niveles de la calidad del aire interior y las pautas que hay que seguir para su estudio de forma correcta y precisa. Además, se analizan los datos en base a correlaciones de *Pearson*, para buscar la dependencia entre los distintos parámetros medidos. Estos elementos se aplicarán de la siguiente forma:

1. Conocer los valores y normas que regulan la calidad del aire interior mediante la investigación y el estudio de la bibliografía referente a este tema.
2. Decidir qué espacios son de interés para el estudio de la calidad ambiental, realizando un diagnóstico de esta en los cuales las concentraciones de CO_2 pueden ser un factor que influya en la salud de las personas que se encuentran en estos espacios.
3. Instalar sensores de medición de los parámetros requeridos en los espacios, para obtener una base de datos amplia.
4. Estudiar y analizar los datos obtenidos para la valoración del diagnóstico establecido anteriormente y decidir si se cumplen los requisitos establecidos en espacios interiores.
5. Gestionar, conforme a los resultaos obtenidos, unas pautas para la mejora de la calidad ambiental o para mantenerla en el tiempo si fuese correcta.
6. Desarrollar líneas futuras en cuanto a espacios de interés para el estudio de la calidad ambiental y formas de hacerlo.

El diagrama de flujo mostrado en la Figura 4 esquematiza la metodología de este proyecto.

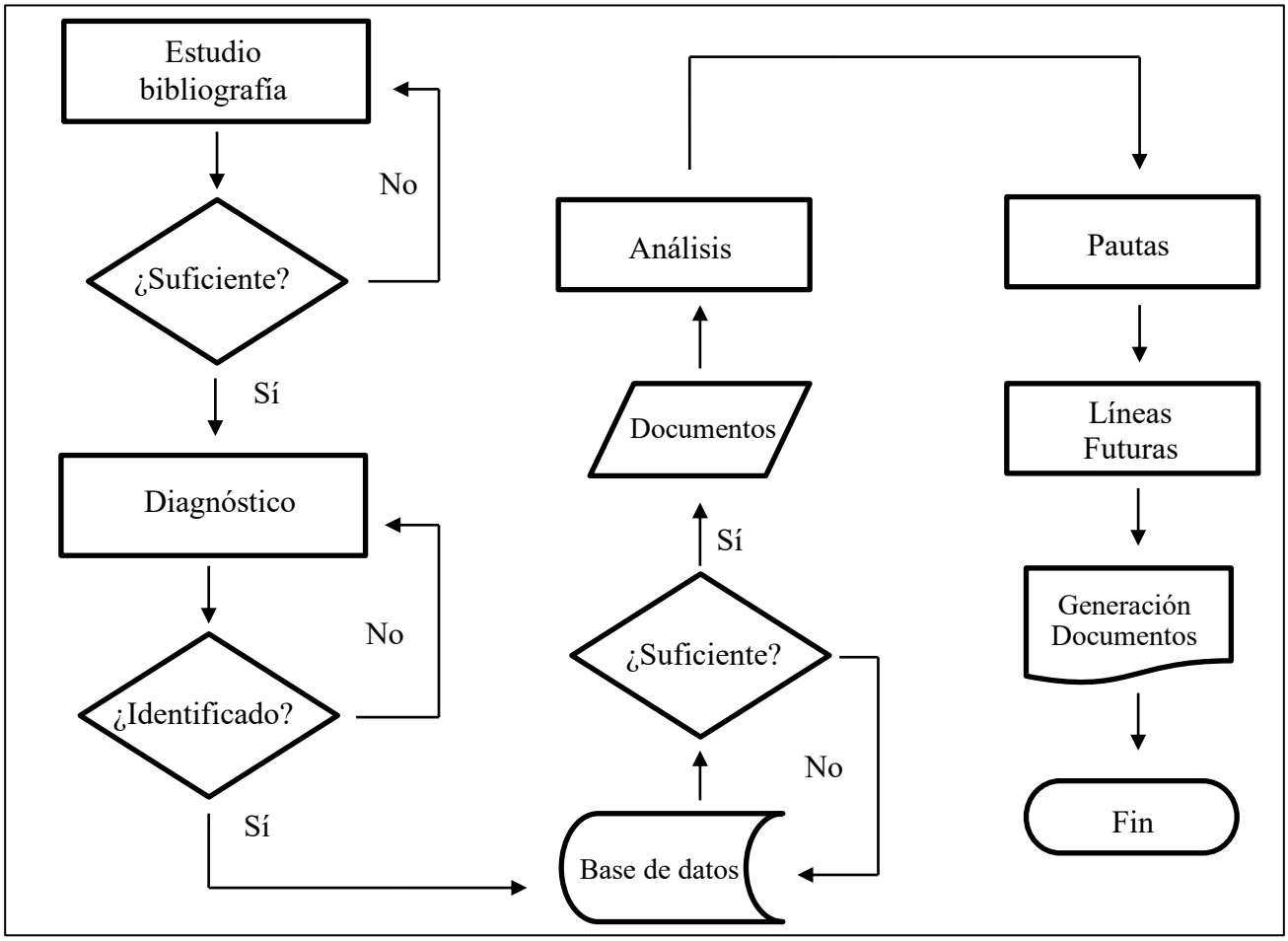


Figura 4 Diagrama de flujo de la metodología

2 ESTADO DEL ARTE

La calidad del aire en interiores es importante porque pasamos la mayor parte de nuestro tiempo en espacios cerrados, como nuestros hogares, escuelas, oficinas y otros edificios. La calidad del aire en interiores puede ser significativamente peor que la calidad del aire exterior debido a la presencia de contaminantes que se acumulan en el interior debido a las actividades que se desarrollan en ese espacio. Por lo tanto, es importante monitorear y mejorar la calidad del aire en interiores para proteger la salud y el bienestar de las personas. Esto incluye tomar medidas como ventilar adecuadamente los espacios, utilizar productos de limpieza ecológicos, y elegir materiales de construcción y muebles que emitan menos contaminantes.

2.1 Calidad ambiental en interiores

La calidad del aire en interiores se ve perjudicada principalmente por el dióxido de carbono, producido, entre otros, por la respiración de seres vivos. Por tanto, en espacios interiores se puede relacionar directamente la concentración de CO_2 con el número de personas usuarias del espacio. Esta concentración depende principalmente de la capacidad de ventilación que tiene el espacio cerrado y de las dimensiones de este. Si no tenemos un control o no somos conscientes de la calidad del aire que estamos respirando podría desembocar en serios problemas para nuestra salud [7].

Otro factor que determina la contaminación del ambiente interior es la contaminación exterior. Ya que, partiendo de una base exterior contaminada, probablemente la interior lo esté de alguna forma.

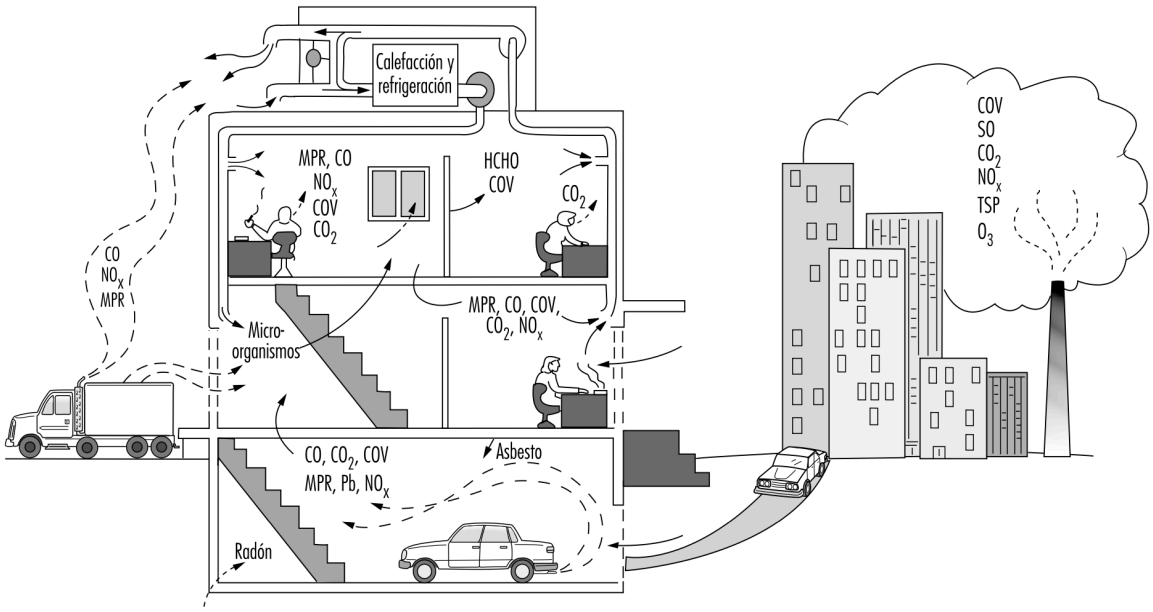


Figura 5 Fuentes de contaminación interior y exterior
Fuente Enciclopedia de la Salud y Seguridad en el Trabajo

2.1.1 Calidad del aire según la norma UNE 171330

La calidad del aire en interiores está regulada según la norma UNE 171330. Como ya hemos citado anteriormente en este trabajo, esta norma determina los niveles de contaminación química y biológica además de los valores de factores físicos. La norma se divide en tres partes.

- Parte 1: diagnóstico de la calidad ambiental interior. Esta parte trata de cómo se debe desarrollar un diagnóstico inicial para prevenir riegos para la salud de las personas producidos por una mala calidad ambiental. Los espacios cerrados a los que hace referencia esta parte son los de edificios e instalaciones urbanas de cualquier tipo de índole dejando fuera los espacios en los que se desarrollan actividades industriales y agrícolas [8].
  Podemos encontrar el procedimiento para la realización del diagnóstico de forma reducida en la Figura 6.

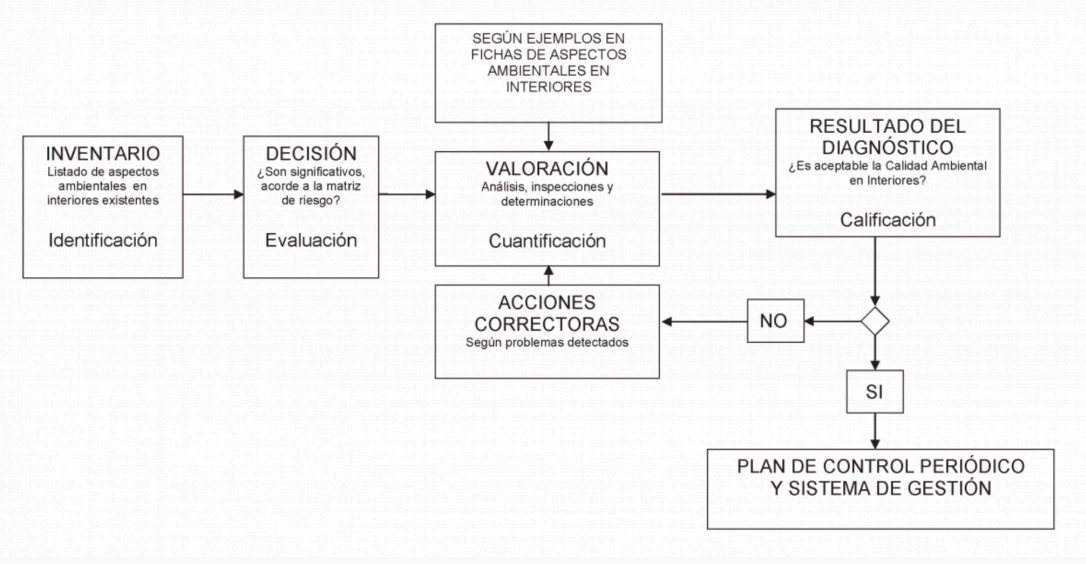


Figura 6 Flujograma del proceso de diagnóstico
Fuente UNE 171330

- Parte 2: procedimiento de inspección de calidad ambiental interior. Es una continuación de la anterior que se centra en la valoración e inspección del diagnóstico. Se requiere una toma de muestras de los contaminantes que se encuentran en el interior del espacio a estudiar con el fin de poder acreditar ese espacio como apto para el desarrollo de las actividades pertinentes [9].
- Parte 3: sistemas de gestión de los ambientes interiores. Marca la pauta de requisitos que se necesitan para gestionar la calidad del aire y mantenerla en el tiempo [10].

2.1.2 Factores que afectan a la calidad ambiental interior

La calidad ambiental interior depende de cuatro factores principales, mostrados en la Figura 7, de los cuales uno de ellos es la calidad del aire interior. A su vez, la calidad del aire interior se divide también en diferentes factores.

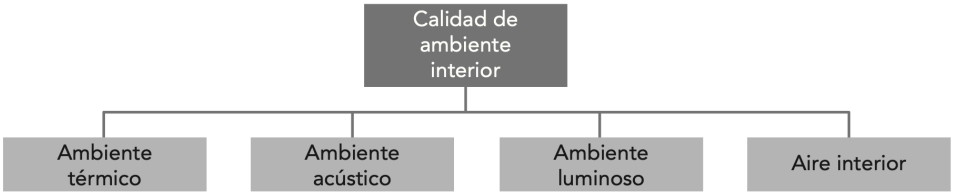


Figura 7 Factores de la calidad ambiental interior
Fuente Enciclopedia de la Salud y Seguridad en el Trabajo

Son innumerables factores los que afectan a la calidad del aire interior. Estos los podemos clasificar en diferentes grupos principales para su mejor entendimiento y estudio.

El principal factor es el humano, simplemente con su presencia en ese espacio y la actividad que desarrolla en él, produce cantidades importantes de CO_2 a causa de la respiración. Si somos conocedores de las cantidades de este compuesto presente en un espacio cerrado, podríamos determinar la calidad del aire y actuar conforme a los datos obtenidos.

Los contaminantes químicos en forma de vapores o gases encontrados en la atmósfera del espacio en cuestión, producidos por diversas razones, son otro de los factores a tener en cuenta para determinar una calidad razonable. Destacan como químicos principales: dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_X), dióxido de azufre (SO_2) y ozono (O_3) [11]. Dependiendo de las fuentes de información consultadas, podría aparecer algún compuesto más. Para tener un conocimiento un poco más amplio, se muestra en la Tabla 1 algunos compuestos extra además de su fuente principal de producción en espacios cerrados.

Productos de combustión	Varios	Materiales de construcción	Productos de consumo
NO_2	O_2	Fibra de vidrio	Pinturas
NO	Pb	Asbestos	Barnices
C O_2	Fe	Compuestos orgánicos	Plásticos
CO	Mn		Colas y cementos
SO_2	Complejos AL_2O_3		Fibras textiles
Humo de tabaco	Radón		Pesticidas
Orgánicos			Disolventes

Tabla 1 Contaminantes químicos del aire
Fuente Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo

La construcción del edificio y los materiales utilizados para ello juegan un papel importante. Algunos materiales no son aptos para su uso por las propiedades que tiene en relación con la contaminación que va desprendiendo con el paso del tiempo.

Algunos parámetros como la temperatura del aire y la humedad relativa dentro de un espacio, en determinados niveles se pueden clasificar como contaminantes del aire interior. Una deficiencia en la ventilación del espacio por una mala distribución y diseño además de la insuficiencia de aire fresco son también factores para tener en cuenta en la contaminación [12].

Por último, la contaminación biológica por la presencia de microorganismos y aerosoles suspendidos en el aire, los cuales son causantes de la transmisión de enfermedades, son también un factor importante en la contaminación del aire.

A todos los factores anteriores se les debe sumar el factor de la calidad del propio aire que se encuentra en el exterior ya que, partiendo de una base en la cual el aire exterior esté contaminado, difícilmente podemos tener una calidad de aire interior correcta.

2.1.3 Efecto de la ventilación en interiores

La ventilación es el método más eficaz para disminuir la contaminación del aire interior. La renovación del aire interior es imprescindible para mantener la calidad requerida en un espacio cerrado. Los requisitos establecidos para una ventilación correcta están reflejados en el Real Decreto 486/1997, los cuales nos muestran los valores mínimos a cumplir [13].

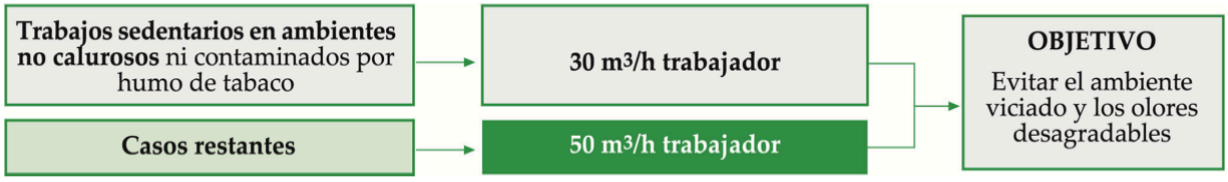


Figura 8 Valores mínimos según Real Decreto 486/1997
Fuente Guía Técnica para la Prevención de Riesgos en Lugares de Trabajo

Fijando los valores mínimos de caudal de ventilación que se debe mantener en espacios cerrados, este caudal tendrá que aumentar en función de la concentración de CO_2: a mayor concentración mayor caudal. El valor del caudal que debemos tener se establece mediante la igualdad (1).

$$Q = \frac{G}{C} \tag{1}$$

Donde:

Q (dm^3/s) es el caudal de aire que se necesita para la ventilación.

G (dm^3/s) es la tasa a la que se genera, en este caso el CO_2.

C (tanto por 1) concentración que no queremos sobrepasar de concentración.

[13].

Además del caudal mínimo que se necesita para la renovación del aire, entra en juego el parámetro ACH (*Air Changes per Hour*), medida de la frecuencia con la que el aire completo de un edificio o espacio cerrado es renovado por aire fresco. El número de veces que hay que renovar el volumen completo de aire del espacio cerrado en una hora, es una forma de medir la ventilación en un espacio. Una tasa ACH más alta indica una mayor renovación de aire y, por lo tanto, una mayor calidad del aire interior [14]. Para la obtención del ACH se requiere el siguiente cálculo mostrado en la ecuación (2).

$$ACH = \frac{Flujo\ de\ aire\ que\ entra \cdot 60\ (minutos\ hora)}{Volumen\ del\ espacio\ cerrado} \tag{2}$$

Con el valor del ACH conoceríamos las veces que son necesarias renovar el aire del espacio cerrado.

Para tener un conocimiento superficial de este parámetro, para una clase de 25 personas por cada 100 m^2, el valor mínimo de renovación de aire es 5 [15]. En base a este cálculo estándar, se han desarrollado una serie de objetivos para la renovación del aire interior, mostradas en la Figura 9.

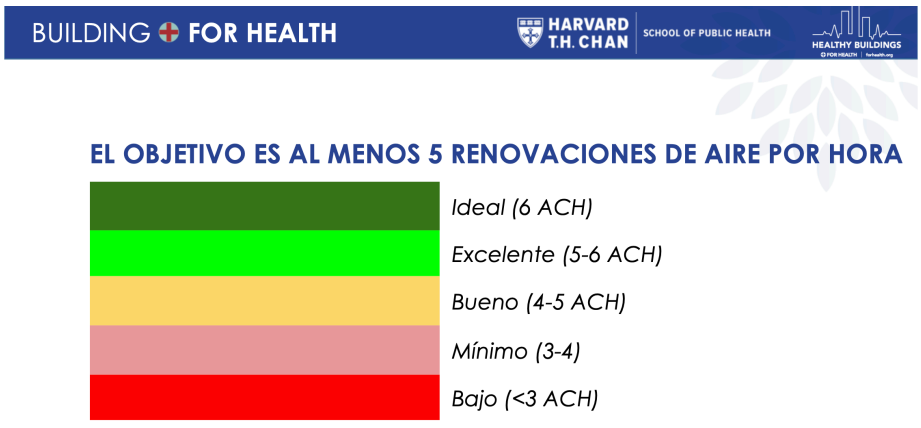


Figura 9 Recomendaciones de renovación del aire
Fuente Harvard School of Public Health

La ventilación se puede dar mediante dos formas concretas. Por una parte, tendríamos la reducción de concentración de la contaminación gracias a la entrada de nuevo aire limpio mediante el simple hecho de introducir ese aire en el espacio requerido. El nombre que recibe es ventilación por dilución [7]. Esta es la forma que comúnmente realizan las personas cuando notan el ambiente cargado de una habitación,

por ejemplo. Su impulso es abrir la ventana. Gracias a la apertura de la ventana, tenemos un flujo de aire nuevo que se mezcla con el ya viciado, reduciendo las concentraciones de contaminación y restaurando esa atmósfera que mejora en calidad. Este tipo de ventilación se debe gracias al movimiento de las masas de aire de forma natural. La apertura de una ventana o puerta podría resultar más efectiva combinándola con medios que ayuden a la entrada del flujo de aire limpio y a la salida del aire contaminado sin tener que instalar un sistema de ventilación integrado, debido a su complejidad de diseño y su coste. Podemos denotar esta forma de ventilación como forzada. La Figura 10 muestra el método de ventilación natural y el método de ventilación forzada con la ayuda de instrumentos como un propulsor de aire y un extractor [7].

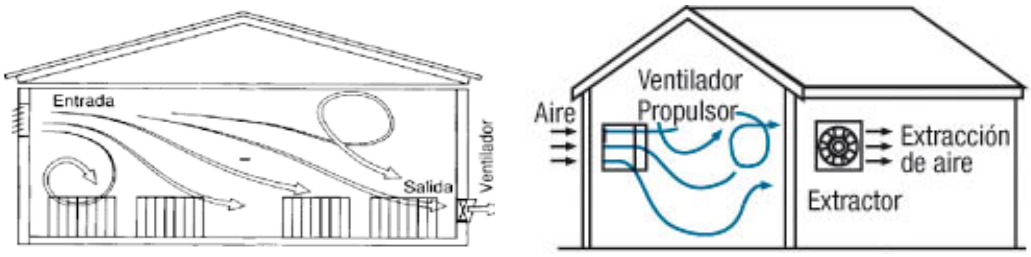


Figura 10 Ventilación por Dilución
Fuente Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo

El segundo método es mucho más complejo, debido a que para su instalación es necesario un diseño previo en la construcción del edificio o lugar en cuestión además del uso de maquinaria especial para poder llegar a realizar una extracción forzada del aire contaminado. Posteriormente a esa extracción, parte del aire se expulsa al exterior y parte se recircula, mezclándolo con aire limpio y fresco procedente del exterior. Una vez ambos flujos mezclados, existe un proceso de filtrado mediante unos filtros de carbono activo, con el fin de retener las partículas contaminadas en suspensión en el aire. El carbón activo destaca por su alta capacidad de absorción de vapores y gases perjudiciales para mantener una calidad del aire necesaria [16]. Al finalizar el filtrado, dependiendo de la instalación, el aire puede someterse a una fase de tratamiento, finalizando con la distribución del aire limpio mediante difusores, normalmente repartidos a lo largo de todo el espacio interior y colocados en el techo para inyectar el nuevo flujo de aire limpio.

Para un mejor entendimiento de este método de ventilación por extracción forzada, se adjunta la Figura 11 en la que se observa claramente su funcionamiento general.

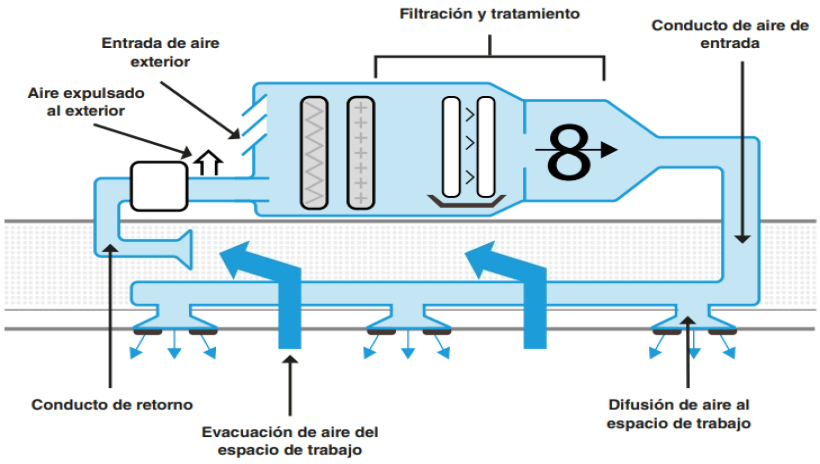


Figura 11 Extracción forzada
Fuente Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo

2.2 Importancia del CO_2

El dióxido de carbono es un gas inodoro e incoloro que se encuentra en la atmósfera entre otros lugares. El oxígeno es el tercer elemento más abundante en el universo y el carbono el cuarto. Además, el ser humano es un 18% carbono, es un compuesto fundamental para el desarrollo de la vida en la tierra. Este gas lo producen principalmente los procesos de combustión y la respiración de los seres vivos [7]. La importancia que se le da a este compuesto es debido a que gracias al conocimiento de su concentración en espacios interiores podemos determinar la calidad del ambiente. Es el testigo principal en el que nos fijaremos para determinar si las condiciones del espacio son óptimas para desarrollar actividades humanas.

Estudios sobre el CO_2 nos muestran que en los últimos 80000 años no se había superado la cifra de 300 ppm de concentración en la atmosfera, llegando a sobrepasarse por primera vez en 1950 y aumentando continuamente desde entonces hasta hoy en día. Se data que hace 80000 la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera oscilaba entre 172 y 299 ppm, aumentando en los últimos 70 años a valores de 408 ppm. [17]. En la imagen Figura 12 se ve claramente el aumento de la concentración.

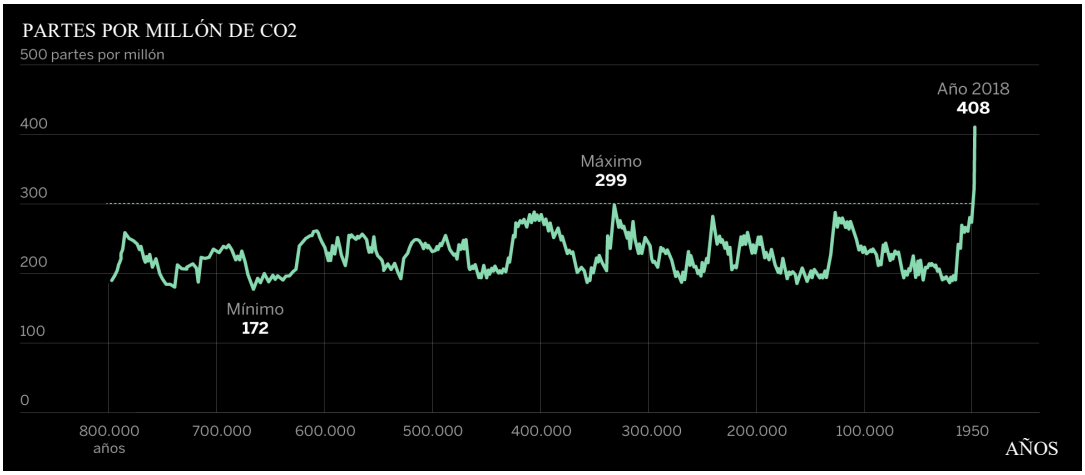


Figura 12 Evolución de la concentración de CO_2 en el tiempo.
Fuente Periódico El País

El principal problema que nos produce el dióxido de carbono es que, durante la existencia de la tierra, la producción de este compuesto se ha limitado a lo que producían la respiración de los seres vivos y las plantas. Este equilibrio natural se rompió debido a que el ser humano ha desarrollado cada vez más tecnologías que producían niveles de CO_2 muy altos, provocando un aumento de la concentración en el aire. El incremento de la generación de dióxido de carbono por el ser humano coincide con las revoluciones industriales, aumentando exponencialmente las emisiones. Como podemos observar en la Figura 13, el aumento de emisiones comienza a partir del siglo XIX aproximadamente [17].

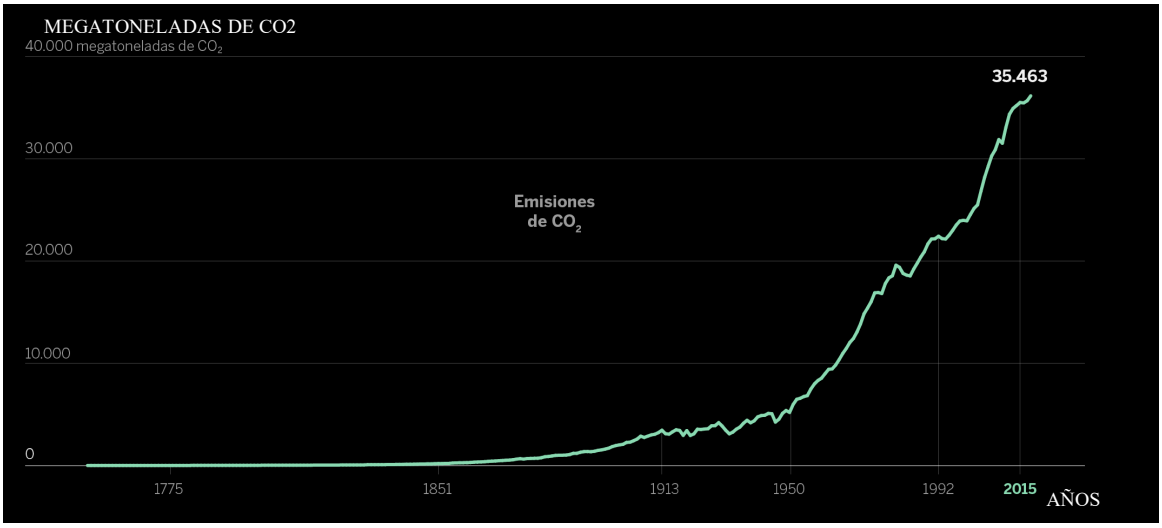


Figura 13 Evolución de las emisiones de CO_2 en el tiempo
Fuente Periódico El País

2.2.1 Niveles de CO_2 en interiores.

El nivel de CO_2 de un espacio cerrado estará determinado por la ocupación que se encuentren en él. Se estima que una persona en reposo genera una cantidad de CO_2 directamente proporcional a su metabolismo y cada persona tiene un metabolismo distinto [13].

Este compuesto no es nocivo ni tóxico para la salud humana hasta ciertos niveles en el que empieza a ser perjudicial para la salud humana. Lo que este gas provoca es que a altas concentraciones desplaza el oxígeno que los seres humanos necesitamos para vivir, provocando que el acto de respirar nos cueste más llegando a, en casos extremos, provocar la asfixia.

Los niveles de CO_2 óptimos deberían estar entre 300 y 400 ppm por encima de lo que se suele tener de concentración en el aire que es 330 ppm [13]. Una vez se supera el nivel de 1000 ppm, es un indicador de que la calidad del ambiente interior comienza a degradarse además de ser el límite el cual no se debería superar. Como se observa en la Figura 14, ventilar el espacio en cuestión sería adecuado para no seguir aumentando el valor de la concentración de CO_2 y que no se convierta en un ambiente no saludable. A partir de niveles notablemente superiores a 1000 ppm hasta 2500 ppm debería llevarse un control del ambiente y renovar ese aire sin llegar a superar la cifra de 2500 ppm, momento en el que ya comenzaría a ser perjudicial para la salud.

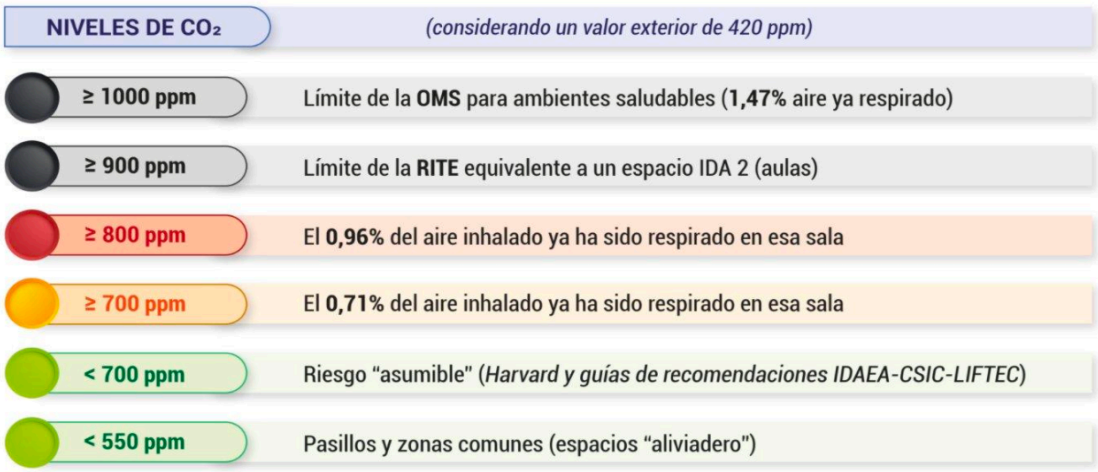


Figura 14 Calidad del aire en base al CO_2
Fuente Ventilación Natural en las Aulas. Universidad de Zaragoza

Es cierto que el valor de la concentración de dióxido de carbono también va a estar determinado por la calidad del aire exterior donde se encuentra el espacio cerrado, por tanto, los valores de las partes por millón serán diferentes en sitios distintos. Para la solución a este problema en cuanto a la variación de la base de concentración, se ha propuesto unos determinados valores interiores con respecto a los valores exteriores. Para ello se determinan 4 grupos de calidad de aire [18]:

- IDA 1. Calidad del aire interior alta
- IDA 2. Calidad del aire interior media
- IDA 3. Calidad del aire interior moderada
- IDA 4. Calidad del aire interior baja

A cada grupo se le atribuye un nivel de concentración de CO_2 exterior y en base a este, se le determina un intervalo de concentración interior, mostrado en la siguiente Tabla 2.

Categoría	Intervalo típico	Valores por defecto
IDA 1	>400	350
IDA 2	400-600	500
IDA 3	600-1000	800
IDA 4	>1000	1200

Tabla 2 Valores de CO_2 del aire sobre el nivel exterior

2.3 Problemas de salud debido a la calidad del aire

La exposición prolongada a contaminantes del aire puede tener efectos a largo plazo en la salud por lo que es importante tomar medidas para mejorar la calidad del aire interior. Además, la mala calidad del aire interior puede agravar condiciones preexistentes de enfermedades que ya padecen las personas. La exposición prolongada a contaminantes del aire puede tener efectos a largo plazo en la salud y es importante tomar medidas para mejorar la calidad del aire interior. Algunas enfermedades y síntomas provocados por una mala calidad del aire son los expuestos en la Figura 15 que destaca las más comunes. El desarrollo completo de estas enfermedades no se produce al estar expuesto de forma esporádica en un mal ambiente, sino al estar continuamente en él. Les precede una serie de síntomas como malestar, estrés y pérdida de la concentración [11].

La transmisión de enfermedades por la calidad del aire interior es una preocupación importante, especialmente en espacios cerrados como edificios públicos, oficinas, aviones y trenes. Las enfermedades respiratorias, como la gripe y la COVID-19, se pueden propagar a través del aire interior mediante las partículas respiratorias expulsadas por las personas infectadas. Además, otros virus, bacterias y hongos también pueden transmitirse en un ambiente con baja calidad del aire interior provocando enfermedades en las personas presentes en ese lugar.

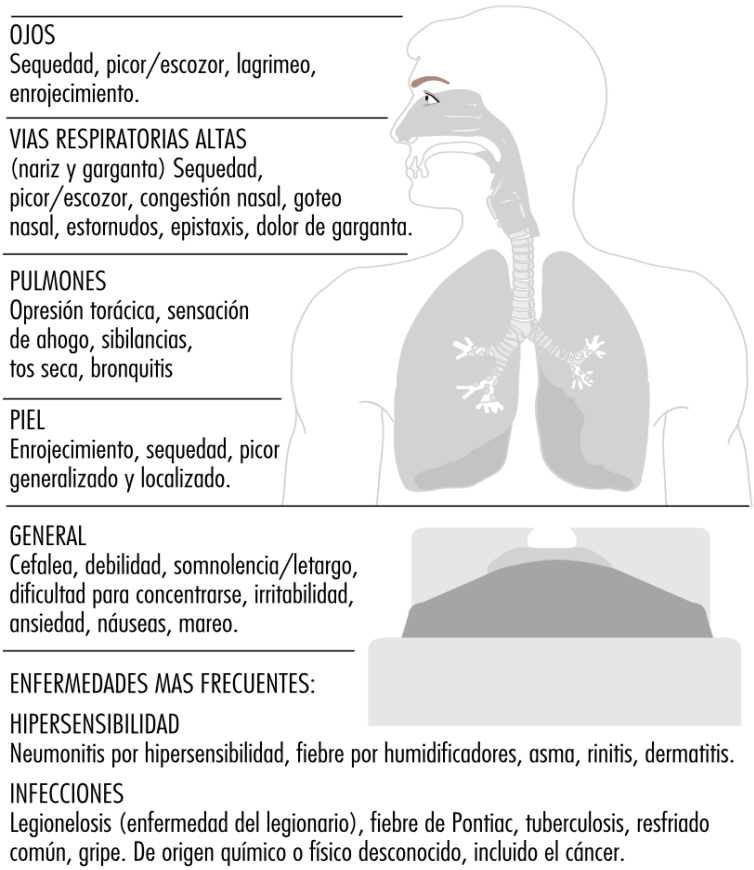


Figura 15 Enfermedades y síntomas relacionados con la baja calidad del aire.
Fuente Enciclopedia de la Salud y Seguridad en el Trabajo

2.3.1 Virus SARS-CoV-2

La COVID-19 es una enfermedad infecciosa causada por el virus SARS-CoV-2. Fue identificado por primera vez en la ciudad de Wuhan, China en diciembre de 2019 y se propagó rápidamente, declarándose pandemia en marzo de 2020.

El virus SARS-CoV-2 se transmite a través del aire en espacios cerrados cuando una persona infectada tose, habla, respira o expulsa gotas respiratorias que contienen el virus. Estas gotas pueden aterrizar en superficies cercanas o en la boca, nariz u ojos de otras personas. La probabilidad de contraer el virus en un espacio cerrado aumenta con la cantidad de personas y la duración de exposición. Además, la ventilación insuficiente, la falta de distanciamiento físico y la falta del uso de mascarillas también aumentan el riesgo de transmisión [19].

Estas gotas mencionadas anteriormente, al ser de tan reducido tamaño se las considera partículas, pudiendo ser de diferentes tamaños, llegando a ser la mayoría de ellas de tamaños inferiores a las 100 micras. Una vez la persona infectada expulsa estas partículas pueden quedar flotando en el aire un determinado tiempo, en ese momento se les denomina aerosoles. El peligro del contagio se origina pues, cuando en un espacio cerrado sin ventilar cada vez que un infectado respira se van acumulando cada vez más la cantidad de aerosoles, aumentando las probabilidades de contagio. La cantidad de aerosoles que se encuentran suspendidos en el aire es difícil de determinar, siendo un proceso complejo, costoso y largo. Para ello la solución práctica es la estimación del riesgo de contagio a partir del conocimiento del aire respirado, es decir, de la concentración de CO_2 que se encuentra en el espacio cerrado [19].

Los síntomas más comunes de la COVID-19 incluyen fiebre, tos seca y fatiga, pero también pueden incluir dolor de cabeza, pérdida del sentido del olfato o del gusto, dolor de garganta, dolores musculares y dolor de cuerpo. En algunos casos, puede causar complicaciones graves, incluyendo neumonía y fallo

de múltiples órganos. Los grupos de mayor riesgo incluyen personas mayores, personas con afecciones médicas preexistentes y trabajadores de la salud. Sin embargo, cualquier persona puede contraer el virus y es importante tomar medidas para prevenir su propagación. Actualmente, no hay un tratamiento específico para la COVID-19, pero los tratamientos sintomáticos están disponibles para ayudar a aliviar los síntomas. Varias vacunas contra la COVID-19 han sido aprobadas y se han comenzado a distribuir de forma global [20].

La calidad del aire interior ha jugado un papel importante durante la pandemia en cuanto a la transmisión del virus SARS-CoV-2, ya que el virus puede sobrevivir en el aire durante periodos prolongados de tiempo [20]. La aparición de este virus provocó un gran interés en el mantenimiento de una buena calidad ambiental, con el fin de reducir las transmisiones de esta enfermedad a base de la monitorización y renovación del aire en espacios cerrados. Actualmente se mantiene esta mentalidad y se continúa con mejoras de la calidad y renovación, aunque en algunos lugares se haya continuado sin establecer mejoras por diversas razones. Se presta especial atención al mantenimiento de una buena calidad del aire interior en espacios públicos, como escuelas, oficinas, tiendas y centros de transporte público, como muestra la Figura 16. Esto incluye ventilar adecuadamente los espacios y utilizar sistemas de filtración de aire eficaces.

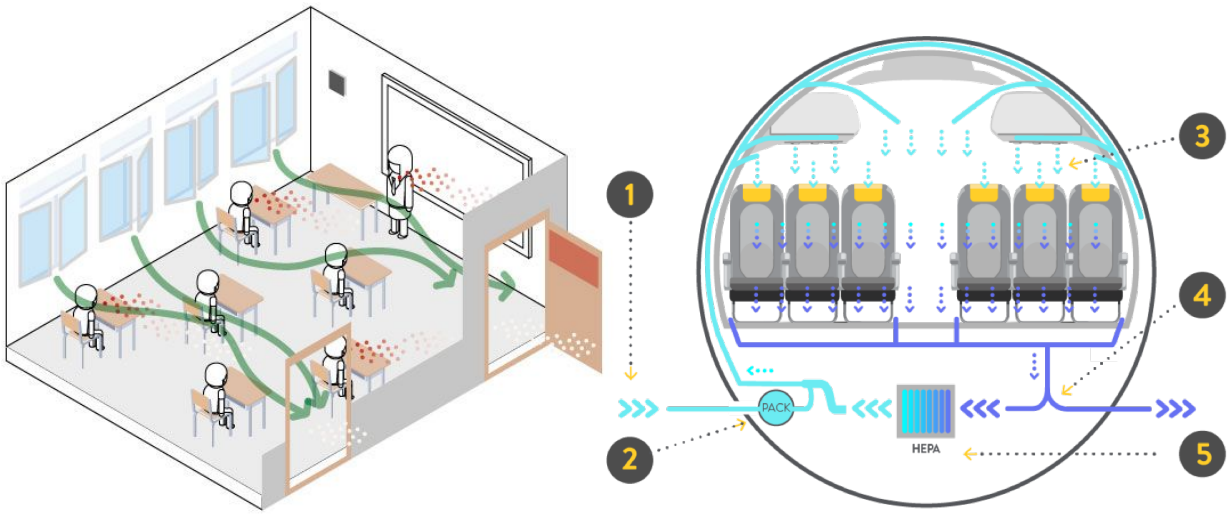


Figura 16 Ventilación y renovación de aire en espacios cerrados
Fuente Ministerio de Sanidad

2.4 Dispositivo de medición de CO_2

Un medidor de CO_2 es un dispositivo que mide la concentración de dióxido de carbono en el aire de un espacio cerrado. La función principal de estos medidores es la de monitorear el nivel de CO_2 y asegurar que se encuentre dentro de los límites seguros para la salud humana.

Los medidores de CO_2 utilizan sensores químicos o electrónicos para medir la concentración de CO_2 en el aire. Estos sensores envían señales a una unidad de visualización, que muestra los niveles en tiempo real. Algunos medidores también tienen alarmas incorporadas que se activan cuando los niveles alcanzan un nivel peligroso para la salud humana [21].

Además de la seguridad, los medidores de CO_2 también son útiles para mejorar la eficiencia energética. La mayoría de los edificios tienen un sistema de ventilación para controlar la concentración. Si los niveles de CO_2 son demasiado altos, se puede ajustar el sistema de ventilación para aumentar la circulación de aire fresco y mantener los niveles dentro de los límites seguros.

2.4.1 Dispositivo utilizado en este estudio

Para este estudio se requiere de un dispositivo como el mencionado anteriormente. El medidor en cuestión es el *AirQMonitor* de la empresa *Energesis Ingeniería,* definido como:

"Sistema inteligente para la evaluación de la calidad del aire y del confort térmico en ambientes interiores".

Energesis Ingeniería es una empresa española creada en 2004 de la mano de la Universidad Politécnica de Valencia. El motivo de su nacimiento fue el proyecto de investigación europeo *Geocool*, en el que se buscó el desarrollo de una planta piloto de climatización geotérmica. Todo el conocimiento adquirido en ese proyecto propició el desarrollo de la empresa aumentando su abanico en cuanto a tecnologías. Hoy en día, cuenta con tres subdivisiones de la empresa, centrados en diferentes sectores en el mercado, centrándose en *Energesis Ingeniería,* dedicados a grandes proyectos de ingeniería, eficiencia energética e integración de energías renovable en edificios. Por otra parte, existe *Energesis Natura,* la cual se centra en la transferencia de las nuevas tecnologías energéticas al ámbito latinoamericano. Cuenta también con una última parte, *Energesis Home,* centrada en la eficiencia energética y en la implantación de las energías renovables en el hogar [22].

El dispositivo desarrollado por esta empresa, además de medir los valores de concentración de dióxido de carbono, es capaz de medir la temperatura ambiental del espacio cerrado, su humedad relativa y estimar la cantidad de dispositivos móviles que se encuentran dentro de él. Este dispositivo nos brinda la capacidad de poder conectarse a una red wifi y mostrar los datos obtenidos en tiempo real en la nube para su consulta. Por otra parte, almacena todos los datos obtenidos durante el tiempo que ha estado conectado para poder tener un historial de estos. Los datos se pueden consultar desde cualquier dispositivo que tenga acceso a la red y se haya registrado como usuario de la página web que nos proporciona la empresa, pudiendo acceder a los datos en tiempo real y el historial, obteniendo gráficas de los parámetros medidos y pudiendo ver en un mapa la posición GPS de cada medidor instalado. En la Figura 17 podemos observar cómo es físicamente el medidor, tanto los perfiles como el alzado [23].

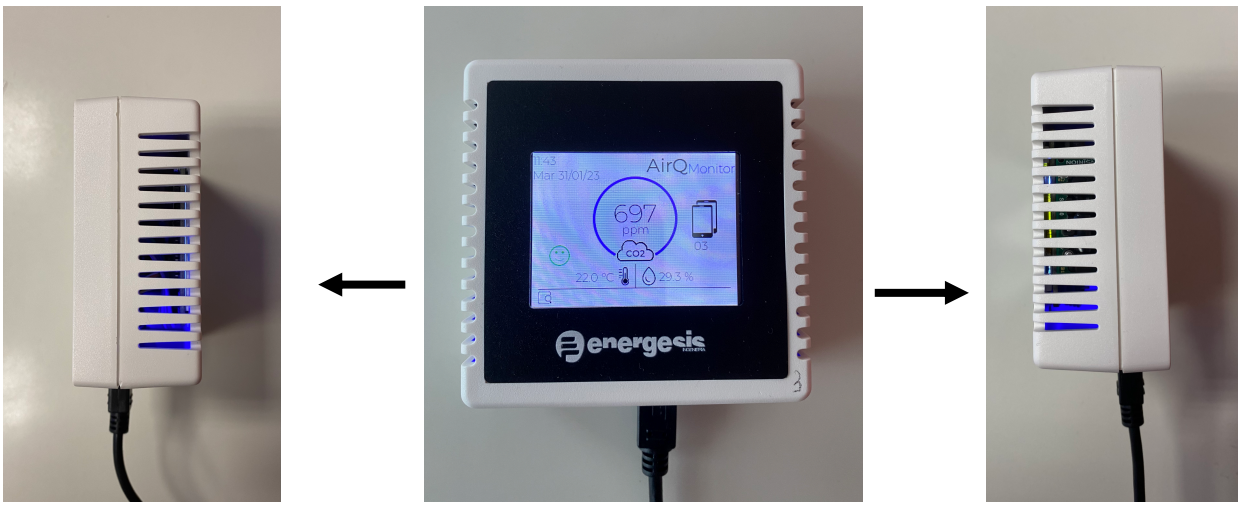


Figura 17 Medidor de CO_2 AirQMonitor

El medidor se compone de tres sensores principales para la medición de los principales parámetros, CO_2, humedad y temperatura. Las especificaciones técnicas de cada sensor se encuentran reflejadas en Tabla 3 Parámetro de Temperatura Ambiental, Tabla 4 Parámetro de Humedad Relativa, Tabla 5 Parámetro de CO_2 así como en la Tabla 6 Generalidades del medidor donde podemos encontrar las características principales.

Rango	Precisión	Tiempo de respuesta
-40ºC;70ºC	±0.5ºC	15s

Tabla 3 Parámetro de Temperatura Ambiental

Rango	Precisión	Tiempo de respuesta
0;95%	±3%	8s

Tabla 4 Parámetro de Humedad Relativa

Rango	Precisión	Tiempo de respuesta	Tipo de sensor
0;10000ppm	±(30ppm ± 3%VM)	20s	NDIR

Tabla 5 Parámetro de CO_2

Pantalla	Indicación de alarma	Alimentación	Condiciones Ambientales	Dimensiones
Táctil 2,4”	Cambio de color	5VCD	-5ºC;50ºC / 0;95% HR	84,5 x 84,5 x 37,7

Tabla 6 Generalidades del medidor

Este medidor de CO_2 puede instalarse en cualquier sitio, tanto en lugares domésticos como espacios de trabajo. Lo ideal para su instalación es situarlo en mitad de la habitación si es posible para una toma más fiable de datos. La altura para el posicionamiento será entre 1m y 1.5m. Es recomendable que no se encuentren personas a menos de 50cm, ya que el CO_2 que produce una persona puede falsear las medidas y provocar que salte la alarma. Tampoco es recomendable tener el medidor cerca de una fuente de calor o radiador porque de la misma forma se podrían falsear los datos. La incidencia del sol directamente y las corrientes del aire tienen que ser también evitadas para tener una toma de datos lo más correcta y precisa posible. Es necesario para su funcionamiento que el dispositivo esté conectado continuamente a una fuente de alimentación.



Figura 18 Pantalla y configuración inicial
Fuente Manual del Usuario AirQ-Monitor

Para finalizar su correcta instalación, una vez situado es necesario realizar una calibración del dispositivo para que tenga unos valores referencia. Es recomendable conocer los valores de temperatura y CO_2 previos a la instalación del espacio a estudiar, para que si el dispositivo se encuentra en mal estado o realiza medidas desproporcionadas se tenga una referencia para poder recalibrar el desajuste. Se pueden introducir varios parámetros para la calibración como la altitud, para que el dispositivo ajuste los valores medios, la temperatura de referencia la cual es útil para que el dispositivo conozca el error en la medición y poder corregirla de forma automática y por último la concentración real de CO_2 a la que se encuentra sometido el dispositivo.

El funcionamiento del sensor y el proceso que desarrolla para la obtención de datos se representa en el diagrama de bloques de la composición del dispositivo, mostrado en la Figura 19.

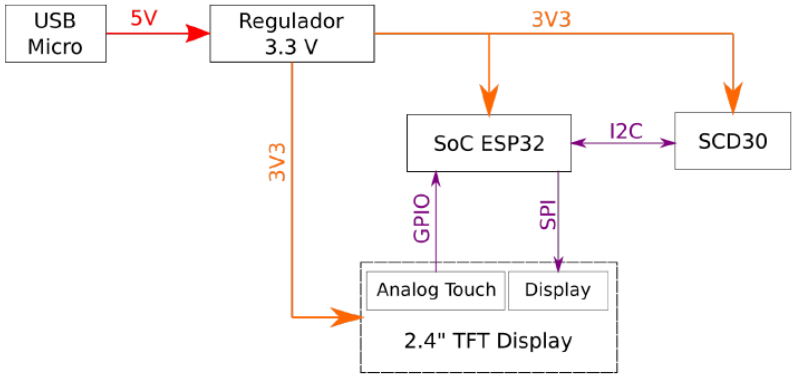


Figura 19 Diagrama de bloques del dispositivo
Fuente Manual del Usuario AirQ-Monitor

2.5 Análisis bidimensional

Para estudiar los datos obtenidos mediante los sensores explicados anteriormente, es necesario un método matemático que nos ayude a interpretar los datos obtenidos y sacar conclusiones de una forma veraz. Para ello utilizaremos el análisis bidimensional, método que permite analizar información y útil para comprender patrones y tendencias en los datos. Además, nos permitirá hacer una comparativa entre variables con el fin de poder tomas decisiones basadas en la información obtenida. Este método, el más simple en cuanto a análisis de datos, establece relaciones sencillas entre solo dos variables, destacando como análisis bidimensional el Coeficiente de Correlación de Pearson [24].

2.5.1 Coeficiente de correlación de Pearson

El coeficiente de correlación de Pearson (r) trata sobre la fortaleza de la relación de las observaciones de dos variables. Se define como una correlación lineal con el fin de encontrar el grado de relación que existe entre dos variables. El coeficiente puede tomar un valor entre 0 y 1. Podemos encontrar también valores negativos entre este intervalo de números, teniendo el mismo significado que si fuese positivo, pero inversamente proporcional, no como en el primer caso, que sería directamente proporcional. En la siguiente Tabla 7 podemos observar los significados de los distintos valores que puede tener este coeficiente [24].

Tipo de correlación	**Valor de *r***
Correlación Fuerte	0.5 - 1
Correlación Moderada	0.3 - 0.5
Correlación Débil	0.1 - 0.3
Correlación inexistente	0.1

Tabla 7 Distribución de valores de *r*

Para el cálculo de del Coeficiente de Pearson utilizaremos la siguiente fórmula:

$$r_{xy} = \frac{Cov(X,Y)}{\sigma_x \cdot \sigma_y} \tag{3}$$

Donde:

- *r* es el valor de la correlación.
- El numerador es la covarianza de las variables (x,y).
- El denominador es el producto de las desviaciones típicas de las variables estudiadas.

3 ELECCIÓN Y ESTUDIO DE LOS ESPACIOS

Conforme a la parte 1 de la norma UNE 171330 y al diagrama de flujo representado en la Figura 4, se requiere la búsqueda de espacios que se puedan ver comprometidos en cuanto a calidad ambiental. La parte 2 de la norma UNE se centra en la toma de datos en esos espacios para un posterior análisis.

Para el desarrollo de este TFG se procedió a clasificar los espacios del CUD dependiendo de su funcionalidad:

- Aulas de gran ocupación: el CUD tiene aulas con capacidad entre 80 y 90 personas que en este curso están siendo usadas por grupos de aproximadamente 40 personas.
- Seminarios: estos espacios tienen una ocupación máxima de 18 personas aproximada y normalmente suelen estar ocupados por grupos de 10 personas.
- Oficinas: en estos tipos de espacios se albergan unas 3 o 4 personas realizando trabajos en relación con la docencia del centro.
- Despachos del profesorado: con capacidad para 2 personas como máximo, con el fin de realizar su trabajo para preparar clases y para recibir a alumnos para tutorías y resolución de dudas.

Para nuestro estudio hemos seleccionado los siguientes espacios:

- Aulas de gran ocupación: el aula número 10 en el patio de aulas.
- Seminarios: seminarios número 1 y 2 del edificio del CUD.
- Oficinas: secretaría económica, en la planta alta del edificio del CUD.
- Despachos: el despacho número 109 de la planta baja del edificio del CUD.

Para situar de forma rápida los espacios estudiados, se muestran en la Figura 20, marcados con el recuadro de color rojo los mencionados anteriormente.



Figura 20 Representación de los espacios estudiados
Fuente Centro Universitario de la Defensa

3.1 Estudio en aulas

Para la elección del aula, se ha decido tomar como prioridad la que más capacidad tenga además de la que mayor número de horas esté ocupada. Esta aula también fue elegida para su estudio en el TFG mencionado en el apartado 1.1.3 del alumno Jesús Ruiz Fontán que desarrolló el trabajo de "Sistema de evaluación y control de la renovación del aire para prevenir la transmisión del COVID-19 en aulas".

3.1.1 Dimensiones y distribución

Como se ha mencionado anteriormente, se ha escogido el aula número 10 del patio de aulas de la Escuela Naval Militar. Esta aula está designada para que se desarrollen las clases de la 1ª Brigada. Cuenta con unas dimensiones de largo de 11.25 metros, una anchura de 9 metros y una altura de 2.8 metros. Con estas medidas obtenemos un volumen de 283.5 metros cúbicos que alberga esta aula. La distribución se basa en dos filas de 8 columnas, cada una de ellas con espacio para 5 alumnos por mesa, 10 por columna, marcadas de marrón, además de la mesa del profesor y una pizarra en negro. Cuenta con dos ventanas, marcadas en azul, para la ventilación de dimensiones 0.8x1 y 1x1.5 metros cuadrados, destacar que es la única ventilación del aula, no tiene aire acondicionado ni extracción forzada. Para un mejor entendimiento se adjunta la Figura 21 en la que se muestra de manera detallada la distribución de la clase. Se destaca con un círculo de color rojo el lugar donde se ha situado e instalado el medidor de CO_2, lejos de las ventanas con el fin de que la ventilación directa de las mismas no influya en la toma de datos.

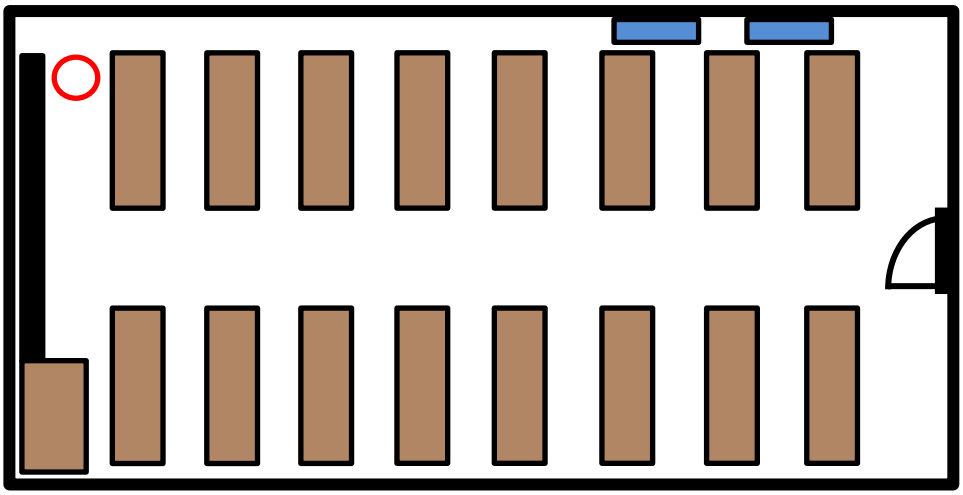


Figura 21 Distribución del aula 10

Para una vista más general, detallada y realista se adjunta la Figura 22, la cual es una foto del aula vista desde la zona donde se encuentra la puerta y otra desde donde se encuentra la pizarra.



Figura 22 Foto del aula 10

3.1.2 Ocupación y horario

A continuación, se realizará un seguimiento de las horas de clase que se imparten al día en esta aula. Hay que recalcar que el horario establecido en la Escuela Naval Militar se somete a diversos cambios continuamente debido al gran número de actividades que se tienen que realizar y a su gran diversidad dependiendo del día de la semana en el que se encuentran. Se mantiene un patrón general y podemos aproximar la actividad desarrollada a la representada en la Figura 23. Contamos con 5 horas de clase diarias, ocupadas por 4 grupos de 10 personas cada uno, concluyendo un total de 40 personas atendiendo la clase.

CURSO 2022-2023 SEGUNDO CUATRIMESTRE		CUERPO GENERAL						INFANTERÍA MARINA	
		ASP1 (CGA) PROM. 427						ASP1 (CIM) PROM. 157	
		G1	G2	G3	G4	G5	G6	IM1	IM2
LUN 06 FEB	0815-0905	ÁLGEBRA G1G2G3G4 10				CIENC_TEC_MATERIALES G5G6IM 9			
	0910-1000	ÁLGEBRA G1G2G3G4 10				INTR_GESTIÓN_EMPRESARIAL G5G6IM 9			
	1020-1110	CIENC_TEC_MATERIALES G1G2G3G4 10				ÁLGEBRA G5G6IM 9			
	1115-1205	INFORMÁTICA_INGENIERÍA G1G2G3G4 10				ÁLGEBRA G5G6IM 9			
	1210-1300	INTR_GESTIÓN_EMPRESARIAL G1G2G3G4 10				INFORMÁTICA_INGENIERÍA G5G6IM 9			
	1530-1620	ESTUDIO/TUTORÍA	ESTUDIO/TUTORÍA	ESTUDIO/TUTORÍA	ESTUDIO/TUTORÍA	I_GEST_EMPRES G5G6 15		C_T_MATER IM1 10	ESTADÍSTICA IM2 9
	1625-1715	ESTUDIO/TUTORÍA	ESTUDIO/TUTORÍA	ESTUDIO/TUTORÍA	ESTUDIO/TUTORÍA	I_GEST_EMPRES G5G6 15		ESTADÍSTICA IM1 10	C_T_MATER IM2 9
	1720-1810	ESTUDIO/TUTORÍA	ESTUDIO/TUTORÍA	ESTUDIO/TUTORÍA	ESTUDIO/TUTORÍA	ESTUDIO/TUTORÍA	ESTUDIO/TUTORÍA	ESTUDIO/TUTORÍA	ESTUDIO/TUTORÍA
	1815-1900	ESTUDIO / RECUPERACIONES	ESTUDIO / RECUPERACIONES	ESTUDIO / RECUPERACIONES	ESTUDIO / RECUPERACIONES	ESTUDIO / RECUPERACIONES	ESTUDIO / RECUPERACIONES	ESTUDIO / RECUPERACIONES	ESTUDIO / RECUPERACIONES
	1900-2000	ESTUDIO	ESTUDIO	ESTUDIO	ESTUDIO	ESTUDIO	ESTUDIO	ESTUDIO	ESTUDIO
	2030-2235	ESTUDIO	ESTUDIO	ESTUDIO	ESTUDIO	ESTUDIO	ESTUDIO	ESTUDIO	ESTUDIO

Figura 23 Horario Aspirante de 1º en el aula 10
Fuente Sabana Horario ENM

3.1.3 Base de datos

Es necesario para el estudio de la calidad del aire en el interior del aula, tener una base de datos amplia. Para ello, nuestro medidor de CO_2 *AirQMonitor,* que ha sido instalado en el aula es capaz de almacenar los datos obtenidos en la nube, mediante la plataforma *Thingsboard* mostrada en la Figura 24, a tiempo real para poder verlos online o poder elegir el momento concreto que nos interesa. Todo ello gracias a la página web y mediante una cuenta para el acceso proporcionada por la empresa desarrolladora del dispositivo.

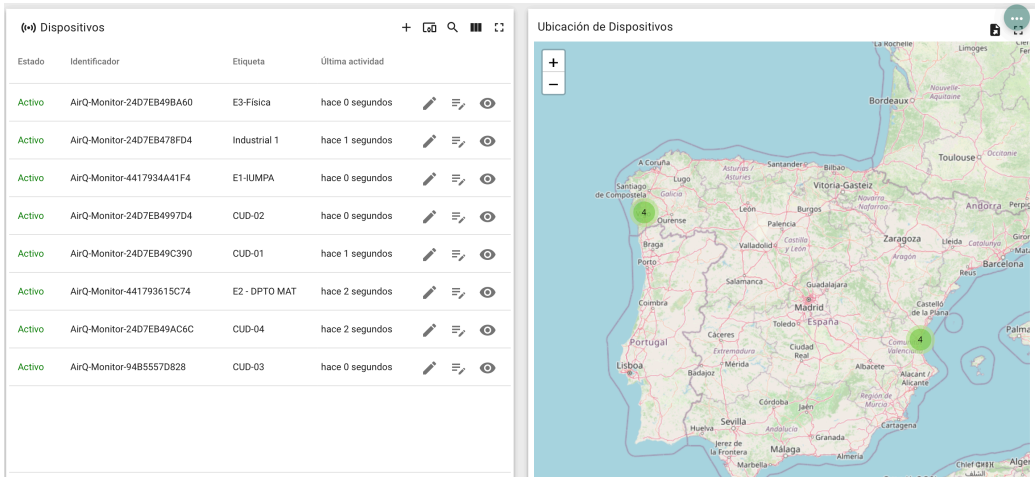


Figura 24 Ejemplo de la plataforma *Thingsboard*

Para el desarrollo de nuestra base de datos se han establecido diferentes ventanas temporales para que el manejo de datos sea más fácil y no con cantidades enormes de datos. En este caso, en el caso del aula 10, se ha establecido solo una ventana temporal desde el día 13 de enero de 2023 a las 07:00 de la mañana hasta el día 27 de enero de 2023 a las 07:00 de la mañana. Solo se ha elegido una ventana temporal debido a que se han tenido problemas con la red wifi y el medidor se ha tenido que cambiar de aula. Contamos con 14 días completos en los que el medidor estuvo almacenando datos, tomando muestras de los diferentes parámetros cada 60 segundos. En este periodo de tiempo se han obtenido 14869 datos, tanto de CO_2 como de temperatura, humedad relativa y dispositivos móviles existentes en el aula. Todos estos datos han sido plasmados en una hoja Excel para el posterior estudio. Además, con

los datos obtenidos se ha desarrollado una gráfica por cada parámetro y por cada ventana temporal. Para finalizar con el estudio, con los datos obtenidos y las diferentes herramientas de Excel, se han desarrollado correlaciones entre todos los parámetros estudiados.

3.2 Estudio en seminarios

Como ya se ha mencionado anteriormente, el estudio de la calidad del aire en seminarios tiene como fin tener variedad en los datos en cuanto a las aulas que queremos estudiar, para posteriormente hacer una comparativa en cuanto a espacio, personas y tiempo con los niveles de CO_2 obtenidos. Inicialmente solo se iba a estudiar el seminario 2 pero debido al problema con la conexión de la red wifi del medidor que se encontraba en el aula 10, se decidió cambiar su ubicación e instalarlo en el seminario número 1. Por tanto, se han estudiado tanto el seminario 1 como el 2.

3.2.1 Dimensiones y distribución del seminario 1

Comenzando con el seminario 1, hay que destacar que no fue el seminario que principalmente se pensó para el estudio de la calidad ambiental en su interior, pero debido al problema mencionado anteriormente, se decidió colocar el medidor de CO_2 en este lugar. Se localiza en la planta baja del edificio del CUD. Su orientación, al contrario que los demás espacios docentes estudiados no son hacia el patio de aulas, sino que se orienta como muestra la Figura 20 hacia la parte exterior del edificio, es decir, hacia la explanada de la Escuela Naval Militar. La funcionalidad de este tipo de aulas es para que se impartan clases a un grupo reducido de personas con el fin de no tener tanta aglomeración en clase y que pueda ser de mayor calidad. Por tanto, nos encontramos con un aula de dimensiones mucho más pequeñas que el aula 10, con menos capacidad de ocupación y además con un número menor de horas de uso. Un seminario es por lo tanto un aula auxiliar que no está designada a ninguna brigada, por lo que la mayoría de las horas está vacía y solo en horas puntuales se le da uso.

En cuanto a las dimensiones del seminario, más pequeñas que un aula normal, contamos con 7.8 metros de largo, 3.6 metros de ancho y 3.7 metros de alturas, con un volumen total de 103.9 metros cúbicos. La distribución que sigue este seminario es el establecido en la Figura 25, contando con una columna de parejas de pupitres de 5 filas y otra columna de pupitres individuales de tres filas, aunque se podría ver alterado debido a que las sillas y mesas no están ancladas al suelo como en el caso anterior. Todos los pupitres mencionados anteriormente además de la mesa del profesor están resaltados en color marrón. Por norma general se mantiene esta distribución. Cuenta con dos ventanas iguales de 1.1x1.8 metros cuadrados resaltadas en azul para poder ventilar el aula y una pizarra, resaltada en negro. Por último, indicar que la posición del medidor de dióxido de carbono se representa con el círculo de color rojo, alejado de las ventanas y fuera de la corriente de aire que se podría producir con la puerta abierta. Hay que destacar que las ventanas del aula no es la única forma de ventilación ya que este edificio cuenta con ventilación forzada para mejorar la calidad ambiental interior entre otras.

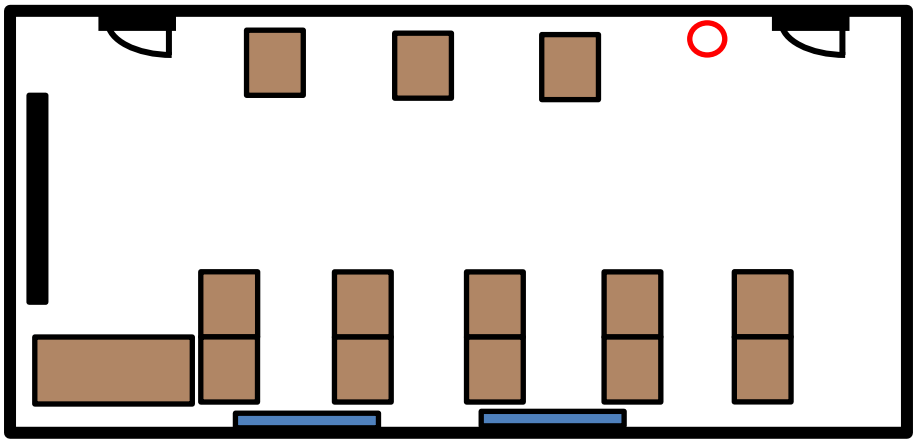


Figura 25 Distribución seminario 1

Se adjunta para mejor entendimiento la Figura 26 que muestra realmente cómo es el seminario 1.



Figura 26 Foto del seminario 1

3.2.2 Ocupación y horario del seminario 1

La capacidad de ocupación de este seminario es concretamente de 13 personas. Normalmente el uso de esta aula lo hace solamente un grupo de clase de como máximo 10 personas. Como ya se ha indicado anteriormente, esta aula es auxiliar, por lo que su ocupación no será como en otros casos de periodos largos durante la mañana ni un uso excesivo al día, sino más bien para un uso puntual. Para el cálculo de horas diarias que se utiliza el seminario, se ha observado el horario de cada semana, se ha buscado un patrón de repetición de horas, concluyendo un uso de entre 2 y 3 periodos a la semana, sin ser de forma continua. Cada periodo de clase es de 50 minutos y lo ocupa solamente un grupo de clase del alumnado de la ENM. Este seminario por otro lado también es usado por el profesorado del CUD para atender a clases de inglés. El horario es una hora y media los lunes y miércoles, aunque la ocupación va variando según la disponibilidad de horas libres que tenga el profesorado para atender a estas clases, siendo aproximadamente de 9 personas.

3.2.3 Base de datos seminario 1

Para el desarrollo de la base de datos del seminario 1, se ha escogido la ventana temporal desde el día 27 de enero de 2023 a las 07:00 de la mañana hasta el día 9 de febrero de 2023 a las 07:00. De nuevo, contamos con 14 días completos en los que el medidor obtenía datos de CO_2, temperatura, humedad relativa y dispositivos presentes en el aula. El dispositivo iba tomando muestras cada 60 segundos, llegando a obtener 17946 datos de cada parámetro. Todos estos datos, almacenados en la nube en la plataforma *Thingsboard,* mostrada anteriormente en la Figura 24, han sido descargados y plasmados en una hoja Excel para su posterior análisis y estudio mediante las correlaciones entre todos los parámetros, enfrentándolos uno a uno. Se han generado también las gráficas de la ventana temporal para poder ver representados los datos y poder intuir los días donde ha tenido el seminario 1 mayor actividad. Para poder tener una idea visual de las gráficas que se generan, se adjunta un ejemplo cualquiera de ellas en la Figura 27 de la plataforma en la que se almacenan los datos obtenidos por el medidor.

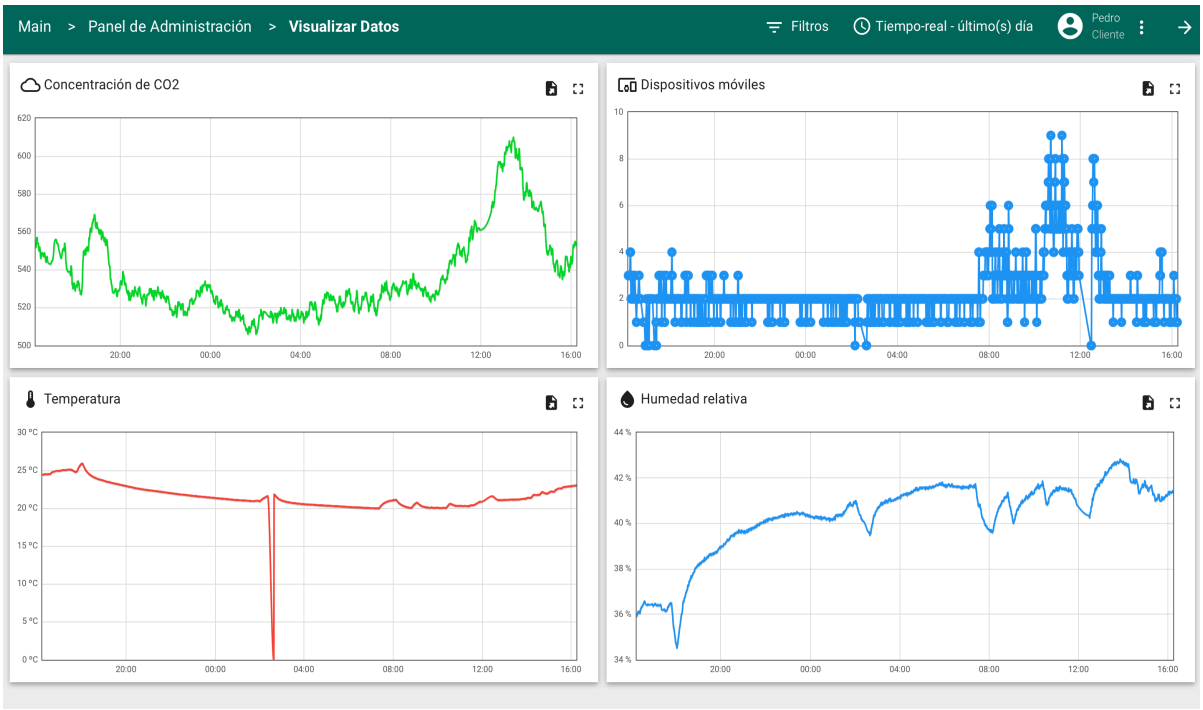


Figura 27 Gráficas generadas por la plataforma *Thingsboard*

En el ejemplo establecido, se muestran los datos a tiempo real del día 16 de febrero de 2023 hasta las 16:00 de la tarde. Como se observa en la gráfica de nivel de CO_2, se ve un repunte de concentración sobre las 12:00 de la mañana, lo que nos hace pensar que a esa hora ha habido una clase en el seminario 1. Para más corroboración, también hay un aumento de los dispositivos móviles y de humedad relativa.

3.2.4 Dimensiones y distribución del seminario 2

Continuamos con el estudio del seminario 2, inicialmente propuesto para su estudio, situado en el edificio del CUD en la Escuela Naval Militar, orientado al patio de aulas. La finalidad de esta aula también es que se desarrollen clases para un número reducido de personas. Como hemos mencionado anteriormente, las dimensiones son menores que las del aula 10 pero mayores que las del seminario 1. Contamos con un largo de 7.8 metros, un ancho de 5.1 metros y una altura de 3.7 metros. Obteniendo así un volumen espacial del seminario de 147.2 metros cúbicos. La distribución también es algo diferente, principalmente debido a que no se encuentran mesas corridas con sillas acopladas inamovibles, sino que cuenta con pupitres individuales tanto en parejas como en tríos, además de la mesa del profesor, todas representadas en color marrón. Exactamente tiene una columna de cuatro filas de tríos de pupitres y otra columna de tres filas de parejas de pupitres. Además, se encuentran dos ventanas iguales de

2.35x1.3 metros cuadrados resaltadas en color azul y una pizarra en color negro. Hay que destacar que la distribución, al ser mesas individuales y al no están ancladas al suelo podrían ser cambiadas, pero como norma general se mantiene la disposición que se muestra en la Figura 28. De nuevo, el círculo rojo marca la situación del medidor de CO_2. De la misma forma que en el anterior seminario, como se encuentra en el mismo edificio tiene ventilación mediante aire acondicionado.

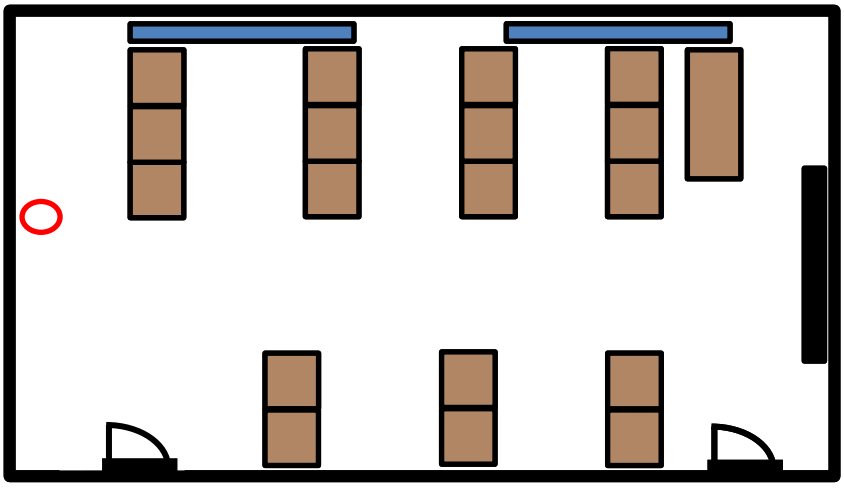


Figura 28 Distribución seminario 2

Para contar con una idea del seminario se adjunta la Figura 29, en la que se puede ver la representación de cómo es realmente.



Figura 29 Foto del seminario 2

3.2.5 Ocupación y horario del seminario 2

Este seminario, al ser un aula secundaria para dar clases a grupos reducidos de personas con la finalidad de explicar una parte de la materia en concreto, normalmente de ejercicios para que el entendimiento de estos sea exitoso, no es un aula con un uso excesivo de número de horas diarias como podíamos observar en el aula 10. Este seminario tiene una capacidad para 18 personas, mayor que el seminario 1, aunque normalmente el número de personas que lo ocupan es menor. La media es de 10 personas ya que suele atender a clases en los seminarios solamente un grupo de una brigada. El horario en el que se transita esta clase es cambiante, además de que este seminario auxiliar lo usan diferentes cursos, no solamente está asignado a una brigada concreta. Además, como en el caso anterior, también

este seminario es utilizado para clases de inglés del profesorado cuando el seminario 1 está ocupado. Por tanto, para determinar el uso de este, hemos tenido que realizar un estudio de cuántas brigadas lo utilizan, cuántas horas al día y ver si se cumple el patrón de uso en diferentes semanas para así aproximar una media de horas que se encuentra en uso. Determinando que el uso de este seminario se reduce a 2 o 3 horas semanales. Para las clases de inglés de igual manera, la ocupación de este es de 9 personas normalmente.

3.2.6 Base de datos del seminario 2

Para la construcción de la base de datos del seminario 2, como esta aula estaba pensada desde el principio para su estudio cuenta con dos ventanas temporales en las que el dispositivo de medición obtuvo datos. El primer periodo es del día 13 de enero de 2023, comenzando a medir a las 07:00, hasta el día 27 de enero de 2023 a las 07:00. Por tanto, el dispositivo monitorizó datos durante 14 días, tomando muestras aproximadamente cada 60 segundos, teniendo un total de 20156 datos por cada parámetro medido, tanto de CO_2 como de temperatura, humedad relativa y dispositivos existentes en el aula.

El segundo periodo de tiempo de obtención de datos comienza el mismo día que finaliza el anterior, es decir, comienza el día 27 de enero de 2023 a las 07:00 de la mañana y termina el día 9 de febrero de 2023 a las 07:00 de la mañana. Son 13 días en los que el dispositivo de medición tomó muestras cada 60 segundo llegando a almacenar un total de 18708 datos por cada parámetro que puede medir.

Por tanto, en el seminario 2 tenemos un total de 28 días completos medidos con una cantidad de 38864 datos plasmados en una hoja Excel para su análisis y estudio mediante las correlaciones de Pearson enfrentando todos los parámetros uno a uno.

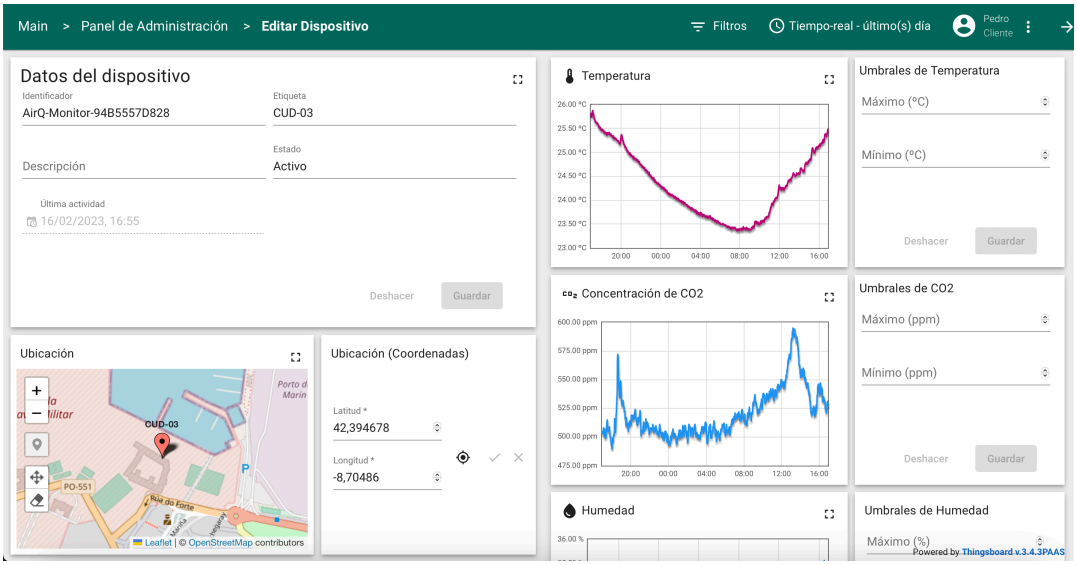


Figura 30 Menú secundario de la plataforma *Thingsboard*

Para un mejor entendimiento de lo que proporciona la plataforma *Thingsboard* que almacena los datos, se adjunta la Figura 30 que nos muestra otro menú el cual ofrece los datos del dispositivo, su ubicación, tanto en un mapa como posición GPS y gráficas de cada parámetro de forma historial pudiendo establecer valores máximos y mínimos umbrales con el fin de tener límites.

3.3 Estudio en despachos

Para conseguir una idea global de los valores de CO_2 que rondan en los espacios cerrados y su calidad ambiental, se ha decidido elegir también como lugar de interés el despacho de un profesor en el edificio del CUD. Es interesante contar con datos obtenidos en lugares donde se desarrollan trabajos de forma individual o con ocupación muy reducida entorno a las 2 personas.

3.3.1 Dimensiones y distribución

Para ello, se ha decidido obtener datos y estudiar concretamente el despacho número 109. Teniendo en cuenta que un despacho es un lugar destinado para que el profesor trabaje cuando no está en clase para la preparación de esta y atienda a los alumnos para cualquier inquietud, por ejemplo, para tutorías con el fin de resolver dudas de carácter individual entre el profesor y alumno. Es un espacio interesante para su estudio debido a que sus dimensiones son más reducidas que las de un seminario. El despacho se localiza también en la planta baja del patio de aulas, pero en el edificio del CUD.

En general, los despachos del profesorado del CUD tienen la capacidad para albergar dos módulos completos para que dos profesores ocupen un solo despacho con sus respectivas mesas, sillas, y armarios. En el caso del despacho 109, tiene la capacidad de dos personas también pero solamente estuvo ocupado por una durante el tiempo que duró el estudio.

Cuenta con unas dimensiones de 3.8 metros de largo, 3.6 metros de ancho y 3.7 metros de altura, contando con un volumen total de 50.6 metros cúbicos. La distribución de este despacho, representada en la Figura 31, es parecida a la de todos los que residen en el edificio del CUD, la forman dos pares de mesas, con cada par dispuesto formando un ángulo de 90 grados (en color marrón en la Figura 31), un gran armario (color gris) y 4 sillas (elipses). Además, existe una gran ventana situada a la espalda de la mesa de los profesores de dimensiones 1.8x1.1 metros cuadrados para la ventilación del espacio, aunque también dispone de ventilación mediante aire acondicionado. De nuevo el círculo de color rojo marca el lugar donde se ha instalado el medidor de CO_2.

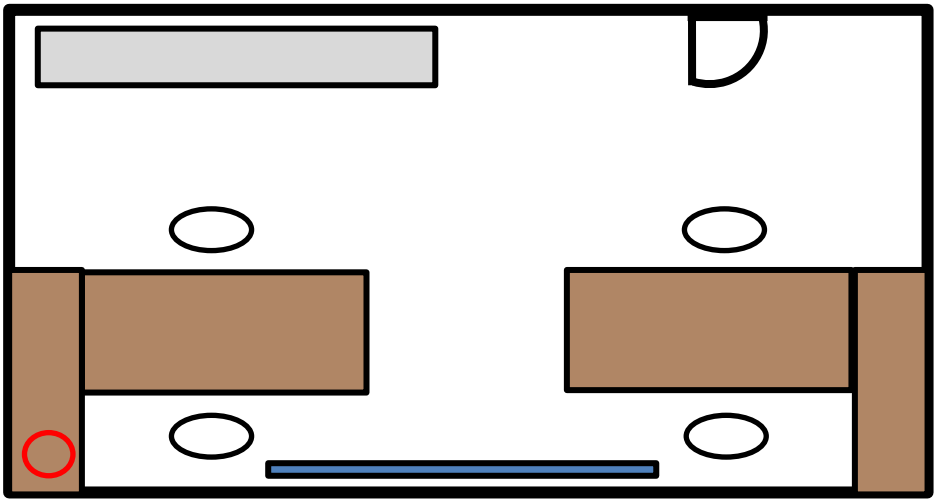


Figura 31 Distribución despacho 109

En la Figura 32 se puede ver cómo es realmente el despacho 109.



Figura 32 Despacho 109

3.3.2 Ocupación y horario

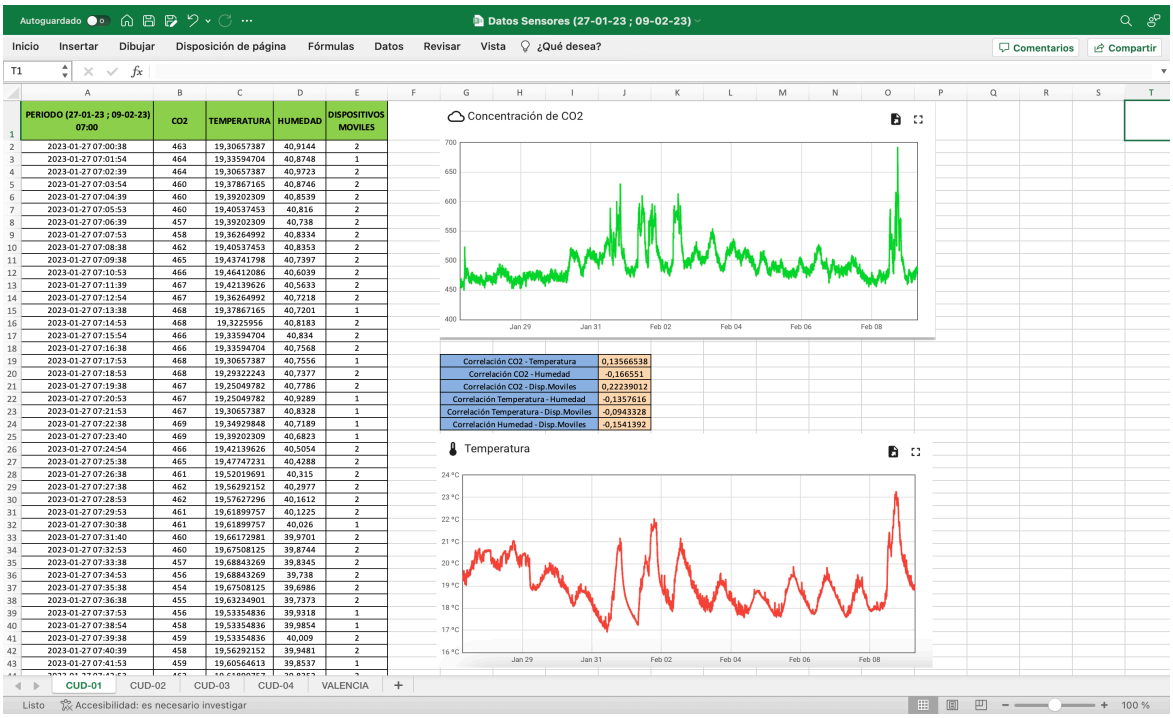
La ocupación del despacho 109 en cuanto a personal es fija, de una sola persona. Pero el horario que esta persona sigue en el despacho es cambiante, es decir, no es exactamente el mismo todos los días. Podemos concluir que durante la semana sigue un patrón, pero no se puede ajustar con certeza debido a que el profesor que se encuentra en este despacho tiene un número de clases a la semana en las que abandona este despacho. También el horario en el que acude personal ajeno al despacho es impredecible ya que el alumnado que necesite tutorías con el profesor acudirá a su despacho para la resolución de estas. Por otra parte, este despacho en cuestión pertenece a un profesor que está a cargo de varios trabajos de fin de grado por lo que los alumnos a los que guía también acuden a este lugar de forma aleatoria. Así mismo, en cuanto a tutorías en relación con el TFG, sí que se sigue un patrón, puesto que la mayoría de los martes de todas las semanas se dan lugar estas tutorías aumentando la ocupación del despacho en dos o tres personas y prolongado durante mañana o tarde.

3.3.3 Base de datos

La base de datos del despacho 109 está formada también como el seminario 2 con dos periodos de tiempo diferentes. El primer periodo comienza el 13 de enero de 2023 a las 07:00 de la mañana y termina el día 27 de enero de 2023 a las 07:00 de la mañana. Como en los casos anteriores, el dispositivo de medición tomaba muestras de los parámetros de CO_2, temperatura, humedad relativa y dispositivos en el despacho refrescando las tomas de muestras cada 60 segundos. En este primer periodo de toma de datos, se han tenido un total de 20160 datos.

Posteriormente se realizó otro periodo de toma de datos, comenzando cuando finalizaba el anterior, el día 27 de enero de 2023 a las 07:00 y terminando el día 9 de febrero de 2023 a las 07:00 de la mañana. Es otro periodo de 13 días en el que el dispositivo tomo un total de 18717 datos, almacenados en la plataforma.

Por tanto, tenemos un conjunto de 38877 datos en 27 días para su posterior estudio mediante una tabla Excel y sus respectivas correlaciones de cada parámetro enfrentados entre sí.



PERIODO (27-01-23 ; 09-02-23) 07:00	CO2	TEMPERATURA	HUMEDAD	DISPOSITIVOS MOVILES
2023-01-27 07:00:38	463	19,30657387	40,9144	2
2023-01-27 07:01:54	464	19,33594704	40,8748	1
2023-01-27 07:02:39	464	19,30657387	40,9723	2
2023-01-27 07:03:54	460	19,37867165	40,8746	2
2023-01-27 07:04:39	460	19,39202309	40,8539	2
2023-01-27 07:05:53	460	19,40537453	40,816	2
2023-01-27 07:06:39	457	19,39202309	40,738	2
2023-01-27 07:07:53	458	19,36264992	40,8334	2
2023-01-27 07:08:38	462	19,40537453	40,8353	2
2023-01-27 07:09:38	465	19,43741798	40,7397	2
2023-01-27 07:10:53	466	19,46412086	40,6039	2
2023-01-27 07:11:39	467	19,42139626	40,5633	2
2023-01-27 07:12:54	467	19,36264992	40,7218	2
2023-01-27 07:13:38	468	19,37867165	40,7201	1
2023-01-27 07:14:53	468	19,3225956	40,8183	2
2023-01-27 07:15:54	466	19,33594704	40,834	2
2023-01-27 07:16:38	466	19,33594704	40,7568	2
2023-01-27 07:17:53	468	19,30657387	40,7556	1
2023-01-27 07:18:53	468	19,29322243	40,7377	2
2023-01-27 07:19:38	467	19,25049782	40,7786	2
2023-01-27 07:20:53	467	19,25049782	40,9289	1
2023-01-27 07:21:53	467	19,30657387	40,8328	1
2023-01-27 07:22:38	469	19,34929848	40,7189	1
2023-01-27 07:23:40	469	19,39202309	40,6823	1
2023-01-27 07:24:54	466	19,42139626	40,5054	2
2023-01-27 07:25:38	465	19,47747231	40,4288	2
2023-01-27 07:26:38	461	19,52019691	40,315	2
2023-01-27 07:27:38	462	19,56292152	40,2977	2
2023-01-27 07:28:53	462	19,57627296	40,1612	2
2023-01-27 07:29:53	461	19,61899757	40,1225	2
2023-01-27 07:30:38	461	19,61899757	40,026	1
2023-01-27 07:31:40	460	19,66172981	39,9701	2
2023-01-27 07:32:53	460	19,67508125	39,8744	2
2023-01-27 07:33:38	457	19,68843269	39,8345	2
2023-01-27 07:34:53	456	19,68843269	39,738	2
2023-01-27 07:35:38	454	19,67508125	39,6986	2
2023-01-27 07:36:38	455	19,63234901	39,7373	2
2023-01-27 07:37:53	456	19,53354836	39,9318	1
2023-01-27 07:38:54	458	19,53354836	39,9854	1
2023-01-27 07:39:38	459	19,53354836	40,009	2
2023-01-27 07:40:39	458	19,56292152	39,9481	2
2023-01-27 07:41:53	459	19,60564613	39,8537	1

Figura 33 Ejemplo tabla Excel de datos

3.4 Estudio en oficinas

Por último, nos centramos en un espacio similar a una oficina el cual tendrá a personal trabajando durante su jornada laboral en un edificio, con separación entre trabajadores y sin aglomeraciones. Por tanto, se ha decidido estudiar la calidad ambiental en la secretaria económica del CUD.

3.4.1 Dimensiones y distribución

La secretaria económica se encuentra en el edificio del CUD, en la segunda planta orientada hacia el patio de aulas como se muestra en la Figura 20. La función de esta oficina es la preparación de la documentación del CUD, es decir, todo lo relacionado con las clases que se van a impartir en el centro y necesidades tanto del profesorado como del alumnado. Esta oficina tiene unas dimensiones un tanto peculiares, ya que en cuanto a dimensiones se encuentra entre las de un seminario, no tan grande y un despacho, no tan pequeño. Para ser exacto cuenta con un largo de 5.1 metros, un ancho de 3.8 metros y una altura de 3.7 metros, con un volumen total de 71.7 metros cúbicos. La distribución se puede observar en la Figura 34. Este espacio cuenta con tres mesas representadas en marrón, dos armarios representados en color gris y una ventana de color azul de 2.35x1.3 metros cuadrados además de contar con aire acondicionado en la sala. Se establece mediante el circulo de color rojo, el lugar donde está instalado el dispositivo medidor.

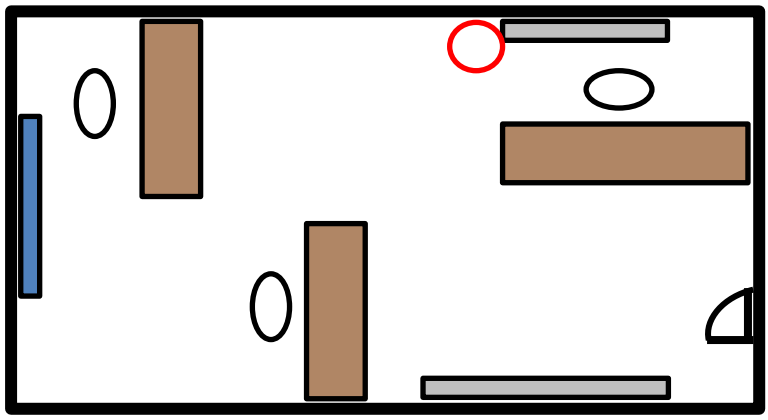


Figura 34 Distribución de la secretaría económica

En la Figura 35 se puede ver realmente como es la secretaria económica del CUD.



Figura 35 Foto de la secretaría económica

3.4.2 Ocupación y horario

La secretaria económica del CUD, está pensada para que trabajen 3 personas en el mismo espacio. Como se puede observar en la foto y en la distribución, hay 3 módulos de trabajo. Es interesante el estudio de la calidad ambiental en este espacio ya que no hay tantas personas como en un aula, ni un seminario, pero se encuentran más personas que en un despacho. La ocupación de esta sala, al contrario de los espacios mencionados anteriormente, sí tiene un horario fijo. Se centra en una jornada laboral que se comienza a las 08:00 de la mañana, con un descanso a mitad de mañana. Se desaloja la secretaría para que el personal coma sobre las 14:00 de la tarde y se retoma la actividad a las 16:00 hasta aproximadamente las 18:00. Por tanto, concluimos que en este espacio se mantiene ocupado alrededor de 8 horas diarias, todos los días de la semana, unas 40 horas semanales.

3.4.3 Base de datos

La base de datos de la secretaría económica está formada por datos de dos periodos de tiempo diferenciados. El primer periodo comienza en 13 de enero de 2023 a las 07:00 de la mañana y finaliza el 27 de enero de 2023 también a las 07:00. En este primer periodo de tiempo el dispositivo de medición estuvo tomando muestras de cada parámetro cada 60 segundos aproximadamente durante esos primeros 14 días, obteniendo un total de 20160 datos. El segundo periodo comienza al terminar el primero, el 27 de enero de 2023 a las 07:00 y finaliza el 9 de febrero de 2023 a las 07.00, teniendo de la misma forma que anteriormente, 13 días completos para la toma de datos de CO_2, temperatura, humedad relativa y dispositivo en la sala. Se obtuvo un total de 18713 datos en el segundo periodo.

Por tanto, para el estudio de la secretaría económica del CUD, en nuestra hoja Excel se dispone de 38873 datos, para poder realizar las correlaciones entre parámetros y obtener valores exactos y fiables.

4 ANÁLISIS Y RESULTADOS

Una vez obtenidos los datos de los diferentes espacios que queremos estudiar, continuamos con el análisis. Para ello se realizará un estudio de forma individual por cada espacio docente. Este estudio constará de la comparación entre los diferentes parámetros obtenidos por el dispositivo medidor mediante la búsqueda de correlaciones entre los mismos, además de la comparación mediante gráficas. Se observarán las zonas en las que los niveles sobrepasen los establecidos y estudiaremos en profundidad esos máximos de forma más detallada con el fin de conocer el por qué y desarrollar medidas para minimizarlos. La metodología descrita anteriormente sigue el proceso que muestra el diagrama de flujo de la Figura 4 basado principalmente en la norma UNE 171330. En este caso nos encontramos en la parte 2, una vez seleccionados los espacios para el estudio, procediendo ahora al análisis de estas con la toma de datos que se ha realizado en el apartado anterior.

4.1 Análisis de datos del aula 10

En el aula 10 se han tomados datos durante 14 días obteniendo un total de 14869. El análisis de estos datos se realizará siguiendo unos pasos. Se estudiará inicialmente de una forma general, lo cual nos permitirá decidir si se hacen estudios más concretos.

4.1.1 Análisis de las Correlaciones de Pearson

Para el análisis de las correlaciones de *Pearson* se han realizado todas las combinaciones posibles entre los parámetros estudiados (CO_2, temperatura, humedad relativa y dispositivos móviles) obteniendo 6 combinaciones y correlacionándolas entre sí. Este análisis se ha realizado mediante una tabla Excel en la que se encontraban todos los datos disponibles y con la herramienta "*Coeficiente de correlación",* obtuvimos los siguientes resultados mostrados a continuación en la Tabla 8.

Tipo de Correlación	Valores de *r*
CO_2 - Temperatura	0,4266
CO_2 - Humedad	-0,1116
CO_2 - Disp. Móviles	0,5046
Temperatura - Humedad	-0,1588
Temperatura - Disp. Móviles	0,3852
Humedad - Disp. Móviles	-0,3916

Tabla 8 Correlaciones de Pearson del aula 10

Como ya se había indicado anteriormente en este trabajo, los valores de las correlaciones de Pearson oscilan entre -1 y 1.

Centrándonos en la primera correlación entre el CO_2 y la temperatura obtenemos un valor de 0.4266 el cual nos indica, según la Tabla 7 de la distribución de los valores de *r*, una correlación moderada con un valor cercano a fuerte, entre estos dos parámetros. El significado de tener una correlación moderada es que hay una relación entre los parámetros la cual lo podemos definir de tal forma en la que, al aumentar un parámetro, el otro lo hace de manera similar. Para tener una idea más visual del comportamiento de los datos además de poder ver de forma directa la correlación de estos parámetros se adjunta el gráfico de dispersión de la Figura 36, donde se representan los 14 días de tomas de datos y el comportamiento de estos. Los valores de la concentración de dióxido de carbono comienzan en 500 ppm, valor en el que se mantiene la concentración cuando no se encuentra nadie en el interior del aula, superior a la concentración que hay en exterior. A raíz de ahí las concentraciones van aumentando y disminuyendo sin descender de este nivel. Por otro lado, la temperatura se establece como valor mínimo en 18 ºC, según la escala de la parte derecha del gráfico, fluctuando hasta valores de 25 ºC.

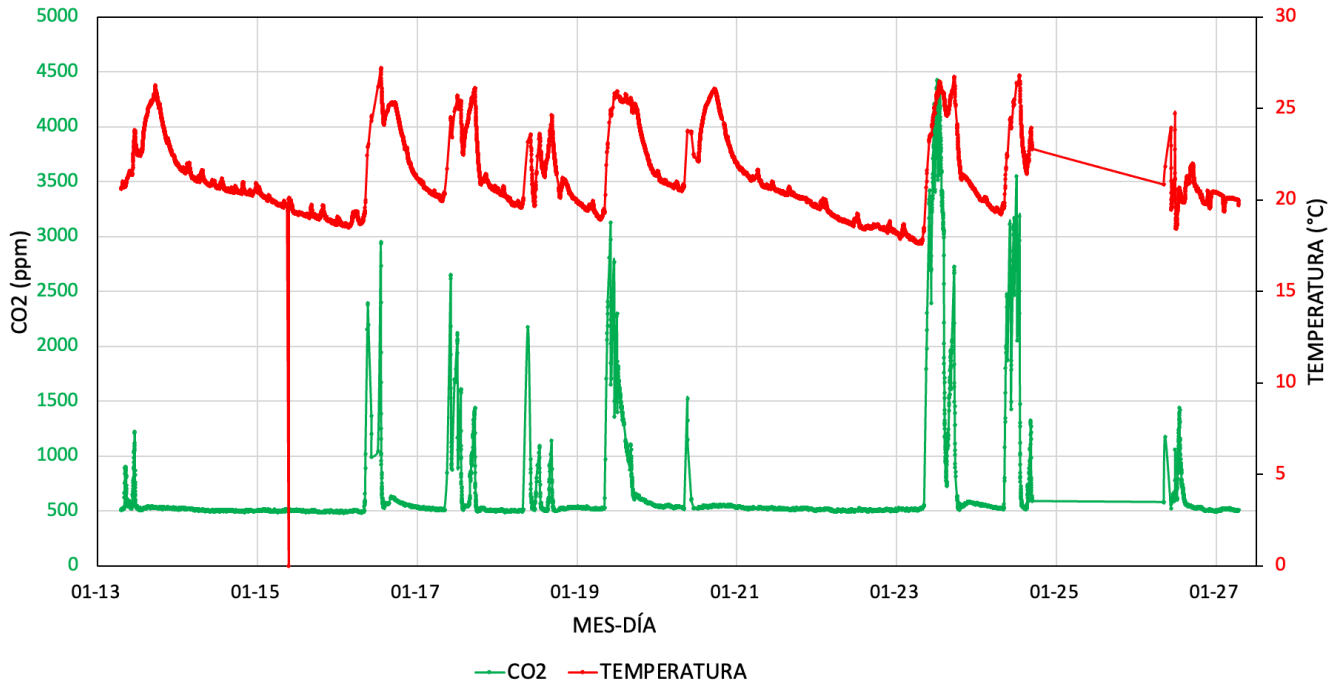


Figura 36 Gráfico de dispersión de CO_2 y temperatura

La correlación mencionada anteriormente entre el CO_2 y la temperatura se observa con claridad en el gráfico de dispersión. El aumento de la concentración de dióxido de carbono produce un aumento de la temperatura de forma similar, haciendo que los gráficos tengan una forma de dientes de sierra con un parecido razonable. También observamos en la parte inicial y final del gráfico, en el día 15 una recta vertical de color rojo que indica que un dato en la temperatura ha sido cero, por el fallo del sensor en una toma concreta de un dato. Comenzando en el día 25 se observa también una línea recta debido a que esos días se produjo una pérdida de la conexión del dispositivo de medición con la red wifi y por ello una pérdida de datos durante ese periodo de desconexión.

Continuando con la siguiente correlación entre los parámetros de CO_2 y HR, el valor -0.116 nos indica que la correlación es débil. Hay que destacar que este valor es el menor obtenido de todas las correlaciones calculadas en el aula 10. Con una correlación de tipo débil podemos determinar que la relación entre ambas variables es existente pero reducida. El signo negativo nos indica que a la hora de que una variable aumente la otra disminuye y viceversa.

Para un mejor entendimiento del comportamiento entre ambas variables, se ha creado el gráfico de dispersión de la Figura 37, para que de forma visual se pueda observar que el aumento, en este caso, de dióxido de carbono produce un descenso de la humedad relativa en el interior del aula. La simetría de ambas gráficas es parecida, pero de forma inversa ya que los aumentos de una coinciden con los descensos de la otra. La similitud en cuanto a aumentos y descensos no es total ya que la HR está influenciada por otros factores externos que producen cambios en esta. De nuevo la recta representada en la parte final de las gráficas representa la pérdida de datos en ese periodo de tiempo.

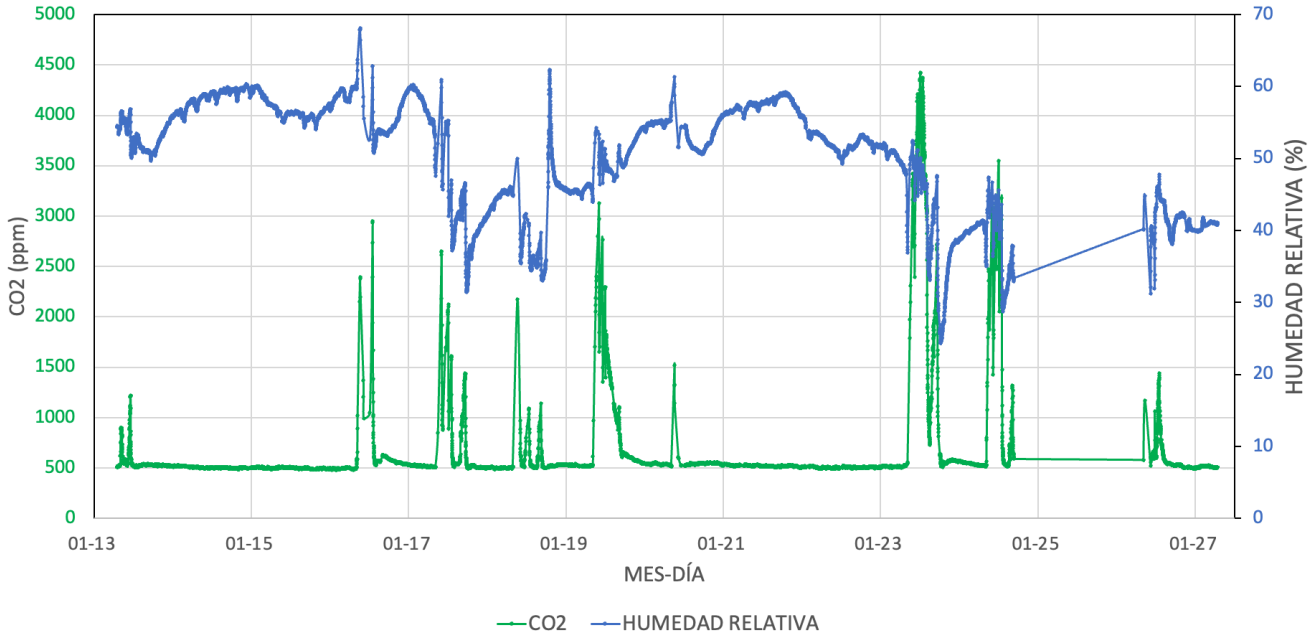


Figura 37 Gráfico de dispersión de CO_2 y HR

En el estudio de la correlación entre los parámetros de dióxido de carbono y los dispositivos móviles obtenemos un valor de 0.5046 el cual es el valor máximo obtenido de todas las correlaciones estudiadas en el aula 10. Este valor nos indica que existe una correlación positiva de tipo fuerte entre estos dos parámetros, por tanto, el aumento de un parámetro indica el aumento del otro. El número de dispositivos está muy correlacionado con la concentración de dióxido de carbono. Principalmente es debido a que un aumento del número de dispositivos significa un aumento del número de personas que se encuentran en el aula, por tanto, a mayor número de personas mayor concentración. En el gráfico de dispersión de la Figura 38 se muestra de forma visual cómo al aumentar una variable, lo hace la otra. El gráfico de los dispositivos móviles sitúa el origen en cero debido a que la mayoría de las horas del día no se encuentra nadie en el aula y solo aumenta el valor las 8 horas de clase al día. El número de dispositivos no coincide

con el número de personas que realmente están en el aula ya que el dispositivo de medición solo detecta dispositivos que estén en el aula con la misma red wifi. Debido a esto, el máximo en cuanto a dispositivos móviles es de 11 personas en vez de 40 que es la ocupación real de esta clase. Encontramos en la parte final del gráfico dos rectas que muestran la perdida de datos en ese periodo de tiempo sin tener valores para representarlos.

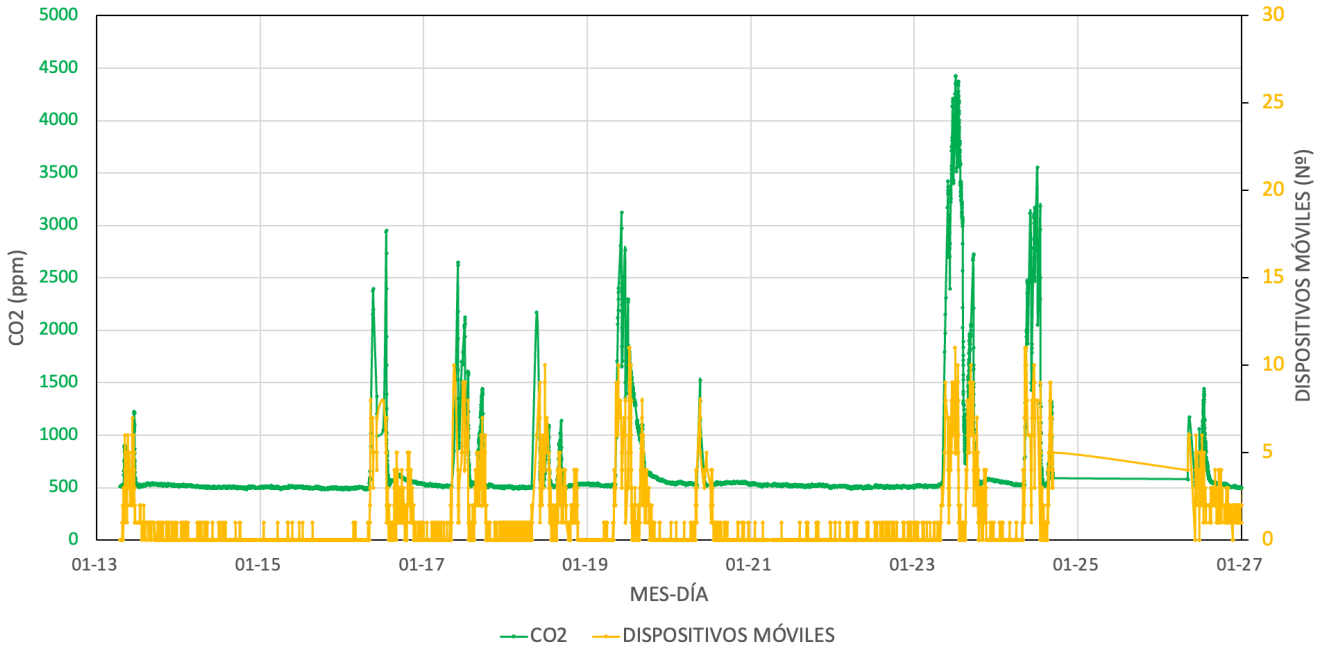


Figura 38 Gráfico de dispersión de CO_2 y Disp. Móviles

La correlación entre los parámetros de temperatura y HR tiene un valor de -0.1588 la cual nos indica que la correlación entre ambos es de tipo débil. Además, al tener un valor negativo nos proporciona la información de que estas variables se comportan de la siguiente manera, al aumentar la temperatura, HR desciende. Al ser una correlación de valor tan pequeño se podría puntualizar que ambos parámetros no mantienen una relación estricta. Se puede intuir observando el gráfico de dispersión en la Figura **39** que mantienen una semejanza en cuanto al comportamiento de aumento de una y disminución de la otra de una forma, como lo indica la propia correlación, débil. Se representa en la parte final del gráfico la pérdida de datos con una línea recta. De nuevo la recta vertical de color rojo al principio del grafico nos indica que un valor puntual de los datos ha sido cero, fallo del sensor a la hora de obtener datos.

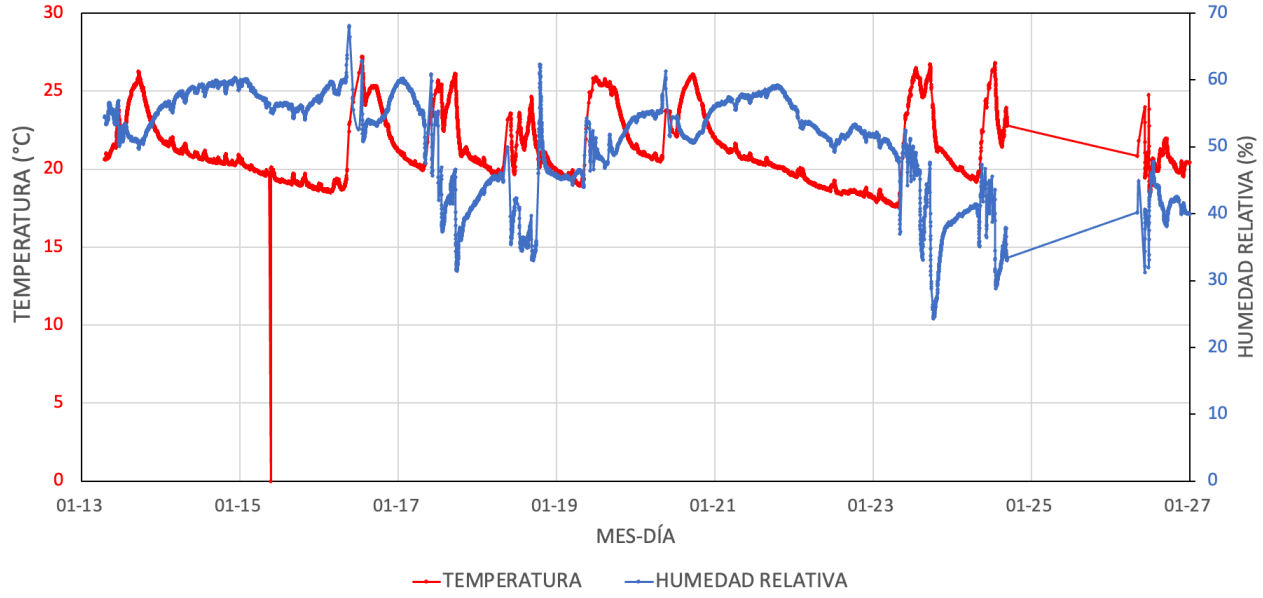


Figura 39 **Gráfico de dispersión de la temperatura y HR**

En el estudio de los parámetros de la temperatura y los dispositivos móviles obtenemos un valor de correlación de 0.3852 o lo que es lo mismo una correlación de tipo moderada. Al ser un valor alto en cuanto correlaciones podemos intuir que el comportamiento de ambos parámetros será similar, al aumentar uno lo hace el otro. De la misma forma en la que comparamos los dispositivos móviles con la concentración de CO_2, podemos determinar que este aumento de forma similar en ambos se debe a que el incremento de temperatura en el aula se produce por la ocupación de esta y este aumento de dispositivos móviles requiere un aumento de las personas en el aula. Representado el gráfico de dispersión de los parámetros observamos la correlación de ambos de forma similar. El origen del que parte el gráfico de dispositivo móviles es de cero llegando a valores de hasta 11 dispositivos, valor que no es realista ya que la ocupación del aula es mayor.

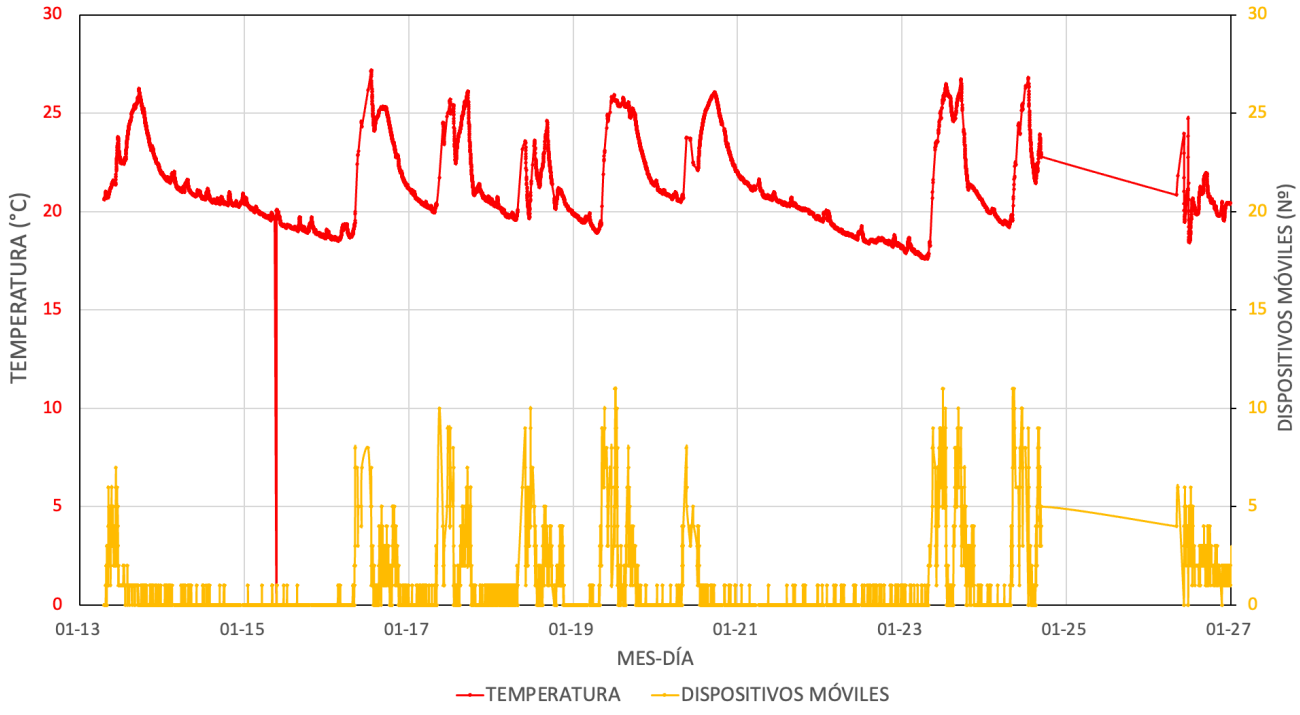


Figura 40 **Gráfico de dispersión de la temperatura y los Disp. Móviles**

Por último, hacemos la comparativa entre los parámetros de HR y dispositivos móviles obteniendo un valor de correlación de -0.3916, lo que nos indica que existe una correlación de tipo moderada entre ambas variables. El valor negativo nos indica que la relación entre ambos se representa mediante el aumento de una variable provoca el descenso de la otra. Para tener un apoyo más visual del comportamiento y como ya se ha realizado anteriormente, se adjunta un gráfico de dispersión el cual muestra de forma clara lo ocurrido. Los valores de la HR están sujetos a variaciones que dependen de otros fatores externos que no podemos controlar y provocan cambios erráticos en los datos y con ello cambios en la representación del gráfico. Aun así, se mantiene un patrón similar en la que los aumentos de una variable coinciden con los descensos de la otra.

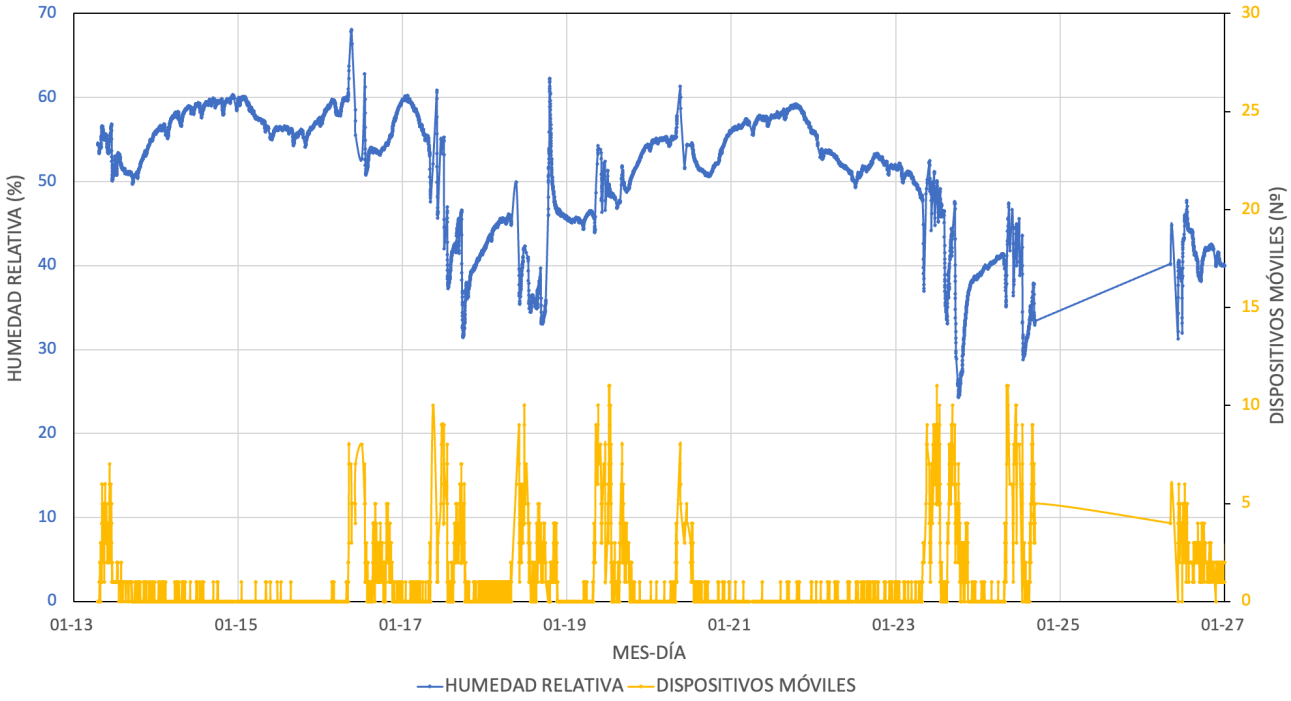


Figura 41 Gráfico de dispersión de HR y los Disp. Móviles

4.1.2 Análisis general de la concentración de CO_2

En este TFG nos hemos centrado en el estudio de la calidad del aire interior en base a la concentración de dióxido de carbono existente en el espacio con el fin de determinar si cumple con los niveles establecidos y requisitos según la norma que lo rige. Para ello hemos estudiado de forma general el comportamiento de CO_2 durante todos los días en los que se han obtenido datos en este espacio en cuestión, en este caso el aula 10.

Comenzando con el estudio y para un mejor entendimiento del comportamiento, se ha obtenido el gráfico que nos proporciona la plataforma *"ThingsBoard"* sobre el aumento y descenso de las concentraciones de dióxido de carbono a lo largo de los 14 días de estudio. En este caso, la gráfica obtenida no se ha tenido que escalar ya que solamente representa un parámetro no como en los casos anteriores. La elección del uso de esta gráfica y el no haber desarrollado la nuestra propia es porque gracias al uso de esta es posible ver exactamente la concentración en un punto y la hora exacta a la que se ha producido, facilitándonos así el análisis de la concentración.

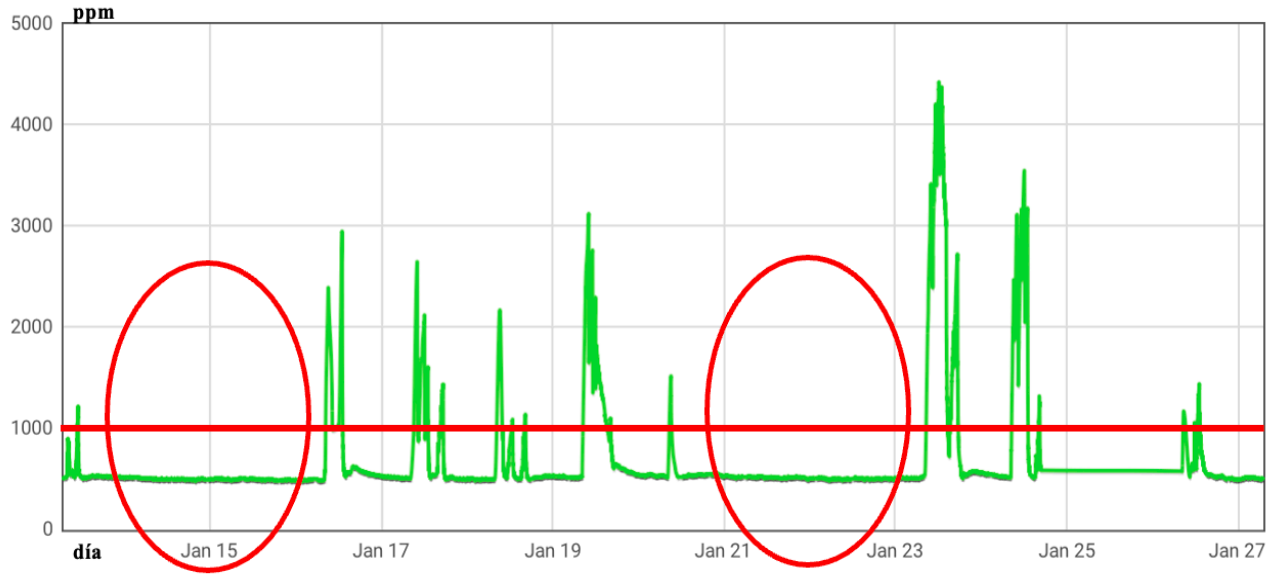


Figura 42 Gráfico de concentración de CO_2 del aula 10

Como se puede observar en la Figura 42, el comportamiento de la concentración de CO_2 sigue un patrón muy similar. Como es lógico se mantiene un nivel de concentración de 500 ppm durante todo el tiempo que el aula no está ocupada. Este valor es superior a la concentración en el exterior en la zona de Marín, Pontevedra que es de 407 ppm. Este aumento de la concentración en los periodos de tiempo que no está ocupada el aula es debido a que los espacios interiores de por sí tienen una mayor concentración de dióxido de carbono. Por otro lado, se puede observar que no se produce ningún aumento de la concentración en los días 14 y 15 de enero, ni tampoco en los días 21 y 22 de enero, marcados ambos con un óvalo rojo en el gráfico. Estos días coinciden con el fin de semana en los que no hay clase y por tanto la ocupación del aula es nula. Debido a esto, durante el sábado y domingo de cada fin de semana el nivel de concentración de dióxido de carbono se mantiene en el valor de 500 ppm.

A la vista del gráfico, cada día que hay clase se produce un aumento de la concentración, superando en todos los casos las 1000 ppm que es el límite máximo de concentración, marcado con una línea de color rojo, para que la calidad del aire en ese espacio interior sea saludable para las personas que se encuentran dentro del aula. Además, hay que destacar que los niveles a los que se llega en determinados momentos en el aula 10 son valores de muy altos con cifras de 3000 ppm hasta 4000 ppm. El aula 10 sigue un horario muy parecido durante el curso y los picos que observamos en esta gráfica se asemejarán mucho a lo que ocurrirá durante todo el curso.

Como ya se ha mencionado antes, este apartado se centraba en un estudio de forma general, en el que obtuvimos una visión global de lo que está ocurriendo en el aula 10, llegando a observar que todos los días de la semana se da clase en esta aula y todos los días de forma reiterada se sobrepasan el nivel máximo establecido de 1000 ppm de concentración de CO_2. La concentración de dióxido de carbono y en general la calidad del aire en interiores depende de muchos factores, los cuales, al cambiar algo de ellos provocan grandes diferencias. El objetivo de esta vista global no es más que observar diferentes días de clase en diferentes situaciones, estas situaciones determinadas por factores que pueden cambiar la calidad del aire, como por ejemplo la apertura de una ventana o la puerta. Por tanto, observamos que, aunque influyan diferentes factores en el aula, se mantiene el mismo patrón de concentraciones altas prácticamente todos los días.

4.1.3 Análisis puntual de la concentración de CO_2

En el análisis puntual de la concentración de dióxido de carbono se ha escogido un día en concreto en el cual los valores de concentración han sido notablemente altos para estudiar de forma concienciada las razones que han producido esta situación, los factores de los cuales dependían y de esta forma llegar a una solución para que esta situación y situaciones parecidas no se vuelvan a dar. Para ello se ha escogido el día 23 de enero de 2023. Este día se llegó a un nivel máximo de concentración de 4426 ppm. Se ha estudiado la ocupación del aula con el horario de la ENM, viendo la relación entre ambos. Según la Figura 43, la ocupación del aula es de 5 clases por la mañana y 2 por la tarde, teniendo entre medias, la hora de deporte y la comida.

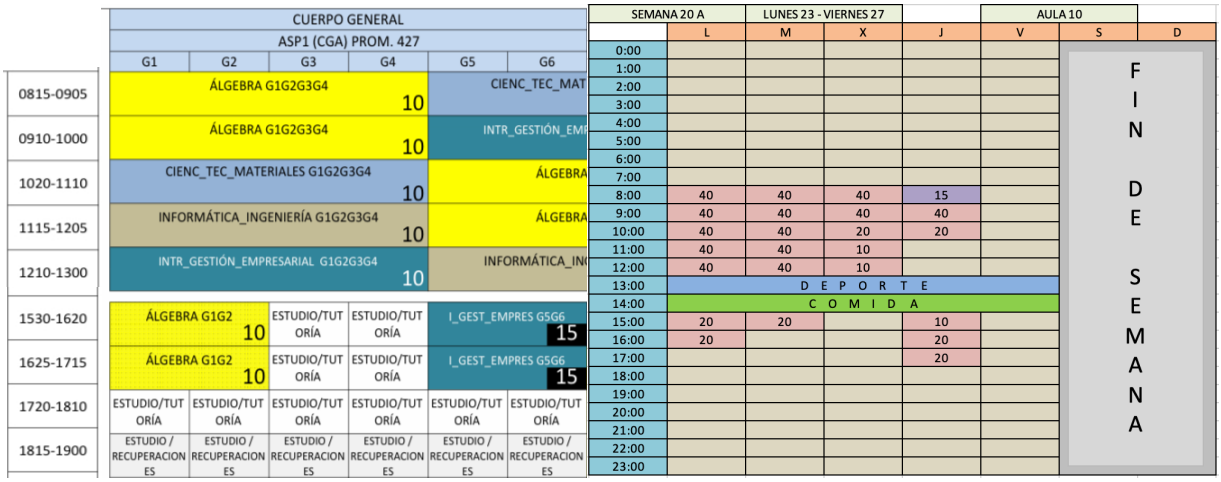


Figura 43 Horario y ocupación del aula 10 el lunes 23 de enero

Las clases duran 50 minutos con 5 minutos de descanso entre clase y clase, teniendo un descaso de más duración a las 10:00 de la mañana de 20 minutos. El alumnado asistente a las clases, en este caso, es de 40 personas. Estas 40 personas se mantienen durante todo el periodo matutino de clases, contando con más de 4 horas dentro del aula. Al contrario, por la tarde la ocupación del aula es menor, solamente asiste a clase dos grupos de 10 personas, es decir, 20 en total. El periodo vespertino tiene una duración de menos de dos horas con menos ocupación.

Mediante la gráfica que nos proporciona la plataforma *"ThingsBoard",* se ha analizado el comportamiento de la concentración de CO_2, marcando las horas en las que los máximos se daban y los niveles durante todo el día. En esta misma gráfica también se ha marcado el periodo matutino y vespertino de las clases, notándose una clara diferencia en cuanto a niveles de concentración, como se puede observar en la Figura 44.

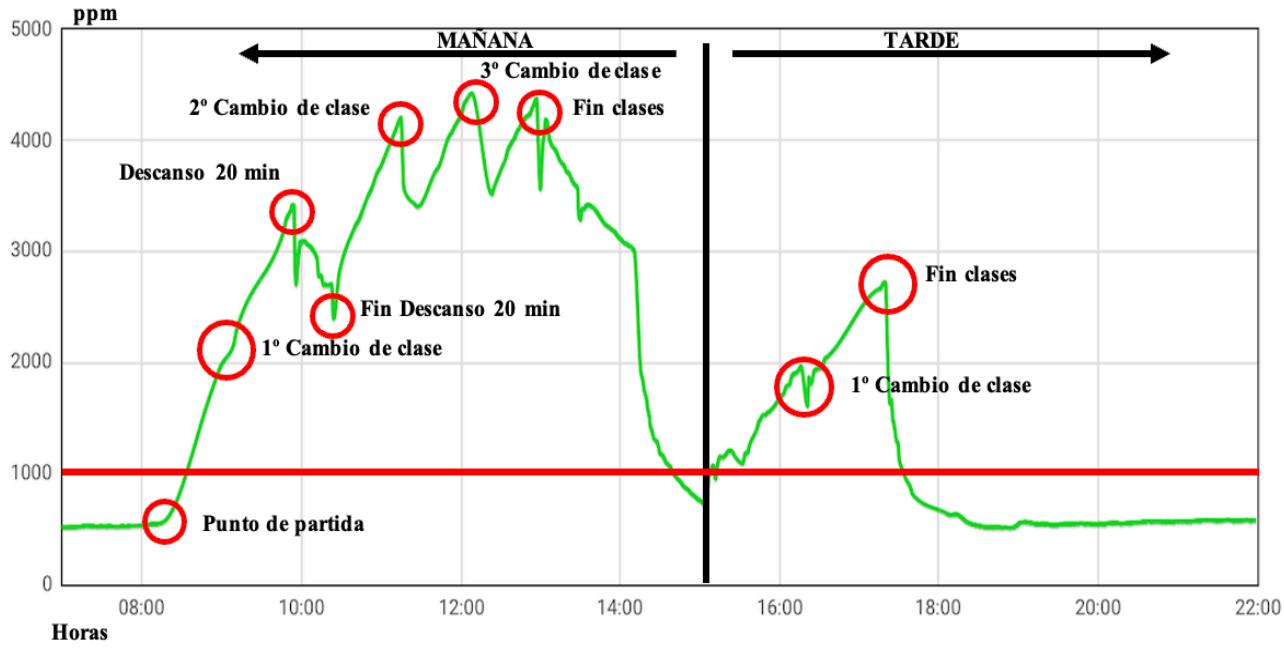


Figura 44 Gráfico de concentración de CO_2 del lunes 23 en el aula 10

Analizando el gráfico más detenidamente, el comienzo del aumento de la concentración comienza a la hora en la que el alumnado entra en clase a las 08:15, llamado punto de partida. En este punto se marca el inicio del aumento de la concentración de CO_2 que se mantiene en continuo crecimiento, llegando a rebasar el límite de 1000 ppm en un tiempo muy reducido, exactamente a las 08:23, hasta las 09:05 donde ocurre el primer cambio de clase y el primer descanso de 5 minutos. El alumnado abandona el aula, observando que en el aumento de la concentración hay un cambio de pendiente de menor inclinación lo que nos lleva a determinar que no se encuentra personal en el aula y dióxido de carbono no solo no deja de aumentar, sino que tiene indicios de comenzar a disminuir. Este cambio de clase al ser de un periodo de tiempo muy reducido no es suficiente para que la concentración disminuya, pero si se observa que el simple hecho de la apertura de la puerta para el cambio de clase produce un ligero cambio. De nuevo comienza la clase y comienza el aumento de concentración hasta las 10:00 cuando ocurre el descanse de 20 minutos, determinando que en las primeras dos horas se llega a tener una concentración de 3438 ppm, nivel dañino para la salud de las personas que se encuentran en ese espacio.

Hay que destacar que hasta el momento no se ha producido ninguna apertura de las ventanas, solo la apertura de la puerta para el cambio de clase. Una vez finalizado el descanso, manteniendo la puerta abierta se produce un descenso de la concentración hasta 2394 ppm, casi un descenso de 1000 ppm en 20 minutos solo con la puerta abierta y sin ocupación en el aula. Después del descanso comienzan las tres clases restantes seguidas, observando en la gráfica un aumento continuo de la concentración hasta el segundo cambio de clase, con una concentración máxima de 4208 ppm.

En este cambio de clase de 5 minutos se produce una apertura de puerta y ventanas además del abandono del aula descendiendo el nivel de concentración hasta 3404 ppm, casi 1000 ppm, igual que en el descanso de 20 minutos, pero esta vez en menos tiempo y teniendo las ventanas abiertas, ya que si no estuviesen abiertas el descenso de la concentración sería mucho menor. Este patrón se repite de forma parecida en el tercer cambio de clase con niveles parecidos, siempre manteniendo las ventanas cerradas durante la clase y abriéndola en los cambios.

Al final de la mañana se produce el fin de las clases con un nivel de 4336 ppm y se abandona el aula durante la clase de deporte y la comida hasta el comienzo de las clases de la tarde. En total es un tiempo de dos horas y media, en la que el aula se mantiene vacía con las ventanas y puertas abiertas, llegando a reducir la concentración a 634 ppm, valores parecidos a la concentración exterior y aceptables para el desarrollo de actividades en el interior.

Al inicio de la tarde la concentración y la calidad del aire es aceptable, pero al comenzar las clases, comienza el aumento de la concentración de CO_2. Se observa que la pendiente ascendiente de la concentración es menor que por la mañana debido a que hay un menor número de personas en el aula y no se genera tanto dióxido de carbono de forma rápida. Aun así, la concentración supera el nivel máximo permitido, llegando a ser de 1948 a las 16:20, momento en el que se produce el cambio de clase y de nuevo el abandono del aula por el personal, descendiendo hasta 1607 ppm. Continuando con la última hora de la tarde y del día, se llega a un nivel de 2725 ppm, punto en que finalizan las clases y el nivel de concentración de CO_2 desciende pasado una hora aproximadamente al nivel de concentración original, manteniéndose durante toda la noche hasta la mañana siguiente.

4.1.4 Soluciones y medidas

En general, el aula 10 no cumple con los requisitos establecidos para mantener el nivel máximo de 1000 ppm de concentración de CO_2 por tanto se debe tomar medidas para solucionar este problema. Como ya hemos visto, el simple hecho de abrir las ventanas o puertas durante periodos de tiempo reducidos provoca un cambio sustancial en el nivel de concentración del aula. Hemos determinado que en 5 minutos con las ventanas abiertas y la puerta se reduce casi 1000 ppm la concentración sin personas dentro del aula. Por otra parte, el nivel base en el que se debe mantener el dióxido de carbono (entre 700-1000 ppm) según lo establecido por la OMS [14] se sobrepasa en 3000 ppm. Además, el tiempo que se tarda en sobrepasar el nivel es realmente reducido, aproximadamente 8 minutos. Por tanto, para mantener la calidad ambiental se requiere mantener por lo menos mantener las ventanas abiertas durante cinco minutos dos veces por cada clase, además de que, a la hora del cambio de clase, abrir todas las ventanas y la puerta para reducir de forma notable los niveles para mantener el nivel lo más bajo posible.

4.2 Análisis de datos del seminario 1 y 2

En este apartado se desarrollará el análisis de datos con respecto a los dos seminarios estudiados durante este TFG. De la misma forma que para el aula 10 se hará un análisis de las correlaciones entre los parámetros, un análisis general de la concentración de CO_2, continuando con un estudio más selecto y finalizando con unas medidas a tomar. Se analizarán los dos seminarios de forma simultánea. Contamos con 14 días de datos para realizar el estudio con una cantidad de 17946 datos del seminario 1 y con 20156 datos de los primeros 14 días y con 18708 datos de los segundos 13 días ambos en el seminario 2, un total de 38864.

4.2.1 Análisis de las correlaciones de Pearson

Las correlaciones de Pearson estudiadas han sido entre todos los parámetros que se han obtenido en estos espacios, tanto CO_2 como temperatura, humedad relativa y dispositivos móviles. Para ello se han calculado las correlaciones mediante una hoja Excel. Los resultados son los que se muestran a continuación en la Tabla 9.

Tipo de Correlación	**Valores de *r del Seminario 1***	**Valores de *r del Seminario 2***
CO_2 - Temperatura	0.1483	-0.0152
CO_2 - Humedad	-0.0986	-0.1108
CO_2 - Disp. Móviles	0.2838	0.1654
Temperatura - Humedad	-0.6837	0.6200
Temperatura - Disp. Móviles	-0.1135	-0.1483
Humedad - Disp. Móviles	-0.0182	-0.13325

Tabla 9 Correlaciones de Pearson en los seminarios

Comenzando con el análisis de la correlación entre el CO_2 y la temperatura obtenemos un valor de 0.1483 con respecto al seminario 1 y -0.0152 con respecto al seminario 2. La correlación del seminario 1 muestra que es de tipo débil mientras que la del seminario 2 es inexistente. Observamos en general en los dos seminarios que la relación que guardan los dos parámetros no es muy notable, incluso obteniendo valores de distingo signo, lo que significa que en el seminario 1 al aumentar el dióxido de carbono lo hace también la temperatura mientras que en el seminario 2 cuando aumenta la concentración, disminuye la temperatura. En general, ambos valores son muy cercanos a cero y en realidad no se encuentra tanta diferencia entre ellos. La diferencia entre correlaciones entre ambos seminarios se debe al número de personas que pueden ocupar estos seminarios, siendo mayor en el seminario 2 y del número de horas que se ocupan los seminarios, también distintas.

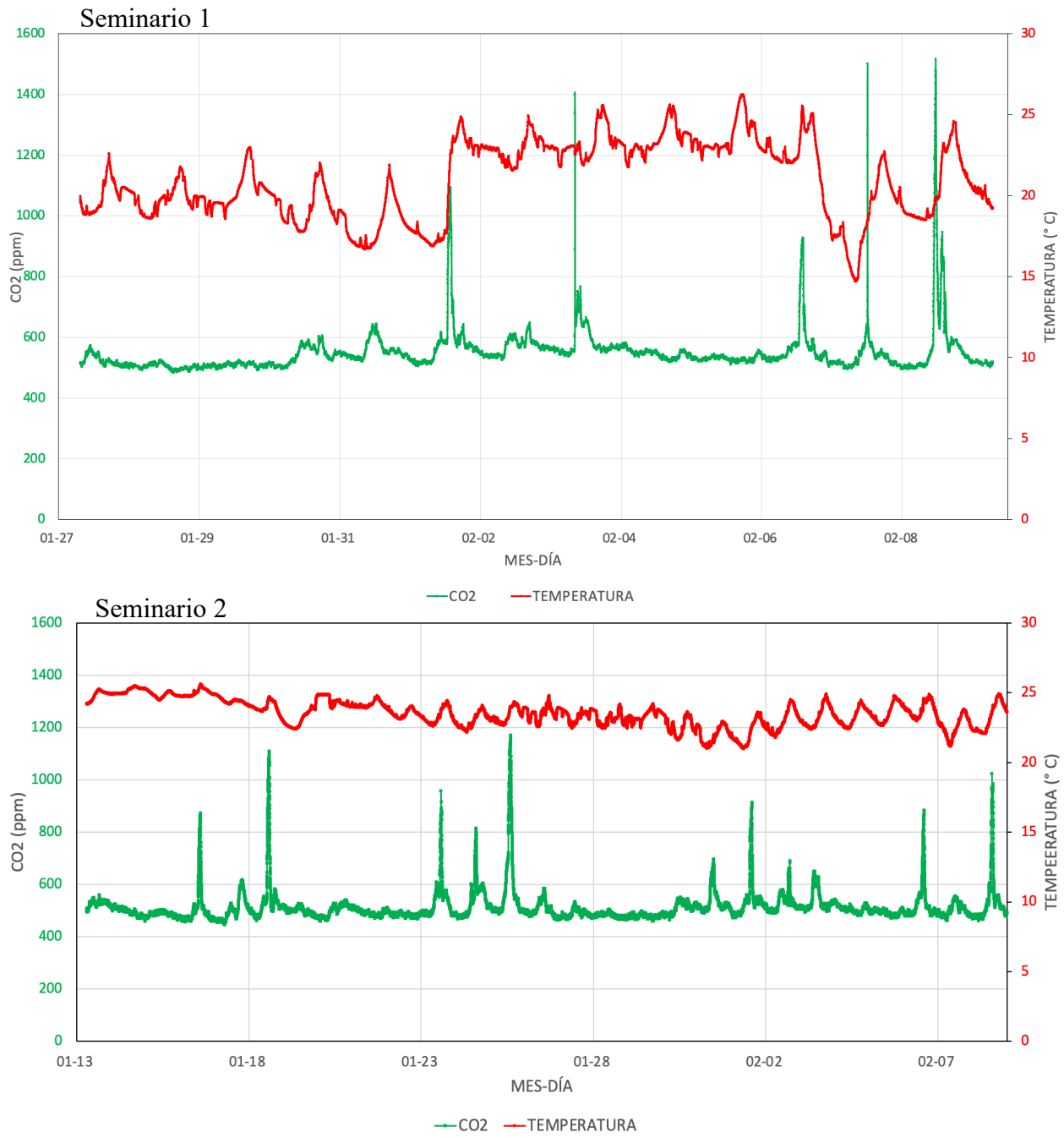


Figura 45 Gráfico de dispersión de CO_2 y temperatura

Como se puede observar en la Figura 45, ambos gráficos describen representaciones diferentes. Principalmente en el seminario 1 la temperatura es más cambiante debido a la menor ocupación que tiene este seminario en cuanto a horas, como se puede determinar mediante el gráfico de concentración. también afecta que la climatización del seminario no está en funcionamiento porque no se encuentra normalmente personal dentro de él. Las líneas verticales en el seminario 1 muestran perdidas de datos por la pérdida de conexión de la red wifi. Al contrario, el seminario 2, mantiene una temperatura más estable centrada en un rango de valores pequeño y en este caso el sistema de climatización según el gráfico de temperatura si está en funcionamiento. También podemos observar que en este seminario tiene un mayor uso, reflejado en el gráfico de concentración de dióxido de carbono. Es destacable que en el seminario 2 se supera varias veces el nivel máximo establecido de 1000 ppm en la concentración, mostrando que no se están respetando los niveles de concentración establecidos.

La correlación entre los parámetros de CO_2 y HR tienen unos valores de -0.0986 y -0.1108 del semanario 1 y seminario 2 respectivamente. La correlación en el seminario 1 es de tipo inexistente y en el seminario 2 es débil, prácticamente inexistente. Ambos valores coinciden en el signo negativo indicando que el aumento de dióxido de carbono produce una reducción de HR. El principal factor que produce una correlación casi inexistente en los dos seminarios es la ocupación reducida que tienen, además de la ocupación esporádica ya que en estas aulas no se imparte clase de forma regular. Como representa la Figura 46, de la misma forma, la concentración del seminario en general es menor porque no se utiliza tanto en comparación con el seminario 2. Se observa que HR en el seminario 1 se mantiene más sobre unos valores que la del seminario 2.

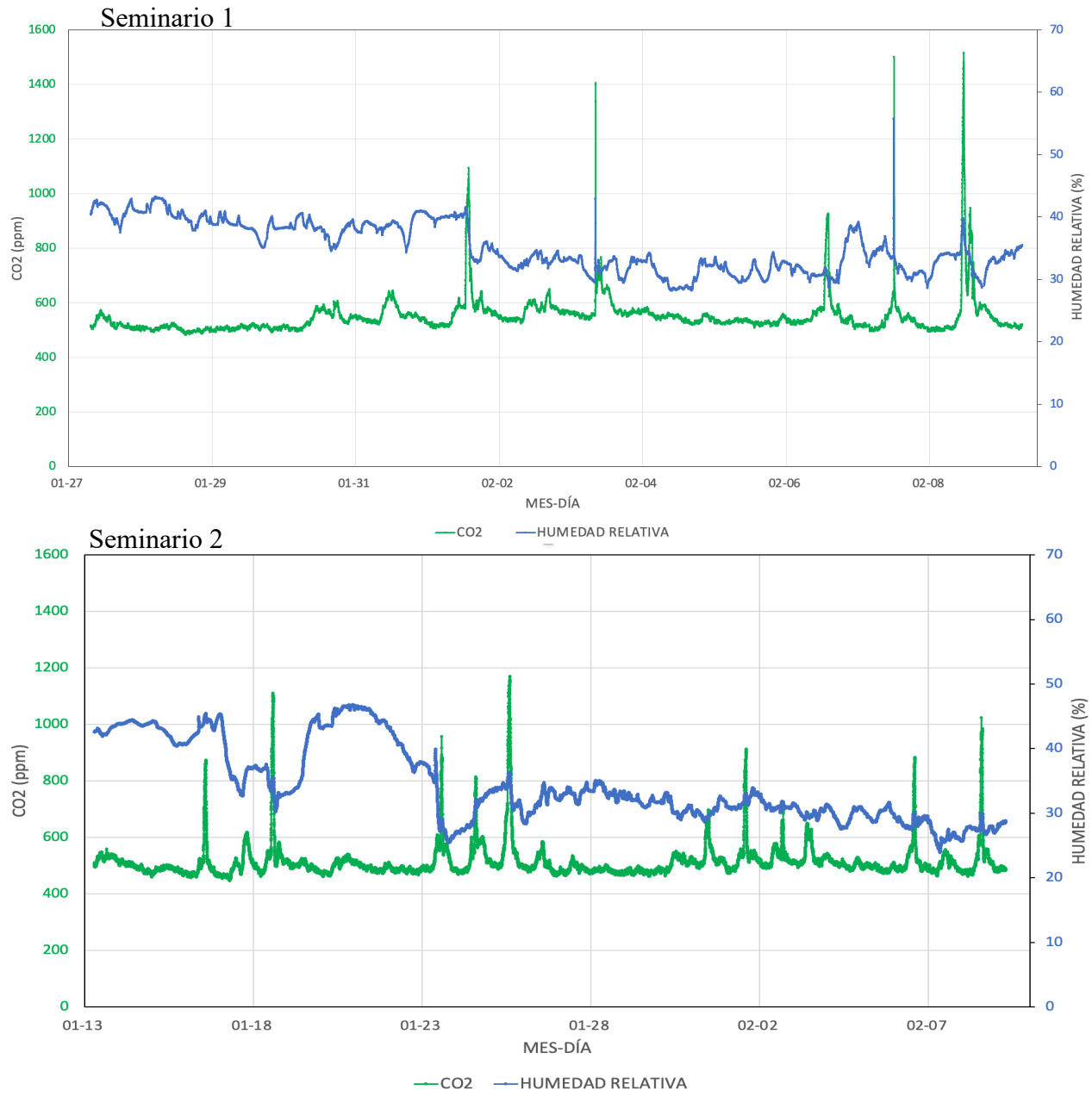


Figura 46 Gráfico de dispersión de CO_2 y HR

En ambos gráficos mostrados en la Figura 46 observamos que la concentración en algunos momentos determinados supera el límite establecido de 1000 ppm. El límite es superado puntualmente y no por un periodo largo de tiempo.

Continuando con las correlaciones entre el CO_2 y los dispositivos móviles, obtenemos unos valores de 0.2838 para el seminario 1 y 0.1654 para el seminario 2. Ambas correlaciones de tipo débil y de valor parecido ya que al aumentar el número de dispositivos se produce un aumento de dióxido de carbono ya que el número de personas aumenta. Aun así, los valores son pequeños en cuanto a la relación que tienen ambas variables. Esto es debido a que las dimensiones de ambos seminarios son pequeñas y el dispositivo de medición puede contar como dispositivo móvil presente en el aula a cualquiera que esté cerca o en aulas adyacentes, incluso alguna persona que pase por el pasillo puede ser contada. Se puede observar cómo los dos gráficos de dispositivos móviles comienzan siempre en el número uno, lo que indica que un dispositivo que permanezca continuamente en el edificio del CUD, en este caso el dispositivo es la impresora que se encuentra en el pasillo a 13 metros de los seminarios.



Figura 47 **Gráfico de dispersión de CO_2 y Disp. Móviles**

En relación con las correlaciones entre la temperatura y HR obtenemos los siguientes valores. El seminario 1 tiene una correlación de -0.6837 y el seminario 2 de 0.6200 siendo ambas de tipo fuerte, pero de distinto signo. Como muestra el gráfico de la Figura 48, en el seminario 1 se observa cómo el aumento de la temperatura coincide con el descenso de HR, como indica el valor y signo de la correlación

calculada. Sin embargo, en el seminario 2, los gráficos representados muestran muy poca fluctuación en comparación con el seminario 1, tanto de temperatura como de HR. De nuevo, juega un papel importante el sistema de climatización en esta aula manteniendo los niveles en un rango más reducido y provocando que coincidan los aumentos y descensos de forma similar en las dos variables.

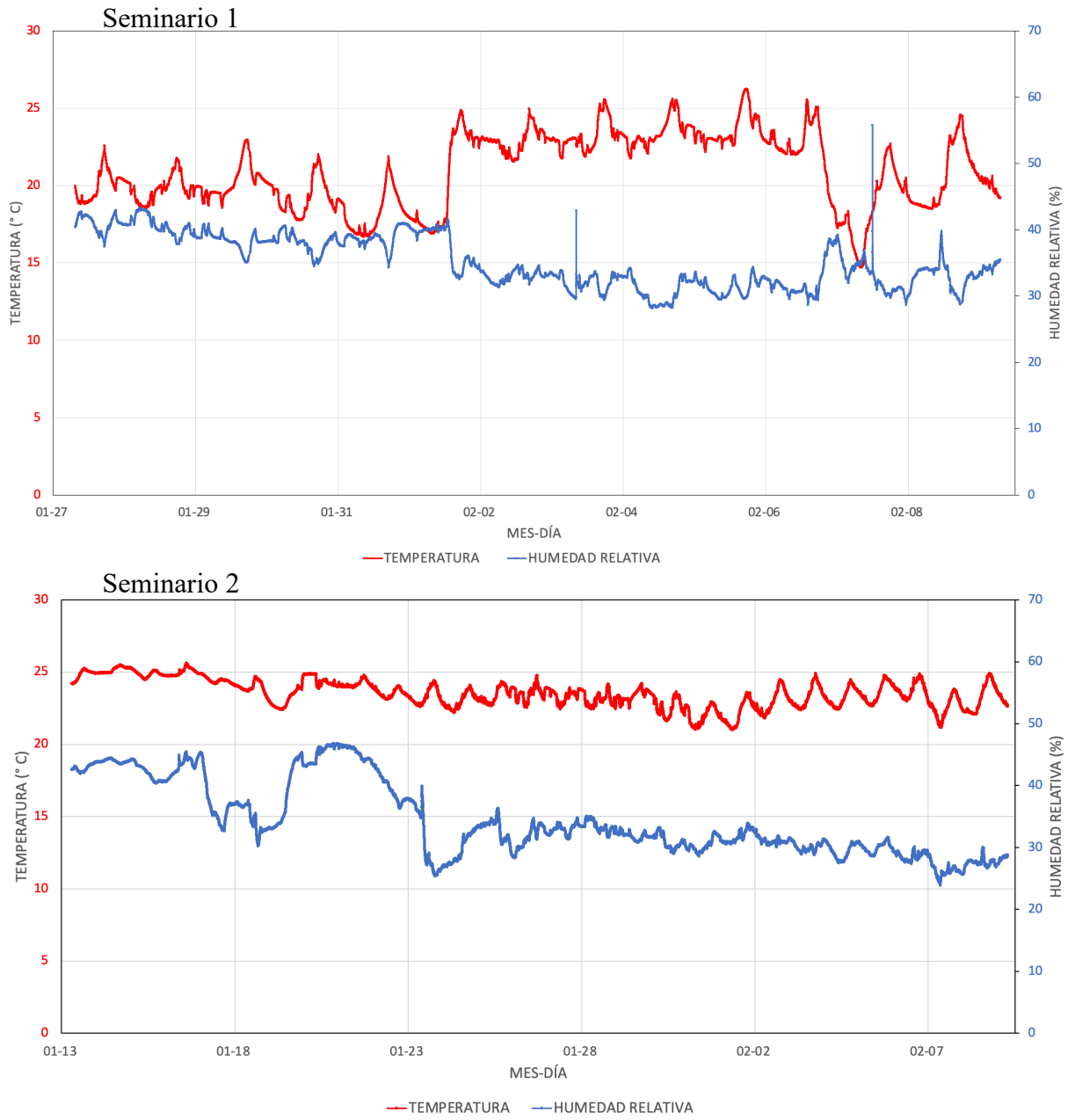


Figura 48 Gráfico de dispersión de temperatura y HR

En el análisis de las correlaciones entre los parámetros de temperatura y dispositivos móviles hemos obtenidos los siguientes valores de -0.1135 y -0.1483 para el seminario 1 y 2 respectivamente. Ambos tienen una correlación de tipo débil y de signo negativo, lo que nos indica que el aumento de una provoca el descenso de otra. Como ya hemos visto anteriormente la temperatura está muy ligada a la concentración de CO_2 y la concentración también está muy ligada con las personas que hay en el aula. Por otro lado, el número de dispositivos móviles que hay en un aula está muy relacionado con la cantidad de personas que se encuentra, por tanto, la temperatura y los dispositivos móviles deberían estar muy correlacionados, pero en este caso no lo hacen. Esto es debido principalmente a dos factores. El primero, la climatización de este edificio, que provoca un mantenimiento de la temperatura al nivel deseado en

cualquier momento, por lo que independientemente de la actividad que ocurra el valor no se verá afectado de forma notoria. El segundo es que nuestro instrumento medidor de dispositivos móviles detecta, por cercanía, algunos que realmente no se encuentran dentro del seminario. Por estas dos razones los valores que obtenemos de las correlaciones no son lo esperado entre estas dos variables. Destacar que en ambos gráficos de los dispositivos móviles comienza en uno debido a que un dispositivo, en este caso la impresora, está siempre conectada y el medidor la tiene reconocida como que está dentro de los seminarios. La impresora, como ya se ha mencionado anteriormente está a una distancia de 13 metros de los seminarios.

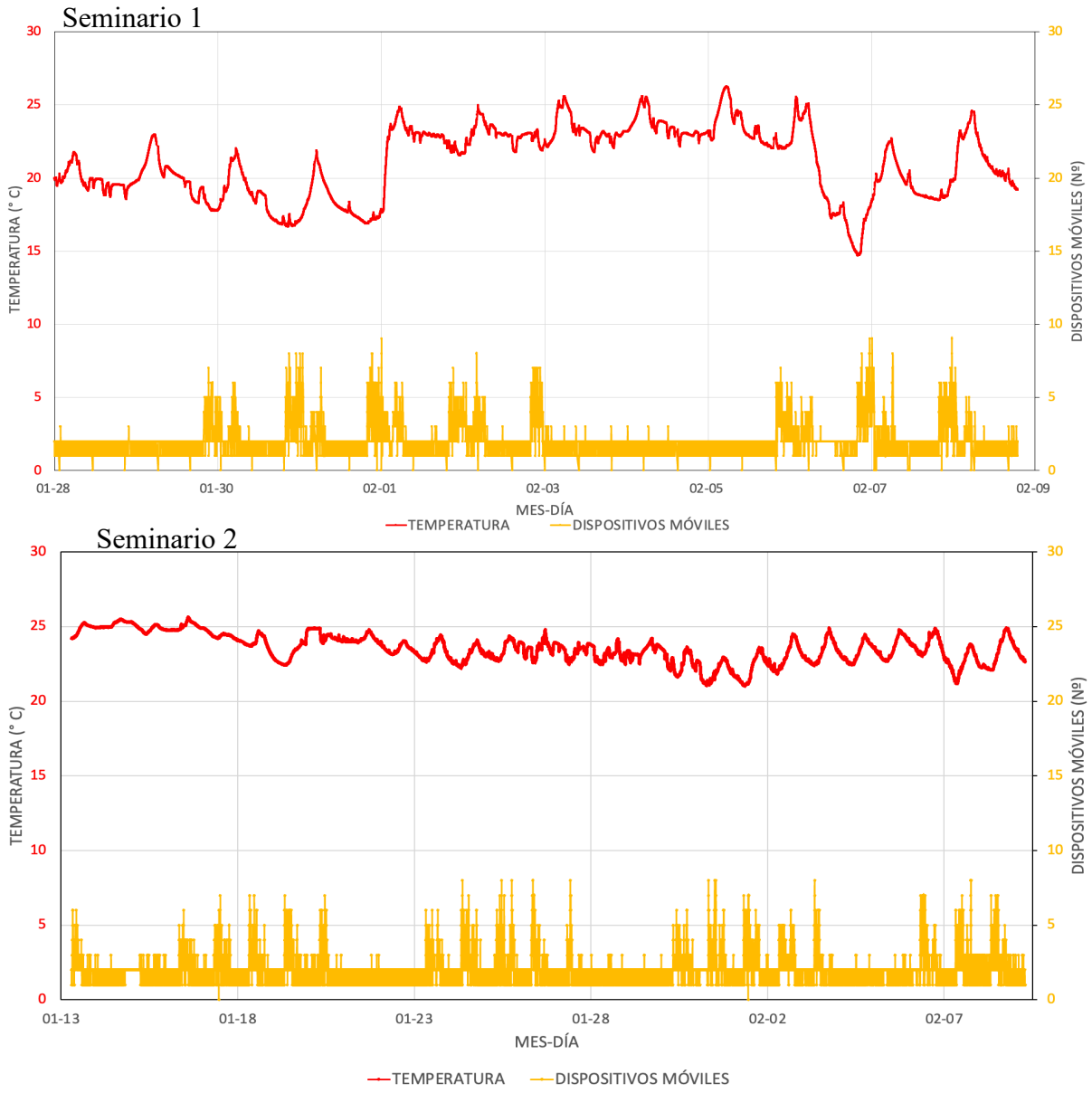


Figura 49 Gráfico de dispersión de temperatura y Disp. Móviles

Para finalizar la última correlación entre los parámetros de HR y dispositivos móviles, obteniendo los valores de -0.0182 para el seminario 1 y de 0.13325 para el seminario 2. Estas correlaciones son de tipo inexistente y débil respectivamente. Por tanto, no tienen ninguna relación en cuanto a comportamiento entre variables. Esto puede verse afectado por diferentes factores, ya que la humedad tiene un comportamiento que no es constante durante el tiempo y los dispositivos móviles pueden verse afectados por algunos que se conecten de fuera provocando errores en los dantos y por tanto en el valor de la correlación.

Como ya se ha mencionado anteriormente, los gráficos de los dispositivos móviles parten siempre desde uno ya que hay un dispositivo siempre en el edificio que lo reconoce como que está dentro del seminario.

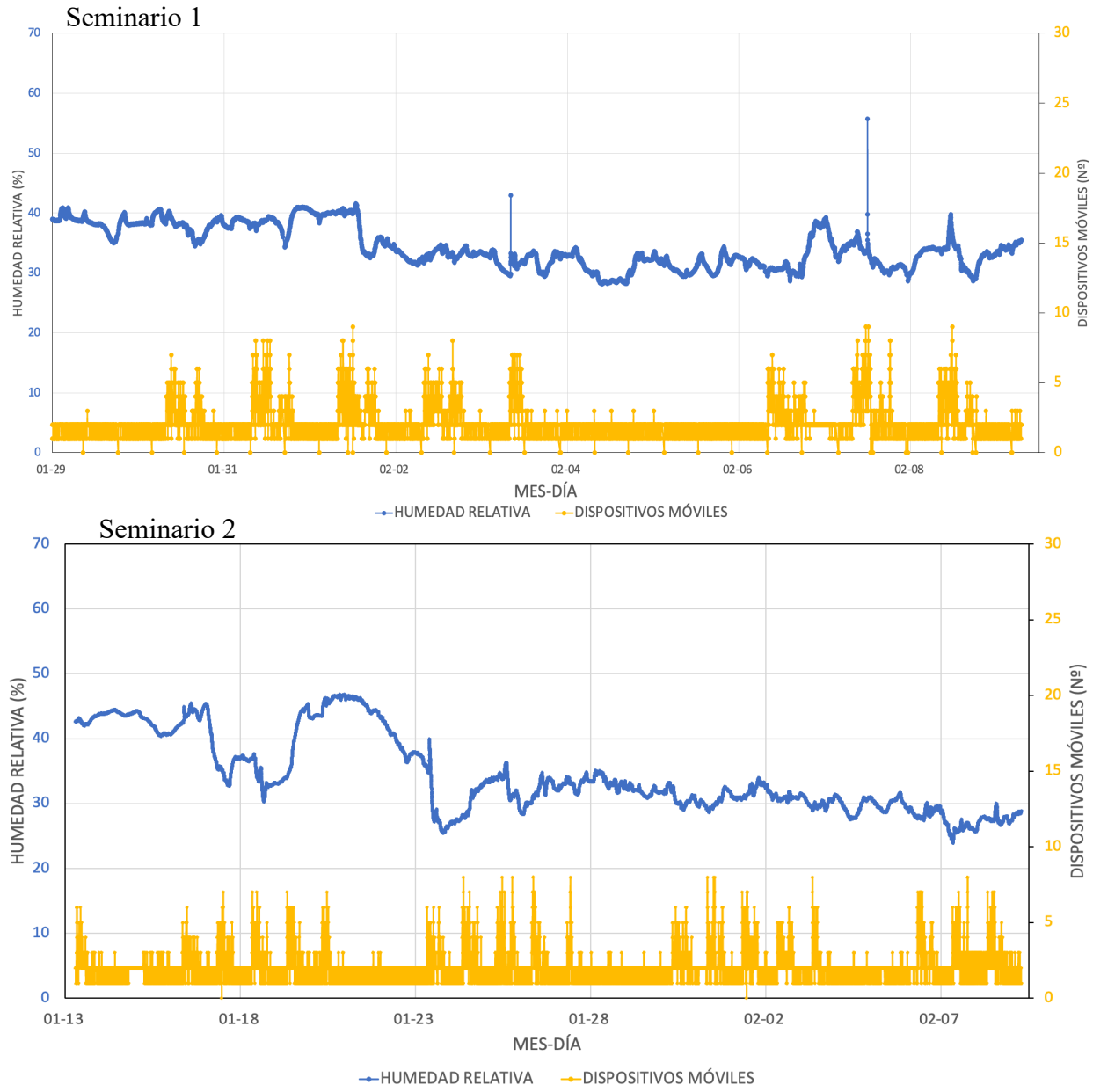


Figura 50 Gráfico de dispersión de HR y Disp. Móviles

4.2.2 Análisis general de la concentración de CO_2

Para el análisis general de la concentración de dióxido de carbono se ha escogido hacerlo sobre el seminario 2, debido a que es el seminario del que más tenemos datos y es en el que más clases se imparten. Además, el estudio realizado en este seminario también es válido para el seminario 1 ya que cuentan con una ocupación y dimensiones similares. Del seminario 2 tenemos un total de 38863 datos tomados en dos periodos de 14 días el primero y 13 días el segundo. Por tanto, para el estudio general se obtendrán dos gráficos proporcionados por la plataforma *"ThingsBoard"*, sobre las cuales haremos nuestro estudio.

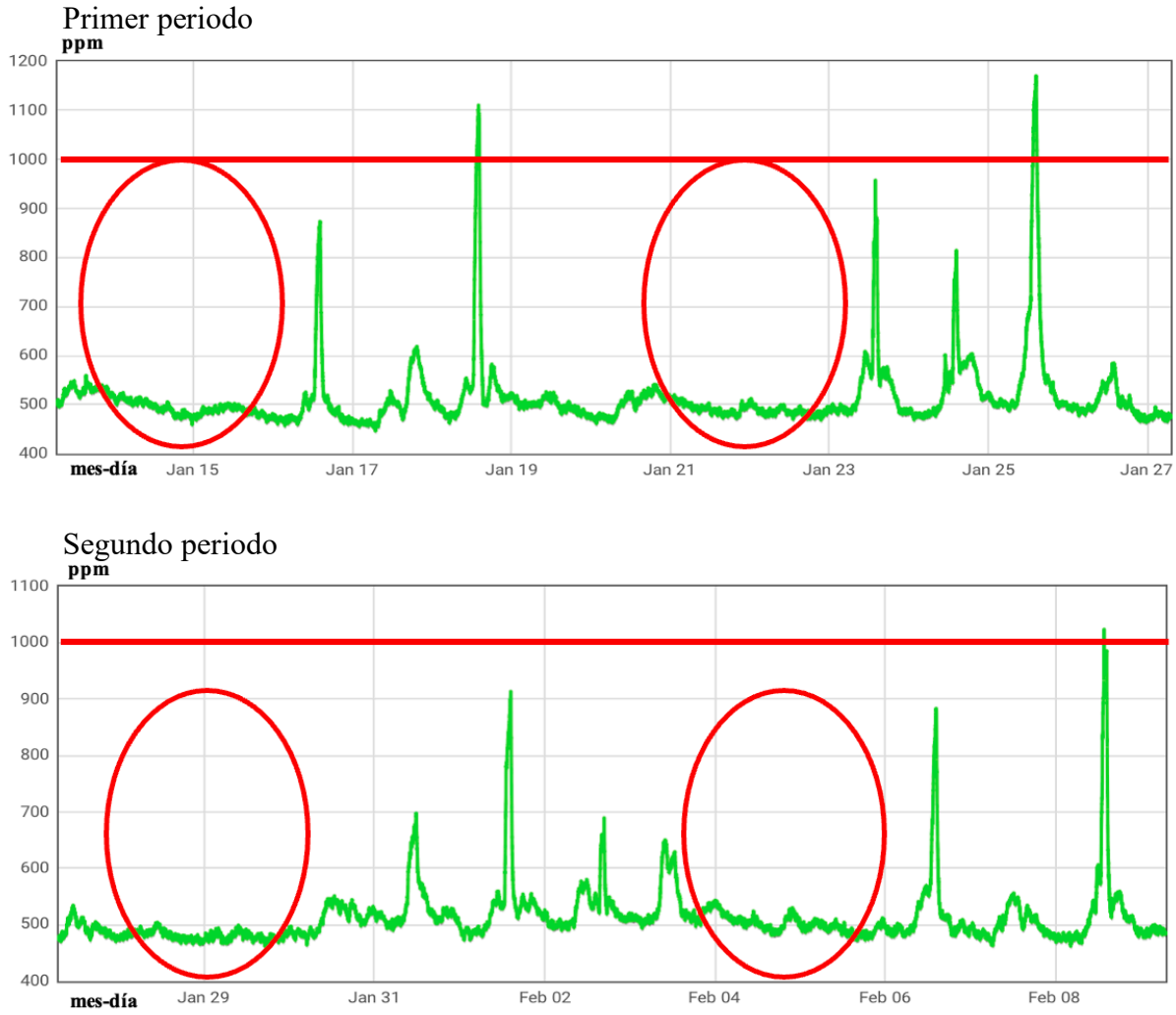


Figura 51 Gráfico de concentración de CO_2 del seminario 2

Mediante los gráficos podemos observar que de forma general no se supera el límite de 1000 ppm de concentración de dióxido de carbono, marcado mediante una línea roja, pero en momentos puntuales sí que este límite es superado. Los seminarios tienen una ocupación reducida, normalmente es como máximo de 10 personas. El uso de estos seminarios está destinado a clases puntuales de solamente un periodo, aunque algunas veces sean de dos periodos, además de que las clases de inglés para el profesorado los lunes y miércoles también son aquí. Como observamos, los aumentos de concentración en los diferentes días son muy similares, se disparan cuando comienza la clase, pero no sobrepasa el límite de 1000 ppm. Se puede determinar que el límite no se sobrepasa debido a que la clase es lo suficientemente corta en tiempo y la ocupación es muy reducida. Por otra parte, los niveles que sobrepasan los límites coinciden con clases que son seguidas, es decir, que duran dos periodos. En estos casos sí que da tiempo a que la concentración aumente hasta sobrepasar el límite.

Como es el caso del miércoles 25 de enero, en el que se estuvo dando clase durante dos periodos. Normalmente este fenómeno se repite sobre todo los lunes y los miércoles de cada semana ya que el profesorado tiene la opción de recibir clases de inglés en estos días en los seminarios. No todos los lunes y miércoles se superan los límites ya que el personal que acude va cambiando por lo que algunos días se encontrarán más personas que otros. Los demás aumentos de concentración son simplemente usos de un periodo del seminario. Como hemos analizado y observado en la gráfica, es necesario que el aire se renueve más continuamente en este espacio ya que superando un tiempo determinado la concentración sobrepasa el límite. Por tanto, habría que llevar un control del tiempo y aumentar la velocidad de ventilación del sistema automático o abrir la ventana en cierto momento.

4.2.3 Análisis puntual de la concentración de CO_2

Para el análisis puntual de la concentración de dióxido de carbono se ha escogido el día 25 de enero en el que tenemos un máximo además de una ocupación de forma continua en el seminario. Para ello hemos obtenido el gráfico que nos proporciona la plataforma *"ThingsBoard"*.



Figura 52 Concentración de CO_2 del día 25 en el seminario 2

Como muestra el gráfico el aumento de la concentración comienza a tercera hora, es decir a las 10:20. Según el horario a esa hora comienza una clase en el seminario con una ocupación de 10 personas. Durante el periodo de clase se produce un aumento de la concentración, pero no de manera muy pronunciada. Se observa a las 11:15 un breve descenso de la concentración de dióxido de carbono debido al cambio de clase de 5 minutos. Posteriormente comienza otra clase en el seminario manteniendo también la misma ocupación y al final de esta, se llega al nivel de 700 ppm el cual nos indica que es recomendable ventilar en aula. En ese momento, se produce el cambio en el que sale el alumnado y entra el profesorado para la clase de inglés, donde aumenta la ocupación del aula a 14 personas. Este cambio en la ocupación se refleja de forma notoria en un aumento disparado de la concentración de CO_2 con una pendiente totalmente pronunciada y llegando a superar el valor de 1000 ppm en una hora. Este aumento tan pronunciado nos indica que el seminario tenía las ventanas cerradas y la ventilación apagada ya que si fuese al contrario el aumento no sería de una forma tan drástica. Se continúa con la clase y con el aumento de la concentración hasta la hora en que finaliza, llegando a un nivel de 1153 ppm, valor al que no se debe llegar en el interior de un aula.

4.2.4 Soluciones y medidas

Como hemos observado anteriormente, en un seminario con una ocupación pequeña y durante un periodo de tiempo no muy grande los niveles de concentración se mantienen, aun así, la concentración está en continuo crecimiento sin llegar a mantenerse o reducirse. Por otro lado, cuando aumentamos la ocupación además del número de horas, la concentración se dispara. Por lo que concluimos que en estos espacios es necesario una continua renovación del aire ya sea natural, mediante la ventana abierta o por ventilación forzada. Por otro lado, es necesario ventilar el aula entre clase y clase ya que reducimos la concentración y a la hora de comenzar de nuevo se parte de un nivel más bajo y es más costoso llegar a los niveles de peligro.

4.3 Análisis de datos en el despacho 109

Siguiendo la dinámica en la forma de estudio y análisis de datos que se ha llevado a cabo anteriormente, desarrollamos el estudio en el despacho 109 del edificio del CUD. En este despacho se han obtenido los datos de 27 días, divididos en dos periodos de 14 y 13 días respectivamente. Del primer periodo se han obtenido 20160 datos y del segundo 18717 datos, teniendo un total de 38877.

4.3.1 Análisis de las correlaciones de Pearson

Los resultados obtenidos de los cálculos de las correlaciones de Pearson mediante una hoja Excel son los mostrados en la Tabla 10 que se muestra a continuación. Visualizando la tabla de forma superficial los valores obtenidos no tienen correlaciones parecidas como por ejemplo las que hay en el aula 10, esto se debe a diferentes factores que se explicarán posteriormente.

Tipo de Correlación	**Valores de *r***
CO_2 - Temperatura	-0.0070
CO_2 - Humedad	-0.4507
CO_2 - Disp. Móviles	0.1778
Temperatura - Humedad	0.4922
Temperatura - Disp. Móviles	0.0765
Humedad - Disp. Móviles	-0.0887

Tabla 10 Correlaciones de Pearson del Despacho 109

La correlación entre el CO_2 y la temperatura tiene un valor de -0.0070 valor que resalta debido a la poca correlación que hay entre estos dos parámetros, que según la distribución de valores determinados en la Tabla 7 es una correlación inexistente. La correlación entre estos dos parámetros normalmente destaca por su alto nivel de relación, que en este caso no se produce. Esto es debido a diferentes factores. Principalmente observamos que el valor es negativo, lo que nos indica que ambos parámetros tienen una relación la cual cuando uno aumente otro disminuye. En este caso, al ser un valor tan próximo a cero no significa que el comportamiento sea estrictamente al aumentar uno disminuye otro, sino que por la cantidad de valores que se han estudiado en este caso y su comportamiento ha dado resultados que denotan cierta tendencia a comportarse de esa forma. Por otro lado, el valor próximo cero y la inexistencia de correlación también es debido a la cantidad tan grande de datos con los que trabajamos, cerca de 40000 datos.

La mayoría de estos datos se han obtenido en horas en las que la ocupación del aula es nula, debido a que la jornada laboral solo dura unas 8 horas en comparación con las 24 que dura el día completo, por tanto, los niveles se mantienen a lo largo del tiempo. El principal factor que hace que haya tan poca correlación, sobre todo en las horas en las que el despacho está ocupado y los niveles de dióxido de carbono, de la mano de la temperatura deberían aumentar es el sistema de ventilación automático que hay en este edifico. Este sistema además de renovar el aire, extrayendo el ya viciado e introduciendo aire limpio realiza funciones de climatización lo que hace que se mantenga una temperatura constante durante las horas de trabajo.

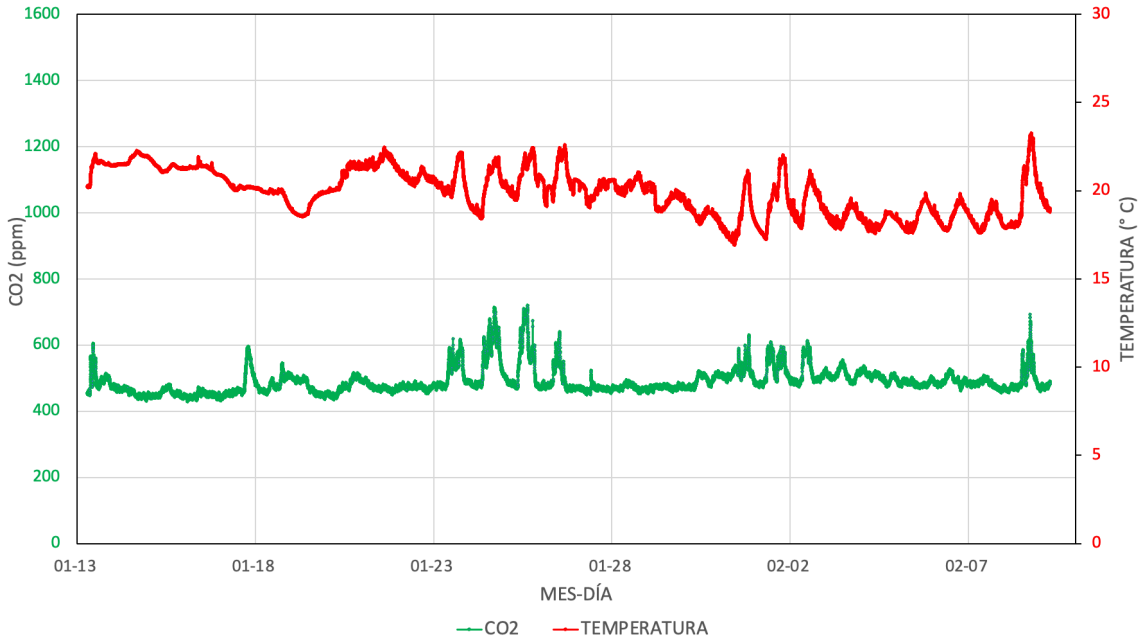


Figura 53 Gráfico de dispersión del CO_2 y la temperatura

Como se puede observar en el gráfico de dispersión de la Figura 53, la temperatura oscila entre los 19 y 22, esto es debido a que durante el día la climatización del despacho está en funcionamiento manteniendo la temperatura y variando levemente y durante la noche el sistema está apagado, por tanto, la temperatura baja. Por lo general el cambio de temperatura es mínimo, sin embargo, los niveles de dióxido de carbono si van oscilando entre las 450 ppm y las 700 ppm, lo que nos indica que se ha desarrollado actividad en el interior del despacho, pero respetándose el nivel establecido de 10, el cual es realmente 1000 ppm porque ha sido necesario escalarlo para representarlo en la gráfica.

Estos niveles no aumentan demasiado debido a que el número de personas es menor, existe la ventilación forzada en este edificio y además la persona que se encuentra en el despacho asegura que siempre está con la puerta abierta, otro factor más para que el nivel de concentración no se vea aumentado de forma notable. Por tanto, el valor de la correlación se ve afectado por los datos que se han obtenido en las horas en las que no se encuentra nadie en el despacho, ya que el nivel de CO_2, disminuye al abandonar la persona el despacho contando con la ayuda de la ventilación y la temperatura se mantiene dentro de unos márgenes debido al climatizador.

El resultado del cálculo de la correlación entre el CO_2 y HR es de -0.4507 valor que nos indica que la correlación es de tipo moderada cercana a fuerte y como el valor es negativo lo que significa que cuando aumentan los valores de concentración de dióxido de carbono la humedad relativa desciende. El uso del sistema de ventilación automático y el climatizador no influyen notablemente en el cambio de humedad, simplemente se produce un cambio en la temperatura, aunque sí que HR puede verse afectada por factores externos como la meteorología del día.

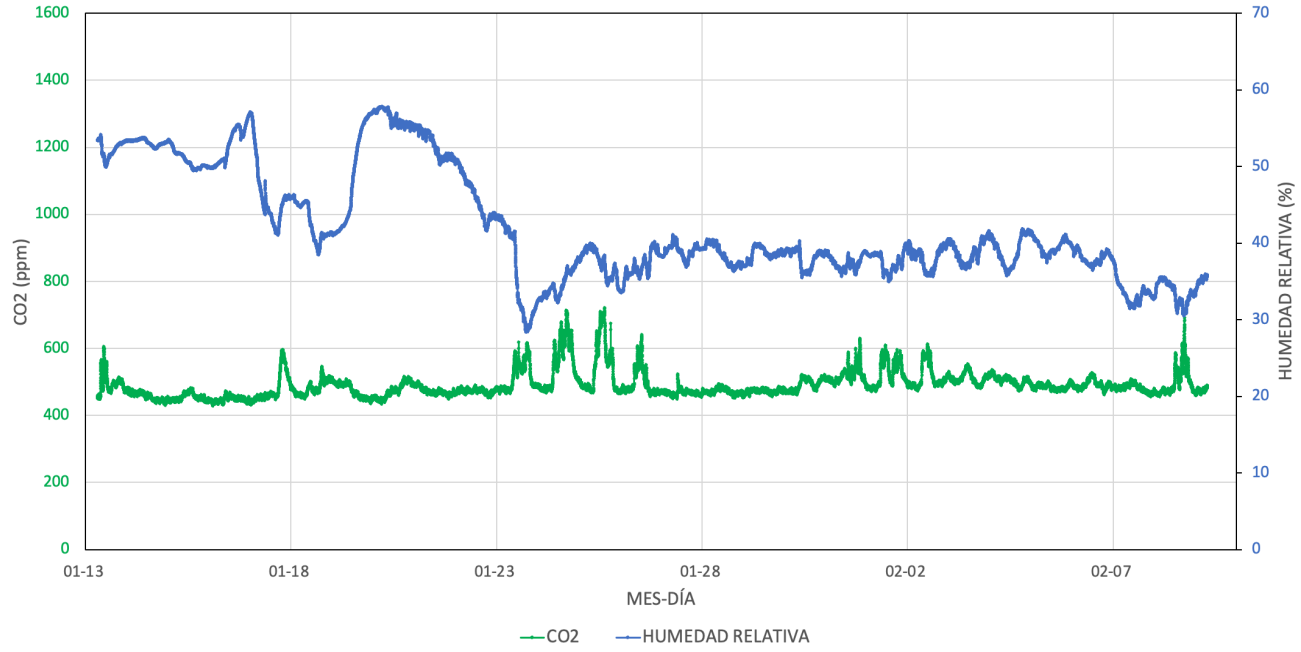


Figura 54 Gráfico de dispersión del CO_2 y HR

En la primera parte del gráfico, del día 16 al 24 se observa un comportamiento errático de HR conforme a la concentración. Esto es debido a algún factor externo ha podido alterar los valores. Por ejemplo, la meteorología de esos días en cuestión, por lluvia o niebla pueden alterar los datos. En la parte central del gráfico se observa un aumento de la concentración de CO_2 y una disminución de la humedad relativa, que según lo analizado es lo correcto que ocurra. Mientras que en la parte final se mantiene constante entre valores cercanos la humedad teniendo aumentos y disminuciones en función de la concentración. Se debe tener en cuenta que hay una cantidad grande de datos y la representación de estos es de forma general y muy concentrada.

La correlación obtenida de los parámetros de CO_2 y los dispositivos móviles es de valor 0.1778 definiendo a ambos parámetros con una correlación de tipo débil. Siempre es positiva ya que al haber un aumento de los dispositivos móviles significa que hay más personas en este espacio. Observamos que la correlación no es de un valor alto conociendo que estas dos variables están muy relacionadas. Además, la gráfica de dispersión de la Figura 55 nos muestra que hay un aumento de los dispositivos cuando hay un aumento de la concentración pero que también existe un aumento de los dispositivos cuando no hay más concentración. Este fenómeno se debe porque al ser un espacio tan pequeño y al tener despachos adyacentes a ambos lados además de personal pasando continuamente por el pasillo sus dispositivos son reconocidos por nuestro medidor y los reconoce como que están en el mismo despacho. También podemos ver en la gráfica que el valor mínimo de los dispositivos es el uno conforme a la escala de la derecha que es a la que está referenciada. Esto es debido a que en el pasillo se encuentra la impresora común a 3 metros del despacho y está conectada a la misma red wifi que el medidor por tanto siempre la reconoce al estar continuamente encendida durante todo el día.

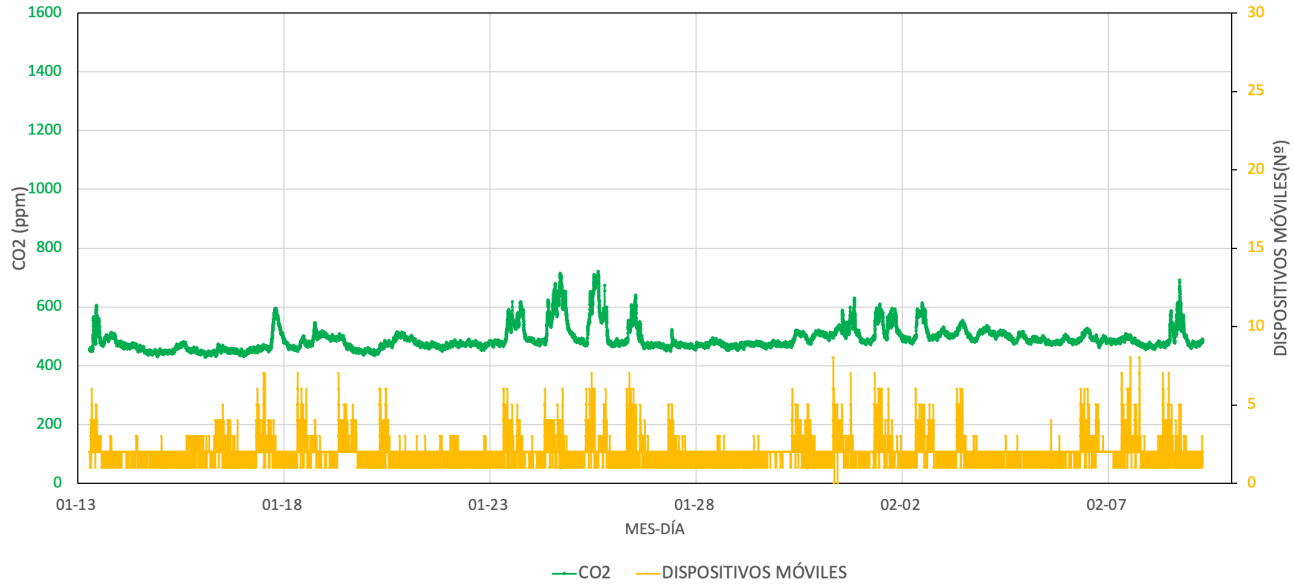


Figura 55 Gráfico de dispersión del CO_2 y los Disp. Móviles

Enfrentando la temperatura a HR, la correlación calculada es de 0.4922, es decir, una correlación de tipo moderado con un valor muy cercano a tipo fuerte. Como muestra el gráfico de dispersión de la Figura 56 el dibujo de los datos mantiene una forma similar.

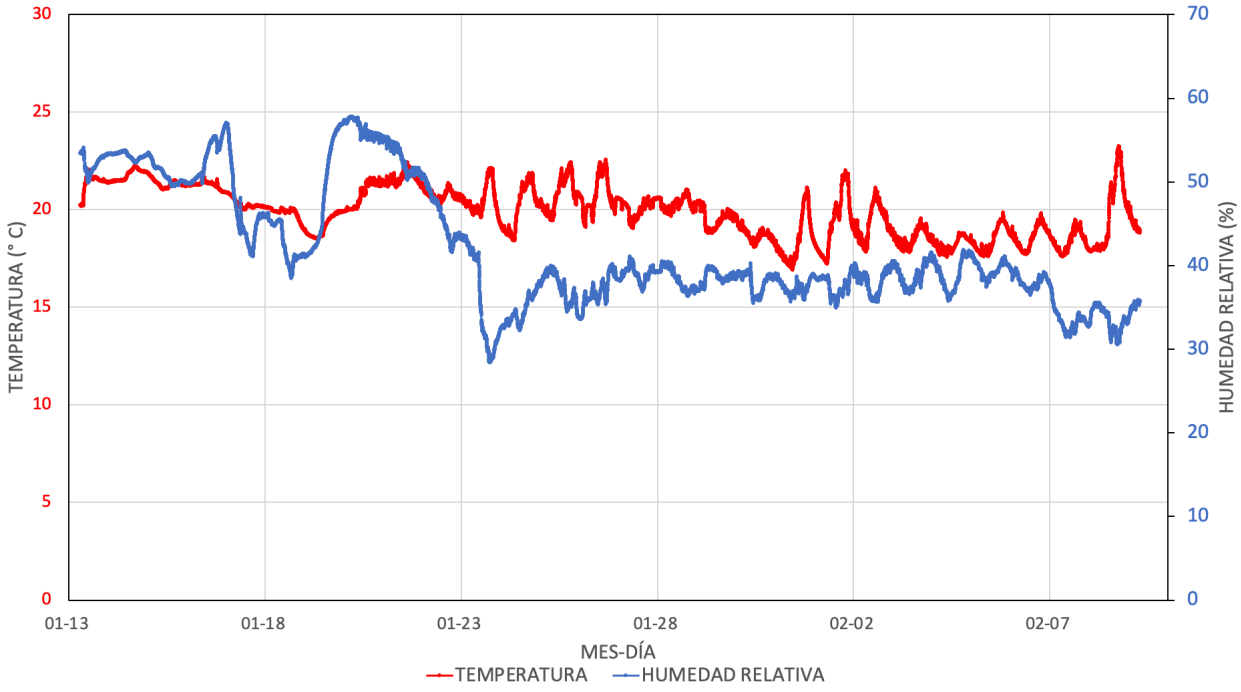


Figura 56 Gráfico de dispersión de la temperatura y HR

Que mantenga esta correlación tan alta y se represente de manera similar indica que alguno de estos parámetros está influido por un factor ajeno a ellos ya que deberían comportarse de forma inversa, es decir, de forma en la que el aumento de uno provoque la disminución del otro. Como ya se ha comentado anteriormente el factor que influye principalmente es el climatizador del edificio provocando que la temperatura no se altere. En cuanto a HR puede estar influenciada por diversos factores, como por ejemplo la meteorología y alterarse de forma más notoria.

El valor de la correlación entre los parámetros de la temperatura y los dispositivos móviles es de 0.0765 lo que nos indica que su correlación es de tipo inexistente. A la hora de observar el gráfico de dispersión de estos parámetros mostrado en la Figura 57, su comportamiento no sigue ningún patrón exacto.

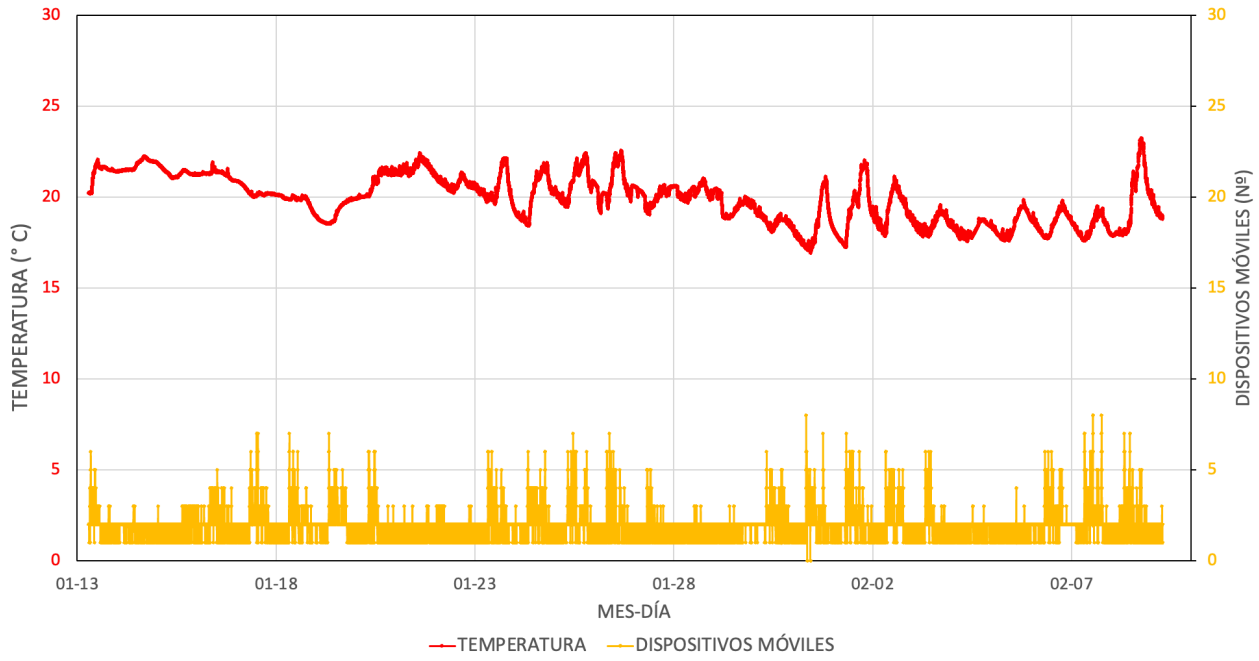


Figura 57 Gráfico de dispersión de la temperatura y los Disp. Móviles

Como se ha mencionado anteriormente no sigue ninguna relación ambas variables representadas. Esto es debido a que por el sistema de climatización se mantiene la temperatura en un rango muy reducido, entre los 18 y 22 además de que los dispositivos móviles no son los que realmente están dentro del despacho debido al reducido tamaño que tiene y a la cercanía de los demás despachos. Por tanto, la gráfica y por supuesto los datos no encuentran relación ya que, de alguna forma parecen establecidos de manera aleatoria.

Por último, la correlación entre la humedad y los dispositivos móviles nos proporciona un valor de -0.0887 lo que nos indica que la correlación es inexistente entre ambos. Además, es de valor negativo por lo que el aumento de uno, de cierta forma provoca el descenso del otro.

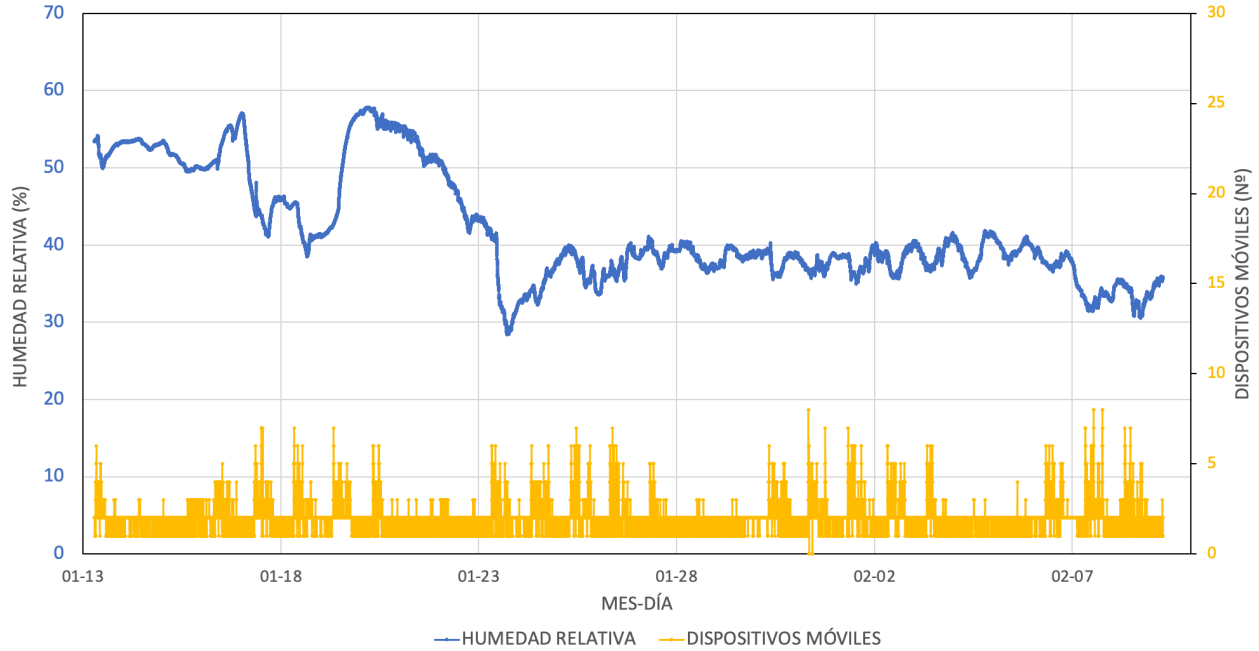


Figura 58 Gráfico de dispersión de HR y los Disp. Móviles

De la misma forma que anteriormente, los dispositivos móviles se ven influenciados por los que hay en despachos adyacentes y por las personas que pasan por delante de este, haciendo que aumente el número sin que realmente estuviesen dentro del despacho. En cuanto a la humedad relativa se mantiene constante entre 30 y 40 excepto en la primera parte del gráfico en el que la humedad se ve alterada por un factor externo.

4.3.2 Análisis general de la concentración de CO_2

A continuación, se hemos realizado un análisis general del comportamiento del CO_2 durante los 28 días, dividiéndolo en dos periodos, el primero de 14 días y el segundo de 13 días, para una visualización más clara y precisa de la gráfica a la hora de ser representada. Esta gráfica es la que nos proporciona la plataforma *"ThingsBoard"* de la empresa que ha desarrollado nuestro dispositivo de medición. La primera gráfica representa los datos del periodo estudiado de 14 días del 13 de enero al 27 de enero y la segunda representa los datos del segundo periodo estudiado de 13 días del 27 de enero hasta el 9 de febrero. En la Figura 59 se muestran ambos periodos, donde el primero muestra en su escala de concentración de CO_2 como valor máximo 750 ppm ya que en ese periodo se supera el límite de 700 ppm y la plataforma genera el gráfico de tal forma. Mientras que en el segundo periodo el valor máximo de concentración reflejado en la escala es 700 ppm ya que no supera este valor y la plataforma genera de esta forma el gráfico.



Figura 59 Gráficas concentración de CO_2 en el despacho 109

En ambas gráficas se representa con una línea roja el primer límite de 700 ppm en el que casi un 1% del aire ya ha sido respirado y cuyo valor nos tiene que indicar que estamos cerca del límite de 1000 ppm. Este límite no aparece en la escala de la gráfica ni está representado ya que en este despacho no se ha llegado a dicho valor. También se han señalado con los óvalos rojos los días de fin de semana en la que los valores se centran entre las 450 y 500 ppm. A diferencia del aula 10 por ejemplo, que mantiene en los días de fin de semana un valor constante de 500 ppm, en el despacho 109 que se encuentra en otro edificio con un sistema de ventilación automático y climatizador se observa un nivel inferior de concentración y continuos cambios, debido al arranque y parada de este sistema por el día y la noche incluso en el fin de semana. Estos cambios mínimos de concentración pueden ser posibles debido a diferentes factores como el material de construcción del edificio, el material del inmobiliario o incluso que se encuentre personal en el edificio. En cuanto a días de semana, se ve un aumento de la concentración por la estancia de personas dentro del despacho, pero siempre respetando los límites de concentración. Los límites se respetan gracias a que el número de personas que se encuentra es reducido, se mantiene todo el tiempo la puerta abierta y el sistema de ventilación ayuda a la renovación del aire interior.

Podemos observar en los días de 23 al 26 de enero como del 31 al 4 de febrero un aumento del nivel de concentración de CO_2 notable en comparación a otros días. Esto se debe a que, durante esos días, el profesor del despacho 109 se mantuvo en el despacho durante todo el día sin abandonarlo y recibiendo al alumnado que lo requería tanto como para tutorías de la asignatura que imparte como tutorías del TFG que tutoriza. Por tanto, hay más personas en el despacho, se produce más dióxido de carbono más rápidamente y el nivel aumenta.

Por otro lado, los días que el nivel de CO_2 no es tan alto es debido a que el profesor no está desarrollando tanta actividad en el despacho porque lo abandona para ir a clase lo que se traduce en niveles más bajos de concentración por la no acumulación de dióxido de carbono en el espacio y la renovación de aire disminuyéndolo.

4.3.3 Análisis puntual de la concentración de CO_2

Para el análisis puntual de la concentración de dióxido de carbono se ha escogido del día 25 de enero ya que es uno de los días de mayor concentración. Para ello se ha obtenido la gráfica de concentración de CO_2 de la plataforma *"ThingsBoard"*, mostrada en la Figura 60.

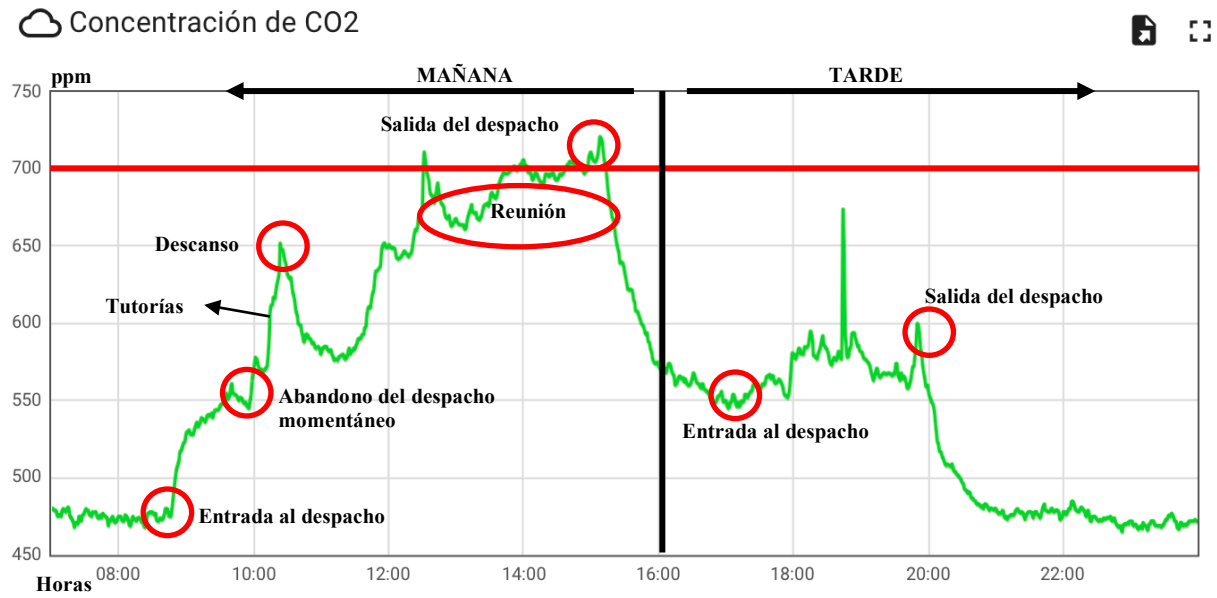


Figura 60 Concentración de CO_2 del día 25 de enero

Por lo general en el despacho 109 no se supera el valor límite, que no se debe sobrepasar, de 1000 ppm, pero el primer límite que nos indica que la calidad del aire interior con respecto al dióxido de carbono comienza a degradarse y viciarse se supera ligeramente en breves periodos de tiempo, este límite es el de 700 ppm, marcado con una línea roja. Durante los periodos de tiempo, sobre todo a la hora de terminar la jornada hasta la mañana siguiente, la concentración se mantiene en valores de aproximadamente 475 ppm, valor superior a la concentración exterior, que es de 407 ppm, debido a que principalmente es un espacio cerrado y a los materiales tanto de construcción del edificio como del inmobiliario. A las 08:30 se produce la entrada al despacho comenzando así el aumento del nivel de concentración, manteniéndose en continuo crecimiento alcanzando un valor de 650 ppm, debido a que el profesor recibe a un alumno para una tutoría, debido a esto se produce un ascenso pronunciado en el gráfico de concentración hasta que se produce el descanso a mitad de mañana. Durante el descanso que es de 40 minutos se reduce la concentración hasta 570 ppm, reduciéndose 80 ppm en más de media hora manteniendo la puerta cerrada y sin personas dentro.

Después del descanso comienza de nuevo a aumentar la concentración y hasta un nivel de 721 ppm, donde comienza a descender la concentración ya que se abandona el despacho para la comida. Esta cifra, la más alta hasta entonces, es debido a que el profesor se reúne con dos profesores más en su despacho. Esta cifra nos debe indicar que la renovación de aire comenzaría a ser recomendable. En este caso en concreto y por lo que podemos observar, el sistema de ventilación no estuvo en funcionamiento esa mañana ya que dentro de cada despacho se puede activar y desactivar. Podemos determinar, por tanto, que la ventilación esa mañana no era suficiente y que la ventilación no estuviese en funcionamiento ya que el nivel de concentración solo asciende y en ningún momento se estabiliza.

En el periodo de por la tarde los niveles se mantienen en un rango entre 550 y 600 ppm, valores correctos para un espacio cerrado. El periodo de trabajo de la tarde dura cuatro horas en el que el valor de la concentración no asciende drásticamente ni de forma rápida. Se observan ligeros aumentos y descensos debido al abandono momentáneo o la llegada de más personas al despacho. Este mantenimiento de la concentración nos indica el sistema de ventilación estaba en funcionamiento y continuamente renovaba el aire manteniendo unos niveles correctos. Además, a la hora de finalizar la jornada laboral, desde el abandono del despacho hasta que se normaliza el nivel de concentración pasan aproximadamente 40 minutos en los que el nivel se reduce 145 ppm. Esta es otra evidencia más de que la ventilación estaba en funcionamiento ya que durante el descanso de la mañana en el mismo tiempo se había reducido solamente 80 ppm, valor inferior al de por la tarde.

4.3.4 Soluciones y medidas

Como hemos podido observar durante el análisis de los datos en el despacho 109, los niveles de concentración de CO_2 no superan los límites establecidos. En algunos momentos puntuales el nivel asciende por encima de lo normal debido a factores puntuales de ocupación de más personas en el espacio o la estancia prolongada dentro del despacho. Estos asensos del nivel suelen estar relacionados con que el sistema de ventilación no está en funcionamiento. Por tanto, observando los datos y mediante el análisis, el funcionamiento del sistema de ventilación debería ser continuo, además de revisarlo que este encendido en cada despacho, y solamente desconectarlo a la hora de finalizar la jornada de trabajo. Tomando estas precauciones el nivel de concentración sería correcto para una buena calidad ambiental.

4.4 Análisis de datos en la secretaría económica del CUD

Siguiendo con la metodología de los anteriores espacios, se han analizado los datos obtenidos de la secretaria económica del CUD. Para este espacio, se han obtenido datos durante 27 días en dos periodos de 14 y 13 días respectivamente. En el primer periodo se tienen 20160 datos y del segundo 18713, obteniendo un total de 38873. La secretaria, como ya se indicó anteriormente se encuentra en el edifico del CUD, pero en la planta alta.

4.4.1 Análisis de las correlaciones de Pearson

Para comenzar con el análisis de las correlaciones, se han enfrentado todos los parámetros uno a uno y mediante la ayuda de la herramienta de Excel se han obtenido los siguientes resultados, mostrados en la Tabla 11.

Tipo de Correlación	**Valores de *r***
CO_2 - Temperatura	0.5456
CO_2 - Humedad	-0.2233
CO_2 - Disp. Móviles	0.3268
Temperatura - Humedad	-0.3330
Temperatura - Disp. Móviles	0.0803
Humedad - Disp. Móviles	-0.1175

Tabla 11 Correlaciones de Pearson de la secretaria económica del CUD

La primera correlación estudiada es entre los parámetros de CO_2 y temperatura. Esta, tiene un valor de 0.5456 y es de tipo fuerte. Ambos parámetros están muy relacionados y el aumento de uno produce un aumento en el otro de forma similar. Observando el gráfico de dispersión podemos corroborar que el resultado obtenido es correcto y cumple con la representación del gráfico de la Figura 61.

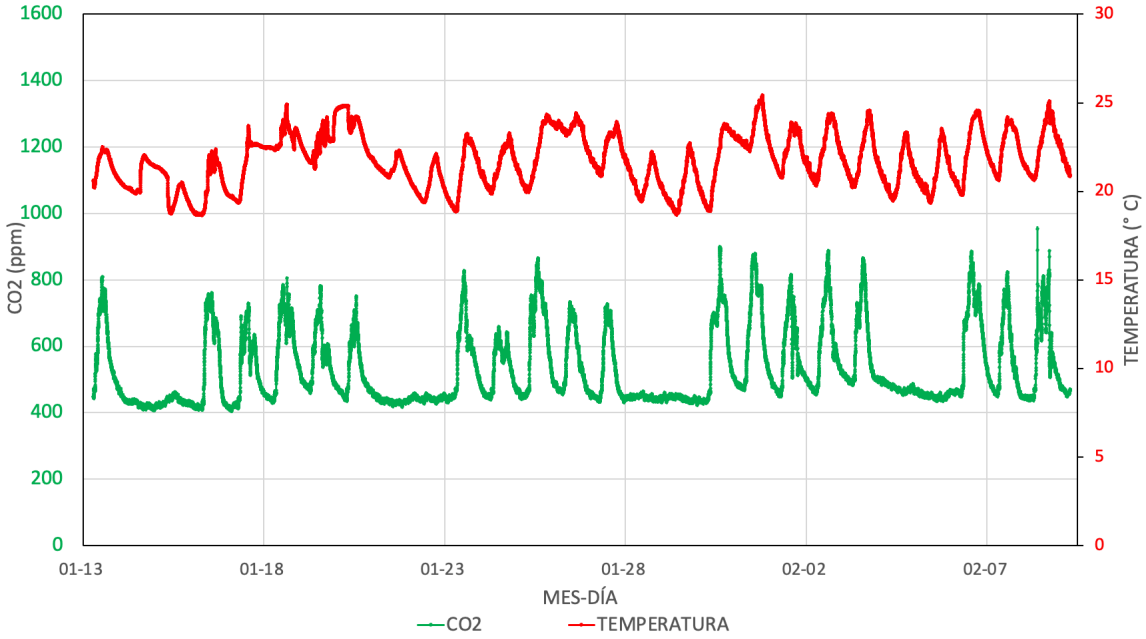


Figura 61 Gráfico de dispersión de CO_2 y temperatura

El comportamiento que describen ambos gráficos es similar. La temperatura fluctúa entre un rango de valores reducido debido a el sistema de climatización, aun así, los aumentos de temperatura coinciden con los de concentración. Esto es debido a los patrones de aumento de concentración se repiten día tras día de una forma similar ya que al ser una oficina el horario está muy marcado y es igual todos los días durante la jornada laboral, al contrario que los demás espacios estudiados anteriormente en el que las horas de uso del espacio cambian constantemente. Debido a lo comentado, la correlación entre ambos es alta.

Siguiendo con el estudio de las correlaciones, en este caso nos centramos en los parámetros de CO_2 y HR, con un valor de -0.2233 o lo que es lo mismo, una correlación de tipo débil. El signo negativo nos indica que el aumento de una coincide con el descenso de la otra variable.

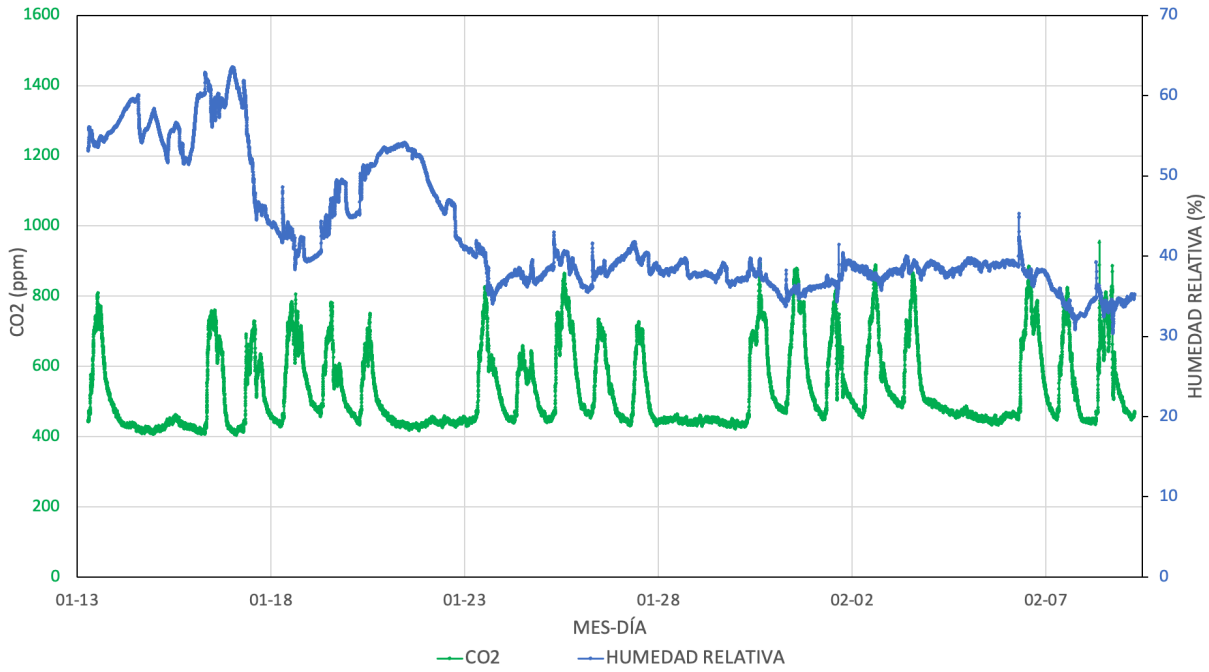


Figura 62 Gráfico de dispersión de CO_2 y HR

Destaca en el gráfico de la Figura 62 el principio de la representación de HR, ya que no se mantiene entre unos valores cercanos y cambian drásticamente. Esto es debido a que, en esos días, la HR ha sido influenciada por un factor externo. Si observamos los gráficos de los anteriores espacios y nos fijamos en esos días, la HR se comporta de la misma forma. Por tanto, esto se traduce que la meteorología de esos días, lluvia y niebla provocaron ascensos de HR y que no se mantuviese de una forma constante en el tiempo. Debido a este fenómeno la correlación entre las variables estudiadas tiene un valor pequeño.

En cuanto a la correlación entre el CO_2 y los dispositivos móviles obtenemos un valor calculado de 0.3268 o una correlación de tipo moderada. Normalmente estas dos variables están muy relacionadas y el valor de la correlación es alto, pero no demasiado. Esto es debido a que por las reducidas dimensiones de la secretaria económica hacen que el dispositivo de medición detecte otros dispositivos fuera de la secretaria como que están dentro. Este problema no cambiaría los resultados si detectase dispositivos en las mismas horas que la secretaria esté ocupada, el problema surge cuando no se encuentra nadie dentro y el número de dispositivos aumenta. Este problema se observa en el gráfico de la Figura 63 ya que se encuentran máximos de 14 dispositivos cuando sabemos que el número máximo de personas que pueden ocupar la secretaria son tres. Por tanto, la suma y resta constante de dispositivos hacen que la correlación no sea del todo certera. Además, el origen del grafico de dispositivos comienza en uno, situado en la escala de la derecha, debido a que hay un dispositivo siempre activo, en este caso es la impresora que está dentro de la secretaria.

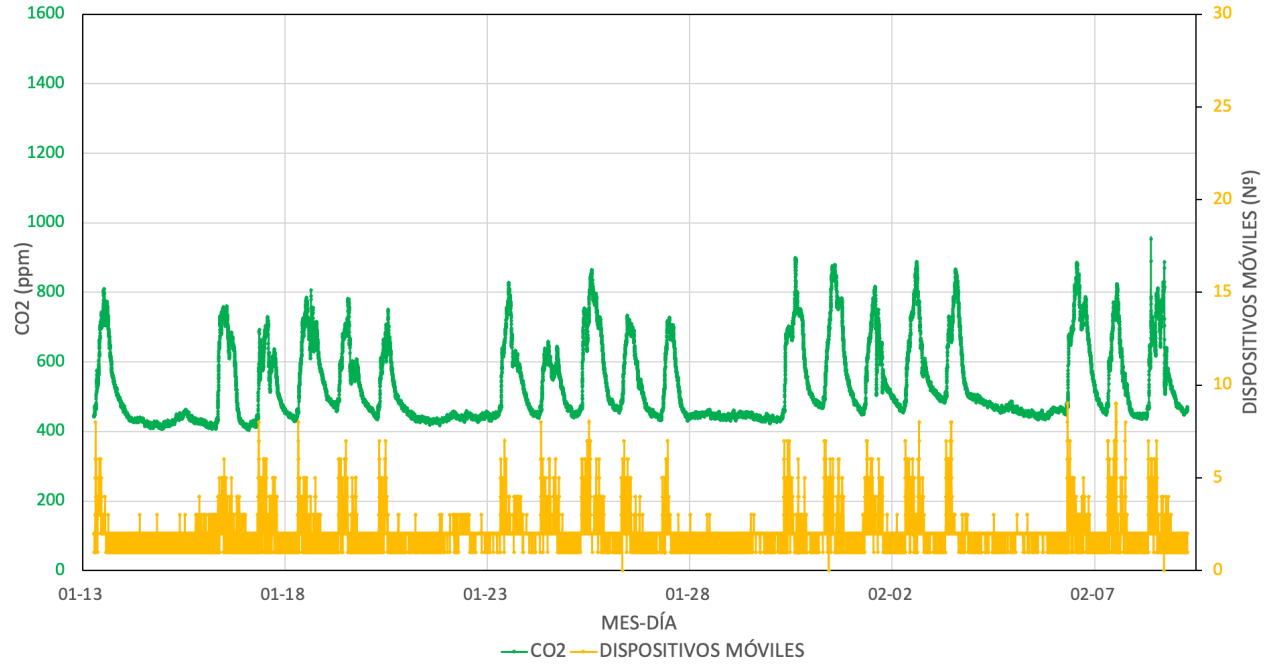


Figura 63 Gráfico de dispersión de CO_2 y Disp. Móviles

El resultado del cálculo de la correlación entre la temperatura y HR es de -0.3330 siendo una correlación de tipo moderada, con valor negativo lo que indica que el aumento de una provoca el descenso de la otra. El valor de la correlación no es tan alto debido a lo comentado anteriormente en cuanto a HR, influenciado por un factor externo, entre otras la meteorología. La temperatura también ha jugado un papel importante en el resultado por la climatización del edificio, manteniéndose en un rango y no aumentando ni descendiendo de forma real.

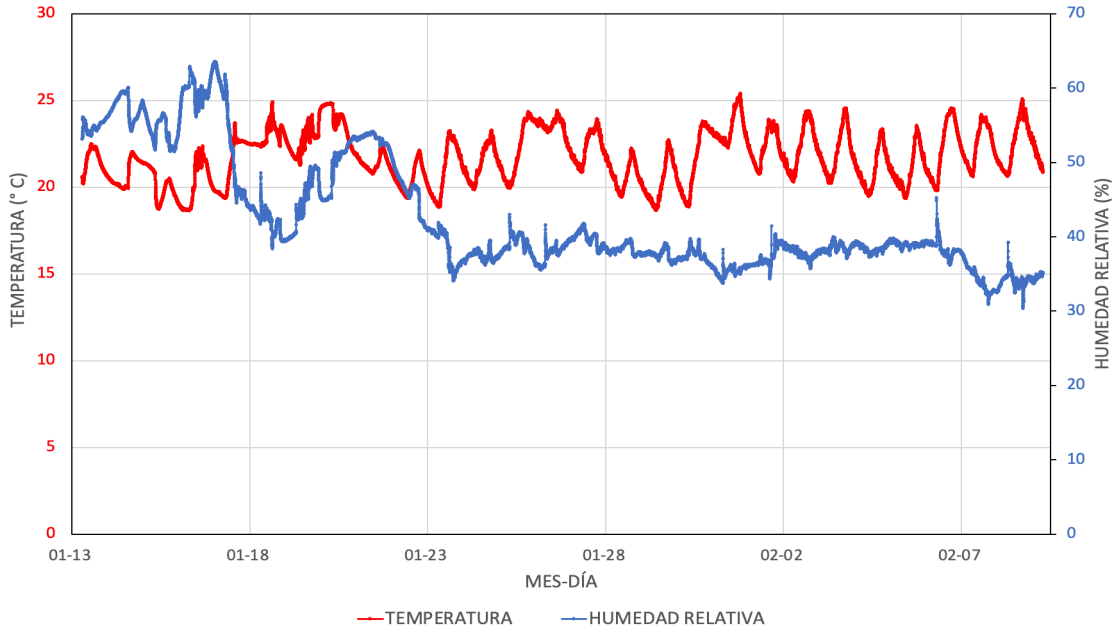


Figura 64 Gráfico de dispersión de temperatura y HR

Como muestra la Figura 64, al principio del gráfico se representan las variables con cambios de pendientes irregulares sin mantenerse en el tiempo, a partir del día 23 se observa una estabilización de los valores representados.

El análisis de la correlación de los parámetros de temperatura y dispositivos móviles del cual hemos obtenido un resultado de 0.0803 con una correlación de tipo inexistente entre ambos. El valor está muy cercano a cero por lo que la relación que encontramos entre estas dos variables es nula. Si analizamos todos los parámetros estudiados de forma general, un aumento de temperatura es provocado por una mayor ocupación del espacio. Esta ocupación del espacio normalmente conlleva un aumento de dispositivos móviles. Este valor tan pequeño es motivado por los sutiles cambios de temperatura en este espacio y por las detecciones de los dispositivos móviles ajenos al espacio.

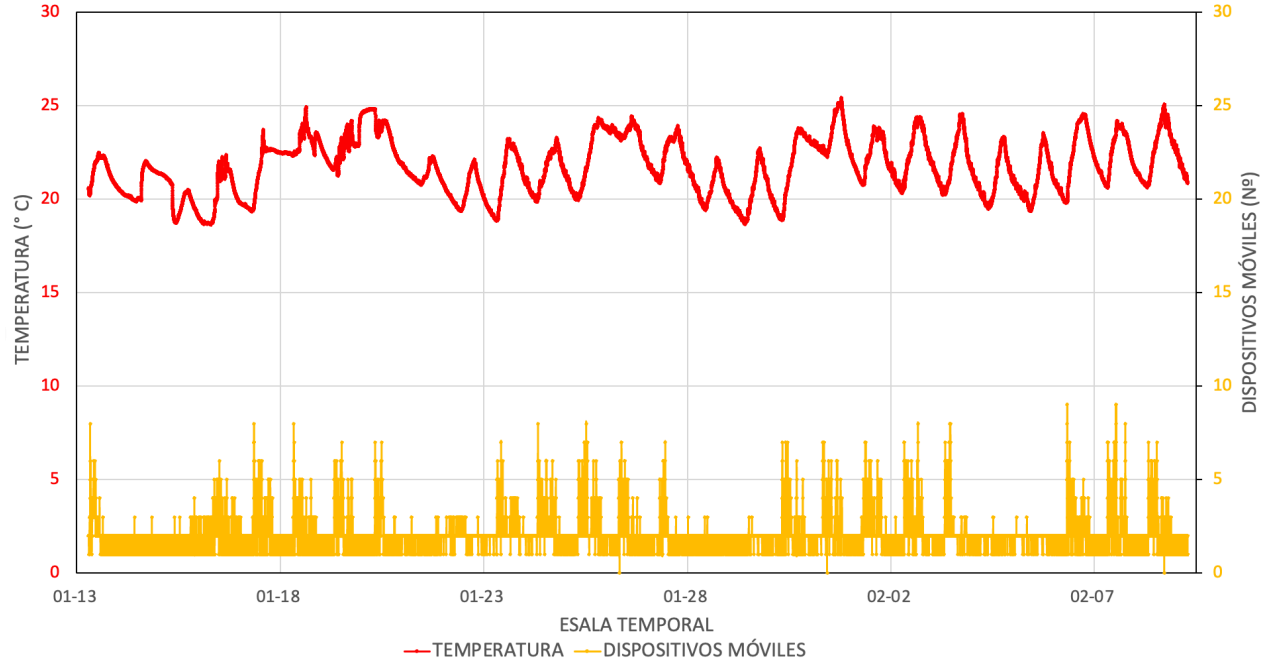


Figura 65 Gráfico de dispersión de temperatura y Disp. Móviles

De nuevo podemos observar en la diferencia de dispositivos en cuanto a la ocupación real de la secretaria y el origen en el número uno debido a la impresora que se mantiene conectada durante todos los días en la propia secretaria.

Por último, el cálculo de la correlación entre HR y los dispositivos móviles es de -0.1175 correlación de tipo débil con signo negativo. El aumento de una provoca el descenso de la otra variable. En general la correlación entre estos parámetros nos tiene que indicar que el aumento de una provoca el descenso de la otra. Pero el propio valor de la correlación no es muy alto en comparación a otros espacios estudiados, por lo que se intuye que los valores obtenidos has sido influenciados por otros factores. En este caso HR ha sido influenciado, entre otros, por la meteorología, como se muestra en la Figura 66 esos cambios en los valores de la humedad. Por otra parte, y como se ha indicado ya, los valores de los dispositivos móviles están muy influenciados por los espacios adyacentes de la secretaria y el pasillo.

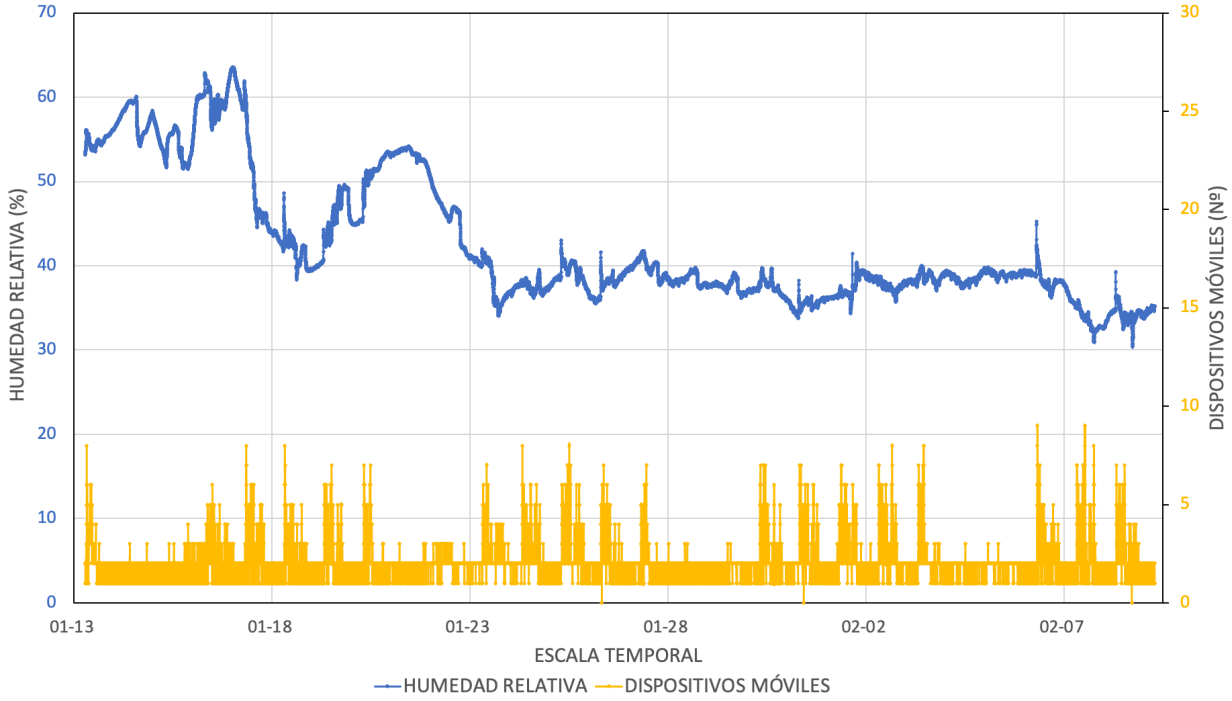


Figura 66 Gráfico de dispersión de HR y Disp. Móviles

4.4.2 Análisis general de la concentración de CO_2

Para el análisis general de la secretaria económica se han obtenido las gráficas de la concentración de dióxido de carbono de la plataforma. Debido al gran número de datos que tenemos, se ha decidido representar estas concentraciones en dos gráficos separados, uno por cada periodo de datos obtenidos, para que visualmente se vea mejor y podamos hacer un análisis más certero.

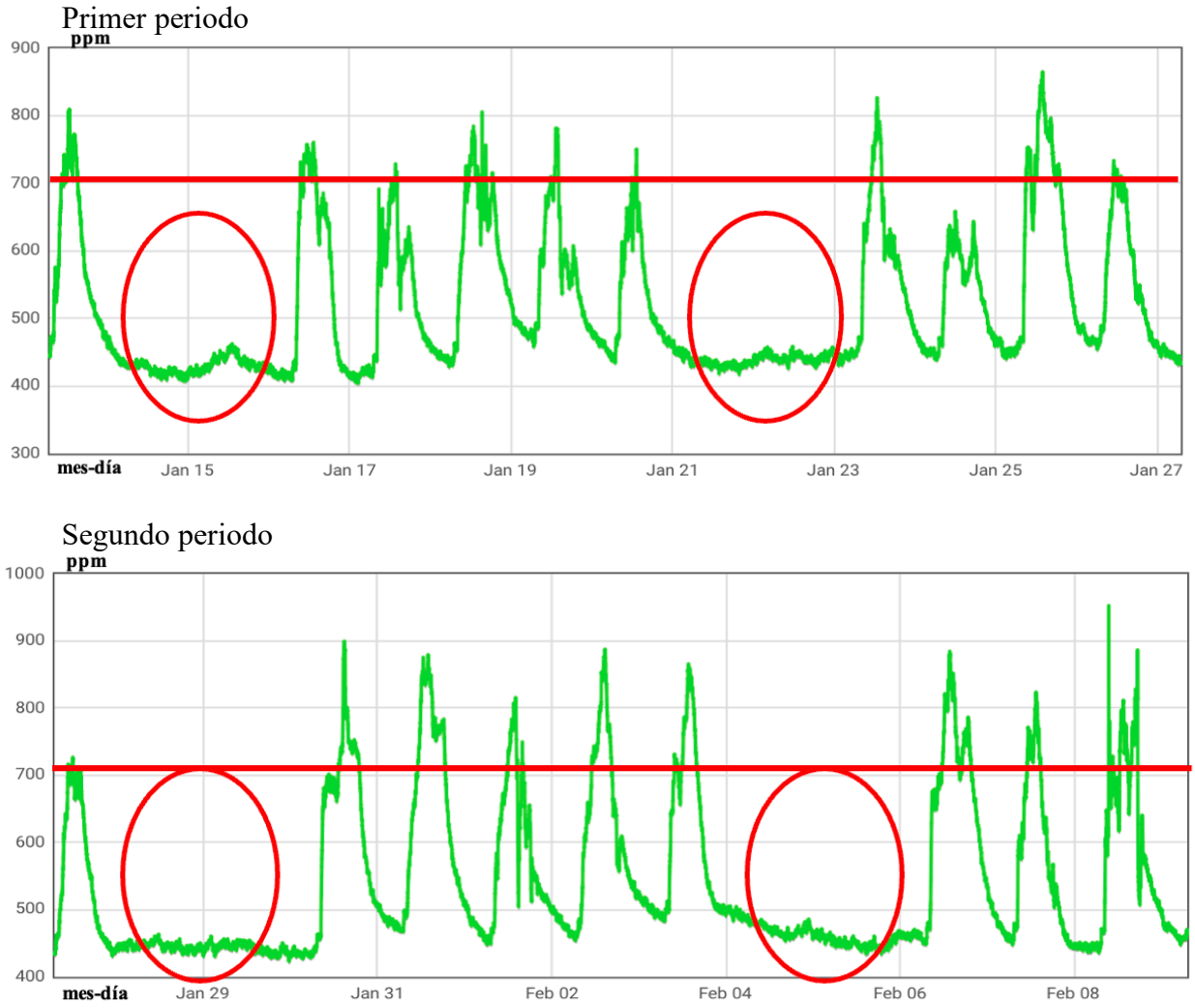


Figura 67 Gráfico de concentración de CO_2 de la secretaria económica

A la hora de analizar el gráfico, observamos que de manera general no se superan el límite máximo establecido de concentración de dióxido de carbono. Si que se superan en casi todos los días el primer límite de 700 ppm, marcado con una línea roja, que nos indica que el 1% del aire que está en ese espacio ya se ha respirado. Este primer "aviso" de las 700 ppm no es más que un indicativo que el aire es todavía de calidad, pero se está comenzando a degradar de manera sutil y que la ventilación del espacio sería recomendable, además de que nos indica que estamos cerca de las 1000 ppm, nivel que no se debe superar y que necesita una ventilación urgente el espacio. Aun así, el aire que se respira en este espacio es de calidad y no perjudicial para la salud de los ocupantes.

Observamos también, que los ascensos y descensos de la concentración mantienen una forma similar durante todos los días que hay actividad en este sitio, excepto en los sitios donde están marcados con óvalos de color rojo, los cuales indican que esos días son fin de semana y por tanto la secretaria está vacía.

La forma repetida de las gráficas y el no sobrepasar los límites establecidos nos indican que cada día la actividad que se desarrolla en el interior de este espacio tiene un horario fijo que se respeta durante todos los días de la semana. Por otro lado, la ventilación en este espacio es correcta ya que en ningún día se ha superado el límite manteniendo la misma ocupación y el mismo número de hora en la secretaria. Por tanto, la ventilación, en general, de este sitio es correcta en función a la ocupación del espacio y las horas que está en uso.

4.4.3 Análisis puntual de la concentración de CO_2

Para el análisis puntual de la concentración de dióxido de carbono nos hemos centrado en el día 26 de enero. Hemos elegido este día ya que es el que mayor nivel de concentración ha tenido durante todo el periodo estudiado. Para el análisis nos hemos apoyado de la gráfica que nos proporciona la plataforma *"ThingsBoard"* mediante la cual observamos el comportamiento de la concentración de CO_2, además de conocer exactamente en el punto deseado la concentración y la hora a la que se ha producido.

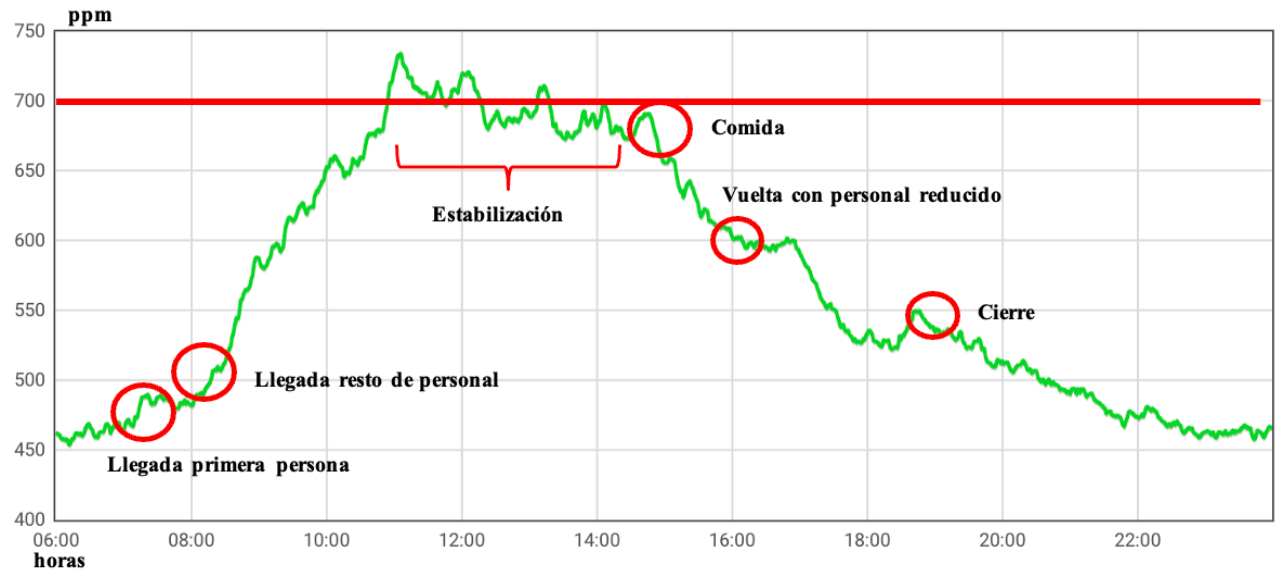


Figura 68 Gráfica de concentración de CO_2 del día 26 de enero

Como ya se ha mencionado en el anterior apartado y se observa de nuevo en la gráfica, no se supera el nivel máximo de concentración establecido de 1000 ppm. Si que se ha marcado el nivel de 700 ppm, que se supera un periodo relativamente corto comparándolo con toda la jornada laboral en el que seria recomendable ventilar el espacio. Como vemos en la gráfica el comienzo del aumento se produce a las 07:30 cuando comienza a entrar el personal a la secretaria. Comienza el crecimiento de forma leve debido a que todavía no ha llegado todo el personal. A las 08:15 se produce un aumento sustancial de la concentración con una pendiente muy pronunciada ya que se encuentra todo el personal dentro de la secretaría. A partir de ahí, comienza a aumentar el nivel de concentración llegando a 734 ppm a las 11:05. Desde ese momento la concentración se estabiliza en un rango entre 650 y 730 ppm, en los que observamos pequeños aumentos y descensos debido al abandono de alguien o la entrada, concluyendo que el sistema automático de ventilación está configurado de forma correcta ya que mantiene un nivel óptimo de concentración renovando el aire continuamente. A las 14:40 se produce un abandono de la secretaria para la comida, retornando las 16:00 pero esta vez con menos personal ya que por las tardes hay personal reducido, manteniéndose la concentración en 600 ppm hasta que se abandona completamente la secretaria reduciéndose en 40 minutos hasta 525 ppm. Posteriormente se ocupa la secretaria económica durante 50 minutos en lo que se observa un leve aumento hasta que definitivamente se abandona y la concentración desciende hasta las 450 ppm que es el nivel que se mantiene cuando no hay personal en ese espacio.

4.4.4 Soluciones y medidas

De forma general en la secretaria económica del CUD se respetan los niveles de concentración de CO_2. Principalmente porque la ocupación no es muy alta y no se genera mucho dióxido de carbono y con la ayuda de la ventilación automática se mantiene el nivel. Tampoco supone un problema el número de horas que se pasan en este espacio ya que no intervienen de forma directa en la acumulación de dióxido de carbono. Si hay que tener en cuenta que si aumenta mínimamente el número de personal en la secretaria sí que podría suponer un problema ya que el nivel aumentaría y la ventilación no seria suficiente. Por tanto, configurar bien la ventilación para que sea suficiente a la hora de renovar el aire y mantener las medidas que hasta ahora se estaban manteniendo para continuar con los niveles estudiados que son correctos para una buena calidad ambiental interior.

5 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

En este TFG se ha estudiado la calidad del aire en espacios docentes mediante las concentraciones de CO_2 con ayuda de otros parámetros, los cuales gracias a ellos el estudio y análisis de este ha sido más completo y preciso. Basándonos en lo analizado determinamos que los niveles de dióxido de carbono en espacios docentes están muy ligados a la ocupación del aula, el número de horas que se usa y a la propia ventilación existente en el espacio. Concluyendo que, en la mayoría de los espacios, si no se lleva un control de los factores mencionados anteriormente no se mantendrá una calidad ambiental correcta en el espacio en cuestión. Este apartado hace referencia a la parte 3 de la norma UNE 171330, que nos indica las pautas y requisitos y la toma de medidas que se deben seguir para tener y mantener una calidad del arie correcta.

5.1 Conclusiones

Como hemos podido observar a lo largo del trabajo, los niveles de CO_2 en los espacios docentes analizados se sobrepasan los valores estipulados o están muy próximos a los límites marcados. En la mayoría de los espacios docentes donde se superan los niveles de concentración (aula 10) se debe a que la ocupación es alta durante un gran número de horas. Por otra parte, en los espacios donde los niveles de concentración se han acercado al límite y no se han superado o lo han hecho se forma puntual (seminarios) es debido a que la ocupación y el tiempo en el aula no ha sido muy extenso, pero si la ocupación, tiempo o ambos aumenta, los niveles de concentración límites de CO_2 serían superados. En los espacios donde se ha mantenido el nivel límite de concentración y se ha respetado a lo largo del desarrollo de la actividad (despacho, secretaría) ha sido principalmente por una ventilación adecuada del espacio. Por tanto, podemos observar que la calidad ambiental en espacios interiores depende fuertemente de la ventilación de ese lugar, siendo primordial.

Para un mantenimiento de una buena calidad ambiental mediante la ventilación efectiva de los espacios estudiados se ha concluido con una propuesta de una serie de mejoras, ordenadas según lo asequible que podrían ser para la implementación de ellas.

1. Apertura de ventanas cada 20 minutos para renovar el aire.
   Como hemos podido observar a lo largo del trabajo, la renovación del aire es necesaria para mantener una buena calidad ambiental y que el nivel de CO_2 no supere las 1000 ppm. Esta renovación de aire dependerá de las dimensiones de cada aula y de la ocupación. Pero hemos observado que la apertura de ventanas durante un periodo de tiempo entre 5 y 10 minutos provoca una reducción notable en el nivel de concentración. Por ello se propone la forma más simple y menos costosa de renovar el aire, siendo esta la apertura de ventanas cada 20 minutos para que la concentración no aumente demasiado en el espacio.

2. Instalación de sensores en todas las clases con alarma que avise la cercanía a los niveles límites de concentración y se produzca la apertura de ventanas.
   Es importante conocer el estado de la calidad del aire dentro de las aulas y saber cuándo es necesaria la ventilación sin tener que estar atento para renovar el aire de forma continua. Para ello se propone esta mediad de instalar sensores en todas las clases que midan el nivel de CO_2 a tiempo real en los que se puedan establecer diferentes niveles de CO_2 para que avisen con una alarma sonora cuando la concentración aumenta demasiado, cuando se esté acercando al límite permitido de 1000 ppm y cuando este se ha sobrepasado. Para desarrollar esta medida no será necesario la inversión de cantidades elevadas de dinero y se ajusta a un control de la calidad efectivo.

3. Instalación en todos los edificios de sistemas de ventilación y renovación de aire continuo.
   Esta medida da el salto económicamente hablando ya que se trata de una instalación en los edificios donde se encuentren aulas para que realice funciones de ventilación y renovación de aire continuamente. Este sistema mientras esté en funcionamiento renovará continuamente el aire interior, expulsando el ya viciando e inyectando limpio. Estos tipos de instalaciones no son del todo eficientes porque a veces no es necesario que estén en funcionamiento ya que el nivel de dióxido de carbono es el adecuado, pudiendo ahorrar energía, gastos y reduciendo la contaminación. Debido a esto, el sistema descrito no es tan costoso como el que se menciona a continuación.

4. Instalación en todos los edificios de sistemas de ventilación y renovación de aire configurable en intensidad adecuándolo a la ocupación y número de horas. Por último, la medida mencionada es la instalación de un sistema de ventilación y renovación de aire configurable e inteligente. El funcionamiento de este consiste en poder configurar la intensidad de ventilación y el número de horas de trabajo conforme a la ocupación del aula y las horas en las que se realicen actividades en su interior. Este sistema está dotado de un sensor de concentración de dióxido de carbono mediante el cual el sistema se pone en funcionamiento y aumenta su intensidad según los valores que le indica de forma automática, apagándose cuando no sea necesario. Esta configuración como ya hemos dicho también se puede hacer manualmente. En cuanto a eficiencia de este sistema es mejor ya que las horas de uso y las intensidades van variando conforme a la demanda requerida, produciéndose un ahorro tanto energético como en costes además de una menor contaminación. Es cierto que la inversión para la instalación de este sistema es mayor que todas las expuestas anteriormente.

Adoptando estas medidas en los espacios docentes del CUD-ENM los niveles de concentración descenderán para cumplir con los niveles establecidos, reduciendo el riesgo para la salud de las personas que se encuentran en las aulas.

5.2 Líneas futuras

A lo largo del desarrollo de este trabajo han ido surgiendo problemas, ideas y posibles objetivos para que se realicen en un futuro. La finalidad de este apartado no es más que una mejora sustancial en el tema desarrollado, yendo más allá y buscando nuevos sitios donde controlar la concentración, nuevas formas de hacerlo y adelantarse a situaciones que no son deseables. Para ello a continuación, se expondrán algunas de ellas:

1. Desarrollo del sistema de ventilación configurable para las aulas de la ENM con el fin de instalarlo en el edificio Isaac Peral y en el patio de aulas.

2. Desarrollo de una simulación de datos de concentración de CO_2 con el programa MATLAB con el fin de comparar resultados con los reales para verificar que son correlacionables y poder determinar con anterioridad en un aula concreta la ocupación óptima o incluso el dimensionado del aula para unas condiciones concretas previo a su construcción.

3. Desarrollo e instalación de sensores en las LLII para el estudio de la calidad ambiental con el fin de instalarlo de forma permanente en los buques de la Armada.

4. Realizar un estudio de la calidad del aire como el realizado en este TFG, pero en lugares donde el alumnado de la ENM pase mucho tiempo y sea lugares potenciales de concentraciones altas de CO_2, concretamente en las camaretas y estudios del edifico Francisco Moreno o en la biblioteca.

Las propuestas mencionadas anteriormente son una continuación del estudio original que se ha realizado en este trabajo que se puede tomar como ejemplo en cuanto metodología o mediante el uso de los datos con el fin de compararlos con otros espacios.

6 BIBLIOGRAFÍA

[1] A. Delgado Jimenez, «Por qué el transporte de mercancías suspende en sostenibilidad,» *The Conversation ,* 30 Agosto 2021.

[2] OMS, «Contaminación del aire ambiente (exterior),» *Organización Mundial de la Salud,* 2022.

[3] P. R. Suances, «La Justicia de la UE concluye que España no veló por calidad del aire de Madrid y Barcelona entre 2010 y 2018,» *El Mundo,* 22 Diciembre 2022.

[4] J. Sundell, «On the history of indoor air quality and health,» *National Library of Medicine,* 2018.

[5] D. Sarigiannis, «Combined or multiple exposure to health stressors in indoor built environments,» *Organización Mundial de la Salud,* 2019.

[6] D. P. Wyon, «The effects of indoor air quality on performance and productivity,» *Nacional Library of Medicine,* 2018.

[7] F. J. García-Estañ López, «Calidad del Ambiente Interior en el trabajo,» *Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo,* Octubre 2022.

[8] UNE, «Diagnóstico de calidad ambiental interior,» *Normalizacón Española,* Julio 2008.

[9] UNE, «Procedimientos de inspección de calidad ambiental interior,» *Normalización Española,* Diciembre 2014.

[10] UNE, «Sistema de gestión de los ambientes interiores,» *Normalización Española,* Mayo 2010.

[11] X. Solá Guardino, «Calidad del Aire Interior,» *Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo,* 2022.

[12] S. Garcia Moreno, «Calidad del Aire Interior,» *Universidad Nacional de Educación a distancia,* Junio 2019.

[13] INSHT, «Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relativos a la utilización de los lugares de tra bajo,» *Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo,* Marzo 2018.

[14] A. Ruiz Garcia, «Estudio de ventilación en aulas mediante medidas de concentración de CO2,» *Universidad de Zaragoza,* 2022.

[15] J. Allen y Otros, «Guía en 5 pasos para medir la tasa de renovación de aire en aulas,» *Harvard School for Public Health,* Agosto 2020.

[16] E. Gallego Piñol y Otros, «alidad de aire interior: filtros de carbón activo para su mejora,» *Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo,* 2018.

[17] M. Planelles, «El CO2 en el cambio climático,» *El País,* 2018.

[18] A. Hernandez Calleja , «Ventilación General de Edificios,» *Instituto Nacional de Salud y Seguridad en el Trabajo,* 2019.

[19] L. Huayanay, «Transmisión aérea en espacios cerrados del SARSCov-2,» *Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Facultad de Medicina,* 2021.

[20] Ministerio de Sanidad, «Evaluación del Riesgo de Transmisión SARS-CoV-2 Mediante Aerosoles,» 18 Noviembre 2020.

[21] P. J. Carrasco Pena, «Control de la Calidad Ambiental,» *IX Congreso Nacional de I+D en Defensa y Seguridad.,* 2022.

[22] E. Group, «Energesis Group,» 2023. [En línea]. Available: https://energesis.es.

[23] Energesis Ingenieria, «Manual del Usuario AirQ-Monitor,» *Energesis Group.*

[24] P. J. Carrasco Pena, «Análisis y Control Estadístico de la Calidad Aplicado a la Eficiencia Energética en Buques de Guerra,» *Universidad Politécnica de Valencia,* 2019.

ANEXO I: IMPLICACIONES SOCIALES, Y/O ECONÓMICAS, Y/O AMBIENTALES

El dióxido de carbono es un gas que se encuentra en el aire que respiramos y es producido por la actividad humana y natural. Aunque el CO_2 no es un gas tóxico, las altas concentraciones pueden ser dañinas, degradando la calidad ambiental en espacios interiores y produciendo un impacto tanto social como económico y ambiental.

Las altas concentraciones de dióxido de carbono en espacios cerrados repercuten socialmente con problemas de salud, mencionadas en el apartado 2.3 Problemas de salud debido a la calidad del aire, en el personal que se encuentra en ese espacio durante tiempos prolongados. Puede influir notablemente en el trabajo que se realice en el lugar en cuestión, disminuyendo la productividad y además de por el malestar y también por la incomodidad, el mal humor y la disminución del rendimiento traducida en un mal desarrollo del trabajo que se realice. No solo se centra en lugares de trabajo sino también en lo doméstico, en el bienestar de las personas en sus propios hogares. Pero lo más destacable en cuanto a las implicaciones sociales es en la equidad social y justicia ya que, los grupos más vulnerables como niños, personas mayores y las personas con discapacidad son más susceptibles a los efectos de una mala calidad ambiental, provocada en especial por niveles altos de concentración de dióxido de carbono.

Una mala calidad ambiental también provoca un impacto económico. Principalmente con costos de mitigación en cuanto a espacios, cuando se han diseñado o construido sin tener en cuenta la ventilación natural, donde, para mantener la calidad ambiental es necesaria la inversión en equipos y sistemas de ventilación. Actualmente la forma de renovación de aire sobre todo en edificios y oficinas es mediante el uso de sistemas de ventilación, los cuales instalarlos, ponerlos en funcionamiento o aumentar la potencia de ventilación requiere un consumo extra de electricidad lo que significa un aumento económico que pagar. Si nos centramos en el ámbito empresarial, la disminución de rendimiento y productividad provocan en las empresas una pérdida de ingresos y de clientes. En relación con los problemas de salud, comentados anteriormente, también provocan costos en las personas relacionados con la atención médica, medicamentos y la perdida de días laborales por las enfermedades contraídas.

Enlazando con las implicaciones económicas y desde un punto de vista ambiental, el aumento del uso de los sistemas de ventilación de cada edificio o la necesidad de aumentar la potencia de trabajo de este provoca un aumento significativo del consumo de energía. Este aumento de energía implica mayor contaminación para poder abastecer de la energía requerida, aumentando la huella de carbono del edificio y contribuyendo a la contaminación del aire en áreas urbanas. También la calidad del aire interior está influenciada por contaminantes como productos de limpieza y productos químicos, materiales de construcción, muebles y el uso de la calefacción y sistemas de ventilación contribuyen a las emisiones de gases de efecto invernadero.

De forma general, la calidad del aire interior es importante para las vidas de las personas ya que repercute de forma notable en la sociedad, economía y en el medio ambiente. Por ello se debe tener un control de la calidad del aire, reduciendo los riesgos al máximo y haciéndolo de la mejor forma posible para que influya de la manera más sutil en las personas.

ANEXO II: REFLEXIONES ÉTICAS Y SOCIALES

El desarrollo de este TFG ha provocado que nos planteemos una serie de reflexiones en el ámbito ético y social conforme al tema tratado. En primer lugar, nos ha servido para darnos cuenta de la importancia que tiene el control de la calidad ambiental que como ya se ha mencionado a lo largo del trabajo, no estamos concienciados de ello. El problema de la concienciación tiene su origen en la educación que hemos recibido sobre este tema, en cuanto al mantenimiento de una calidad del aire en interiores salubre. No solo se debe educar en este aspecto a las personas que ocupan un lugar en concreto, mentalizándolos de la importancia de la calidad ambiental sino también al personal que desarrolla alguna actividad puntual en un espacio. Dichas actividades son por ejemplo la reparación y mantenimiento o la limpieza del espacio, ya que el personal destinado a estas actividades debe conocer cómo realizarlo influyendo lo mínimo en la calidad ambiental.

Por otra parte, las propias personas presentes en el espacio deben ser conscientes de cómo afectan a la calidad del espacio y contribuir a tener una correcta calidad del aire interior. Como hemos podido ver a lo largo de este trabajo, muchas enfermedades, entre otras la COVID-19, han sido contagiadas en espacios interiores debido a que una persona portaba el virus. Por tanto, la responsabilidad de cada persona en cuanto a comprometer la calidad del aire es importante, conociendo cada uno el riesgo que puede provocar a las demás personas en un mismo espacio.

El mantenimiento de una calidad ambiental correcta está muy influenciado por la ventilación del espacio. Actualmente la mayoría de los edificios, oficinas y espacios públicos están ventilados por sistemas de ventilación. Estos sistemas están continuamente en funcionamiento y con un régimen de trabajo alto, lo que se traduce en un gran consumo de energía y en una fuente de contaminación. En algunos casos no es necesario que el funcionamiento sea de forma continua o que no sea de forma excesiva pudiendo ahorrar energía y con ello disminuir la contaminación. Además, se pueden compaginar distintos métodos de ventilación con el fin de reducir el consumo de energía y contaminación.

En el ámbito en el que nos encontramos, en la Escuela Naval Militar, se podría mejorar la concienciación de la calidad ambiental. Ya que en algunos casos el nivel máximo establecido de 1000 ppm es superado. En la mayoría de las aulas no se dispone de un sistema de ventilación, la única forma de renovar el aire de las aulas es mediante la apertura de puertas y ventanas que puede ser molesto para la clase.

Para solucionar el problema que se da en los espacios docentes del CUD-ENM, principalmente se debe concienciar al alumnado de la importancia del control ambiental e implantar sistemas de ventilación haciendo un uso responsable de ellos o simplemente utilizando otros métodos también efectivos, conociendo en todo momento el nivel de concentración de dióxido de carbono que existe en cada aula. Este TFG es un punto de partida para que la Escuela Naval Militar pueda tomar conciencia del problema e intentar mitigarlo de la mejor forma posible con el fin de que no se encuentre ningún caso de concentraciones altas de dióxido de carbono y una mala calidad ambiental.