



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Análisis de la calidad ambiental de espacios interiores de uso del
alumnado en la ENM. Propuesta de opciones de mejora.*

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: Francisco Manuel García Torres

DIRECTORES: Alicia Vázquez Carpentier
Gerardo González-Cela Echevarría

CURSO ACADÉMICO: 2023-2024

Universida_{de}Vigo



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Análisis de la calidad ambiental de espacios interiores de uso del
alumnado en la ENM. Propuesta de opciones de mejora.*

Grado en Ingeniería Mecánica
Intensificación en Tecnología Naval
Cuerpo General

Universida_{de}Vigo

RESUMEN

La calidad del aire interior afecta a toda la población. Desde la pandemia de la COVID-19 se ha intensificado la preocupación por esta, desarrollando diferentes estudios sobre sus características. La medición de la calidad del aire es un proceso que implica la superposición de distintos factores.

En base a las recomendaciones de la OMS, la norma UNE 171330 y estudios ya realizados, se considera la medición del CO₂ como factor determinante. Por esta razón, se pretende relacionar la influencia de factores ambientales (temperatura, humedad, ventilación) y humanos (número de personas) en el aumento de CO₂. Para ello se han utilizado tres medidores durante un periodo de 30 días, en los que se han recogido más de 120000 datos. El estudio ha tenido lugar en el cuartel Almirante Francisco Moreno, donde desarrollan las actividades de estudio y descansan los alumnos.

Además de evaluar si se mantiene la calidad del aire establecida por la OMS y la influencia de los factores con la concentración de CO₂, se han cumplido los objetivos secundarios relativos a las mediciones. Estos son el estudio de los espacios de medición, la creación de una base de datos mediante instrumentos de medida portátiles y plantear soluciones para los casos en los que no se cumplan las condiciones mínimas.

PALABRAS CLAVE

Control ambiental, Calidad del aire, Análisis estadístico, Base de datos.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, me gustaría agradecer a mi familia el apoyo constante que he recibido. A mi padre, por ser el faro que ha guiado el principio de mi carrera profesional y por lo tanto esta etapa de formación. Mi madre por ser el ángel de la guarda siempre que lo he necesitado. A mis hermanos por exigirme siempre ser un ejemplo para ellos y ver en mí alguien en el que confiar.

Además, quiero agradecer a mis compañeros de promoción, los cuales ya considero de mis mejores amigos. En especial a los más cercanos, hemos crecido de la mano personal y profesionalmente, creando vínculos que durarán toda la vida. Gracias a ellos soy la persona que conocen.

Por último, agradecer a mis tutores del TFG, tanto Alicia Vázquez Carpentier como al CF Gerardo González-Cela Echevarría por su profesionalidad, ayuda y entrega durante estos meses, sin ellos no habría sido posible realizar este trabajo.

CONTENIDO

Contenido	1
Índice de Figuras	3
Índice de Tablas.....	6
1 Introducción y objetivos	7
1.1 Motivación	9
1.2 Objetivos	10
1.3 Metodología	10
2 Estado del arte	11
2.1 Composición del aire	12
2.2 La calidad ambiental	13
2.2.1 Calidad ambiental en exteriores.....	13
2.2.2 Calidad ambiental en interiores	14
2.2.3 Factores que afectan a la calidad ambiental del aire.....	15
2.2.4 Ventilación.....	16
2.3 Importancia del CO ₂	17
2.3.1 Niveles CO ₂ en interiores	18
2.4 Problemas de salud debido a la calidad del aire.....	19
2.4.1 Virus SARS-CoV.....	19
2.5 Dispositivo de medición de CO ₂	20
2.5.1 Dispositivo utilizado en este estudio	20
2.6 Análisis de datos	23
2.6.1 Coeficientes de correlación de Pearson	23
2.6.2 Minitab.....	24
2.6.3 ANOVA:.....	25
2.6.4 Efectos Principales.....	27
3 Desarrollo del Trabajo.....	29
3.1 Biblioteca Ciscar y Ciscar.....	31
3.1.1 Dimensiones y distribución	31
3.1.2 Ocupación y horario	33
3.1.3 Toma de datos.....	34
3.2 Camaretas de los alumnos.....	35
3.2.1 Dimensiones y distribución	35
3.2.2 Ocupación	36

3.2.3 Toma de datos.....	36
3.3 Estudios del Almirante Francisco Moreno.....	37
3.3.1 Dimensiones y distribución	37
3.3.2 Ocupación	38
3.3.3 Toma de datos.....	38
3.4 Filtro de datos.....	39
3.4.1 Sesgo de datos atípicos	39
4 Análisis de resultados	41
4.1 Biblioteca	41
4.1.1 Análisis General.....	41
4.1.2 Análisis en Minitab.....	45
4.1.3 Resultados de la biblioteca	57
4.2 Camaretas	59
4.2.1 Análisis general	59
4.2.2 Análisis Minitab.....	62
4.2.3 Resultados de las camaretas.....	71
4.3 Estudio	73
4.3.1 Análisis General.....	73
4.3.2 Análisis Minitab.....	74
4.3.3 Resultados del estudio	78
4.4 Resultados generales	79
5 Conclusiones y líneas futuras	81
5.1 Conclusiones	81
5.2 Líneas futuras	82
6 Bibliografía.....	83
Anexo I: Implicaciones Sociales, y/o Económicas, y/o Ambientales	85
Anexo II: Reflexiones Éticas y Sociales	86
Anexo III: Estudio Medidor CO2	87
Anexo IV: base de datos.....	89

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Efecto mala calidad del aire	7
Figura 2 Material Particulado.....	8
Figura 3 Evolución de la calidad del aire	8
Figura 4 Diagrama de flujo del trabajo	10
Figura 5 Evolución de la presión atmosférica con la altura	11
Figura 6 Efectos en la salud de las diferentes partículas	13
Figura 7 Distribución mundial de las muertes anuales causadas por la contaminación.....	14
Figura 8 Tipos de contaminantes.....	15
Figura 9 Guía de ventilación de los espacios interiores	16
Figura 10 Evolución de la concentración de CO ₂ a lo largo de los años	17
Figura 11 Noticia de la preocupación.....	17
Figura 12 Niveles de CO ₂ y su equivalencia.....	18
Figura 13 Disminución de contagios en función de la ventilación y la concentración de CO ₂	18
Figura 14 Tipos de contagios a través del aire	19
Figura 15 Logo empresa Energesis	20
Figura 16 Dispositivo de medición AirQMonitor	20
Figura 17 Pantalla y display inicial	21
Figura 18 Módulo de sensor CO ₂ de, humedad y temperatura	21
Figura 19 Planos del módulo.....	22
Figura 20 Representación coeficiente Pearson.....	24
Figura 21 Asistente de análisis gráfico de Minitab	24
Figura 22 Ejemplo Gráfica de Cajas	25
Figura 23 Histograma de residuos.....	26
Figura 24 Gráfica de probabilidad normal de residuos	26
Figura 25 Gráfica de residuos frente ajustes	27
Figura 26 Ejemplo gráfica de efectos principales	28
Figura 27 Vista aérea de la ENM	29
Figura 28 Segunda Planta AFM	30
Figura 29 Planta Baja	30
Figura 30 Plano Biblioteca	31
Figura 31 Vista interior de la Biblioteca (1).....	31
Figura 32 Vista interior de la biblioteca (2)	32
Figura 33 Vista interior de la biblioteca (3)	32

Figura 34 Vista de las entradas de la Biblioteca.....	33
Figura 35 Ejemplo horario alumnos	33
Figura 36 Base de datos en Excel.....	34
Figura 37 Disposición de los sensores en la biblioteca	34
Figura 38 Planos Camaretas	35
Figura 39 Imágenes reales de la camareta	35
Figura 40 Posición del sensor en la camareta.....	36
Figura 41 Planos estudios.....	37
Figura 42 Imagen real del estudio	37
Figura 43 Ventanal del estudio.....	38
Figura 44 Posición del sensor en el estudio	38
Figura 45 Posición real del sensor en el estudio.....	39
Figura 46 Filtro de datos	39
Figura 47 Histograma Temperatura.....	40
Figura 48 Comparativa CO ₂ en los sensores	42
Figura 49 Comparativa general sensor CUD-01	42
Figura 50 Comparativa general sensor CUD-02	43
Figura 51 Comparativa general sensor CUD-03	43
Figura 52 Correlaciones Pearson generales biblioteca	44
Figura 53 Correlaciones Pearson 8 febrero biblioteca	44
Figura 54 Gráfica de cajas de CO ₂ en la biblioteca.....	45
Figura 55 Gráfica de residuos de CO ₂ en la biblioteca	45
Figura 56 Gráfica de cajas de humedad en la biblioteca	46
Figura 57 Gráficas de residuos de humedad en la biblioteca	46
Figura 58 Gráfica de cajas de temperatura en la biblioteca.....	47
Figura 59 Gráficas de residuos de temperatura en la biblioteca.....	47
Figura 60 Gráfica de efectos principales del sensor CUD-01 en la biblioteca.....	48
Figura 61 Gráfica de efectos principales CUD-01 CO ₂ -Humedad en la biblioteca.....	49
Figura 62 Valores de la distribución de datos CUD-01 CO ₂ -Humedad en la biblioteca	49
Figura 63 Gráfica de efectos principales CUD-01 CO ₂ -Temperatura en la biblioteca.....	50
Figura 64 Valores de la distribución de datos CUD-01 CO ₂ -Temperatura en la biblioteca	50
Figura 65 Gráfica de efectos principales del sensor CUD-02 en la biblioteca.....	51
Figura 66 Gráfica de efectos principales CUD-02 CO ₂ -Humedad en la biblioteca.....	52
Figura 67 Valores de la distribución de datos CUD-02 CO ₂ -Humedad en la biblioteca	52
Figura 68 Gráfica de efectos principales CUD-02 CO ₂ -Temperatura en la biblioteca	53
Figura 69 Valores de la distribución de datos CUD-02 CO ₂ -Temperatura en la biblioteca	53

Figura 70 Gráfica de efectos principales del sensor CUD-03 en la biblioteca.....	54
Figura 71 Gráfica de efectos principales CUD-03 CO ₂ -Personas en la biblioteca	55
Figura 72 Valores de la distribución de datos CUD-03 CO ₂ -Personas en la biblioteca	55
Figura 73 Gráfica de efectos principales CUD-03 CO ₂ -Humedad en la biblioteca.....	56
Figura 74 Valores de la distribución de datos CUD-03 CO ₂ -Humedad en la biblioteca	56
Figura 75 Gráfica de CO ₂ en la biblioteca con el límite recomendado por la OMS (general)	58
Figura 76 Gráfica de CO ₂ en la biblioteca con el límite recomendado con la OMS (24 horas)	58
Figura 77 Filtro de datos número de personas en la camareta	59
Figura 78 Vista general de los datos de CO ₂ en las camaretas	60
Figura 79 Comparativa de variables con el CO ₂ en la camareta 2NE Exterior	60
Figura 80 Comparativa de variables con el CO ₂ en la camareta 2NE Interior.....	60
Figura 81 Correlaciones de Pearson en la camareta 2NE Exterior	61
Figura 82 Correlaciones de Pearson en la camareta 2NE Interior.....	61
Figura 83 Gráfica de cajas de CO ₂ en las camaretas.....	62
Figura 84 Gráfica de residuos de CO ₂ en las camaretas	62
Figura 85 Gráfica de cajas de humedad en las camaretas	63
Figura 86 Gráfica de residuos de humedad en las camaretas.....	63
Figura 87 Gráfica de cajas de temperatura en las camaretas.....	64
Figura 88 Gráfica de residuos de temperatura en las camaretas	64
Figura 89 Gráfica de efectos principales en la camareta 2NE Exterior	65
Figura 90 Gráfica de efectos principales CO ₂ -Humedad en la camareta 2NE Exterior	66
Figura 91 Valores de la distribución de datos CO ₂ -Humedad en la camareta 2NE Exterior.....	66
Figura 92 Gráfica de efectos principales CO ₂ -Temperatura en la camareta 2NE exterior	67
Figura 93 Valores de la distribución de datos CO ₂ -Temperatura en la camareta 2NE Exterior.....	67
Figura 94 Gráfica de efectos principales en la camareta 2NE Interior.....	68
Figura 95 Gráfica de efectos principales CO ₂ -Humedad en la camareta 2NE Interior.....	69
Figura 96 Valores de la distribución de datos CO ₂ -Humedad en la camareta 2NE Interior.....	69
Figura 97 Gráfica de efectos principales CO ₂ -Humedad en la camareta 2NE Interior.....	70
Figura 98 Valores de la distribución de datos CO ₂ -Temperatura en la camareta 2NE Interior	70
Figura 99 Gráfica de CO ₂ en las camaretas con el límite recomendado por la OMS (general).....	72
Figura 100 Gráfica de CO ₂ en las camaretas con el límite recomendado por la OMS (24 horas)...	72
Figura 101 Vista general de los datos de CO ₂ en el estudio	73
Figura 102 Comparativa general del estudio.....	73
Figura 103 Correlaciones de Pearson en el estudio.....	74
Figura 104 Gráfica de efectos principales en el estudio.....	74

Figura 105 Gráfica de efectos principales CO2-Personas en el estudio	75
Figura 106 Valores de la distribución de datos CO2-Personas en el estudio	75
Figura 107 Gráfica de efectos principales CO2-Humedad en el estudio.....	76
Figura 108 Valores de la distribución de datos CO2-Humedad en el estudio	76
Figura 109 Gráfica de efectos principales CO2-Temperatura en el estudio	77
Figura 110 Valores de la distribución de datos CO2-Temperatura en el estudio	77
Figura 111 Gráfica de CO2 en el estudio con el límite recomendado por la OMS (general).....	78
Figura 112 Gráfica de CO2 en el estudio con el límite recomendado por la OMS (48 horas).....	78
Figura 113 Valores de tendencia y correlación de los distintos espacios medidos	79
Figura 114 Valores totales de tendencia y correlación.....	80
Figura 115 Evolución de la concentración de CO2 en función de la distancia	87
Figura 116 Detecciones del medidor	87
Figura 117 Imágenes reales estudio número de dispositivos	88
Figura 118 Tabla dinámica sin filtros.....	89
Figura 119 Segmentación de datos tabla dinámica	90
Figura 120 Datos filtrados en la tabla dinámica	90

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Composición del Aire.....	12
Tabla 2 Ciclos biogeoquímicos	12
Tabla 3 Características técnicas sensor SCD30.....	22
Tabla 4 Valores de Correlación.....	23
Tabla 5 Resumen resultados en la biblioteca	57
Tabla 6 Resumen resultados en la camareta	71
Tabla 7 Resumen resultados en el estudio.....	78
Tabla 8 Valores datos obtenidos de los resultados	79
Tabla 9 Coeficientes aplicados a variables en función de la zona de medición.....	80
Tabla 10 Base de datos en Excel	89

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

La calidad del aire interior (IAQ, por sus siglas en inglés) es un medidor crucial para la salud y el bienestar de los usuarios de un espacio cerrado. La presencia de contaminantes en el aire suele ser sustancialmente mayor en el interior que en el exterior, afectando a la productividad y confort de las personas.[1] En este contexto, la medición de la calidad del aire interior es una herramienta fundamental para evaluar la salubridad de los espacios habitables. En la Figura 1 se observa la cantidad de contaminantes y elementos que afectan al aire interior.

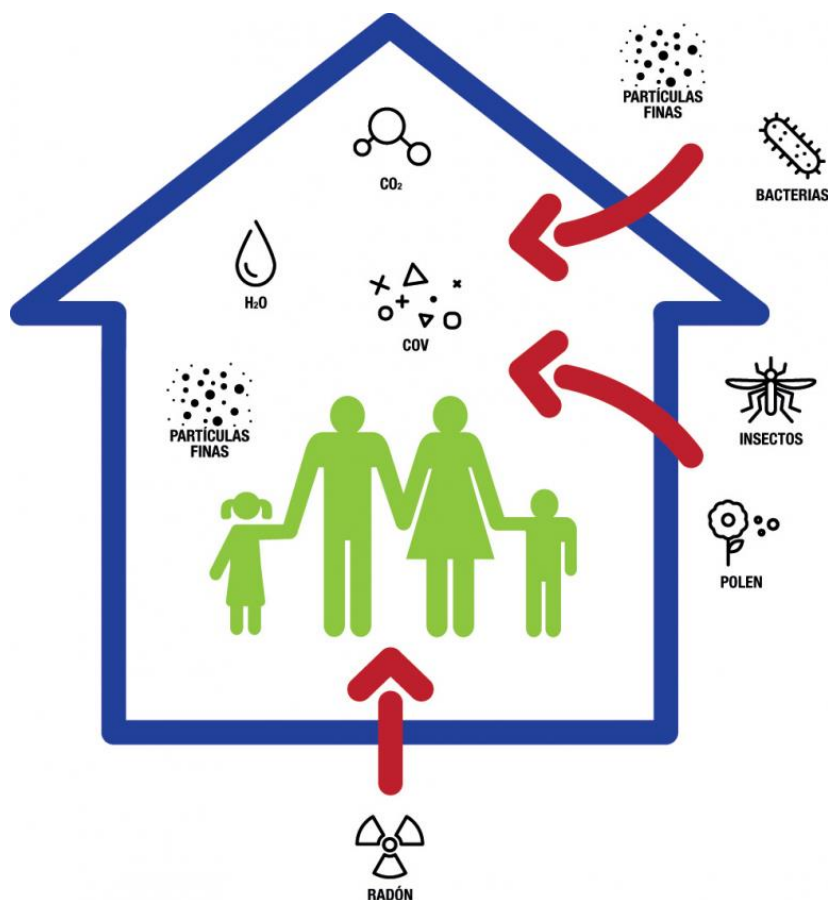


Figura 1 Efecto mala calidad del aire
Fuente Empresa Aldes

Un adulto sano consume de media entre 7000 y 9000 litros de aire al día, lo que relata la importancia de su calidad.[2] La contaminación del aire interior se ve afectada tanto por contaminantes biológicos, productos de limpieza, materiales de construcción o decoración. Según la OMS esto es el principal causante de accidentes cerebrovasculares, cáncer de pulmón y neumopatías crónicas y agudas (entre ellas el asma) [3] Los contaminantes principales se dividen en los mostrados en la Figura 2.

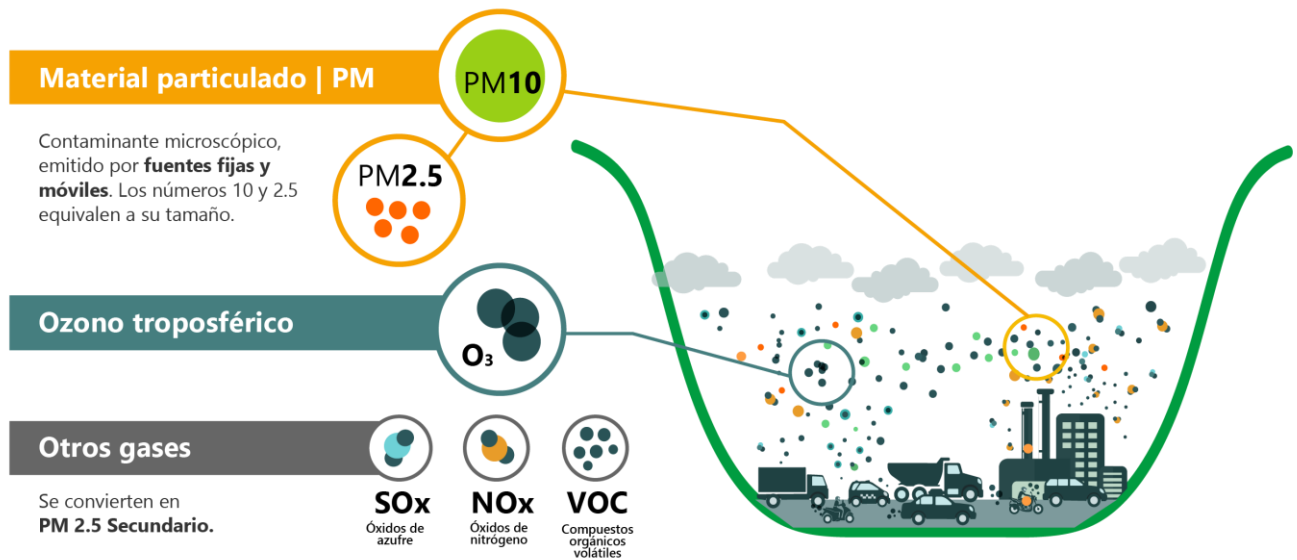


Figura 2 Material Particulado
Fuente Gobierno de Colombia

Aunque el CO₂ por sí mismo no es un contaminante, su presencia puede tanto desplazar el oxígeno como dar una medida significativa de la ventilación. Por lo tanto, el seguimiento del CO₂ permite evaluar la adecuada ventilación y anticiparse a la presencia de contaminantes, que son más complejos de medir con dispositivos específicos.[1] En la Figura 3 se muestra una evolución de la calidad del aire en función de los contaminantes mostrados en la Figura 2.

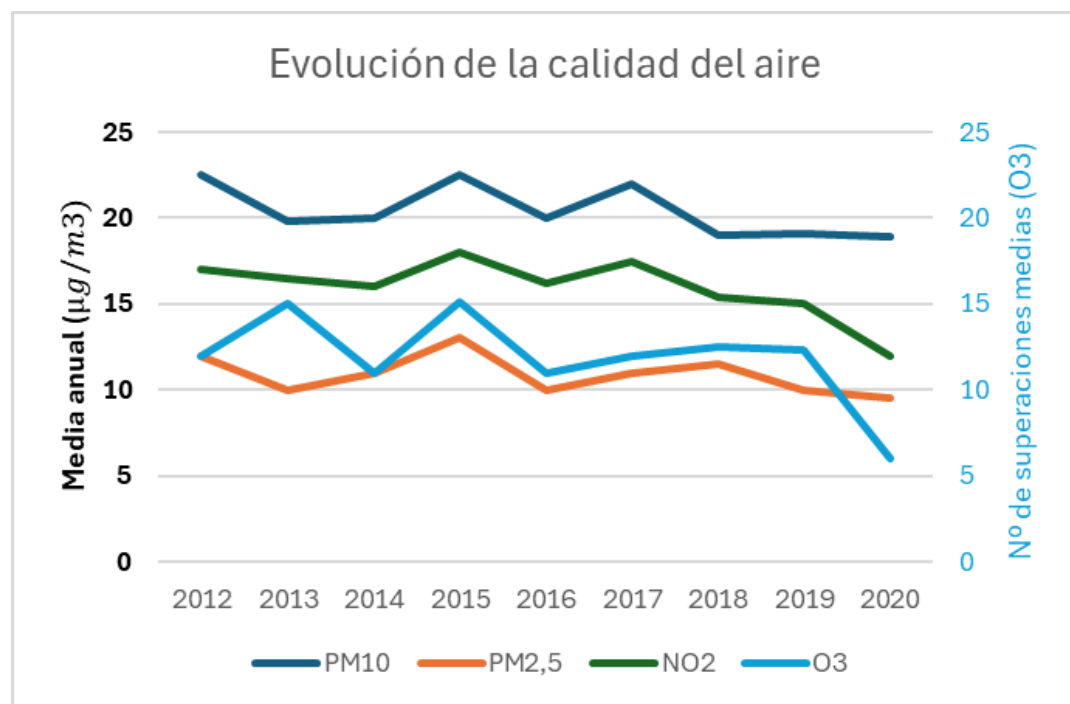


Figura 3 Evolución de la calidad del aire
Elaboración propia con datos del informe anual de calidad del aire [2]

La contaminación del aire es una amenaza global que afecta a la salud humana y el medioambiente. La medición de la calidad del aire en interiores engloba varios factores, entre los que se encuentra principalmente la ventilación.[4] Una buena aproximación a la ventilación es la medida de la concentración del CO_2 . Por ello, se puede inferir que si hay grandes concentraciones es porque hay una ventilación deficiente.[3]

En los últimos años ha aumentado significativamente el número de estudios relacionados con la ventilación, debido a la pandemia sufrida en el año 2020. Las enfermedades respiratorias tienen como principal medio de transmisión el aire. Por ello, el riesgo de contagio aumenta con la mala ventilación, y por lo tanto con el CO_2 .

La investigación se centra en estudiar las condiciones de habitabilidad de las zonas de estudio y descanso de los alumnos, incluyendo:

- Planteamiento del problema: la necesidad de un estudio sobre el ambiente en la ENM.
- Justificación y antecedentes en base al trabajo existente sobre las aulas y zonas del CUD.[5]
- Marco teórico que aborda temas relacionados con el CO_2 , sus efectos y medidas de ventilación.
- Toma de medidas en las diferentes zonas estudiadas.
- Objetivos: análisis estadístico en relación de los factores estudiados con la concentración de CO_2 .

El estudio se realiza mediante un seguimiento de la actividad y un dispositivo de medida. De esta manera se miden constantemente los parámetros de: concentración de CO_2 , temperatura, humedad y número de personas aproximado. Por otro lado, gracias al seguimiento se controlan parámetros variables como el número de ventanas abiertas, horas de ventilación y ocupación real de los espacios.

1.1 Motivación

Tras un estudio previo de la calidad ambiental en los espacios interiores de trabajo en la ENM [5], se plantea realizar mediciones en las zonas de estudio y descanso de los alumnos. Las camaretas, los estudios y la biblioteca son los lugares donde más tiempo pasan. Mantener una buena calidad del ambiente favorece el estudio y la habitabilidad.

Los datos recogidos en los dispositivos de medición se utilizan para sacar conclusiones sobre las posibles relaciones entre los parámetros. Como todos los datos relativos con el aire y la atmósfera, no se puede aplicar una simple correlación entre ellos. Para eso se ha realizado el seguimiento de la actividad. Favorece las correcciones y explica patrones que se salgan del resto de las mediciones. De todas maneras, para obtener datos más fiables se debe de contar con una amplia base de datos prolongada en el tiempo. En el marco de este estudio se está realizando un trabajo conjunto CUD-ENM, con el apoyo de la Universidad Politécnica de Valencia, sobre la calidad del aire en el ambiente militar.

Constituir un estudio constante en la ENM favorece encontrar patrones y conclusiones beneficiosas para su infraestructura. La eficiencia energética, por ejemplo, es un estudio que depende de factores como la calefacción, aislamiento térmico o ventilación del aire.

1.2 Objetivos

El objetivo principal es estudiar si se cumplen las condiciones mínimas de calidad del aire recomendadas por la OMS, basándose en la concentración de CO_2 y posteriormente medir la influencia de las variables de los datos obtenidos, estudiando las principales causas del aumento del nivel de CO_2 . Por otro lado, se han establecido objetivos secundarios sobre el trabajo realizado:

1. Estudiar los espacios elegidos, analizando su ubicación en el cuartel, dimensiones, ocupación para realizar una adecuada toma de datos.
2. Crear una base de datos sobre la calidad del aire mediante instrumentos de medida para un posterior estudio general.
3. Analizar si se mantiene la calidad del aire y condiciones de salubridad en función de los resultados y los requisitos establecidos.
4. Plantear soluciones o hábitos de buenas prácticas.

1.3 Metodología

El enfoque de este Trabajo de Fin de Grado se basa en la norma UNE 171330 [6], que establece los estándares para evaluar la calidad del aire interior y las pautas generales. Además, es necesario realizar un estudio preciso y riguroso de aspectos más específicos para determinar las conclusiones. Por lo tanto, la norma se ha utilizado como referencia, siguiendo una metodología propia del alumno. El trabajo se divide en las siguientes etapas, resumidas en la Figura 4.

1. Investigación y estudio de la literatura especializada para comprender los valores y normativas relacionadas con la calidad del aire interior.
2. Identificación de los espacios que son prioritarios para evaluar la calidad ambiental, donde las concentraciones de CO_2 pueden desempeñar un papel crucial en la salud de los presentes.
3. Instalación de sensores para medir los parámetros necesarios en los espacios identificados, generando así una base de datos detallada.
4. Análisis de los datos recopilados para evaluar el diagnóstico previo y determinar si los espacios interiores cumplen o no con los requisitos establecidos para la calidad del aire.
5. Basándose en los resultados obtenidos, se establecen pautas para mejorar la calidad ambiental o para mantenerla si ya cumple con los estándares requeridos.
6. Proponer líneas de investigación futuras para explorar otros espacios de interés en términos de calidad ambiental y posibles metodologías de estudio.

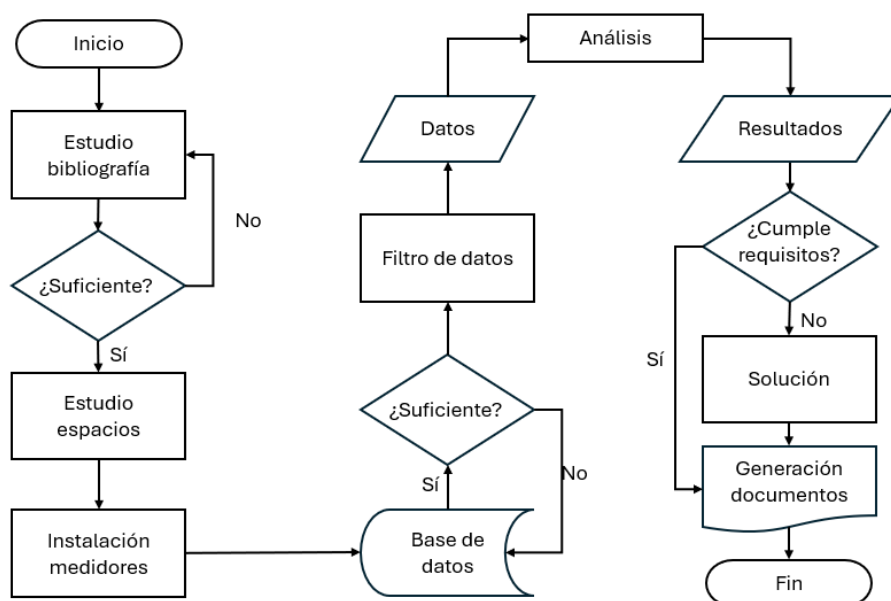


Figura 4 Diagrama de flujo del trabajo

2 ESTADO DEL ARTE

El aire es la disolución de gases predominante de nuestro planeta. Concretamente es una mezcla de gases que se puede considerar estable, siendo su proporción prácticamente homogénea. Sobre todo, en alturas inferiores a los 80 km, en las proximidades a la superficie, debido a sus procesos de mezcla.

La gravedad retiene estos gases cerca de la superficie. A medida que aumenta la altura la concentración disminuye rápidamente. El 95% de toda la masa atmosférica se encuentra en los primeros 20 km. En la Figura 5 se ve una representación general, la presión y la cantidad de aire están directamente relacionados.[7]

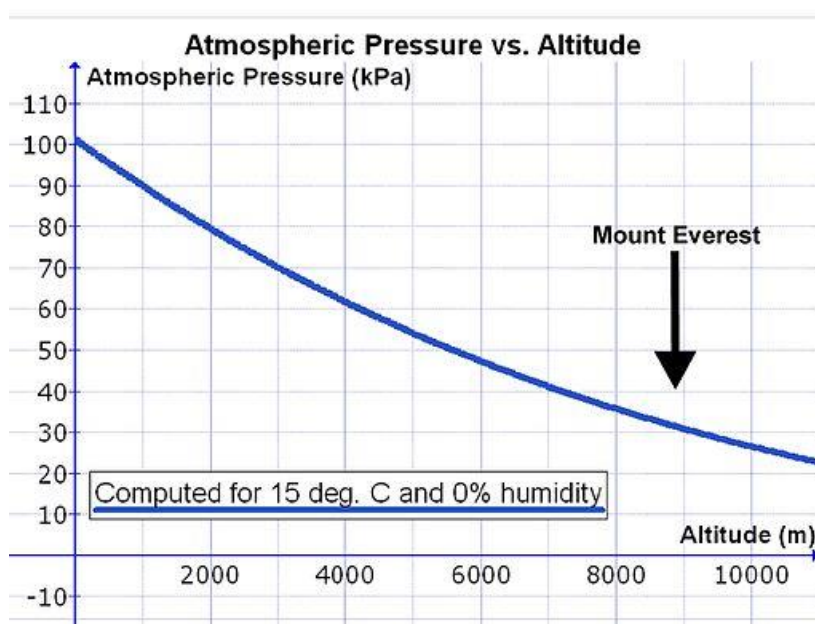


Figura 5 Evolución de la presión atmosférica con la altura
Fuente Wikimedia Commons

Este estudio se centra en el aire más cercano a la corteza terrestre, más susceptible a la acción del hombre y los procesos de cambio atmosférico. La composición de esta masa de aire es la más importante, donde se encuentran los principales causantes del efecto invernadero, lluvia ácida y destrucción de la capa de ozono.

2.1 Composición del aire

El 99% de los gases que componen la atmósfera se dividen en Nitrógeno (78,08%) y Oxígeno (20,95%). Además, el otro 1% está compuesto principalmente en Argón (0,93%) y CO_2 (0,035%). Por último, debido a su baja cantidad (inferior al 0,00001%) se encuentran aquellos conocidos como componentes traza. Por otro lado, el vapor de agua se encuentra en una proporción muy variable, entre el 1% y el 4%. [7] En la Tabla 1 se resume la composición química de la atmósfera.

Gases	Volumen (%)
Nitrógeno (N_2)	78,08
Oxígeno (O_2)	20,95
Argón (Ar)	0,93
Vapor de Agua (H_2O)	1-4
Dióxido de Carbono (CO_2)	0,035

Tabla 1 Composición del Aire[7]

La sola presencia de estos gases no es un factor determinante para considerar la calidad del aire. En el caso del CO_2 tiene una concentración variable entre 320-400 ppm y un tiempo de residencia de 15 años (tiempo promedio que una molécula permanece en el aire hasta ser transformada).

La contaminación atmosférica consiste en la presencia de sustancias o de formas de energía que alteran la calidad de la atmósfera, de modo que provoquen riesgos, daños o molestias para las personas y para el ecosistema en general. Aparece cuando se rompe el equilibrio químico de ciclos biogeoquímicos resumidos en la Tabla 2.

Ciclo	Implicaciones
Ciclo del Carbono	Regulación del clima, fotosíntesis
Ciclo del Nitrógeno	Fertilidad del suelo, producción de alimentos
Ciclo del Oxígeno	Respiración, fotosíntesis, descomposición
Ciclo del Azufre	Formación de compuestos, ciclo atmosférico

Tabla 2 Ciclos biogeoquímicos

Los más relevantes en este trabajo son el ciclo del Carbono y del Oxígeno. El Ciclo del Carbono es la forma en la que la naturaleza utiliza los átomos de carbono, viajando desde la atmósfera hacia los organismos en la Tierra y regresan a la atmósfera cíclicamente. La mayor parte del carbono se almacena en rocas y sedimentos, mientras que el resto se encuentra en el océano, la atmósfera y los organismos vivos. Estos son los depósitos, o sumideros a través de los cuales circula el carbono. A lo largo de millones de años, los organismos muertos pueden convertirse en combustibles fósiles. Cuando los humanos queman estos combustibles para obtener energía se liberan vastas cantidades de dióxido de carbono de vuelta a la atmósfera. Este exceso altera nuestro clima, aumentando las temperaturas globales, causando acidificación oceánica y perturbando los ecosistemas del planeta. [8]

Por otro lado, el oxígeno está involucrado hasta cierto punto en todos los demás ciclos biogeoquímicos. Los seres vivos utilizan el oxígeno para respirar y lo devuelven al aire y al agua en forma de dióxido de carbono. Más adelante, el CO_2 es absorbido por plantas y algas para ser convertido en carbohidratos durante el proceso de fotosíntesis, siendo el oxígeno un subproducto. [9]

2.2 La calidad ambiental

La calidad del aire es un aspecto fundamental para la salud humana y del medio ambiente. Se refiere a la composición y la pureza del aire que respiramos, influenciada por una variedad de factores que van desde las emisiones industriales y vehiculares hasta las condiciones meteorológicas y geográficas. La calidad del aire se evalúa mediante la medición de la concentración de contaminantes atmosféricos como el dióxido de carbono (CO_2), el dióxido de azufre (SO_2), los óxidos de nitrógeno (NO_x), el ozono (O_3) y las partículas suspendidas en el aire (PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$), entre otros.[10]. En la Figura 6 se muestran los efectos en la salud de los contaminantes mencionados en la Figura 2.

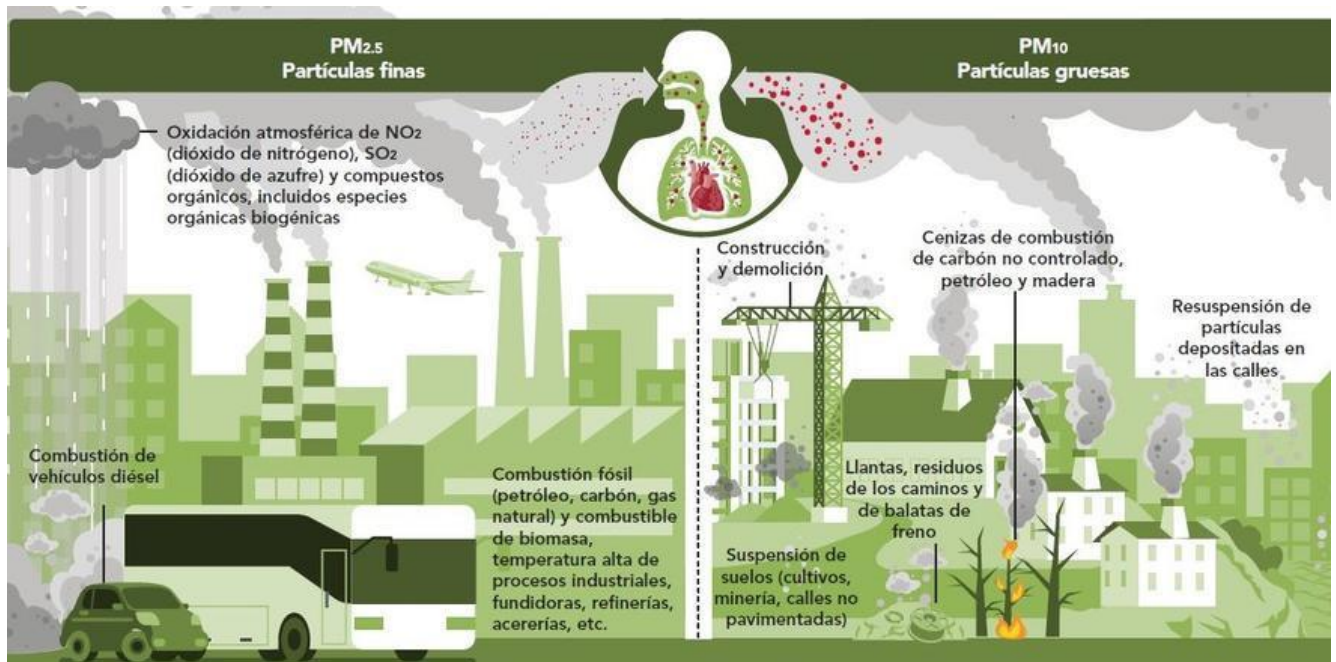


Figura 6 Efectos en la salud de las diferentes partículas

Fuente Sociedad Española de Cardiología

La preocupación por la calidad del aire ha aumentado significativamente debido a los impactos negativos que puede tener en la salud pública y el medio ambiente. La contaminación del aire está asociada con una serie de problemas de salud, incluyendo enfermedades respiratorias, cardiovasculares y neurológicas, así como con el aumento de la incidencia de enfermedades como el asma y el cáncer. Además, la contaminación atmosférica contribuye al cambio climático, al aumento de la temperatura global media y a la degradación de los ecosistemas, afectando a la biodiversidad y poniendo en peligro la seguridad alimentaria y el acceso a agua limpia. Por lo tanto, la monitorización y la mejora de la calidad del aire son aspectos cruciales para garantizar un entorno saludable y sostenible para las generaciones presentes y futuras.[10]

2.2.1 Calidad ambiental en exteriores

Se estima que la contaminación del aire ambiental en ciudades y áreas rurales causó 4,2 millones de muertes prematuras en todo el mundo en 2019. Esta mortalidad se debe a la exposición a partículas en suspensión, que provocan enfermedades cardiovasculares, respiratorias y cánceres. La OMS estima que, en 2019, aproximadamente el 37% de las muertes prematuras relacionadas con la contaminación del aire exterior se debieron a enfermedades cardíacas isquémicas y accidentes cerebrovasculares, el 18% y el 23% de las muertes fueron debido a enfermedades pulmonares obstructivas crónicas e infecciones respiratorias agudas respectivamente. El 11% de las muertes fueron debido al cáncer en el tracto respiratorio.[11]

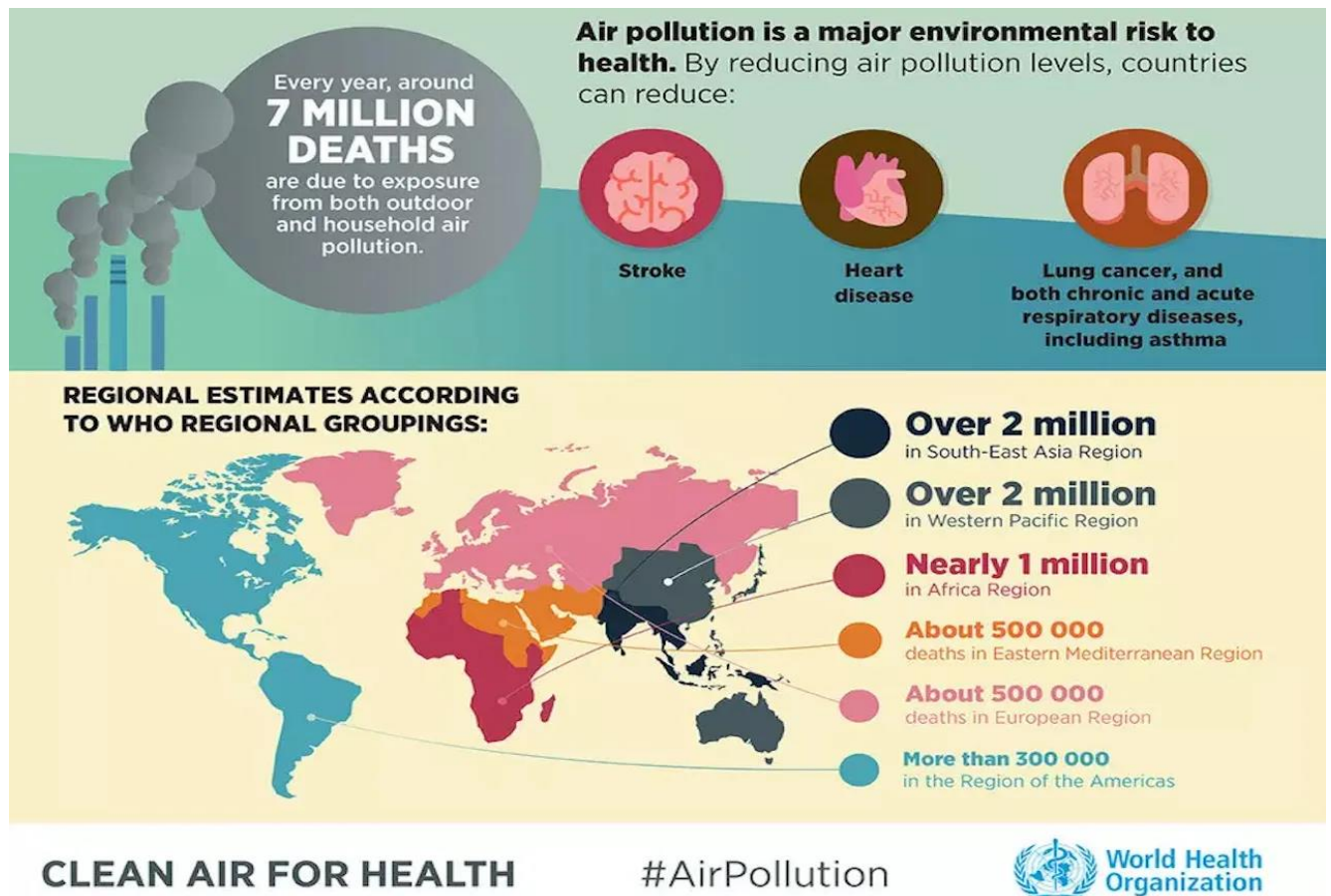


Figura 7 Distribución mundial de las muertes anuales causadas por la contaminación
Fuente OMS

Como se muestra en la Figura 7 las personas que viven en países de ingresos bajos y medios experimentan de manera desproporcionada la carga de la contaminación del aire exterior, con el 89% (de los 4,2 millones de muertes prematuras) ocurriendo en estas áreas.[11]

2.2.2 Calidad ambiental en interiores

La Calidad Ambiental Interior (IEQ por sus siglas en inglés) es un concepto moderno y complejo en la forma de asumir los riesgos y soluciones. Describe cómo son las condiciones dentro de un edificio. Incluye la calidad del aire, pero también el acceso a la luz natural y las vistas, condiciones acústicas agradables y el control sobre la iluminación y el confort térmico. También puede incluir aspectos funcionales del espacio.[12]

Desde mediados de los 80 se describe como “Síndrome del edificio enfermo” a la situación en las que los ocupantes de los edificios experimentan efectos nocivos sobre su salud, así como malestar asociado a la permanencia en estos lugares. Los síntomas incluyen desde dolor de cabeza, tos seca, hormigueo en la piel, vértigo, náuseas e irritación de ojos, nariz y garganta.[13]

En los edificios modernos, se ha ido priorizando la búsqueda de una mejor ventilación, climatización y prevención basándose en la calidad del aire y la concentración de contaminantes. Mientras que el concepto de edificio enfermo se centra en un estudio puntual de la calidad de vida de los ocupantes, el IEQ tiene una visión más amplia al respecto.[13]

La Norma UNE 171330 [6] establece una guía básica para realizar el diagnóstico, inspección y gestión de los ambientes interiores. Determina los niveles de contaminación química y biológica y los valores de factores físicos. Está dividida en tres partes.

- Parte 1: Diagnóstico de la calidad ambiental interior. Describe una metodología para la elaboración de un diagnóstico inicial de la calidad y salud ambiental.
- Parte 2: Procedimientos de inspección de calidad ambiental interior. Describe la parte de valoración e inspección como continuación al proceso de diagnóstico. Aporta la metodología a aplicar en la valoración de los aspectos ambientales.
- Parte 3: Sistema de gestión de los ambientes interiores. Establece los requisitos para la implantación de un sistema de gestión de la calidad de los ambientes interiores

Esta Norma es la única que regula el IEQ, por lo que el estudio está basado en los principios generales descritos en ella. Además, se han utilizado estudios previos como base de información de este trabajo.

Durante los apartados de mediciones de datos se utilizará de forma genérica las pautas descritas en la Parte 1, como son la medición, cuantificación y evaluación, para obtener un diagnóstico. Posteriormente se analizarán conforme la Parte 2 las soluciones y propuestas.

2.2.3 Factores que afectan a la calidad ambiental del aire

Entendemos la calidad ambiental como el conjunto de características propias del sistema que generan un entorno óptimo y que pueden ser susceptibles de alterar su estado natural.[14] Los contaminantes atmosféricos se clasifican en primarios y secundarios. Se muestran en la Figura 8.

- Los primarios se caracterizan por emitirse directamente a la atmósfera, constituyen la contaminación convencional y se miden en el foco emisor. Ejemplos de estos son los aerosoles, compuestos de azufre, óxidos de carbono, compuestos de nitrógeno, compuestos orgánicos volátiles e hidrocarburos.
- Los contaminantes atmosféricos secundarios se generan por reacciones químicas a partir de contaminantes primarios, no siendo vertidos por focos emisores y medidos en el medio. Ejemplos de estos son el trióxido de azufre, ozono, oxidantes fotoquímicos, sulfatos y nitratos.

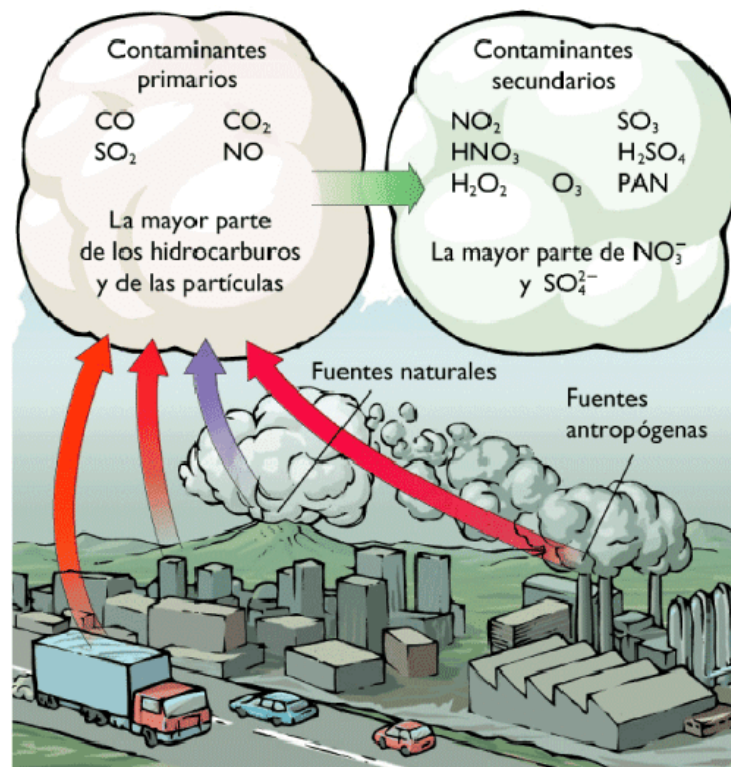


Figura 8 Tipos de contaminantes
Fuente Universidad Nacional Autónoma de México

2.2.4 Ventilación

El ajuste de las tasas de ventilación en edificios se practica regularmente para proporcionar una buena calidad del aire de manera proactiva. Sin embargo, tanto los estudios epidemiológicos transversales como experimentales han reportado resultados mixtos y en su mayoría han fracasado en establecer relaciones definitivas entre las tasas de ventilación y la prevalencia de síntomas o la insatisfacción con la calidad del aire. Las dificultades para establecer tales relaciones pueden deberse a una variedad de factores que incluyen:[15]

- Limitaciones en el diseño del estudio y efectos de interacción.
- Dificultades para controlar las tasas de ventilación en estudios experimentales.
- Mezcla inadecuada del aire de suministro en espacios ocupados.
- Altas fuerzas de origen para algunos contaminantes como la respiración humana.
- Interacciones dinámicas entre fuentes y tasas de ventilación que resultan en emisiones contaminantes aumentadas.
- Generación potencial de contaminantes dentro de los propios sistemas de ventilación.
- Génesis multifactorial de síntomas de edificios enfermos.

Existen evidencias que sugieren que los aumentos en la tasa de ventilación de hasta 10 l/s por persona pueden ser efectivos para reducir la prevalencia de síntomas y la insatisfacción de los ocupantes con la calidad del aire, y que tasas de ventilación más altas no son efectivas. Debido a las complejas relaciones entre las tasas de ventilación y los niveles de contaminantes, el uso como medida de mitigación es uno de los factores que pueden limitar su efectividad.[15] En la Figura 9 se muestra una guía de realización de la ventilación de los espacios.



Figura 9 Guía de ventilación de los espacios interiores
Fuente Asociación para el Autocuidado de la Salud

2.3 Importancia del CO₂

El dióxido de carbono (CO₂) es un gas incoloro, inodoro no inflamable y no tóxico que se encuentra de forma natural en la atmósfera terrestre. Se caracteriza por ser un componente esencial en el ciclo del carbono, desempeñando un papel crucial en la regulación del clima y en el mantenimiento del equilibrio ecológico. Además, es producido por procesos naturales como la respiración de los seres vivos y la descomposición de la materia orgánica.[8] Entre sus características destaca que no absorbe la radiación UV procedente del sol, pero si las IR procedentes de la Tierra favoreciendo el efecto invernadero. Las fuentes de este gas se dividen en naturales (respiración, erupciones volcánicas e incendios) y antropogénicas (uso de combustibles fósiles, oxidación de CO).

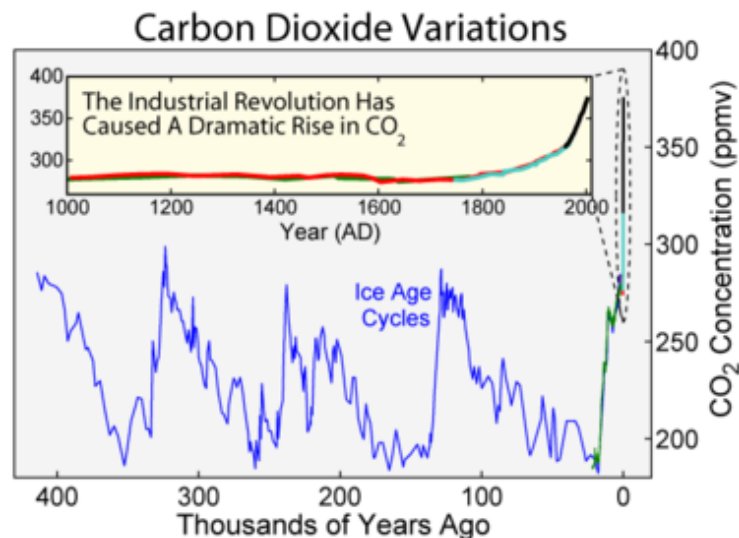


Figura 10 Evolución de la concentración de CO₂ a lo largo de los años
Fuente OMS

Los estudios realizados respecto al impacto del CO₂ en la sociedad han aumentado los últimos años (Figura 10). Una simple correlación de los datos obtenidos no es una medida fiable para llevar a cabo estudios concluyentes. Es prácticamente imposible replicar las mismas condiciones varias veces seguidas. Empresas de todo el mundo, como afirma el diario ABC, están cada vez más concienciadas con la huella de carbono, pero es una materia todavía en desarrollo (Figura 11).[16]



Figura 11 Noticia de la preocupación
Fuente diario ABC

2.3.1 Niveles CO_2 en interiores

Los niveles normales de dióxido de carbono en la atmósfera, históricamente, se han mantenido en valores relativamente estables alrededor de 280 partes por millón (ppm). Desde la revolución industrial, debido a la quema de combustibles fósiles, la deforestación y otras actividades humanas, los niveles de CO_2 han aumentado significativamente, superando actualmente las 400 ppm.[10]

CO ₂ [ppm]	Air Quality
2100	MALO Ambiente altamente contaminado. Se requiere ventilación.
2000	
1900	
1800	
1700	
1600	
1500	MEDIOCRE Ambiente contaminado. Se recomienda ventilación.
1400	
1300	
1200	
1100	
1000	NORMAL
900	
800	
700	BUENO
600	
500	EXCELENTE
400	

Figura 12 Niveles de CO_2 y su equivalencia
Fuente OMS

Las Directrices Globales de Calidad del Aire de la OMS ofrecen umbrales y límites para los principales contaminantes del aire que representan riesgos para la salud. Para el CO_2 vienen resumidos en la Figura 12. Estas directrices tienen una alta calidad metodológica y se desarrollan a través de un proceso transparente y basado en evidencias. Además de los valores normales, proporcionan objetivos provisionales para promover un cambio gradual hacia concentraciones más bajas.[3]

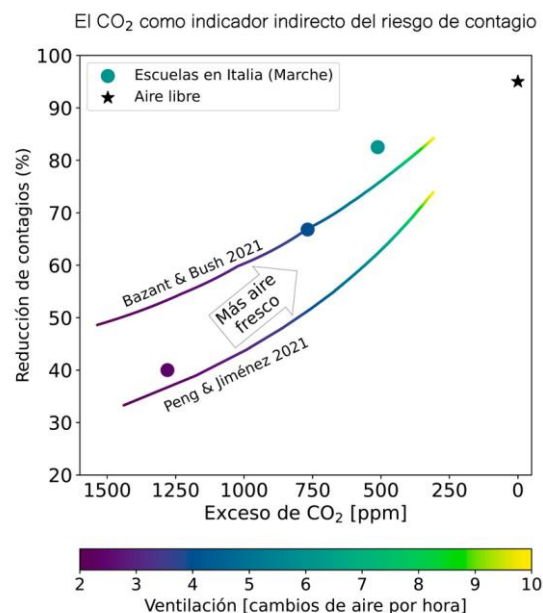


Figura 13 Disminución de contagios en función de la ventilación y la concentración de CO_2
Fuente OMS

Además, también ofrecen declaraciones sobre buenas prácticas para la gestión de ciertos tipos de material particulado como son el carbono negro/elemental, partículas ultrafinas y partículas originadas por tormentas de arena y polvo, para las cuales no hay evidencia cuantitativa suficiente (Figura 13).[3]

2.4 Problemas de salud debido a la calidad del aire

La mayoría de los europeos viven en áreas donde la contaminación del aire puede alcanzar niveles altos. La exposición, tanto a corto como a largo plazo, a la contaminación del aire puede llevar a una amplia gama de enfermedades, incluyendo accidentes cerebrovasculares, enfermedades pulmonares obstructivas crónicas, cánceres de tráquea, bronquios y pulmón, asma agravada e infecciones respiratorias inferiores. La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha realizado estudios donde se ha vinculado la exposición a la contaminación del aire y la diabetes tipo 2, la obesidad, la inflamación sistémica, la enfermedad de Alzheimer y la demencia. La Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer ha clasificado la contaminación del aire, en particular el $PM_{2.5}$, como una de las principales causas de cáncer. Una revisión global reciente encontró que la exposición crónica puede afectar a cada órgano del cuerpo, complicando y exacerbando las condiciones de salud existentes. Los niños y adolescentes son particularmente vulnerables porque sus cuerpos, órganos y sistemas inmunológicos aún están en desarrollo. La contaminación del aire daña la salud durante la infancia y aumenta el riesgo de enfermedades más adelante en la vida, sin embargo, los niños pueden hacer poco para protegerse a sí mismos o influir en las políticas de calidad del aire.[17]

2.4.1 Virus SARS-CoV

En el marco de la contaminación ambiental y la calidad del aire, lo más reciente que surge en el pensamiento general es la pandemia producida por el virus SARS-CoV 2 de 2019. La propagación se debía a las partículas del aire contaminadas (como se muestra en la Figura 14), aumentando exponencialmente su contagio en los espacios poco ventilados.

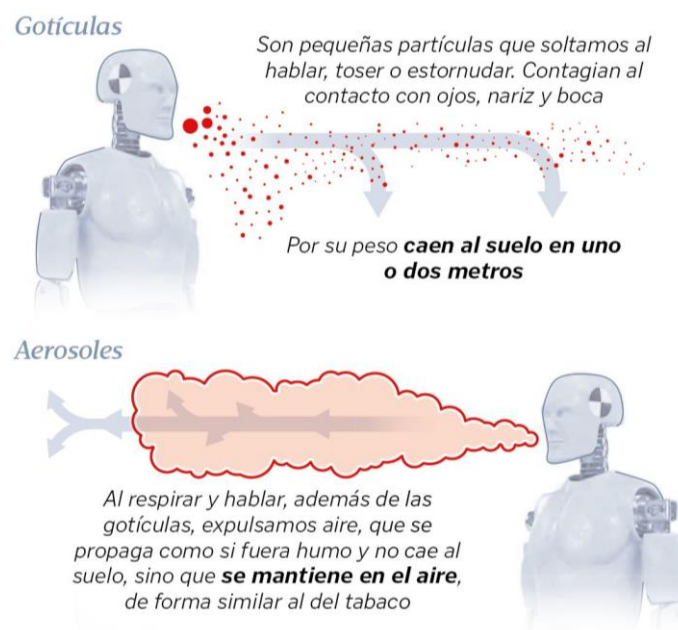


Figura 14 Tipos de contagios a través del aire
Fuente La Voz de Galicia

Los problemas vistos en este capítulo incluyen ataques al corazón, trombos, diabetes e hipertensión, también relacionados como condiciones médicas previas que aumentan las posibilidades de no superar el COVID-19. Un estudio de Harvard relaciona la exposición a una mala calidad del aire con un incremento de un 11% en la mortalidad del COVID-19 por cada aumento de 1 microgramo/metro cúbico (como ejemplo remarca que un americano promedio respira 8 microgramos/metro cúbico).[18]

Además, otro estudio realizado en Europa sobre la influencia de la mala calidad del aire con esta infección concluye que de 66 zonas sondeadas en España, Francia y Alemania el 78% de las muertes ocurrieron en solo 5, las más contaminadas.[18]

2.5 Dispositivo de medición de CO₂

Un dispositivo de medición de CO₂ es un equipo diseñado para evaluar la concentración de dióxido de carbono en el aire de un espacio cerrado. Su función principal es monitorizar los niveles de CO₂ y garantizar que permanezcan dentro de los límites seguros para la salud humana. Estos dispositivos emplean sensores químicos o electrónicos para detectar la cantidad de CO₂ presente en el aire y transmiten esta información a una unidad de visualización que muestra los niveles en tiempo real. Algunos medidores están equipados con alarmas que se activan cuando los niveles de CO₂ alcanzan un punto crítico que podría representar un riesgo para la salud humana.

Además de su función en la seguridad, los medidores de CO₂ también desempeñan un papel importante en la mejora de la eficiencia energética. Muchos edificios están equipados con sistemas de ventilación diseñados para regular la concentración de CO₂ en el ambiente. Cuando los niveles de CO₂ exceden los límites establecidos, estos sistemas pueden ajustarse para aumentar la circulación de aire fresco y así mantener los niveles de CO₂ dentro de los parámetros considerados seguros.

La capacidad de los medidores de CO₂ para monitorizar y controlar los niveles de dióxido de carbono no solo garantiza un ambiente saludable para los ocupantes del espacio, sino que también contribuye a la eficiencia energética al optimizar el uso de los sistemas de ventilación. Esto se traduce en un entorno más cómodo y seguro, al tiempo que se reduce el consumo de energía y se minimiza el impacto ambiental asociado con la gestión de la calidad del aire en interiores.

2.5.1 Dispositivo utilizado en este estudio

Los dispositivos de medición utilizados para este trabajo han sido proporcionados por la Universidad Politécnica de Valencia, a través de la empresa Energesis Ingeniería, se muestra el logo en la Figura 15



Figura 15 Logo empresa Energesis
Fuente página web empresa Energesis

Estos dispositivos tienen la capacidad de medir la concentración de CO₂, además de factores como la temperatura y la humedad relativa. Por otro lado, gracias a la conectividad que tiene es capaz de detectar los dispositivos móviles que hay a su alrededor. Esta conectividad le permite subir a tiempo real los datos a la nube, accesibles a través de una página web. En la Figura 16 se muestran imágenes reales del dispositivo.

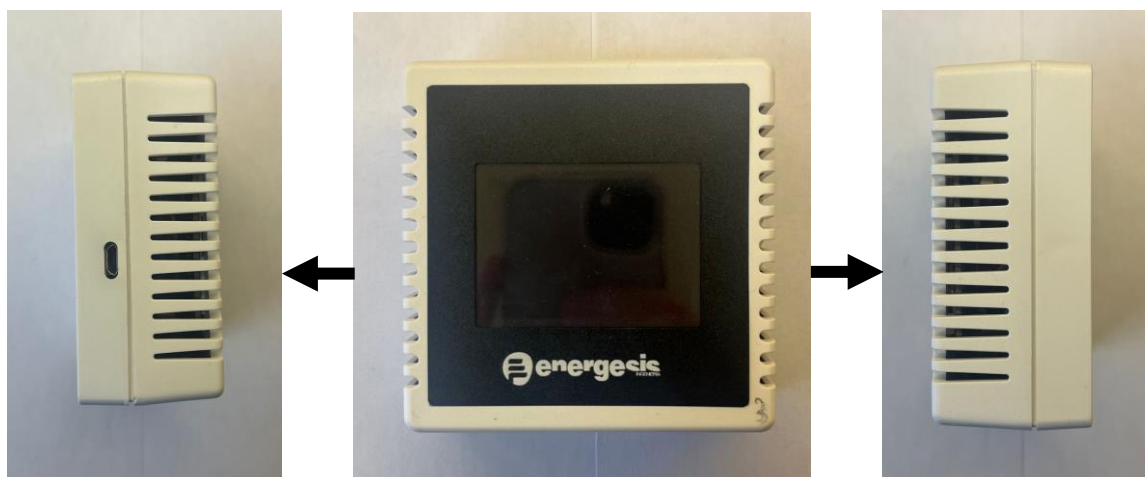


Figura 16 Dispositivo de medición AirQMonitor

La pantalla del dispositivo muestra los datos más relevantes: concentración de CO₂, dispositivos móviles, temperatura y humedad relativa. Se muestran en la Figura 17 Para comprobar el estado de la conexión a internet del dispositivo este muestra la fecha y hora en la esquina superior izquierda. Si coincide con la actual el dispositivo se encuentra conectado y transmitiendo con normalidad. Si mostrase una fecha u hora distinta, esta se corresponde con la última transmisión y el momento en el que perdió la conexión.



Figura 17 Pantalla y display inicial
Fuente Manual del usuario sensor AirQMonitor

El componente más importante del dispositivo es el módulo del sensor de la marca Sensirion modelo SCD30. Según la descripción del fabricante la detección de CO₂ se realiza mediante la tecnología de medición NDIR (Non-Dispersive Infrared). Funciona emitiendo luz infrarroja a través de una muestra de aire. El CO₂ absorbe selectivamente ciertas longitudes de onda, permitiendo al sensor detectar la cantidad de CO₂ presente en la muestra. Además, en el mismo módulo incluye los sensores de humedad y temperatura, medidas mediante la experiencia algorítmica de la empresa Sensirion. Utiliza la modelización y compensación de fuentes de calor externas sin necesidad de componentes adicionales. Esto quiere decir que el sensor puede proporcionar mediciones precisas de humedad y temperatura incluso en entornos donde hay factores externos que podrían interferir con las mediciones. La ubicación de este componente es en uno de los laterales del dispositivo, con el flujo de aire cruzando a través de él. En la Figura 18 se muestra una imagen real.

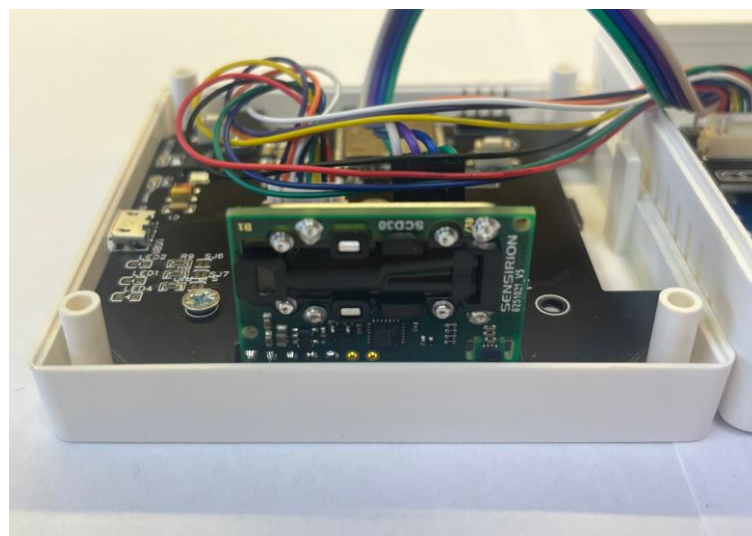


Figura 18 Módulo de sensor de CO₂, humedad y temperatura

Las características técnicas se muestran en la Tabla 3. Incluyen rangos de medición adecuados para este estudio, debido a que las condiciones se encuentran entre los 10-30°C y con concentraciones de CO₂ máximas esperadas de 3000 ppm.

Parámetro		Condiciones	Valor
CO ₂	Rango de medición	-	0-40000 ppm
	Precisión	400 ppm-10000 ppm	± 30 ppm
Humedad	Rango de medición	-	0%-100% Hum. Rel.
	Precisión	25°C, 0-100% HR	± 3% HR
Temperatura	Rango de medición	-	-40°C – 70°C
	Precisión	0-50°C	± 0,4°C

Tabla 3 Características técnicas sensor SCD30

Las características físicas y medidas del sensor se pueden observar en la Figura 19 de la ficha técnica del sensor. Destaca la apertura de aire mostrada en la vista frontal mostrada en la izquierda.

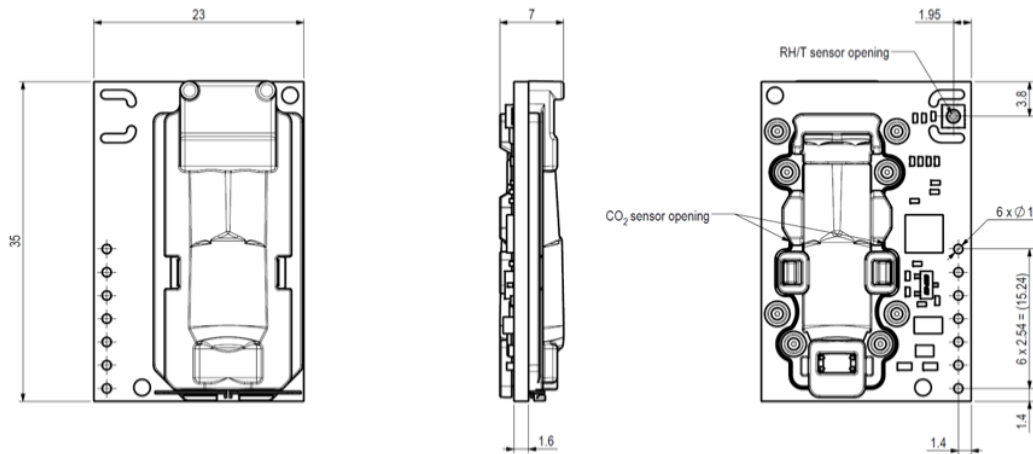


Figura 19 Planos del módulo
Fuente Ficha técnica sensor SCD30

2.6 Análisis de datos

Antes de entrar en detalle en las herramientas utilizadas para analizar los datos se incluyen las explicaciones matemáticas de los conceptos básicos utilizados en estos. Se definen los siguiente:

- **Media:** representa el valor central de un conjunto de datos. La fórmula (1) muestra cómo calcular la media de un conjunto de n datos ($x_1 + x_2 + \dots + x_n$).

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \quad (1)$$

- **Mediana:** medida común del centro de los datos, la mitad de la observación es menor o igual al valor y la mitad es mayor que o igual al valor. Si hay un número impar de observaciones se utiliza la fórmula (2).

$$\text{Mediana} = \text{Valor en posición } \left(\frac{n+1}{2}\right) \quad (2)$$

En caso de un número par de observaciones se utilizará la fórmula (3).

$$\text{Mediana} = \frac{\text{Valor en posición } \left(\frac{n}{2}\right) + \text{Valor en posición } \left(\frac{n}{2} + 1\right)}{2} \quad (3)$$

- **Varianza:** es una medida estadística que representa la dispersión de un conjunto de datos en relación con su media. La fórmula (4) muestra cómo calcular la varianza (σ^2) de un conjunto de n datos ($x_1 + x_2 + \dots + x_n$)

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n} \quad (4)$$

2.6.1 Coeficientes de correlación de Pearson

La correlación es un valor como resultado de la influencia de una variable en otra. En función de los tipos de variables a estudiar, hay un rango de correlaciones que se pueden utilizar. Para este trabajo hemos utilizado la correlación de Pearson. La correlación de Pearson basa su resultado en la relación de la covarianza de dos variables y el producto de sus desviaciones estándar. La fórmula (5) define la correlación de Pearson para las variables X e Y.

$$p = \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X \sigma_Y} = \frac{\text{Cov}(X, Y)}{\sqrt{\text{Var}(X)\text{Var}(Y)}} \quad (5)$$

Este valor se encuentra en el rango $[-1, 1]$ siendo su resultado el mostrado en la Tabla 4.

Valor	Resultado
Cercano a -1	Relación inversa
Cercano a 0	Sin relación aparente
Cercano a 1	Relación directa

Tabla 4 Valores de Correlación

Para tener una visión real de los resultados, en la Figura 20 se muestra una representación de gráficos de dispersiones y su resultado con el coeficiente de correlación de Pearson.

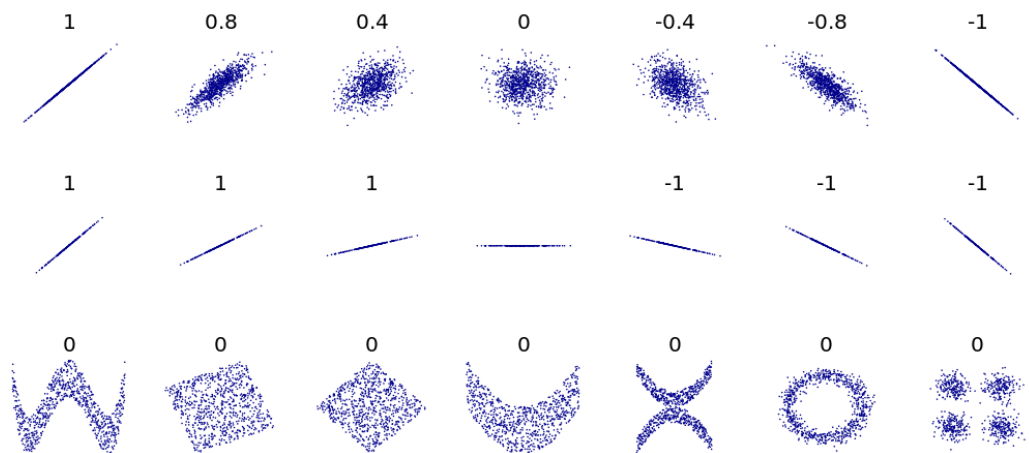


Figura 20 Representación coeficiente Pearson

Fuente Creative Commons

Como se puede observar, no siempre que el coeficiente sea 0 podemos concluir que no hay ningún tipo de relación. Para ello utilizaremos otros patrones de medición y dedicaremos el estudio estadístico en trabajar con las medias de los datos en vez de las relaciones dato a dato. De esta manera, se espera obtener unas mejores relaciones que justifiquen una verdadera relación entre la concentración de CO₂, temperatura, humedad y número de personas.

2.6.2 Minitab

Una vez procesados los datos, se ha utilizado el software dedicado al estudio estadístico de datos Minitab. Ofrece dos ventanas, la superior con una descripción textual y resultados de los análisis y la inferior, con cierto paralelismo a una hoja de Excel, donde se plasman los datos a estudiar. Minitab dispone de multitud de opciones para el control y estudio, permitiendo analizar los datos en gráficas, tablas, diagramas, histogramas, pruebas de hipótesis... En resumen, permite hacer un uso adecuado de la información. Además, gracias a su asistente (Figura 21) permite identificar de manera más precisa la mejor herramienta de análisis.

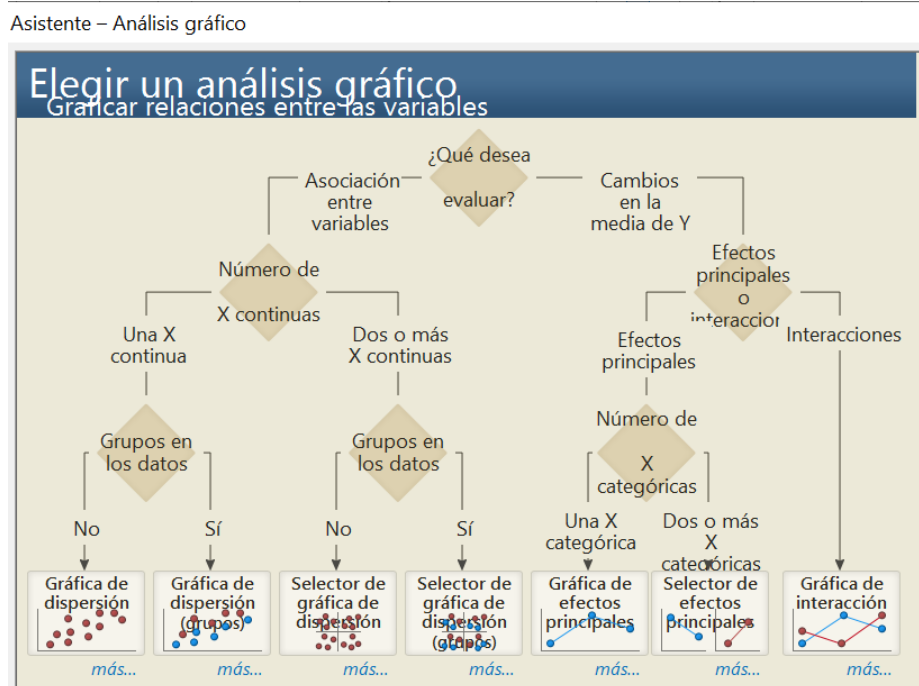


Figura 21 Asistente de análisis gráfico de Minitab

Fuente Aplicación Minitab

Gracias al procesado de datos previo al estudio analítico, se han desarrollado estudios correspondientes a datos que resultan ser parámetros de una función de distribución. Aun así, debido a los problemas de normalidad de la distribución de CO₂, se han realizado ensayos no paramétricos explicados más adelante en este capítulo. Entre las herramientas utilizadas en este trabajo se encuentran:

2.6.3 ANOVA

Por su acrónimo en inglés significa Análisis de la Varianza. Este permite contrastar la hipótesis de que las medias de las poblaciones son iguales, frente a la hipótesis alternativa de que por lo menos una de las poblaciones difiere de las demás en cuanto a su valor esperado. Gracias a esta herramienta podremos comparar los datos de concentración de CO₂, temperatura y humedad entre las distintas zonas de medición, llegando a conclusiones más allá de las correlaciones. Para este estudio se ha utilizado la herramienta ANOVA de un solo factor, centrando el análisis en:

- Gráfica de cajas:

Permite evaluar las características clave, buscar indicadores de datos inusuales y evaluar y comparar los grupos de datos. Tomando como ejemplo la Figura 22, se definen los siguientes conceptos.

- a. Mediana: Se encuentra representada por la línea horizontal que divide la caja en dos.
- b. Caja de rango intercuartil: representa el 50% intermedio de los datos. Su altura representa la distancia entre el primer y el tercer cuartil (Q3-Q1).
- c. Bigotes: se extienden a ambos lados de la caja, representan el 25% de valores de datos de las partes inferior y superior, excluyendo los valores atípicos.

Esta herramienta permite buscar indicadores de datos inusuales en función de la simetría, para distribuciones normales como la temperatura y la humedad. Además, los valores atípicos (si existiesen) se identifican con asteriscos (*). En nuestro caso gracias al filtro aplicado en Excel se van a ver reducidos o agrupados en zonas de alta densidad.

A nivel comparativo, la gráfica de cajas permite evaluar y comparar los datos buscando diferencias entre las medias o dispersiones diferentes. De esta manera podremos observar diferencias en las mediciones en distintos sensores y compararlas.

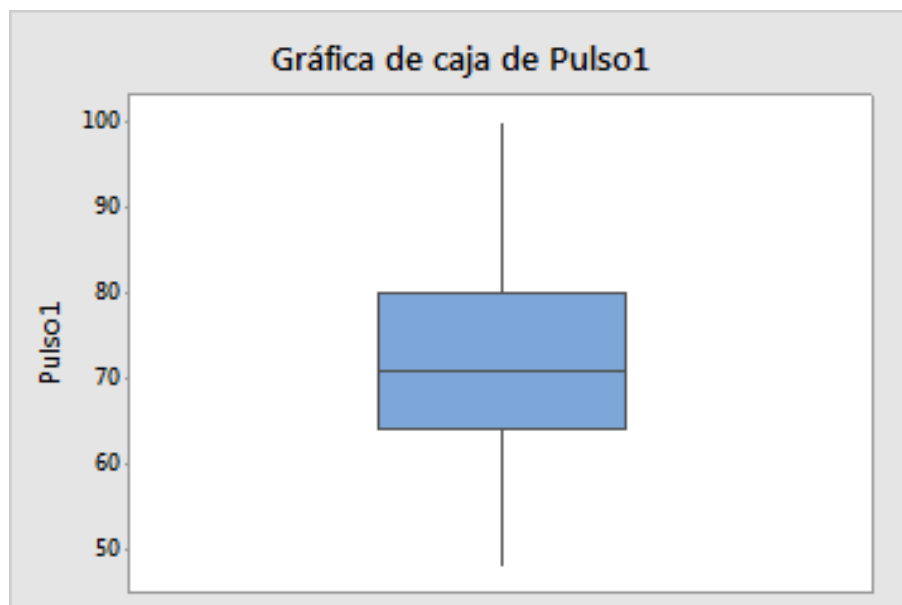


Figura 22 Ejemplo Gráfica de Cajas

- Gráfica de residuos

Un residuo no es más que la diferencia entre un valor y su valor ajustado correspondiente. Las opciones que ofrece son las siguientes:

- Histograma de residuos (Figura 23): muestra la distribución de los residuos para todas las observaciones. Se pueden determinar asimetrías observando si la distribución tiene una cola hacia algún lado y valores atípicos en barras que se encuentren alejadas de otras del mismo tamaño. Se puede relacionar con el gráfico de cajas estudiado anteriormente.

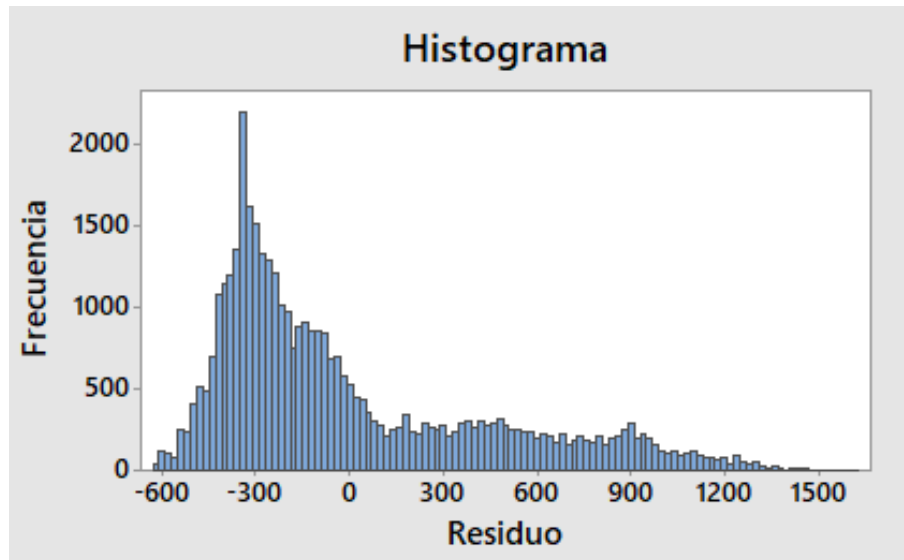


Figura 23 Histograma de residuos

- Gráfica de probabilidad normal de los residuos (Figura 24): muestra los residuos frente a sus valores esperados cuando la distribución es normal. Se puede estudiar el tamaño de las colas, asimetrías y valores atípicos. Esta gráfica representa una distribución de cola corta en la zona negativa y cola larga en la zona positiva. Además, la curva descendente implica una distribución con asimetría a la derecha. Por último, muestra un valor atípico correspondiente al residuo 1620.

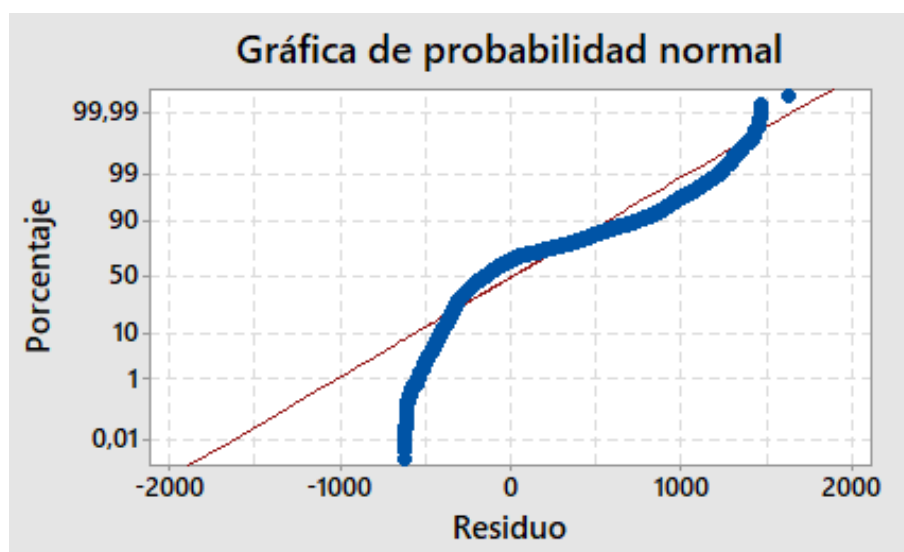


Figura 24 Gráfica de probabilidad normal de residuos

- c. Gráfica de residuos frente ajustes (Figura 25): muestra los residuos en el eje Y y los valores ajustados en el eje X. Esta gráfica sirve de análisis para comprobar el supuesto de que los residuos están distribuidos aleatoriamente y tienen una varianza constante. Lo ideal sería que los puntos estuvieran ubicados de manera aleatoria a ambos lados de 0, sin patrones reconocibles. Una dispersión irregular indica una varianza no constante, mientras que un punto alejado de cero es un valor atípico.

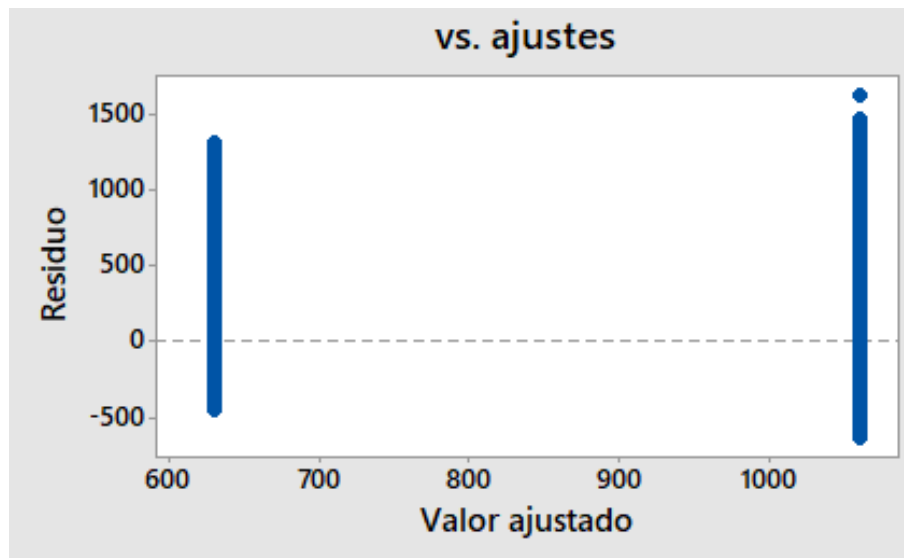


Figura 25 Gráfica de residuos frente ajustes

2.6.4 Efectos Principales

Este análisis permite relacionar la variabilidad de un dato respecto a otro, utilizando las medias e intervalos principales. Tiene una capacidad de relacionar 12 datos independientes frente a 1 dependiente. En nuestro caso haremos una comparación de las diferentes variables con la concentración de CO_2 . Este análisis es más exacto que las correlaciones de Pearson, dejando de forma visual la tendencia entre las variables. Se podría resumir como una gráfica de dispersión con las medias de los valores dependientes para cada independiente.

- Gráfica de efectos principales:

La gráfica de efectos principales ilustra las medias de cada grupo en una variable que tiene diferentes categorías. Minitab crea esta gráfica mostrando las medias para cada valor de la variable categórica. Los puntos de cada valor se conectan con una línea. En la Figura 26 se muestra un ejemplo de esta gráfica.

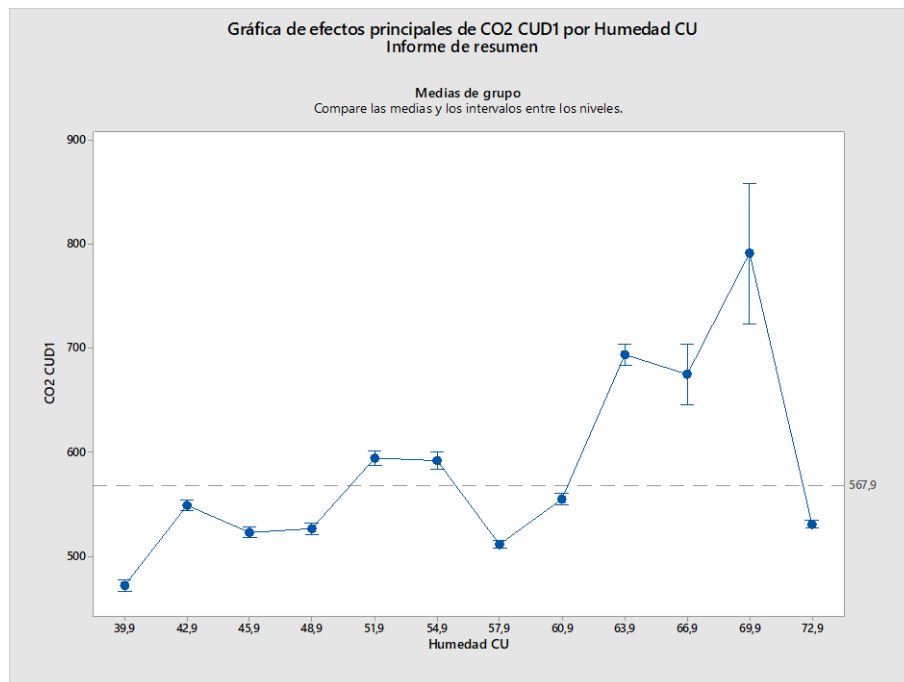


Figura 26 Ejemplo gráfica de efectos principales

Al observar esta línea, podemos determinar si hay un efecto principal presente para esa variable categórica. Minitab también traza una línea discontinua de referencia que indica la media general. La interpretación de la línea que conecta las medias es la siguiente:

1. Si la línea es horizontal (paralela al eje X), no hay un efecto principal presente. Esto significa que la media de la respuesta es la misma en todos los niveles de los factores.
2. Si la línea no es horizontal, indica que hay un efecto principal. Esto significa que la media de la respuesta no es la misma en todos los niveles de los factores. Cuanto más inclinada sea la línea, mayor será la magnitud del efecto principal.

Es importante destacar que, aunque esta gráfica puede mostrar los efectos principales, es fundamental realizar pruebas de ANOVA adecuadas y evaluar la significancia estadística de los efectos. Además, la aplicación permite graficar a la vez 3 de ellas, pudiendo comparar los efectos del número de personas, humedad y temperatura a la vez.

En este estudio se evaluará primero comparando las tres gráficas, entrando en detalle en aquellas que no sigan un patrón claro.

3 DESARROLLO DEL TRABAJO

Conforme a la Parte 1 de la norma UNE 171330 se requiere la búsqueda de espacios que se puedan ver comprometidos en cuanto a calidad ambiental. Para el desarrollo de este TFG se han clasificado los espacios dependiendo de su funcionalidad:

- Espacios de gran ocupación: la biblioteca académica del CUD tiene capacidad para 140 personas
- Estudios del cuartel Almirante Francisco Moreno: los alumnos que residen en el cuartel tienen a su disposición un estudio compartido entre 8 compañeros.
- Camaretas del cuartel Almirante Francisco Moreno: las habitaciones del cuartel disponen de 2 literas dobles, con capacidad para 4 alumnos.

Todas estas estancias se encuentran dentro del cuartel de alumnos Almirante Francisco Moreno, en la Escuela Naval Militar de Marín. El edificio se encuentra en la zona Noroeste de esta, estando muy expuesto a las condiciones meteorológicas como el viento o la lluvia.

El cuartel fue construido en el año 1977, sufriendo varias reformas desde su creación. Las últimas fueron la construcción de la biblioteca y la actualización del mobiliario. En la Figura 27, se muestra una vista general del cuartel, redondeado en rojo frente a una vista aérea de la ENM.



Figura 27 Vista aérea de la ENM
Fuente página web Armada Española

Para situar de forma rápida los espacios estudiados, se muestra en las Figura 28 y Figura 29 los estudios y camaretas a estudiar, así como el espacio de la biblioteca en la planta baja. El código de colores representa las camaretas en verde, el estudio en azul y la biblioteca en naranja. Debido a que los sensores deben estar conectados al mismo router de internet, se han situado las camaretas y el estudio en la misma zona del cuartel, dando una camareta al patio interior y la otra a la ría.

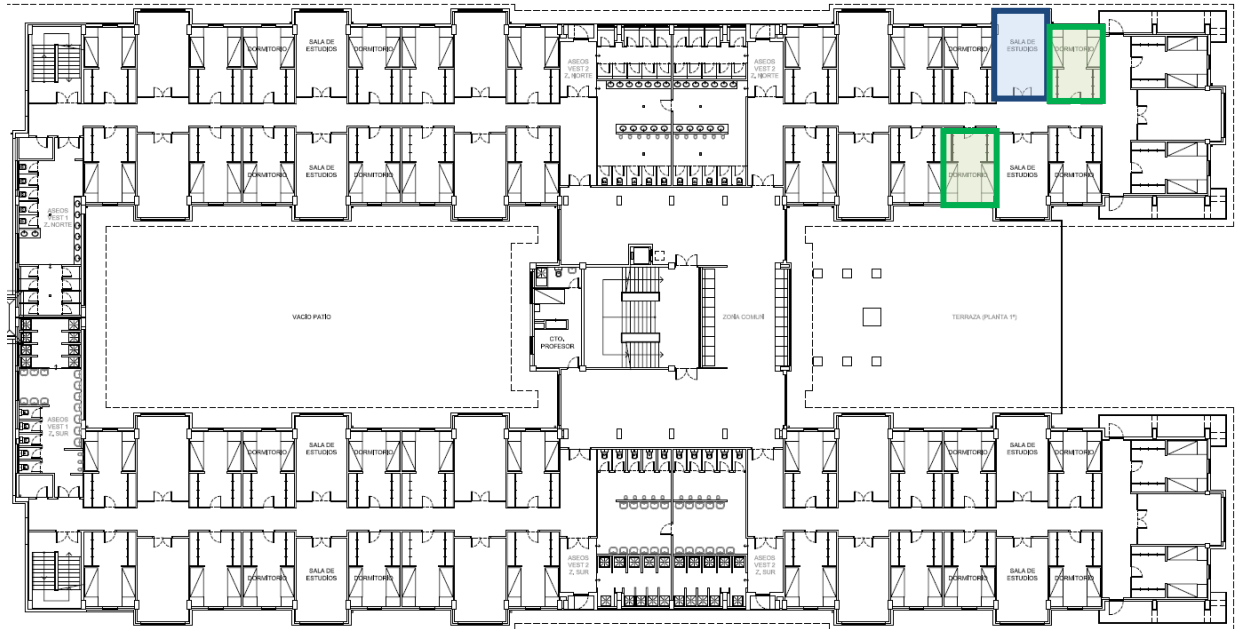


Figura 28 Segunda Planta AFM

Fuente archivo ENM

La biblioteca cuenta además con una zona común al final de esta, en la cual no se han realizado medidas. El estudio se ha centrado en la zona principal, donde se encuentran las mesas de estudio y los ordenadores tanto de internet libre como de intranet de defensa.

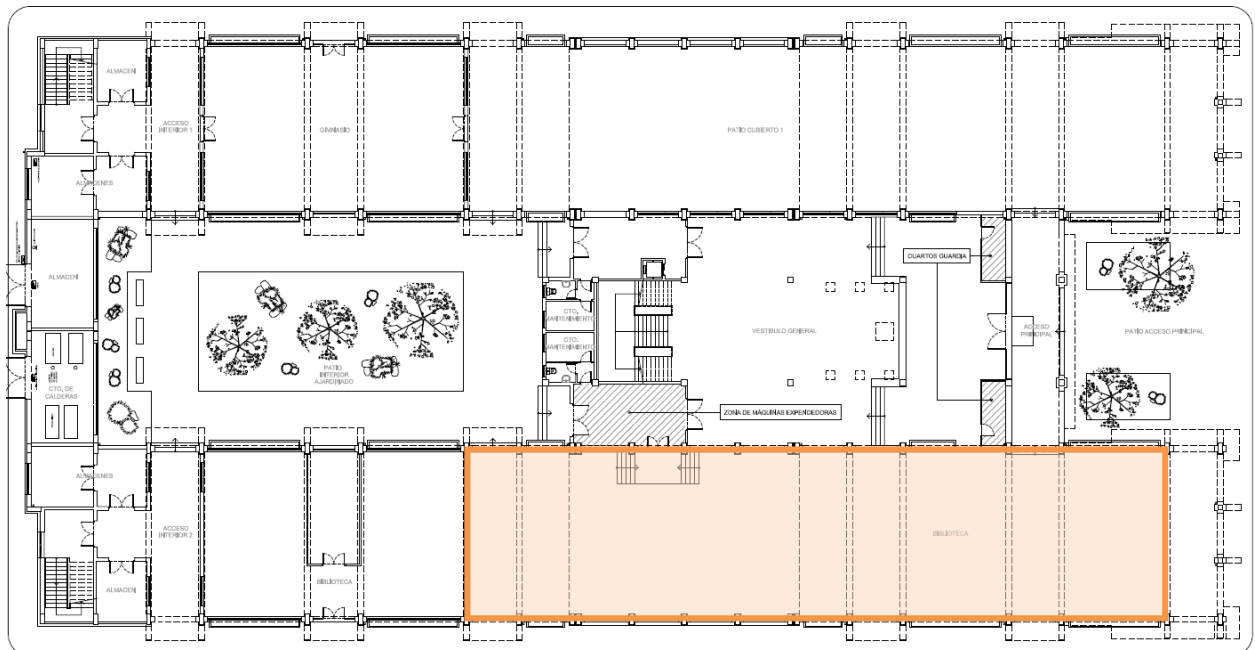


Figura 29 Planta Baja

Fuente archivo ENM

3.1 Biblioteca Císcar y Císcar

La biblioteca es el espacio de estudio de los alumnos de primer curso. Además, el resto de los alumnos pueden hacer uso de ella para estudiar, consultar bibliografía o utilizar los medios informáticos de los que dispone. El estudio se ha centrado en la sala más grande de la biblioteca,

3.1.1 Dimensiones y distribución

La biblioteca académica Císcar y Císcar se encuentra en la planta baja del cuartel de alumnos Almirante Francisco Moreno, ocupa toda la zona sur. La Figura 30 muestra su situación general.

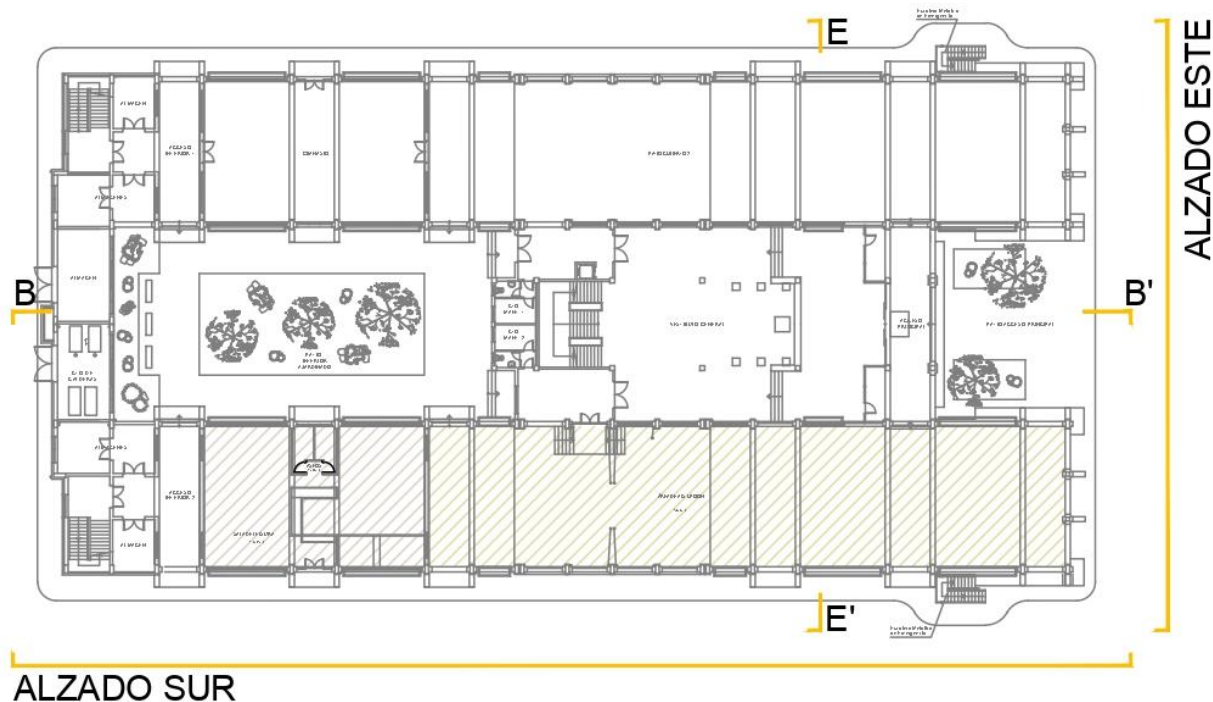


Figura 30 Plano Biblioteca

Fuente archivo ENM

La biblioteca dispone de capacidad para 140 alumnos, con una superficie total de 200 m^2 . La Figura 31 muestran una imagen general de la biblioteca.



Figura 31 Vista interior de la Biblioteca (1)

Las zonas comunes se dividen en dos, en la Figura 32 se muestra la zona de consulta de ordenador, con una capacidad para 9 alumnos distribuidos en una mesa corrida y el pasillo contiguo.



Figura 32 Vista interior de la biblioteca (2)

Dividido mediante un pasillo con armarios a sus lados se encuentra la zona de estudio, con capacidad para 132 alumnos distribuidos en mesas enfrentadas de 6 sitios.



Figura 33 Vista interior de la biblioteca (3)

La biblioteca tiene 3 entradas y salidas, siendo dos de ellas al exterior y la otra al interior del cuartel, mostradas en la Figura 34.

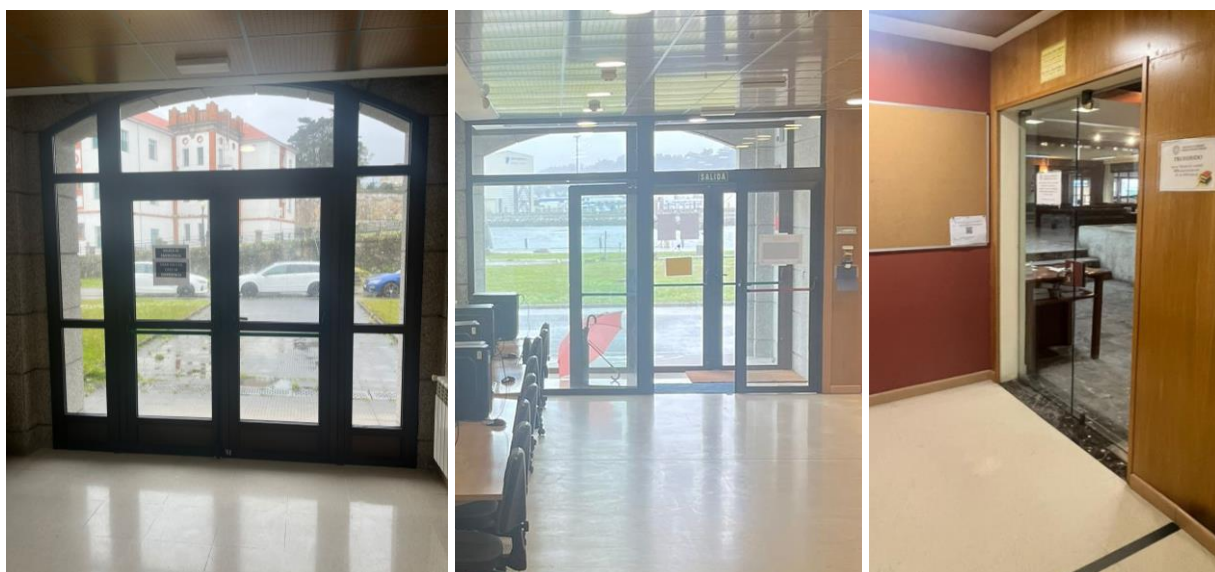


Figura 34 Vista de las entradas de la Biblioteca

Respecto a la ventilación natural, dispone de cinco ventanales en la cara sur, con un total de diez ventanas de $1,5 \text{ m}^2$. Además de un gran ventanal encima de las mesas de ordenadores con 6 ventanas.

3.1.2 Ocupación y horario

El horario de la biblioteca es variable, en función de los alumnos de primer curso que tengan estudio. Como norma general, suele tener una ocupación de media de 10 personas durante los periodos de clase, entre los grupos que no tienen clase y los alumnos con asignaturas convalidadas. Además, los alumnos de primer curso cumplen los estudios obligatorios fijados por el horario general de alumnos, en la Figura 35 se muestra un ejemplo del horario.

CURSO 2023-2024 SEGUNDO CUATRIMESTRE			CUERPO GENERAL						INFANTERÍA MARINA			
			AF (CGA) PROM. 424						AA (CIM) PROM. 154			
			G1	G2	G3	G4	G5	G6	IM1	IM2		
LUN 12 FEB	1ª	0815-0905	SIST_ARMAS_TIRO_NAVAL II G1G2G3G4 TN_ALONSO CARIDE				1	TÁCT_NAVAL III G5G6 TN_DÍAZ DEL RÍO SOTELO		2	ARTILLERÍA_COORD_FUEGOS CAP_PUGA FORMIGO	8
	2ª	0910-1000	SIST_ARMAS_TIRO_NAVAL II G1G2G3G4 TN_ALONSO CARIDE				1	SDI	LENGUA_INGLESA_V AULAS 2,8,19,14,15			
	3ª	1020-1110	TÁCTICA_NAVAL III G1G2G3G4 TN_DÍAZ DEL RÍO SOTELO				1	SDI	LENGUA_INGLESA_V AULAS 2,8,19,14,15			
	4ª	1115-1205	LENGUA_INGLESA_V AULAS 1,13,3,14,15				SDI	SIS_ARM_TIRO_NAV II G5G6 TN_ALONSO CARIDE		2	TÁCTICA_ANFIBIA_IV CTE_NIETO IGLESIAS	8
	5ª A	1210-1300	LENGUA_INGLESA_V AULAS 1,13,3,14,15				SDI	SIS_ARM_TIRO_NAV II G5G6 TN_ALONSO CARIDE		2	TÁCTICA_ANFIBIA_IV CTE_NIETO IGLESIAS	8
	EF B	1215-1305	LENGUA_INGLESA_V AULAS 1,13,3,14,15				SDI	SIS_ARM_TIRO_NAV II G5G6 TN_ALONSO CARIDE		2	TÁCTICA_ANFIBIA_IV CTE_NIETO IGLESIAS	8
	EF A	1310-1400	LENGUA_INGLESA_V AULAS 1,13,3,14,15				SDI	SIS_ARM_TIRO_NAV II G5G6 TN_ALONSO CARIDE		2	TÁCTICA_ANFIBIA_IV CTE_NIETO IGLESIAS	8
	TC B	1320-1410	LENGUA_INGLESA_V AULAS 1,13,3,14,15				SDI	SIS_ARM_TIRO_NAV II G5G6 TN_ALONSO CARIDE		2	TÁCTICA_ANFIBIA_IV CTE_NIETO IGLESIAS	8
	TC A	1415-1505	LENGUA_INGLESA_V AULAS 1,13,3,14,15				SDI	SIS_ARM_TIRO_NAV II G5G6 TN_ALONSO CARIDE		2	TÁCTICA_ANFIBIA_IV CTE_NIETO IGLESIAS	8
	5ª B	1430-1520	LENGUA_INGLESA_V AULAS 1,13,3,14,15				SDI	SIS_ARM_TIRO_NAV II G5G6 TN_ALONSO CARIDE		2	TÁCTICA_ANFIBIA_IV CTE_NIETO IGLESIAS	8
	6ª	1525-1615	LAB_TÁCTICA_NAVAL_G1G2				TFG - ESTUDIO	TFG - ESTUDIO	TFG - ESTUDIO	TFG - ESTUDIO	TFG - ESTUDIO	TFG - ESTUDIO
	7ª	1625-1715	LAB_TÁCTICA_NAVAL_G1G2				TFG - ESTUDIO	TFG - ESTUDIO	TFG - ESTUDIO	TFG - ESTUDIO	TFG - ESTUDIO	TFG - ESTUDIO
	8ª	1720-1810	LAB_TÁCTICA_NAVAL_G1G2				TFG - ESTUDIO	TFG - ESTUDIO	TFG - ESTUDIO	TFG - ESTUDIO	TFG - ESTUDIO	TFG - ESTUDIO
	9ª	1815-1900	LAB_TÁCTICA_NAVAL_G1G2				ESTUDIO / RECUPERACION ES	ESTUDIO / RECUPERACION ES	ESTUDIO / RECUPERACION ES	ESTUDIO / RECUPERACION ES	ESTUDIO / RECUPERACION ES	ESTUDIO / RECUPERACION ES

Figura 35 Ejemplo horario alumnos
Fuente orden diaria ENM

Aun así, los alumnos se suelen dividir en las distintas zonas de la biblioteca, utilizando los seminarios y la sala al fondo, donde suele haber más silencio. Por esta razón, la ocupación de la zona principal de la biblioteca, la que se está estudiando, no supera las 50 personas.

3.1.3 Toma de datos

Para el análisis de los datos se ha seleccionado un periodo de medición desde el 5 hasta el 19 de febrero. En esta ventana de tiempo se han recopilado un total de 60000 datos entre los 3 sensores. Como se ha contado en el capítulo anterior cada sensor almacena datos de los diferentes parámetros cada 60 segundos. Para establecer una base de datos donde almacenar los datos, la Universidad Politécnica de Valencia, representada en la empresa Energesis vuelca los datos a tiempo real en una plataforma online cloud.energesis.es. Además, para mejorar el manejo de los datos, se han descargado semanalmente en un libro de Excel, clasificándolo por sensores, desarrollando después los estudios estadísticos. En la Figura 36 se muestra una tabla de datos de la base de datos en Excel.

	A	B	C	D	G
1	Timestamp	CO2	Humedad	Temperatura	Personas
2	05/02/2024 8:59	485	48,9	20,1	12
3	05/02/2024 9:00	481	48,8	20,1	8
4	05/02/2024 9:01	482	48,7	20,2	8
5	05/02/2024 9:02	480	48,7	20,2	8
6	05/02/2024 9:03	482	48,6	20,2	12
7	05/02/2024 9:04	483	48,5	20,2	12
8	05/02/2024 9:05	485	48,5	20,3	8
9	05/02/2024 9:06	486	48,4	20,3	8
10	05/02/2024 9:07	485	48,4	20,3	8
11	05/02/2024 9:08	486	48,3	20,3	8
12	05/02/2024 9:09	489	48,3	20,4	8
13	05/02/2024 9:10	493	48,3	20,4	8
14	05/02/2024 9:11	496	48,2	20,4	16
15	05/02/2024 9:12	498	48,1	20,4	16
16	05/02/2024 9:13	499	48,1	20,5	8

Figura 36 Base de datos en Excel

Los datos mostrados en la Figura 36 ya han sido tratados. Gracias a la observación sistemática de la ocupación de la biblioteca se ha concluido que la mejor aproximación a los datos de ocupación era cuadruplicando los datos que marcaba cada sensor de dispositivos conectados. Esto se debe a que la manera de medir los dispositivos dependía de la zona en la que estuviesen los alumnos o los dispositivos con conexión a internet que tuvieran en ese momento. De esta manera, los datos de personas dentro de la biblioteca son coherentes con la realidad de ocupación, en un rango desde 0 a 44 personas.

Como se disponía de 3 sensores, se han dividido en la entrada, el medio y el final de la biblioteca. La situación ideal según la Norma UNE es donde no se vean afectados por corrientes de aire ni por la respiración de los alumnos estudiando. Por ello, se han seleccionado estas 3 posiciones mostradas en la Figura 37.

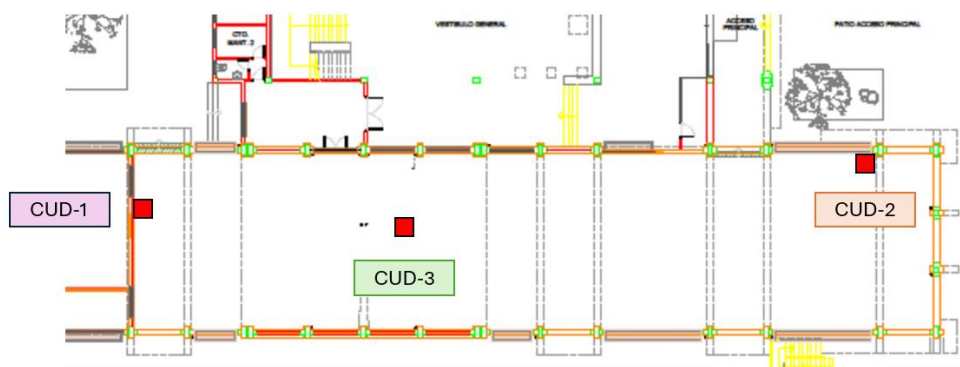


Figura 37 Disposición de los sensores en la biblioteca

3.2 Camaretas de los alumnos

Las camaretas son las habitaciones donde duermen los alumnos. En el cuartel hay un total de 88 camaretas. La principal diferencia entre ellas es la orientación (Norte, Sur, Este u Oeste). Dependiendo de la ubicación en el cuartel estas pueden tener la ventana a la ría de Marín, al patio interior del cuartel, a la explanada o a la cuesta de la virgen. Esta orientación afecta a las corrientes de aire que ventilan las camaretas.

3.2.1 Dimensiones y distribución

La camareta cuenta con 2 literas de cuerpo completo, con cabeceros incluidos. Cada alumno dispone de una taquilla con un altillo, en total 4 armarios empotrados a la pared. Además, entre la ventana y el radiador hay un mueble para secar la ropa. Tiene una superficie total de 17 metros cuadrados con un volumen de aire aproximado de 45 metros cúbicos distribuido según la Figura 38.

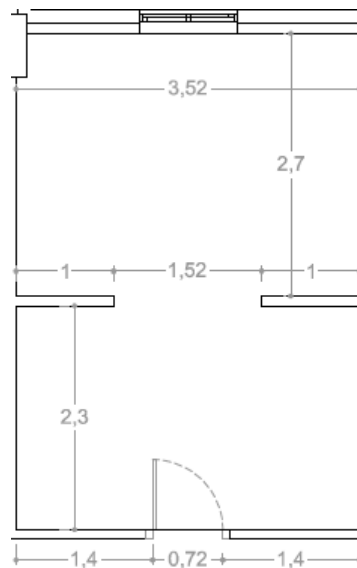


Figura 38 Planos Camaretas

Fuente archivo ENM

En la Figura 39 se muestran imágenes reales de la camareta.



Figura 39 Imágenes reales de la camareta

3.2.2 Ocupación

El uso de las camaretas se limita a tres momentos del día. La principal, por la noche. El horario de silencio (donde está permitido dormir) abarca desde las 22:45 hasta las 06:45, aunque normalmente se aprovechan las últimas horas del día para estudiar, siendo la hora común de acostarse entre las 23:30 y las 00:30. La siguiente, después de comer los alumnos disponen de 45 minutos de tiempo de descanso, desde la finalización de la comida hasta las 15:30 que empiezan las actividades por la tarde. Por último, los momentos de cambiarse de ropa, siendo estos más puntuales, durando menos de 10 minutos.

3.2.3 Toma de datos

En cada camareta se ha situado un sensor, recopilando datos durante 2 semanas de manera continua. La posición de este se ve condicionada por el uso del espacio. La orientación de las literas y la fuerte corriente de aire de la ventana imposibilita la instalación en esa zona. Además, en la zona de las literas es donde los alumnos se cambian y, por lo tanto, respiran. La posición óptima es en el medio de la camareta, encima de las banquetas que hay a los pies de la cama., como se muestra en la Figura 40.

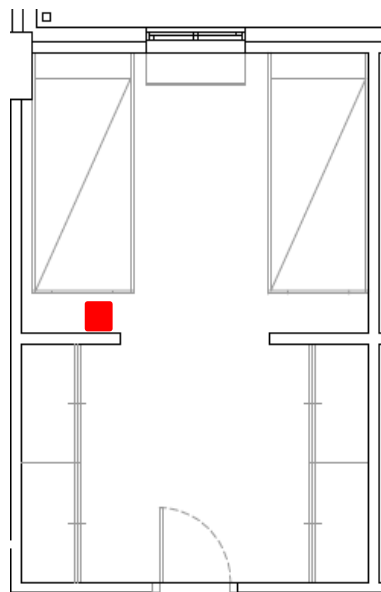


Figura 40 Posición del sensor en la camareta

3.3 Estudios del Almirante Francisco Moreno

Los alumnos desde 2º a 5º curso tienen su espacio de estudio colindante con las camaretas. Comparten el mismo estudio 8 alumnos, de dos camaretas diferentes. Cada uno dispone de un escritorio con 4 cajones y una estantería. Durante el periodo lectivo, aquí realizan sus horas de estudio. Además, cuando acaban las actividades es el principal espacio de esparcimiento, aunque también pueden hacer uso de la biblioteca o de los espacios de investigación del CUD.

3.3.1 Dimensiones y distribución

El estudio tiene una puerta de madera acristalada y un gran ventanal, con 3 ventanas. Además, dispone de un radiador en la parte inferior de la ventana, conectado a la red de calefacción central. Tiene una superficie total de casi 20 metros cuadrados, con un volumen de aire aproximado de 50 metros cúbicos. En la Figura 41 se muestran las medidas del estudio en metros.

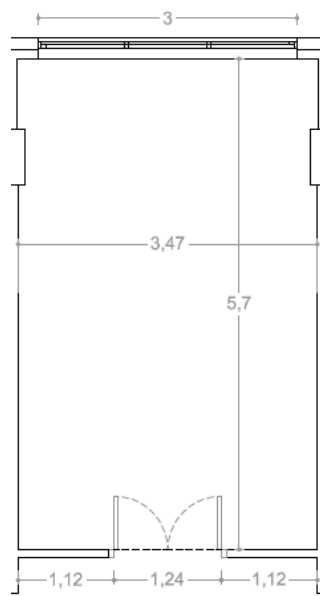


Figura 41 Planos estudios
Fuente Archivo ENM

La Figura 42 representa una imagen real del estudio.



Figura 42 Imagen real del estudio

El ventanal del estudio se divide en 3 partes. Debido a sus características solo puede haber una de ellas abierta simultáneamente. Tienen un tamaño de $1 \times 1 \text{ m}^2$. (Figura 43)



Figura 43 Ventanal del estudio

3.3.2 Ocupación

Los alumnos que componen un estudio no suelen coincidir en el mismo grupo de clase, por lo que no coinciden sus horas de estudio. Como las mediciones se han realizado en los estudios de la 5ª Brigada, en la siguiente imagen se muestra un ejemplo de horario de la semana de estos. Está dividida en grupos en función de las columnas y en horas y días en las filas.

3.3.3 Toma de datos

La posición ideal del sensor de medición es una zona alejada de las corrientes de aire, en este caso como la ventana y la puerta se encuentran enfrentadas la corriente cruza el estudio entero. Además, la altura es un factor determinante, ya que los alumnos pasan la mayoría del tiempo sentados, provocando que si el medidor se encontrase a 1 metro (como sería lo ideal) la respiración afectaría directamente al sensor. Por lo tanto, se ha determinado poner el sensor en la estantería del estudio más cercano a la puerta, a una altura de 1,55 metros. Se muestra en la Figura 44.

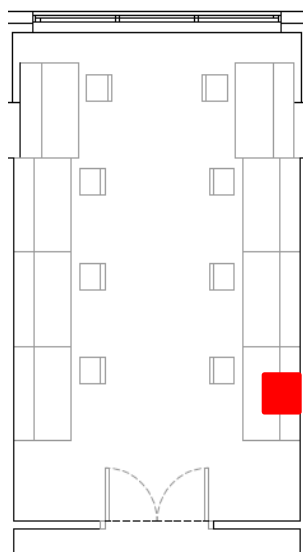


Figura 44 Posición del sensor en el estudio

Para tener una imagen más certera de la ubicación del sensor, se muestra una imagen real de la zona de medición en la Figura 45.



Figura 45 Posición real del sensor en el estudio

3.4 Filtro de datos

Siguiendo la línea del estudio realizado el año pasado[5], los datos se trataron en Excel como base de datos principal, evolucionando a la aplicación Minitab, especializada en estadística.

3.4.1 Sesgo de datos atípicos

En primer lugar, los datos han sido analizados en Excel, realizando un ajuste y filtro de ellos. Debido a errores en las mediciones, mediante herramientas de representación gráfica, se han filtrado los datos no coherentes, por fallos de los sensores. En la Figura 46 se muestra un ejemplo.

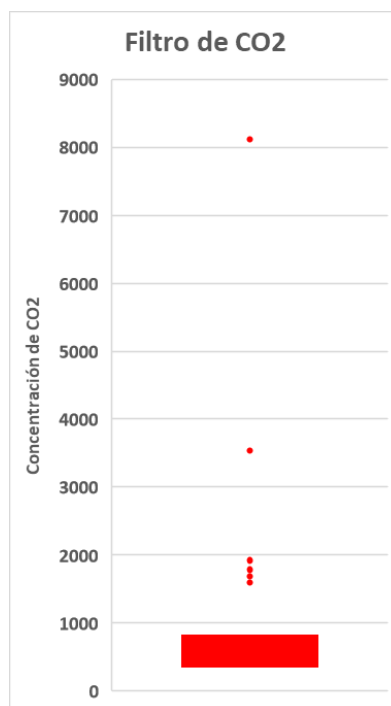


Figura 46 Filtro de datos

Además, uno de los datos que recogen los sensores son los dispositivos cercanos detectados. Esto se puede asimilar al número de personas, pero debe ser corregido previamente. Para ello, en las distintas zonas de medición se ha llevado un control sistemático de la ocupación para desarrollar parámetros que corrijan los datos del sensor.

Por otro lado, para facilitar el análisis se han filtrado los datos en base a rangos característicos. Mediante un histograma se ha estudiado la normalidad de las variables y establecido los rangos para cada una. En Excel se han agrupado los datos de humedad y temperatura en 12 rangos, para poder realizar el análisis de factores principales en la aplicación Minitab, explicado posteriormente en el apartado 2.6.4 La Figura 47 muestra el histograma de temperatura antes de ser filtrado para 12 valores.

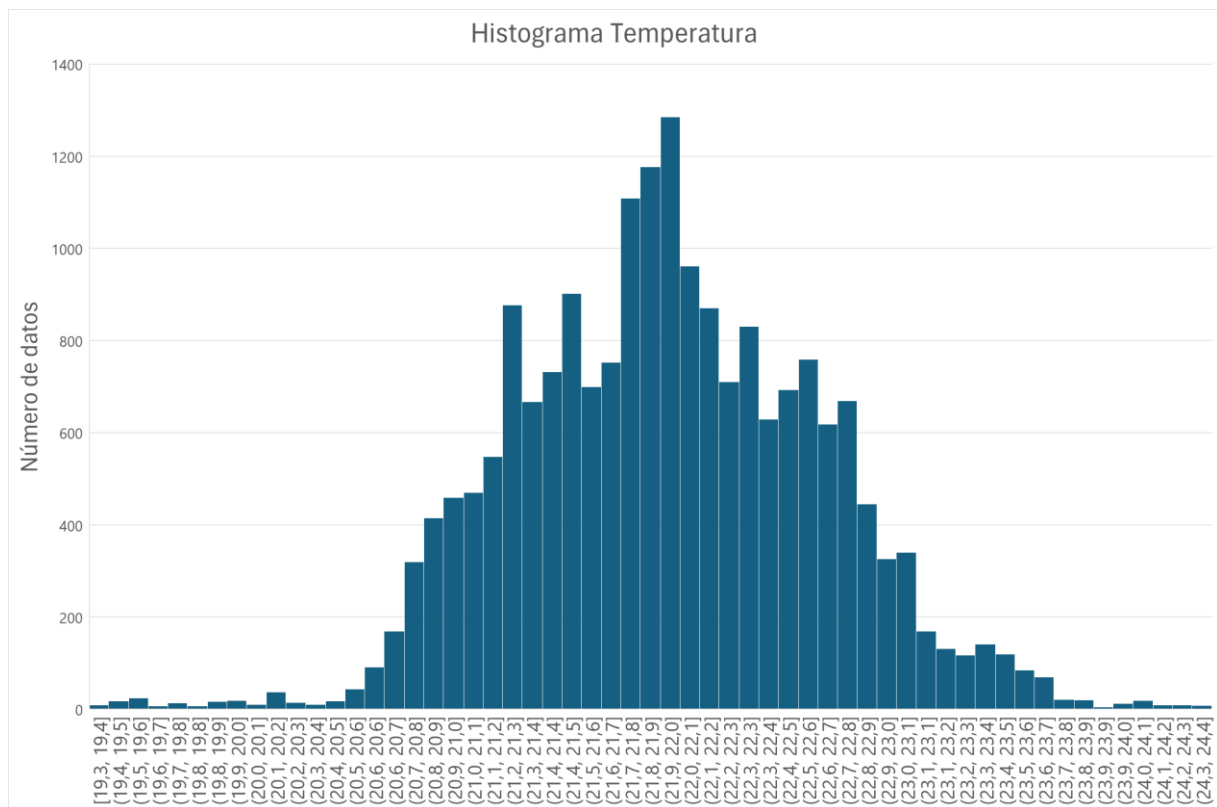


Figura 47 Histograma Temperatura

4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

El análisis de los resultados se ha dividido en las diferentes zonas de medición descritas en el apartado anterior (biblioteca, camaretas y estudio). Para cada una de ellas se han hecho dos análisis:

- Análisis general: basado en la observación de la evolución de las mediciones. Incluye las gráficas de los datos en función del tiempo (CO_2 , temperatura, humedad y número de personas) y una correlación directa entre ellos (Correlación de Pearson)
- Análisis en la aplicación Minitab: basado en estadística más avanzada, trabajando los datos como un conjunto (sin tener en cuenta el factor temporal). Se ha realizado primero un análisis comparativo de los datos en aquellas zonas donde hubiese más de un sensor midiendo simultáneamente (biblioteca y camareta). Además, se ha realizado un análisis gráfico para ver la variable más influyente en el aumento de CO_2 . Para aquellos casos en los que los datos difieren bien por valores atípicos o errores en los valores máximos y mínimos se ha realizado un estudio más específico para explicar las razones de estos.

4.1 Biblioteca

El análisis de los datos recogidos en la biblioteca se ha dividido en 2. Primero un análisis general, donde se han filtrado los datos atípicos y desarrollado unas gráficas para representar de manera visual los datos obtenidos. Posteriormente, se han tratado los datos con el software Minitab. En esta sección se ha llevado a cabo un análisis estadístico de mayor complejidad, tratando los datos como un conjunto para llegar a conclusiones más complejas, que no se obtienen de los simples cálculos desarrollados en el primer apartado

4.1.1 Análisis General

Como se ha mencionado en el apartado 3.1.3 en la biblioteca se han instalado 3 sensores. Por lo tanto, se ha realizado un estudio simultáneo en diferentes zonas de la biblioteca. Se relaciona en primer lugar la evolución de la medición de CO_2 en los 3 sensores. Posteriormente se analiza cada sensor por separado con todas las variables, buscando patrones o valores atípicos.

Además del análisis mencionado al inicio del capítulo, se ha añadido un estudio específico de 24 horas en la biblioteca, para ver el resultado de las correlaciones entre las variables. De esta manera la correlación se ve menos afectada por los valores atípicos y los fallos de medición que se pueden dar en 14 días de toma de datos.

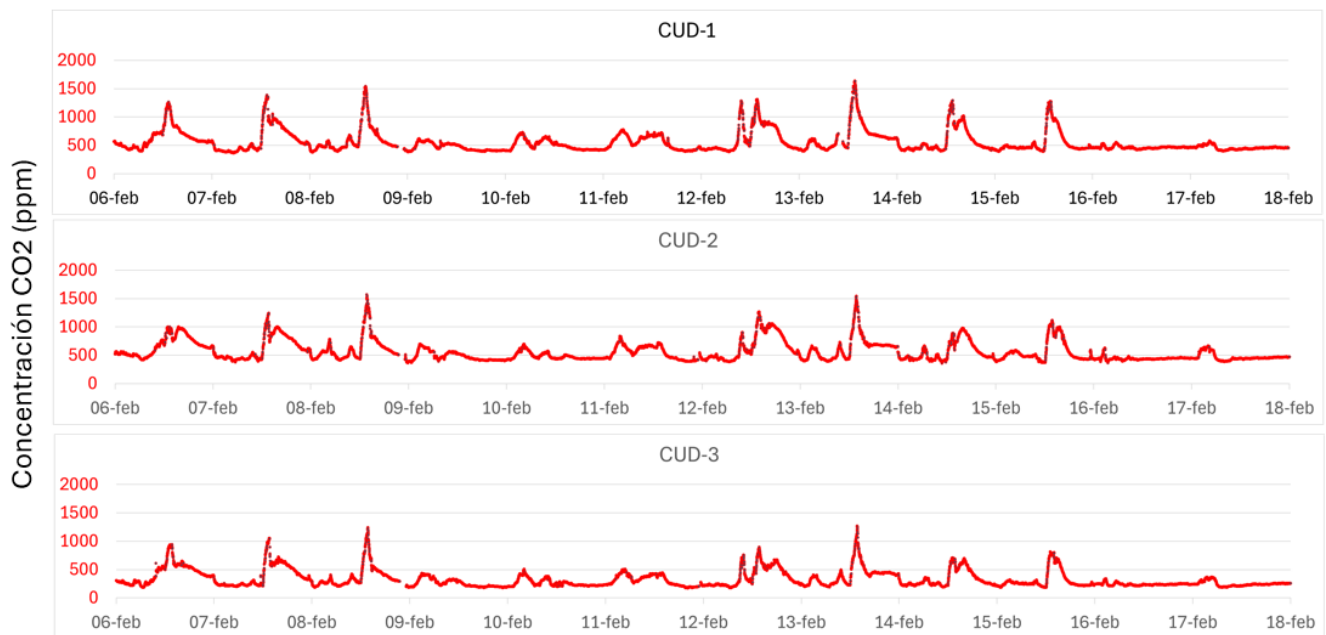


Figura 48 Comparativa CO_2 en los sensores

Como se puede observar en la Figura 48, la tendencia general en los 3 sensores es la misma. Durante la semana, se producen picos en las horas de mayor ocupación, entre las 20:00-23:00, las horas de estudio de los aspirantes. Los fines de semana, debido a la poca ocupación estos repuntes se ven más redondeados.

. Como análisis general, se ha estudiado la influencia de cada uno de los parámetros en función del CO_2 a lo largo del tiempo de medición. En las Figura 49 Figura 50 y Figura 51 se muestran las relaciones entre el CO_2 y cada una de las variables, en las cuales se entrará más en detalle posteriormente.

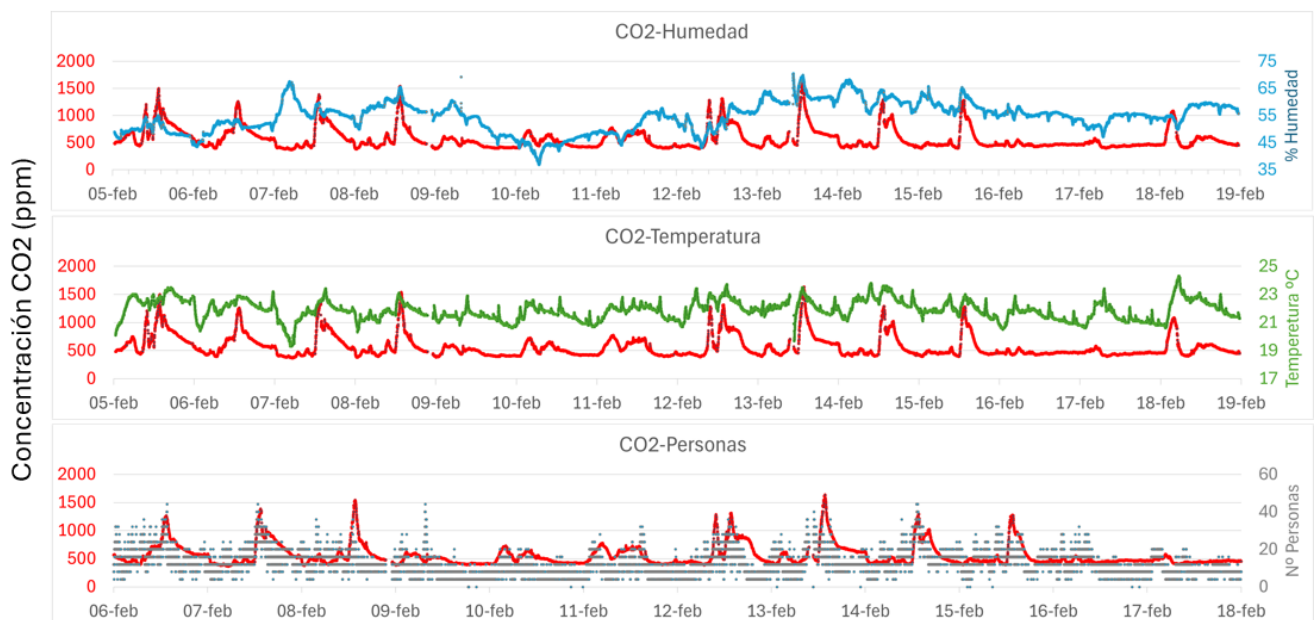


Figura 49 Comparativa general sensor CUD-01

Se observa una correlación entre los picos de concentración de CO_2 y la temperatura. Esto se debe a que la situación de el sensor CUD-01 (al fondo de la biblioteca) le hace no estar tan expuesto a corrientes de aire, variando a la par las masas de aire con concentraciones de CO_2 y temperaturas debidas a la ocupación.

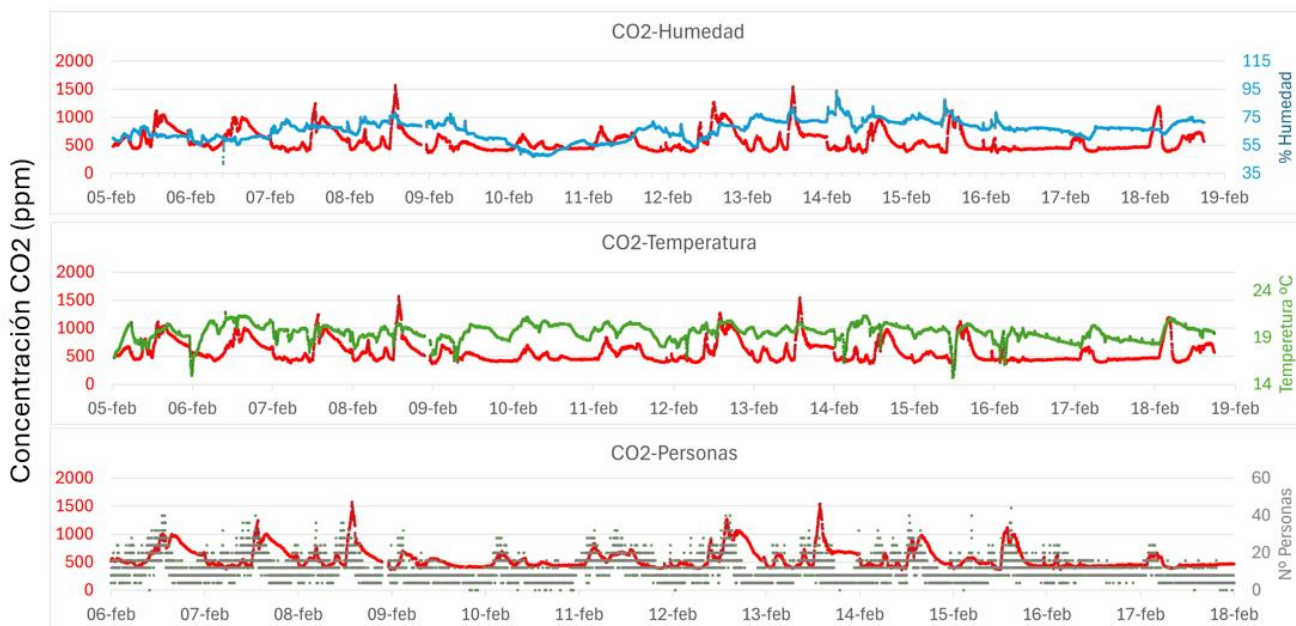


Figura 50 Comparativa general sensor CUD-02

Se observa una ligera tendencia entre los picos de temperatura y personas, sobre todo en la disminución de la temperatura justo antes del descenso de la concentración. Esto se puede deber a la ventilación los días con temperaturas exteriores más bajas.

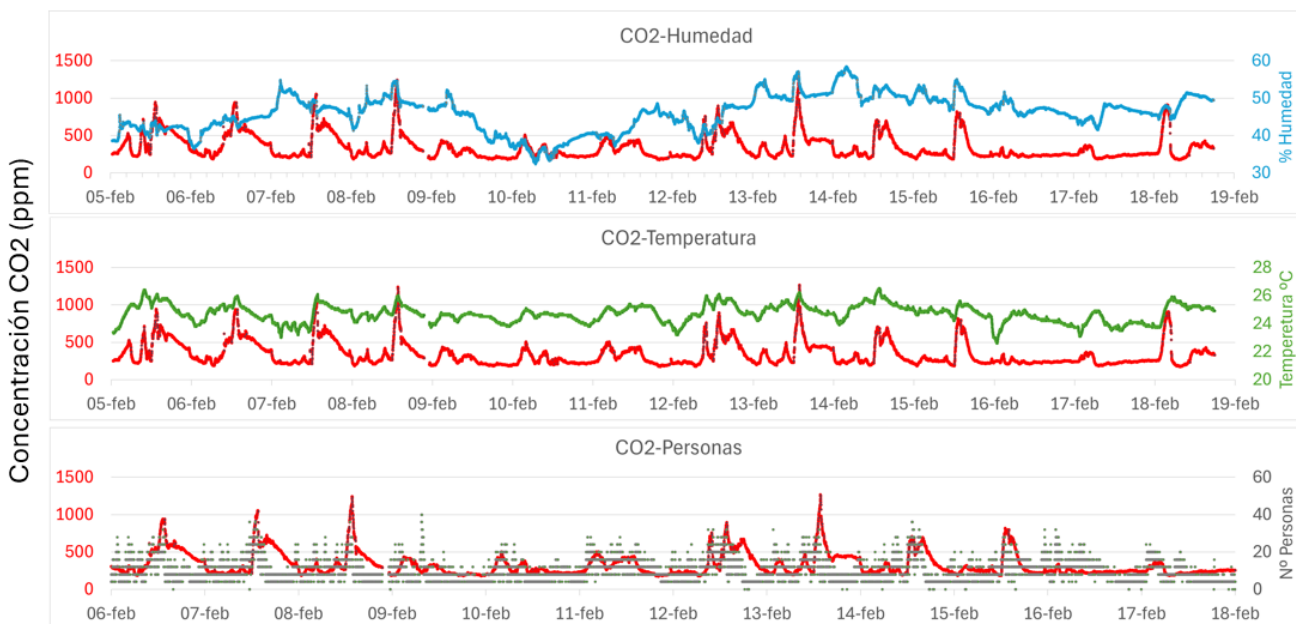


Figura 51 Comparativa general sensor CUD-03

En resumen, se observa una aparente correlación entre los datos, pero el análisis visual no es suficiente para determinar estas. Para ello, como se explicó en el apartado 2.6 se realizará un análisis numérico mediante la correlación de Pearson

Todas las correlaciones				
Parámetros	CUD-1	CUD-2	CUD-3	Media
CO2-Humedad	0,15600585	0,11438427	0,15646185	0,14228399
CO2-Temperatura	0,58409455	0,43805452	0,61692542	0,54635816
CO2-Personas	0,43651886	0,2992236	0,31166085	0,34913444
Humedad-Temperatura	0,07717154	-0,235329	0,17567845	0,00584034
Humedad-Personas	0,2113037	-0,0217862	0,0341404	0,07455264
Temperatura-Personas	0,35659486	0,17341201	0,31871253	0,28290647

Correlaciones Fuertes			
Parámetros	CUD-1	CUD-2	CUD-3
CO2-Humedad			
CO2-Temperatura	0,58409455		0,61692542
CO2-Personas			
Humedad-Temperatura			
Humedad-Personas			
Temperatura-Personas			

Correlaciones de Pearson

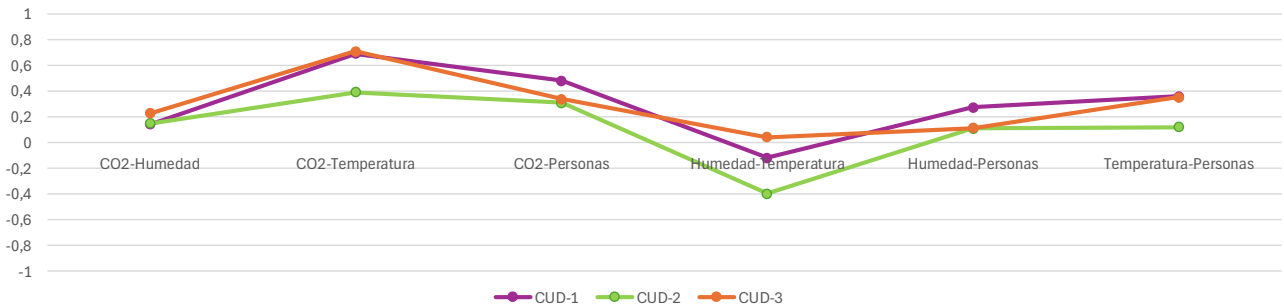


Figura 52 Correlaciones Pearson generales biblioteca

La tabla superior derecha de la Figura 52 se resume las correlaciones fuertes, es decir, las superiores a 0,5. Como se puede observar, la única reseñable es entre la concentración de CO₂ y la Temperatura. Como se ha explicado en el apartado 3.4 estas correlaciones se ven muy perjudicadas por picos de datos. Además, debido a que el aumento del CO₂ no es tan instantáneo como el aumento de personas, por ejemplo, la tendencia se ve afectada momentos después de la variación. En la siguiente figura se ve cómo en un análisis más específico, de 24 horas, las correlaciones aumentan.

Todas las correlaciones				
Parametros	CUD-1	CUD-2	CUD-3	Media
CO2-Humedad	0,67246439	0,60964061	0,64291469	0,64167323
CO2-Temperatura	0,84041245	0,69986327	0,88019616	0,80682396
CO2-Personas	0,11653071	0,18805023	0,35121988	0,21860027
Humedad-Temperatura	0,71799006	0,55782218	0,65105079	0,64228768
Humedad-Personas	0,12400429	0,45409318	0,42962758	0,33590835
Temperatura-Personas	0,0615551	0,1060588	0,24572724	0,13778038

Correlaciones Fuertes			
Parámetros	CUD-1	CUD-2	CUD-3
CO2-Humedad	0,67246439	0,60964061	0,64291469
CO2-Temperatura	0,84041245	0,69986327	0,88019616
CO2-Personas			
Humedad-Temperatura	0,71799006	0,55782218	0,65105079
Humedad-Personas			
Temperatura-Personas			

Correlaciones de Pearson

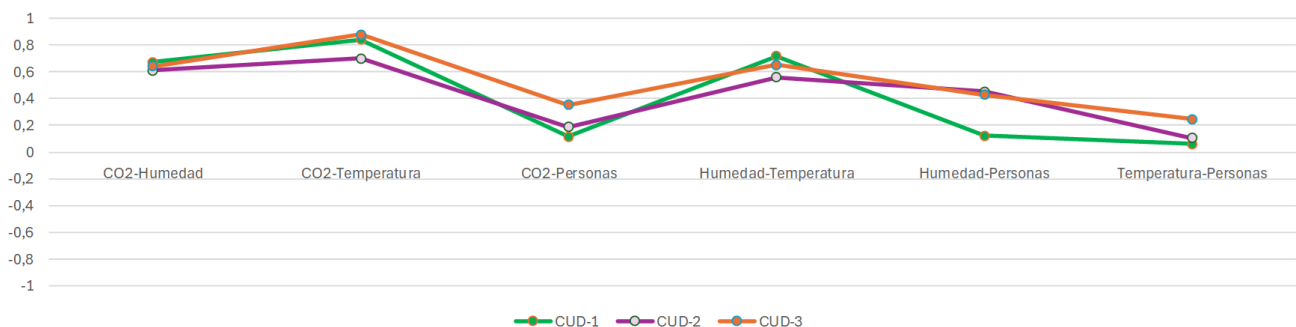


Figura 53 Correlaciones Pearson 8 febrero biblioteca

Se observa en la Figura 53 una gran relación entre la concentración del CO₂, la humedad y la temperatura. Además, la humedad y la temperatura también están relacionadas entre ellas. La razón por la que el CO₂ y el número de personas no tienen un valor de correlación de Pearson alto es por el retardo entre el aumento y disminución de uno y otro.

4.1.2 Análisis en Minitab

El primer estudio que se ha realizado ha sido comparar los resultados de CO₂ de los 3 sensores. Para ello se ha utilizado un gráfico de cajas y de residuos

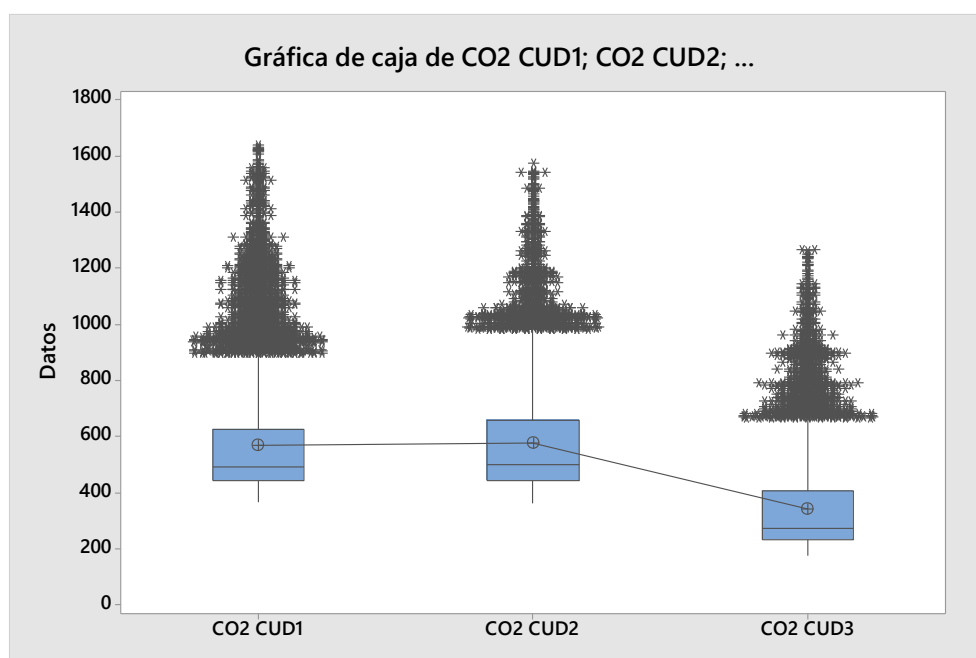


Figura 54 Gráfica de cajas de CO₂ en la biblioteca

Se observa en la Figura 54 que la media del sensor CUD-03 es inferior a los demás. Analizando las características del uso de la biblioteca y la ventilación se explicará este fenómeno más adelante. En la Figura 55 se muestra la gráfica de residuos, dejando una clara asimetría a la derecha.

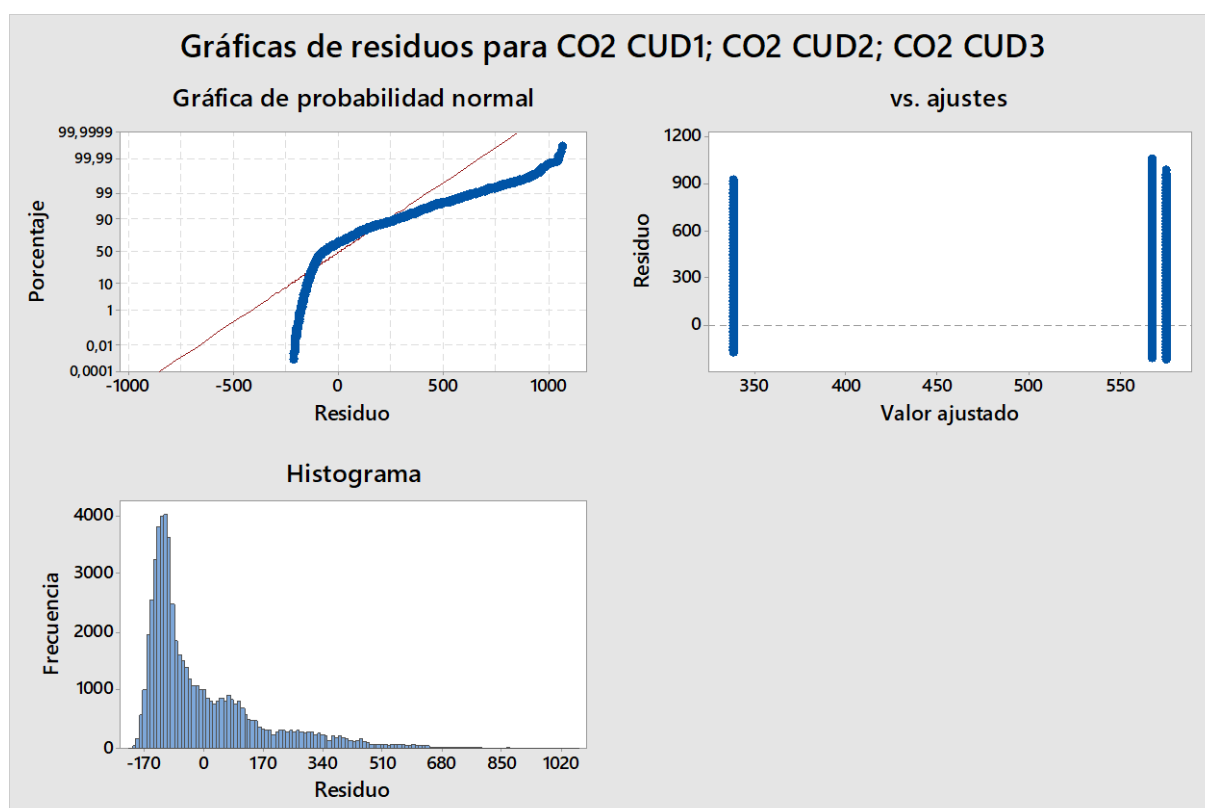


Figura 55 Gráfica de residuos de CO₂ en la biblioteca

Se observa una normalidad parcial de los datos, con una asimetría hacia la derecha debida a los picos de valor del CO₂. Además, la asimetría en la gráfica de los ajustes muestra una clara diferencia en las varianzas, es decir una separación a la media.

Se hacen los mismos estudios para la humedad y la temperatura.

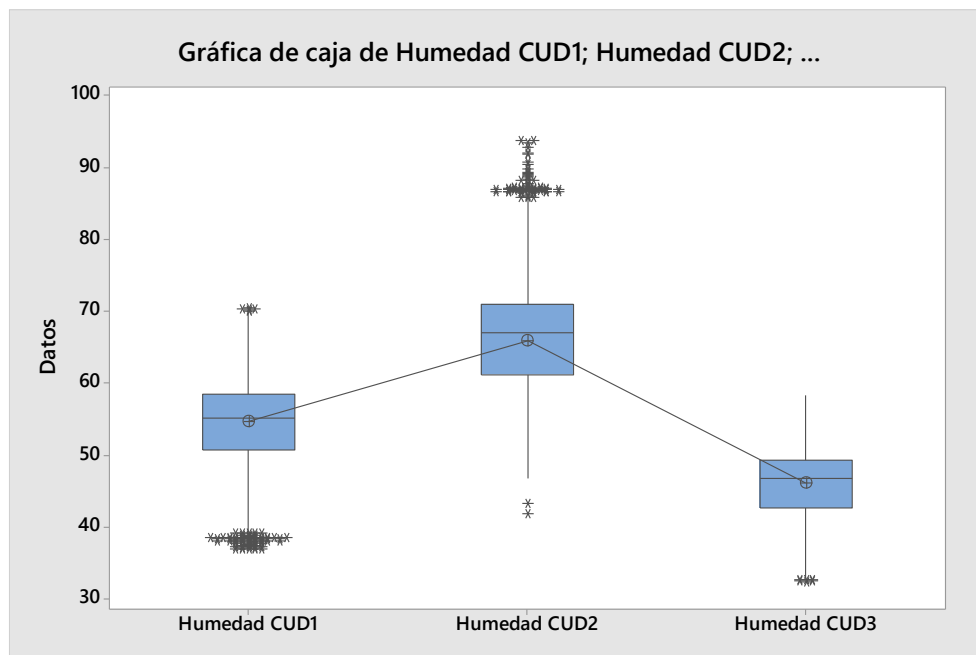


Figura 56 Gráfica de cajas de humedad en la biblioteca

Se observan en la Figura 56 diferencias en la media de humedad en cada sensor, esto en mayor medida debido a la calibración de estos. Presentan una clara normalidad y varianza constante, con algún valor atípico como se muestra en la Figura 57.

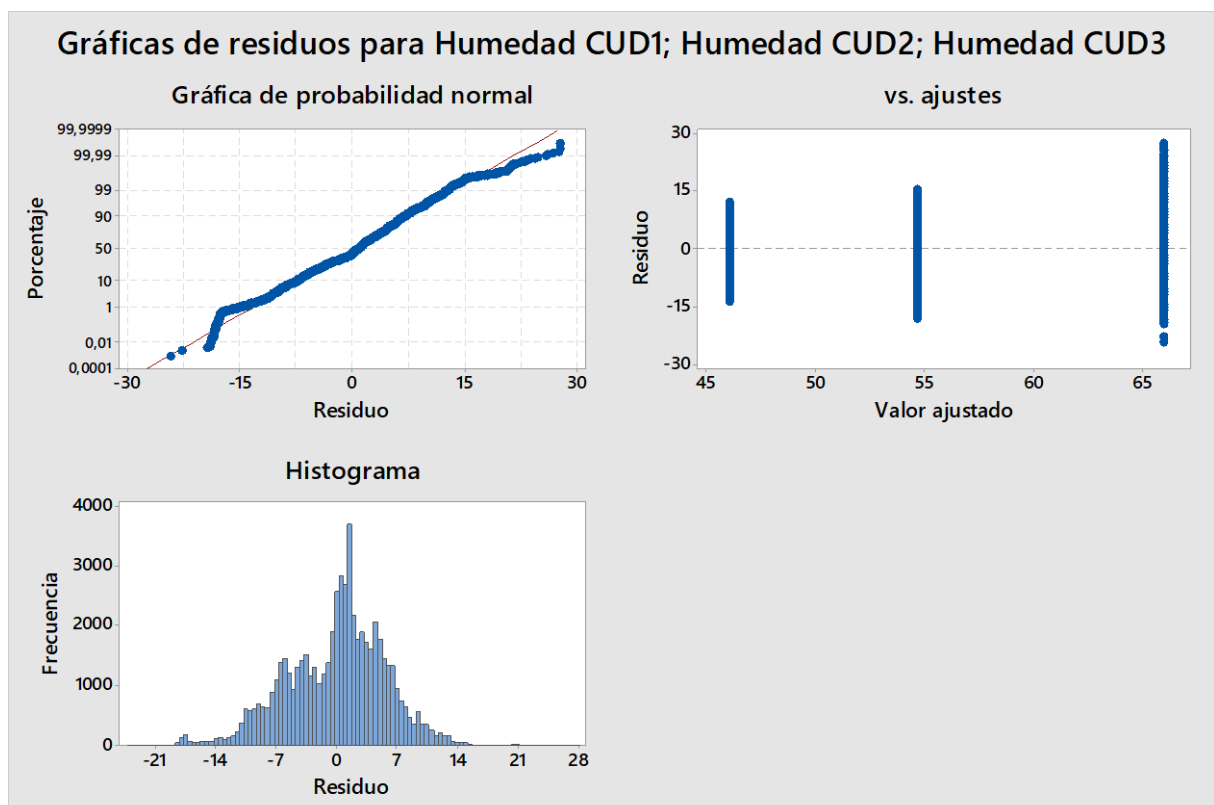


Figura 57 Gráficas de residuos de humedad en la biblioteca

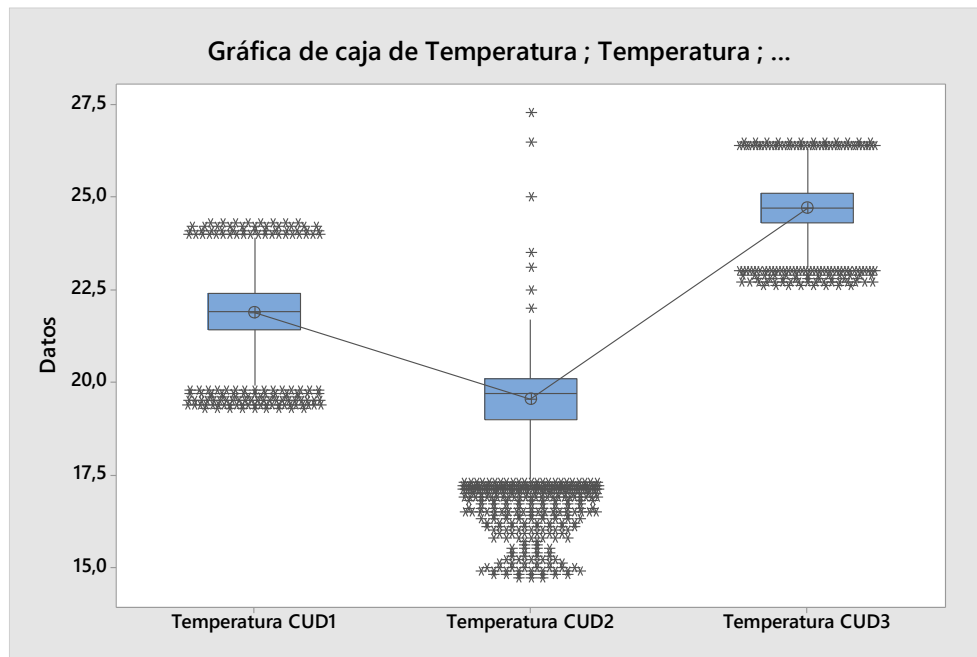


Figura 58 Gráfica de cajas de temperatura en la biblioteca

La media de la temperatura explica las diferencias tanto de temperatura y humedad. Comparándolo se muestra en la Figura 58 como el sensor CUD-02 se ve afectado por el aire frío y húmedo proveniente de la ría, estando situado en cerca de la puerta que en esa zona. Además, muestra como el sensor CUD-03 se ve menos afectado al cambio de temperatura, quedando el calor residual de la biblioteca en esa zona, dando como resultado una media mayor. Sigue una distribución normal, mostrado en la Figura 59

Gráficas de residuos para Temperatura CUD1; Temperatura CUD2; Temperatura CUD

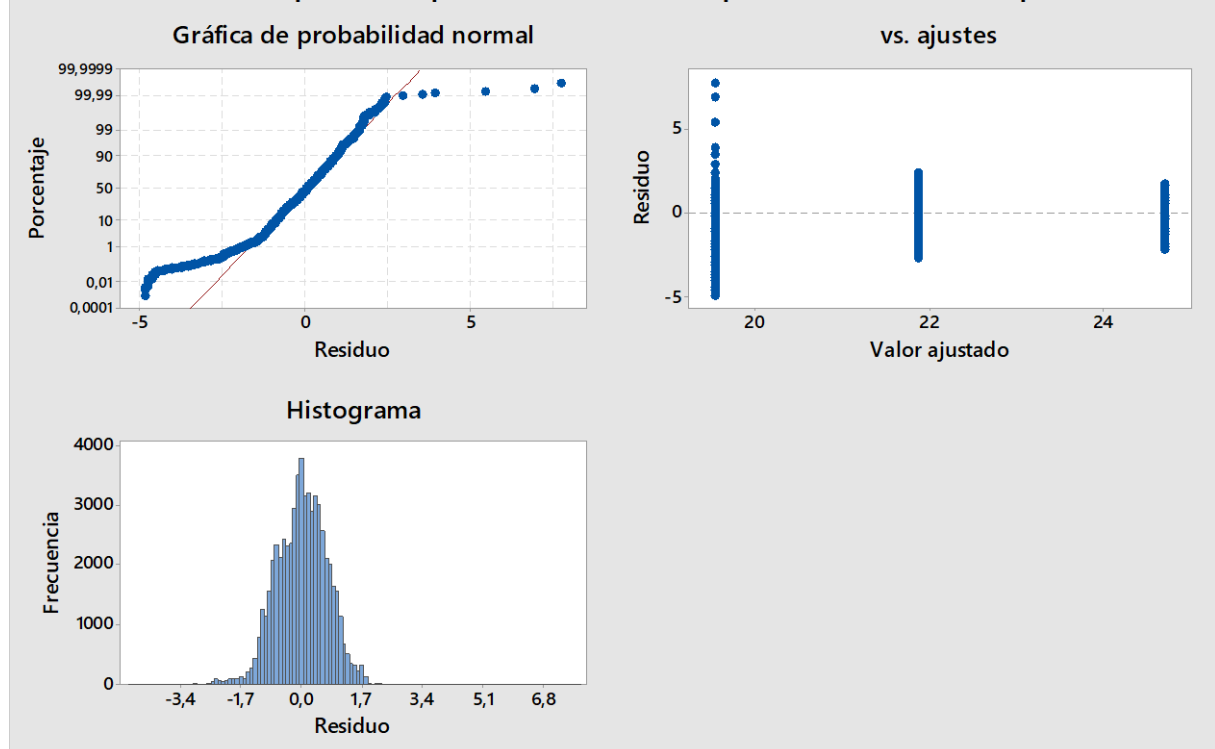


Figura 59 Gráficas de residuos de temperatura en la biblioteca

Gracias a establecer rangos de datos para el estudio, mediante la herramienta de efectos principales de Minitab se puede obtener datos sobre la tendencia del CO_2 en función de la humedad, temperatura y número de personas. Esta herramienta cuenta con una capacidad de máximo 12 datos diferentes en el eje de abscisas, por lo que se ha realizado una aproximación, explicada en el apartado 2.6.1.

Para estudiar de manera conjunta las 3 variables se utiliza el selector de efectos principales:

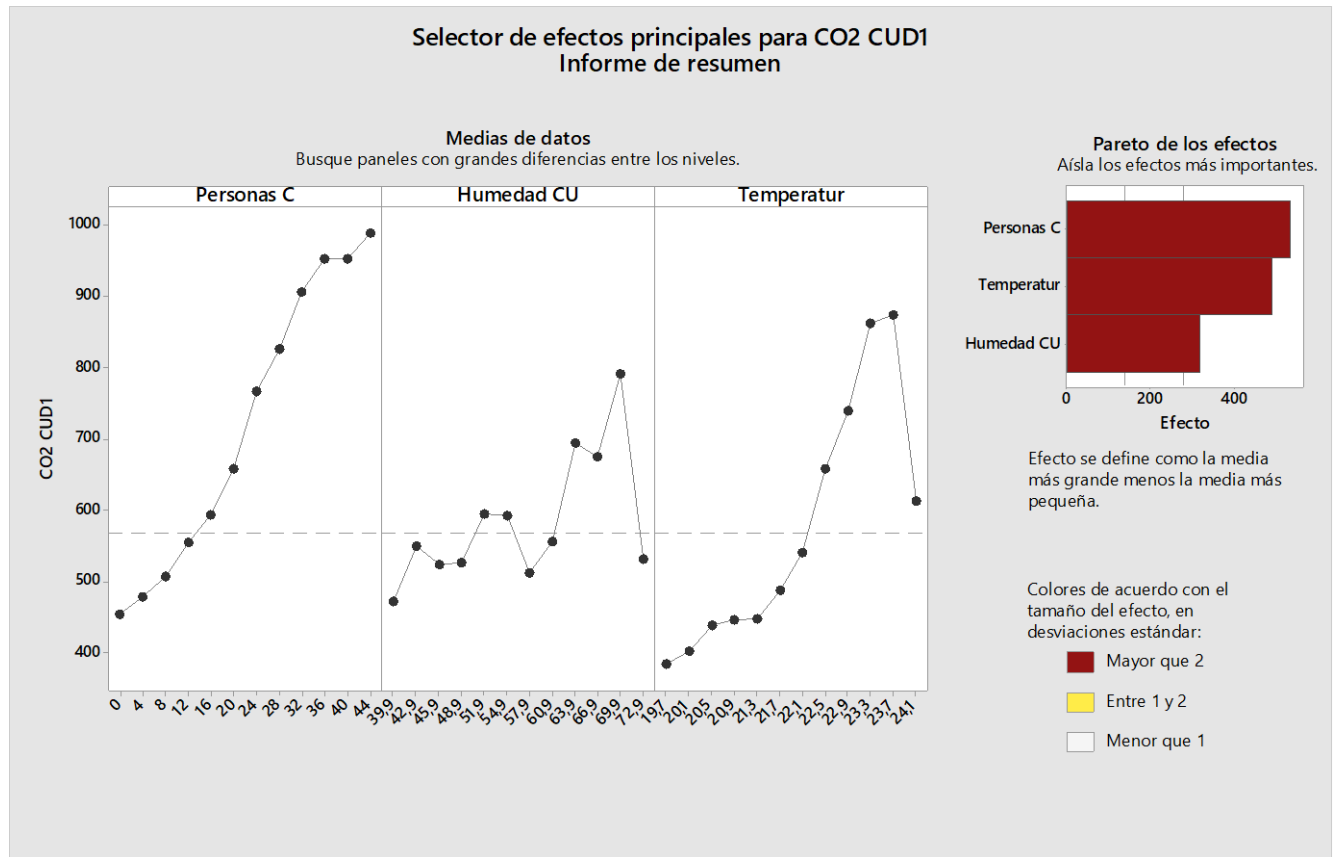


Figura 60 Gráfica de efectos principales del sensor CUD-01 en la biblioteca

La Figura 60 representa el sensor CUD-1. Se observa una clara tendencia general tanto en personas como en temperatura. La concentración de CO_2 aumenta en las dos con el aumento de los otros parámetros. En cambio, en la humedad, a pesar de que la tendencia general es ascendente presenta varios valores atípicos. Se estudian dos datos que no coinciden: las asimetrías en la humedad y la reducción en el valor máximo de temperatura.

Se puede concluir que el aumento del número de personas conlleva un aumento de la media del CO_2 . Para explicar las características de la tendencia de la humedad y la temperatura se desarrollarán las gráficas individuales y un histograma de distribución de datos en formato tabla. Se seguirá la misma línea para el resto de los sensores: las gráficas que muestren una tendencia clara no se explicarán de manera individual, tratando de explicar el porqué de los resultados de aquellas que no coincidan.

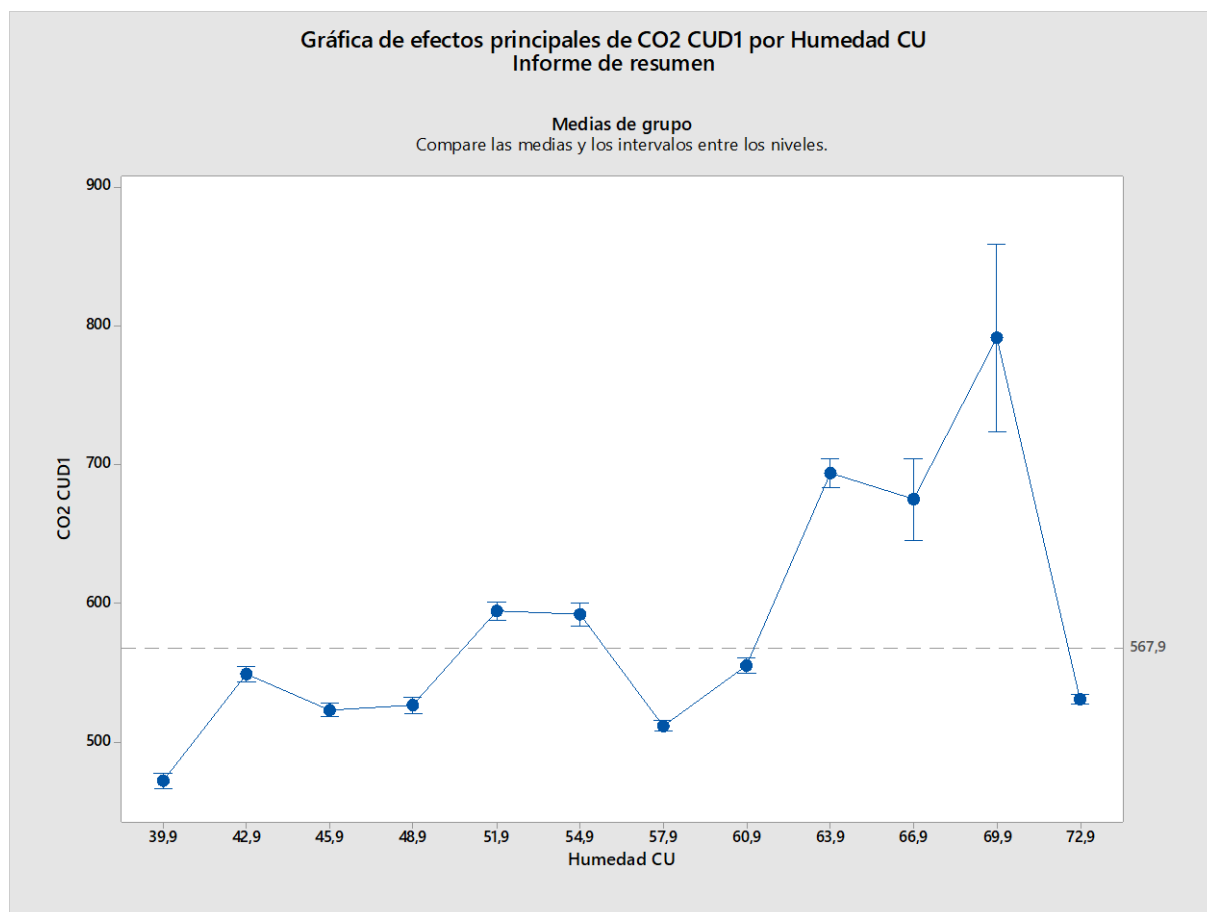


Figura 61 Gráfica de efectos principales CUD-01 CO₂-Humedad en la biblioteca

Podemos observar en la Figura 61 cómo hay valores extraños. Comprobamos la distribución de los datos mediante un histograma.

Gráfica de efectos principales de CO₂ CUD1 por Humedad CU
Informe de estadísticos descriptivos

Humedad CU	N	Media	IC de 95% para la media	Desviación estándar
39,9	87	472,24	(467; 478)	26,464
42,9	158	549,23	(544; 555)	33,861
45,9	1116	523,02	(518; 528)	85,516
48,9	2251	526,48	(521; 532)	135,15
51,9	2462	594,66	(588; 601)	167,07
54,9	3291	591,93	(584; 600)	238,30
57,9	4818	511,83	(508; 516)	130,93
60,9	3053	555,29	(550; 561)	158,07
63,9	1637	693,84	(683; 704)	214,93
66,9	621	675,01	(646; 704)	373,27
69,9	206	791,25	(724; 859)	491,90
72,9	5	531	(527; 535)	2,9155

Figura 62 Valores de la distribución de datos CUD-01 CO₂-Humedad en la biblioteca

Los datos mostrados en la Figura 62 no difieren de la normalidad. En este caso la relación de CO₂-humedad no es tan clara, pero se puede concluir que los datos tienen una tendencia ascendente con una distribución variable a lo largo de esta.

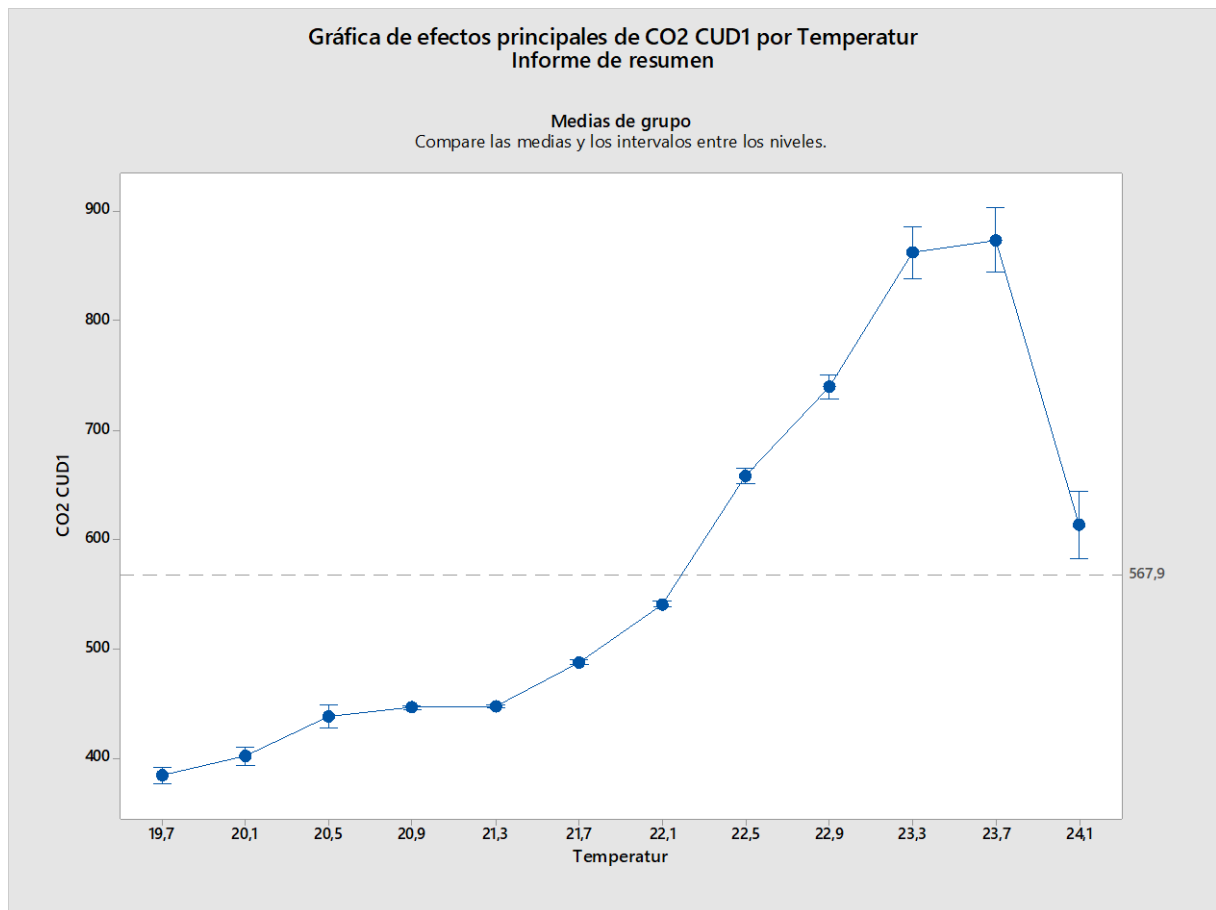


Figura 63 Gráfica de efectos principales CUD-01 CO₂-Temperatura en la biblioteca

En la Figura 63, en términos generales se observa una tendencia ascendente. Sin embargo, para temperaturas superiores a 24 grados la media de CO₂ disminuye considerablemente. Esto se puede explicar observando la siguiente figura.

Gráfica de efectos principales de CO₂ CUD1 por Temperatur
Informe de estadísticos descriptivos

Temperatur	N	Media	IC de 95% para la media	Desviación estándar
19,7	75	384,05	(377; 391)	31,488
20,1	86	401,73	(393; 410)	38,493
20,5	113	437,96	(427; 449)	57,971
20,9	1426	446,42	(445; 448)	34,683
21,3	2879	447,33	(446; 449)	37,334
21,7	3691	487,77	(486; 490)	64,569
22,1	4854	540,62	(538; 543)	99,945
22,5	3151	657,88	(651; 665)	194,09
22,9	2327	739,10	(728; 750)	277,50
23,3	706	862,28	(839; 886)	315,33
23,7	322	873,41	(844; 903)	270,84
24,1	75	613,29	(582; 644)	134,19

Figura 64 Valores de la distribución de datos CUD-01 CO₂-Temperatura en la biblioteca

La Figura 64 muestra la desviación en la medida de CO₂ a los 24,1 grados, se debe a los pocos datos recogidos, con solo 75 datos.

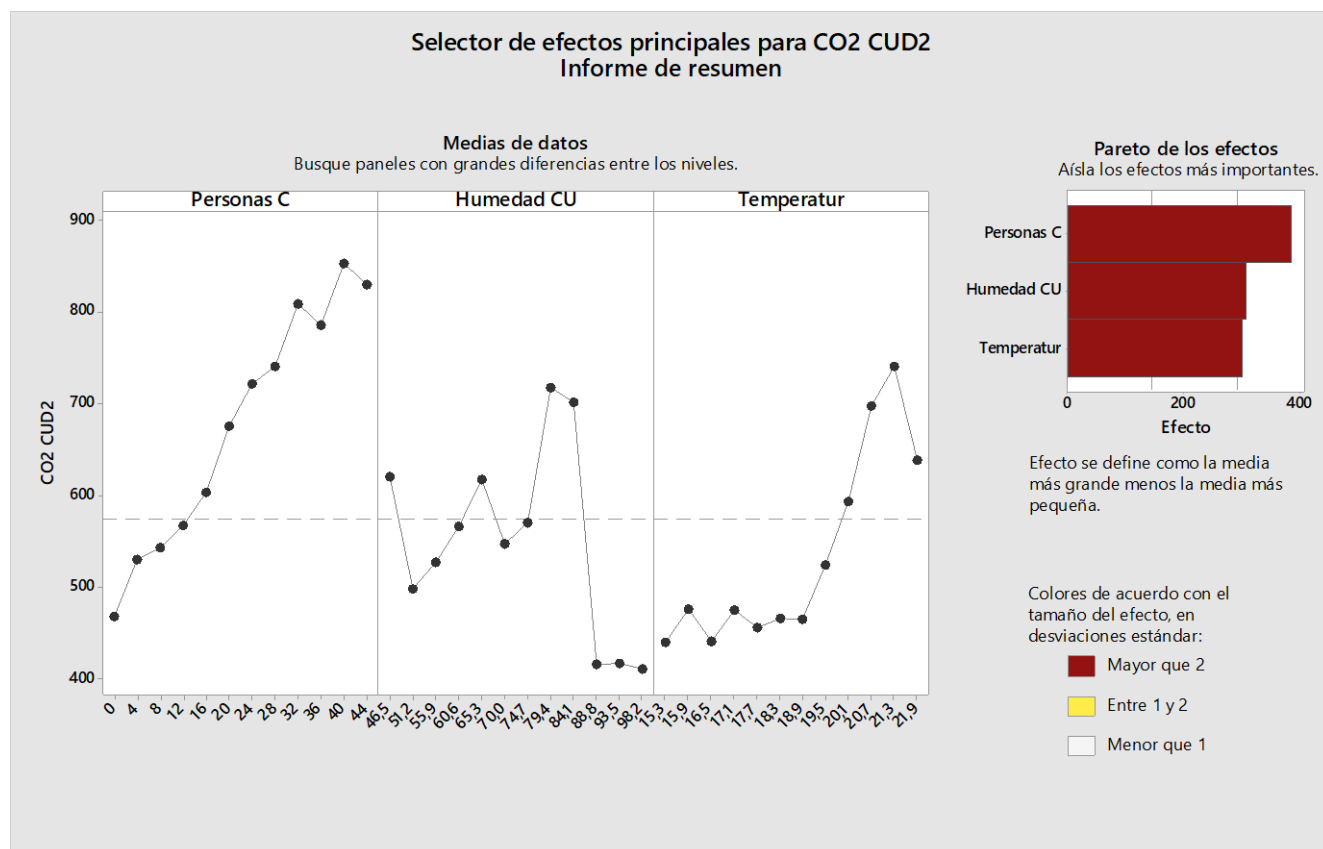


Figura 65 Gráfica de efectos principales del sensor CUD-02 en la biblioteca

La Figura 65 representa el sensor CUD-2 se observa una clara tendencia general en el número de personas. En cambio, en la humedad, presenta varios valores atípicos que no representan ninguna relación aparente. En la temperatura se observa una tendencia general positiva, pero a partir de los 22 grados se estabiliza. Se estudian 2 datos que no coinciden: las asimetrías en la humedad y la reducción en el valor máximo de temperatura.

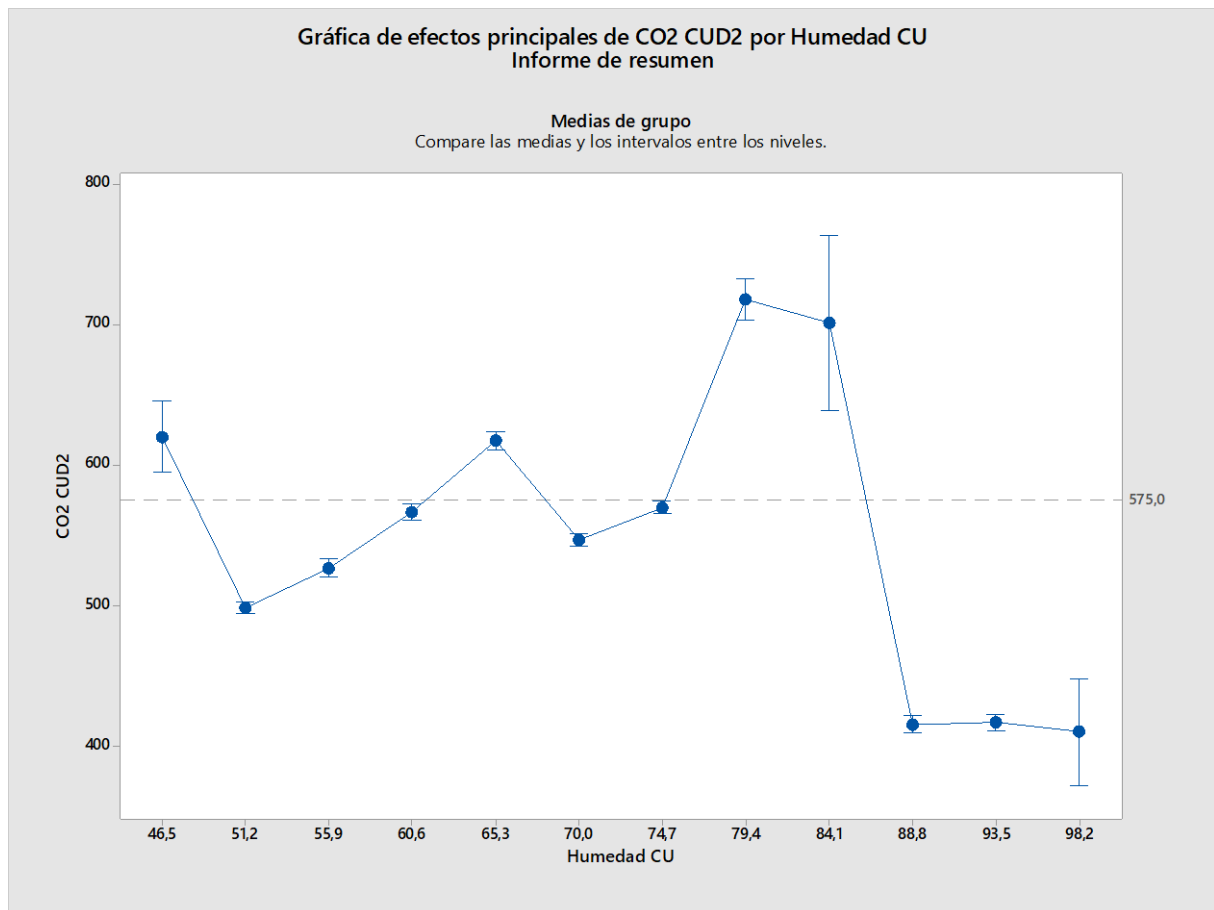


Figura 66 Gráfica de efectos principales CUD-02 CO₂-Humedad en la biblioteca

Como muestra la Figura 66 el análisis general se podría concluir que no se observa una tendencia significativa. Sin embargo, observamos que los datos que no se ajustan a esta se encuentran en los extremos, por lo tanto, pueden filtrarse los mismo, debido a errores de lectura afectados por condicionantes externos. En la siguiente figura se muestra el histograma de las mediciones.

Gráfica de efectos principales de CO₂ CUD2 por Humedad CU
Informe de estadísticos descriptivos

Humedad CU	N	Media	IC de 95% para la media	Desviación estándar
46,5	2	620	(595; 645)	2,8284
51,2	597	498,06	(494; 502)	54,136
55,9	1063	526,50	(520; 533)	107,06
60,6	2889	566,25	(560; 572)	161,98
65,3	3288	617,46	(611; 624)	190,37
70,0	6346	546,70	(542; 551)	177,87
74,7	4380	569,68	(565; 574)	151,02
79,4	1234	717,72	(703; 733)	265,55
84,1	172	701,20	(639; 763)	412,76
88,8	68	415,07	(409; 421)	25,288
93,5	10	416,4	(411; 422)	7,6623
98,2	2	410	(372; 448)	4,2426

Figura 67 Valores de la distribución de datos CUD-02 CO₂-Humedad en la biblioteca

En la Figura 67 se muestra la distribución de datos. Como se ha mencionado, si se filtran los datos para valores inferiores a 51% y superiores a 84% de humedad, se observa una clara tendencia ascendente.

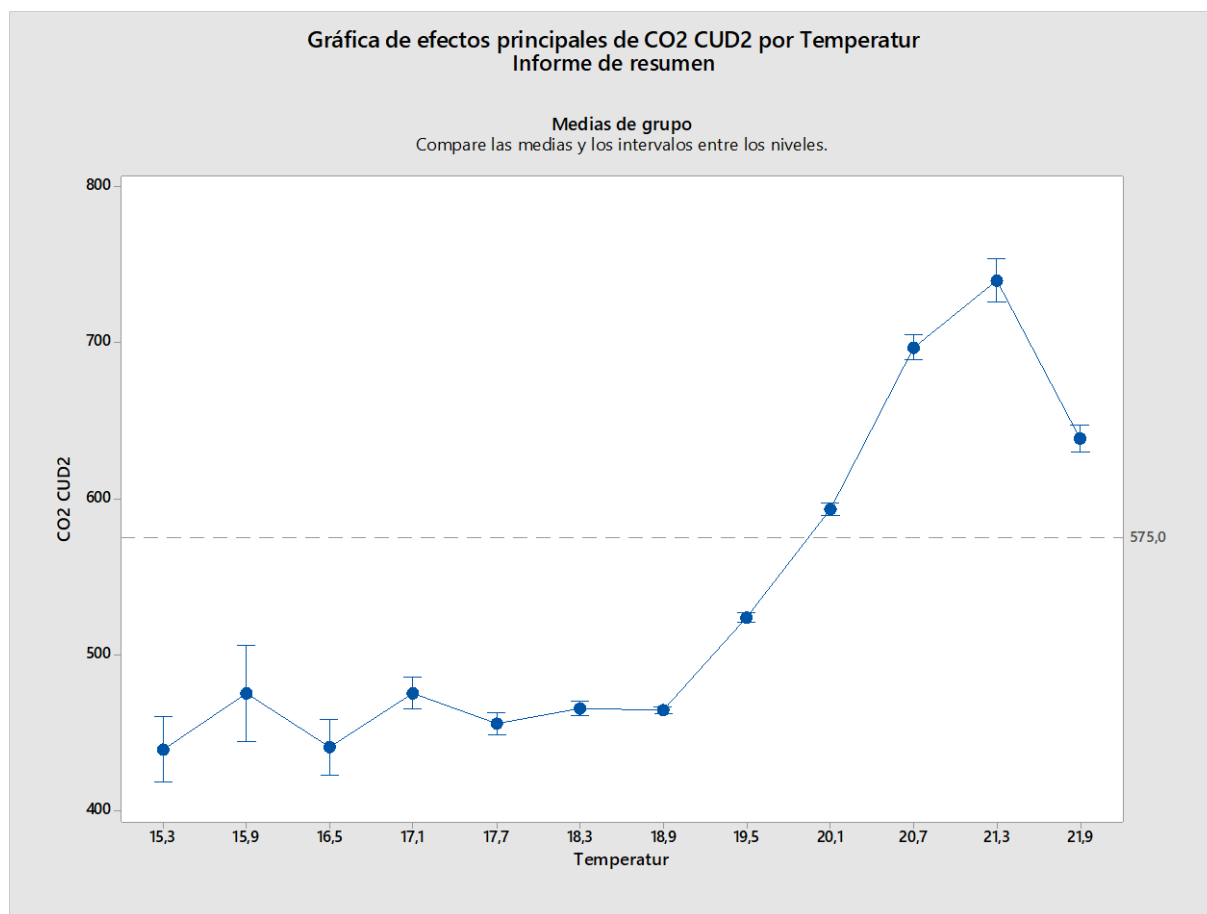


Figura 68 Gráfica de efectos principales CUD-02 CO₂-Temperatura en la biblioteca

Como se muestra en la Figura 68 sucede prácticamente lo mismo tanto en humedad como en temperatura. Mientras que la media de la temperatura se encuentra sobre los 20 grados para valores inferiores a 18 no aprecia una correlación entre los datos de concentración de CO₂ y esta. Por esto mismo, si centramos el análisis entre los 18 y los 21 grados se puede observar una clara correlación y tendencia ascendente.

Gráfica de efectos principales de CO2 CUD2 por Temperatur
Informe de estadísticos descriptivos

Temperatur	N	Media	IC de 95% para la media	Desviación estándar
15,3	42	439,24	(418; 460)	67,030
15,9	25	475,32	(445; 506)	74,621
16,5	58	440,55	(423; 458)	67,456
17,1	134	475,14	(465; 485)	59,865
17,7	304	455,82	(449; 463)	62,607
18,3	909	465,77	(461; 470)	68,805
18,9	3016	464,49	(462; 467)	64,160
19,5	4498	523,72	(520; 527)	114,18
20,1	6368	593,19	(589; 597)	166,39
20,7	3752	696,79	(689; 705)	244,29
21,3	937	740,05	(726; 754)	218,30
21,9	8	638,63	(630; 647)	10,501

Figura 69 Valores de la distribución de datos CUD-02 CO₂-Temperatura en la biblioteca

En la Figura 69 se muestra la insuficiente cantidad de datos para las muestras con temperaturas inferiores a 17,7 grados y superiores a 21,3.

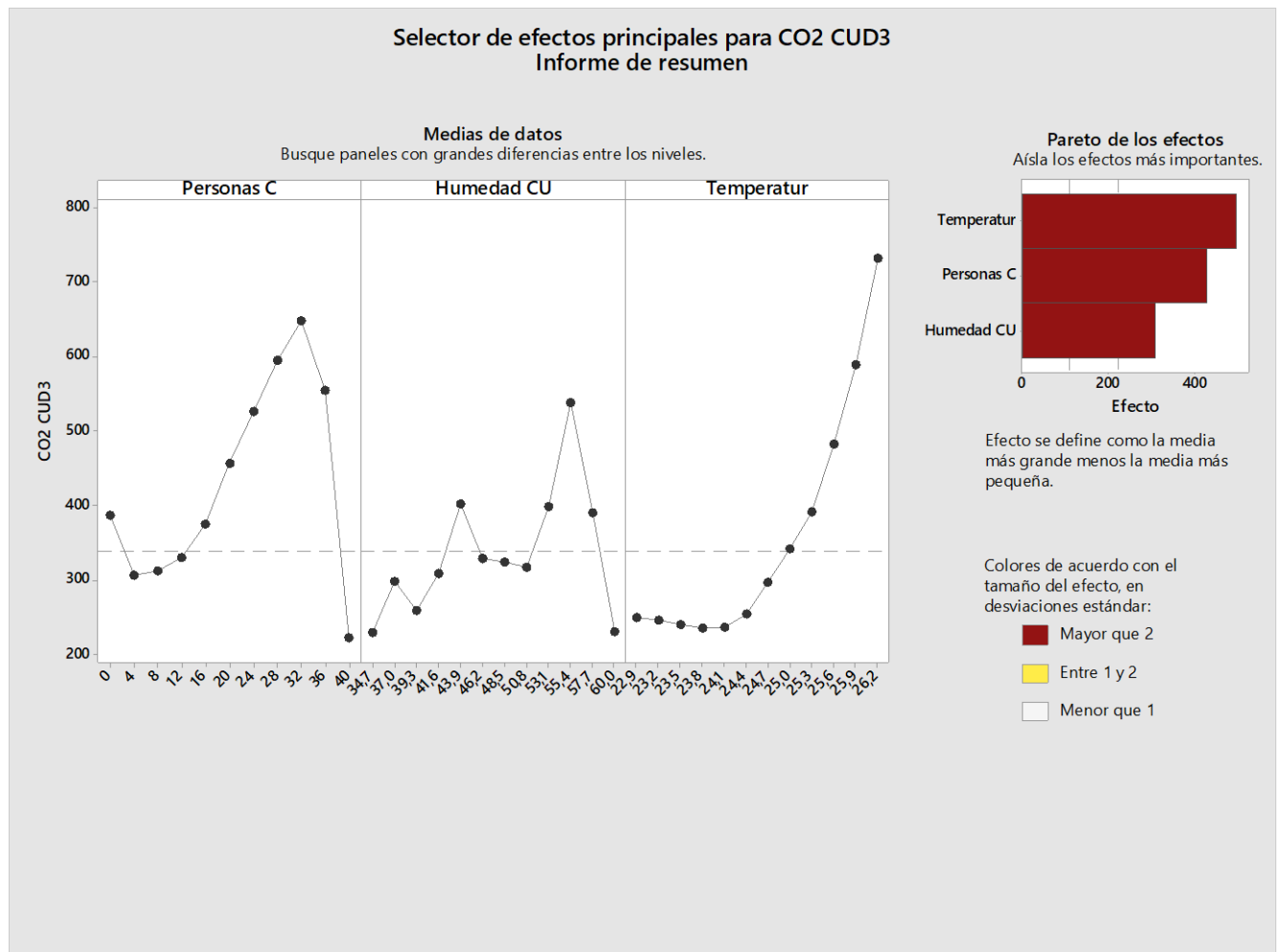


Figura 70 Gráfica de efectos principales del sensor CUD-03 en la biblioteca

En la Figura 70 se observa una clara tendencia tanto en el número de personas como en la temperatura. Sin embargo, los datos correspondientes a la gráfica de efectos principales del CO₂ y la humedad no tienen una correlación aparente.

La concentración de CO₂ se mantiene estable desde los 23 hasta los 24 grados de temperatura, pero a partir de esta última aumenta hasta llegar a medias de más de 700 ppm a los 26,2 grados. De todos los datos recogidos esta es una de las correlaciones más claras.

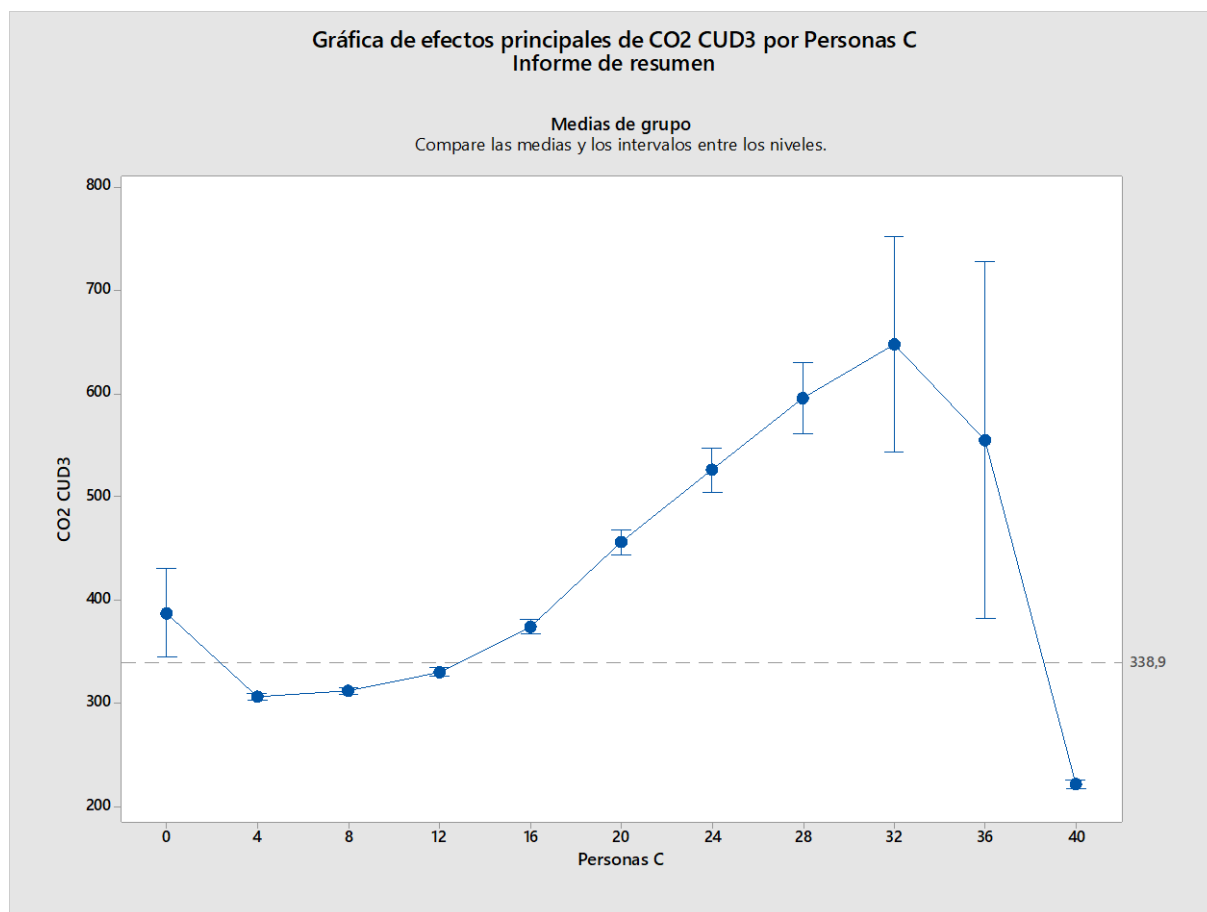


Figura 71 Gráfica de efectos principales CUD-03 CO₂-Personas en la biblioteca

En la Figura 71 se puede observar que en los sensores CUD-01 y CUD-02 los datos concuerdan, aumentando progresivamente la concentración de CO₂ según aumenta el número de personas. En cambio, en el sensor CUD-03 se observa un patrón poco común, teniendo una gran concentración para momentos de 0 personas y sufriendo una disminución en las mediciones de más de 32 personas. Para explicar este resultado observamos en la Figura 72 que se debe a los pocos datos obtenidos en dicho rango de personas. Como en todo estudio, los datos en los que no se obtiene un gran número de datos de muestra pueden verse afectados por datos fuera de la media. Por esta razón no es un resultado fiable a partir de 32 personas.

Gráfica de efectos principales de CO₂ CUD3 por Personas C
Informe de estadísticos descriptivos

Personas C	N	Media	IC de 95% para la media	Desviación estándar
0	35	386,91	(344; 430)	124,42
4	5172	306,45	(303; 310)	113,85
8	5903	313,65	(310; 317)	138,74
12	4263	330,23	(326; 335)	148,40
16	2433	374,25	(367; 381)	177,55
20	1208	456,28	(444; 468)	212,62
24	456	525,91	(504; 548)	237,73
28	186	595,16	(561; 629)	236,54
32	33	647,67	(544; 752)	293,31
36	13	554,69	(382; 727)	285,70
40	3	221,33	(218; 225)	1,5275

Figura 72 Valores de la distribución de datos CUD-03 CO₂-Personas en la biblioteca

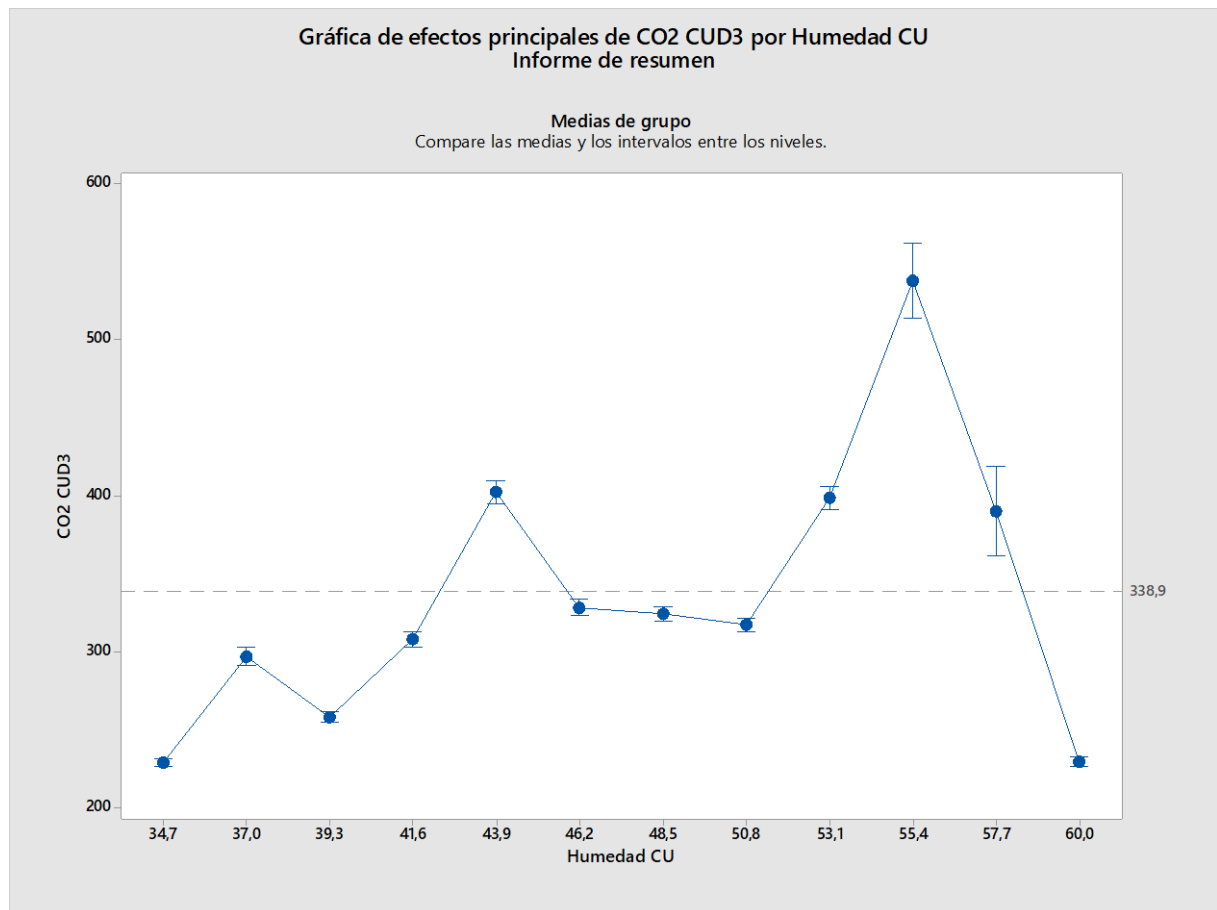


Figura 73 Gráfica de efectos principales CUD-03 CO₂-Humedad en la biblioteca

En la Figura 73 se observa una distribución normal de los datos, con valores susceptiblemente más pequeños a los límites inferiores de los demás sensores (46% y 39%). Aun así, la tendencia de los valores de CO₂ en función de la humedad son ascendentes hasta los valores superiores a 56%. En la Figura 74 se observa una normalidad en la distribución de datos.

Gráfica de efectos principales de CO₂ CUD3 por Humedad CU
Informe de estadísticos descriptivos

Humedad CU	N	Media	IC de 95% para la media	Desviación estándar
34,7	226	229,03	(227; 231)	18,789
37,0	462	297,01	(292; 302)	59,939
39,3	1244	258,18	(255; 262)	64,462
41,6	1813	307,89	(303; 313)	113,21
43,9	2370	402,24	(395; 410)	181,02
46,2	3190	328,24	(323; 333)	142,51
48,5	4563	324,14	(320; 329)	154,43
50,8	3398	317,00	(313; 321)	128,27
53,1	1848	398,48	(391; 406)	162,34
55,4	511	537,84	(514; 562)	276,91
57,7	375	389,93	(361; 419)	281,85
60,0	48	229,65	(226; 233)	10,977

Figura 74 Valores de la distribución de datos CUD-03 CO₂-Humedad en la biblioteca

4.1.3 Resultados de la biblioteca

Este análisis se centra en 3 de los objetivos del TFG señalados en el apartado 1.2: correlación de datos, estudio si se cumple las condiciones de salubridad y propuestas de buenas prácticas.

- Correlación de datos

En la Tabla 5 se resumen los resultados de los 3 sensores. Esta será utilizada para el apartado de conclusiones. En la primera columna se numeran los tres sensores. Después, cada columna analiza la variable que está siendo comparada con la concentración de CO₂.

En cada uno de los sensores se analizan dos variables, la primera de todas es la tendencia, que puede ser: positiva, nula o negativa. La segunda fila corresponde a la correlación, marcada primero por una consideración general (alta, parcial, baja) y después con un análisis más detallado, si correspondiese.

SENSOR	N.º DE PERSONAS	HUMEDAD	TEMPERATURA
CUD-01	Positiva	Positiva	Positiva
	Correlación Alta	Correlación baja	Gran correlación salvo en valores máximos
CUD-02	Positiva	Nula	Positiva
	Correlación parcial en valores máximos	Correlación parcial salvo en valores mínimos y máximos	Correlación parcial salvo en valores mínimos y máximos
CUD-03	Positiva	Nula	Positiva
	Correlación alta salvo en valores mínimos y máximos	Correlación baja	Correlación alta

Tabla 5 Resumen resultados en la biblioteca

En términos generales para las tres condiciones la tendencia es positiva y la correlación alta, aunque en algunos casos en los extremos no haya suficientes datos para un correcto estudio.

- Condiciones de salubridad

Los niveles máximos registrados en la biblioteca solo superan los valores máximos recomendados por la OMS (mostrados en la Figura 12) en condiciones puntuales en las que se concentran más de 35 alumnos. Además, estas suelen coincidir en el estudio nocturno, entre las 8 y media y las 10 y media de la noche, cuando la ventilación se ve condicionada por la eficiencia energética. Esto se ha podido comprobar con la herramienta desarrollada en el Anexo IV. En la Figura 75 se observan los momentos en los que se supera el nivel de CO₂ establecido en 1000 ppm.

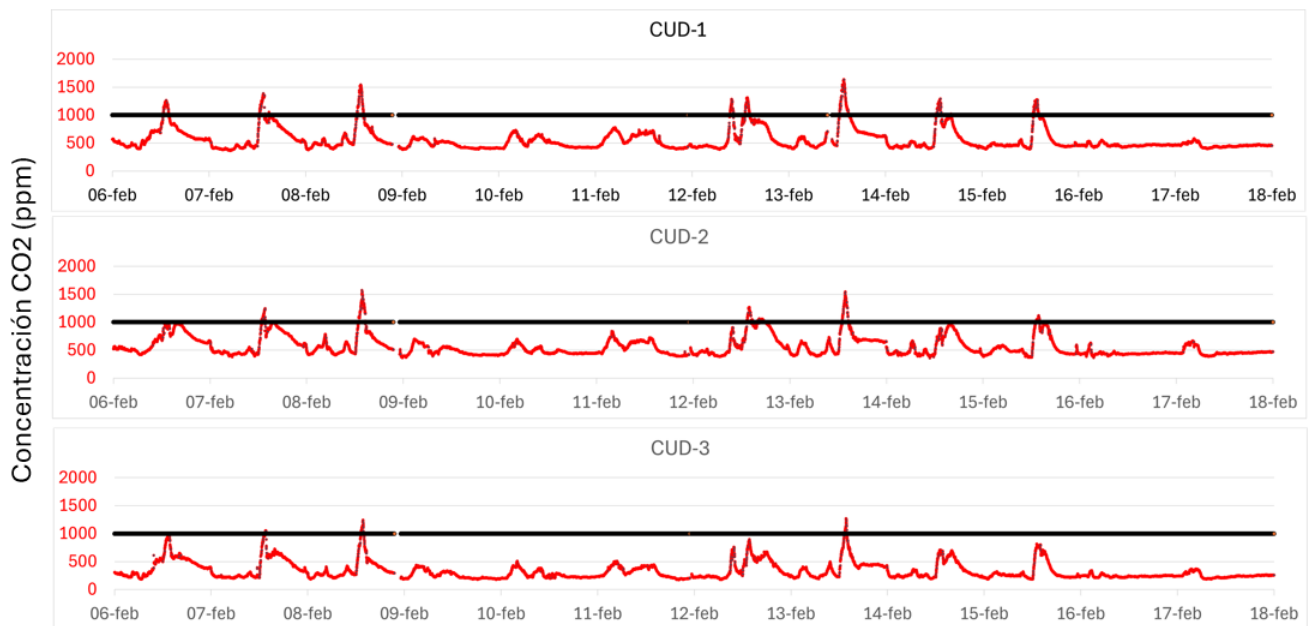


Figura 75 Gráfica de CO₂ en la biblioteca con el límite recomendado por la OMS (general)

Para ver de manera más precisa el resultado se realiza un análisis de 24 en la Figura 76.



Figura 76 Gráfica de CO₂ en la biblioteca con el límite recomendado con la OMS (24 horas)

- Propuestas de buenas prácticas

Mantener la ventilación el máximo tiempo posible, sobre todo en los ventanales con salida al exterior del cuartel y no al patio interior. En días de calor se pueden mantener las puertas abiertas siempre y cuando el ruido exterior mantenga el nivel de silencio necesario de la biblioteca.

4.2 Camaretas

Siguiendo la línea de la biblioteca, el análisis de los datos recogidos en las camaretas se ha dividido en dos. Primero un análisis general, donde se han filtrado los datos atípicos y desarrollado unas gráficas para representar de manera visual los datos obtenidos. Posteriormente, se han tratado los datos con el software Minitab,

4.2.1 Análisis general

Para obtener una mejor discretización de los datos se han seleccionado dos camaretas. Además, para contrastar los datos se ha medido simultáneamente durante un periodo de tiempo de dos semanas. Debido a las características de instalación de los dispositivos, ambos sensores debían encontrarse en la misma zona de cobertura de la red wifi portátil, ya que solo disponíamos de uno.

La principal diferencia con el resto de las mediciones se encuentra en el seguimiento periódico de la ocupación de las camaretas, ya que como se muestra en la Figura 77 los datos ofrecidos por el sensor no son coherentes (los valores deberían de repartirse entre 0-4 personas).

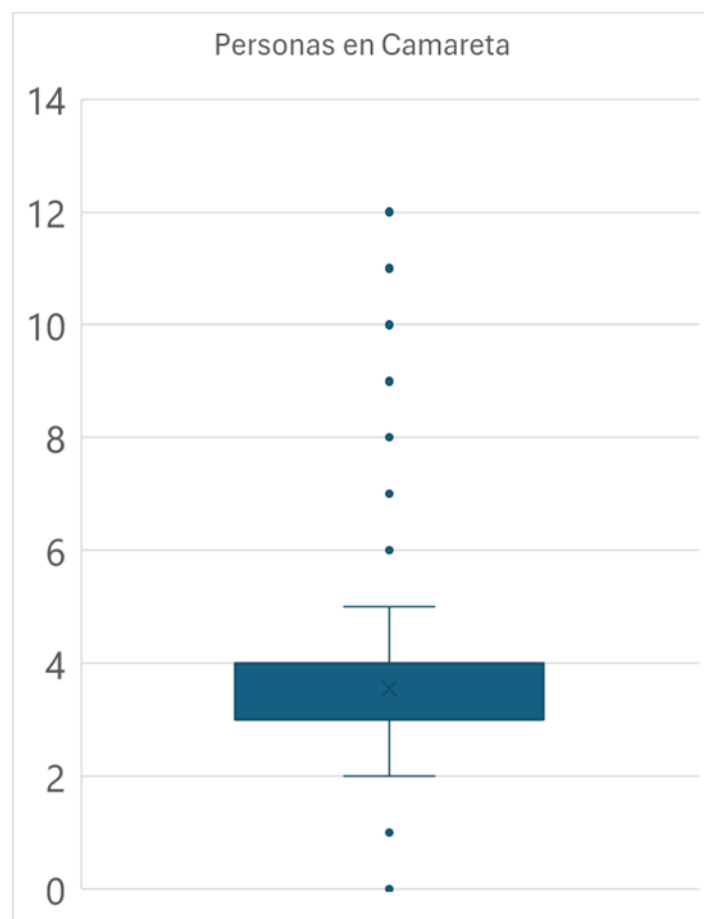


Figura 77 Filtro de datos número de personas en la camareta

De esta manera, mediante un control de acceso se ha podido contabilizar manualmente el número real de ocupantes de la camareta, siendo estos valores siempre entre 0 y 4. Se han obtenido los siguientes resultados.

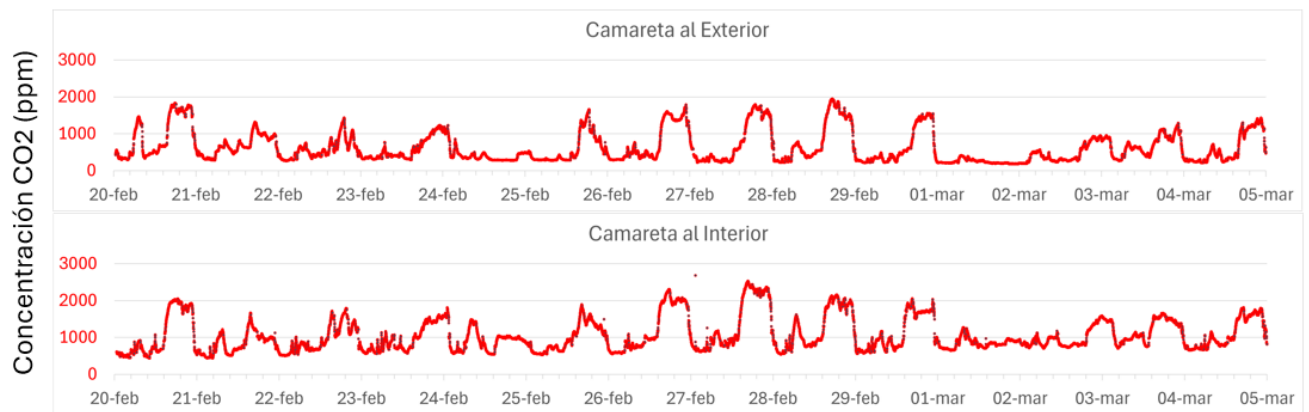


Figura 78 Vista general de los datos de CO₂ en las camaretas

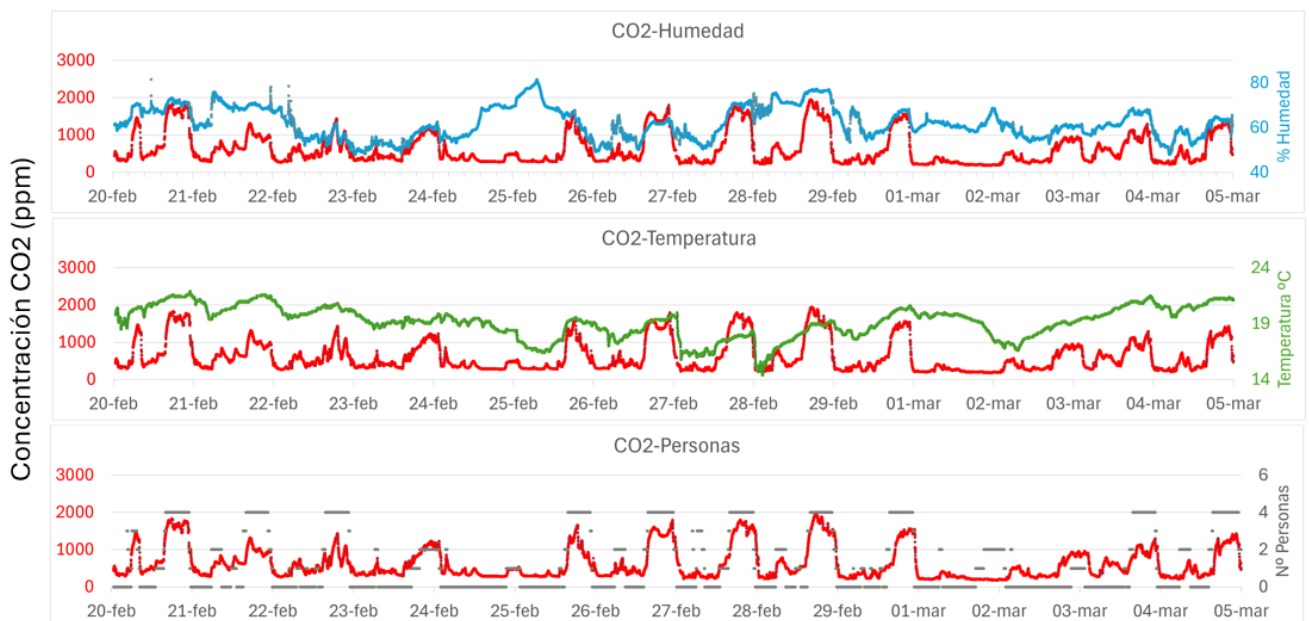


Figura 79 Comparativa de variables con el CO₂ en la camareta 2NE Exterior

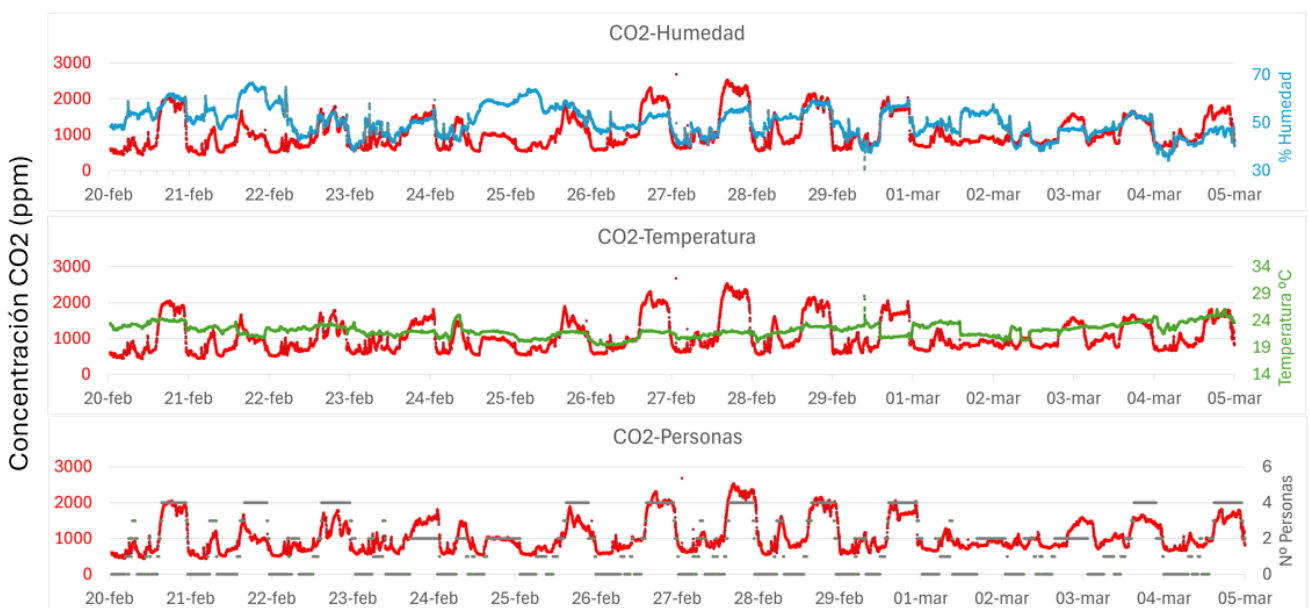


Figura 80 Comparativa de variables con el CO₂ en la camareta 2NE Interior

De la vista general en las Figura 78 Figura 79 y Figura 80 se puede comprobar cómo durante la semana, la tendencia es similar en los dos casos. Durante la noche se producen picos de CO_2 , mientras que durante el día es variable en función de la ocupación específica. Además, se observa cómo los límites de la camareta interior son superiores, debido a una mayor concentración de CO_2 .

Debido a la posibilidad que ofrece medir una camareta con la ventana hacia la ría y la otra hacia el patio interior, se va a comparar la evolución de las condiciones meteorológicas medias en ambas. De esta manera, se podrá observar si solo le afecta a la ventilación o también se ve afectada por la temperatura y la humedad.

Camareta 2NE Interior	
CO2-Humedad	0,35703867
CO2-Temperatura	0,2378581
CO2-Personas	0,79901255
Humedad-Temperatura	-0,1695645
Humedad-Personas	0,45205292
Temperatura-Personas	0,2229134

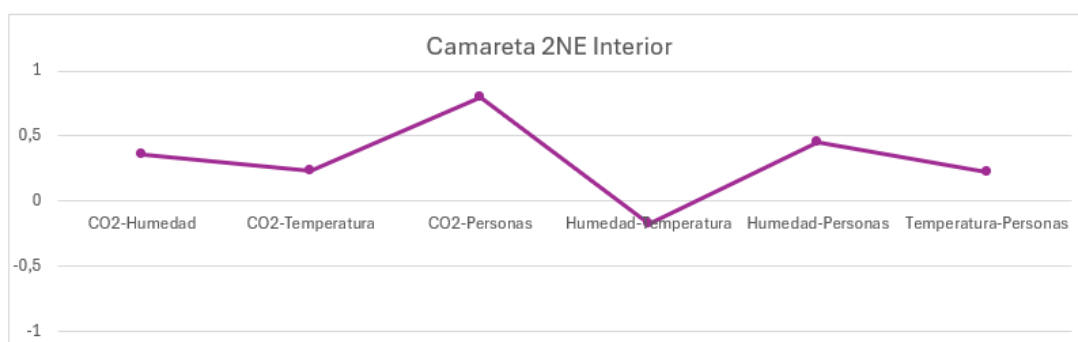


Figura 81 Correlaciones de Pearson en la camareta 2NE Exterior

De las Figura 81 y Figura 82 se obtienen las siguientes correlaciones de Pearson. En ambas se observa la alta correlación entre el CO_2 y las personas. En el caso de las camaretas, el dato de las personas ha sido controlado continuamente, evitando errores que puede haber en la biblioteca o el estudio debido a la medición de los dispositivos. De esta manera se puede decir que es el dato más fiable de número de personas.

Camareta 2NE Exterior	
CO2-Humedad	0,42155622
CO2-Temperatura	0,32971974
CO2-Personas	0,80402727
Humedad-Temperatura	-0,0109382
Humedad-Personas	0,3289405
Temperatura-Personas	0,30915813

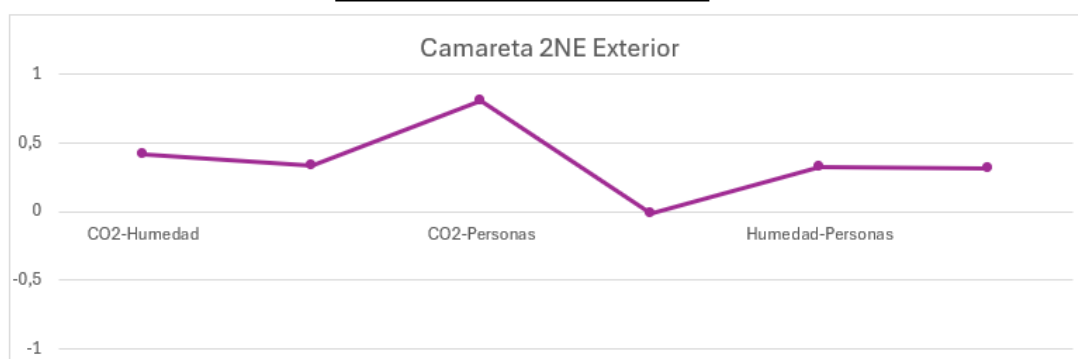


Figura 82 Correlaciones de Pearson en la camareta 2NE Interior

4.2.2 Análisis Minitab

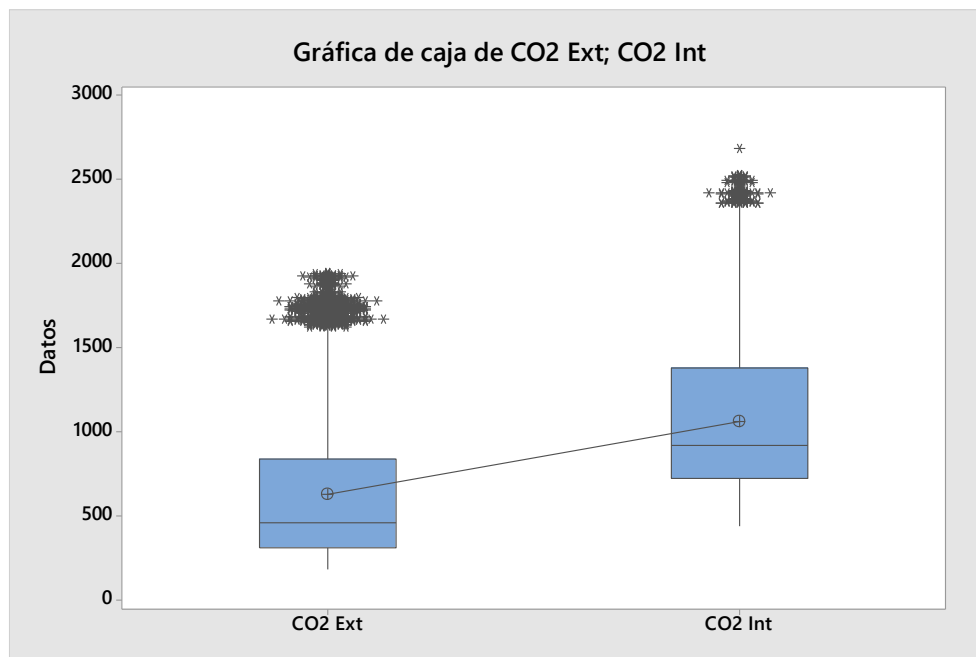


Figura 83 Gráfica de cajas de CO₂ en las camaretas

En la Figura 83 se observa cómo la media de concentración de CO₂, así como la distribución de los datos, es muy superior en la camareta que tiene la ventana hacia el interior. La Figura 84 muestra una distribución con una asimetría clara a la derecha. Seguiremos comparando los resultados para poder explicar con mayor profundidad a qué se debe.

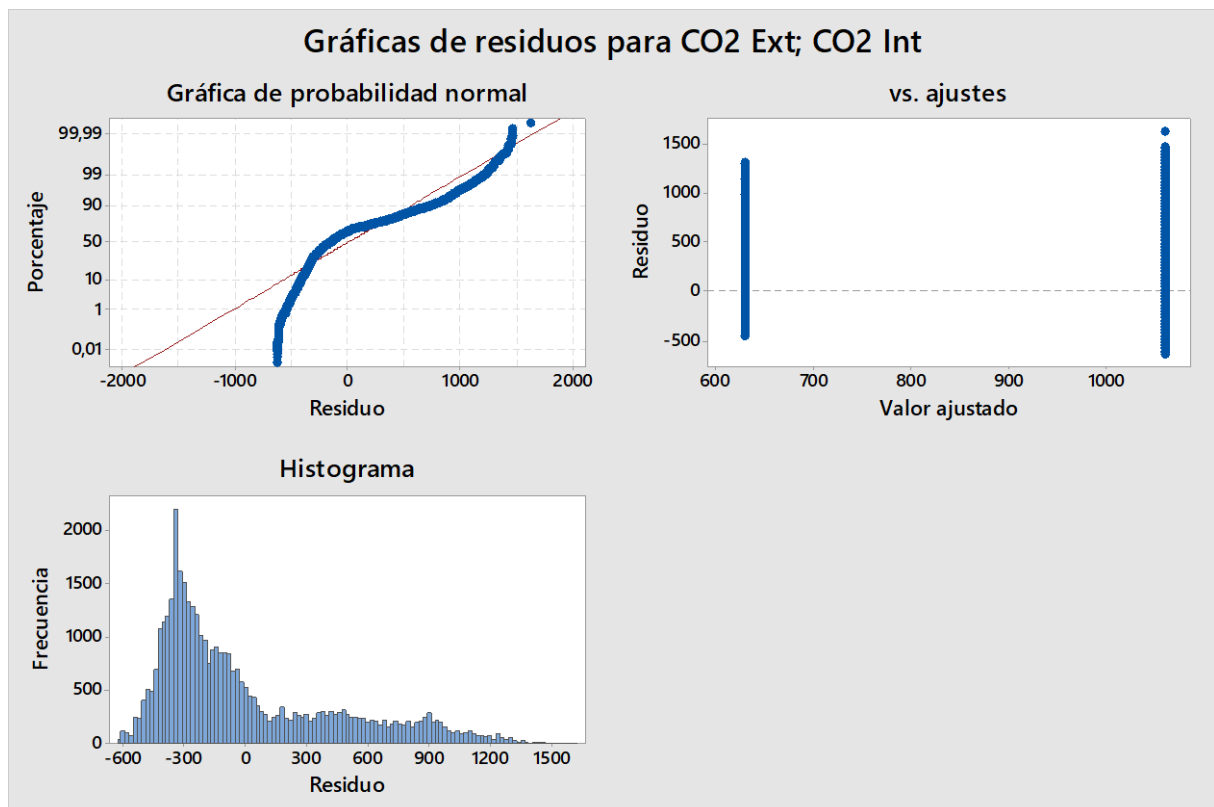


Figura 84 Gráfica de residuos de CO₂ en las camaretas

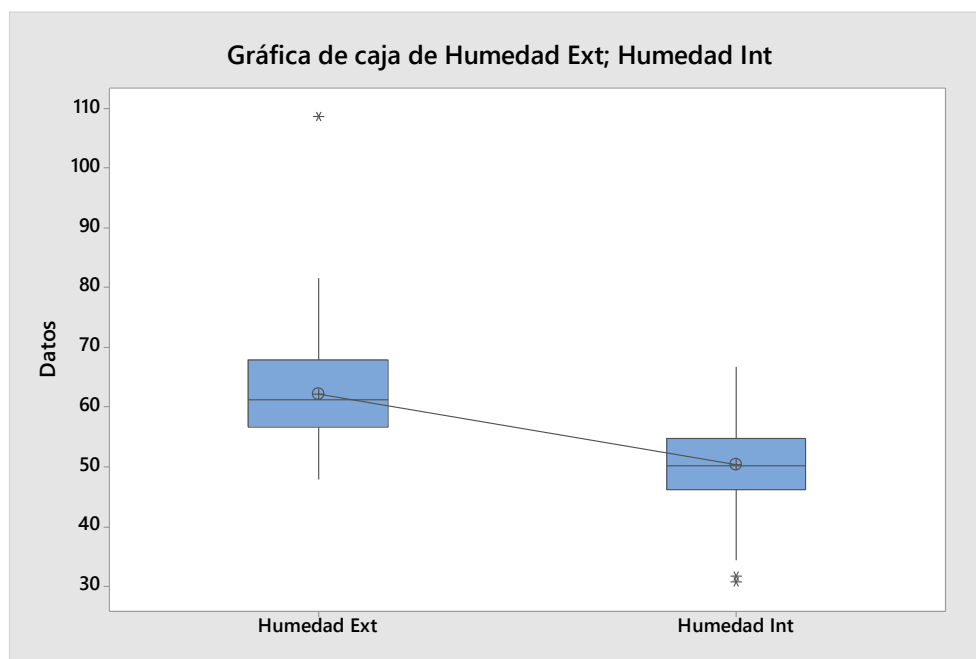


Figura 85 Gráfica de cajas de humedad en las camaretas

En la Figura 85 se muestra que la media de la humedad es superior en la camareta que da al exterior. Esto se debe a que el aire que entra en la camareta viene directamente de la ría, con una concentración mayor de vapor de agua. Sin embargo, el aire de la camareta interior presenta menor concentración de vapor de agua. La Figura 86 muestra una distribución normal.

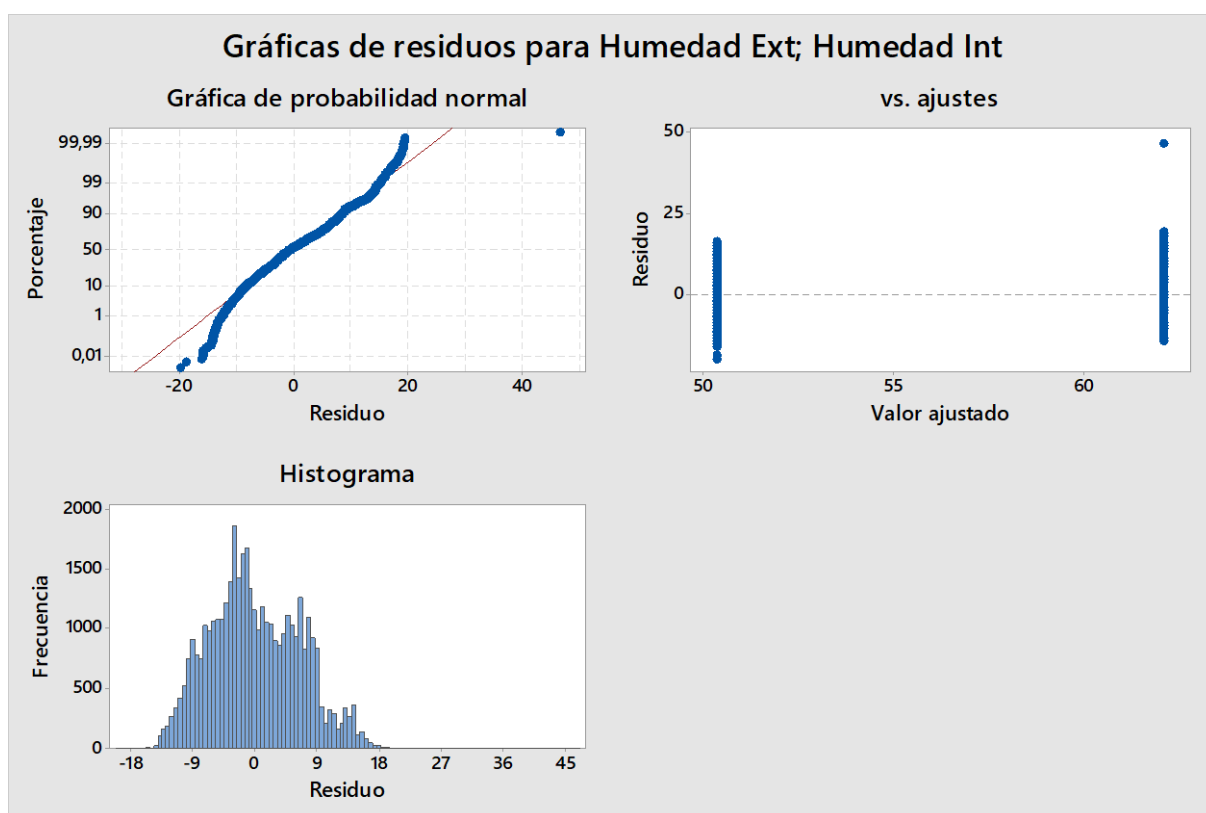


Figura 86 Gráfica de residuos de humedad en las camaretas

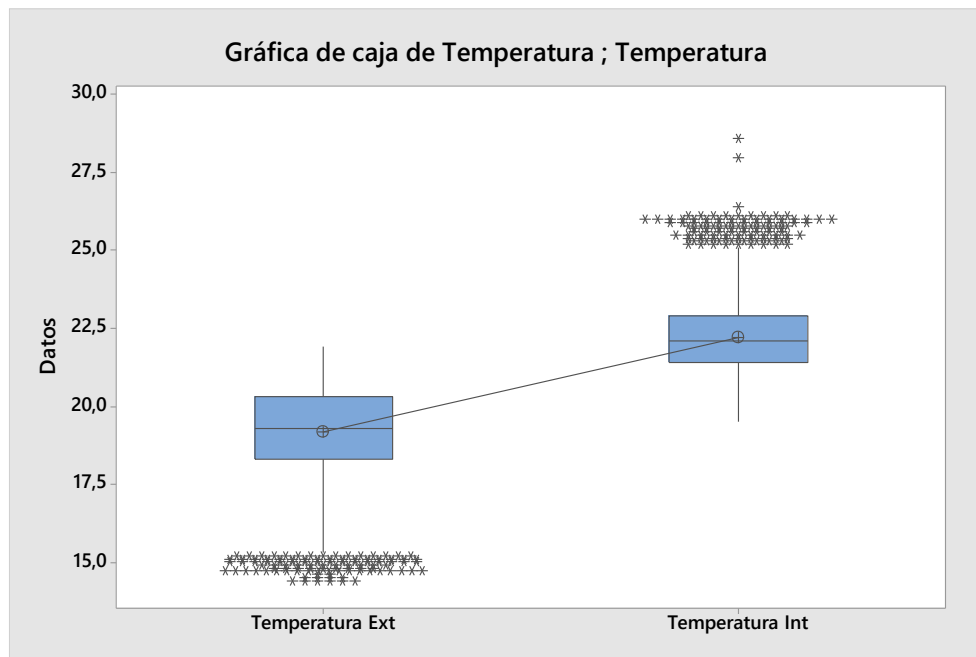


Figura 87 Gráfica de cajas de temperatura en las camaretas

En la Figura 87 se observa que en la camareta interior tiene no solo una media de temperatura mayor si no que la distribución de los datos también es superior. Por otro lado, en la gráfica de residuos para temperatura (Figura 88), a pesar de la normalidad de los datos se observan asimetrías en los ajustes, manteniendo la varianza constante.

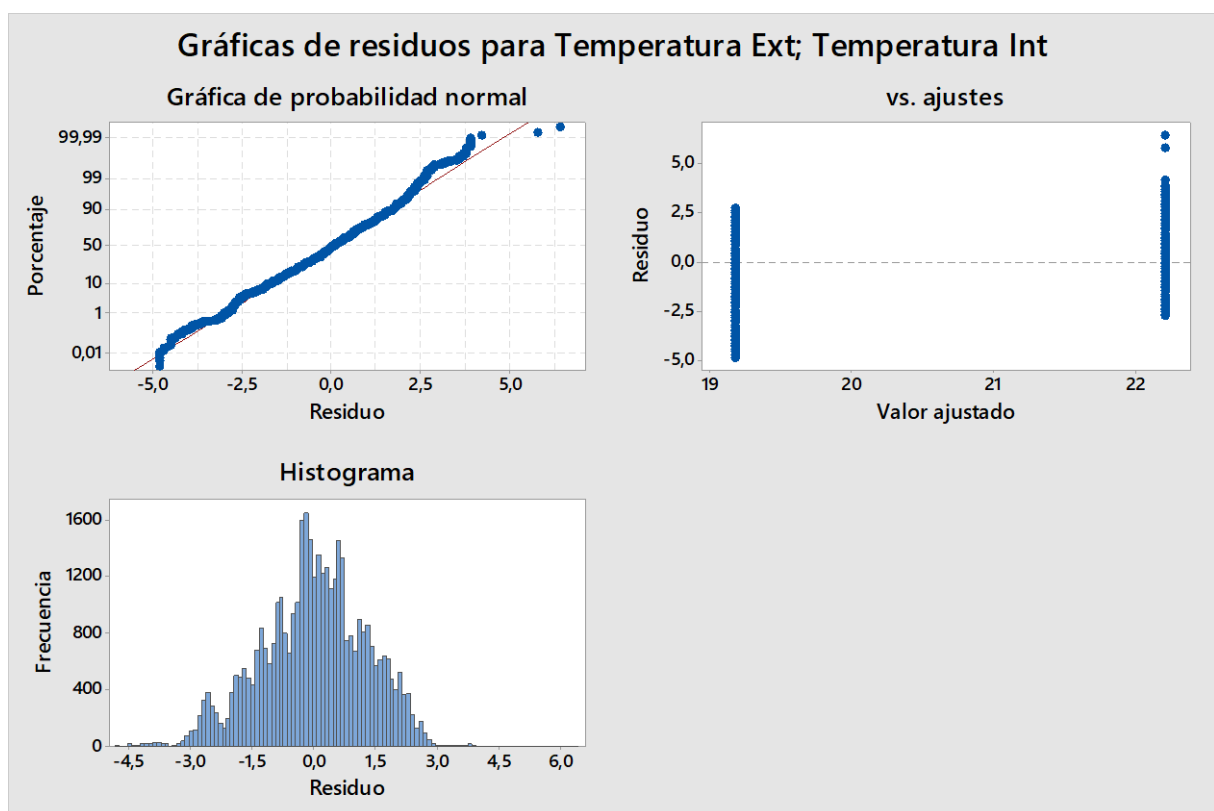


Figura 88 Gráfica de residuos de temperatura en las camaretas

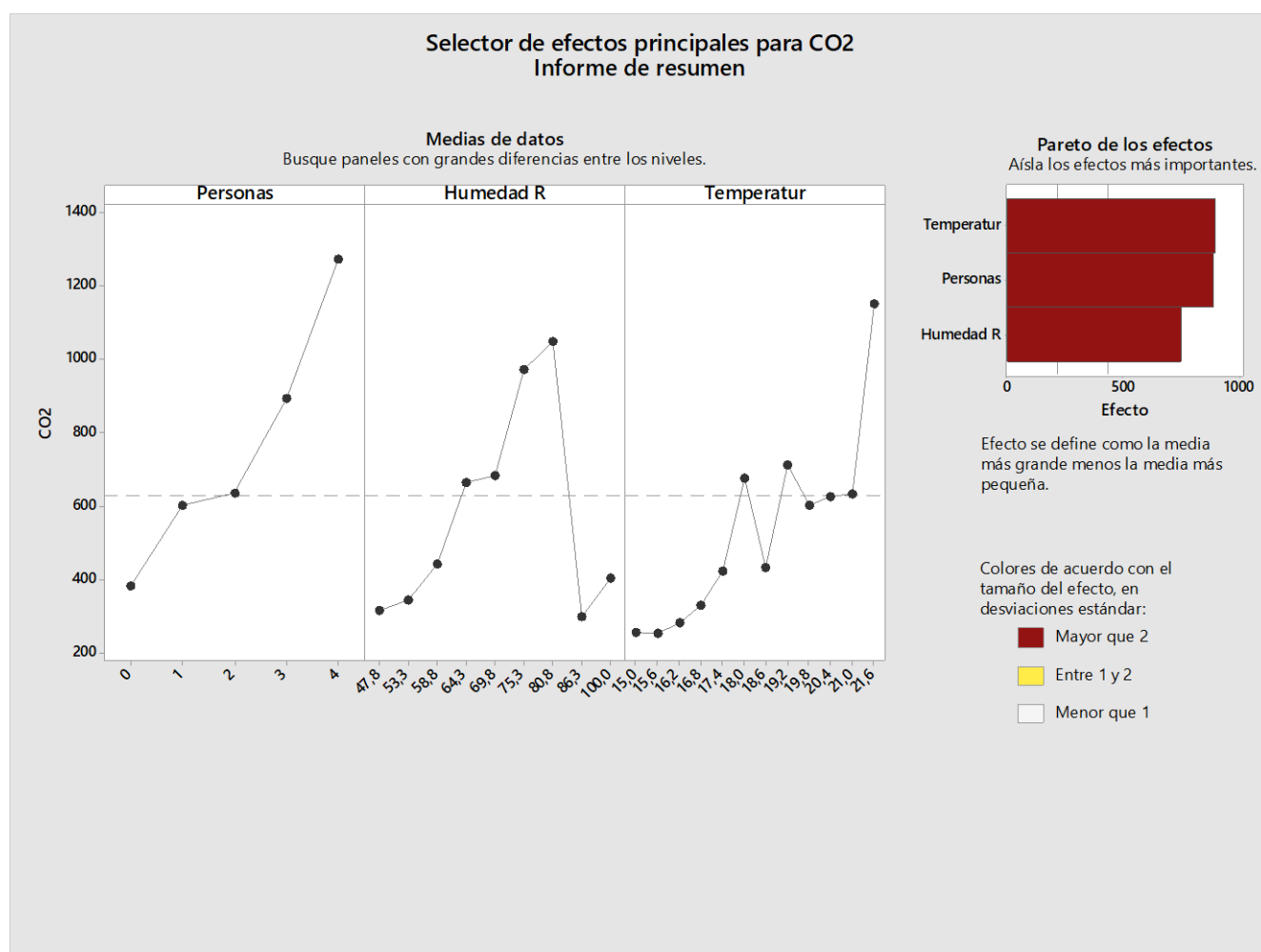


Figura 89 Gráfica de efectos principales en la camareta 2NE Exterior

La Figura 89 se observa una clara tendencia general tanto en personas como en temperatura. Tal y como se estudió con la correlación de Pearson, la variable más influyente es el número de personas. A continuación, se van a analizar la humedad y la temperatura de manera individual para estudiar su influencia en la variación de CO_2 . En términos generales se observa cómo la humedad tiene una buena correlación hasta valores inferiores a 80% de humedad. Sin embargo, en la temperatura se observa una tendencia positiva con algunos valores atípicos en el centro de la distribución.

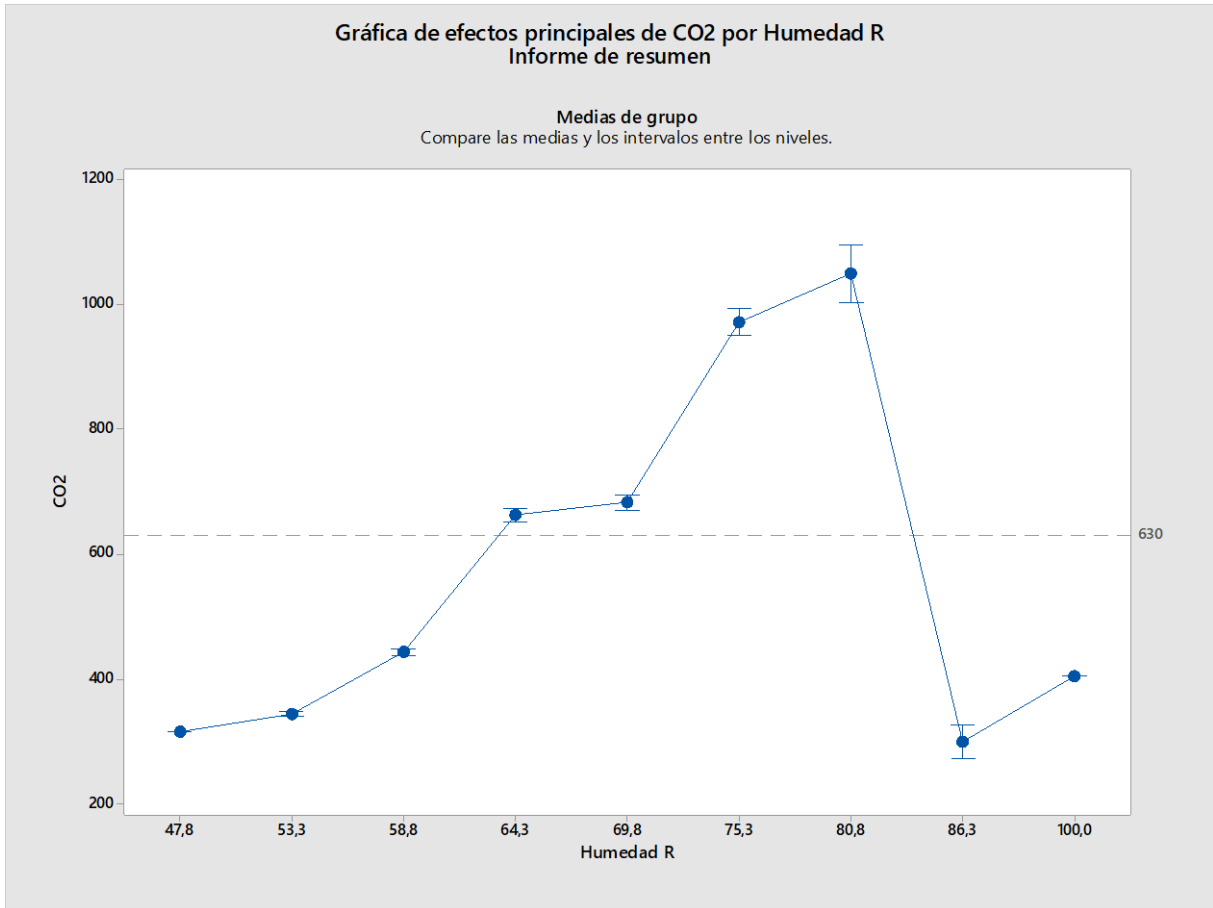


Figura 90 Gráfica de efectos principales CO₂-Humedad en la camareta 2NE Exterior

En la Figura 90 se observa una tendencia positiva clara hasta valores superiores a 80% de humedad relativa. Esto se debe a la precisión de medición del sensor. De hecho, hay uno de los datos que supera el 100% de humedad, quedando descartado para el estudio. Se ha incluido para mostrar que a pesar de que los límites técnicos eran de 100% pueden darse casos en los que la humedad supere este rango. Se muestra en la Figura 91 junto con la distribución de los datos

Gráfica de efectos principales de CO₂ por Humedad R
Informe de estadísticos descriptivos

Humedad R	N	Media	IC de 95% para la media	Desviación estándar
47,8	1	316	(*, *)	*
53,3	2001	343,49	(340; 347)	89,009
58,8	5114	443,18	(438; 448)	191,62
64,3	5673	663,22	(653; 674)	405,18
69,8	4207	682,71	(670; 695)	417,86
75,3	2316	971,45	(950; 993)	535,79
80,8	789	1048,9	(1002; 1096)	672,73
86,3	17	299,47	(273; 326)	51,695
100,0	1	405	(*, *)	*

Figura 91 Valores de la distribución de datos CO₂-Humedad en la camareta 2NE Exterior

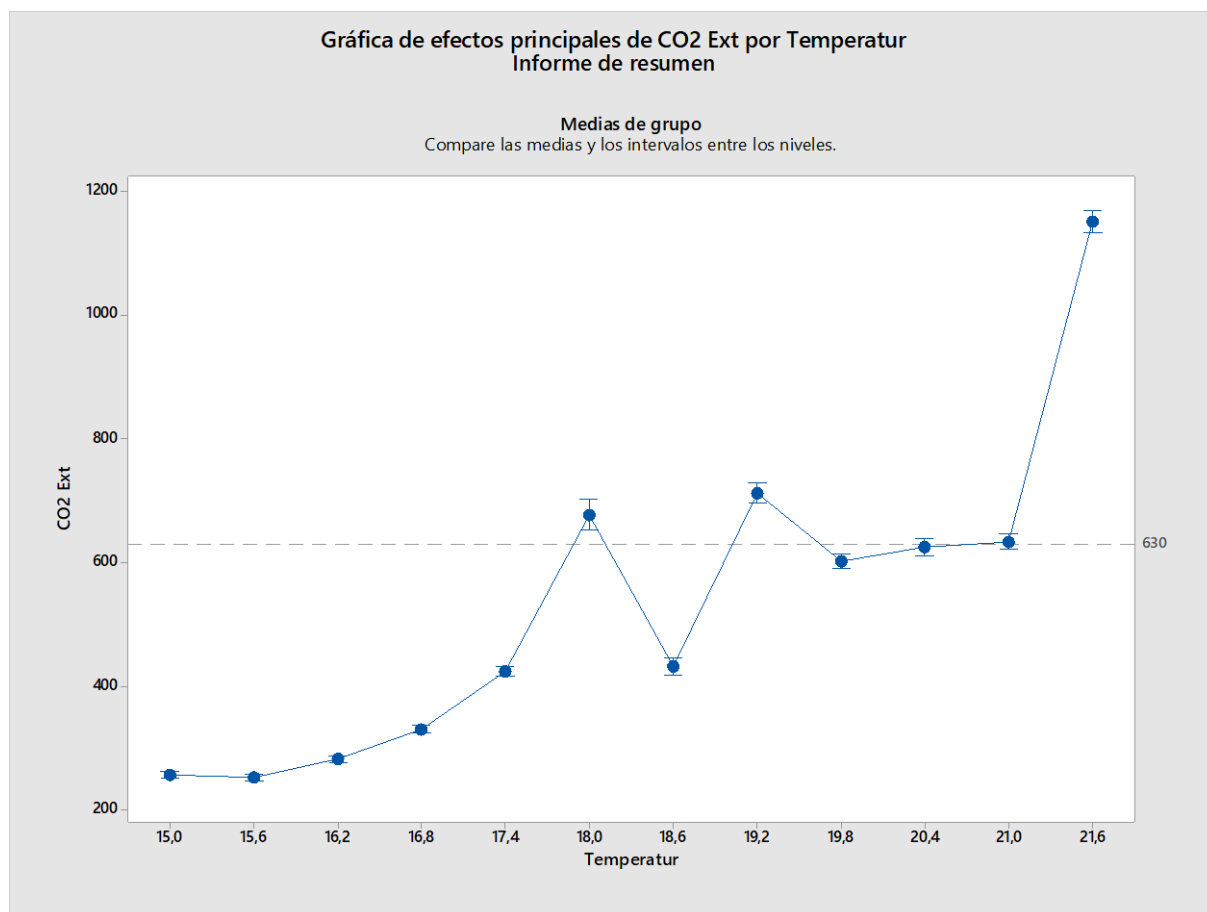


Figura 92 Gráfica de efectos principales CO₂-Temperatura en la camareta 2NE exterior

En la Figura 92 se observa una tendencia positiva con valores atípicos para temperaturas entre 17 y 19 grados. Contrastándolo con el histograma siguen una distribución normal por lo que deben de ser errores de lectura o simplemente que los datos de CO₂ se distribuyen a lo largo de la tendencia positiva. Además, en la Figura 93 se observa que para valores de temperatura por encima de 21 grados aumenta de la concentración de CO₂, con más de 1600 datos recogidos, por lo que podemos determinar un patrón en las camaretas.

Gráfica de efectos principales de CO2 Ext por Temperatur
Informe de estadísticos descriptivos

Temperatur	N	Media	IC de 95% para la media	Desviación estándar
15,0	68	256,47	(251; 262)	23,524
15,6	128	252,46	(247; 258)	30,559
16,2	267	281,94	(277; 287)	44,206
16,8	1074	330,49	(324; 337)	101,86
17,4	1090	423,35	(415; 432)	141,84
18,0	1747	677,08	(652; 702)	525,85
18,6	2008	432,25	(419; 446)	307,52
19,2	3212	712,00	(696; 728)	474,20
19,8	3962	601,51	(589; 614)	403,60
20,4	2612	624,66	(610; 639)	374,73
21,0	2261	633,40	(621; 646)	306,68
21,6	1690	1151,2	(1133; 1169)	376,46

Figura 93 Valores de la distribución de datos CO₂-Temperatura en la camareta 2NE Exterior

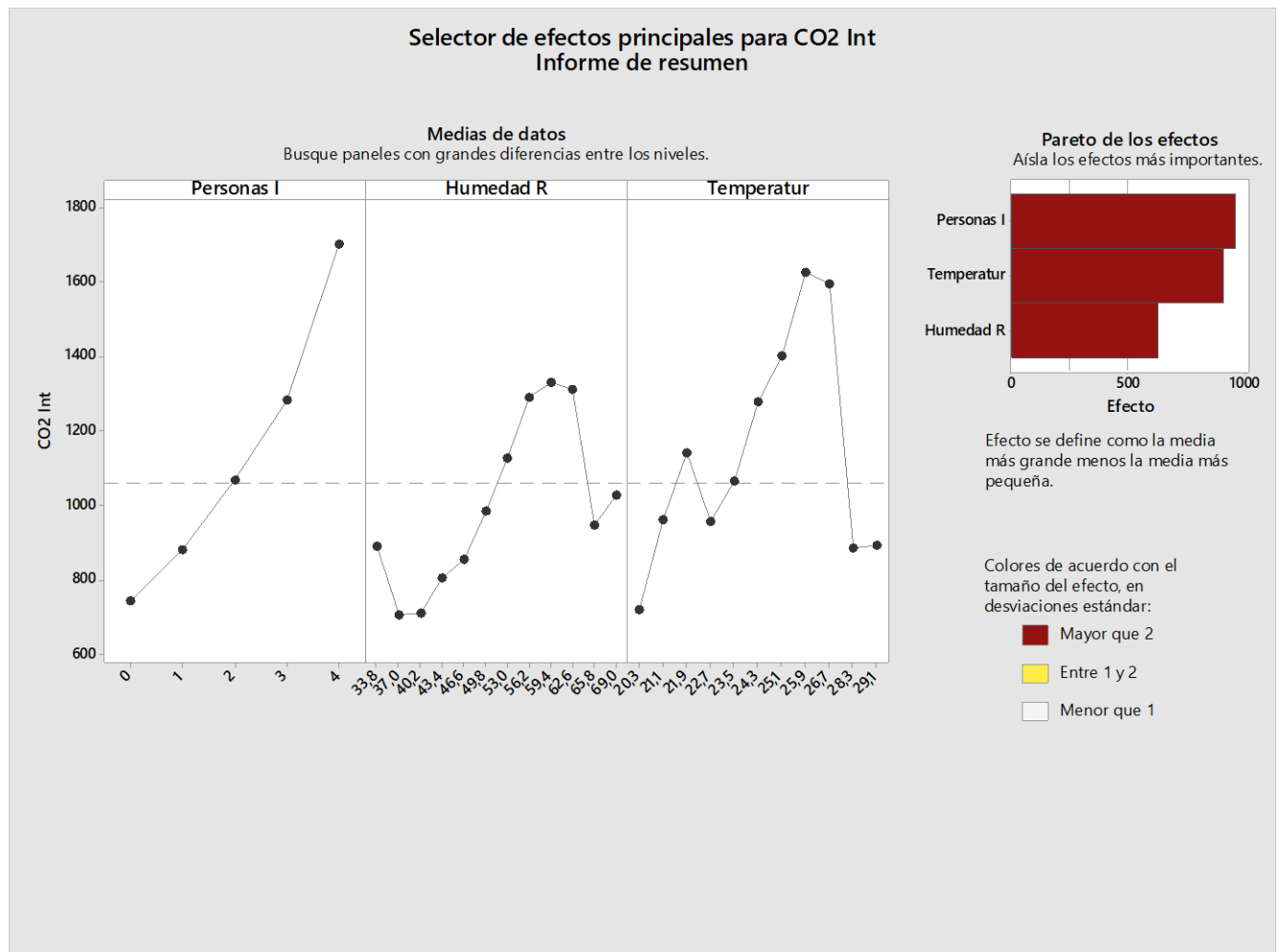


Figura 94 Gráfica de efectos principales en la camareta 2NE Interior

En la Figura 94 se muestra la gráfica de efectos principales de la camareta con la ventana al patio interior. Siguiendo la línea de la otra camareta la correlación entre el número de personas y el CO_2 es la más significativa. Por otro lado, se estudiarán las gráficas de la humedad y la temperatura. En términos generales se puede observar que la humedad presenta una buena correlación para el grueso de los datos, descartando tanto los mínimos como los máximos. La temperatura sigue una tendencia positiva, con valores atípicos para temperaturas superiores a 27°C .

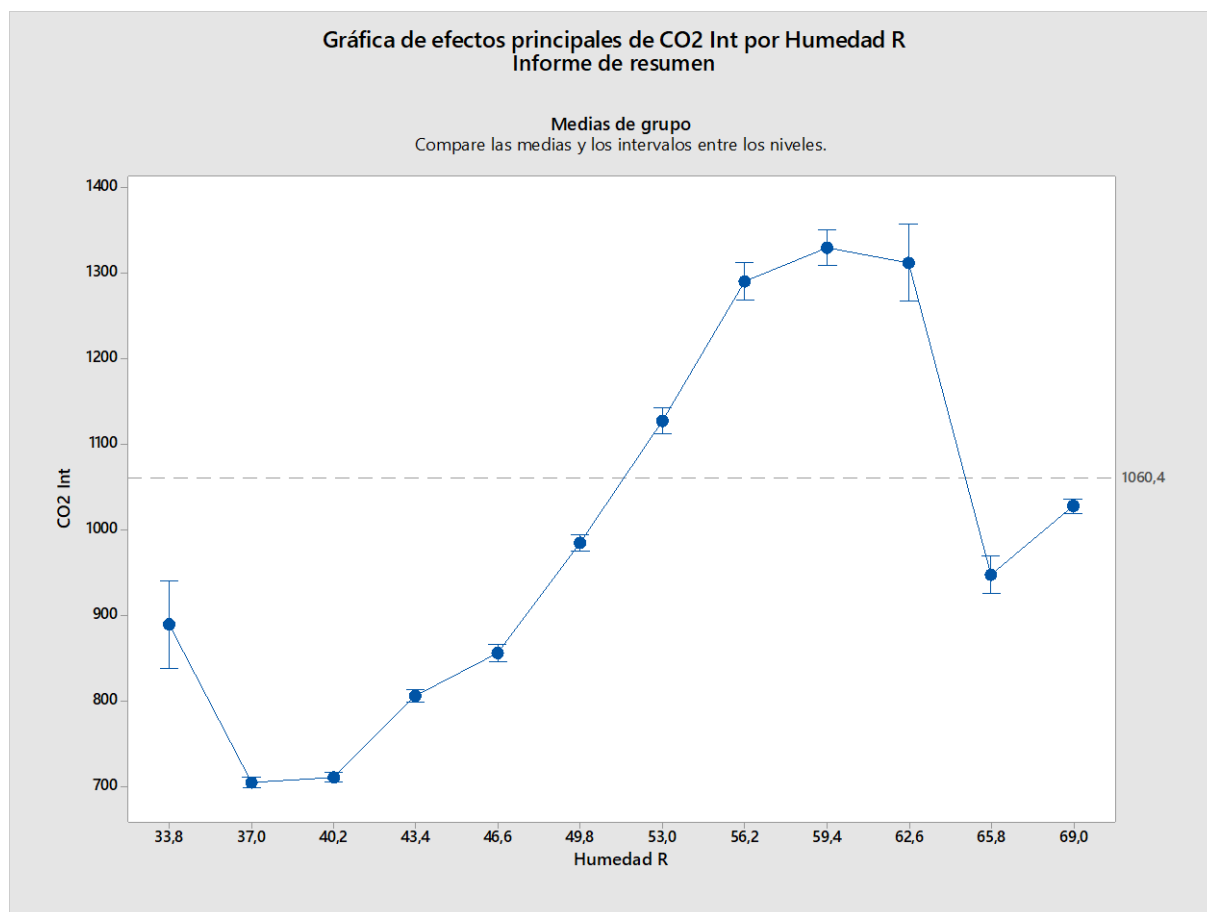


Figura 95 Gráfica de efectos principales CO₂-Humedad en la camareta 2NE Interior

En la Figura 95 se observa una clara tendencia positiva descartando los valores máximos y mínimos, debidos a una falta de datos contrastada con el histograma (Figura 96). Por lo tanto, entre 37% y 62% el aumento de humedad supone un aumento de la concentración de CO₂.

Gráfica de efectos principales de CO₂ Int por Humedad R
Informe de estadísticos descriptivos

Humedad R	N	Media	IC de 95% para la media	Desviación estándar
33,8	2	889	(838; 940)	5,6569
37,0	113	704,42	(699; 710)	31,564
40,2	605	709,89	(704; 716)	73,232
43,4	2023	805,34	(798; 813)	173,29
46,6	2803	855,65	(846; 865)	260,74
49,8	4307	984,32	(975; 994)	327,19
53,0	3624	1127,3	(1112; 1142)	460,22
56,2	3001	1290,7	(1269; 1312)	602,32
59,4	2297	1329,4	(1309; 1350)	508,41
62,6	723	1312,2	(1268; 1357)	609,30
65,8	538	947,03	(926; 968)	251,43
69,0	83	1027,3	(1019; 1036)	37,515

Figura 96 Valores de la distribución de datos CO₂-Humedad en la camareta 2NE Interior

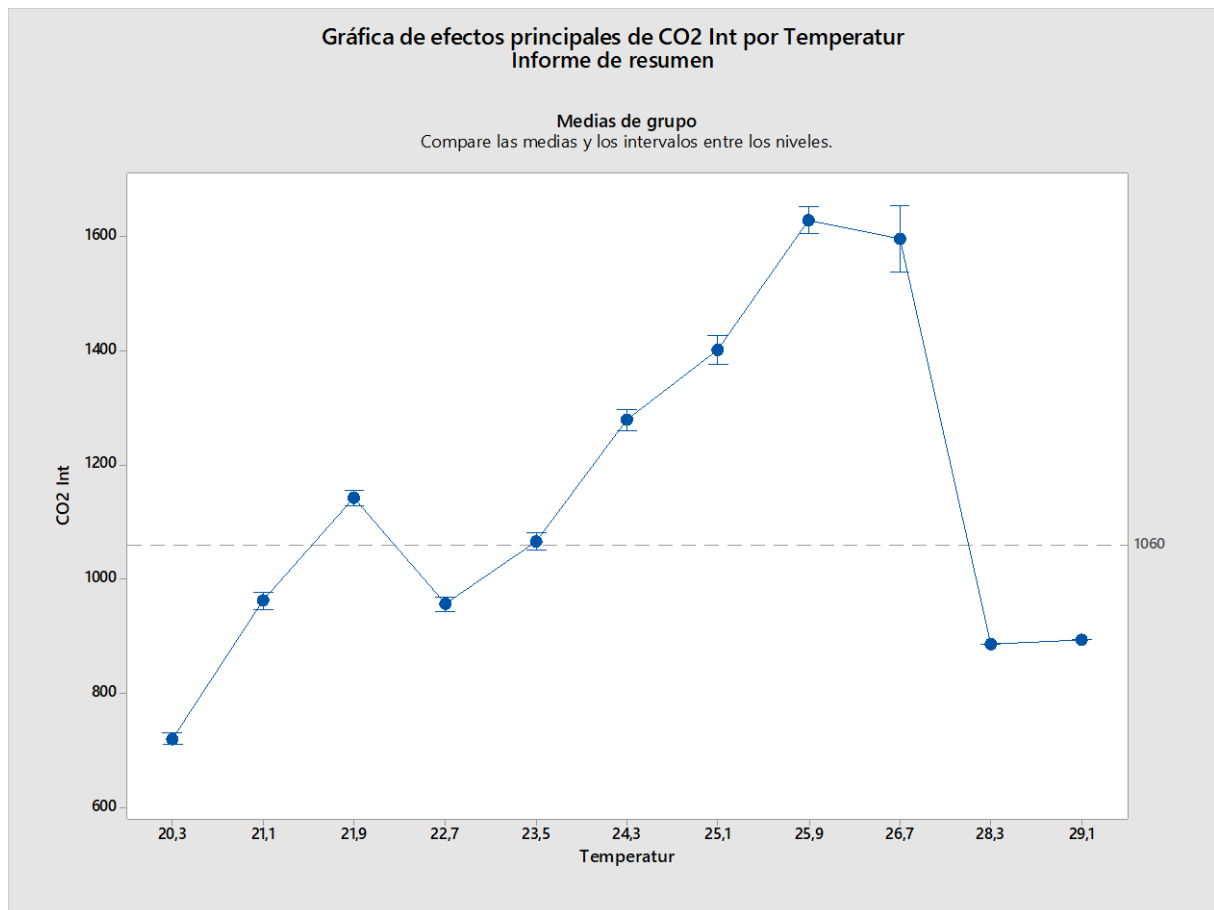


Figura 97 Gráfica de efectos principales CO₂-Humedad en la camareta 2NE Interior

En la Figura 97 se observa una tendencia positiva, con valores atípicos para temperaturas de 21,9°C. De todas maneras, se mantiene la hipótesis de que a mayor temperatura aumenta la concentración de CO₂. Como se muestra en la Figura 98, para valores superiores a 27°C se descartan los resultados debido a que solo hay un dato de cada uno.

Gráfica de efectos principales de CO₂ Int por Temperatur
Informe de estadísticos descriptivos

Temperatur	N	Media	IC de 95% para la media	Desviación estándar
20,3	1040	719,82	(711; 729)	151,54
21,1	2555	961,95	(947; 977)	392,14
21,9	5081	1141,4	(1128; 1155)	488,93
22,7	5112	955,58	(943; 968)	442,81
23,5	3594	1065,6	(1051; 1080)	450,02
24,3	1967	1278,0	(1259; 1297)	423,53
25,1	668	1401,2	(1376; 1426)	329,51
25,9	74	1626,8	(1603; 1650)	101,26
26,7	26	1594,5	(1536; 1653)	145,30
28,3	1	885	(*, *)	*
29,1	1	893	(*, *)	*

Figura 98 Valores de la distribución de datos CO₂-Temperatura en la camareta 2NE Interior

4.2.3 Resultados de las camaretas

Este análisis se centra en tres de los objetivos del TFG señalados en el apartado 1.2: correlación de datos, estudio si se cumplen las condiciones de salubridad y propuestas de buenas prácticas.

- Correlación de datos

En la Tabla 6 se resumen los resultados de las dos camaretas. Esta será utilizada para el apartado de conclusiones. En cada uno de los sensores se analizan dos variables, la primera de todas es la tendencia, que puede ser: positiva, nula o negativa. La segunda fila corresponde a la correlación, marcada primero por una consideración general (alta, parcial, baja) y después con un análisis más detallado, si correspondiese.

SENSOR	N.º DE PERSONAS	HUMEDAD	TEMPERATURA
Camareta exterior	Positiva	Positiva	Positiva
	Correlación alta	Correlación alta salvo en valores máximos	Correlación alta salvo tres valores atípicos
Camareta interior	Positiva	Positiva	Positiva
	Correlación alta	Correlación alta salvo en valores mínimos y máximos	Correlación alta salvo en valores máximos

Tabla 6 Resumen resultados en la camareta

En las tres condiciones la tendencia es positiva y la correlación alta, aunque en algunos casos se observan valores atípicos en los valores máximos y mínimos.

La condición más influyente es el número de personas. Debido a que se ha llevado un control exhaustivo de la ocupación los resultados son concluyentes: a mayor número de personas mayor concentración de CO₂.

- Condiciones de salubridad

Los niveles máximos de concentración superan los valores máximos recomendados por la OMS (mostrados en la Figura 12) en la camareta que da al interior en muchas ocasiones (Figura 99), sobre todo cuando se encuentran los 4 alumnos en la camareta. En la que ofrece su ventana al exterior se observa cómo supera los niveles durante la noche, cuando los alumnos duermen, pero la concentración desciende rápidamente con la ventilación de la mañana. En la Figura 100 se detalla un análisis más preciso de 24 horas para demostrar estos resultados.

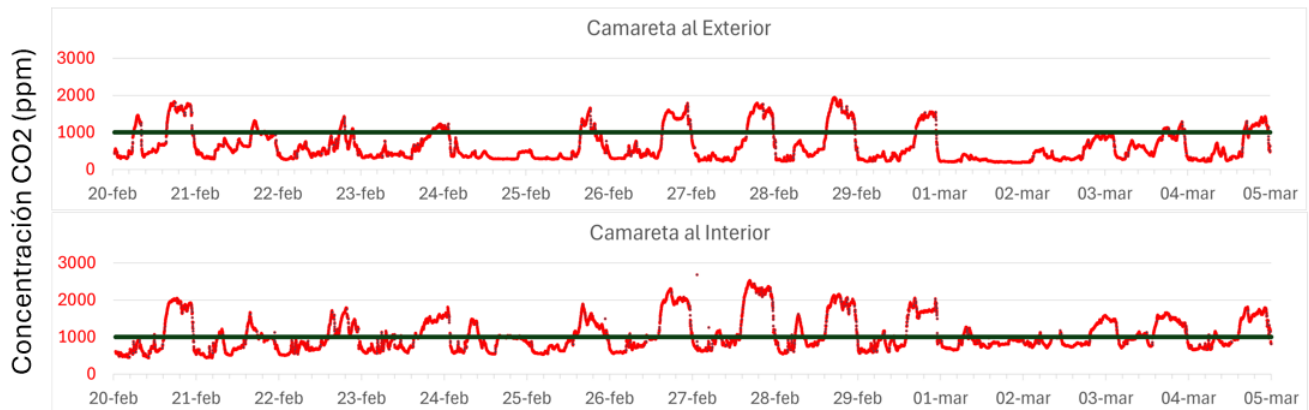


Figura 99 Gráfica de CO₂ en las camaretas con el límite recomendado por la OMS (general)

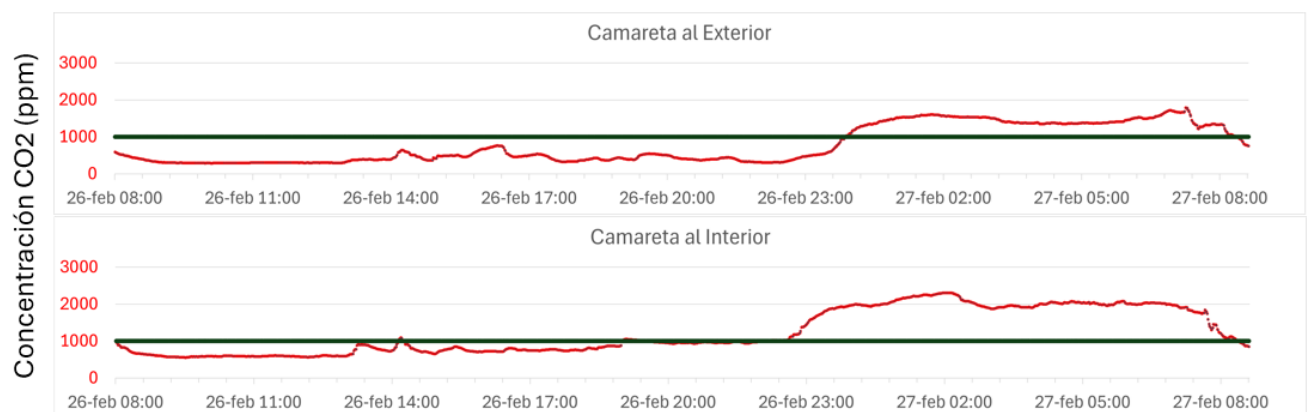


Figura 100 Gráfica de CO₂ en las camaretas con el límite recomendado por la OMS (24 horas)

- Propuestas de buenas prácticas

Mantener la ventilación el máximo tiempo posible, sobre todo a primera hora de la mañana y después de la hora de descanso por la tarde (15:30h).

4.3 Estudio

4.3.1 Análisis General

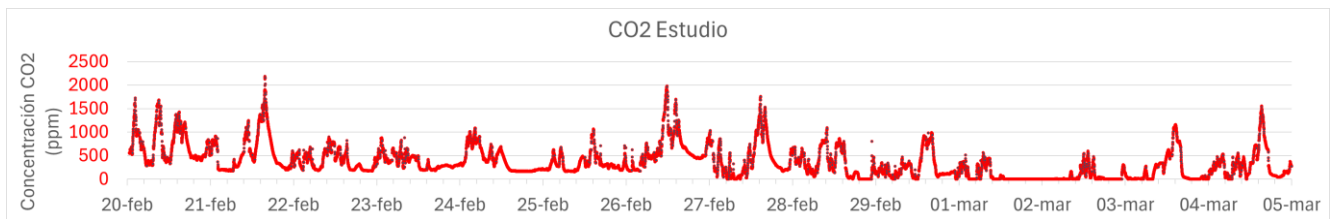


Figura 101 Vista general de los datos de CO₂ en el estudio

De la Figura 101 se puede observar los picos pronunciados en lugar de otros más estables en las distintas zonas de estudio. Esto se debe a la influencia de la respiración de los alumnos en los sensores, colocados a menos de medio metro del asiento.

Además, se observa en la Figura 102 cómo a partir del 27 de febrero en los momentos de menor concentración se alcanzan valores cercanos a 0. Esto se debe seguramente a un desajuste del sensor. Como se ha estudiado en el apartado 2, los valores normales en la atmósfera están cercanos a las 300 ppm de CO₂. El día 2 de marzo, coincidiendo con sábado se observa que no varía el CO₂ de 0 ppm.

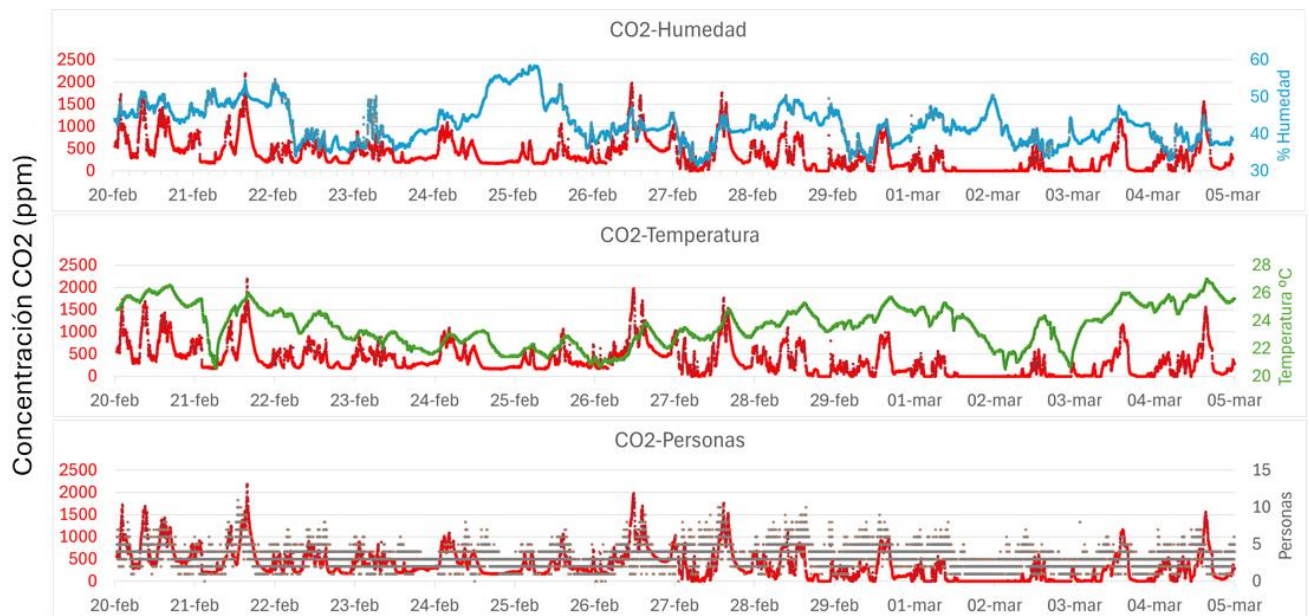


Figura 102 Comparativa general del estudio

La ocupación del estudio se debería encontrar entre 0-8 personas, pero debido al constante flujo de personas hay picos de 10. Se estudiará la influencia teniendo en cuenta que en el uso de los alumnos es normal que puedan concurrir en el mismo tiempo 10 personas en el estudio, ya que se utilizan para explicar cuestiones o tomar decisiones de planeamiento sobre las prácticas militares.

Estudio	
CO2-Humedad	0,3374198
CO2-Temperatura	0,2760405
CO2-Personas	0,3449677
Humedad-Temperatura	-0,0136686
Humedad-Personas	0,0299751
Temperatura-Personas	0,2953555

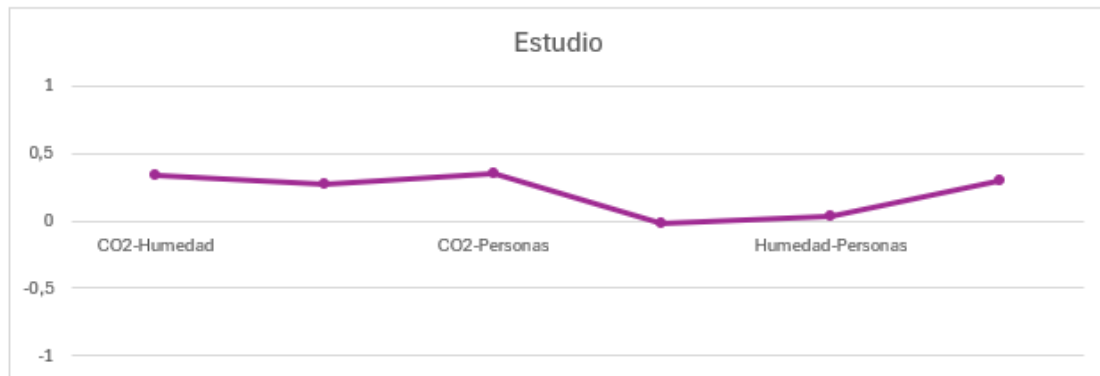


Figura 103 Correlaciones de Pearson en el estudio

El análisis de correlaciones de Pearson de la Figura 103 se ve condicionado por los errores del sensor con los valores nulos. De esta manera no se puede concluir la influencia de ninguna variable sobre otra.

4.3.2 Análisis Minitab

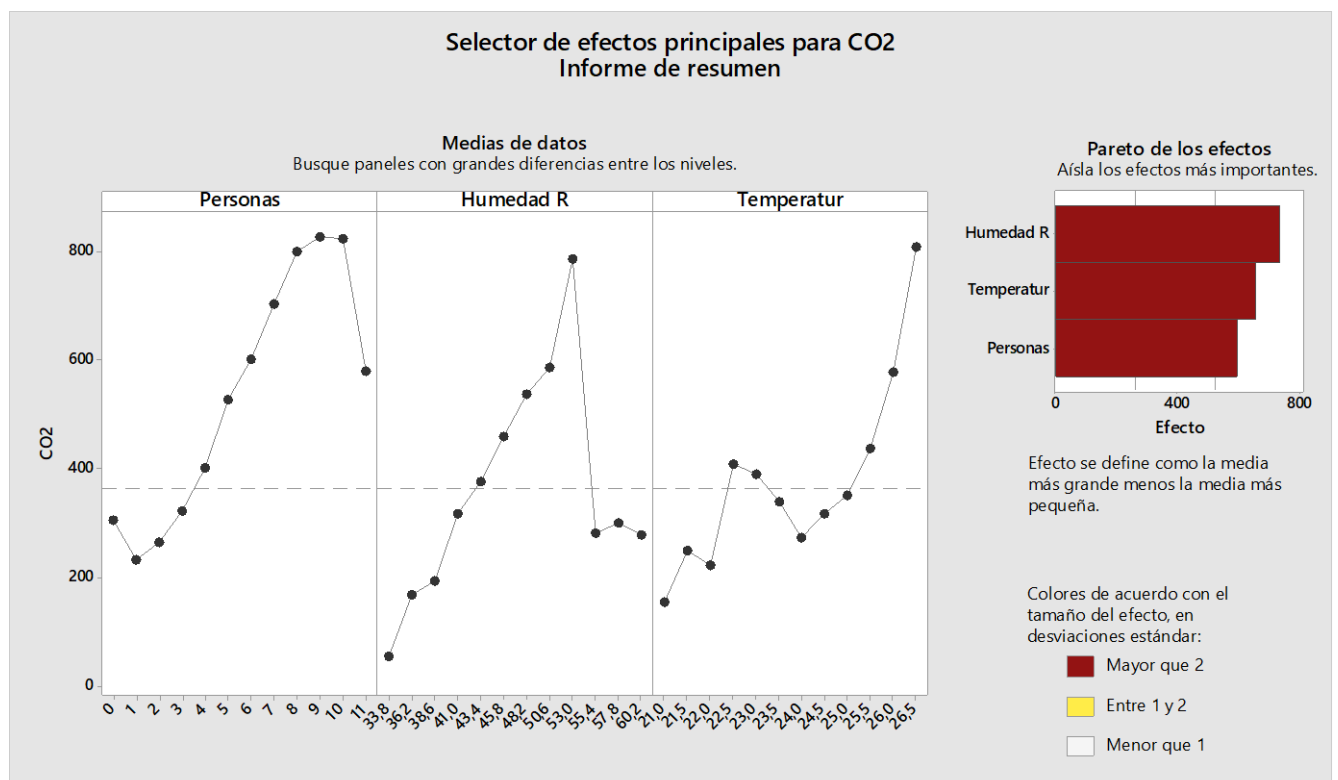


Figura 104 Gráfica de efectos principales en el estudio

A pesar de que el estudio de correlaciones no parecía mostrar ningún patrón, gracias al análisis de efectos principales de Minitab se puede ver en la Figura 104 cómo influyen tanto el número de personas, humedad y temperatura. Se destaca además la media de la concentración de CO₂, inferior a 400 ppm debido a los errores en el sensor durante la segunda semana de medición.

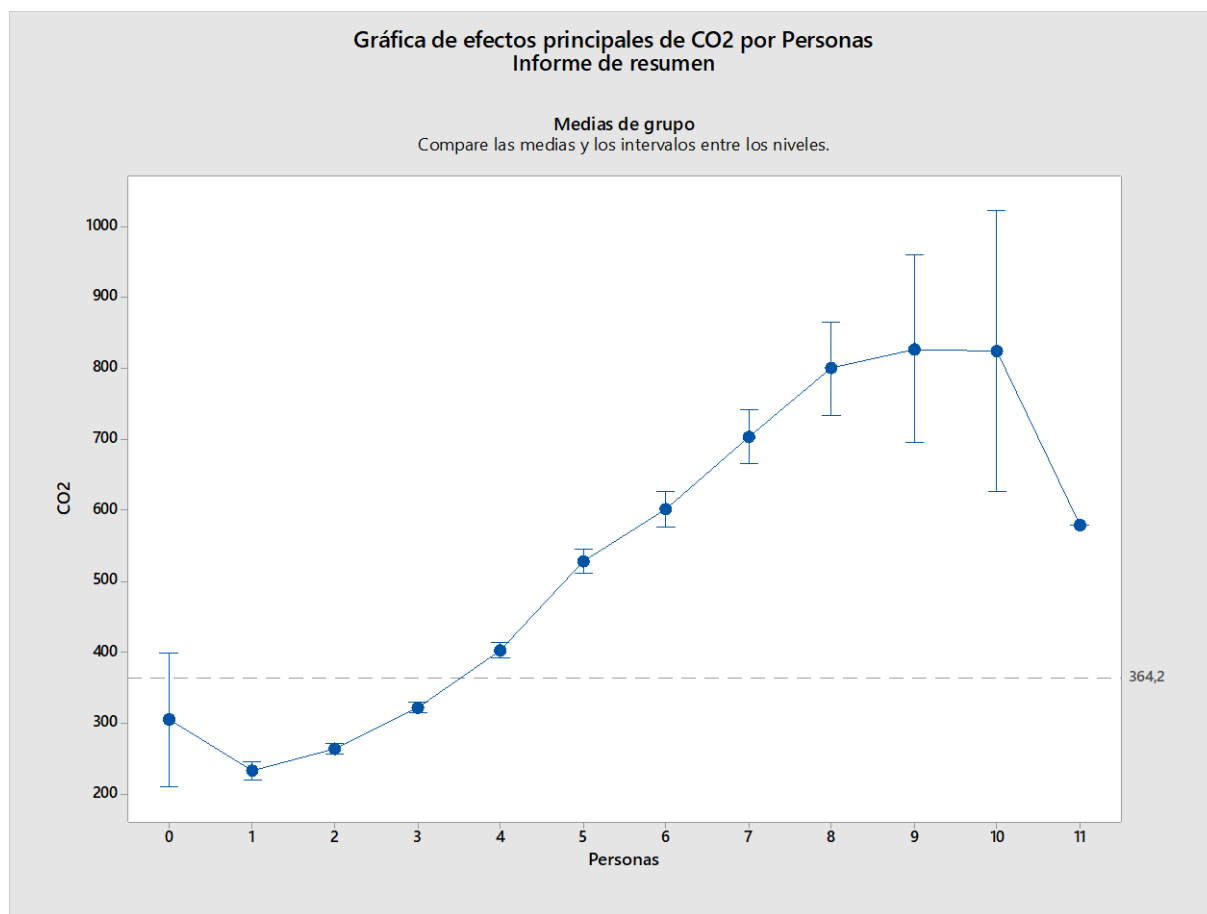


Figura 105 Gráfica de efectos principales CO₂-Personas en el estudio

En la Figura 105 se observa una clara correlación positiva, descartando los valores máximos y mínimos (0 y 11 personas) debido a los pocos datos que tiene (Figura 106).

Gráfica de efectos principales de CO₂ por Personas
Informe de estadísticos descriptivos

Personas	N	Media	IC de 95% para la media	Desviación estándar
0	12	304,58	(210; 399)	148,09
1	1431	232,92	(220; 246)	245,38
2	4769	263,58	(256; 271)	257,44
3	6231	322,33	(315; 330)	294,00
4	4112	402,06	(392; 413)	344,89
5	2046	528,01	(511; 545)	392,54
6	938	601,26	(576; 627)	394,35
7	392	703,13	(666; 741)	378,13
8	132	800,20	(735; 866)	381,13
9	41	826,73	(695; 959)	418,81
10	15	824,07	(626; 1022)	357,29
11	1	579	(*; *)	*

Figura 106 Valores de la distribución de datos CO₂-Personas en el estudio

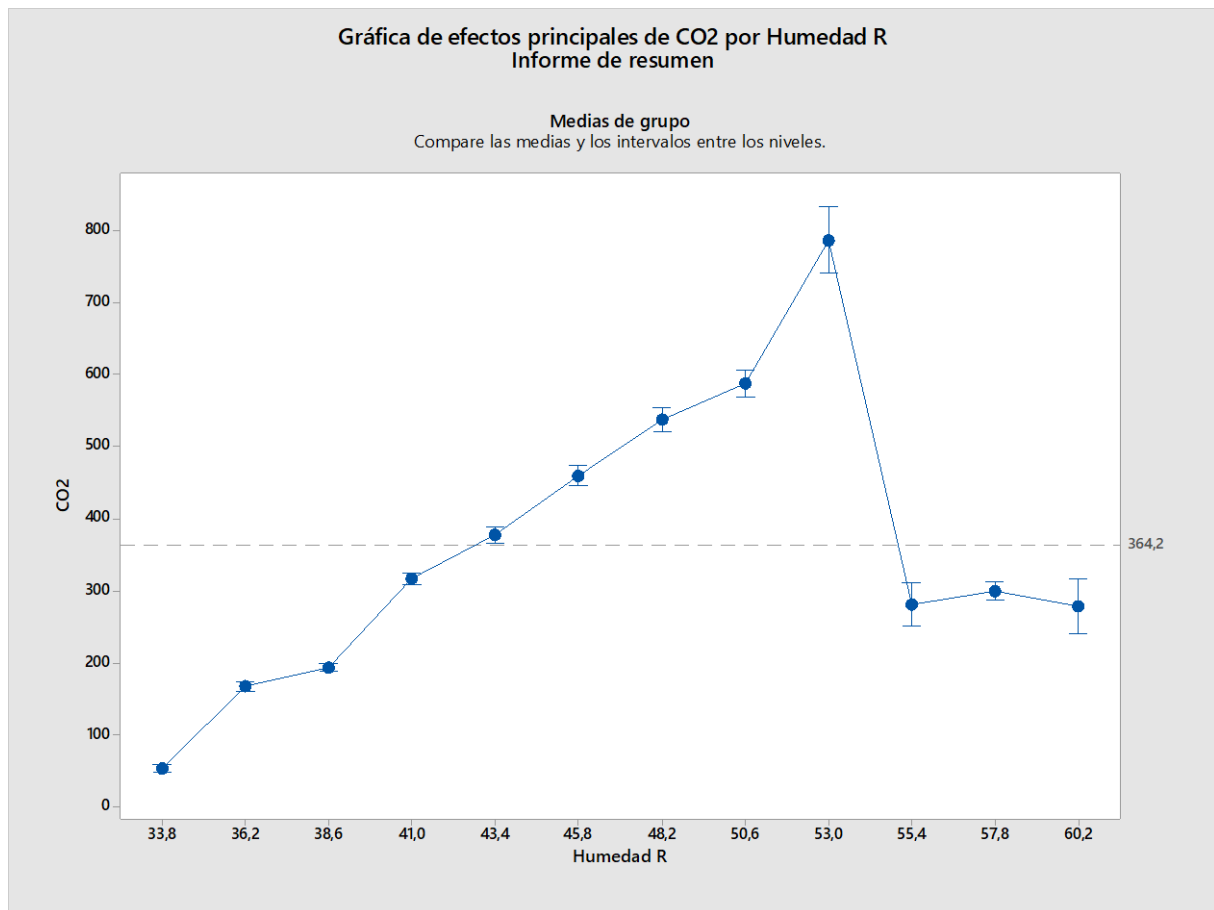


Figura 107 Gráfica de efectos principales CO₂-Humedad en el estudio

En la Figura 107 se observa que para valores inferiores a 55% presenta una alta correlación positiva, sin embargo, se mantiene estable en torno a las 300 ppm a partir de estos valores. Además, difiere de la humedad obtenida en el sensor de la camareta al exterior, la cual mostraba datos entre 50-80% de humedad. Esto se debe a que el sensor del estudio se encontraba situado más cerca del pasillo que de la ventana, pudiendo verse influenciado por el aire seco de este. En la Figura 108 se muestra una distribución normal de los datos.

Gráfica de efectos principales de CO₂ por Humedad R
Informe de estadísticos descriptivos

Humedad R	N	Media	IC de 95% para la media	Desviación estándar
33,8	433	53,328	(48,2; 58,5)	54,696
36,2	1432	166,98	(160; 174)	126,00
38,6	3349	193,71	(188; 199)	170,57
41,0	3240	316,25	(308; 324)	225,04
43,4	3761	377,10	(366; 388)	339,55
45,8	2969	459,71	(447; 473)	364,13
48,2	1917	537,46	(521; 554)	360,62
50,6	1477	587,07	(568; 606)	365,75
53,0	538	785,98	(740; 832)	544,56
55,4	516	281,06	(251; 311)	348,71
57,8	389	299,42	(286; 313)	131,53
60,2	99	278,07	(239; 317)	193,74

Figura 108 Valores de la distribución de datos CO₂-Humedad en el estudio

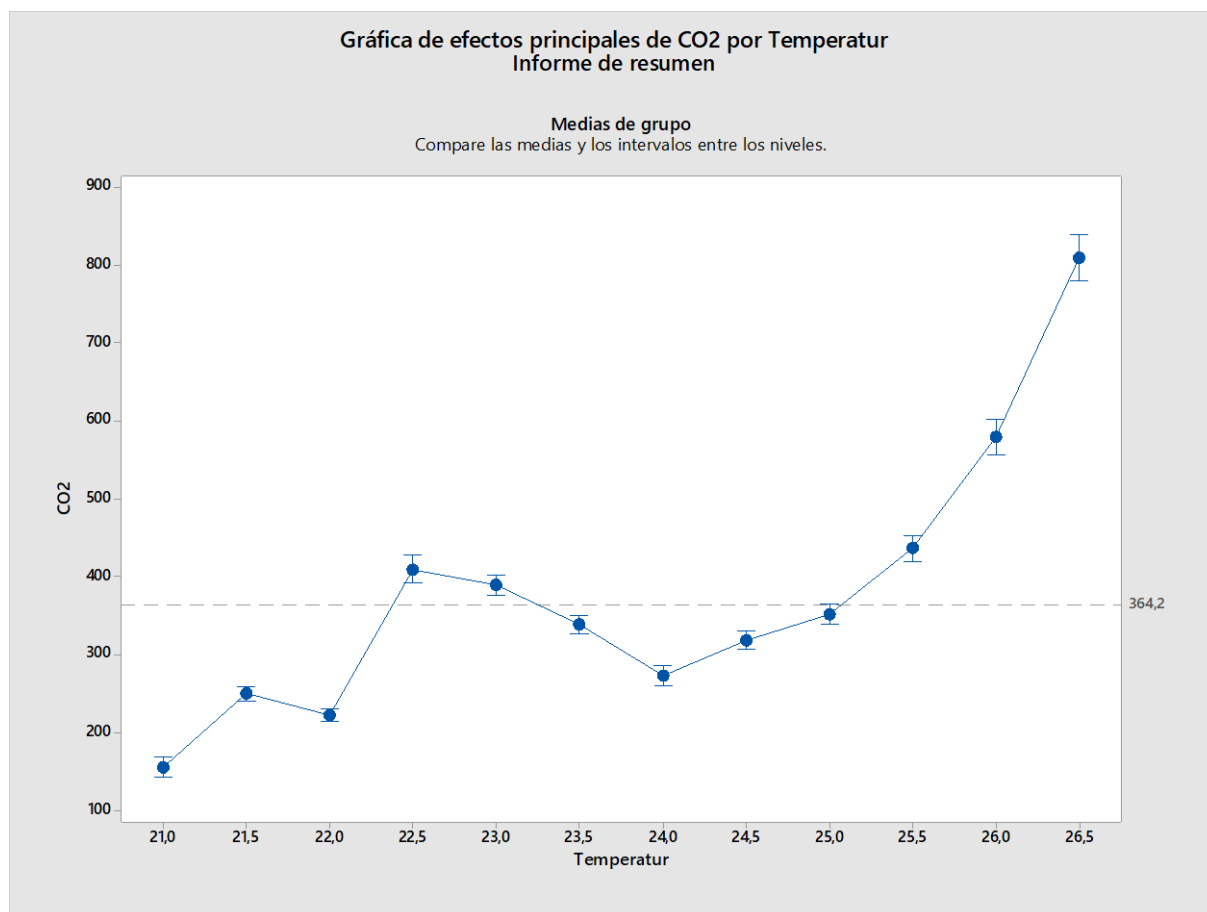


Figura 109 Gráfica de efectos principales CO₂-Temperatura en el estudio

En la Figura 109 se observa una tendencia positiva, con valores atípicos a lo largo de la distribución para temperaturas entre 22 y 24°C. A partir de 24°C se observa una clara correlación positiva. Por otro lado, la distribución mostrada en la Figura 110 muestra una normalidad de los datos.

Gráfica de efectos principales de CO₂ por Temperatur
Informe de estadísticos descriptivos

Temperatur	N	Media	IC de 95% para la media	Desviación estándar
21,0	377	154,89	(142; 168)	127,30
21,5	1310	249,63	(240; 259)	170,88
22,0	1952	222,25	(214; 230)	183,36
22,5	1308	409,09	(391; 427)	327,63
23,0	2489	389,02	(376; 402)	325,20
23,5	2144	338,82	(327; 350)	274,69
24,0	2316	272,83	(260; 286)	311,95
24,5	2065	317,71	(306; 330)	273,76
25,0	2069	351,37	(338; 365)	305,30
25,5	1922	436,63	(420; 453)	371,48
26,0	1430	578,81	(555; 602)	455,21
26,5	738	809,20	(780; 838)	403,84

Figura 110 Valores de la distribución de datos CO₂-Temperatura en el estudio

4.3.3 Resultados del estudio

Este análisis se centra en 3 de los objetivos del TFG señalados en el apartado 1.2: correlación de datos, estudio si se cumplen las condiciones de salubridad y propuestas de buenas prácticas.

- Correlación de datos

En la Tabla 7 se resumen los resultados del estudio. Esta será utilizada para el apartado de conclusiones. Se analizan dos variables, la primera de todas es la tendencia, que puede ser: positiva, nula o negativa. La segunda fila corresponde a la correlación, marcada primero por una consideración general (alta, parcial, baja) y después con un análisis más detallado, si correspondiese.

SENSOR	N.º DE PERSONAS	HUMEDAD	TEMPERATURA
	Positiva	Positiva	Positiva
Estudio	Correlación alta salvo en valores máximos y mínimos	Correlación alta salvo en valores máximos	Correlación alta salvo en valores mínimos

Tabla 7 Resumen resultados en el estudio

En las tres condiciones la tendencia es positiva y la correlación alta, aunque en algunos casos se observan valores atípicos en los valores máximos y mínimos.

- Condiciones de salubridad

Los niveles máximos de concentración superan los valores máximos recomendados por la OMS mostrados en la Figura 12 en momentos de estudio nocturno con más de 6 alumnos presentes (esto ha sido comprobado con las herramientas desarrolladas en el Anexo IV). En la Figura 111 se muestra un gráfico de la evolución del nivel de CO₂ con el límite recomendado por la OMS.

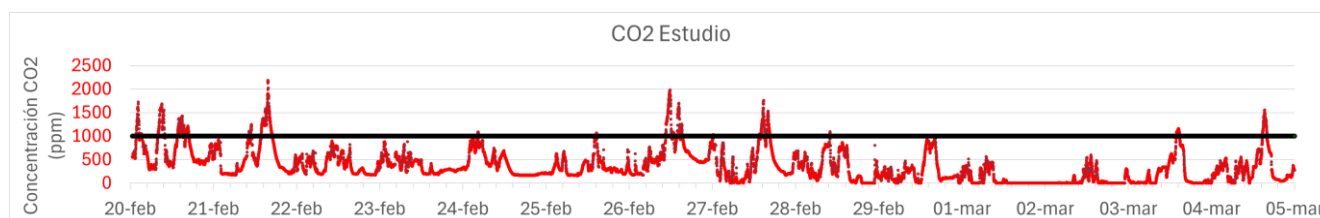


Figura 111 Gráfica de CO₂ en el estudio con el límite recomendado por la OMS (general)

Se observa una tendencia variable a sobrepasar el límite, aumenta en días en los que hay más alumnos en el estudio debido a una menor carga lectiva. Para ver las horas de los momentos de mayor concentración en la Figura 112 se analiza la evolución en los días 26 y 27 de febrero (lunes y martes).

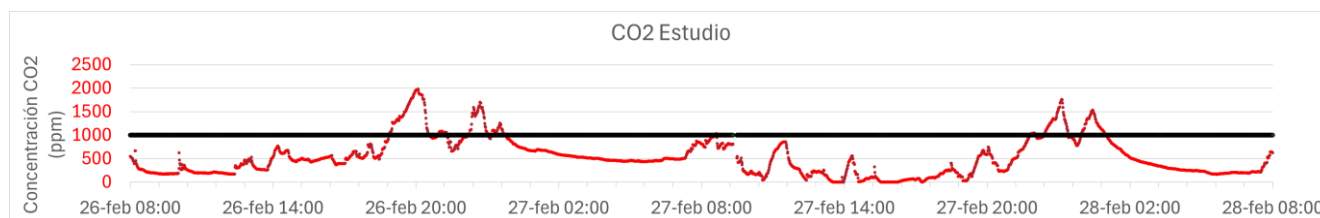


Figura 112 Gráfica de CO₂ en el estudio con el límite recomendado por la OMS (48 horas)

- Propuestas de buenas prácticas

Mantener la ventilación el máximo tiempo posible, sobre todo durante el periodo de estudio. Gracias a la configuración de las ventanas explicada en el apartado 3.3.1 se puede realizar la ventilación de manera parcial con solo un tramo de ventana abierto, permitiendo la renovación del aire sin perder tanto calor.

4.4 Resultados generales

Para obtener un valor cuantitativo a partir de las conclusiones cualitativas del apartado 4 se ha desarrollado la Tabla 8.

VARIABLE	DESCRIPCIÓN	VALOR
CORRELACIONES	Alta	1
	Alta salvo valores extremos	0,9
	Alta salvo valores atípicos	0,7
	Parcial	0,5
	Baja	0
TENDENCIAS	Positiva	1
	Nula	0
	Negativa	-1

Tabla 8 Valores datos obtenidos de los resultados

De esta manera se obtienen los valores mostrados en la Figura 113.

		Nº de Personas	Humedad	Temperatura
Biblioteca	Tendencia	1,00	0,33	1,00
	Correlación	0,93	0,17	0,80
Camareta Ext	Tendencia	1,00	1,00	1,00
	Correlación	1,00	0,90	0,70
Camareta Int	Tendencia	1,00	1,00	1,00
	Correlación	1,00	0,90	0,90
Estudio	Tendencia	1,00	1,00	1,00
	Correlación	0,90	0,90	0,90

Figura 113 Valores de tendencia y correlación de los distintos espacios medidos

Para cada lugar medido se ha aplicado un coeficiente, resumido en la Tabla 9. De esta manera la biblioteca es la que más valor tiene, debido a que se utilizaron tres medidores a la vez. Además, el número de personas en las camaretas también tiene un coeficiente mayor, debido a que se llevó un control de entrada más allá de los valores obtenidos.

ESPACIO	N.º DE PERSONAS	HUMEDAD	TEMPERATURA
BIBLIOTECA	2	2	2
CAMARETA EXT	2	1	1
CAMARETA INT	2	1	1
ESTUDIO	1	1	1

Tabla 9 Coeficientes aplicados a variables en función de la zona de medición

Se resumen los datos totales aplicando los coeficientes en la Figura 114. Se puede observar cómo el factor determinante es el número de personas, mientras que la temperatura y la humedad habría que estudiarlos en casos particulares como los realizados en este capítulo en cada uno de los espacios estudiados.

		Nº de Personas	Humedad	Temperatura
Total	Tendencia	1,00	0,52	0,71
		Positiva	-	-
	Correlación	0,97	0,43	0,59
		Alta	-	-

Figura 114 Valores totales de tendencia y correlación

5 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

En este TFG se ha estudiado la calidad del aire en los espacios de uso del alumnado de la ENM mediante la medición de la concentración de CO₂. Además, se han medido otros parámetros y se ha realizado un seguimiento de los espacios estudiados, obteniendo un estudio más completo y un análisis más preciso. De esta manera se determina el nivel de CO₂ muy ligado al número de personas, temperatura, humedad y a la ventilación. Por otro lado, se concluye que en todos los espacios estudiados hay determinados momentos en los que se superan los niveles recomendados para mantener una calidad ambiental correcta. Este apartado se basa en la parte 3 de la norma UNE 171330, que determina las pautas, requisitos y la toma de medidas que se deben de seguir para tener una buena calidad del aire.

5.1 Conclusiones

El trabajo se ha centrado en analizar los factores que tienen un mayor impacto en la variación del CO₂. Se han superado las expectativas iniciales introduciendo nuevos métodos de comparación desarrollados. Por lo tanto, se concluye que el número de personas es el factor más determinante en la concentración de CO₂. La razón es que la respiración es el único foco productor de CO₂ en los espacios estudiados.

Además, se ha realizado el estudio de los espacios elegidos, tomando la documentación existente para estudiar las dimensiones. Se ha analizado su ubicación en el cuartel como por ejemplo el hecho de estudiar una camareta con la ventana al exterior y otra al interior para comparar los resultados. Se ha llevado también un control de la ocupación en las camaretas, llevando a resultados mucho más precisos en el análisis con el número de personas en el interior.

Por otro lado, se ha creado una base de datos sobre la calidad del aire, quedando reflejada a lo largo del estudio y más específicamente en el Anexo IV. Esto facilitará nuevos estudios en la materia permitiendo seguir las líneas de recomendación de la OMS para llevar un control constante en la calidad del aire de los espacios interiores.

De esta manera se han analizado las situaciones en las que no se mantienen las condiciones de salubridad en función de los requisitos establecidos por la OMS (explicados en el apartado 2.3.1). En función del espacio estudiado se concluye lo siguiente:

- Biblioteca: entre las 8 y media y las 10 y media de la tarde, coincidiendo con el máximo de ocupación, el estudio nocturno de los alumnos. Además, la ventilación se ve condicionada por la diferencia de temperatura con el exterior.
- Camaretas: entre las 11 de la noche y las 8 de la mañana, cuando los 4 alumnos descansan
- Estudio: entre las 8 y las 10 de la tarde, coincidiendo con el estudio nocturno, con más de 6 alumnos estudiando.

Gracias a este estudio se ha podido comprobar que se mantienen las condiciones mínimas establecidas por la OMS, salvo en momentos de máxima ocupación. Se plantean soluciones solo para estos.

La principal propuesta de mejora es llevar a cabo una correcta ventilación. La más sencilla es la ventilación natural. Como se ha explicado en el apartado 2.2.4 se pueden combinar distintos métodos de ventilación. Debido a que los picos de concentración de CO_2 coinciden con momentos nocturnos se podría realizar una ventilación forzada mediante medios fijos instalados en la biblioteca, camaretas y estudios. Se propone una ventilación entre estos espacios y los pasillos, que mantienen la misma temperatura con concentraciones menores de CO_2 debido a su uso de paso. Esto ayudaría a mantener una correcta ventilación sin perder el calor interior.

5.2 Líneas futuras

En el marco del desarrollo de este trabajo han surgido nuevas ideas y posibles objetivos realizables en un futuro. La finalidad de este apartado es aportar luz sobre las líneas de actuación en trabajos relacionados con este tema, todavía en desarrollo. Estas se basan en nuevas zonas de estudio, mejores formas de medición y nuevos métodos de comparación. A continuación, se exponen algunas de ellas:

1. Estudio de la calidad del aire como el realizado en este TFG, comparando las condiciones ambientales exteriores e interiores. Realizar un estudio de correlación entre ellas.
2. Desarrollo del sistema de ventilación para las camaretas y estudios de la ENM con el fin de instalarlo en el cuartel Almirante Francisco Moreno.
3. Simulación de los datos de concentración de CO_2 con el programa MATLAB para comparar los resultados con los reales y verificar que son correlacionables
4. Estudio de la influencia de la respiración en la concentración de CO_2 en función del número de personas, distancia y tamaño del espacio estudiado.

6 BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. F. González, S. D. de G. Balsategui, y X. A. Sarasibar, «La monitorización de la calidad del aire interior como herramienta de evaluación y mejora de la salubridad de un espacio. = Indoor air quality monitoring as a tool for evaluating and improving the healthiness of a space», *Anales de Edificación*, vol. 6, n.º 3, Art. n.º 3, dic. 2020, doi: 10.20868/ade.2020.4610.
- [2] D. González, «Calidad del aire en España 2020: el 88% de la población estuvo expuesta a aire insalubre», *Gaceta Médica*. Accedido: 18 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://gacetamedica.com/investigacion/calidad-del-aire-en-espana-2020-el-88-de-la-poblacion-estuvo-expuesta-a-aire-insalubre/>
- [3] «WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide». Accedido: 30 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://iris.who.int/handle/10665/345329>
- [4] S&P, «Humedad y salud: Los peligros de la humedad en el hogar | S&P», S&P Sistemas de Ventilación. Accedido: 8 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/humedad-salud-peligros/>
- [5] G. Cervantes Saura, A. (advisor) Vázquez Carpentier, y P. J. (advisor) Carrasco Pena, «Análisis de la calidad ambiental de espacios docentes del CUD-ENM. Propuesta de opciones de mejora», abr. 2023, Accedido: 4 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://calderon.cud.uvigo.es/handle/123456789/673>
- [6] Prisma, «Norma UNE 171330 sobre Calidad ambiental en interiores.», Eurofins Environment Testing Spain. Accedido: 15 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.eurofins-environment.es/es/nueva-revision-de-la-norma-une-171330-sobre-calidad-ambiental-en-interiores/>
- [7] «Composición de la atmósfera | Climatic | Educaplus». Accedido: 13 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.educaplus.org/climatic/01_atm_compo.html
- [8] N. O. and A. A. US Department of Commerce, «What is the carbon cycle?» Accedido: 19 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://oceanservice.noaa.gov/facts/carbon-cycle.html#transcript>
- [9] «Oxygen cycle | Photosynthesis, Respiration, Decomposition | Britannica». Accedido: 19 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.britannica.com/science/oxygen-cycle>
- [10] «Índice de Calidad del Aire». Accedido: 8 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/calidad-del-aire/ica.html>
- [11] «Nuevos datos de la OMS: Miles de millones de personas aún respiran aire no saludable», BreatheLife2030. Accedido: 30 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://breathelife2030.org/es/news/new-data-9-10-people-still-breathe-unhealthy-air/>

- [12] «Indoor Environmental Quality (IEQ) - GSA Sustainable Facilities Tool». Accedido: 19 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://sftool.gov/learn/about/1/indoor-environmental-quality-ieq>
- [13] M. C. Monreal, «DETERMINACIÓN DEL SÍNDROME DEL EDIFICIO ENFERMO», *ISSN-e* 1988-7817, vol. 2-2019, n.º 28.
- [14] «5 factores que afectan la calidad del aire en las ciudades - Científica Divulga». Accedido: 13 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://divulga.cientifica.edu.pe/cientifica-explica/5-factores-que-afectan-la-calidad-del-aire-en-las-ciudades/>
- [15] T. Godish y J. D. Spengler, «Relationships Between Ventilation and Indoor Air Quality: A Review», *Indoor Air*, vol. 6, n.º 2, pp. 135-145, jun. 1996, doi: 10.1111/j.1600-0668.1996.00010.x.
- [16] «El lío de la huella de carbono: las empresas la miden, pero no saben qué hacer». Accedido: 15 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.abc.es/antropia/abci-huella-carbono-empresas-20220915121057_noticia.html
- [17] «How air pollution affects our health». Accedido: 21 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.eea.europa.eu/en/topics/in-depth/air-pollution/eow-it-affects-our-health>
- [18] Y. Ogen, «Assessing nitrogen dioxide (NO₂) levels as a contributing factor to coronavirus (COVID-19) fatality», *Science of The Total Environment*, vol. 726, p. 138605, jul. 2020, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.138605.

ANEXO I: IMPLICACIONES SOCIALES, ECONÓMICAS Y AMBIENTALES

El dióxido de carbono, gas presente en el aire que respiramos, es generado tanto por actividades humanas como naturales. Aunque no es intrínsecamente tóxico, concentraciones elevadas pueden ser perjudiciales, afectando negativamente la calidad del entorno en lugares cerrados y teniendo impactos sociales, económicos y ambientales.

En espacios interiores, altas concentraciones de CO₂ pueden afectar la salud y el bienestar de las personas que permanecen allí por períodos prolongados. Esto puede manifestarse en problemas de salud, disminución de la productividad y malestar general, afectando tanto al desempeño laboral como el disfrute del hogar. Los grupos más vulnerables, como niños, ancianos y personas con discapacidad son particularmente susceptibles a estos efectos.

Además de los problemas de salud, la mala calidad del aire interior tiene implicaciones económicas significativas. La necesidad de sistemas de ventilación adecuados para mantener una buena calidad ambiental implica costos adicionales tanto en su instalación como en su funcionamiento continuo, lo que aumenta los gastos para empresas y hogares. Esto se agrava por la pérdida de productividad y los costos médicos asociados con enfermedades relacionadas con la mala calidad del aire.

Desde una perspectiva ambiental, el aumento en el uso de sistemas de ventilación y el consumo adicional de energía que conlleva, contribuyen a una mayor contaminación y huella de carbono. Además, otros contaminantes presentes en el aire interior, como productos químicos y emisiones de calefacción, también afectan la calidad general del aire y contribuyen al cambio climático.

En resumen, la calidad del aire interior es crucial para la salud, el bienestar social, la economía y el medio ambiente. El efecto de esta en la sociedad, como se ha mencionado en el trabajo, depende del grado de ventilación. Una sociedad con mejores oportunidades económicas tendrá mejores equipos de ventilación y, por lo tanto, una mejor calidad del aire.

ANEXO II: REFLEXIONES ÉTICAS Y SOCIALES

La elaboración de este Trabajo de Fin de Grado (TFG) ha suscitado una serie de reflexiones sobre aspectos éticos y sociales relacionados con el tema abordado. En primer lugar, ha destacado la importancia del control de la calidad ambiental, una cuestión que, como se ha subrayado a lo largo del estudio, a menudo no se valora lo suficiente. La falta de concienciación sobre este tema tiene su raíz en la educación recibida, especialmente en lo que respecta al mantenimiento de un aire interior saludable. Es crucial educar tanto a las personas que ocupan un espacio concreto como al personal que realiza actividades específicas en dicho espacio, como reparaciones, mantenimiento o limpieza, para que comprendan la importancia de mantener una buena calidad ambiental y cómo sus acciones pueden afectarla.

Por otro lado, es fundamental que las personas presentes en un espacio sean conscientes de cómo sus comportamientos pueden influir en la calidad del aire interior y contribuyan activamente a mantenerla adecuada. Como hemos observado a lo largo de este trabajo, muchas enfermedades, incluida la COVID-19, se han propagado en espacios interiores debido a la presencia de una persona infectada. Por lo tanto, cada individuo tiene la responsabilidad de no comprometer la calidad del aire y de comprender el riesgo que sus acciones pueden representar para los demás en un mismo entorno.

La ventilación es un factor crucial en el mantenimiento de una calidad ambiental adecuada. La mayoría de los edificios, oficinas y espacios públicos cuentan con sistemas de ventilación que funcionan constantemente, lo que conlleva un alto consumo de energía y contribuye a la contaminación. Sin embargo, es posible reducir este impacto mediante el uso responsable de estos sistemas y la adopción de métodos alternativos de ventilación más eficientes.

En el contexto específico de la Escuela Naval Militar, se identifica la necesidad de mejorar la concienciación sobre la calidad ambiental, especialmente porque en algunas áreas se supera el nivel máximo permitido de concentración de dióxido de carbono. La falta de sistemas de ventilación adecuados en las camaretas y estudios hace que la única forma de renovar el aire sea mediante la apertura de puertas y ventanas, lo cual puede resultar molesto para los estudiantes. Para abordar este problema, es necesario concienciar a los alumnos sobre la importancia del control ambiental y considerar la implementación de sistemas de ventilación adecuados, así como la adopción de métodos alternativos para mantener una buena calidad del aire en las aulas.

En resumen, este TFG continúa la línea de estudios relacionados con la calidad del aire para que la Escuela Naval Militar tome conciencia de este problema y trabaje para mitigarlo de la mejor manera posible, con el objetivo de garantizar que no se produzcan concentraciones elevadas de dióxido de carbono y que la calidad ambiental sea óptima en todas sus instalaciones.

ANEXO III: ESTUDIO MEDIDOR CO₂

Este estudio se ha realizado gracias a los medidores de CO₂ proporcionados por la empresa Energesis, a través de la Universidad Politécnica de Valencia. Se ha llevado a cabo una serie de experimentos prácticos para buscar patrones y explicar los resultados obtenidos.

- Estudio valores máximos e influencia humana: para comprobar los resultados de la concentración de CO₂ se han tomado muestras de los valores máximos obtenidos con una persona respirando cerca del sensor. Los resultados se corresponden con los teóricos del fabricante, en torno a las 40.000 ppm. Además, se ha monitorizado la influencia de la respiración de una persona con la medición de la concentración de CO₂. Los resultados se muestran en la Figura 115. Se observa que a partir de los 2 metros los valores se estabilizan, por lo que esa sería la distancia que deberían guardar las personas frente al dispositivo para no influenciar las mediciones.

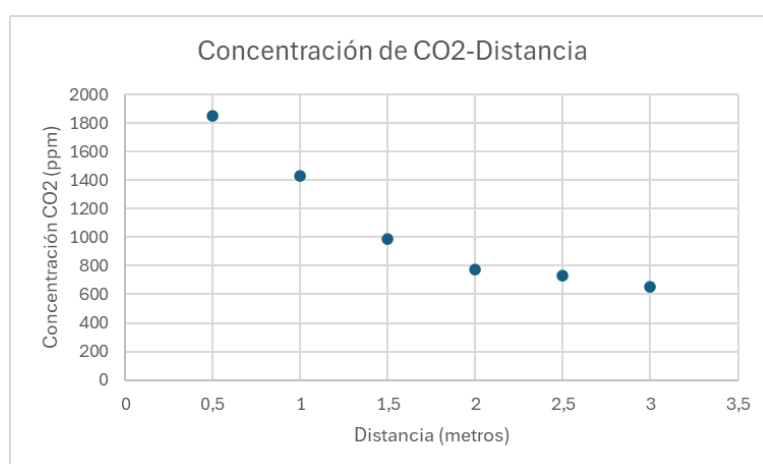


Figura 115 Evolución de la concentración de CO₂ en función de la distancia

- Estudio del número de dispositivos detectados por el medidor: debido a los desajustes entre el número de personas y los dispositivos detectados por el medidor, se decidió hacer un estudio de las detecciones. Para ello se aisló el medidor en un estudio, rodeándolo de teléfonos móviles. De esta manera se ha contabilizado no solo el número de dispositivos que detectaba si no también el tiempo de retardo del medidor en detectarlos todos. En la Figura 116 se muestran en columnas el número de dispositivos que detecta el medidor (en color azul para la situación con 4 dispositivos alrededor y en naranja para 8 dispositivos). Se observa como la tendencia general es la misma, con un retardo de entre 8 y 10 minutos.

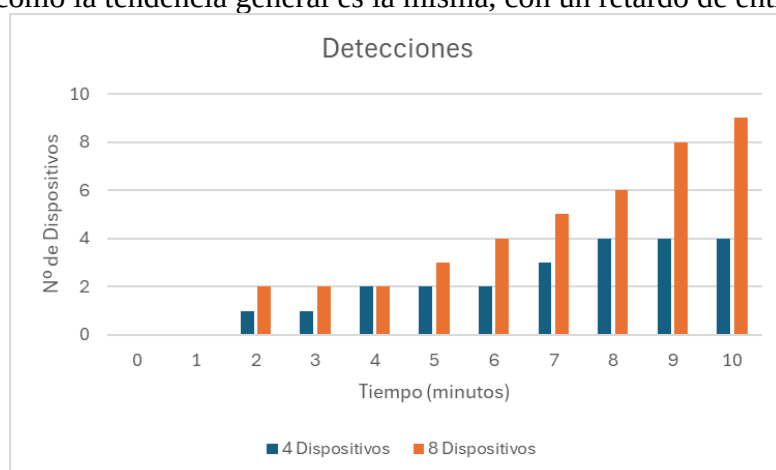


Figura 116 Detecciones del medidor

En la Figura 117 se muestran unas imágenes del estudio llevado a cabo. Reseñar que, si los dispositivos se encontraban en modo avión o con la función de wifi o bluetooth desactivada tampoco eran detectados, por lo que se realizó con ambas activadas.



Figura 117 Imágenes reales estudio número de dispositivos

ANEXO IV: BASE DE DATOS

Como se ha mencionado en el apartado 1.2 Objetivos se pretendía crear una base de datos más completa que la realizada el año anterior para llevar a cabo un estudio a mayor escala y realizar un seguimiento de los datos obtenidos. La principal base de datos se encuentra en línea, en la página web proporcionada por la empresa. Además de esta se han volcado los datos en diferentes libros de Excel con vínculos entre sí para tratar los datos y proporcionar de manera más clara los resultados.

La principal herramienta utilizada han sido las tablas, destacando el uso de las tablas dinámicas. Durante este estudio ha sido de vital importancia el tratamiento de datos, permitiendo el filtrado de datos de manera más sencilla. En la Tabla 10 Base de datos en Excel se muestran los datos recogidos en por el dispositivo. Se resumen en una variable temporal (Timestamp), tres variables continuas (CO₂, Humedad y Temperatura) y una variable no continua (Número de personas). Para las variables de humedad y temperatura se ha realizado un filtro explicado en el apartado 3.4 que se utilizará también en la tabla dinámica.

Timestamp	CO2	Humedad	Temperatura	Personas	Humedad	Temperatura
05/02/2024 8:59	485	48,9	20,1	12	48,9	20,7
05/02/2024 9:00	481	48,8	20,1	8	48,9	20,7
05/02/2024 9:01	482	48,7	20,2	8	48,9	20,7
05/02/2024 9:02	480	48,7	20,2	8	48,9	20,7
05/02/2024 9:03	482	48,6	20,2	12	48,9	20,7
05/02/2024 9:04	483	48,5	20,2	12	48,9	20,7

Tabla 10 Base de datos en Excel

La tabla dinámica permite obtener los valores medios de concentración de CO₂ con todas las variables disponibles. En la Figura 118 se muestra la tabla con su representación gráfica. Además, se puede observar la escala de tiempo de los datos.

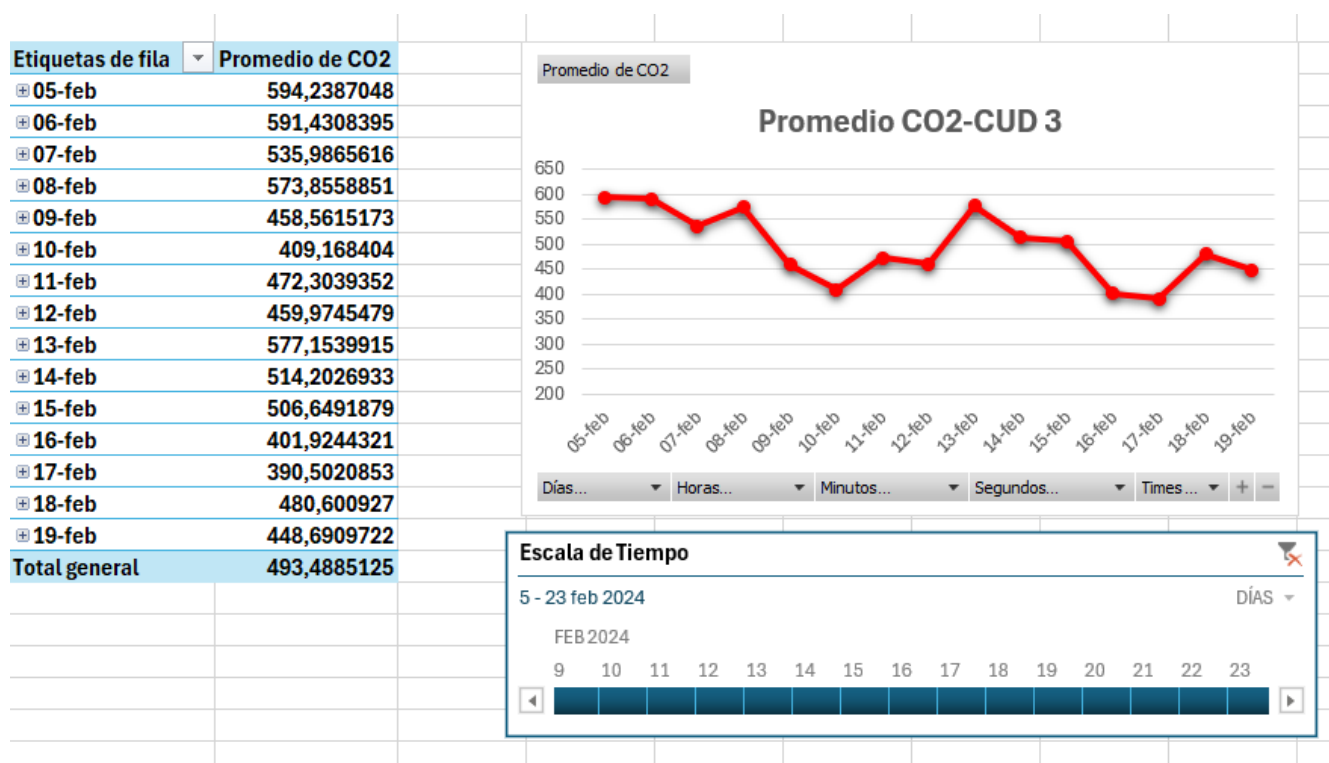


Figura 118 Tabla dinámica sin filtros

En la Figura 119 se muestran los elementos seleccionables para filtrar los datos además de la escala de tiempo.

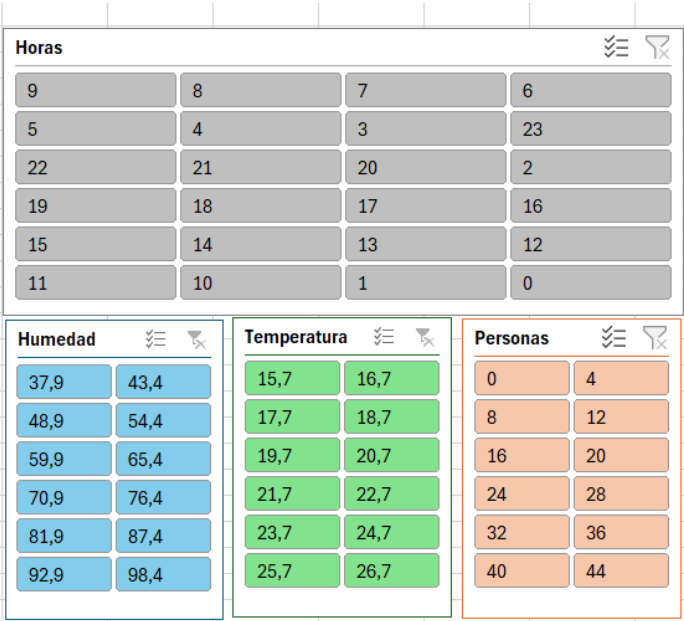


Figura 119 Segmentación de datos tabla dinámica

Gracias a la escala de tiempo y los elementos de segmentación de la parte derecha de la imagen se puede obtener de manera instantánea los datos para los parámetros deseados. Por ejemplo, en la Figura 120 se muestran los valores de CO₂ para los días 11 y 15 de febrero, entre las 19 y 23 horas con humedades superiores al 60%, temperaturas superiores a 20 grados y 20 o más personas.

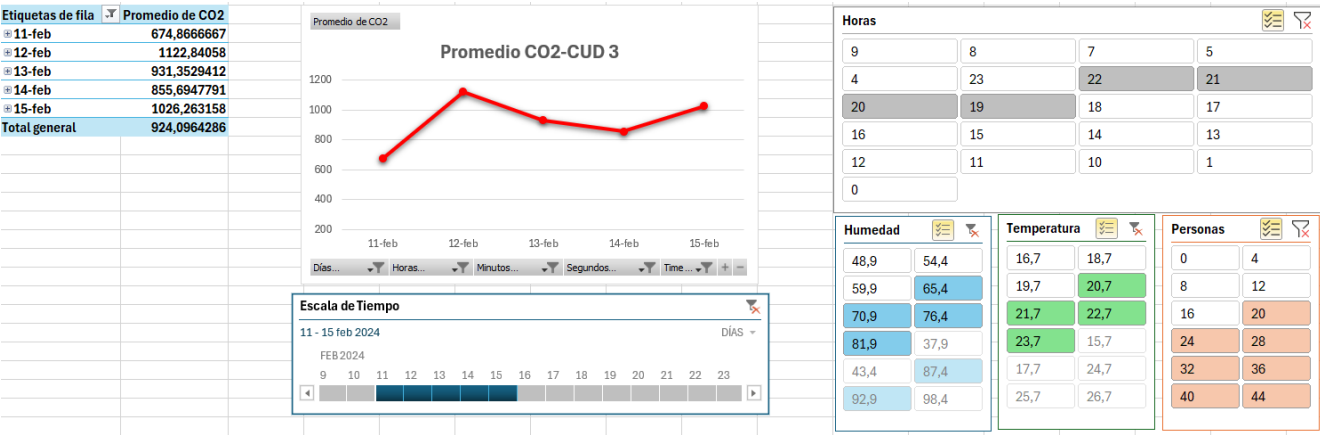


Figura 120 Datos filtrados en la tabla dinámica

Esta herramienta ofrece una capacidad de estudio de los datos muy superior a cualquier otra explicada, centrando el estudio en algún rango temporal específico o cuando se den las condiciones que se quieran estudiar.