



ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL AIRE Y DEL RIESGO DE TRANSMISIÓN DE PATÓGENOS AEROTRANSPORTADOS EN CENTROS INFANTILES

Autor: Guillermo García Martín
Tutor: Ignacio Javier Acosta García
Trabajo de Fin de Grado _ Grupo K
Grado en Fundamentos de la Arquitectura
Escuela Técnica Superior de Sevilla
Curso 2022-2023

Resumen

Las altas concentraciones de CO₂ debidas a la falta de ventilación adecuada están ligadas con problemas como la reducción temporal de la capacidad cognitiva o el incremento de la tasa de ataque de enfermedades propagadas por aerosoles como la COVID 19. El estudio de la calidad del aire, el confort térmico y el riesgo de transmisión de patógenos aerotransportadas es esencial para promover ambientes interiores saludables y seguros. El caso de los centros infantiles requiere una consideración especial dado que los niños más pequeños aún no cuentan con un sistema inmunológico ni respiratorio maduro, convirtiéndolos en un sector de la población particularmente vulnerable. Dicha situación se ve agravada por el elevado número de horas que los alumnos pasan en las clases. En la actualidad sin embargo son pocos los centros que han analizado el aire que se respira en sus aulas, por lo que este trabajo se centró en monitorizar una guardería de la ciudad de Sevilla para luego poder evaluar los riesgos que acarrea para sus ocupantes. Los datos obtenidos confirman que durante la mayor parte del tiempo los infantes de menor edad están expuestos a altas tasas de ataques de patógenos aerotransportados y a concentraciones de CO₂ muy superiores a las permitidas.

Palabras clave: Calidad del aire, confort térmico, riesgo de transmisión, patógenos aerotransportados, CO₂.

Abstract

High concentrations of CO₂ due to inadequate ventilation are associated with issues such as temporary reduction in cognitive capacity and increased susceptibility to aerosol-borne diseases like COVID-19. The study of air quality, thermal comfort, and the risk of airborne pathogen transmission is essential for promoting healthy and safe indoor environments. Childcare centers require special consideration as younger children do not yet possess a mature immune and respiratory system, rendering them particularly vulnerable. This situation is exacerbated by the extended duration of time that students spend in classrooms. Currently, however, only a limited number of centers have analyzed the air quality in their classrooms. Therefore, this study focused on monitoring a daycare center in the city of Seville to evaluate the risks it poses to its occupants. The obtained data confirms that infants of younger age groups are consistently exposed to high rates of airborne pathogen transmission and concentrations of CO₂ that greatly exceed permissible levels for a significant portion of the time.

Keywords: Air quality, thermal comfort, transmission risk, airborne pathogens, CO₂.

Agradecimientos

Quisiera expresar mi más sincero agradecimiento al Departamento de Construcciones Arquitectónicas de la ETSA por haberme prestado y enseñado a utilizar los dispositivos y el software empleado en la elaboración de este trabajo. Mención especial a mi tutor, Ignacio J. Acosta García, así como a Pedro Bustamante Rojas y Miguel Ángel Campano Laborda, cuya orientación ha sido clave para poder llevar el estudio a buen término. Me gustaría destacar especialmente la valiosa contribución de Miguel Ángel Campano a la hora de poder estudiar la evolución de la tasa de ataque en aulas infantiles.

Asimismo, deseo expresar mi reconocimiento a los demás tutores por sus valiosas aportaciones y consejos a lo largo de este proceso de investigación.

Quiero aprovechar esta oportunidad para agradecer a mi familia, quienes han estado a mi lado a lo largo de toda mi carrera, brindándome un apoyo incondicional y animándome a seguir adelante en todo momento.

También quiero agradecer a las trabajadoras de El Nido del Paraguas por haber dedicado su tiempo y permitirme llevar a cabo este estudio en las aulas de su institución.

Por último, reconocer la labor de todos los investigadores que han estudiado la temática relacionada con este trabajo, labor que ha supuesto la principal fuente de conocimientos y referente para esta investigación.

ÍNDICE

ABREVIATURAS.....	5
JUSTIFICACIÓN DE LA TEMÁTICA ESCOGIDA.....	6
OBJETIVOS DEL ESTUDIO.....	7
OBJETIVOS GENERALES.....	7
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	7
ESTADO DEL ARTE.....	8
EFECTOS DEL CO ₂ SOBRE LA CALIDAD DEL AIRE Y EL RIESGO DE CONTAGIO.....	8
MATERIA PARTICULADA Y COMPUESTOS VOLÁTILES.....	9
MARCO NORMATIVO ACTUAL.....	10
METODOLOGÍA.....	12
CASO DE ESTUDIO.....	12
MONITORIZACIÓN EXTERIOR.....	17
MONITORIZACIÓN INTERIOR.....	17
ESTIMACIÓN DEL CONFORT TÉRMICO.....	20
ENCUESTAS A DOCENTES.....	22
ESTIMACIÓN DEL RIESGO DE TRANSMISIÓN DE PATÓGENOS AEROTRANSPORTADOS.....	22
ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	24
AULA 1 – CONFORT TÉRMICO.....	24
AULA 1 – CALIDAD DEL AIRE.....	29
AULA 2 – RESULTADOS GENERALES.....	36
NUEVO PROTOCOLO DE ACTUACIÓN: SEMANA 11.....	42
VALORACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	48
ESTUDIO SOBRE EL RIESGO DE TRANSMISIÓN: OMICRON BA.2.....	52
ESTADO ACTUAL DE LAS AULAS.....	52
INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS.....	53
HIPÓTESIS ANALIZADAS.....	54
VALORACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	56
CONCLUSIONES.....	57
FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.....	58
BIBLIOGRAFÍA.....	59
LISTADOS.....	63
LISTADO DE FIGURAS.....	63
LISTADO DE TABLAS.....	66
ANEJOS.....	67

CARACTERÍSTICAS DEL SOFTWARE E INSTRUMENTOS EMPLEADOS	67
DATOS SEMANALES.....	68
ENCUESTAS RELLENADAS POR EL PERSONAL DEL CENTRO	79
INFORME EXTRAÍDO DEL COVID RISK AIRBORNE.....	80

ABREVIATURAS

AEMET: Agencia Estatal de Meteorología

Clo: Grado de vestimenta

CO₂: Dióxido de Carbono

CSIC: Consejo Superior de Investigaciones Científicas

CTE: Código Técnico de la Edificación

HR: Humedad Relativa

IAQ: Indoor Air Quality

IDA: Categoría de calidad de aire interior

Met: Tasa metabólica

OMS: Organización Mundial de la Salud

PM_{2.5}: Material particulado fino

ppb: Partículas por billón

ppm: Partículas por millón

RITE: Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios

T: Temperatura

TVOC: Compuestos volátiles totales

CBE: (Center for the built environment)

PMV: Predicted mean vote.

JUSTIFICACIÓN DE LA TEMÁTICA ESCOGIDA

Los niños más pequeños están expuestos a un mayor riesgo de contraer enfermedades respiratorias y sufrir futuras complicaciones dado su sistema inmune aún por madurar. En el caso de los bebés en estado de lactancia es aún más preocupante si tenemos en cuenta lo débil que puede llegar a ser su sistema inmunológico [1].

La reciente pandemia ha vuelto a poner en el foco de atención hasta qué punto nuestros espacios educativos y docentes no están preparados para mantener unas condiciones de salubridad aceptables en el día a día, mucho menos durante un período tan excepcional como el que acabamos de atravesar. Un estudio de monitorización de colegios realizado por la Plataforma PEP en colaboración con la Universidad de Burgos[2] muestra como el 84% del tiempo (el equivalente a 5 de cada 6 horas lectivas) la temperatura ambiente, la humedad y los niveles de CO₂ no son los adecuados. Las altas concentraciones de CO₂ son datos particularmente alarmantes puesto que están relacionadas con un mayor riesgo de transmisión de patógenos aerotransportados, como es el caso de la COVID 19.

La arquitectura juega un papel crucial en este asunto. Su rango de acción se encuentra en un punto medio entre las decisiones personales que toman los individuos para cuidar su salud y las políticas de prevención de contagios de los gobiernos. Si bien los arquitectos no podemos hacer que las personas empleen correctamente su mascarilla o se laven las manos, ni tampoco somos capaces de iniciar grandes campañas de concienciación y vacunación, sí que tenemos las herramientas para crear espacios más salubres que tengan en cuenta el bienestar de poblaciones vulnerables como son los niños más pequeños o los ancianos.

Dada la inmensidad de este campo frente a la escala más reducida que debe tener un trabajo de fin de grado, se ha optado por acotar la investigación al estudio de la calidad del aire y el riesgo de transmisión de patógenos aerotransportados en dos aulas de un centro infantil durante un período de unas 6 semanas. Los niños y bebés llegan a permanecer entre 5 y 8 horas al día en las guarderías por lo que una mala ventilación puede acarrear todo tipo de efectos adversos para su salud que van desde contagios de enfermedades comunes como la gripe hasta asma o alergias. A esto se suma que la exposición prolongada a altas concentraciones de CO₂ del aire puede afectar negativamente el desarrollo cognitivo y el rendimiento académico en las aulas [3].

Cada vez son más los países que estudian y combaten la amenaza que suponen los contaminantes presentes en el aire de espacios interiores, especialmente en aquellos espacios habitados por bebés o niños de muy corta edad. En el sur de China un estudio llevado a cabo en más de 20 guarderías y escuelas de primaria encontró una correlación clara entre la presencia de material particulado fino y altos porcentajes de humedad relativa en las aulas con todo tipo de enfermedades respiratorias como la neumonía recurrente [4].

El problema se vuelve aún más preocupante si se tiene en cuenta el reducido impacto que la legislación puede llegar a tener a la hora de controlar la calidad del aire. Un estudio coreano comprobó como a pesar de los controles de seguridad y regulaciones varias se excedían los límites impuestos durante buena parte de la jornada laboral [5].

En España las investigaciones tampoco arrojan datos halagüeños. En Madrid, la alta concentración de PM_{2,5} parece estar contribuyendo a incrementar el número de hospitalizaciones de niños menores a 10 años [6].

OBJETIVOS DEL ESTUDIO

Habiendo constatado el papel clave que una buena calidad del aire juega en la salud y el correcto desarrollo de los más pequeños, se muestran los objetivos que este trabajo pretende alcanzar.

OBJETIVOS GENERALES

OG 1. Monitorizar las condiciones ambientales en aulas de centros infantiles para determinar los criterios adecuados de ventilación y mantener una buena calidad del aire y prevenir el contagio de enfermedades.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

OE 1. Analizar la evolución de la calidad del aire en aulas de centros infantiles mediante la monitorización de variables como el CO₂, las PM_{2,5} o las TVOC.

OE 2. Empleando los datos obtenidos evaluar el riesgo de transmisión de patógenos aerotransportados en dichas aulas.

OE 3. Extraer conclusiones extrapolables a otros centros acerca de cómo minimizar el riesgo de contagio y mejorar la calidad del aire de los espacios educativos.

ESTADO DEL ARTE

Para construir el estado del arte de este trabajo se ha recurrido a diversos artículos académicos y normativas relacionadas con cuestiones como el confort térmico y sobre todo con la calidad del aire y el riesgo de transmisión de patógenos aerotransportados. Ya se han mencionado algunos de los efectos adversos que una mala calidad del aire en los espacios docentes puede tener sobre los infantes, pero conviene profundizar más en este tipo de cuestiones para poder comprender la magnitud del problema.

EFFECTOS DEL CO₂ SOBRE LA CALIDAD DEL AIRE Y EL RIESGO DE CONTAGIO

Aunque el dióxido de carbono no es un contaminante en sí mismo, son muchos los estudios que han encontrado una correlación entre las altas concentraciones de esta molécula en el aire y múltiples problemas de la salud. Dada la temática de este trabajo, la investigación se centrará en los efectos de concentraciones propias de los espacios interiores de un edificio (generalmente por debajo de las 5000 ppm). Dentro de este rango comienzan a aparecer síntomas como fatiga, dolor de cabeza o garganta [7]. Cuando su concentración es excesiva dichos síntomas afectaban a las vías respiratorias (tos, irritación de nariz o garganta, rinitis), la mucosa o a la vista [8]. En niveles no tan elevados se registraron efectos cognitivos negativos. Las personas que ya padecen complicaciones como asma o alergias parecen tener más posibilidades de sufrir síntomas asociadas al “síndrome del edificio enfermo” si se comparan con sujetos sanos [9].

No son pocos los estudios que advierten de los efectos sobre el desarrollo cognitivo de alto niveles que concentraciones de CO₂ por debajo de 5000 ppm pueden tener. Esto incluiría actividades que demanden concentrarse o reflexionar como por ejemplo la toma de decisiones o la resolución de problemas podrían [10]. En el caso de las escuelas de primaria las altas concentraciones correlacionan con un incremento en el absentismo escolar, la pérdida de rendimiento cognitivo o el desarrollo de sintomatología propia del SBS [11].

En un estudio que analizaba como los niveles absolutos de dióxido de Carbono influyen en la capacidad para tomar decisiones se observó cómo los sujetos llegaban a perder 15, 30 o hasta 50 puntos en los percentiles de baterías de pruebas previamente validadas [3]. Si se observa la figura (Figura 1) puede verse el impacto que los distintos niveles tenían sobre el rendimiento. Tal y como puede verse no siempre tenía un efecto significativo.

Los estudios de Bakó-Biró et al. [12] comprobó que un aumento de 400 ppm en los niveles de CO₂ iba asociado a una reducción del 21% en las puntuaciones cognitivas de los sujetos en todos los dominios.

También se debe considerar la relación entre las altas concentraciones de dióxido de carbono y el riesgo de transmisión de patógenos aerotransportados. Estudios como el realizado por Loerthe E en Suiza han demostrado que midiendo la concentración de la molécula en el aire se pueden realizar estimaciones acerca del riesgo de transmisión a través de aerosoles que portan partículas víricas infecciosas que exhalan los ocupantes y se acumulan en estancias no ventiladas [13].

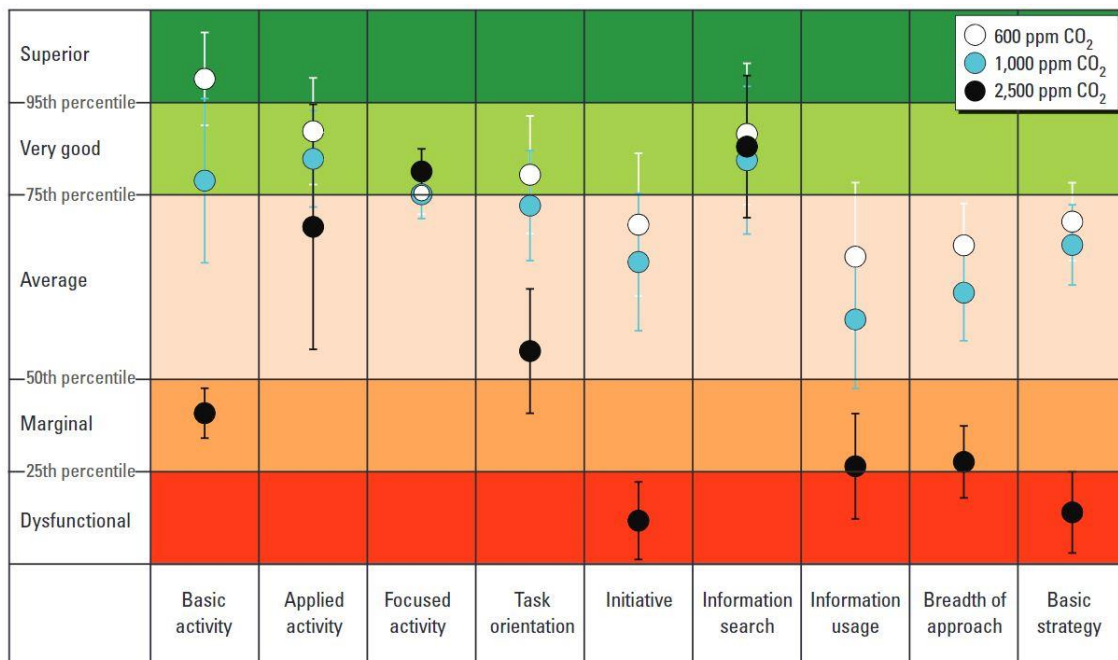


Figura 1 - Impacto del CO₂ en la calidad de la toma de decisiones [3]. Las barras de error representan 1 SD.

Es a partir de esa correlación entre la concentración de CO₂ y el riesgo de transmisión lo que permite al modelo matemático de Wells Riley (adaptado por Buonanno [14] y Peng [15]) estimar la tasa de ataque calculando el número de dosis mínima de aerosoles con carga vírica que podría inhalar cada ocupante en un espacio interior. Para ello como es lógico debe haber al menos un infectado. Debido a las carencias inherentes al modelo, las tasas de ataque obtenida pueden ser inferiores a las reales. Por simplicidad se le da la misma consideración a la totalidad del aire de la estancia, sin tener en cuenta posibles concentraciones de carga vírica en puntos concretos (como es el caso del aire más cercano al infectado). Además, se considera que todas las personas se mantienen a una distancia de 2 m y no tiene en cuenta el contagio por gotitas. Aparte el hecho de emplear el CO₂ como proxy del riesgo de contagio acarrea sus propios problemas [16].

Aún con todo es una excelente herramienta para analizar el riesgo de infección de una estancia conociendo la actividad realizada en ella, su duración, cómo de alto hablan sus ocupantes, su edad entre otros

De cara al estudio se recurrirá a la herramienta Covid Risk^{Airborne} [17] para realizar una estimación en base al modelo antes explicado.

MATERIA PARTICULADA Y COMPUESTOS VOLÁTILES

Aunque pueda sonar anti intuitivo, se estima que el aire interior puede llegar a estar hasta 5 veces más contaminado que el exterior. Los contaminantes del exterior acceden a nuestros edificios por medio de infiltraciones, huecos o grietas, y además en el interior las actividades realizadas o incluso los propios ocupantes pueden generarlos [18]. En este trabajo nos centraremos concretamente en la materia particulada por un lado y en los compuestos volátiles por otro. Mézáros define la materia particulada como “el conjunto de partículas sólidas y/o líquidas (a excepción del agua pura) presentes en suspensión en el aire”[19]. Se trata de uno de

los contaminantes más estudiados por peligro que representa para todo aquel que lo inhala [20] y [21]. Como las hay de distintos tipos el análisis posterior se centrará en las que conciernen al uso educativo [22].

Su amenaza reside en el hecho de que generan daños en el organismo incluso en concentraciones mínimas. Aunque diversos organismos han regulado un máximo del que no deben exceder, en la práctica no se ha encontrado un umbral por debajo del cual sean inocuas. Es el contaminante que afecta a un mayor número de personas de todo el mundo sin importar su país de origen o nivel de urbanización, aunque abunda más en las ciudades de mayor tamaño [23]. El daño producido en el organismo varía según el tamaño: cuanto más pequeñas más nocivas son debido a su mayor facilidad para infiltrarse en nuestro organismo a través de los bronquios para luego pasar a la sangre. Potencialmente pueden producir todo tipo de enfermedades respiratorias (incluso cáncer), problemas en el sistema cardiovascular, reproductivo y hasta nervioso central [24].

Además del peligro que suponen para la salud debido a su reducido tamaño, se sabe que los aerosoles que una persona infectada emite pueden depositarse en el material particulado en suspensión para luego facilitar el contagio en espacios cerrados [25].

En el caso de este estudio, no se cuenta con métodos realmente fiables para estudiar la evolución del PM [26], por lo que será necesario limitarse a analizar si mantienen dentro de unos límites razonables.

Al igual que ocurre con el contaminante anterior, la escasa fiabilidad que ofrecen los sensores va a dificultar sacar conclusiones rotundas de los datos obtenidos, aunque no por ello deja de ser importante investigarlos. Parte del problema reside en el hecho de que VOC es un acrónimo que engloba a muchos tipos de compuestos diferentes, cada uno con propiedades distintas que van desde muy tóxicos hasta leves en función claro está del tiempo que se esté expuesto. Algunos de los efectos más comunes a corto plazo son irritación de ojos y vías respiratorias, dolor de cabeza, náuseas, mareos, reacciones alérgicas. A largo plazo sin embargo pueden ocasionar lesiones en el hígado, riñón o el sistema nervioso [27]. Algunos podrían incrementar el riesgo de cáncer. Ante la amenaza que suponen la OMS desarrolló una herramienta para identificar cuáles serían los contaminantes más comunes en escuelas y guarderías [28]. Un estudio en Ciudad Real concluyó que los más frecuentes eran el formaldehído y el hexanal [29].

MARCO NORMATIVO ACTUAL

En España la normativa específica centrada en el IAQ de usos terciarios como el que nos ocupa se encuentra recogida en el RITE [30]. El propio CTE, en el Documento básico HS [31], Apartado 3, nos indica que para cualquier otro uso que no sea residencial deberemos acudir al RITE.

La última actualización que se llevó a cabo de este documento entró en vigor el día uno de julio de 2021.

En este documento se indica un valor de “350 ppm como concentración media en el aire exterior, advirtiendo que aumenta cerca de 1 ppm por año, por el momento”. De cara al estudio sin embargo se adoptará un valor de 420 ppm siguiendo los últimos datos registrados por el observatorio Izaña [32]. Si bien en este estudio se aclara que dichos valores fluctúan entre estaciones, no se tendrá en cuenta.

En lo que a espacios interiores se refiere el RITE establece varios límites en función del uso. En la (Tabla 1) se han indicado los umbrales:

Tabla 1 - Límites CO₂ según Rite.

Clasificación	Uso	Ppm por encima de la concentración exterior	Límite según ppm exterior actual
IDA 1	Hospitales, clínicas, laboratorios y guarderías	350 ppm	770 ppm
IDA 2	Oficinas, residencias (locales comunes de hoteles y similares, residencias de ancianos y de estudiantes), salas de lectura, museos, salas de tribunales, aulas de enseñanza y asimilables y piscinas.	500 ppm	920 ppm
IDA 3	Edificios comerciales, cines, teatros, salones de actos, habitaciones de hoteles y similares, restaurantes, cafeterías, bares, salas de fiestas, gimnasios, locales para el deporte (salvo piscinas) y salas de ordenadores.	800 ppm	1220 ppm
IDA 4	No se especifica ningún uso	1200 ppm	1620 ppm

En el caso de este estudio por tanto se observará si los valores obtenidos se mantienen por debajo de los 770 ppm tal y como corresponde a un IDA 1 propio de una guardería.

En lo que respecta al material particulado además de la legislación española es interesante estudiar las recomendaciones de la OMS y la directiva europea vigente, si bien de cara análisis solo se tendrá en cuenta la normativa española al ser la que se aplica de facto. Según el real decreto relativo a la calidad del aire [33], el promedio anual de PM_{2,5} no debe superar las 20 ppm. Este dato concuerda con la Directiva 2015/1480/CE [35] de la unión europea en la que también se coloca el umbral anual en las 20 ppm promedio.

La OMS sin embargo es mucho más estricta. En sus Directrices sobre la Calidad del Aire de 2020 [34] aconseja mantener el promedio anual por debajo de las 5 ppm, si bien indica que el promedio en un día puede llegar hasta los 15 ppm. Según esta directiva no habría problema en que se alcanzasen picos más elevados en días concretos siempre y cuando el promedio anual fuese muy bajo.

En lo que respecta al TVOC dada al gran variedad de compuestos que engloba mencionadas en el estado del arte y la incapacidad de este estudio de diferenciarlos en las mediciones no tendría sentido tratar de establecer un umbral concreto.

METODOLOGÍA

Con tal de mostrar gráficamente el procedimiento seguido a lo largo de la investigación se ha incorporado un diagrama de flujos (Figura 2).

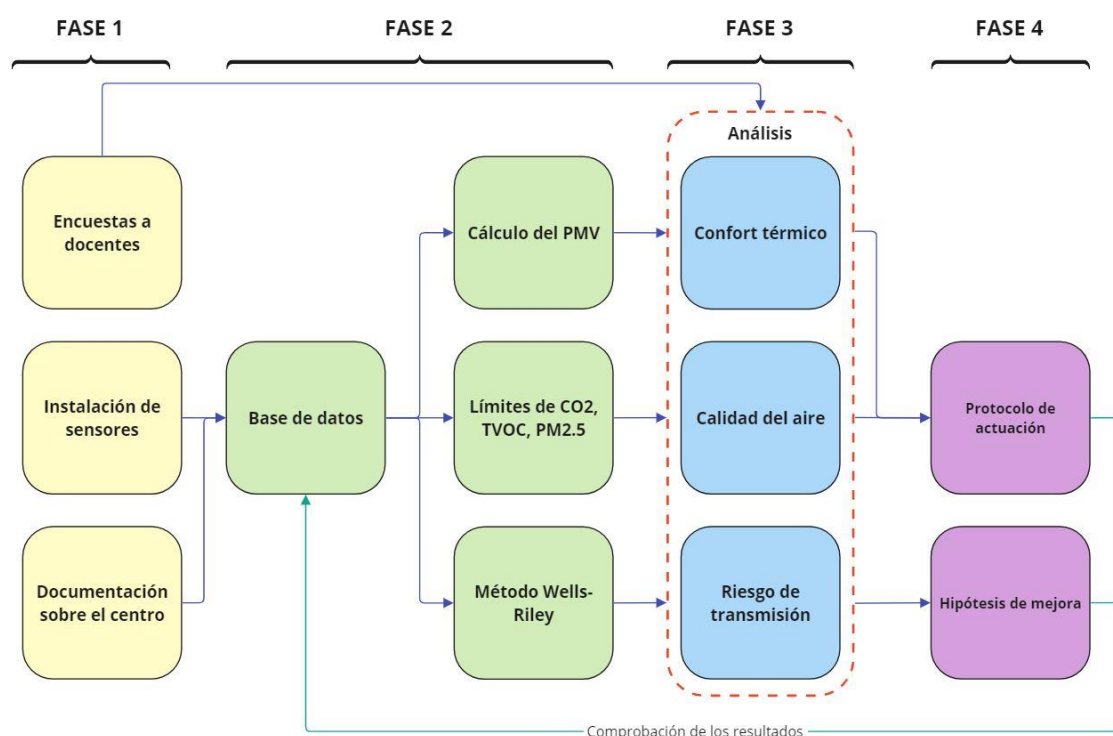


Figura 2 - Diagrama de flujos de la investigación.

Antes de poder comenzar con la investigación ha sido necesario conseguir la documentación, medidas y planos del centro con tal de poder planificar la campaña de medición. Con estos datos se ha preparado una encuesta para las cuidadoras y se ha procedido a instalar los sensores. Una vez instalado se han recopilado todas las mediciones en una base de datos. Desde dicha base todos los datos han sido interpretados con la ayuda de distintos softwares que se explicarán a más adelante.

Así finalmente se ha llegado a la fase de análisis, en la que se ha podido evaluar el confort térmico, la calidad del aire y el riesgo de transmisión de patógenos aerotransportados para determinar la situación de la guardería. Finalmente se han sugerido una serie de propuestas para mejorar las condiciones a las que están expuestas los niños. Dichas propuestas han sido puestas a prueba siguiendo el mismo procedimiento con el que se han analizado los datos base, ya sea mediante el software específico o cambiando las condiciones del aula para evaluar las nuevas mediciones de los sensores.

CASO DE ESTUDIO

Debido a la limitación de tiempo y al número de medidores disponibles el trabajo se centrará en dos aulas pertenecientes a la guardería “El Nido del Paraguas”, situada en Calle Presidente Cárdenas, 3, 41013 Sevilla. Se encuentra dentro de una parcela compartida con la Facultad de Ciencias de la Educación y el Servicio de Actividades Deportivas de la Universidad de Sevilla del SADUS en la calle Pirotecnia cuya referencia catastral es 6410801TG3461S0001S.



Figura 3 – Vista general de la zona urbana en la que se ubica el centro extraída de Google Earth.

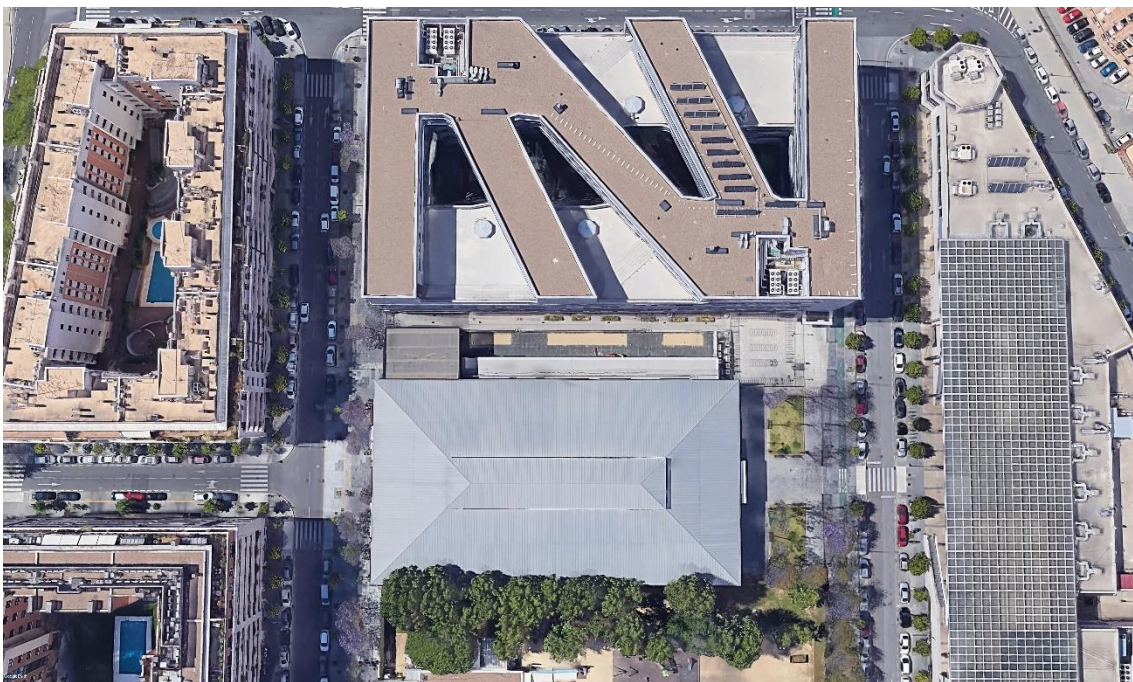


Figura 4 – Vista de pájaro de la parcela en la que se ubica el centro extraída de Google Earth.

El centro está ubicado en el punto de encuentro entre San Bernardo y la zona de Portaceli al Norte, el Plantinar al Este, el tiro de línea al Sur y el Porvenir al Oeste. Se trata por tanto de un entorno privilegiado, con fácil acceso mediante automóvil, transporte público o caminando para aquellos que viven más cerca.

A su alrededor las vías cuentan con un nivel adecuado de vegetación y justo al Sur de la parcela encontramos el parque Rectora Rosario Valpuesta. En consecuencia y teniendo en cuenta que el centro está resguardado de las principales vías de circulación de la zona gracias a las parcelas adyacentes cabe pensar que se trata de un entorno apropiado para una guardería al no contar

con un volumen exagerado de tráfico rodado que produzca contaminación acústica ni empeore la calidad del aire.



Figura 5 - Acceso desde la vía pública al jardín de infancia El Nido del Paraguas extraída de Google Earth.

El propio edificio parece haber sido diseñado con la intención de aislar las aulas y el patio del resto de la ciudad. De los 9.880 m² que posee la parcela el centro apenas ocupa 1085 m² con 180 m de perímetro, aunque a decir verdad la superficie construida de la guardería se concentra en 513 m² a los que se suman los 438 m² de patio, ambos usos ubicados exclusivamente en planta baja. En total cuenta con un hall de acceso, un comedor y 8 clases con sus zonas de baño y aseo incorporadas. Las clases están dispuestas con un gran hueco al norte por el que se accede al patio de juegos. Esta es la única fuente de ventilación natural, ya que al otro lado se encuentra el pasillo interior de distribución.

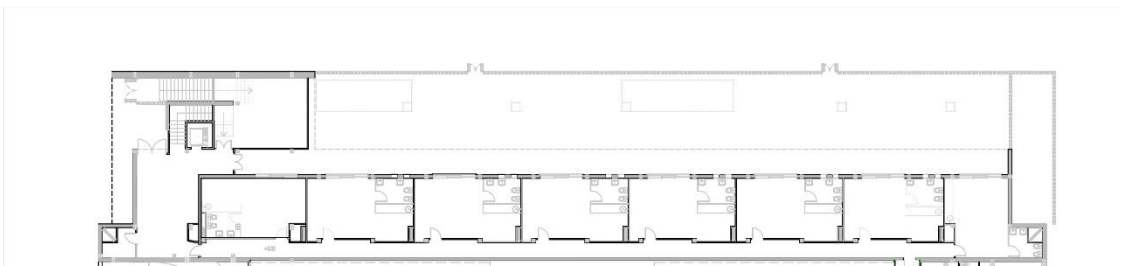


Figura 6 – Planimetría general de la guardería elaborada a partir de los planos de la Universidad de Sevilla.

Las aulas están clasificadas según edad de los infantiles y uso. La primera a la que se accede está destinada a bebés de entre 4 y 12 meses. En ella realizan todas sus actividades, incluyendo las comidas y las siestas. Justo a continuación se encuentra un aula destinada exclusivamente para las siestas de los mayores, niños y niñas de entre 2 y 3 años. Las 3 siguientes se destinan al uso ordinario de los niños de entre 1 y 2 años. La 2^ª se utiliza también para sus horas de siesta, y la 3^ª sirve como aula matutina para reunir y organizar a los niños. Las últimas 3 aulas se dedican únicamente al uso de diario para niños de entre 2 y 3 años.

Aulas a monitorizar

Las limitaciones del estudio hacen que sea imperativo centrarse en dos estancias concretas y extraer de ellas la mayor cantidad de datos posibles de cara al análisis. Aparte debido a los problemas con la conexión WIFI en la guardería se han priorizado las zonas más próximas a la recepción. Es por esto que de entre todas las aulas mencionadas el presente trabajo se centrará en el aula destinada a bebés de entre 4 y 12 meses y en la 1ª de las aulas reservadas a niños de entre 1 y 2 años. Así se pueden analizar y comparar dos grupos de edad con tamaños y metabolismos muy distintos durante un periodo prolongado estando en espacios muy similares.

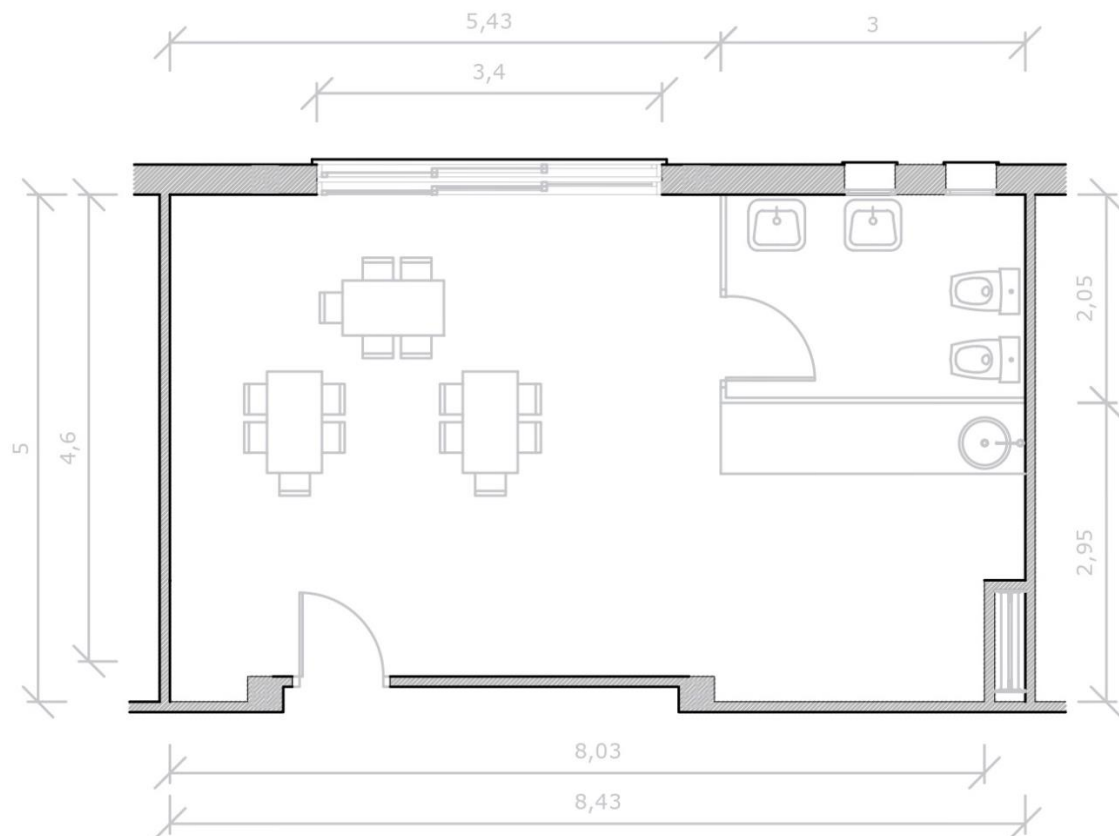


Figura 7 – Planta tipo de las aulas elaborada a partir de los planos de la Universidad de Sevilla.

Aula 1 - Bebés de entre 4 y 12 meses

Su superficie total es de 37,45 m² con una altura libre de 2,65 m. Por regla general su ocupación es de 8 a 10 bebés cuidados en todo momento por 2, 3 o hasta 4 docentes. Al tratarse de niños tan pequeños no existe un horario fijo, los padres o la persona encargada de llevarlos los deja al cuidado de la guardería entre las 7:30 y las 20:00. El tiempo exacto que cada niño pasa en el aula depende en gran medida de los horarios de los padres y otros factores que escapan al control de este estudio. Al igual que todas las aulas del centro cuenta con un único hueco en su cerramiento de 3,42 m por 2,13 m de alto con una orientación norte que sirve de acceso directo al patio. Es importante remarcar que a diferencia de otros rangos de edad las comidas y las siestas se realizan en el propia aula, por lo que están especialmente expuestos a los problemas que puedan derivarse de la mala calidad del aire de la misma.

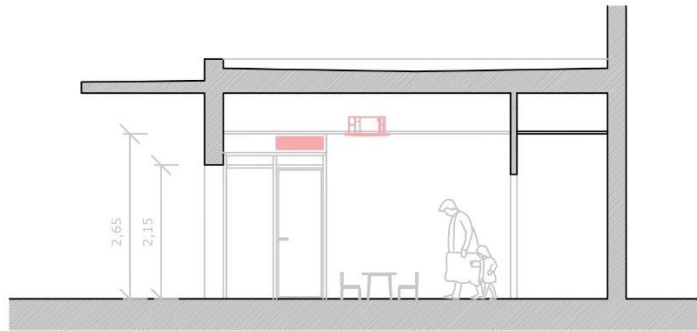


Figura 8 – Sección tipo de las aulas elaborada a partir de los planos de la Universidad de Sevilla.

Aula 2 - Niños de entre 1 y 2 años

Su superficie total es de 40,52 m² con una altura libre de 2,65 m. En teoría el horario abarca de 9:00 a 14:00, pero realmente depende de cuando pueden dejar y recoger a los niños sus padres o cuidadores. Su ocupación habitual es de 13 niños y 2 maestras. Salen al recreo entre las 11 y las 12, y de 14:00 a 15:30 van al aula celeste (la 2ª de las aulas destinadas a niños de este rango de edad) para dormir la siesta. Las cuidadoras han remarcado sin embargo que no todos van a dormir, el número varía en función de lo cansado que estén. Al igual que todas las aulas del centro cuenta con un único hueco en su cerramiento de 3,42 m por 2,13 m de alto con una orientación norte que sirve de acceso directo al patio.



Figura 9 – Fotografía 1 de las aulas.



Figura 10 – Fotografía 2 de las aulas.

MONITORIZACIÓN EXTERIOR

Debido a la falta de equipos apropiados no será posible seguir la evolución de la calidad del aire exterior a las aulas, a pesar de que sería idónea para estudiar su correlación con la evolución de los parámetros del interior (como el CO_2 y especialmente las $\text{PM}_{2,5}$ dada su condición de contaminante propio de la polución urbana).

A la hora de recaudar datos como la temperatura o la humedad en el entorno próximo de la guardería se ha optado por consultar la estación meteorológica del Porvenir por su cercanía y similitudes en lo que a tipología urbana respecta. Los datos se han tomado directamente de la página “Weather Underground” [35].

MONITORIZACIÓN INTERIOR

De cara a poder evaluar cuan apto es el aire que se respira en las aulas del centro se seguirá la evolución del CO_2 , las $\text{PM}_{2,5}$, el TVOC, la T y la Hr interior.

Para tomar las mediciones se emplean dos dispositivos “Awair Omni” entregados por el departamento de Construcciones Arquitectónicas de la ETSA. Este pequeño sensor es idóneo para la tarea a desempeñar ya que realiza la toma de datos cada 5 minutos y los sube directamente a la nube siempre y cuando esté conectado a la red. Su principal inconveniente es la necesidad de estar enchufado a la corriente debido a su baja autonomía, algo que no supone ningún problema de cara al estudio dado que se ha podido instalar junto a un enchufe a una altura adecuada para realizar una medición veraz (ni muy alto ni demasiado bajo) sin quedar al alcance de los niños pequeños. Las especificaciones de estos sensores pueden encontrarse en el anejo (Figura 58).



Figura 11 - Instalación del sensor Awair fuera del rango de los niños.

Se dispone un sensor por estancia a una altura aproximada de 1,20 metros para recibir las partículas provenientes de la respiración de los ocupantes. Como ya se ha mencionado anteriormente en un principio se barajó la posibilidad de estudiar 3 aulas, sin embargo, las dificultades iniciales con la conexión WIFI de la guardería sumadas a los problemas con uno de los dos sensores que se instalaron desde el inicio han hecho imposible las mediciones de las aulas de niños de entre 2 y 3 años.

Aparte durante la campaña de medición una de las cuidadoras del Aula 2 mencionó que el primer día estuvo comprobando el sensor para saber si debía o no abrir la ventana con tal de ventilar la estancia, sin embargo, dijo no haber sido capaz de prestar atención simultáneamente a los niños y a su trabajo, por lo que siguió su patrón de conducta habitual establecido por la dirección de la guardería. Aún con todo para evitar que la fiabilidad de las mediciones pudiera verse comprometida se optó por tapar la pantalla del sensor inmediatamente de forma que fuese imposible de manera que fuese imposible conocer su valoración sobre la calidad del aire en tiempo real.

Hacia el final de la 2ª semana de medición se constata que el sensor del Aula 2 parece estar dando mediciones incorrectas para las PM_{2,5}, por lo que se procede a su limpieza inmediata el lunes 27 de marzo a las 11:30 AM. Tras aplicarle un spray de gas comprimido en las ranuras de toma de aire (disparando las mediciones de TVOC durante unos minutos como puede comprobarse (Figura 63) se confirma que el sensor está averiado. El jueves 30 llega su recambio (originalmente destinado a medir otra aula) y el viernes 31 de marzo a las 9:30 AM el sensor defectuoso es reemplazado por el nuevo en el aula 2 y pasa a ubicarse en otra aula con tal de no

desaprovecharlo por completo, con la esperanza de que al menos las mediciones de CO₂, temperatura y humedad hayan podido ser acertadas.

Para la descarga de datos se recurre a la última versión la App “AWAIR Home” disponible en el mercado durante la realización de este trabajo: la versión 4.14.9.

Marzo 2023						
L	M	X	J	V	S	D
		1	2	3	4	5
6	7	8	9	10	11	12
13	14 Inicio de la campaña a las 11:30	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30	31		
Limpeza de los sensores a las 11:30				Reemplazo sensor averiado a las 9:30		

Figura 12 - Calendario de la campaña de medición: Marzo.

Abril 2023						
L	M	X	J	V	S	D
					1	2
3	4	5	6	7	8	9
Semana Santa: baja asistencia						
10	11	12	13	14	15	16
Cubrición de los sensores						
17	18	19	20	21	22	23
			Introducción 2º tanda de encuestas			
24	25	26	27	28	29	30
Feria:			baja asistencia			

Figura 13 - Calendario de la campaña de medición: Abril.

Mayo 2023						
L	M	X	J	V	S	D
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
Se intenta que abran las ventanas					22	23
Dicen que van a abrir las ventanas					24	25
26	27	28	29	30	31	

Figura 14 - Calendario de la campaña de medición: Mayo.

ESRIMACIÓN DEL CONFORT TÉRMICO

Con tal de poder estudiar la evolución del confort térmico a lo largo del tiempo se ha recurrido a la Thermal Control Tool del CBE [36]. Esta herramienta permite calcular el PMV de cualquier estancia teniendo en cuenta parámetros como la temperatura, la humedad, el nivel de ropa de los ocupantes... El PMV es un índice que predice el voto promedio de los ocupantes de una estancia al ser preguntados por su nivel de confort térmico. Su escala va desde -3 (mucho frío) hasta 3 (mucho calor), siendo el 0 el punto ideal en el que la mayor parte de los ocupantes no notarían ni frío ni calor.

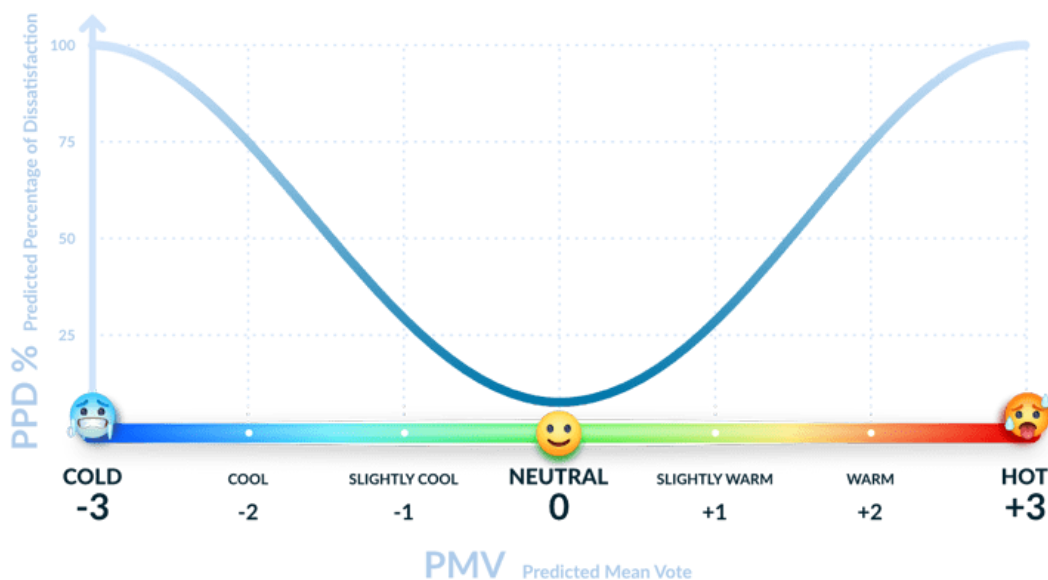


Figura 15 - Escala PMV. Fuente: (<https://www.simscale.com/blog/what-is-pmv-ppd/>).

Considerando lo absurdo que sería introducir directamente uno por uno los datos recogidos, se ha configurado una matriz con los rangos de temperatura y humedad que suele darse en el aula.

Tal y como se puede apreciar en la (Figura 6) el resto de los parámetros que influyen en el confort térmico se han mantenido constante en los siguientes valores:

1. Velocidad del aire de 0,1 m/s dada la relativa estanqueidad de las aulas.
2. Nivel de clo de 0,6 como medida aproximada al nivel de vestimenta de los niños.
3. Tasa metabólica de 2,6 met. Como es sabido los infantes tienen una tasa metabólica mayor a la de los adultos, por lo que emiten más calor incluso si su tamaño es menor.



Figura 16 - Recorte extraído de CBE Thermal Comfort Tool.

Tabla 2 – Matriz empleada en el cálculo del PMV.

	30	40	50	60	70
18	-0,90	-0,87	-0,83	-0,80	-0,76
18,5	-0,81	-0,78	-0,74	-0,71	-0,67
19	-0,72	-0,69	-0,65	-0,62	-0,57
19,5	-0,64	-0,60	-0,56	-0,52	-0,48
20	-0,55	-0,52	-0,47	-0,43	-0,38
20,5	-0,47	-0,43	-0,38	-0,34	-0,29
21	-0,38	-0,34	-0,29	-0,24	-0,19
21,5	-0,30	-0,25	-0,20	-0,15	-0,09
22	-0,21	-0,16	-0,11	-0,05	0,01
22,5	-0,12	-0,07	-0,02	0,04	0,10
23	-0,04	0,02	0,07	0,14	0,2
23,5	0,05	0,11	0,17	0,23	0,31
24	0,14	0,20	0,26	0,33	0,41
24,5	0,22	0,29	0,35	0,43	0,51
25	0,31	0,38	0,45	0,53	0,61
25,5	0,40	0,47	0,54	0,63	0,72
26	0,49	0,56	0,64	0,73	0,82
26,5	0,57	0,65	0,74	0,83	0,93
27	0,66	0,74	0,83	0,93	1,03

ENCUESTAS A DOCENTES

Con el fin de facilitar el posterior análisis de los datos extraídos de los sensores se distribuye una encuesta por cada aula con el fin de que las docentes las rellenen. Dichas encuestas se limitan a recoger el horario de apertura y cierre de ventanas, uso de climatización y ventilación y seguimiento del sueño de los bebés. Se ha hecho lo más sencilla posible en aras de facilitar su cumplimentación por parte del equipo de la guardería. En el anejo se puede encontrar ejemplos de gráficas entregadas y rellenas por los docentes. (Figura 82)

Por desgracia, algunas preguntas parecen haber sido ignoradas de forma sistemática. Datos como el sueño de los bebés o la apertura y cierre de ventanas sí han sido rellenos rigurosamente, pero a juzgar por la correlación con las mediciones de CO₂ queda claro que se han relleno de forma incorrecta, en algunos casos incluso a la inversa de cómo se deberían relleno. En el anejo se puede encontrar la gráfica en la que se comparan los resultados de las encuestas con los de las mediciones, pudiendo ver que son prácticamente opuestos. (Figura 81)

Teniendo en cuenta la poca fiabilidad de los datos recogidos, las encuestas serán tenidas en cuenta como una ayuda parcial para interpretar los datos y sacar conclusiones, pero solo allí donde los datos puedan ser mínimamente creíbles.

ESTIMACIÓN DEL RIESGO DE TRANSMISIÓN DE PATÓGENOS AEROTRANSPORTADOS

A la hora de evaluar el riesgo de transmisión de patógenos aerotransportados se emplea la herramienta Covid Risk^{Airborne} [17]. Se trata de un estimador de transmisión aérea de la COVID 19 mediante aerosoles. Aunque idealmente sería útil comparar el riesgo de transmisión de distintas enfermedades, de cara a este trabajo el COVID representa la mayor amenaza posible dada su alta tasa de contagio en espacios cerrados o mal ventilados.

Esta página permite introducir los datos generales del aula (volumen, ocupación, sistema de ventilación, actividad de los ocupantes...) y el nivel de CO₂ promedio para calcular la probabilidad de infección individual y los casos de COVID resultantes tras permanecer en la estancia durante un período de tiempo concreto.

A diferencia de los medidores que permiten ver la evolución en tiempo real de la estancia durante el tiempo que estén midiendo Covid Risk Airborne se especializa en dar datos probabilísticos sobre los posibles contagios que puedan darse si hay al menos un infectado. En caso de que no haya ninguna persona infectada el riesgo de transmisión es igual a 0 como es lógico. Esta herramienta es particularmente útil por tanto a la hora de comparar diferentes casos o soluciones que pueden darse dentro del aula a la hora de prevenir la transmisión mediante aerosoles. De esta forma se va a simular la situación actual del aula para evaluar los riesgos existentes y acto seguido se procederá a variar datos concretos (como el caudal de aire exterior que se introduce periódicamente) para examinar qué medidas dan mejor resultado.

SARS-CoV-2

Seleccione la variante del SARS-CoV-2 con la que desea realizar el análisis. Le recomendamos que introduzca como 'variante a considerar' aquella que sea la predominante actualmente en su región. También puede hacer la simulación considerando cualquiera de las variantes principales existentes.

Variante:

Omicron BA.2



Dimensiones del recinto

Puede hacer el cálculo mediante la introducción de las medidas de ancho y largo medio o bien especificando directamente la superficie. Para ello, pulse uno de los botones siguientes:

Está aquí

Medidas medias Superficie

Largo (m), b: - + 8

Ancho (m), a: - + 6

Alto (m), h: - + 3

Superficie: 48 m² / Volumen: 144 m³

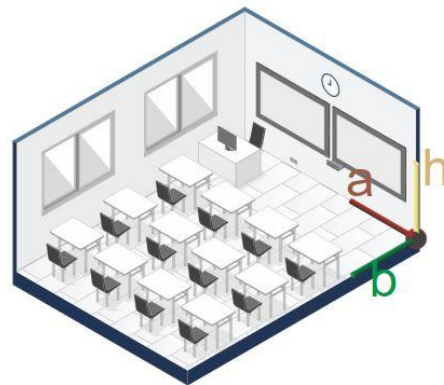


Figura 17 - Captura del proceso de introducción de datos en el estimador del riesgo de infección.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación, se analizan los resultados obtenidos de las mediciones de las Aulas 1 y 2. Se han representado en varias gráficas con el fin de facilitar su comprensión. Debido a las limitaciones de tiempo y extensión de este trabajo ha sido necesario centrar el análisis en unas pocas semanas representativas del conjunto, más concretamente en las semanas 8, 10 y 11.

Los motivos para haber escogido estas 3 son varios:

1. Debido a los problemas mencionados en el apartado de Metodología (problemas con los sensores, riesgo de que alguna de las cuidadoras pudiese haber alterado su comportamiento...) se estima que los resultados de semanas posteriores (a partir de la 4ª más o menos) son más fiables. No encontramos grandes diferencias (salvo en lo que respecta a las PM2,5 y el TVOC en el Aula 2), pero aún con todo parece más sensato escoger otras semanas en las que centrar el análisis.
2. Las semanas 4 y 7 pueden ser completamente anómalas al tratarse de las vacaciones de Semana Santa y Feria de abril en Sevilla. La ocupación es muy inferior a la media, presumiblemente porque algunos padres aprovechan las vacaciones para pasar más tiempo con sus hijos, optando por no llevarlos a la guardería.
3. La semana 5 y 6 podrían valer, aunque de nuevo parece que el estar entre periodos festivos puede haber afectado. Aparte el sensor del Aula 1 reportó datos claramente erróneos durante la 5ª semana.
4. Quedan las últimas semanas como las únicas que no presentan problemas. En contra de lo que pueda parecer, esta es una buena noticia ya que hacia finales de mayo de 2023 Sevilla experimentó una bajada anómala de las temperaturas. Como resultado cuentan tanto con días tipo que se asemejan al promedio de otras semanas como con días algo más excepcionales con temperaturas más bajas, lo cual nos puede servir para establecer comparaciones con otras épocas del año durante las cuales no se ha podido hacer ninguna medición en el aula.
5. Durante la semana 11 se pidió a las cuidadoras que probasen a abrir las ventanas del aula unos pocos centímetros, lo suficiente para ventilar la estancia sin permitir que los niños escapasen al patio. Para comprobar la efectividad de dicha medida es necesario hacer un análisis más detallado del tiempo en que ha estado en vigor.

AULA 1 – CONFORT TÉRMICO

TEMPERATURA INTERIOR

El primer dato que resulta llamativo al estudiar la temperatura interior es su estabilidad ya no durante las horas en las que el aula está en uso, sino especialmente durante el tiempo que permanece vacía. Entre las 18:00 y las 7:30 se supone que el centro infantil permanece cerrado, y sin embargo la temperatura interior ronda los 25°C (20º al inicio de la campaña cuando los días aún eran fríos) hasta que los primeros ocupantes comienzan a llegar.

Si se presta atención al primer día de la semana 8 en la (Figura 7) se puede ver como incluso cuando nadie acude al centro al tratarse de un día festivo la temperatura se mantiene completamente estable. No importa el día o la hora, rara vez la temperatura interior se aleja de los 25º. La temperatura exterior en cambio oscila entre los 15º al amanecer y los 35ºC al atardecer en función del día. Es importante recordar que las aulas poseen una enorme superficie acristalada al norte que actúa como salida al patio y hueco para ventilación e iluminación, por lo

tanto, la hipótesis de que esta estabilidad térmica se debe a un buen aislamiento de los muros es muy poco creíble. Todas estas observaciones apuntan a que las personas de la guardería encargadas de controlar la climatización no se molestan en apagarla cuando terminan su jornada laboral.

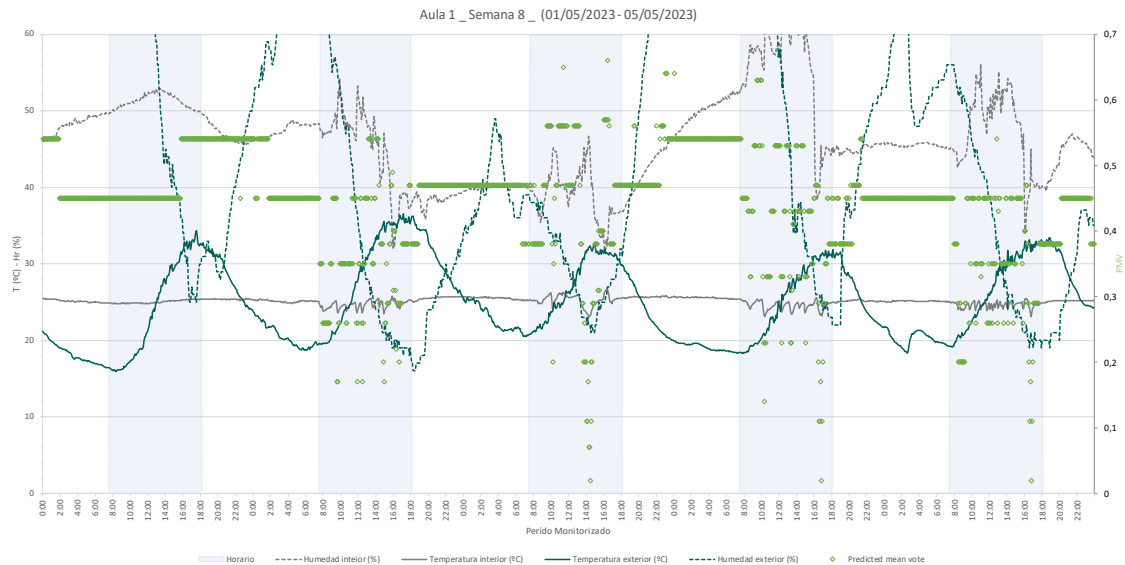


Figura 18 - Análisis gráfico de la evolución de T, Hr y PMV durante la semana 8 en el Aula 1.

Como puede intuirse por los valores de PMV registrados tanto en la semana 8 como en la 10 (Figura 8), esto redundaría en un confort térmico excelente al tener el aire acondicionado encendido durante todo el día, pero supone un gasto energético desmesurado en relación con los beneficios que supone para los niños y las trabajadoras del centro. Si lo que se quiere es mantener unas condiciones de temperatura óptimas incluso cuando a primera hora de la mañana cuando aún no han llegado los infantes basta con programar el encendido automático para que arranque unos minutos antes de las 7:30.

HUMEDAD

Siguiendo con el análisis del PMV, lógicamente si la temperatura se mantiene relativamente estable las principales variaciones se deberán a los cambios en la humedad interior. Tal y como era de esperar en una ciudad como Sevilla, sus valores permanecen siempre entre el 30% y el 60% de Hr, un rango aceptable que contribuye al buen confort térmico.

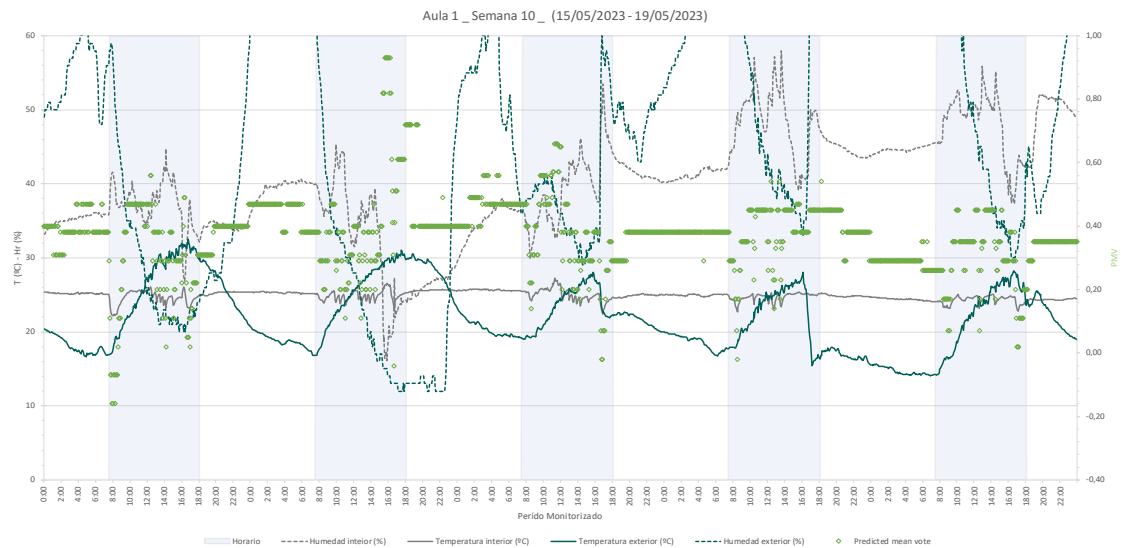


Figura 19 - Análisis gráfico de la evolución de T, Hr y PMV durante la semana 10 en el Aula 1.

La humedad relativa interior tiene un comportamiento más errático que la temperatura al depender de dos variables: la ocupación del recinto y el tiempo que pasa abierta la ventana. Muchos días se aprecia como la curva de la Hr interior sigue a la exterior, aunque sus oscilaciones suelen ser mucho más comedidas mientras la ventana se encuentra cerrada. Esto puede explicarse gracias a las infiltraciones de aire exterior. A medida que la humedad se incrementa por la noche y se infiltra en el aula sus mediciones se ven afectadas. No es hasta que llegan los ocupantes cuando este patrón se ve alterado. Tal y como puede apreciarse por ejemplo el día 2 de la semana 8 (Figura 9), la respiración de los niños y cuidadoras sumada al cierre y apertura de ventanas cada cierto tiempo genera una sucesión de altos y bajos durante el horario laboral.

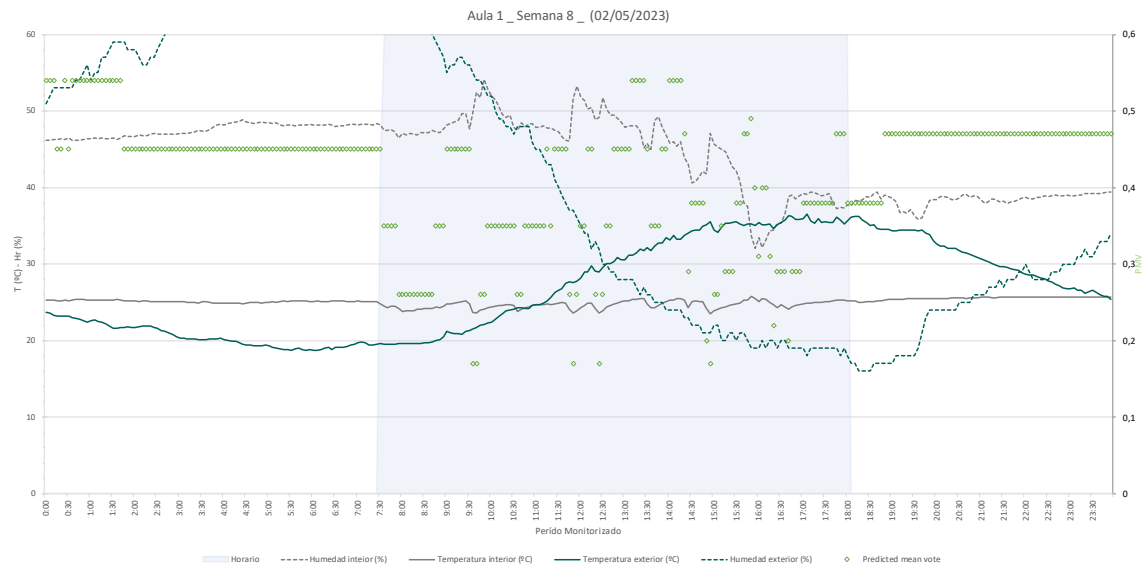


Figura 20 - Análisis gráfico de la evolución de T, Hr y PMV durante el 2 de mayo en el Aula 1.

Al comparar varios días entre sí se aprecia mejor el fenómeno comentado. Tanto el 2 de mayo (Figura 9) como el 4 de mayo (Figura 10) muestran esas oscilaciones a lo largo de la jornada

laboral. Los valores máximos y mínimos alcanzados dependen en gran medida de la Hr exterior. Como al abrir los huecos el aire exterior se introduce en el aula cuando la humedad exterior es especialmente alta se observa como la humedad interior asciende en concordancia.

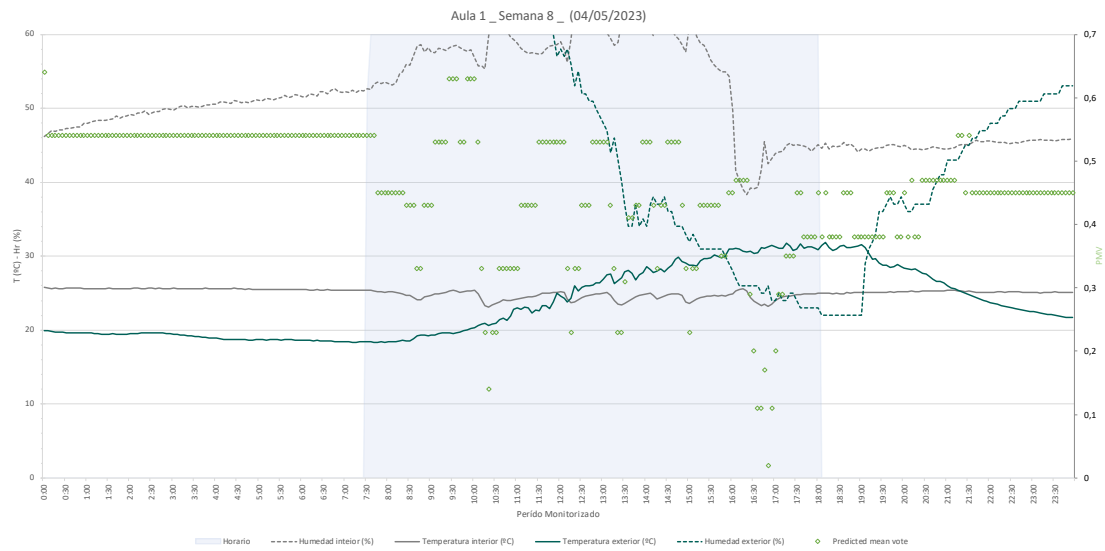


Figura 21 - Análisis gráfico de la evolución de T, Hr y PMV durante el 4 de mayo en el Aula 1.

Este fenómeno se muy claramente el día 17 de mayo (Figura 11) gracias al ascenso repentino de los valores de Hr exteriores mientras la ventana permanece abierta. Este día da la impresión de que alrededor de las 16:00 se abre la ventana del aula, por lo que la Hr interior comienza a descender gradualmente debido en parte a la diferencia tan pequeña que los separa. A las 16:30 no obstante la Hr exterior sube desde 32% hasta el 59% en cuestión de minutos, y la Hr la sigue de cerca hasta que algo después de las 17:30 la ventana se cierra y de repente la Hr interior deja de “imitar” a la curva de la Hr exterior, limitándose a descender gradualmente mientras la humedad exterior desciende a trompicones.

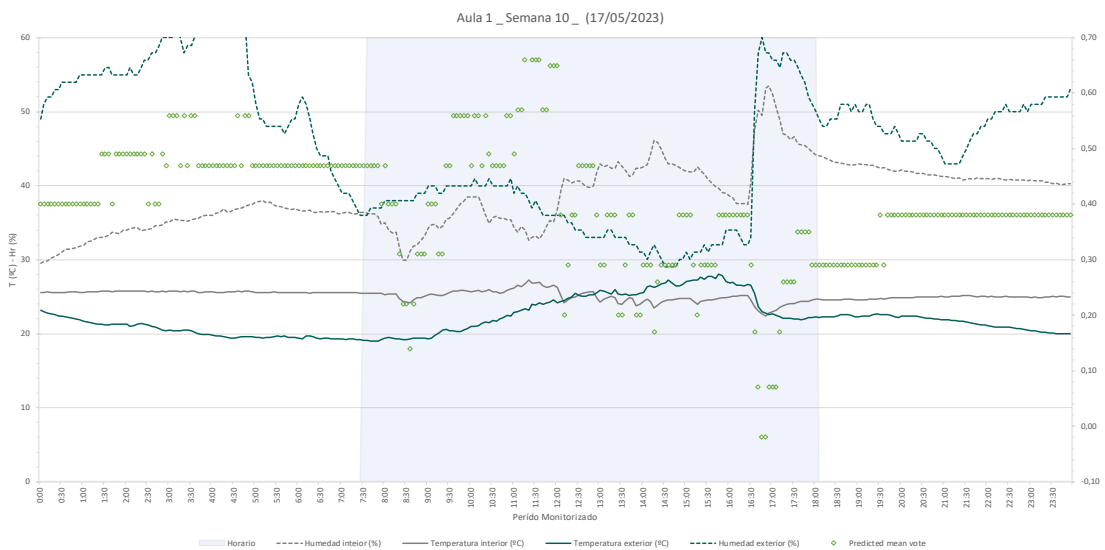


Figura 22 - Análisis gráfico de la evolución de T, Hr y PMV durante el 17 de mayo en el Aula 1.

Más allá de los efectos que la apertura de huecos pueda tener sobre la humedad también es interesante observar cómo se comporta una vez se cierran. Durante la mayor parte de los días analizados la Hr exterior cae hasta valores mucho más bajos a medida que avanza el día. La Hr interior por el contrario tiende a subir hasta estabilizarse en una sucesión de picos y valles diminutos. Esto explicaría resultados como el que se observa el 16 de mayo (Figura 12) entre las 15:30 y las 16:30. Antes de abrir las ventanas la Hr interior oscila entre el 35% y el 40%. En el momento en que se abre el hueco al patio comienza a descender aproximándose a la curva de la Hr exterior, sin llegar a alcanzarla tal vez por el aporte adicional de humedad de los ocupantes. Cuando la ventana se cierra alrededor de las 16:30, la Hr interior vuelve a subir súbitamente, aunque el abandono paulatino de las aulas por la recogida de los bebés hace que ya no se alcancen los mismos niveles registrados antes de las 14:30.

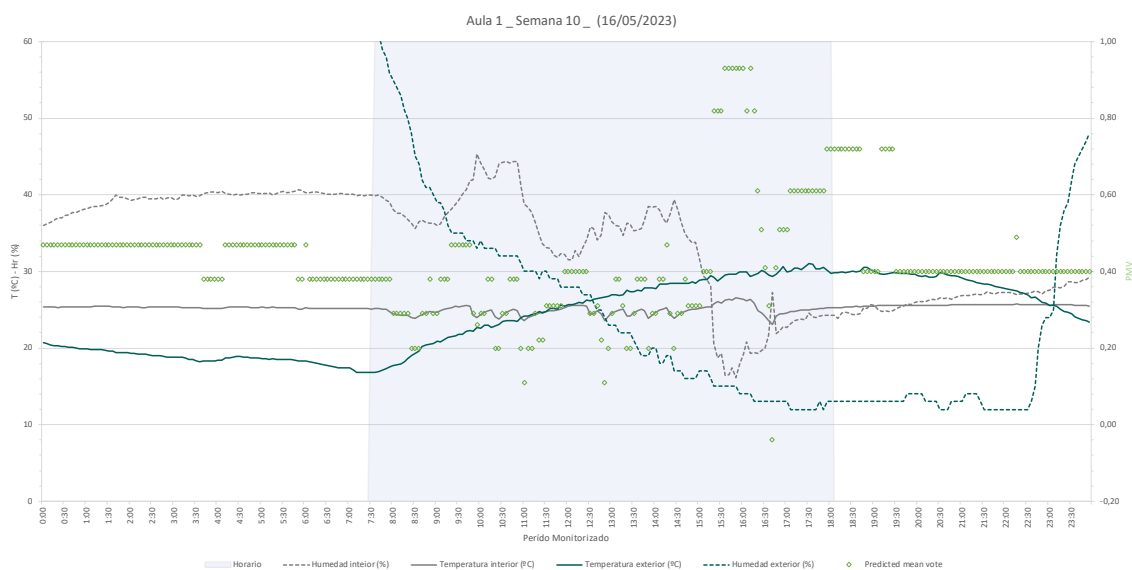


Figura 23 - Análisis gráfico de la evolución de T, Hr y PMV durante el 16 de mayo en el Aula 1.

Cuando a la humedad producida por los ocupantes se le suma una humedad exterior especialmente alta, como en el caso del 4 de mayo por ejemplo (Figura 10), los valores pueden dispararse hasta el 60%. Estas sin embargo son situaciones excepcionales que apenas afectan al confort térmico general del aula.

EVOLUCIÓN A LO LARGO DEL DÍA

En el apartado de la calidad del aire se estudia más en profundidad esta cuestión al contar con más datos, pero hay algunas conclusiones a las que se pueden llegar valiéndose de la temperatura y la humedad. Como vemos generalmente por la madrugada antes de que se abra la guardería se alcanzan los puntos de mínima T exterior y Hr exterior. A partir de ese momento ambas variables se invertirán, alcanzando su punto intermedio generalmente al mediodía. En cuanto a las variables interiores, es interesante observar cómo nada más comenzar la jornada laboral se aprecia una baja de la Hr y la T interior que pronto regresan a su estado inicial (40% y 25º respectivamente por regla general) o incluso a valores superiores. La temperatura sufre oscilaciones de muy pocos grados (3º excepcionalmente) pero rara baja de los 23º por motivos antes mentados. Es posible que mientras el aula esté en use un sensor de temperatura ayude a mantener unas condiciones agradables sin necesidad de que intervengan las cuidadoras o consigna, pero no se ha podido corroborar esta hipótesis.

A partir de las 11:30 la humedad vuelve a descender una vez se abren las ventanas para favorecer la ventilación. Los días 2 de mayo (Figura 9) y 4 de mayo (Figura 10) entre otros este patrón no se aprecia con tanta nitidez. Es probable que los altos valores de Hr exterior camuflen la apertura y cierre de ventanas, pero no se podrá confirmar hasta que no se analicen el resto de los datos relacionados con la calidad del aire. También hay que tener en cuenta que durante los días más calurosos el abrir las ventanas no es un método de ventilación tan efectivo como en los días más fríos. Eso podría explicar por qué durante la semana 10 la apertura de huecos tiene un impacto más significativo.

En lo que respecta al PMV, como ya se ha comentado antes y por motivos obvios la Hr interior es la única que altera su curso. Observando cualquiera de las gráficas queda claro que cuanto más sube este valor, más cerca está el PMV del valor ideal 0, sobre todo cuando la humedad ronda el 50%. Esto sugiere que tal vez convendría reducir ligeramente la temperatura de consigna dado que los niños podrían estar pasando calor por su alta tasa metabólica. Por otro lado, la tasa metabólica empleada para este estudio no es más que una estimación, por lo que probablemente las cuidadoras del centro han escogido esa temperatura con criterio. Convendría estudiar si 25º es la temperatura óptima para un bebé en esas condiciones.

AULA 1 – CAIDAD DEL AIRE

Debido a las correlaciones encontradas en el comportamiento del CO₂, la TVOC y las PM_{2,5} esta parte del análisis se centrará más específicamente en la evolución del CO₂ durante cada fase de la jornada laboral para luego dedicar un apartado específico a las particularidades de los otros dos contaminantes.

PRIMERAS HORAS DE LA MAÑANA – DE 7:30 a 10:00

Tal y como era de esperar, las concentraciones de CO₂, TVOC y PM_{2,5} comienzan a ascender poco después del inicio la jornada laboral. Se puede observar cómo dicho aumento se produce de manera gradual entre las 7:30 y las 8:30 aproximadamente, y una vez transcurrida esa primera hora se dispara hasta alcanzar valores superiores a los 1500 ppm de CO₂ en torno a las 10:00 la mayoría de los días, momento en el que empieza a descender. Es importante resaltar que ocasionalmente dichos valores superan incluso los 2000 ppm de CO₂ (Figura 13). Estas subidas pueden deberse a que a primera hora de la mañana los niños van llegando paulatinamente, y no es hasta las 8:30 / 9:00 cuando el grueso de los bebés entra al aula. Se explicaría así esas primeras horas de aumento gradual de los parámetros, que además concuerda con observaciones realizadas los días en que se visitó el centro durante las primeras horas de la jornada laboral. Alrededor de las 9:30 aproximadamente llegan al aula los últimos infantes.

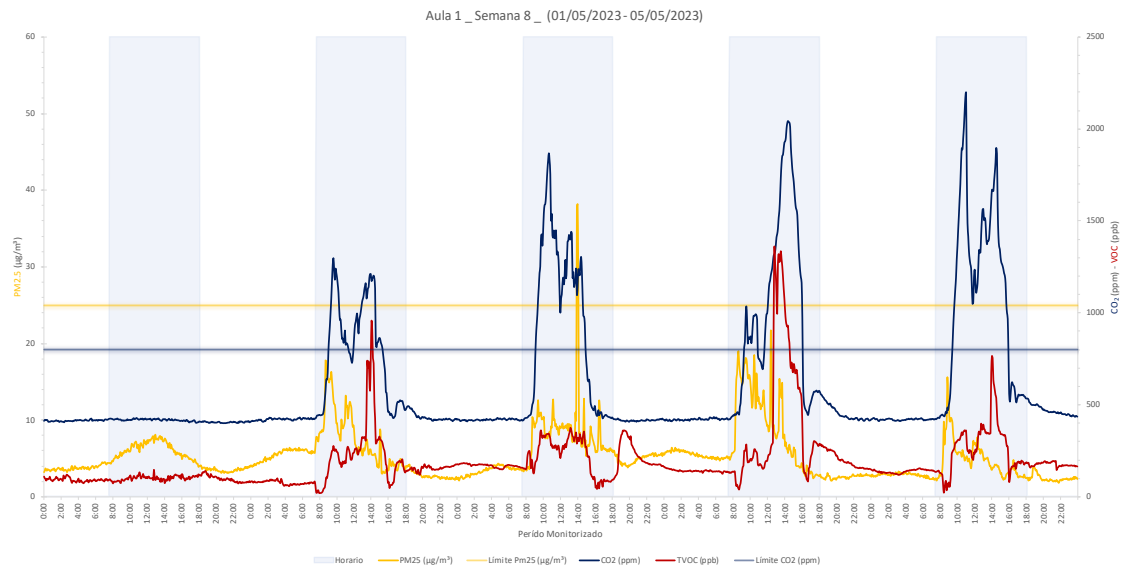


Figura 24 - Análisis gráfico de la evolución de CO₂, TVOC y PM_{2,5} durante la semana 10 en el Aula 1.

Según las encuestas completadas por las cuidadoras, las ventanas se abren alrededor de las 8:30 (8:00 muy ocasionalmente) y se cierran en torno a las 15:00. Esto no concuerda con los datos obtenidos de las mediciones. Si observamos la gráfica de la semana 10 a modo de ejemplo (Figura 14), los niveles de CO₂ no comienzan a descender en picado hasta las 10:00 o incluso más tarde en muchos casos. Dicho descenso se detiene alrededor de las 11:30 (algunos días puede llegar a darse media hora antes o después del promedio). Todo parece apuntar que este es uno de los dos únicos períodos del día durante el cual las ventanas permanecen realmente abiertas.

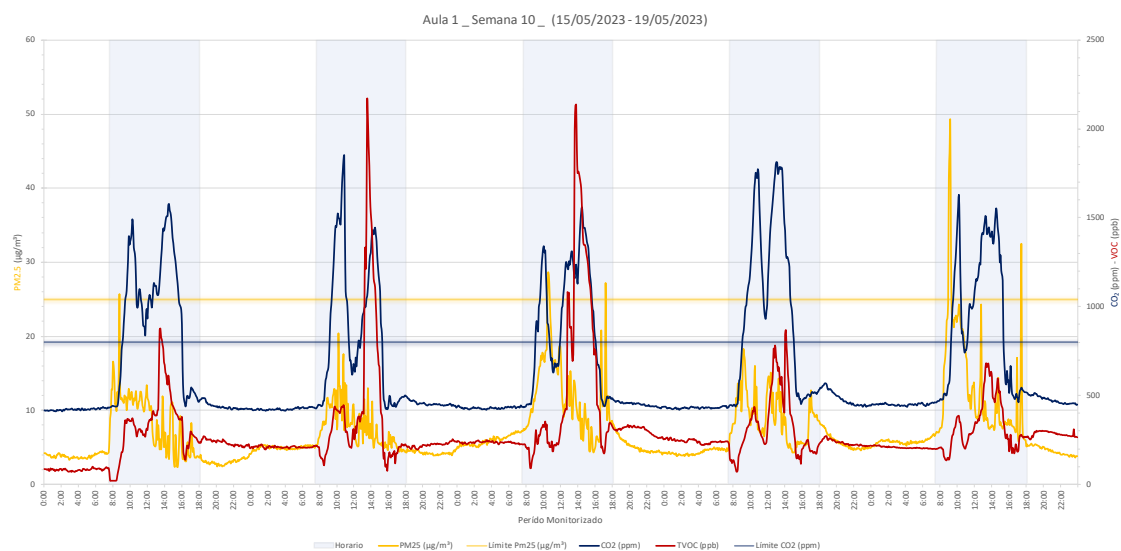


Figura 25 - Análisis gráfico de la evolución de CO₂, TVOC y PM_{2,5} durante la semana 10 en el Aula 1.

Lejos de querer dar a entender que las cuidadoras podrían haber faltado a la verdad existen muchas otras hipótesis que pueden explicar esta discrepancia entre las observaciones empíricas y las encuestas. De hecho, no hay porqué descartar por completo la idea de que las cuidadoras abran las ventanas cuando la mayoría de los niños comienzan a llegar. Cuando se les preguntó

una segunda vez por los patrones de apertura de huecos varias trabajadoras del centro dieron a entender que mientras a la temperatura exterior fuese aceptable las ventanas permanecían ligeramente abiertas. Es posible que las abran parcialmente, aunque solo sea unos centímetros. No sería hasta que notan que el aire está viciado cuando sienten la necesidad de abrirla por completo, resultando en esa drástica bajada de los valores medidos por el sensor.

Además, tal y como se comentó en el análisis del confort térmico se suele apreciar una bajada momentánea de la temperatura justo al inicio de la jornada. Teniendo estos datos en cuenta y observando el descenso de los niveles de TVOC en ese mismo instante la mayoría de días (Figura 15) puede suponerse que nada más llegar alguno de los empleados de la guardería abre las ventanas antes de que los niños empiecen a llegar. Se podría poner en duda esta hipótesis al apreciar que los niveles de CO₂ no parecen descender junto con la temperatura y el TVOC, sin embargo, hay que tener en cuenta que a primera hora de la mañana el CO₂ ronda los 420 ppm, por lo que es normal que al abrir la ventana no varíe.

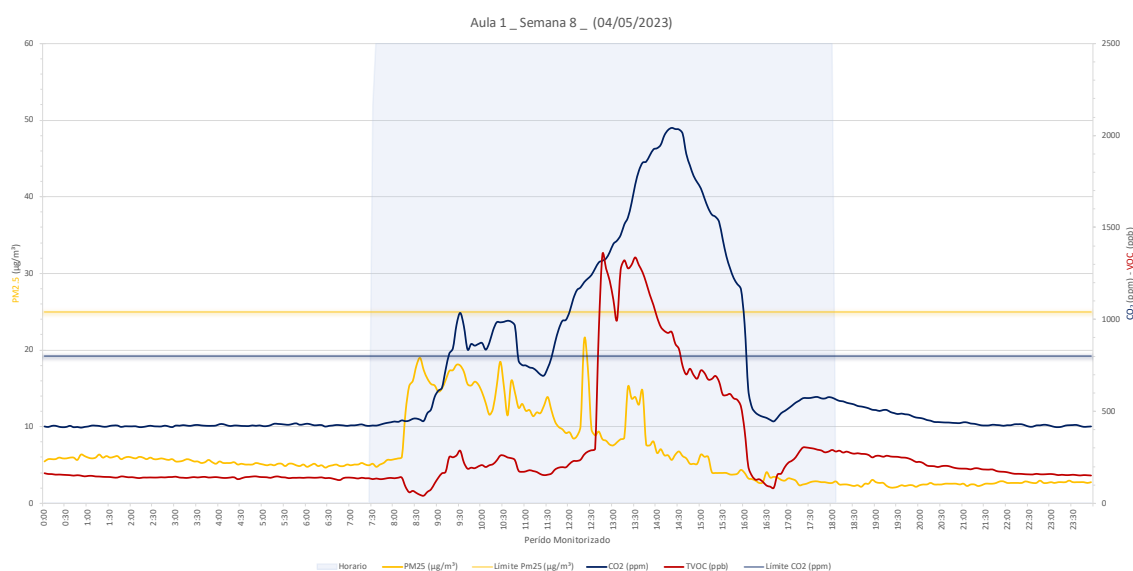


Figura 26 - Análisis gráfico de la evolución de CO₂, TVOC y PM2,5 durante el 4 de mayo en el Aula 1.

MEDIA MAÑANA – DE 10:00 A 12:30

A partir del momento en que los niveles de CO₂ se estancan surgen dos posibilidades distintas. La mayoría de los días la medición oscila en varios picos diminutos antes de volver a dispararse (Figura 17). Otras veces esta oscilación se mantiene durante más tiempo, llegando a la hora y media o incluso las dos horas en ocasiones, antes de volver a ascender (Figura 17). La aparición de estos pequeños picos durante los momentos de transición podría explicarse a través de las entradas y salidas de cuidadoras en el aula. Es en este momento cuando aprovechan para salir con tal de descansar o para reponer pañales y otros productos.

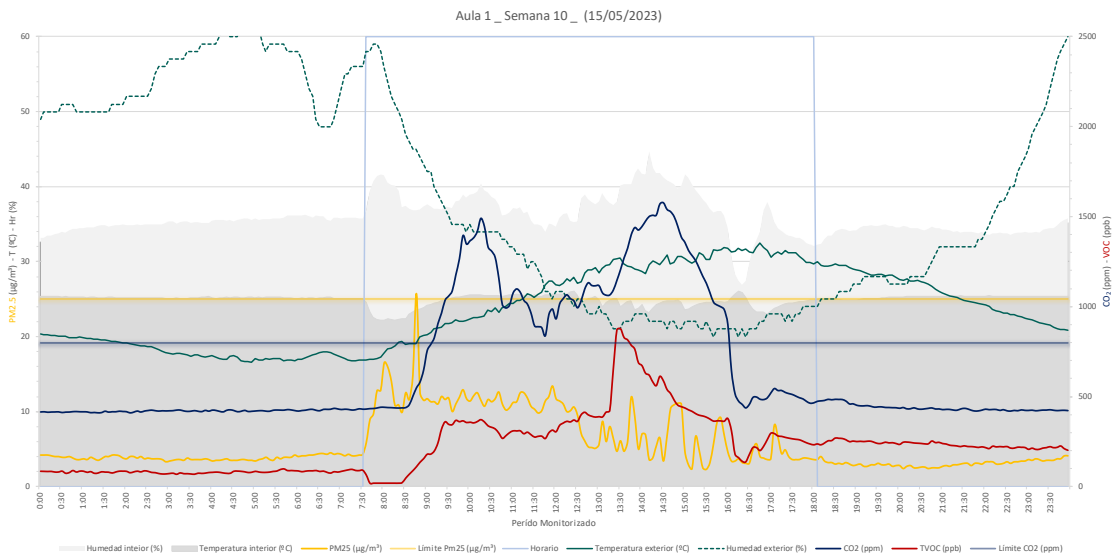


Figura 27 - Análisis gráfico de la evolución de la T, Hr, CO_2 , TVOC y $\text{PM}_{2,5}$ durante el 15 de mayo en el Aula 1.

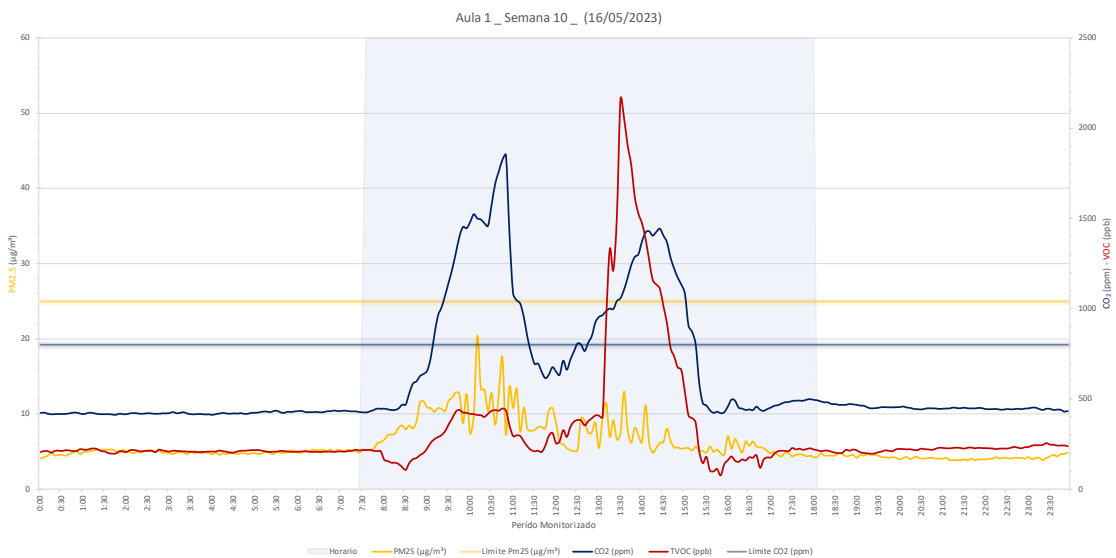


Figura 28 - Análisis gráfico de la evolución de CO_2 , TVOC y $\text{PM}_{2,5}$ durante el 16 de mayo en el Aula 1.

Dichas oscilaciones parecen durar más o menos en función del tiempo que la ventana permanece abierta antes de que todas las cuidadoras reanuden su tarea y decidan cerrarla. Dicha hipótesis además ayudaría a explicar por qué el valle de CO_2 coincide con el de la temperatura interior teniendo en cuenta que la entrada de aire del exterior es el único condicionante capaz de generar semejante impacto en esta variable. Las otras condicionantes, como la ocupación, tienen un efecto mucho más lento y gradual en la temperatura interior. También es posible que al no cerrar la puerta para entrar y salir mientras la ventana permanece abierta genere ventilación cruzada, aunque sería poco creíble teniendo en cuenta que la puerta da a un pasillo por el que no parece circular un caudal de aire considerable.

PRIMERAS HORAS DE LA TARDE – 12:30 A 16:00

En cualquier caso, independientemente del tipo de “valle” que se dé ese día en cuanto las cuidadoras cierran las ventanas las variables pronto vuelven a dispararse sin control. No se aprecia un patrón claro con respecto a qué días el segundo pico de CO₂ es más alto que el primero. Este segundo pico por regla general se da entre la 13:30 y las 14:30, aunque la mayoría de los días suele ser en torno a las 14:00.

Tras alcanzar el segundo pico encontramos muchas situaciones diferentes dependiendo del día, la más frecuente siendo una caída casi tan pronunciada como la subida que la precede. Este sería el caso de días como el 15 (Figura 16) y el 16 de mayo (Figura 17). Varios días del mes observamos oscilaciones similares a las que se apreciaban en el valle antes descrito, solo que algo más pronunciadas (Figura 18). Dichas oscilaciones en ocasiones son tan notables que llegan a conformar sus propios valles y picos, aunque generalmente no alcanzan la magnitud ni la duración de los otros.

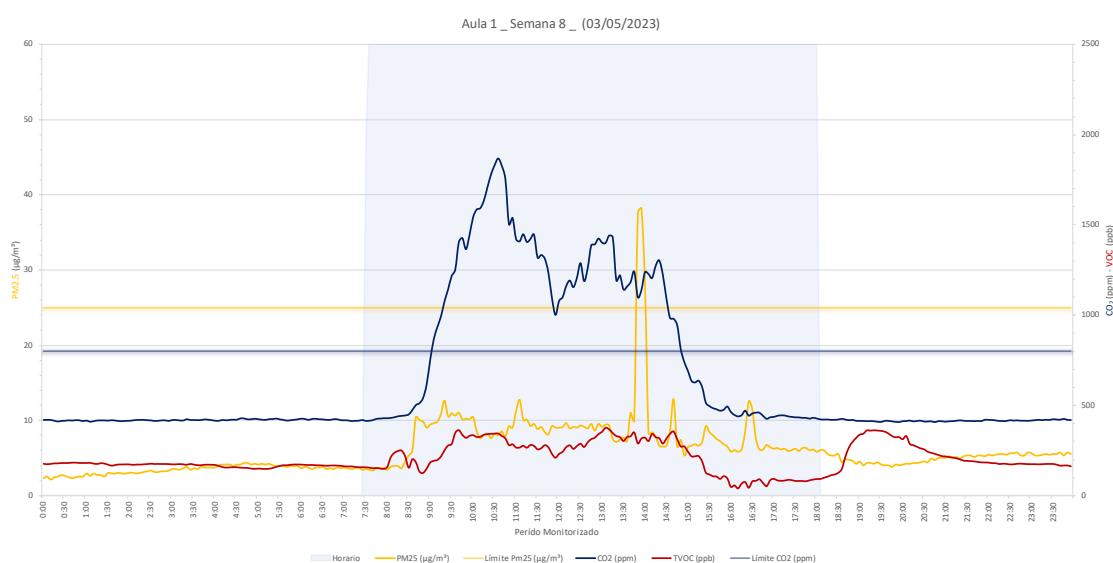


Figura 29 - Análisis gráfico de la evolución de CO₂, TVOC y PM_{2,5} durante el 3 de mayo en el Aula 1.

Es complicado aseverar con certeza cuál puede ser la causa última de estos altibajos sin observar de primera mano que es lo que está ocurriendo en el aula en ese momento. El hecho de que sobre esa hora (entre las 14:00 y las 16:00 aproximadamente) las niñeras y padres comienzan a recoger a los niños tras volver del trabajo debe influir. La hipótesis que se asemeja más plausible sería la siguiente: las cuidadoras podrían estar entrando y saliendo del aula para dejar a los bebés con sus padres en la recepción. Al hacerlo la ocupación del aula subiría y bajaría en función de las entradas y salidas, hasta que el número de niños empezase a descender de forma significativa dando lugar a las bajadas drásticas que se aprecian a continuación. Tampoco se puede descartar la posibilidad de que sobre esa hora las cuidadoras vuelvan a abrir la ventana por motivos similares a los que se ha explicado antes (al fin y al cabo, habrían transcurrido varias horas con los huecos cerrados). Esta segunda hipótesis sin embargo contribuiría a explicar únicamente el descenso de los niveles de CO₂, no su subida momentánea.

Otro aspecto relacionado que no se ha comentado aún tiene que ver con el hecho de que las gráficas de CO₂ tanto en las subidas como en las bajadas se aprecian escalones ocasionales: esto es, no son completamente lineales, sino que presentan irregularidades puntuales. De nuevo, uno

de los principales causantes podría ser la variación en la ocupación del aula, especialmente cuando la persona que la abandona momentáneamente se trata de una de las trabajadoras del centro, las cuales tienen un mayor tamaño y por tanto generan una mayor cantidad de CO₂ con su respiración.

Un factor que apoya la hipótesis de los cambios en la ocupación como uno de los principales responsables es la diferencia que se aprecia entre los cambios de humedad y los de temperatura. Al abrir un hueco lo esperable sería ver como todos los valores medidos tienden a igualarse con los del exterior. Sin embargo, si se presta atención a la gráfica (Figura 19) se puede ver cómo en esos momentos antes descritos la humedad describe cambios similares mientras que la temperatura tiende a mantener su curso más o menos inalterada. Los cambios en la temperatura pueden tardar más en registrarse, pero la forma que describe la curva en la gráfica debería parecerse, aunque solo sea ligeramente a la del CO₂. Como mucho se vería que la curva de la temperatura está ligeramente desplazada a la derecha.

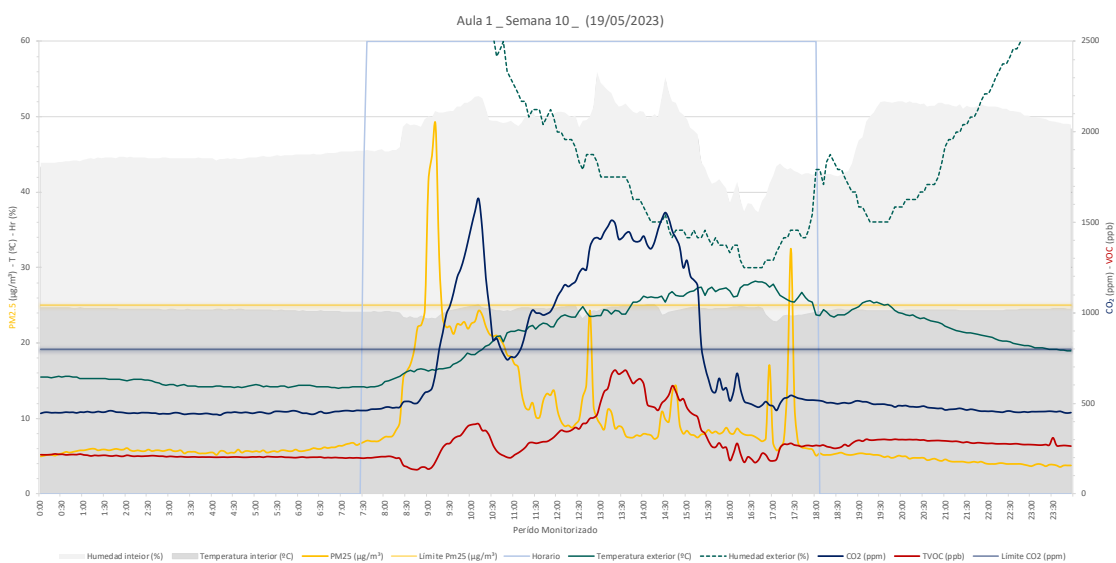


Figura 30 - Análisis gráfico de la evolución de la T, Hr, el CO₂, TVOC y PM_{2,5} durante el 19 de mayo en el Aula 1.

Un argumento que podría esgrimirse en contra de esta última afirmación sería el siguiente: es posible que no se esté registrando un cambio significativo en la temperatura interior debido a que la climatización lo oculta. Aunque esta crítica es razonable, no parece creíble que la climatización por si sola pueda ocultar completamente la apertura del hueco. Se esperaría que atenuase el contraste entre el interior y el exterior, pero la entrada de aire debería dejar alguna señal en la gráfica, como lo hace en aquellos instantes en los que se sabe que los huecos se mantienen abiertos.

Así ocurre por ejemplo cuando se alcanza el primer pico y comienza a descender: la temperatura desciende junto con los otros valores, si bien su forma no es la misma ya que sus variaciones no son tan volátiles como las de las partículas. Esto ocurre así porque al abrir la ventana el aire del exterior reemplaza al del aula siendo este primero varios grados más fríos. Cuando los ocupantes empiezan a desalojar el aula sin embargo esa renovación del aire no sucede, simplemente se eliminan fuentes de CO₂, PM_{2,5}, TVOC, humedad relativa y calor. Al abandonar la estancia el medidor capta inmediatamente que una fuente de CO₂ y Hr acaba de desaparecer, sin embargo, necesita tiempo para registrar esa reducción gradual de la temperatura.

FIN DE LA JORNADA

Retomando el análisis de la gráfica en el momento en que los padres recogen a los niños: los niveles de todas las variables medidas van descendiendo, alternando pequeños “escalones” entre períodos de descenso casi vertical. Entre las 16:00 y las 17:00 la curva del CO₂ vuelve a tocar fondo, sin volver a elevarse hasta el día siguiente a la misma hora a la que empezó todo (Figura 19).

Tal y como cabría esperarse la curva no termina de estabilizarse por completo hasta que concluye la jornada laboral. Aunque no se producen grandes cambios a partir de las 17:00, se puede apreciar como el nivel de CO₂ asciende apenas 100 ppm una última vez antes de volver al estado de reposo en el que se encuentra cuando las trabajadoras del centro llegan a primera hora de la mañana. Viendo como durante ese breve instante la temperatura y la humedad también aumentan se puede estimar sin mucho riesgo de error que la ventana se cierra por completo sobre esa hora poco antes de abandonar por completo y cerrar el aula. Este dato tampoco concuerda con los extraídos de las encuestas, en las cuales se ha indicado que las ventanas permanecen cerradas a partir de las 15:00. Puede que realmente sea así, pero las mediciones dan a entender que varios días a la semana se deja como poco ligeramente abierta hasta que no ha sido recogido el último bebé. Parece que solo entonces se aseguran de que esté completamente cerrada, y permanecen durante un período de tiempo muy corto (menos de media hora) seguramente para terminar de recoger el aula antes de terminar su turno. Otra posibilidad a considerar para explicar este fenómeno serían las limpiadoras, pero viendo que los niveles de TVOC no sufren alteraciones fuera de lo común parecería que esta hipótesis no es capaz de explicar los datos registrados.

PM2,5

Las PM2,5 parecen seguir el patrón general del CO₂ buena parte del tiempo, pero tiene desviaciones difíciles de explicar. Siendo un contaminante proveniente principalmente del exterior no se comprende cómo hay ocasiones en las que se abre una ventana y sus valores bajan en lugar de subir. A estas dificultades se suma el hecho de que durante algunas semanas se registraron valores claramente erróneos, como en el caso de la semana 5 (Figura 20), donde se registraron valores superiores a 1900 µg/m³ durante la madrugada, cuando el aula está completamente vacía y cerrada.

Tal vez se podría achacar al nivel de contaminación exterior, pero la zona en la que se encuentra la guardería no parece sufrir grandes alteraciones en el volumen de tráfico a lo largo de las semanas. En cualquier caso, es complicado probar o desmentir esta teoría debido a que no se poseen mediciones de partículas en el aire exterior cerca de esa zona.

Si bien es cierto que estas elevadas concentraciones puntuales pueden ser preocupantes, la mayor parte del tiempo los niveles de PM2,5 se mantienen por debajo del límite establecido para el IDA1, y su evolución es fácilmente explicable en función de la ocupación y los patrones de apertura de ventanas.

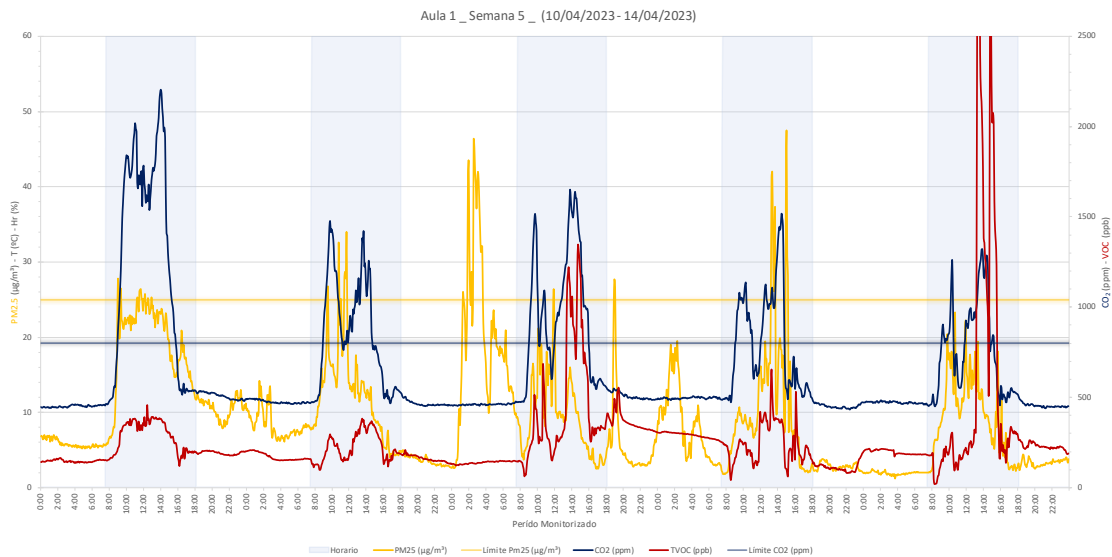


Figura 31 - Análisis gráfico de la evolución de CO₂, TVOC y PM_{2,5} durante la semana 5 en el Aula 1.

TVOC

En lo que respecta a las TVOC de nuevo vemos un comportamiento general muy similar al del CO₂, pero se aprecian anomalías carentes de cualquier tipo de explicación evidente. Es normal que la forma que describen ambas curvas no coincida, lo sorprendente son los picos de TVOC que se registran algunos días.

El 16 de mayo (Figura 17) por ejemplo el medidor detectó valores por encima de las 2000 ppb entre la 13:30 y las 14:00. Al no contar con un desglose de qué compuestos son los más abundantes en esas mediciones extraordinarias no se puede aseverar que puede estar causándolas. Es posible que tenga que ver como utensilios de dibujo y o manualidades que empleen los niños como rotuladores, aunque también podría deberse a productos de limpieza. Aun así la mayoría de días el TVOC se mantiene bastante estable aumentando su concentración únicamente cuando la ventana permanece cerrada demasiado tiempo.

AULA 2 – RESULTADOS GENERALES

En apartados anteriores se interpretó los resultados obtenidos del Aula 1. Como era de esperar, los resultados del Aula 2 no distan mucho de los anteriores, por tanto, para evitar repetir información ya trivial a continuación el análisis se centrará en aquellos aspectos de la segunda aula que se salen de la norma. El objetivo principal es el de encontrar diferencias significativas que puedan deberse a distintos patrones de comportamiento o medidas adoptadas por las trabajadoras.

TEMPERATURA Y HUMEDAD

Este quizás es el punto en el que menos necesidad hay de detenerse dadas las similitudes con el Aula 1. Al tener un sistema de climatización y ventilación supuestamente unificado, no es de extrañar que las mediciones en cuanto a confort térmico sean casi idénticas. De nuevo vemos como el promedio del PMV oscila entre 0,6 y -0,2, dando a entender que se trata de una estancia

bien climatizada (Figura 21). Como era de esperar también en esta aula parece que se han dejado la calefacción encendida fuera del horario laboral. Puede verse en cómo durante los días festivos como el 1 de mayo o durante la noche de cualquiera de los días analizados la medición de T apenas varía (Figura 22).

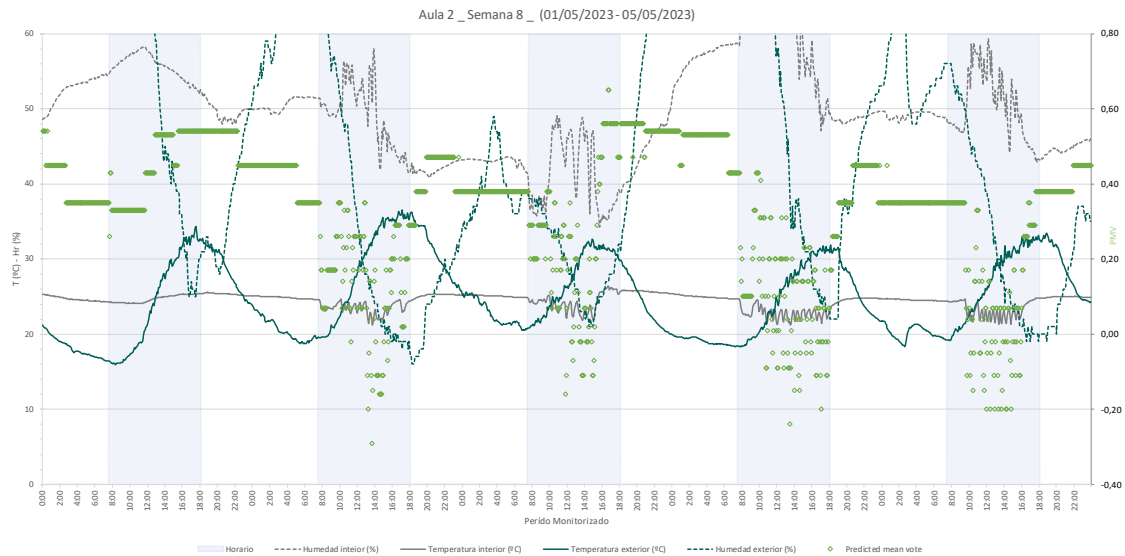


Figura 32 - Análisis gráfico de la evolución de T, Hr y PMV durante la semana 8 en el Aula 2.

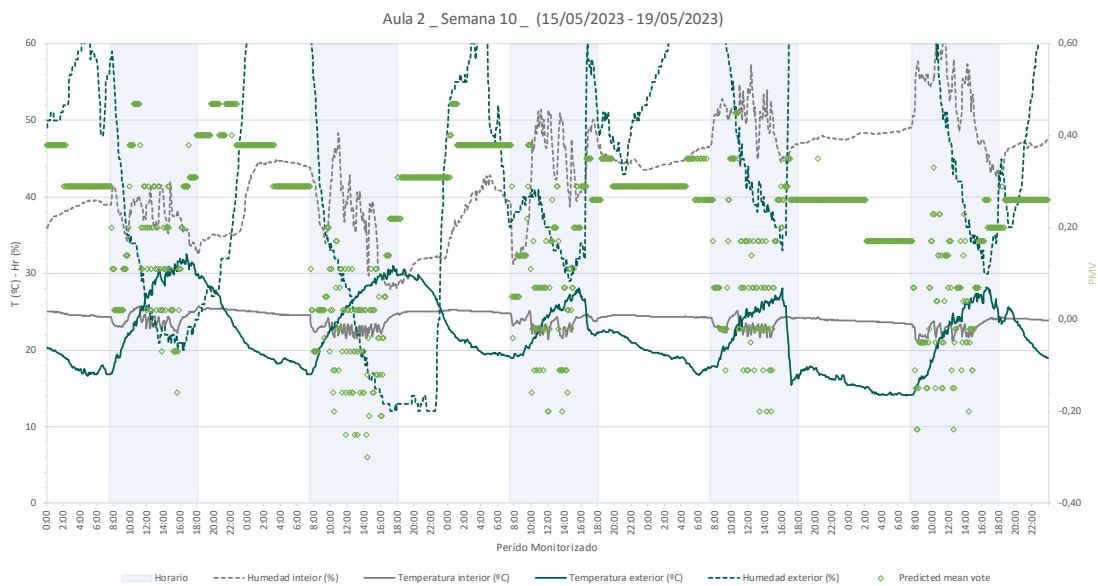


Figura 33 - Análisis gráfico de la evolución de T, Hr y PMV durante la semana 10 en el Aula 2.

En lo que respecta a la humedad los patrones parecen idénticos a los del Aula 1. Tanto los días de la semana 8 (Figura 23) como los de la 10 (Figura 24) muestran las mismas curvas que ya se analizaron en apartados anteriores.

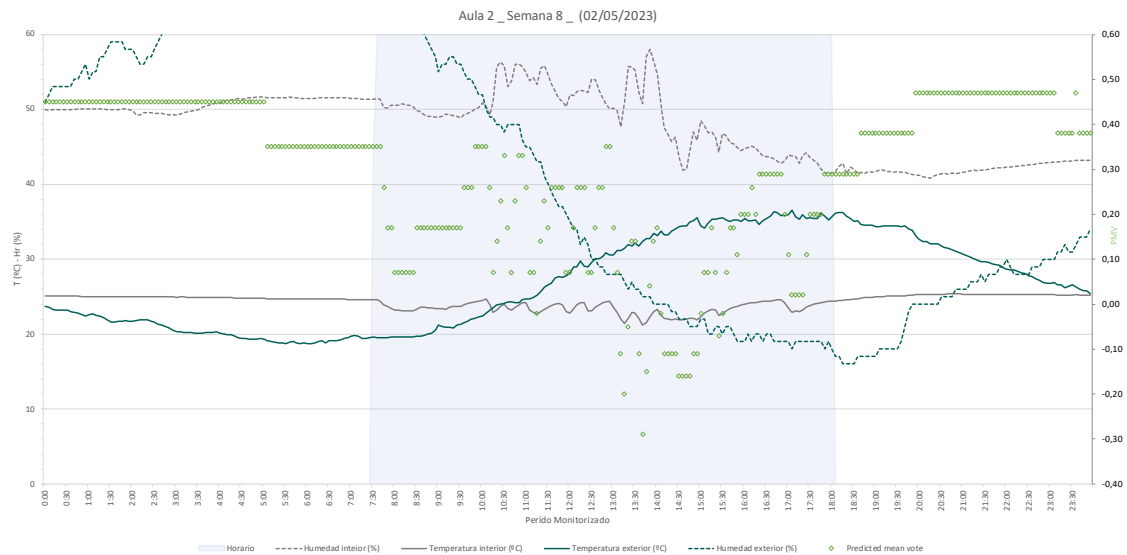


Figura 34 - Análisis gráfico de la evolución de T, Hr y PMV durante el 2 de mayo en el Aula 2.



Figura 35 - Análisis gráfico de la evolución de T, Hr y PMV durante el 17 de mayo en el Aula 2.

CO₂, TVOC Y PM2,5

Si se observa las gráficas del Aula 2 podría parecer que la curva de CO₂ es igual a la del Aula 1. Aunque la distribución general es similar, se aprecian varias diferencias que es necesario explicar.

En primer lugar, está la cuestión del número de picos. En el caso anterior la mayoría de los días solo podían distinguirse dos momentos en los que la concentración alcanzaba sus puntos álgidos. En esta estancia por el contrario son más comunes las jornadas con 3 o incluso 4 bastante marcados (Figura 25).

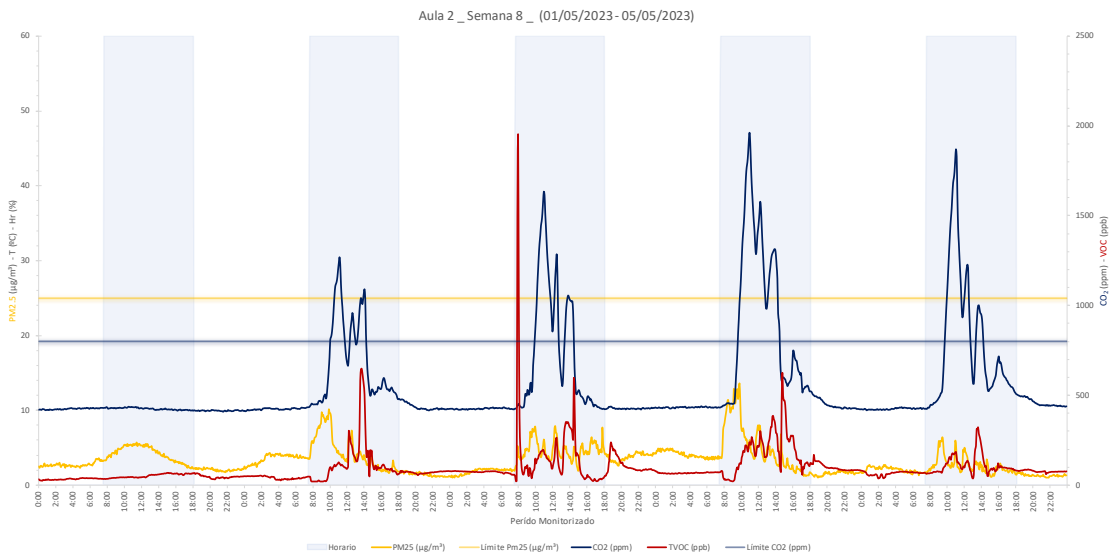


Figura 36 - Análisis gráfico de la evolución de CO₂, TVOC y PM_{2,5} durante la semana 8 en el Aula 2.

Estos datos parecen coincidir con los resultados obtenidos en las encuestas, incluso si no están del todo bien rellenas. Si bien la distribución de la curva de CO₂ no coincide a la perfección con las aperturas y cierres de los huecos, se puede ver como las cuidadoras del aula 2 tienden a espaciar la apertura de ventanas en el tiempo en lugar de tratar de concentrarla. Tampoco se puede menospreciar la posibilidad de que algunas horas anotadas en la encuesta puedan ser inexactas debido a algún error a la hora de rellenarla o a la propia imprecisión resultante de los intervalos de 30 minutos en comparación con las mediciones realizadas cada 5.

En cualquier caso la realidad es que el abrir con más frecuencia las ventanas parece tener un efecto positivo en la salubridad del aire. Tanto en la semana 8 (Figura 25) como en la 10 (Figura 26) se observan promedios de CO₂, TVOC y PM_{2,5} inferiores si la comparamos con el Aula 1. Este hecho es especialmente significativo si se tiene en cuenta que la media de edad del Aula 2 es mayor: los niños de entre 1 y 2 años exhalan más CO₂ que los bebés de entre 4 y 12 meses.

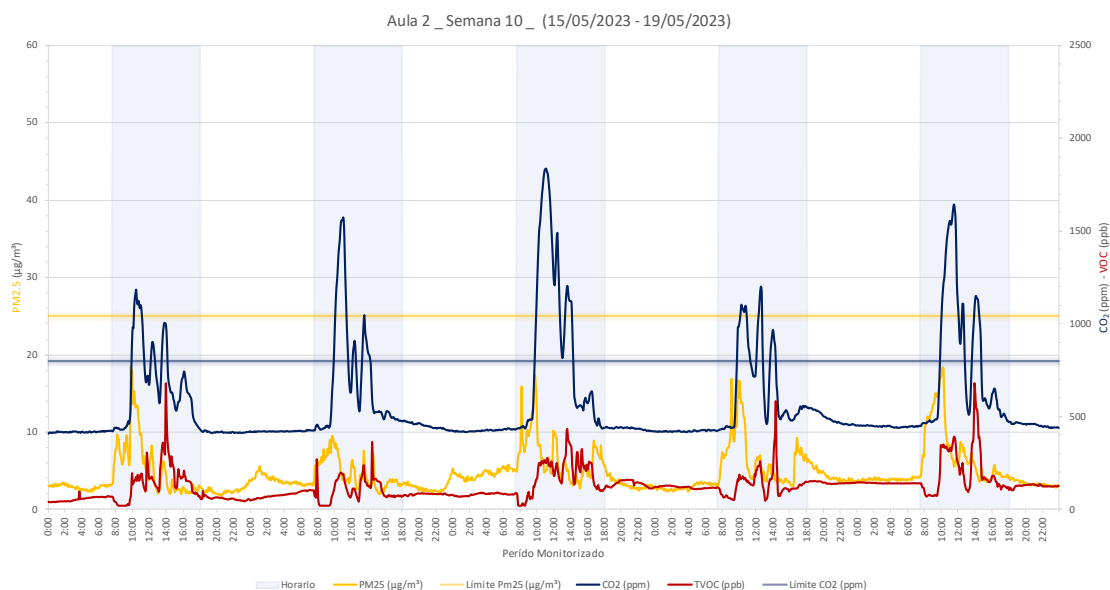


Figura 37 - Análisis gráfico de la evolución de CO₂, TVOC y PM_{2,5} durante la semana 10 en el Aula 2.

Que los valores sean mejores sin embargo no significa que sean buenos. La mayoría de días las mediciones de CO₂ sigue superando con creces los límites establecidos, alcanzando picos de 1500 o incluso de 1900 ocasionalmente.

Observando figuras como las del 4 de mayo (Figura 27) es fácil darse cuenta de que los picos de CO₂, TVOC y PM_{2,5} parecen seguir un horario mucho más estricto que en el Aula 1. El primero siempre se alcanza a las 11:00, momento a partir del cual comienza a descender hasta tocar fondo a las 11:30 (aun así, el dióxido de carbono no baja de los 500 ppm). Esta franja horaria coincide exactamente con la del recreo de los infantes.

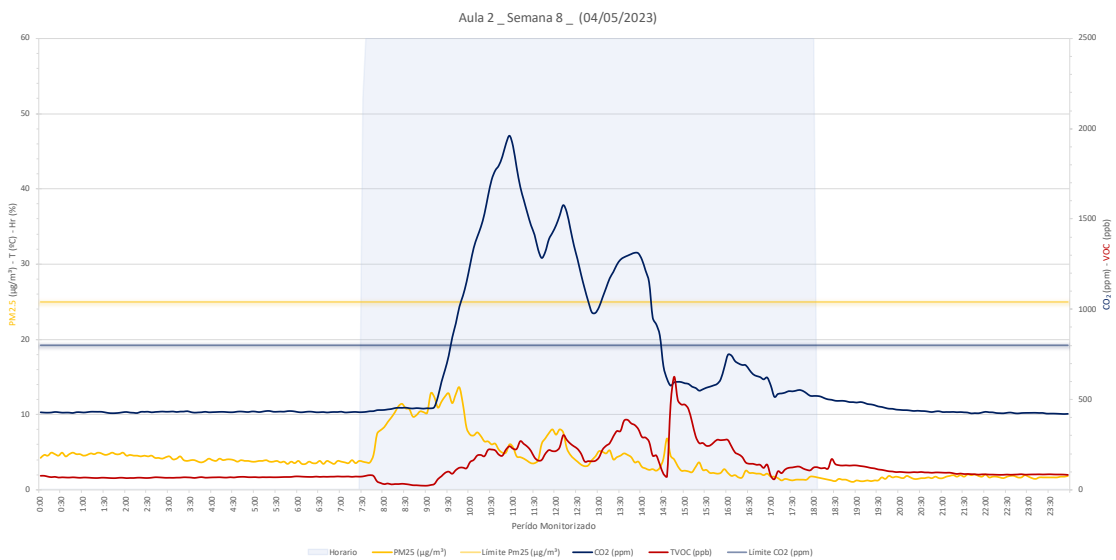


Figura 38 - Análisis gráfico de la evolución de CO₂, TVOC y PM_{2,5} durante el 4 de mayo en el Aula 2.

A continuación, por regla general transcurren 30 minutos antes de que la curva vuelva a descender, como se aprecia en por ejemplo el 5 de mayo (Figura 28).

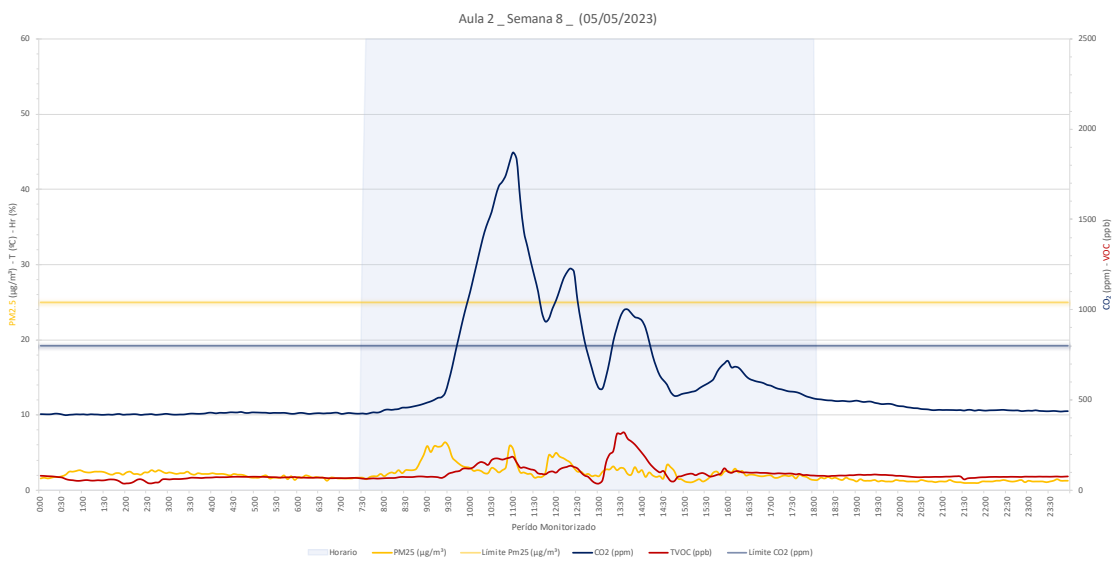


Figura 39 - Análisis gráfico de la evolución de CO₂, TVOC y PM_{2,5} durante el 5 de mayo en el Aula 2.

Este segundo descenso solo puede explicarse mediante a la apertura de huecos. Si en el primer valle lo más probable es que la ventana quede ligeramente abierta para favorecer la renovación del aire mientras los niños juegan en el patio, en esta 2ª ocasión todo apunta a que la ventana permanece completamente abierta entre las 12:30 y la 13:30 dependiendo del calor que haga ese día. Este patrón se mantiene increíblemente constante a lo largo del tiempo. La mayoría de los días de la semana 10 por ejemplo también parecen seguirlo, como en el caso del 17 de mayo (Figura 29).

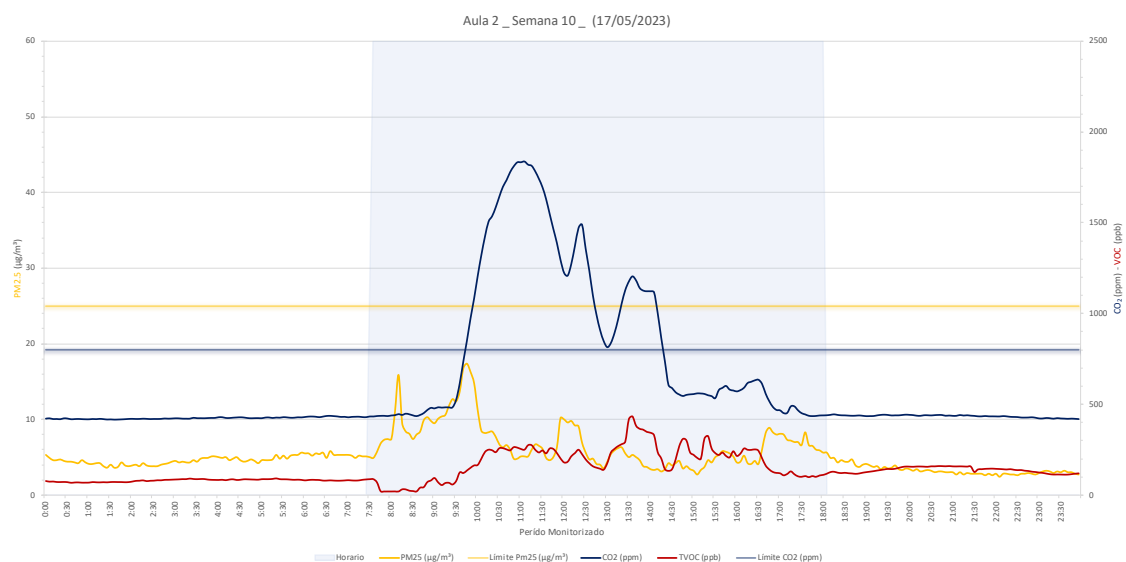


Figura 40 - Análisis gráfico de la evolución de CO₂, TVOC y PM_{2,5} durante el 17 de mayo en el Aula 2.

A partir de este punto los niños permanecen un tiempo en el aula hasta su hora de la siesta, la cual suele ser de 14:00 a 15:30. Este hecho también queda reflejado en las curvas de CO₂, TVOC y PM_{2,5} ya que precisamente en esa franja horaria suele darse un nuevo descenso. Es bastante probable que las cuidadoras aprovechen para abrir las ventanas todo lo posible una vez más, lo que contribuiría a explicar porque algunas de las concentraciones más bajas de CO₂ suelen alcanzarse en este valle. Es posible que los niveles no se igualen con los del exterior (420 ppm) por la presencia de cuidadoras o de algunos niños que no han podido dormirse al no estar lo suficientemente cansados.

Una vez termina su siesta lo más normal es que los padres recojan al niño, sin embargo, algunos permanecen en la guardería hasta las 16:30 / 17:00, seguramente porque no hay quien pueda encargarse de ellos antes. Este sería el motivo por lo que tras la hora de la siesta se aprecia una nueva subida de los valores de las 3 variables, si bien apenas superan rara vez valores de 700 ppm y no tarda más de 30 minutos en desaparecer, como en el caso del 19 de mayo (Figura 30).

Tras ser recogidos los últimos niños vemos como los niveles de CO₂, TVOC y PM_{2,5} van descendiendo, con pequeños baches producidos por la ocupación de los empleados de la guardería que se encargan de recoger las aulas. Tras esto no volverán a ascender hasta el día siguiente.

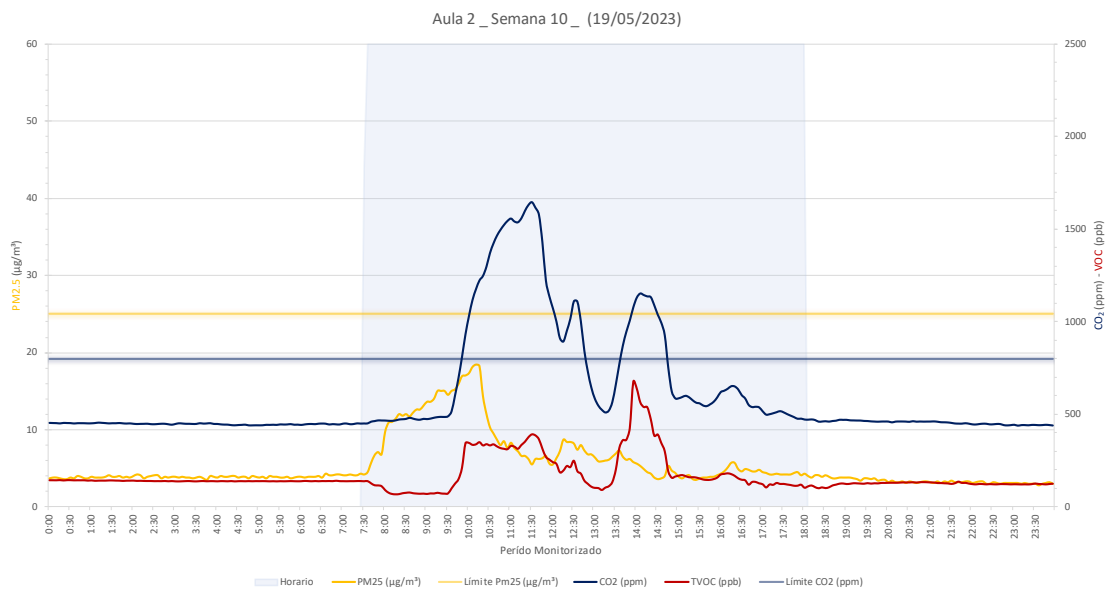


Figura 41 - Análisis gráfico de la evolución de CO₂, TVOC y PM_{2,5} durante el 19 de mayo en el Aula 2.

NUEVO PROTOCOLO DE ACTUACIÓN: SEMANA 11

Como ya se ha comentado con anterioridad a raíz de los datos que se estaban obteniendo durante la campaña de medición se barajó la posibilidad de implementar algunas medidas en las aulas con la ayuda de las cuidadoras. Se sugirió mantener las ventanas abiertas todo el tiempo que les fuera posible para incrementar el número de renovaciones por hora disminuyendo así los niveles de CO₂, TVOC y PM_{2,5}. Las trabajadoras del centro sin embargo explicaron que al contar únicamente con ventanas suelo-techo abrirlas haría que los niños escapasen al patio, por lo que se tuvo que reformular la propuesta. Se les pidió que mantuviesen las ventanas ligeramente abiertas (unos 5 centímetros) el tiempo que les fuera posible con tal de incentivar ese aumento de las renovaciones de aire deseadas sin permitir por ello que ningún niño pudiese escapar. Aparte se les pidió que abrieran siempre que fuera posible las pequeñas ventanas de los baños. A continuación, se explica el resultado de la propuesta en cada aula.

Aula 1 – Confort térmico

En primer lugar, es importante destacar que esta semana registró mediciones de Hr exteriores muy por encima de lo normal, superando la mayoría del tiempo valores del 60% como puede apreciarse en la gráfica de la semana 11 (Figura 31).

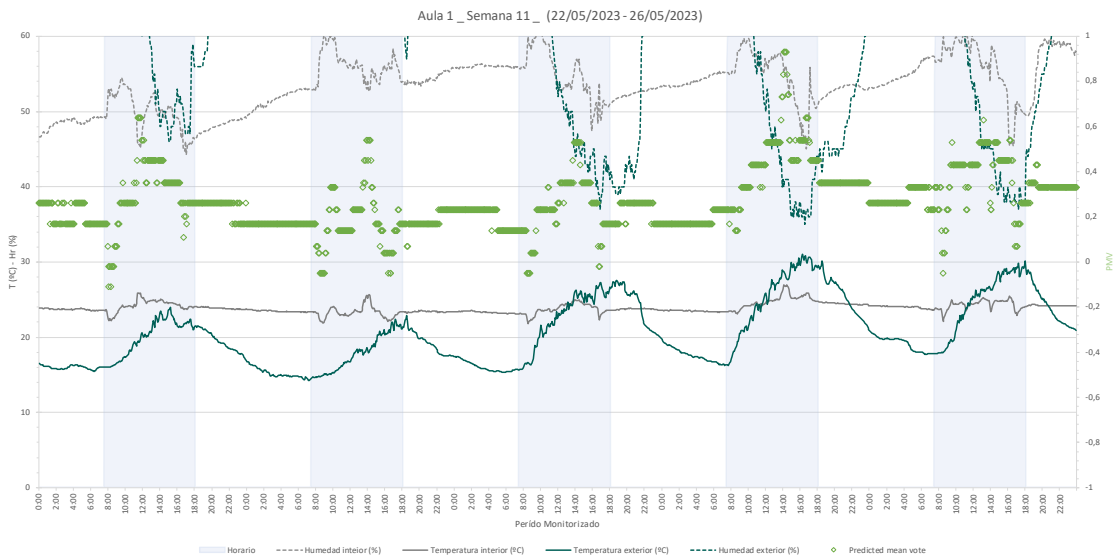


Figura 42 - Análisis gráfico de la evolución de T, Hr y PMV durante la semana 11 en el Aula 1.

Como era de esperar los porcentajes de humedad interior por tanto también han ascendido, moviéndose entre el 50% y el 60%. Esta situación ha hecho que la mayoría de días el PMV ascienda varias décimas (Figura 32), por lo que podemos suponer que la sensación de calor se ha incrementado en las aulas durante esta última semana.

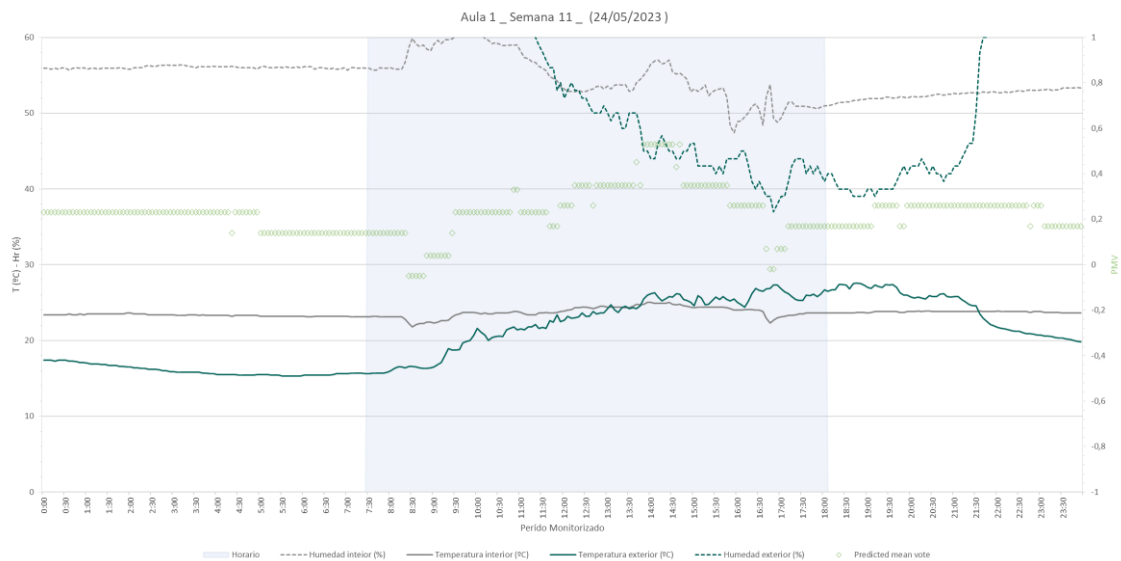


Figura 43 - Análisis gráfico de la evolución de T, Hr y PMV durante el 24 de mayo en el Aula 1.

Es complicado determinar si este hecho puede haber influido significativamente en la aplicación del protocolo. Si bien no se han registrado variaciones significativas en la T interior o exterior, existe la posibilidad de que al incrementarse la sensación de calor las cuidadoras hayan optado por usar el aire acondicionado en lugar de abrir las ventanas como se les pidió. Cuando se les sugirió la posibilidad de implementar el nuevo protocolo de ventilación ya nos advirtieron de que en caso de tener que usar la climatización debían cerrar todas las ventanas para no desperdiciar energía.

Si se presta atención a varios días de la semana como el 22 de mayo (Figura 33) se puede apreciar como en torno a las 10:30 la humedad descende y las temperaturas ascienden hasta que vuelven a ascender en torno a las 11:30, mientras que el resto del tiempo se mantiene en su línea. Esto ya nos podría estar indicando que las cuidadoras han seguido su patrón usual de conducta y solo han abierto las ventanas a media mañana, optando por mantener el aire encendido la mayor parte del tiempo.

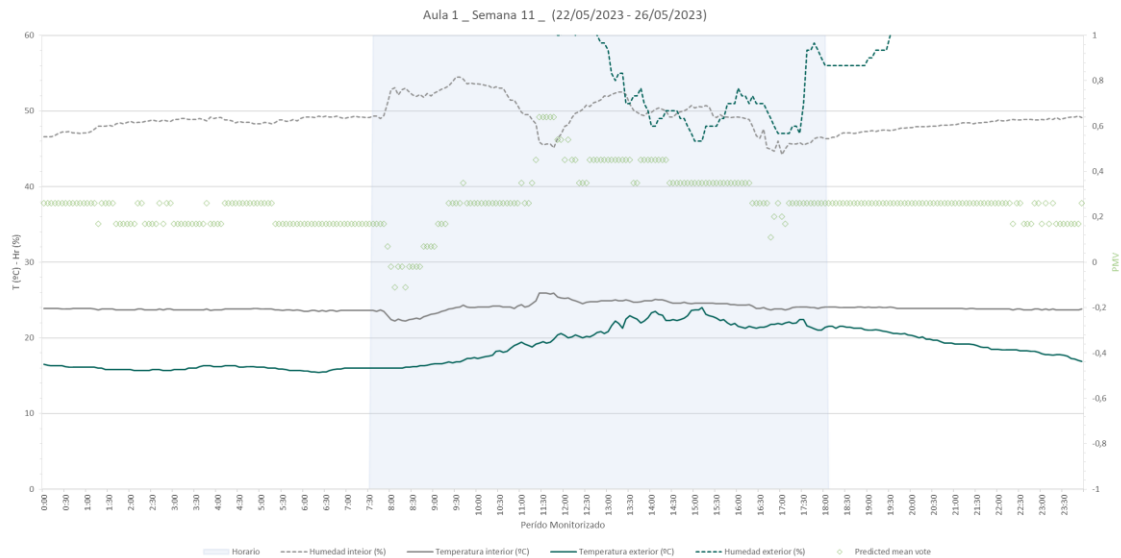


Figura 44 - Análisis gráfico de la evolución de T , Hr y PMV durante el 22 de mayo en el Aula 1.

Cuando se les preguntó al respecto explicaron que ellas ya seguían normalmente el mismo protocolo que habíamos pedido que implementasen, pero si nos fijamos en los resultados ese no parece ser el caso. También es posible que algún otro factor que desconocemos pueda estar empeorando la ventilación incluso con las ventanas algo abiertas, pero esto parece improbable.

Aula 1 – Calidad del aire

Aunque no parece muy significativo, se puede apreciar cierta mejoría con respecto a otras semanas. Si se tiene en cuenta que el promedio de CO_2 en semanas anteriores rondaba los 900-950 ppm y el máximo los 2000 y los 2200 ppm, la semana 11 en comparación parece haber obtenido resultados más moderados, acercándose incluso a semanas en las que la ocupación eran inferior debido a período de vacaciones o fiestas. Con un promedio de 850 y un máximo de 1850 (Figura 34), aún está muy lejos de ser un entorno seguro para los bebés, pero por lo menos se han reducido las concentraciones.

Como se ha comentado en apartados anteriores es posible que las condiciones particulares de esta semana hayan influido en los resultados, no está claro si para bien o para mal.

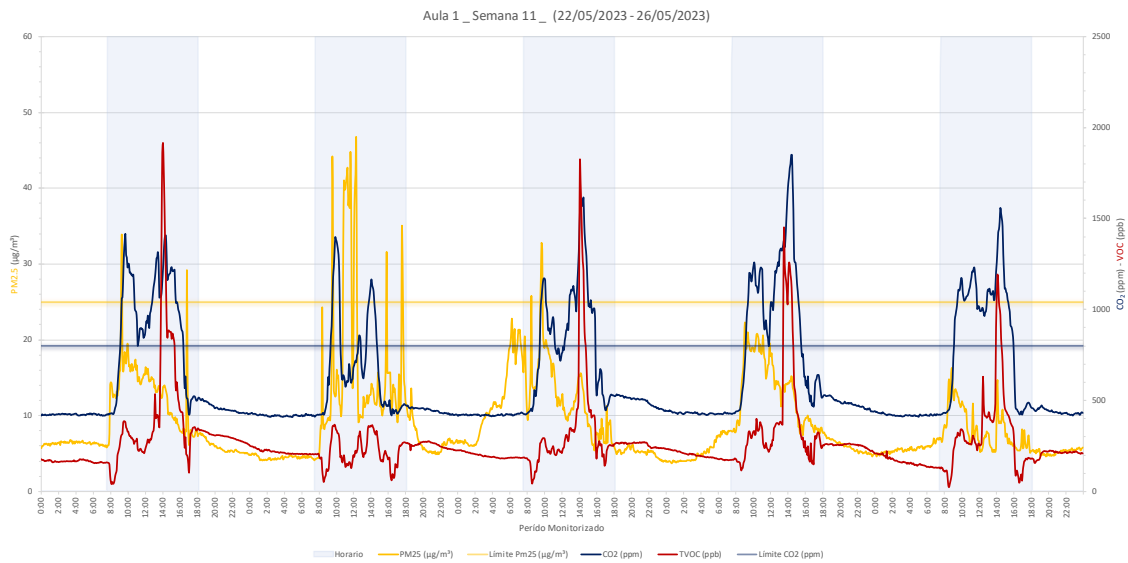


Figura 45 - Análisis gráfico de la evolución de CO₂, TVOC y PM_{2,5} durante la semana 11 en el Aula 1.

También es importante señalar que se han vuelto a registrar mediciones extrañas de PM_{2,5} y TVOC. Eso era hasta cierto punto esperable, al fin y al cabo al no poder limpiar los sensores y al estar extendiendo la campaña de medición más allá del tiempo previsto para registrar los resultados de implementar el protocolo es posible que las mediciones de estos dos valores vayan perdiendo precisión hasta quedar inservibles.

Lo importante es que las mediciones de CO₂ parecen seguir funcionando sin problemas (Figura 35).



Figura 46 - Análisis gráfico de la evolución de CO₂, TVOC y PM_{2,5} durante el 22 de mayo en el Aula 1.

Aula 2 – Confort térmico

Teniendo en cuenta que la situación de ambas aulas en estas cuestiones es casi idéntica tal y como puede comprobarse en la (Figura 35), no será necesario detenerse.

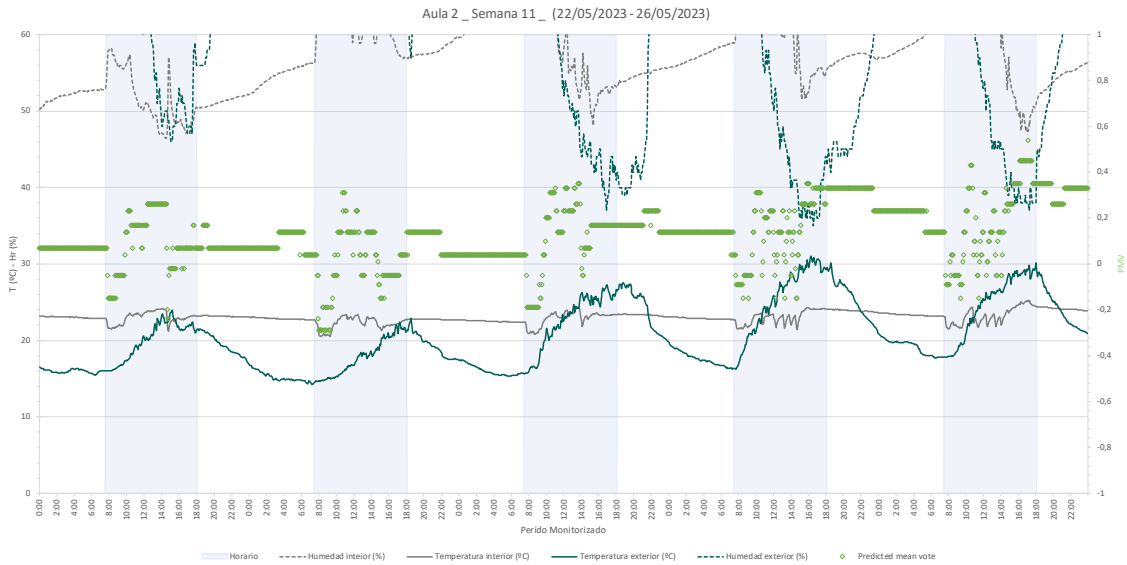


Figura 47 - Análisis gráfico de la evolución de T, Hr y PMV durante la semana 11 en el Aula 2.

Aula 2 – Calidad del aire

De nuevo se observa como el aula 2 ha registrado una mejor calidad del aire durante la semana 11 (Figura 37). Si se compara con semanas anteriores se aprecia mejoría especialmente en el promedio: mientras anteriormente se veían medias de entre las 750 y las 800pp, en esta última semana se han registrado 672 ppm de promedio y 1800 de máximo. Este último dato es interesante porque no parece haber variado significativamente con respecto a semanas anteriores.

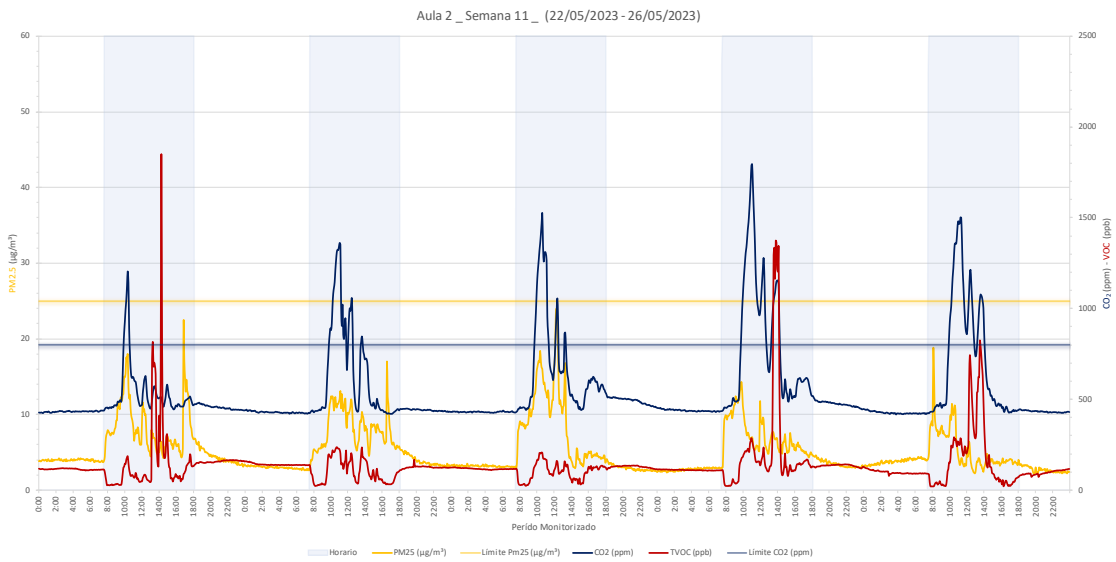


Figura 48 - Análisis gráfico de la evolución de T, Hr y PMV durante la semana 11 en el Aula 2.

Esto podría deberse a varios motivos, siendo el más probable que en aquellos instantes en los que se alcanzaban las mayores concentraciones de CO₂ el patrón de conducta con respecto a los

huecos no ha variado significativamente, pero al haber aumentado el tiempo general que permanecen abiertas se ha registrado ese descenso del promedio.

Si cogemos un día como el x de mayo (Figura 49) por ejemplo vemos que su pico parece darse aproximadamente a la misma hora que en semanas anteriores y alcanzando un nivel bastante similar. Bastaba con que uno de los días retornase al viejo patrón de conducta para que se obtuviesen valores máximos similares. Esta hipótesis sin embargo es difícil de comprobar o desmentir sin poder registrar que ha ocurrido exactamente esta semana con respecto a las anteriores.

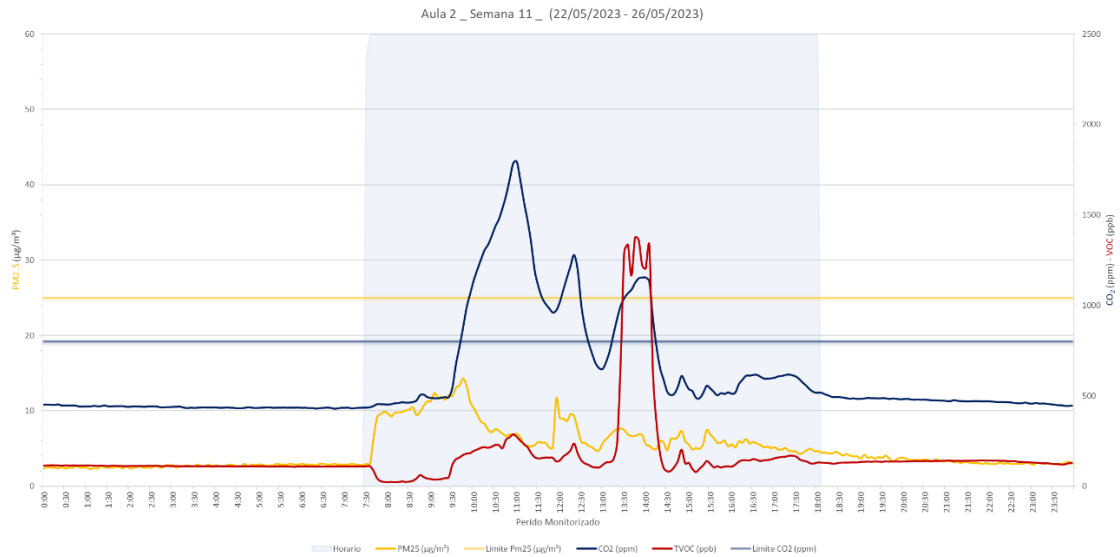


Figura 49 - Análisis gráfico de la evolución de T, Hr y PMV durante el 25 de mayo en el Aula 2.

VALORACIÓN DE LOS RESULTADOS

Habiendo interpretado los resultados obtenidos de las mediciones, conviene evaluar que impacto pueden tener en la salud de los ocupantes, especialmente si tenemos en cuenta la vulnerabilidad inherente a bebés de entre 4 y 12 meses de un aula y a niños de entre 1 y 2 años en la otra.

En lo que respecta a confort térmico no es hay mucho más que añadir. Tal y como se ha explicado los rangos dentro de los que se mueve el PMV son los adecuados, estando quizás algo más escorados hacia el calor que hacia el frío, pero por regla general se mantienen cerca del 0. La principal crítica que se deriva de estos datos tiene más que ver con la eficiencia energética, pero al fin y al cabo también conviene señalarla, aunque no competa específicamente a este trabajo. En el contexto actual de preocupación creciente por los efectos del cambio climático y el encarecimiento de las energías por el conflicto bélico en Ucrania cuesta creer que nadie en el centro se haga responsable de apagar la climatización al terminar la jornada laboral.

Dejando esto de lado y centrando el análisis en la calidad del aire, los resultados son verdaderamente preocupantes. Comencemos hablando del aula 1 por ser la que ha registrado peores mediciones y por albergar a los ocupantes más vulnerables. Para facilitar la comprensión del problema se ha clasificado cada uno de los valores de CO₂ tomados cada 5 minutos dentro de uno de los 4 IDAS. De esta manera se puede evaluar de un vistazo como de cerca o lejos está el aire de la estancia de cumplir con los requisitos del IDA1 que se exige en guarderías.

Si se presta atención a la semana 8 (Figura 38) se observa como solo el 34% del tiempo en que está abierta la guardería se registran valores de CO₂ apropiados. Aunque esta semana está por encima de la media, no puede olvidarse que el horario que se ha tenido en cuenta para este análisis va de 7:30 a 18:00, por lo que con toda seguridad el porcentaje de IDA 1 está sobredimensionado. Pero lo realmente preocupante no es el bajo porcentaje de aire con condiciones aceptables (tan solo el 33%), lo que debería hacer saltar todas las alarmas es que casi un tercio del aire que se respiró esa semana tenía una concentración superior a 1620 ppm, por encima incluso del IDA 4, un tipo de aire que no se considera apto para ningún uso que involucre ocupación humana de cualquier tipo, mucho menos de bebés con pocos meses.

Aula 1_Semana 8 (01/05/2023 - 05/05/2023)

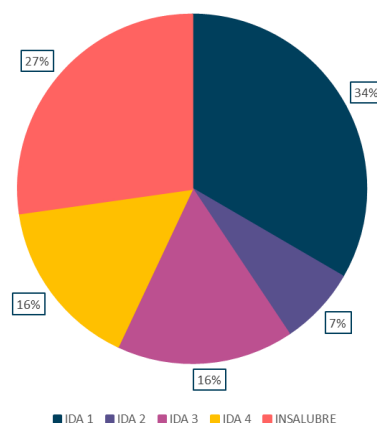


Figura 50 - IDA predominante en el Aula 1 durante la semana 8.

La semana 10 (Figura 39) estando dentro de la media del centro ofrece un cuadro más esperanzador, pero no por ello menos problemático. Si bien el tiempo en el que se ha respirado un aire de tipo IDA 1 incrementa hasta el 44%, esto sigue siendo inaceptable. Sigue quedando un 4% del tiempo en el que el aire sale fuera de la calificación IDA, y un cuarto del tiempo sería catalogado como IDA 4.

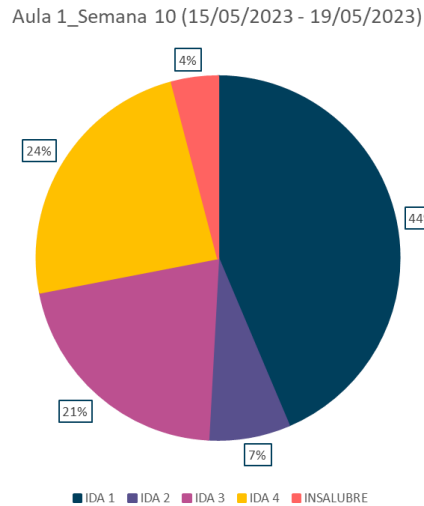


Figura 51 - IDA predominante en el Aula 1 durante la semana 10.

Al estudiar el caso de la semana 11 (Figura 40) se puede apreciar como la mejoría gracias al protocolo es pequeña pero no desdeñable. Si bien el tiempo transcurrido respirando aire con unas condiciones de IDA 1 no ha aumentado apenas, sí que se ha conseguido reducir significativamente el tiempo transcurrido respirando aire propio de un IDA 4 o peor. Como resultado esta semana la porción de gráfica correspondiente a IDA 3 asciende hasta un tercio del total, hecho que sigue siendo preocupante. Podemos concluir por lo tanto que el protocolo ha contribuido positivamente, pero está aún lejos de alcanzar unas condiciones respetables.

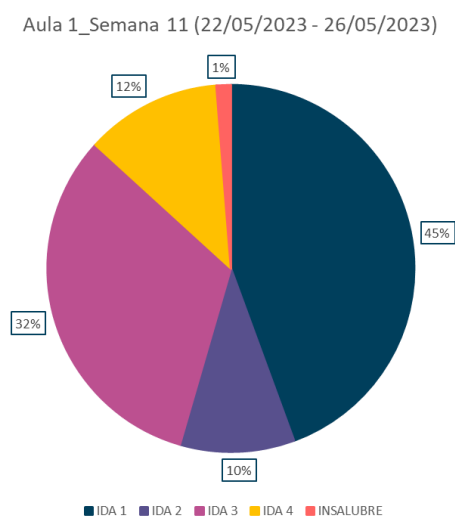


Figura 52 - IDA predominante en el Aula 1 durante la semana 11.

Pasando al análisis de la semana 2 (Figura 41) se aprecia como la situación es considerablemente mejor a la de su contraparte, sin embargo sigue siendo deplorable. La porción de IDA 1 en una

semana problemática asciende hasta casi la mitad, dato que comparado con la otra estancia puede parecer alentador, pero no deja de estar muy por debajo de lo que se exige. Además, conviene volver a recordar que los porcentajes de IDA 1 podrían estar inflados por haber incluido en el análisis horas en las que no se ha alcanzado todavía una ocupación crítica. Y por supuesto no se puede pasar por alto el porcentaje de aire respirado con unas condiciones peores a las del IDA 4: casi un cuarto del total.

Aula 2_Semana 8 (01/05/2023 - 05/05/2023)

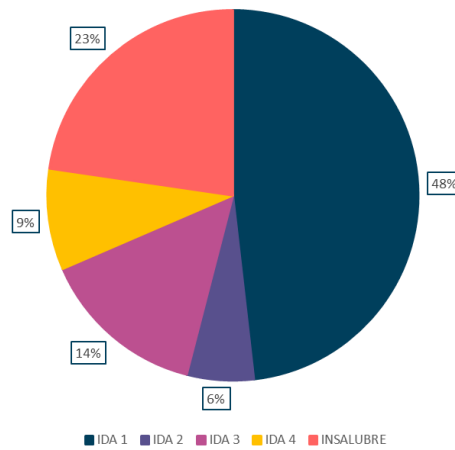


Figura 53 - IDA predominante en el Aula 2 durante la semana 8.

La semana 10 (Figura 42) parece que el aula 2 comienza a alejarse ligeramente de las condiciones paupérrimas que se han estado registrando al conseguir una porción de aire tipo IDA 1 del 66%. Pese a ello y aunque sea una mejoría significativa sigue estar ni remotamente cerca de la calidad de aire exigida por el RITE. Un 10% del aire que se ha respirado es de tipo IDA 4 o peor.

Aula 2_Semana 10 (15/05/2023 - 19/05/2023)

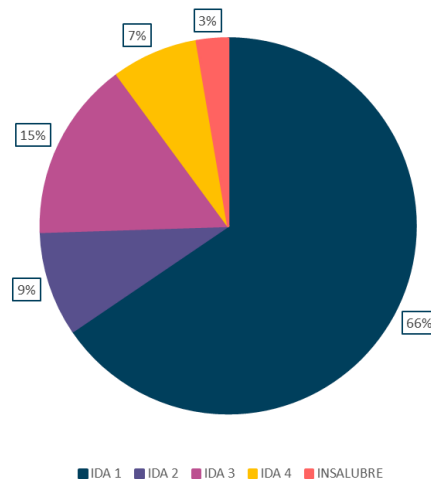


Figura 54 - IDA predominante en el Aula 2 durante la semana 10.

El protocolo establecido para la semana 11 (Figura 43) ha tenido el resultado que se podía esperar. La porción de IDA 1 llega a ocupar casi 3 cuarto del total de la gráfica y el porcentaje de aire tipo IDA 4 o peor se reduce hasta el 8 %. De ser este el aire que se respira regularmente en la guardería ya habría motivos para preocuparse; que este sea el mejor de los resultados obtenidos aún siendo fruto de una media excepcional solo posible gracias al buen tiempo dice mucho del estado en el que se encuentran los centros infantiles actualmente.

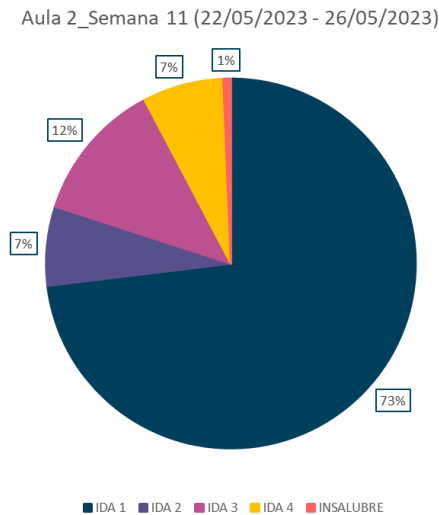


Figura 55 - IDA predominante en el Aula 2 durante la semana 11.

Además de servir como advertencia, existen otras conclusiones que pueden extraerse de la valoración de los datos hasta ahora. Es evidente que decisiones como hacer ventanas de suelo a techo que impidan a las trabajadoras abrirlas sin miedo a que alguno de los infantes se escape son un error. Si lo que se buscaba era favorecer el tiro térmico basta con incrementar el hueco (o colocar uno independiente) más arriba, cerca del techo del aula, el cual además podría favorecer la iluminación. Si el motivo era facilitar el control de los niños haciendo el cerramiento lo más transparente posible, entonces no hay motivo para que la carpintería tenga que abrirse de suelo a techo.

La ventilación natural es positiva como demuestra el protocolo implementado y el hecho de que el aula 2 hayan obtenido mejores resultados. Sin embargo, está claro que no va a bastar si se quiere mantener una buena calidad del aire, especialmente cuando se termine la época en la que se pueden abrir los huecos sin miedo a que entre excesivo calor o frío.

ESTUDIO SOBRE EL RIESGO DE TRANSMISIÓN: OMICRON BA.2

Habiendo analizado las condiciones de confort y calidad del aire es posible emplear esos mismos datos para la estimación del riesgo de transmisión de patógenos aerotransportados siguiendo el método Wells-Riley tal y como se explicó en el estado del arte. Para ello se procede a introducir los datos del aula de bebés dado que los niños son más vulnerables a los contaminantes que los adultos debido a que su tasa de respiración es mayor en relación a su masa corporal y sus órganos y sistema inmune aún están en desarrollo.

ESTADO ACTUAL DE LAS AULAS

Como caso base para comparar con el resto de las situaciones y medidas que se van a analizar se toma a modo de ejemplo un día tipo en el Aula 1, reservada a bebés de entre 4 y 12 meses. Dicha aula cuenta con una superficie de 37,46 m² y una altura de 2,60 m, resultando en un volumen de 99,3 m³.

Para las condiciones ambientales y de ocupación se ha hecho un promedio de los datos extraídos de la campaña de medición. Debido a los problemas mencionados con los sensores se han tenido más en cuenta aquellas semanas de la campaña de medición posteriores a la limpieza y revisión de los aparatos. Aparte se han obviado semanas con una ocupación anormalmente baja debido a festividades como la de la Semana Santa. Teniendo esto en cuenta los valores introducidos en el programa son 22,4 °C de temperatura interior, 43% de humedad relativa interior, 420 ppm de concentración de CO₂ y 11 m sobre el nivel del mar como forma de calcular la presión atmosférica. Al ser una estancia interior se ha mantenido su índice de exposición UV en 0. Este dato es muy relevante dado el efecto que tiene la exposición solar en el decaimiento del virus por la exposición solar [37]. Dada la situación del aula la mayor parte del tiempo se opta por colocar mobiliario en el centro de la estancia y mantener el aire acondicionado apagado. No se ha tenido en cuenta ningún tipo de filtro, germicida o caudal recirculado.

Debido a la presencia de 1 docente más joven (de unos 25 años aproximadamente), una más mayor (de unos 45 años aproximadamente) y al menos 8 bebés de entre 4 y 12 meses se ha ajustado la ocupación a 10 personas con una medida de edad de 7,1 años.

Teniendo en cuenta la realidad de la situación sanitaria en España se ha indicado que solo un 10% de la población del recinto es inmune, y que la inmunidad adquirida se encuentra en el 5%.

Aunque actualmente más del 85% de la población española ha completado su pauta de vacunación, poco más de la mitad ha recibido su dosis de recuerdo [38]. Si además tenemos en cuenta que las últimas vacunaciones en masa se produjeron alrededor de marzo de 2022 y que desde entonces no se han dado más datos sobre nuevas o futuras vacunaciones, debemos presuponer que la mayor parte de la población ha perdido casi por completo su inmunidad frente al contagio de las últimas variantes (en concreto la XBB 1.5). De cara al estudio se considera que al menos una de las cuidadoras de cada aula es inmune (un 10% del total de los ocupantes del Aula 1) y que solo 5% del total del aula tiene inmunidad adquirida al tratarse de bebés de entre 4 y 12 años. En el caso del resto de niños de la guardería el porcentaje no será distinto al tratarse de grupos de población no vacunados.

Al estar tratando con bebés y sus cuidadores se da por sentado que la actividad tanto de los niños como de los docentes será hablando con un tono de voz no muy alto. Esto se hace para simular el tiempo que pasan los niños llorando (y por tanto emitiendo y respirando aerosoles

adicionales) mientras las cuidadoras tratan de calmarlo. Para este caso hemos escogido a uno de los bebés como foco de infección.

Aunque las cuidadoras estarán de pie, los bebés pasan la mayor parte del tiempo sentados o tumbados, por lo que se ha establecido su actividad como sedentaria: sentado hablando. El objetivo es simular el estado agitado en el que muchas veces se encuentran los bebés. Si bien no hablan pero se pueden emitir un mayor número de aerosoles mientras lloran

Ase han introducido los niveles medios de CO₂ a lo largo de una jornada de 390 minutos con tal de simular la situación a la que se encuentran expuestos los bebés actualmente. En promedio los infantes llegan sobre las 9:00 al aula y no la abandonan hasta que sus padres los recogen como pronto a las 14:30.

INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS

Una vez introducidos los datos se ha representado gráficamente la evolución en el tiempo de 3 hipótesis (Respirando normal, hablando a un tono medio y hablando fuerte) en una clase de 240 y 390 minutos.

Tal y como se puede observar (Figura 35), en ambos casos la tasa de ataque asciende peligrosamente nada más comienza a ascender el nivel de CO₂. La hipótesis en la que los niños hablan fuerte es la más preocupante, sin embargo, esta es la menos probable dada la escasa capacidad de habla de los bebés entre 4 y 12 meses. Aún con todo, los resultados siguen siendo verdaderamente alarmantes. Suponiendo que un día en el que los bebés no dejan de llorar equivale a un día en el que hablan a tono normal, el riesgo de contagio durante la mayor parte del tiempo superaría el 70%. Teniendo en cuenta que estos infantes pasan una media de más de 6 horas al día sin salir del aula, no es nada extraño que cada vez que uno de ellos se contagia toda la clase enferme.

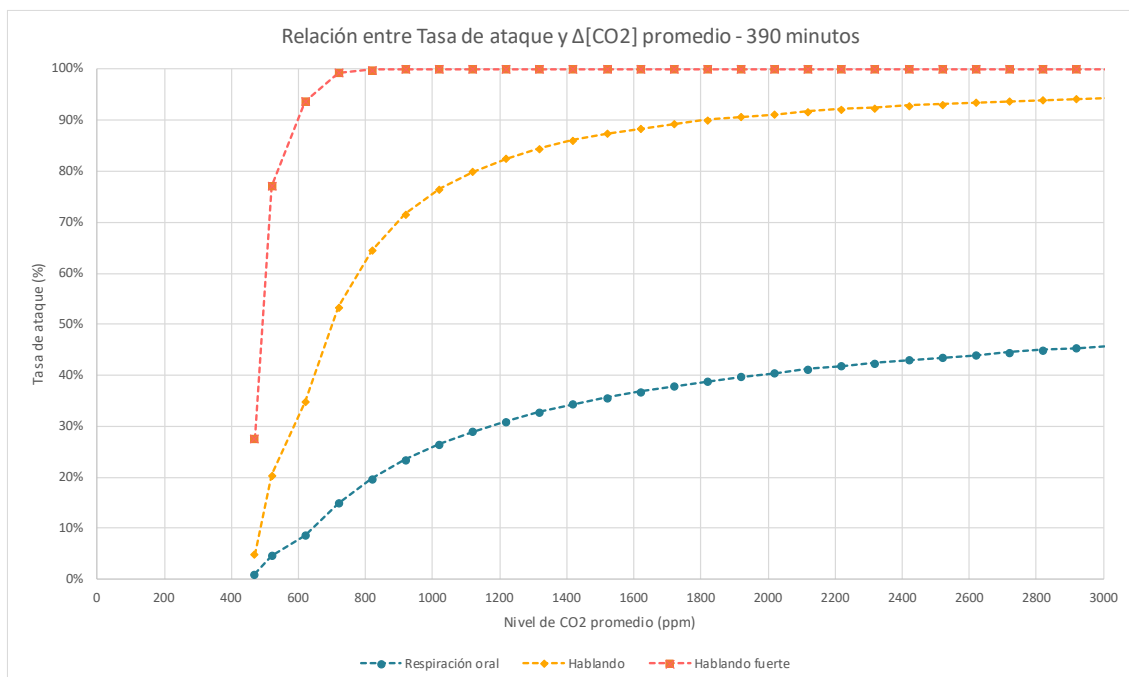


Figura 56 - Análisis gráfico de la evolución de la tasa de ataque en función de la acumulación del CO₂ a lo largo de 390 minutos, Aula 1.

HIPÓTESIS ANALIZADAS

Habiendo comprobado el enorme riesgo al que se encuentran expuestos los bebés del Aula 1, se opta por plantear una serie de hipótesis empleando el mismo programa con el fin de comprobar su eficacia a la hora de reducir al mínimo el riesgo de contagio. Para ello se plantean 4 escenarios, uno en la que el sujeto infeccioso es uno de los niños, otro en la que se trata de una de las cuidadoras la cual no lleva puesta ninguna mascarilla, un tercero en la que la docente lleva puesta una mascarilla quirúrgica mal ajustada (como suelen llevarse) y un cuarto en la que se pone a prueba la efectividad de la mascarilla FFP2 bien ajustada. En la (Figura 36) se muestran los resultados de dichas comprobaciones.

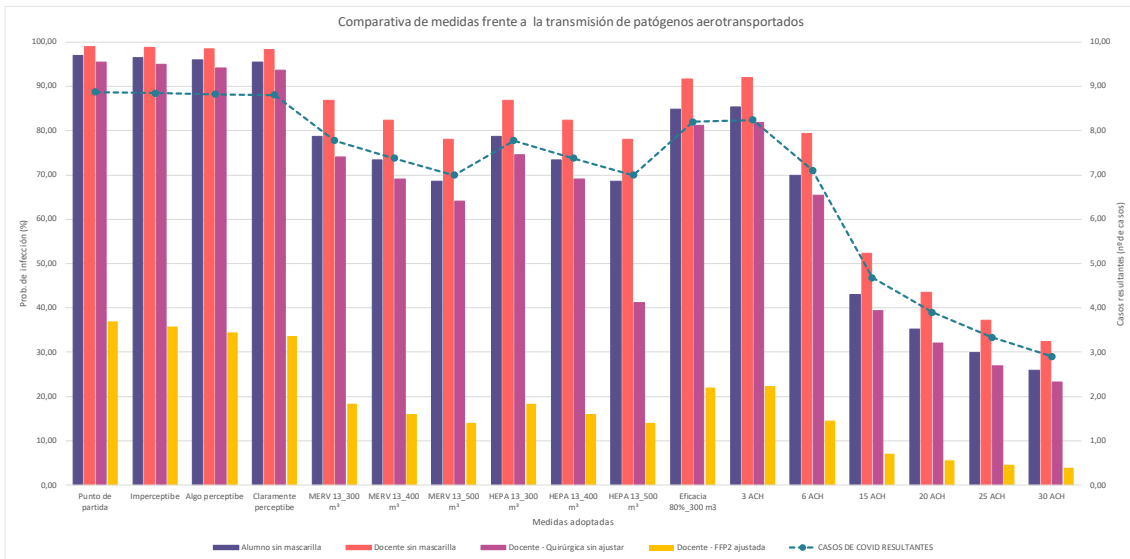


Figura 57 - Comparativa de medidas frente a la transmisión de patógenos aerotransportados en el Aula 1.

A continuación, se analiza la efectividad real de cada una de las medidas estudiadas.

Mascarillas

Las mascarillas son una solución extremadamente eficiente, sobre todo si tenemos en cuenta el bajo coste económico frente a otro tipo de medidas de carácter arquitectónico. Tal y como se aprecia en la gráfica es una de las mejores medidas con diferencia, dato que concuerda con los estudios realizados hasta el momento [39]. En estancias donde contamos con un gran número de ocupantes y una pésima ventilación es quizá la única medida realmente efectiva frente al contagio. Hay que tener en cuenta sin embargo que a diferencia de otras medidas de la gráfica las mascarillas no contribuyen a mejorar la calidad del aire, únicamente sirve para reducir el riesgo de contagio de enfermedades como la COVID 19. Aparte su eficacia está estrechamente ligada con lo bien o mal ajustada que esté: el colocarla incorrectamente dejando huecos o exponiendo la nariz hace su utilidad se desplome. Muchas personas tienden a reajustarse la mascarilla con frecuencia al encontrarla incómoda o incluso agobiante. Pero en realidad, el verdadero problema que tienen las mascarillas en este caso de estudio radica en lo poco aptas que son para niños y bebés. Los infantes cuentan con vías respiratorias más pequeñas, por lo que taparlas con cualquier elemento puede ponerlos en peligro de asfixia. Para esta simulación se optó por considerar al docente como el foco de contagio y se le pusieron distintas mascarillas para poder medir su eficacia, sin embargo, cuando el infectado sea uno de los bebés esta medida no va a surtir ningún efecto. En todo caso los datos extraídos sugieren que tal vez sería conveniente exigir a las personas que trabajen con niños muy pequeños el llevar este tipo de mascarillas.

Aire acondicionado

Esta parece haber sido una de las medidas menos efectivas a la hora de combatir la tasa de ataque. Si además se tiene en cuenta que el centro ya cuenta con una buena climatización que se mantiene constantemente en uso, nada hace pensar en que esta medida deba ser considerada.

Filtros

Habiendo probado suerte tanto con filtros HEPA como con MERV, puede verse que su eficacia es muy similar. Se han introducido 300 m³ de aire renovado, luego 400 y luego 500. Aunque su efecto es apreciable queda patente que por lo menos en un caso tan extremo como el que nos ocupa su efectividad queda muy lejos de ser suficiente: en el mejor de los casos la tasa de ataque se reduce hasta un 70%. Sabiendo la eficacia que tienen los filtros HEPA [22] este resultado puede sorprender en un primer momento. Si embargo se debe tener en cuenta que su eficacia siempre va a estar restringida por el volumen de aire que se recircula. A esto se le suma el problema de que pierden efectividad a medida que se incrementa el caudal de aire del exterior que se introduce en el aula, es decir, las renovaciones por hora. Su impacto puede verse reducido al combinarse con medidas como la ventilación mecánica, a diferencia de otras medidas que ganan en eficacia a medida que se complementan con estrategias varias. Es el caso por ejemplo de las mascarillas las cuales pese a sus problemas funcionan especialmente bien cuando se combinan con la ventilación mecánica.

Lámparas germicidas

Incluso habiendo recirculado 300 m³ y habiendo ajustado su valor de eficacia en un 80% (una medida bastante generosa si tenemos en cuenta la eficacia real de muchas de las lámparas que se ofertan en el mercado) esta hipótesis no parece haber dado grandes resultados. Pese a ser mejor que otras como la del aire acondicionado sigue sin Mercurio la pena. Los resultados parecen coincidir con los estudios realizados [40].

Ventilación mecánica

La ventilación mecánica es con diferencia la medida que mayor impacto tiene en la transmisión de patógenos aerotransportados y en la mejora de la calidad del aire en general, algo que no resulta sorprendente si se tienen en cuenta los resultados de los estudios que comparan la ventilación natural con la mecánica [41], [42]. En ellos se puede apreciar hasta qué punto la VMC supera en materia de prestaciones a su contraparte.

Como se ve en la gráfica (Figura 57) su eficacia aumenta más y más a partir de las 3 ren/h, pero comienza a estancarse a partir de las 15/20. Un valor superior a 20 ren/h por ejemplo es un caudal más propio de hospitales, es excesivo para una guardería. Esto se debe a que los rendimientos son decrecientes cuando ya se ha conseguido remplazar un volumen de aire interior considerable, por lo que seguir apostando por esta medida más allá de ese punto es contraproducente.

Además de disminuir la tasa de ataque permite mejorar significativamente la calidad del aire interior introduciendo aire filtrado desde la calle, reduciendo así los niveles de CO₂, TVOC y PM_{2,5}.

Una de sus principales debilidades es el uso que se realiza de ella. Como ya se explicó en el análisis del centro, parece que este cuenta con algún tipo de ventilación mecánica, sin embargo no parece usarse jamás. El riesgo de cualquier instalación de este tipo está que los usuarios decidan no hacer uso de la misma. Es por eso que cada vez más se apuesta por la VCM (ventilación mecánica controlada). Con un estudio previo la inmótica permite quitar el control al usuario sin someterle a condiciones de confort peores. Enlazando el sistema de ventilación a un medidor de CO₂ por ejemplo es posible mantener un aula como la que se analiza en este trabajo a niveles cercanos a los del aire exterior. El mismo principio puede aplicarse a la climatización para prevenir el gasto innecesario en el que se incurre actualmente.

VALORACIÓN DE LOS RESULTADOS

Tras comparar las hipótesis quedan claras tres cuestiones fundamentales para la prevención del riesgo:

1. La tasa de ataque en el estado actual garantiza que cada vez que un bebé se pone malo casi la totalidad de los niños de la clase caen enfermos. Conviene recordar que los bebés todavía no tienen un sistema inmunológico o respiratorio maduro.
2. La ventilación mecánica (preferentemente controlada) es superior al resto de medidas más allá de la mascarilla a la hora de reducir la tasa de ataque [1].
3. En una situación extrema como el caso de estudio que se está analizando la ventilación mecánica controlada no basta. Solamente en el escenario en el que el docente es el infectado y porta una mascarilla FFP2 bien puesta se obtienen porcentajes de contagio inferiores al 5%.
4. Dado que las mascarillas no son una opción viable para el grueso de los ocupantes de las aulas infantiles, parece aconsejable reducir la duración de las “clases” con tal de minimizar el tiempo que los bebés pasan en un ambiente insalubre y facilitar la ventilación natural del aula.

CONCLUSIONES

La arquitectura y las instalaciones desempeñan un papel fundamental en la creación de espacios salubres donde los niños más pequeños pueden desarrollarse y aprender de forma segura. Este trabajo muestra la importancia de monitorizar y controlar de forma mucho más rigurosa la calidad del aire de los espacios interiores, especialmente de los centros infantiles. También se ha dejado patente la necesidad de implementar sistemas de ventilación mecánica controlada de forma efectiva, tal y como exige la normativa. Dichos sistemas deberían obedecer únicamente a las condiciones del aula dada la incapacidad de cualquier trabajador para evaluar correctamente el grado de insalubridad del aire que respira (y que por ende respiran alumnos a su cargo). Este hecho se ha podido observar en el uso que se hace de la climatización. El aire acondicionado se mantiene encendido incluso fuera del horario laboral, incluyendo fines de semana y festivo.

Durante la investigación se ha comprobado cómo durante la mayor parte del tiempo las aulas están lejos de permanecer dentro de los parámetros del IDA 1 que exige el RITE. El problema es incluso más grave si se observa la cantidad de horas que pasan los bebés en el aula respirando aires que serían catalogados como un IDA 4 o incluso peor. Tal y como se ha explicado y demostrado en numerosos artículos académicos, la ventilación natural no es suficiente para mantener una concentración de CO₂ y contaminantes aceptables a menos que se reduzca drásticamente el confort térmico de los ocupantes por debajo de los umbrales recomendados. Mantener sin embargo una temperatura y humedad agradables ignorando la necesidad de mejorar la ventilación implica exponer a los ocupantes a todo tipo de malestares y riesgos para la salud como fatiga, mareos, dolor de cabeza, irritación de ojos, nariz o garganta, reducción de las capacidades cognitivas o incluso en los casos más graves daños en el hígado, riñón, sistema nervioso central y puede que una mayor probabilidad de sufrir cáncer.

A todos los problemas antes mentados se suma el riesgo de transmisión de patógenos aerotransportados asociado con las altas concentraciones de CO₂. En el caso de estudio analizado cuesta creer cómo infantes que apenas cuentan con 12 meses de edad están expuestos a tasas de ataque superiores al 90%. Resulta alarmante plantearse que mortandad infantil podría haberse producido al inicio de la pandemia si la COVID 19 fuera un virus más agresivo contra poblaciones como los niños o los bebés.

De las acciones que se tomen ahora para mejorar la ventilación dependerá si futuras pandemias víricas o bacteriológicas encontrarán en las aulas un criadero donde propagarse o un espacio seguro que protege a sus ocupantes.

FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Debido a las limitaciones de tiempo y recursos propias de trabajo de fin de grado los resultados de este estudio tienen una escala demasiado reducida como para arrojar luz sobre los problemas a los que se enfrenta la arquitectura en la actualidad. Aún con todo podría servir a modo de referencia o punto de partida para futuras investigaciones relacionadas con la mejora de la calidad del aire y la reducción en el riesgo de transmisión de patógenos aerotransportados. Teniendo en cuenta un mayor número de aulas de distintas guarderías podría apreciarse mejor la influencia de las variables exteriores en los espacios docentes, y de poder realizar un seguimiento más exhaustivo de los patrones de conducta de los ocupantes podrían extraerse conclusiones mucho más fiables acerca de los motivos por los que ciertas aulas muestran condiciones significativamente mejores que otras.

Además, para asegurar las mejores condiciones posibles no basta únicamente con estudios centrados en la calidad del aire, es necesario profundizar en cuestiones como la iluminación o la acústica dado su papel fundamental en el bienestar de las personas.

BIBLIOGRAFÍA

1. Castillo V, Mendoza L A, Cortés P. MICRO-CIENCIA El papel del microbioma de la leche materna humana en la modulación del sistema inmune del neonato. .
2. Plataforma de Edificación Passivhaus U de B. IMAGINEAN Arquitectura, Interiorismo & Construcción | PEP publica un estudio sobre la ventilación en colegios. <https://imaginean.com/noticias/pep-publica-un-estudio-sobre-la-ventilacion-en-colegios> (4 June 2023, date last accessed).
3. Satish U, Mendell MJ, Shekhar K *et al.* Is CO₂ an Indoor Pollutant? Direct Effects of Low-to-Moderate CO₂ Concentrations on Human Decision-Making Performance. *Environ Health Perspect* 2012; 120: 1671–1677.
4. Wu Z, Zhang S, Tang YT *et al.* Indoor environment in relation to recurrent childhood pneumonia in Southern China. *Build Environ* 2020; 172: 106727.
5. Kim C, Choi D, Lee YG, Kim K. Diagnosis of indoor air contaminants in a daycare center using a long-term monitoring. *Build Environ* 2021; 204: 108124.
6. Linares C, Díaz J. Efecto de las partículas de diámetro inferior a 2,5 micras (PM_{2,5}) sobre los ingresos hospitalarios en niños menores de 10 años en Madrid. *Gac Sanit* 2009; 23: 192–197.
7. WARGOCKI P, WYON DP, SUNDELL J, CLAUSEN G, FANGER PO. The Effects of Outdoor Air Supply Rate in an Office on Perceived Air Quality, Sick Building Syndrome (SBS) Symptoms and Productivity. *Indoor Air* 2000; 10: 222–236.
8. Burge PS. Sick building syndrome. *Occup Environ Med* 2004; 61: 185–190.
9. Erdmann CA, Apte MG. Mucous membrane and lower respiratory building related symptoms in relation to indoor carbon dioxide concentrations in the 100-building BASE dataset. *Indoor Air* 2004; 14: 127–134.
10. Azuma K, Kagi N, Yanagi U, Osawa H. Effects of low-level inhalation exposure to carbon dioxide in indoor environments: A short review on human health and psychomotor performance. *Environ Int* 2018; 121: 51–56.
11. Seppanen OA, Fisk WJ, Mendell MJ. Association of Ventilation Rates and CO₂ Concentrations with Health and Other Responses in Commercial and Institutional Buildings. *Indoor Air* 1999; 9: 226–252.
12. Bakó-Biró Zs, Clements-Croome DJ, Kochhar N, Awbi HB, Williams MJ. Ventilation rates in schools and pupils' performance. *Build Environ* 2012; 48: 215–223.
13. Lorthe E, Bellon M, Berthelot J *et al.* A SARS-CoV-2 omicron (B.1.1.529) variant outbreak in a primary school in Geneva, Switzerland. *Lancet Infect Dis* 2022; 22: 767–768.
14. Buonanno G, Morawska L, Stabile L. Quantitative assessment of the risk of airborne transmission of SARS-CoV-2 infection: Prospective and retrospective applications. *Environ Int* 2020; 145: 106112.

15. Peng Z, Rojas ALP, Kropff E *et al.* Practical Indicators for Risk of Airborne Transmission in Shared Indoor Environments and Their Application to COVID-19 Outbreaks. *Environ Sci Technol* 2022; 56: 1125–1137.
16. ASHRAE Board of Directors. ASHRAE Position Document on Indoor Carbon Dioxide. 2025;
17. M. Á. Campano-Laborda, S. Domínguez-Amarillo, I. Acosta García *et al.* 'COVID Risk Airborne'. <https://www.covidairbornerisk.com/> (17 May 2023, date last accessed).
18. McGill G, Oyedele LO, McAllister K, Qin M. Effective indoor air quality for energy-efficient homes: a comparison of UK rating systems. *Archit Sci Rev* 2016; 59: 159–173.
19. Mészáros E. Fundamentals of atmospheric aerosol chemistry. Akadémiai Kiadó, 1999.
20. Forouzanfar MH, Alexander L, Anderson HR *et al.* Global, regional, and national comparative risk assessment of 79 behavioural, environmental and occupational, and metabolic risks or clusters of risks in 188 countries, 1990–2013: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2013. *The Lancet* 2015; 386: 2287–2323.
21. World Health Organization. Health Aspects of Air Pollution with Particulate Matter, Ozone and Nitrogen Dioxide Report on a WHO Working Group OZONE-adverse effects NITROGEN DIOXIDE-adverse effects AIR POLLUTANTS, ENVIRONMENTAL-adverse effects META-ANALYSIS AIR-standards GUIDELINES. .
22. Villanueva F, Notario A, Cabañas B, Martín P, Salgado S, Gabriel MF. Assessment of CO₂ and aerosol (PM_{2.5}, PM₁₀, UFP) concentrations during the reopening of schools in the COVID-19 pandemic: The case of a metropolitan area in Central-Southern Spain. *Environ Res* 2021; 197: 111092.
23. Ambient air pollution: a global assessment of exposure and burden of disease. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/250141> (4 June 2023, date last accessed).
24. Pope CA. Air Pollution and Health — Good News and Bad. *New England Journal of Medicine* 2004; 351: 1132–1134.
25. Piscitelli P, Miani A, Setti L *et al.* The role of outdoor and indoor air quality in the spread of SARS-CoV-2: Overview and recommendations by the research group on COVID-19 and particulate matter (RESCOP commission). *Environ Res* 2022; 211: 113038.
26. Reisman RE, Mauriello PM, Davis GB, Georgitis JW, DeMasi JM. A double-blind study of the effectiveness of a high-efficiency particulate air (HEPA) filter in the treatment of patients with perennial allergic rhinitis and asthma. *Journal of Allergy and Clinical Immunology* 1990; 85: 1050–1057.
27. Tran V Van, Park D, Lee Y-C. Indoor Air Pollution, Related Human Diseases, and Recent Trends in the Control and Improvement of Indoor Air Quality. *Int J Environ Res Public Health* 2020; 17: 2927.
28. Methods for sampling and analysis of chemical pollutants in indoor air: supplementary publication to the screening tool for assessment of health risks from combined exposure to multiple chemicals in indoor air in public settings for children. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/334389> (4 June 2023, date last accessed).

29. Villanueva F, Tapia A, Lara S, Amo-Salas M. Indoor and outdoor air concentrations of volatile organic compounds and NO₂ in schools of urban, industrial and rural areas in Central-Southern Spain. *Science of The Total Environment* 2018; 622–623: 222–235.
30. BOE-A-2007-15820-consolidado. .
31. Ministerio de la Presidencia. BOE-A-2017-7163 Orden FOM/588/2017, de 15 de junio, por la que se modifican el Documento Básico DB-HE ‘Ahorro de energía’ y el Documento Básico DB-HS ‘Salubridad’, del Código Técnico de la Edificación, aprobado por Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2017-7163> (4 June 2023, date last accessed).
32. El observatorio de Izaña vuelve a registrar en mayo de 2021 un máximo histórico en la concentración de dióxido de carbono (CO₂) | Aemetblog. <https://aemetblog.es/2021/06/21/el-observatorio-de-izana-vuelve-a-registrar-en-mayo-de-2021-un-maximo-historico-en-la-concentracion-de-dioxido-de-carbono-co2/> (4 June 2023, date last accessed).
33. Ministerio de la presidencia. BOE-A-2011-1645 Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2011-1645> (5 June 2023, date last accessed).
34. Organización Mundial de la Salud. Directrices mundiales de la OMS sobre la calidad del aire Resumen ejecutivo. .
35. Personal Weather Station Dashboard | Weather Underground. <https://www.wunderground.com/dashboard/pws/ISEVIL92/table/2023-05-19/2023-05-19/daily> (3 June 2023, date last accessed).
36. Tartarini F, Schiavon S, Cheung T, Hoyt T. CBE Thermal Comfort Tool: Online tool for thermal comfort calculations and visualizations. *SoftwareX* 2020; 12.
37. van Doremalen N, Bushmaker T, Morris DH *et al.* Aerosol and Surface Stability of SARS-CoV-2 as Compared with SARS-CoV-1. *New England Journal of Medicine* 2020; 382: 1564–1567.
38. Ministerio de Sanidad - Profesionales - Cuadro de mando resumen de datos de vacunación. <https://www.sanidad.gob.es/profesionales/saludPublica/ccayes/alertasActual/nCov/pbiVacunacion.htm> (4 June 2023, date last accessed).
39. Milton DK, Fabian MP, Cowling BJ, Grantham ML, McDevitt JJ. Influenza Virus Aerosols in Human Exhaled Breath: Particle Size, Culturability, and Effect of Surgical Masks. *PLoS Pathog* 2013; 9: e1003205.
40. Ministerio de Sanidad G de España. Revisión bibliográfica sobre la eficacia y seguridad de la luz ultravioleta y Ozono para la desinfección de superficies. .
41. Schibuola L, Tambani C. Indoor environmental quality classification of school environments by monitoring PM and CO₂ concentration levels. *Atmos Pollut Res* 2020; 11: 332–342.

42. Zhang W, Qin S, Chen Z. Analysis on the Construction and Application of Health Classrooms in Information Environment. Proceedings of the 2018 International Conference on Distance Education and Learning, ACM 2018, 131–135.

LISTADOS

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1 - Impacto del CO ₂ en la calidad de la toma de decisiones [3]. Las barras de error representan 1 SD.	9
Figura 2 - Diagrama de flujos de la investigación.	12
Figura 3 – Vista general de la zona urbana en la que se ubica el centro extraída de Google Earth.	13
Figura 4 – Vista de pájaro de la parcela en la que se ubica el centro extraída de Google Earth.	13
Figura 5 - Acceso desde la vía pública al jardín de infancia El Nido del Paraguas extraída de Google Earth.	14
Figura 6 – Planimetría general de la guardería elaborada a partir de los planos de la Universidad de Sevilla.	14
Figura 7 – Planta tipo de las aulas elaborada a partir de los planos de la Universidad de Sevilla.	15
Figura 8 – Sección tipo de las aulas elaborada a partir de los planos de la Universidad de Sevilla.	16
Figura 9 – Fotografía 1 de las aulas.	16
Figura 10 – Fotografía 2 de las aulas.	17
Figura 11 - Instalación del sensor Awair fuera del rango de los niños.	18
Figura 12 - Calendario de la campaña de medición: Marzo.	19
Figura 13 - Calendario de la campaña de medición: Abril.	19
Figura 14 - Calendario de la campaña de medición: Mayo.	20
Figura 15 - Escala PMV. Fuente:(https://www.simscale.com/blog/what-is-pmv-ppd/).	20
Figura 16 - Recorte extraído de CBE Thermal Comfort Tool.	21
Figura 17 - Captura del proceso de introducción de datos en el estimador del riesgo de infección.	23
Figura 18 - Análisis gráfico de la evolución de T, Hr y PMV durante la semana 8 en el Aula 1. ..	25
Figura 19 - Análisis gráfico de la evolución de T, Hr y PMV durante la semana 10 en el Aula 1. ..	26
Figura 20 - Análisis gráfico de la evolución de T, Hr y PMV durante el 2 de mayo en el Aula 1. ..	26
Figura 21 - Análisis gráfico de la evolución de T, Hr y PMV durante el 4 de mayo en el Aula 1. ..	27
Figura 22 - Análisis gráfico de la evolución de T, Hr y PMV durante el 17 de mayo en el Aula 1. ..	27
Figura 23 - Análisis gráfico de la evolución de T, Hr y PMV durante el 16 de mayo en el Aula 1. ..	28
Figura 24 - Análisis gráfico de la evolución de CO ₂ , TVOC y PM _{2,5} durante la semana 10 en el Aula 1.	30
Figura 25 - Análisis gráfico de la evolución de CO ₂ , TVOC y PM _{2,5} durante la semana 10 en el Aula 1.	30
Figura 26 - Análisis gráfico de la evolución de CO ₂ , TVOC y PM _{2,5} durante el 4 de mayo en el Aula 1.	31
Figura 27 - Análisis gráfico de la evolución de la T, Hr, CO ₂ , TVOC y PM _{2,5} durante el 15 de mayo en el Aula 1.	32
Figura 28 - Análisis gráfico de la evolución de CO ₂ , TVOC y PM _{2,5} durante el 16 de mayo en el Aula 1.	32
Figura 29 - Análisis gráfico de la evolución de CO ₂ , TVOC y PM _{2,5} durante el 3 de mayo en el Aula 1.	33
Figura 30 - Análisis gráfico de la evolución de la T, Hr, el CO ₂ , TVOC y PM _{2,5} durante el 19 de mayo en el Aula 1.	34

Figura 31 - Análisis gráfico de la evolución de CO2, TVOC y PM2,5 durante la semana 5 en el Aula 1.....	36
Figura 32 - Análisis gráfico de la evolución de T, Hr y PMV durante la semana 8 en el Aula 2. ..	37
Figura 33 - Análisis gráfico de la evolución de T, Hr y PMV durante la semana 10 en el Aula 2. 37	
Figura 34 - Análisis gráfico de la evolución de T, Hr y PMV durante el 2 de mayo en el Aula 2. .	38
Figura 35 - Análisis gráfico de la evolución de T, Hr y PMV durante el 17 de mayo en el Aula 2.	38
Figura 36 - Análisis gráfico de la evolución de CO2, TVOC y PM2,5 durante la semana 8 en el Aula 2.....	39
Figura 37 - Análisis gráfico de la evolución de CO2, TVOC y PM2,5 durante la semana 10 en el Aula 2.....	39
Figura 38 - Análisis gráfico de la evolución de CO2, TVOC y PM2,5 durante el 4 de mayo en el Aula 2.....	40
Figura 39 - Análisis gráfico de la evolución de CO2, TVOC y PM2,5 durante el 5 de mayo en el Aula 2.....	40
Figura 40 - Análisis gráfico de la evolución de CO2, TVOC y PM2,5 durante el 17 de mayo en el Aula 2.....	41
Figura 41 - Análisis gráfico de la evolución de CO2, TVOC y PM2,5 durante el 19 de mayo en el Aula 2.....	42
Figura 42 - Análisis gráfico de la evolución de T, Hr y PMV durante la semana 11 en el Aula 1. 43	
Figura 43 - Análisis gráfico de la evolución de T, Hr y PMV durante el 24 de mayo en el Aula 1.	43
Figura 44 - Análisis gráfico de la evolución de T, Hr y PMV durante el 22 de mayo en el Aula 1.	44
Figura 45 - Análisis gráfico de la evolución de CO2, TVOC y PM2,5 durante la semana 11 en el Aula 1.....	45
Figura 46 - Análisis gráfico de la evolución de CO2, TVOC y PM2,5 durante el 22 de mayo en el Aula 1.....	45
Figura 47 - Análisis gráfico de la evolución de T, Hr y PMV durante la semana 11 en el Aula 2. 46	
Figura 48 - Análisis gráfico de la evolución de T, Hr y PMV durante la semana 11 en el Aula 2. 46	
Figura 49 - Análisis gráfico de la evolución de T, Hr y PMV durante el 25 de mayo en el Aula 2.	47
Figura 50 - IDA predominante en el Aula 1 durante la semana 8.....	48
Figura 51 - IDA predominante en el Aula 1 durante la semana 10.	49
Figura 52 - IDA predominante en el Aula 1 durante la semana 11.	49
Figura 53 - IDA predominante en el Aula 2 durante la semana 8.....	50
Figura 54 - IDA predominante en el Aula 2 durante la semana 10.	50
Figura 55 - IDA predominante en el Aula 2 durante la semana 11.	51
Figura 56 - Análisis gráfico de la evolución de la tasa de ataque en función de la acumulación del CO2 a lo largo de 390 minutos, Aula 1.	53
Figura 57 - Comparativa de medidas frente a la transmisión de patógenos aerotransportados en el Aula 1.....	54
Figura 58 - Especificaciones del sensor AWAIR Omni.	67
Figura 59 - Análisis gráfico de la evolución de la T, Hr, CO2, TVOC y PM2,5 durante la semana 1 en el Aula 1.....	68
Figura 60 - Análisis gráfico de la evolución de la T, Hr, CO2, TVOC y PM2,5 durante la semana 1 en el Aula 2.....	68
Figura 61 - Análisis gráfico de la evolución de la T, Hr, CO2, TVOC y PM2,5 durante la semana 2 en el Aula 1.....	69
Figura 62 - Análisis gráfico de la evolución de la T, Hr, CO2, TVOC y PM2,5 durante la semana 2 en el Aula 2.....	69

Figura 63 - Análisis gráfico de la evolución de la T, Hr, CO2, TVOC y PM2,5 durante la semana 3 en el Aula 1.....	70
Figura 64 - Análisis gráfico de la evolución de la T, Hr, CO2, TVOC y PM2,5 durante la semana 3 en el Aula 2.....	70
Figura 65 - Análisis gráfico de la evolución de la T, Hr, CO2, TVOC y PM2,5 durante la semana 4 en el Aula 1.....	71
Figura 66 - Análisis gráfico de la evolución de la T, Hr, CO2, TVOC y PM2,5 durante la semana 4 en el Aula 2.....	71
Figura 67 - Análisis gráfico de la evolución de la T, Hr, CO2, TVOC y PM2,5 durante la semana 5 en el Aula 1.....	72
Figura 68 - Análisis gráfico de la evolución de la T, Hr, CO2, TVOC y PM2,5 durante la semana 5 en el Aula 2.....	72
Figura 69 - Análisis gráfico de la evolución de la T, Hr, CO2, TVOC y PM2,5 durante la semana 6 en el Aula 1.....	73
Figura 70 - Análisis gráfico de la evolución de la T, Hr, CO2, TVOC y PM2,5 durante la semana 6 en el Aula 2.....	73
Figura 71 - Análisis gráfico de la evolución de la T, Hr, CO2, TVOC y PM2,5 durante la semana 7 en el Aula 1.....	74
Figura 72 - Análisis gráfico de la evolución de la T, Hr, CO2, TVOC y PM2,5 durante la semana 7 en el Aula 2.....	74
Figura 73 - Análisis gráfico de la evolución de la T, Hr, CO2, TVOC y PM2,5 durante la semana 8 en el Aula 1.....	75
Figura 74 - Análisis gráfico de la evolución de la T, Hr, CO2, TVOC y PM2,5 durante la semana 8 en el Aula 2.....	75
Figura 75 - Análisis gráfico de la evolución de la T, Hr, CO2, TVOC y PM2,5 durante la semana 9 en el Aula 1.....	76
Figura 76 - Análisis gráfico de la evolución de la T, Hr, CO2, TVOC y PM2,5 durante la semana 9 en el Aula 1.....	76
Figura 77 - Análisis gráfico de la evolución de la T, Hr, CO2, TVOC y PM2,5 durante la semana 10 en el Aula 1.....	77
Figura 78 - Análisis gráfico de la evolución de la T, Hr, CO2, TVOC y PM2,5 durante la semana 10 en el Aula 2.....	77
Figura 79 - Análisis gráfico de la evolución de la T, Hr, CO2, TVOC y PM2,5 durante la semana 11 en el Aula 1.....	78
Figura 80 - Análisis gráfico de la evolución de la T, Hr, CO2, TVOC y PM2,5 durante la semana 11 en el Aula 2.....	78
Figura 81 - Análisis gráfico comparativo entre los datos recabados de los sensores y las encuestas para docentes.....	79
Figura 82 - Ejemplos de encuestas rellenas por los docentes.....	79

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1 - Límites CO ₂ según Rite.....	11
Tabla 2 – Matriz empleada en el cálculo del PMV.....	21
Tabla 3 - Resumen semana 1 Aula 1.....	68
Tabla 4 - Resumen semana 1 Aula 2.....	68
Tabla 5 - Resumen semana 2 Aula 1.....	69
Tabla 6 - Resumen semana 2 Aula 2.....	69
Tabla 7 - Resumen semana 3 Aula 1.....	70
Tabla 8 - Resumen semana 3 Aula 2.....	70
Tabla 9 - Resumen semana 4 Aula 1.....	71
Tabla 10 - Resumen semana 4 Aula 2.....	71
Tabla 11 - Resumen semana 5 Aula 1.....	72
Tabla 12 - Resumen semana 5 Aula 2.....	72
Tabla 13 - Resumen semana 6 Aula 1.....	73
Tabla 14 - Resumen semana 6 Aula 2.....	73
Tabla 15 - Resumen semana 7 Aula 1.....	74
Tabla 16 - Resumen semana 7 Aula 2.....	74
Tabla 17 - Resumen semana 8 Aula 1.....	75
Tabla 18 - Resumen semana 8 Aula 2.....	75
Tabla 19 - Resumen semana 9 Aula 1.....	76
Tabla 20 - Resumen semana 9 Aula 2.....	76
Tabla 21 - Resumen semana 10 Aula 1.....	77
Tabla 22 - Resumen semana 10 Aula 2.....	77
Tabla 23 - Resumen semana 11 Aula 1.....	78
Tabla 24 - Resumen semana 11 Aula 2.....	78
Tabla 25 - Evolución de la tasa de ataque de COVID 19 en el Aula 1 durante un evento de 390 minutos.	80
Tabla 26 - Efectividad de las hipótesis planteadas frente a la transmisión de patógenos aerotransportados.....	80

ANEJOS

CARACTERÍSTICAS DEL SOFTWARE E INSTRUMENTOS EMPLEADOS



AWAIR Omni INDOOR AIR QUALITY MONITOR



SENSOR SPECIFICATIONS		
Particulate Matter 2.5 (PM2.5)	Sensor Type: Measuring Range: Sensor Output Resolution: Accuracy:	Laser Particle Sensor (Light Scattering) 0 - 1000 µg/m3 1 µg/m3 ±15 µg/m3 or ±15%
Total Volatile Organic Compounds (TVOCs)	Sensor Type: Measuring Range: Sensor Output Resolution: Accuracy:	Multi-pixel Metal Oxide Semiconductor Sensor (MOS) 0 - 60000 ppb 1 ppb ±10%
Carbon Dioxide (CO2)	Sensor Type: Measuring Range: Sensor Output Resolution: Accuracy:	Non-Dispersive Infrared Detector (NDIR) 400 - 5000 ppm 1 ppm ±75 ppm and ±10%
Temperature	Sensor Type: Measuring Range: Sensor Output Resolution: Accuracy:	CMOS Sensor -40 - 125°C 0.015°C ±0.2°C
Relative Humidity	Sensor Type: Measuring Range: Sensor Output Resolution: Accuracy:	CMOS Sensor 0 - 100%RH 0.01%RH ±2%RH
BASIC INFORMATION		
DIMENSIONS Length: 98 mm (3.85 in) Width: 98 mm (3.85 in) Height: 34 mm (1.85 in)	WEIGHT Unit Weight: 220 g (0.49 lbs)	CONNECTIVITY & INTEGRATION - Wi-Fi Connection 2.4GHz 802.11 b/g/n (w/ setup over Bluetooth) - Private LoRa Connection (w/ Bracket accessory) - Ethernet or LTE Cellular Connection (w/ optional Gateway) - RS-485 Serial Connection (w/ Bracket accessory)
OPERATIONAL ENVIRONMENT Operating Temperature: -10°C to 45°C Operating Humidity: 10% to 80%, non-condensing		DATA STORAGE & LOGGING Log Interval: 10 seconds Data Push Interval: 10 seconds Onboard Memory: 11 MB (~100,000 records)
POWER CONSUMPTION Input: 100~240V AC, 50/60Hz w/ USB-C cable Operating: 1.76W (max 206W)	BATTERY Capacity & Voltage: 2250mAh @ 3.7V Usage Time: 5.5 - 9 hours	WARRANTY & DURABILITY Warranty: 1 year (optional extended warranty w/ contract) Expected Lifespan: 5 to 7 years
ACCESSORIES - Desk stand - Wall mount - Drywall anchors & screws - 6 foot USB-C to USB-A cable	- 5v~2A USB-A wall adapter (regional variants available)	OTHER CERTIFICATIONS Environmental: ROHS, REACH, WEEE Customer: FCC (US), KC (Korea), CE (Europe) Electronic safety: SRRC (China), Telec (Japan)

20190125



This indoor air quality monitor has met the RESET™ Air Performance Standard for Commercial Grade (B) Monitors and is accredited for use in projects pursuing RESET™ Certification.

Figura 58 - Especificaciones del sensor AWAIR Omni.

DATOS SEMANALES

Semana 1

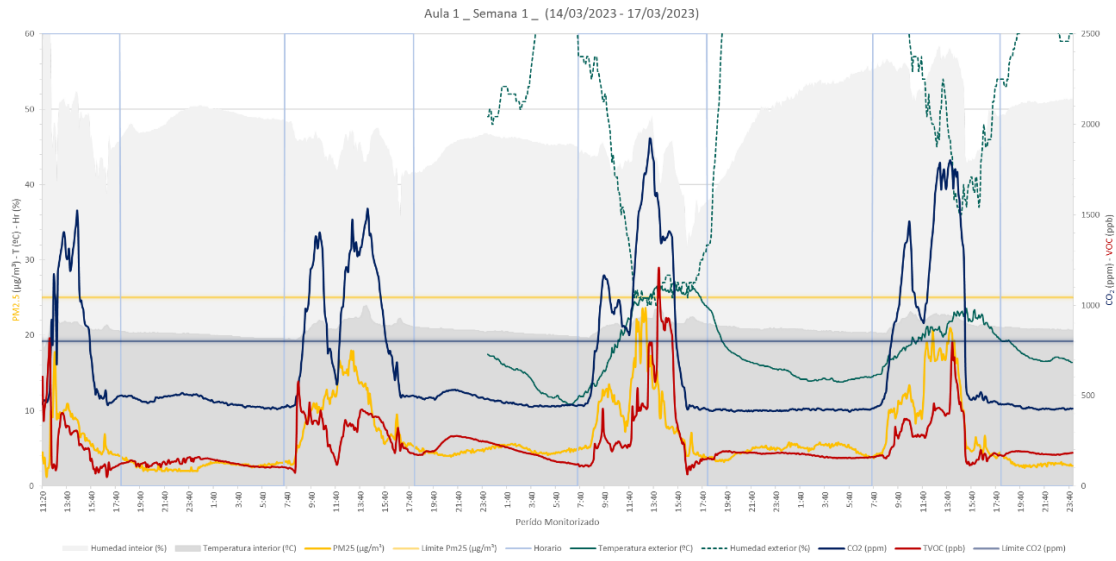


Figura 59 - Análisis gráfico de la evolución de la T, Hr, CO2, TVOC y PM2,5 durante la semana 1 en el Aula 1.

Tabla 3 - Resumen semana 1 Aula 1.

Horario laboral	T (°C)	Hr(%)	CO2 (ppm)	TVOC (ppb)	PM25 (µg/m³)
Valor Máximo	24,7	62,6	1922,7	1208,2	23,6
Valor Mínimo	18	31,7	421,8	50,7	1,2
Promedio	21,48	47,02	932,09	298,07	9,35
Mediana	21,5	45,9	903,85	265,75	8,85
Límite establecido	21-25	40-60	800	-	25

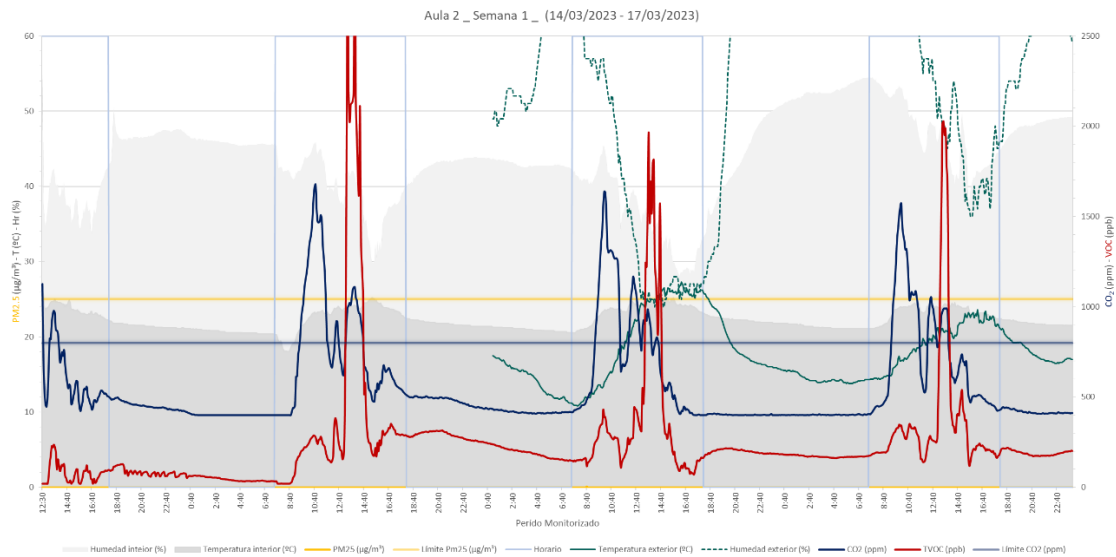


Figura 60 - Análisis gráfico de la evolución de la T, Hr, CO2, TVOC y PM2,5 durante la semana 1 en el Aula 2.

Tabla 4 - Resumen semana 1 Aula 2.

Horario laboral	T (°C)	Hr(%)	CO2 (ppm)	TVOC (ppb)	PM25 (µg/m³)
Valor Máximo	25,7	54,7	1677,2	3380	0,1
Valor Mínimo	18	28,1	400	20	0
Promedio	23,26	40,71	734,83	354,98	0,00
Mediana	23,65	41	628,45	223,9	0
Límite establecido	21-25	40-60	800	-	25

Semana 2

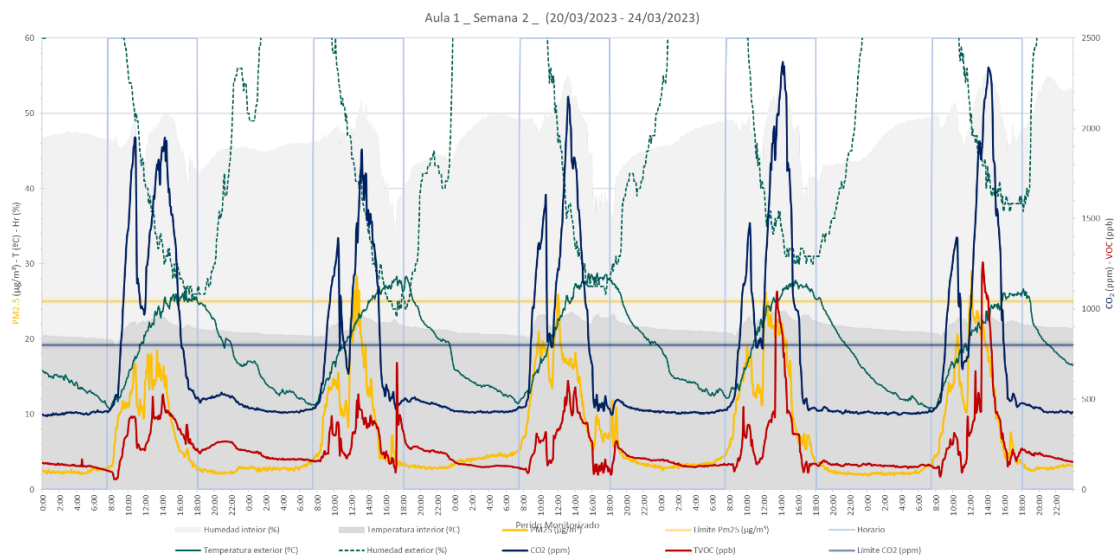


Figura 61 - Análisis gráfico de la evolución de la T, Hr, CO₂, TVOC y PM_{2,5} durante la semana 2 en el Aula 1.

Tabla 5 - Resumen semana 2 Aula 1.

Horario laboral	T (°C)	Hr(%)	CO ₂ (ppm)	TVOC (ppb)	PM ₂₅ (µg/m ³)
Valor Máximo	23,8	56,2	2366,9	1256,9	29,1
Valor Mínimo	18,7	34	428	56,7	2,5
Promedio	22,07	47,49	1067,02	300,48	11,84
Mediana	22,2	48,1	996,7	270,9	11,2
Límite establecido	21-25	40-60	800	-	25

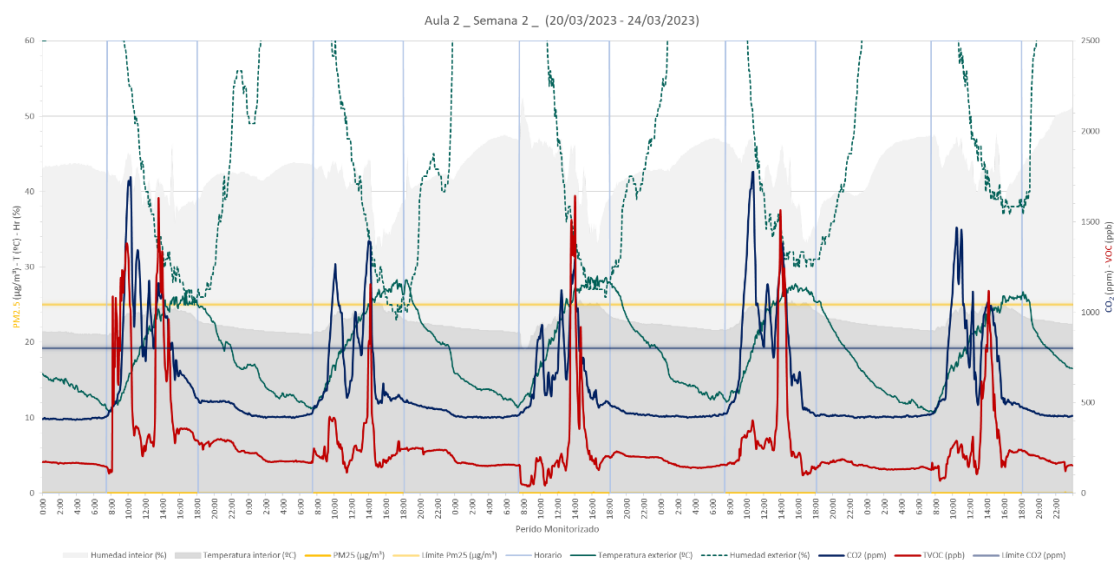


Figura 62 - Análisis gráfico de la evolución de la T, Hr, CO₂, TVOC y PM_{2,5} durante la semana 2 en el Aula 2.

Tabla 6 - Resumen semana 2 Aula 2.

Horario laboral	T (°C)	Hr(%)	CO ₂ (ppm)	TVOC (ppb)	PM ₂₅ (µg/m ³)
Valor Máximo	25,6	52,4	1776,4	1637	0,1
Valor Mínimo	19	32,4	426,7	37,3	0
Promedio	23,69	41,75	777,00	346,09	0,00
Mediana	24	42,2	673,9	237,2	0
Límite establecido	21-25	40-60	800	-	25

Semana 3

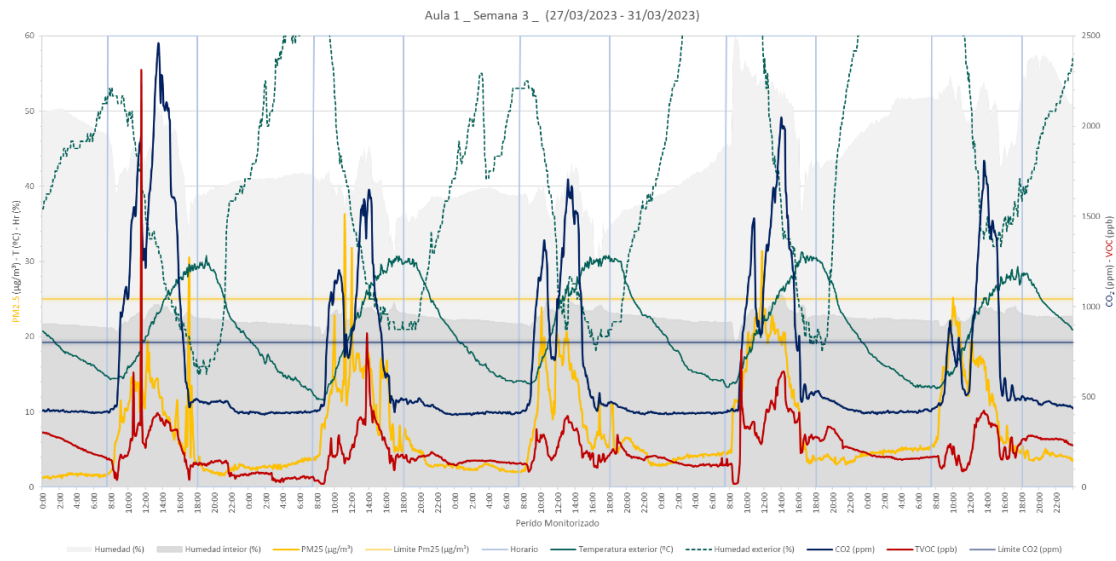


Figura 63 - Análisis gráfico de la evolución de la T, Hr, CO2, TVOC y PM2,5 durante la semana 3 en el Aula 1.

Tabla 7 - Resumen semana 3 Aula 1.

Horario laboral	T (°C)	Hr (%)	CO2 (ppm)	TVOC (ppb)	PM25 (µg/m³)
Valor Máximo	25,8	61,1	2460,1	2312	51,6
Valor Mínimo	19	29	411,5	20	1,7
Promedio	22,96	44,41	971,25	253,24	11,94
Mediana	23,1	43,3	869,2	228,9	11,7
Límite establecido	21-25	40-60	800	-	25

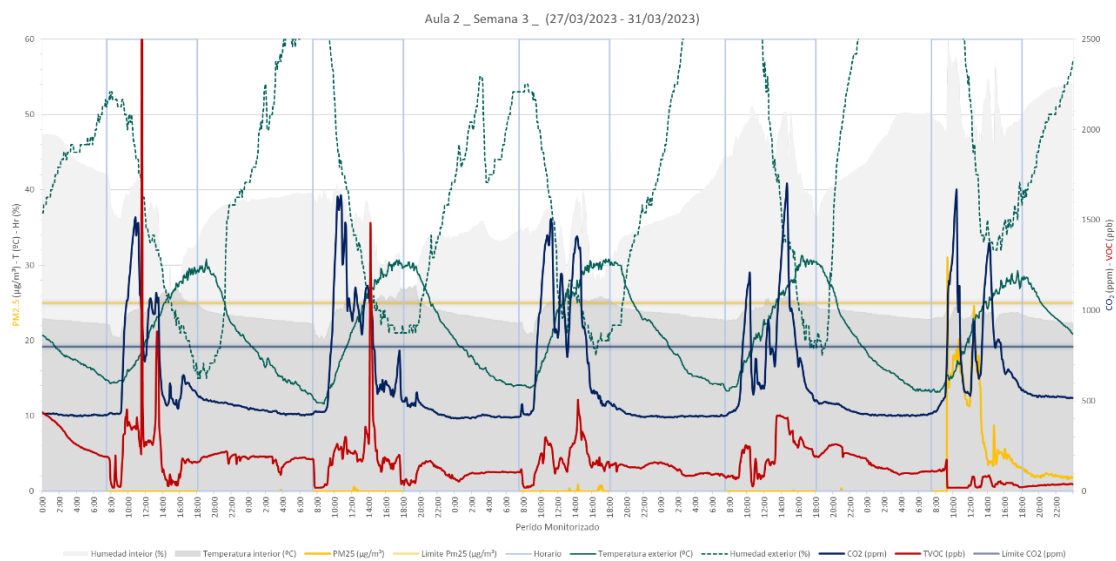


Figura 64 - Análisis gráfico de la evolución de la T, Hr, CO2, TVOC y PM2,5 durante la semana 3 en el Aula 2.

Tabla 8 - Resumen semana 3 Aula 2.

Horario laboral	T (°C)	Hr (%)	CO2 (ppm)	TVOC (ppb)	PM25 (µg/m³)
Valor Máximo	27	60,6	1699,5	5249,9	30,8
Valor Mínimo	20	23,8	412,4	20	0
Promedio	24,15	40,01	795,70	178,02	1,65
Mediana	24,4	38,7	689,2	154,1	0
Límite establecido	21-25	40-60	800	-	25

Semana 4

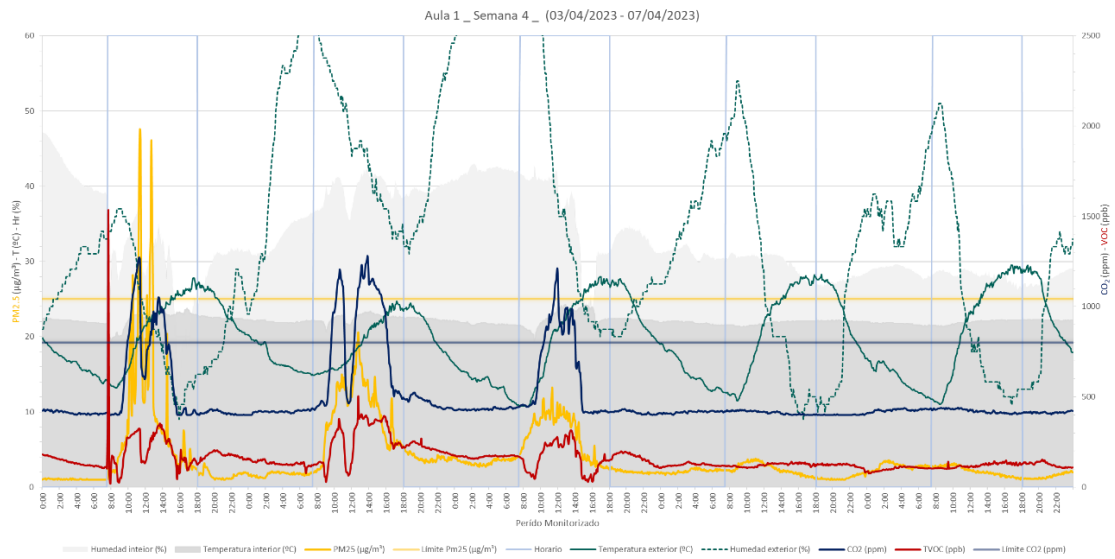


Figura 65 - Análisis gráfico de la evolución de la T, Hr, CO₂, TVOC y PM_{2,5} durante la semana 4 en el Aula 1.

Tabla 9 - Resumen semana 4 Aula 1.

Horario laboral	T (°C)	Hr (%)	CO ₂ (ppm)	TVOC (ppb)	PM ₂₅ (µg/m ³)
Valor Máximo	24,3	42,7	1280,4	1533,8	47,6
Valor Mínimo	19,4	12,2	400	20	1
Promedio	22,52	34,61	710,78	211,46	8,71
Mediana	22,7	36,8	645,5	208,4	7,9
Límite establecido	21-25	40-60	800	-	25

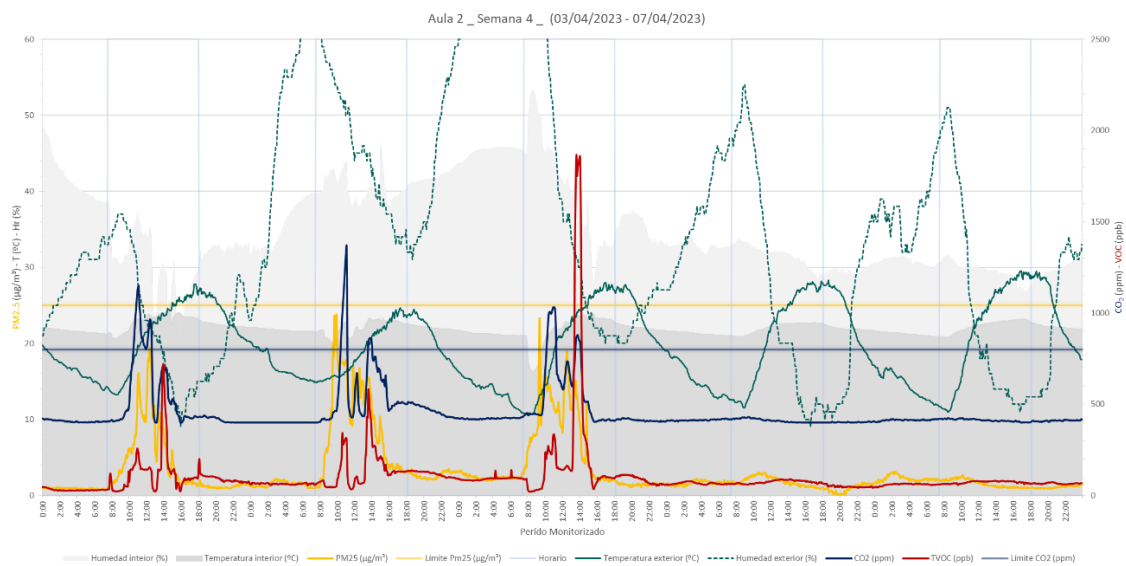


Figura 66 - Análisis gráfico de la evolución de la T, Hr, CO₂, TVOC y PM_{2,5} durante la semana 4 en el Aula 2.

Tabla 10 - Resumen semana 4 Aula 2.

Horario laboral	T (°C)	Hr (%)	CO ₂ (ppm)	TVOC (ppb)	PM ₂₅ (µg/m ³)
Valor Máximo	24,3	53,5	1366,8	1866	23,8
Valor Mínimo	16,2	17,9	400	20,7	0,8
Promedio	22,24	37,04	576,76	177,79	7,82
Mediana	22,9	38,8	495,8	115,9	6,7
Límite establecido	21-25	40-60	800	-	25

Semana 5

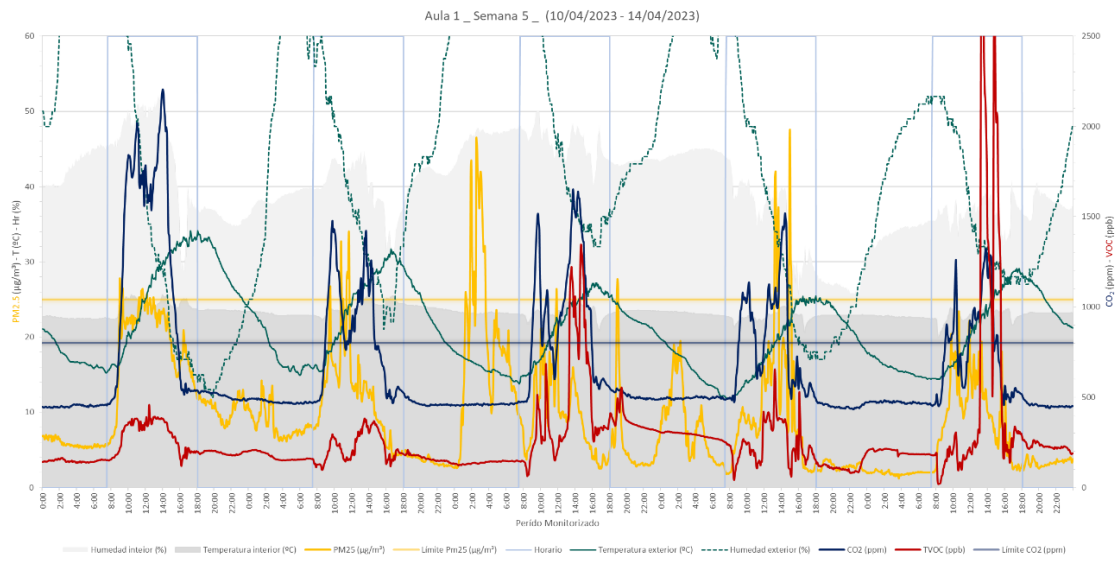


Figura 67 - Análisis gráfico de la evolución de la T, Hr, CO₂, TVOC y PM_{2,5} durante la semana 5 en el Aula 1.

Tabla 11 - Resumen semana 5 Aula 1.

Horario labo	T (°C)	Hr(%)	CO ₂ (ppm)	TVOC (ppb)	PM ₂₅ (µg/m ³)
Valor Máxim	25,7	52	2204,7	3668	47,5
Valor Mínim	19,9	25,6	450	20	1,8
Promedio	23,41	40,69	915,87	356,02	12,25
Mediana	23,4	40,1	821,4	254,7	10,8
Límite establ	21-25	40-60	800	-	25

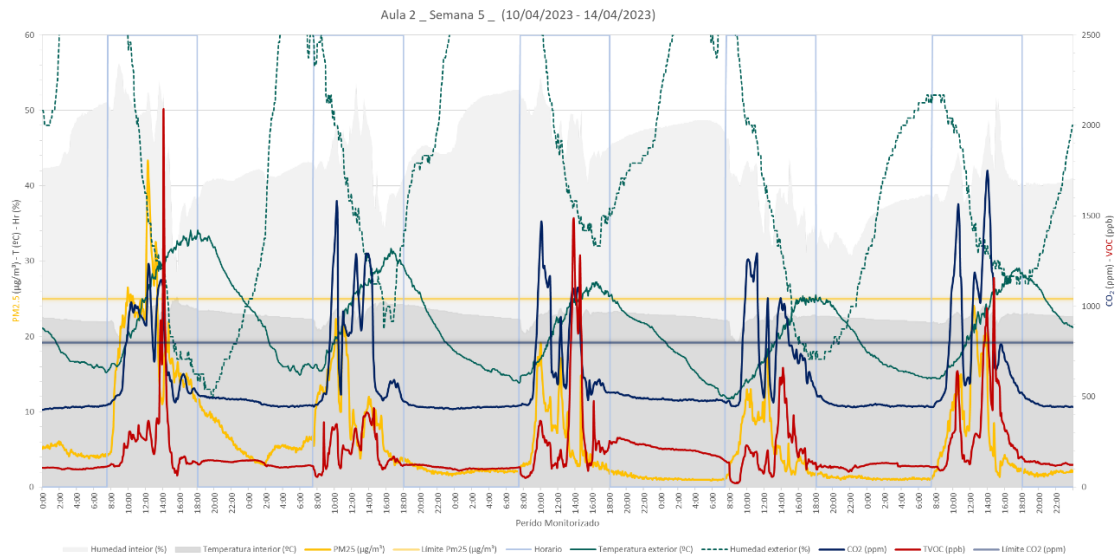


Figura 68 - Análisis gráfico de la evolución de la T, Hr, CO₂, TVOC y PM_{2,5} durante la semana 5 en el Aula 2.

Tabla 12 - Resumen semana 5 Aula 2.

Horario labo	T (°C)	Hr(%)	CO ₂ (ppm)	TVOC (ppb)	PM ₂₅ (µg/m ³)
Valor Máxim	25,2	56,2	1749,6	2084,7	43,2
Valor Mínim	19,2	28,3	443	22,2	1,1
Promedio	22,79	43,44	770,23	259,50	9,87
Mediana	22,9	43	659	198,9	8,2
Límite establ	21-25	40-60	800	-	25

Semana 6

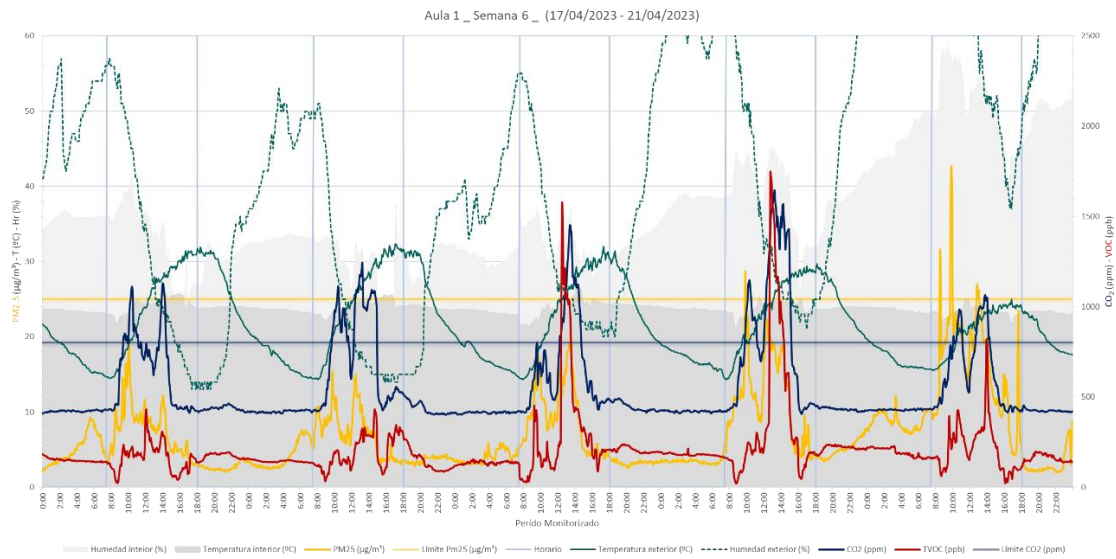


Figura 69 - Análisis gráfico de la evolución de la T, Hr, CO₂, TVOC y PM_{2,5} durante la semana 6 en el Aula 1.

Tabla 13 - Resumen semana 6 Aula 1.

Horario labo	T (°C)	Hr(%)	CO ₂ (ppm)	TVOC (ppb)	PM ₂₅ (µg/m ³)
Valor Máxim	26,6	58,7	1642,8	1745,3	42,7
Valor Mínim	20,9	20	406,2	20,9	2,8
Promedio	23,85	36,96	712,35	252,49	10,44
Mediana	24	34,8	638,7	188,8	9,2
Límite establ	21-25	40-60	800	-	25

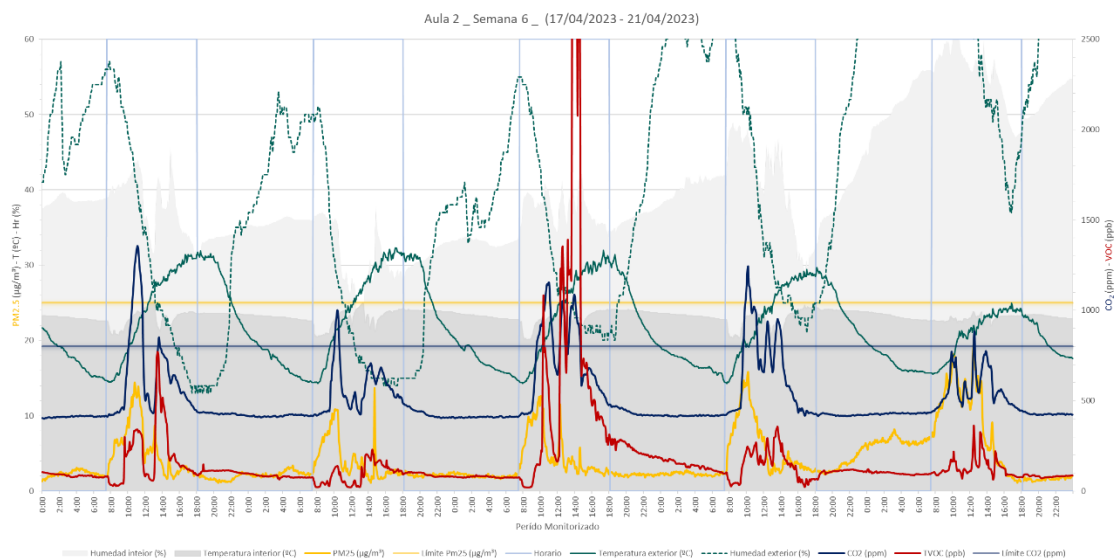


Figura 70 - Análisis gráfico de la evolución de la T, Hr, CO₂, TVOC y PM_{2,5} durante la semana 6 en el Aula 2.

Tabla 14 - Resumen semana 6 Aula 2.

Horario labo	T (°C)	Hr(%)	CO ₂ (ppm)	TVOC (ppb)	PM ₂₅ (µg/m ³)
Valor Máxim	25,2	62,4	1356,6	7694,8	20,1
Valor Mínim	19,9	22,9	411,3	20,1	1,1
Promedio	22,82	40,58	630,41	269,28	5,96
Mediana	23,1	38,8	560,5	133,1	4
Límite establ	21-25	40-60	800	-	25

Semana 7

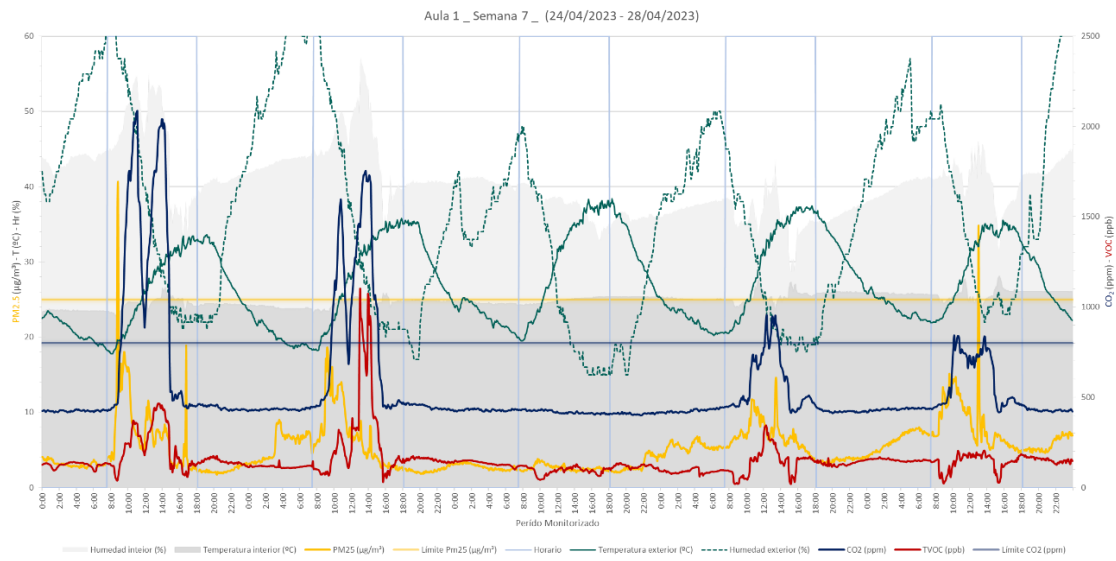


Figura 71 - Análisis gráfico de la evolución de la T, Hr, CO2, TVOC y PM2,5 durante la semana 7 en el Aula 1.

Tabla 15 - Resumen semana 7 Aula 1.

Horario labo	T (°C)	Hr (%)	CO2 (ppm)	TVOC (ppb)	PM25 (µg/m³)
Valor Máxim	28,1	57,1	2085,9	1098,8	40,4
Valor Mínim	22,6	28,7	412,8	20,3	2,5
Promedio	24,96	42,34	822,00	199,91	7,89
Mediana	24,9	41,65	681,2	160,4	6,9
Límite establ	21-25	40-60	800	-	25

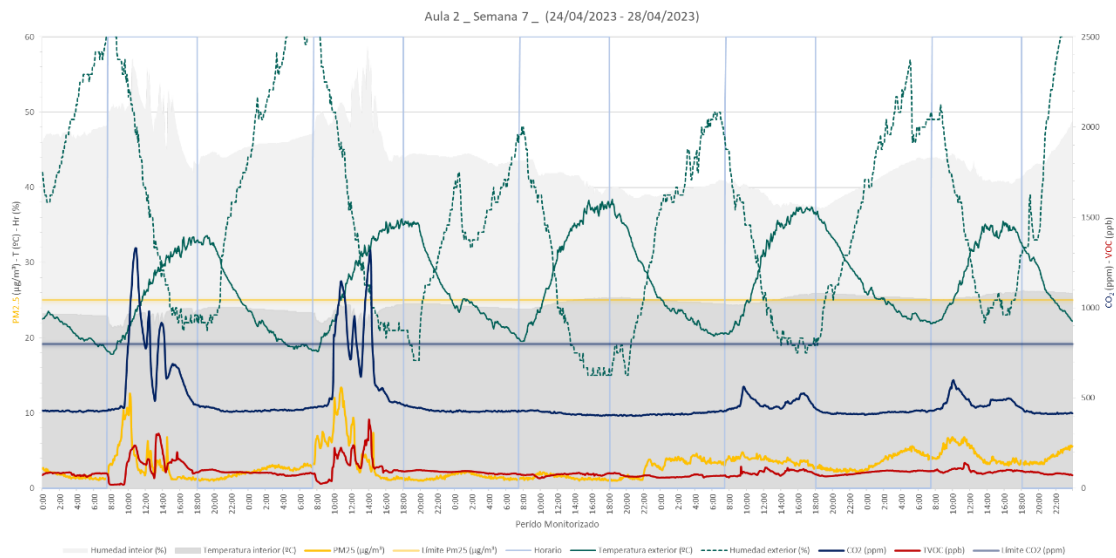


Figura 72 - Análisis gráfico de la evolución de la T, Hr, CO2, TVOC y PM2,5 durante la semana 7 en el Aula 2.

Tabla 16 - Resumen semana 7 Aula 2.

Horario labo	T (°C)	Hr (%)	CO2 (ppm)	TVOC (ppb)	PM25 (µg/m³)
Valor Máxim	26,2	58,7	1330,8	378,2	13,4
Valor Mínim	21,1	37,3	428	20	1,1
Promedio	24,16	44,95	581,89	110,73	4,16
Mediana	24,4	43,9	490,75	97,6	3,7
Límite establ	21-25	40-60	800	-	25

Semana 8

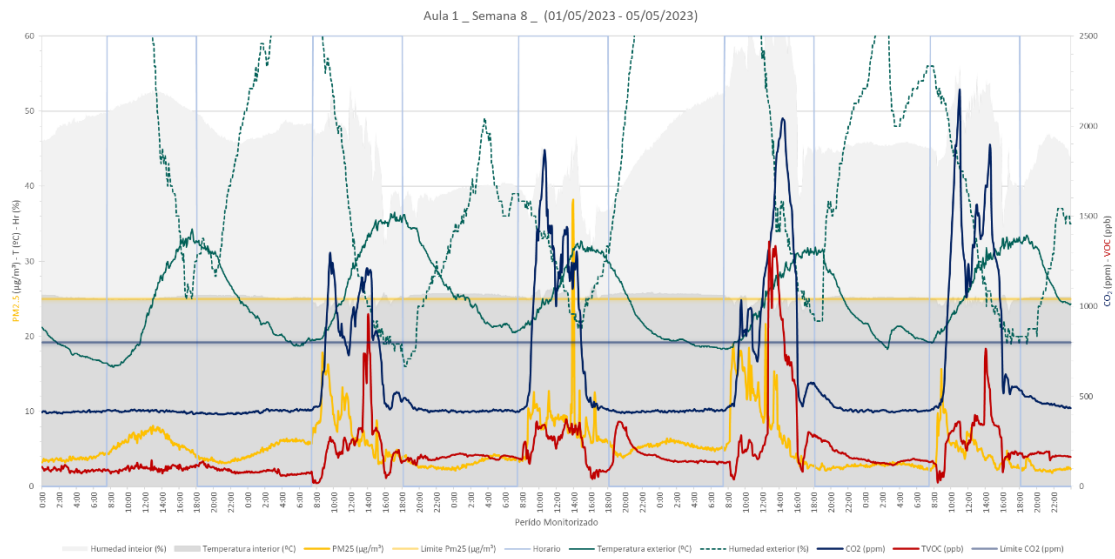


Figura 73 - Análisis gráfico de la evolución de la T, Hr, CO2, TVOC y PM2,5 durante la semana 8 en el Aula 1.

Tabla 17 - Resumen semana 8 Aula 1.

Horario labo	T (°C)	Hr (%)	CO2 (ppm)	TVOC (ppb)	PM25 (µg/m³)
Valor Máxim	26,8	66,6	2199,9	1351,1	38,2
Valor Mínim	23,1	31,9	414,2	20	2,1
Promedio	24,79	46,79	953,48	287,57	7,49
Mediana	24,8	46,15	884,4	243,45	6,3
Límite establ	21-25	40-60	800	-	25

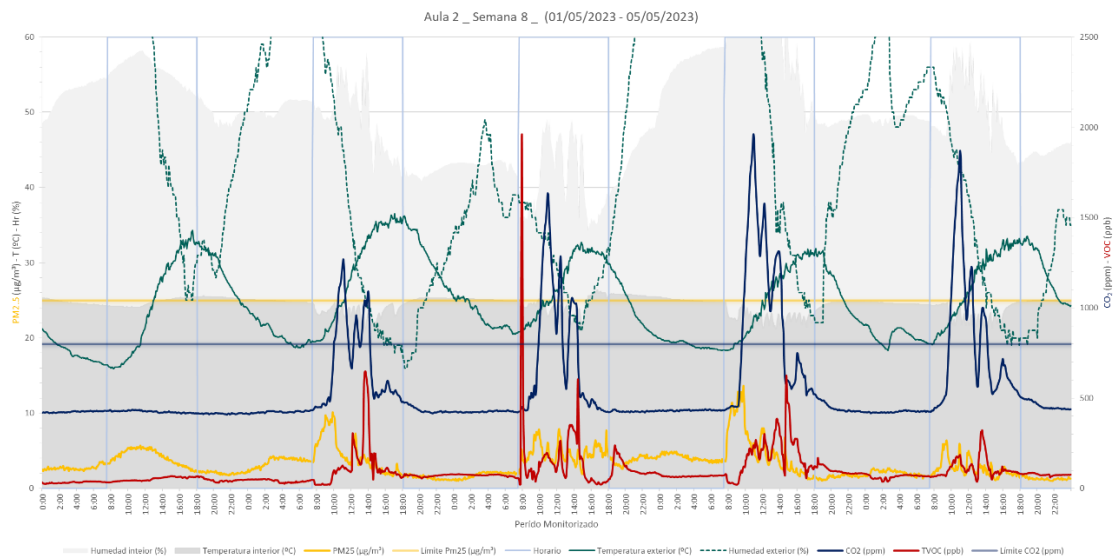


Figura 74 - Análisis gráfico de la evolución de la T, Hr, CO2, TVOC y PM2,5 durante la semana 8 en el Aula 2.

Tabla 18 - Resumen semana 8 Aula 2.

Horario labo	T (°C)	Hr (%)	CO2 (ppm)	TVOC (ppb)	PM25 (µg/m³)
Valor Máxim	26,4	73	1962,4	1954,4	13,6
Valor Mínim	21,2	34,2	422,3	20	1,1
Promedio	23,42	50,58	785,93	147,01	4,24
Mediana	23,3	49,3	611,6	104,6	3,7
Límite establ	21-25	40-60	800	-	25

Semana 9

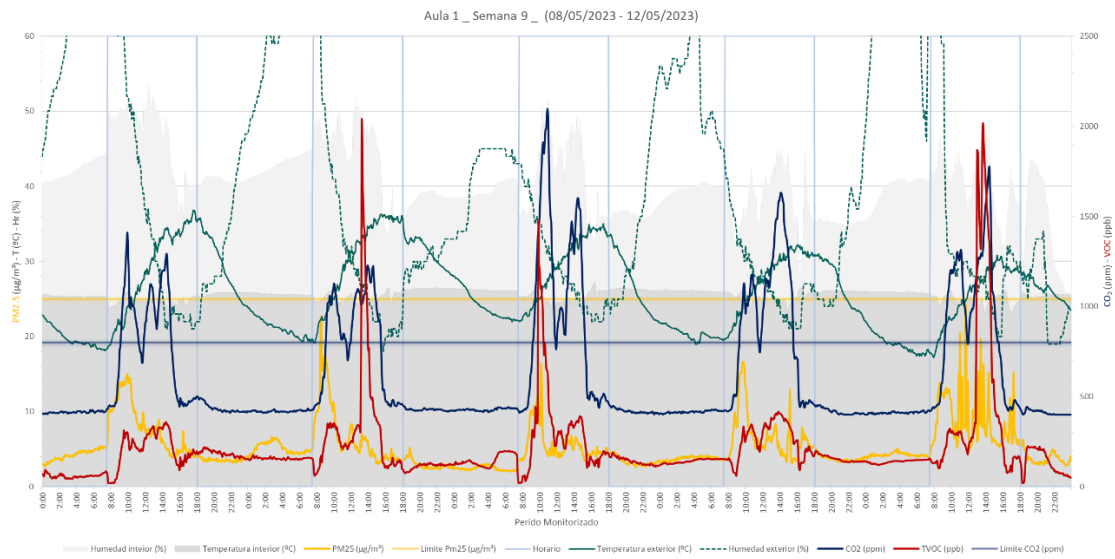


Figura 75 - Análisis gráfico de la evolución de la T, Hr, CO2, TVOC y PM2,5 durante la semana 9 en el Aula 1.

Tabla 19 - Resumen semana 9 Aula 1.

Horario labo	T (°C)	Hr (%)	CO2 (ppm)	TVOC (ppb)	PM25 (µg/m³)
Valor Máxim	27,3	53,7	2094,7	2016	24,4
Valor Mínim	22,8	28,2	410,6	20	3
Promedio	24,95	42,32	872,15	313,42	7,19
Mediana	24,9	42,4	885,1	247,9	6
Límite establ	21-25	40-60	800	-	25

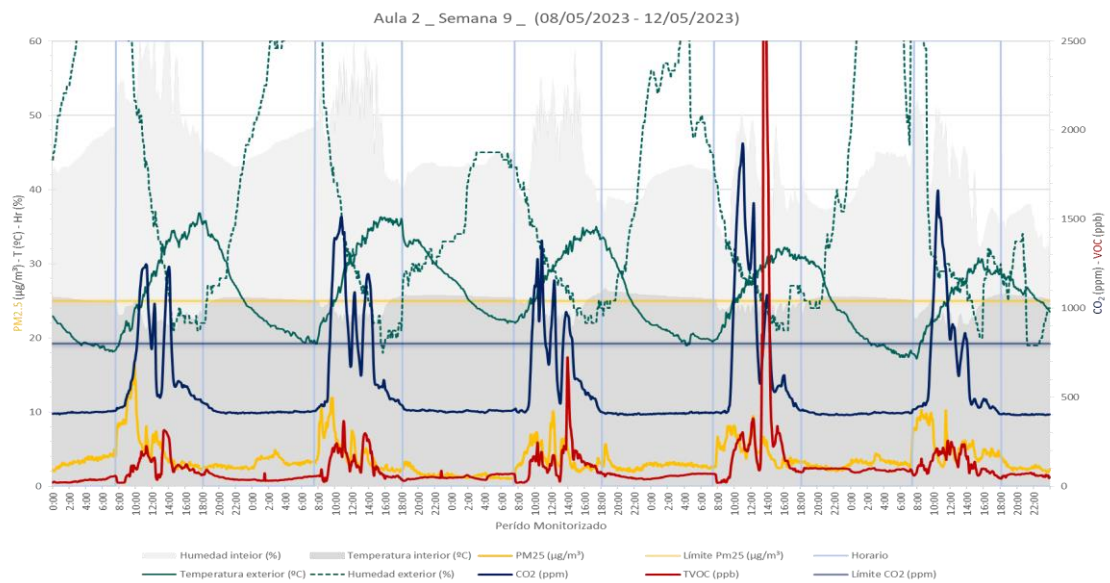


Figura 76 - Análisis gráfico de la evolución de la T, Hr, CO2, TVOC y PM2,5 durante la semana 9 en el Aula 1.

Tabla 20 - Resumen semana 9 Aula 2.

Horario labo	T (°C)	Hr (%)	CO2 (ppm)	TVOC (ppb)	PM25 (µg/m³)
Valor Máxim	26,1	61,3	1926	3447,6	16,5
Valor Mínim	20,8	32,3	404,9	20	1,4
Promedio	23,35	46,74	734,32	171,38	4,95
Mediana	23,2	47,6	578,3	116,2	4,4
Límite establ	21-25	40-60	800	-	25

Semana 10

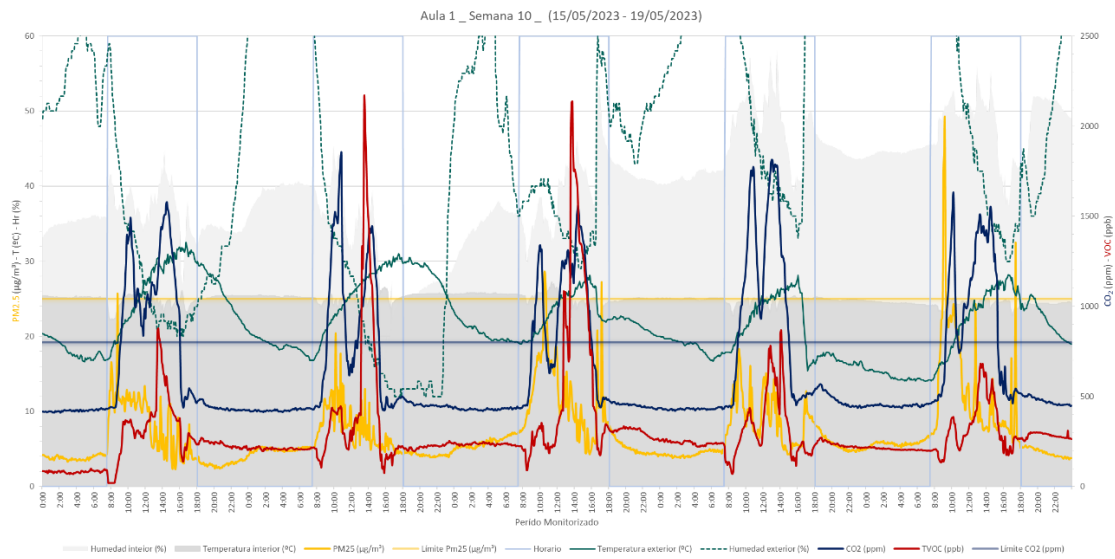


Figura 77 - Análisis gráfico de la evolución de la T, Hr, CO₂, TVOC y PM_{2,5} durante la semana 10 en el Aula 1.

Tabla 21 - Resumen semana 10 Aula 1.

Horario labo	T (°C)	Hr (%)	CO ₂ (ppm)	TVOC (ppb)	PM ₂₅ (µg/m ³)
Valor Máxim	27,3	58	1853,5	2158,7	48,8
Valor Mínim	22,2	16,1	422,3	20	2,3
Promedio	24,70	41,16	920,26	401,87	10,03
Mediana	24,8	40,7	901,2	296,8	8,8
Límite establ	21-25	40-60	800	-	25

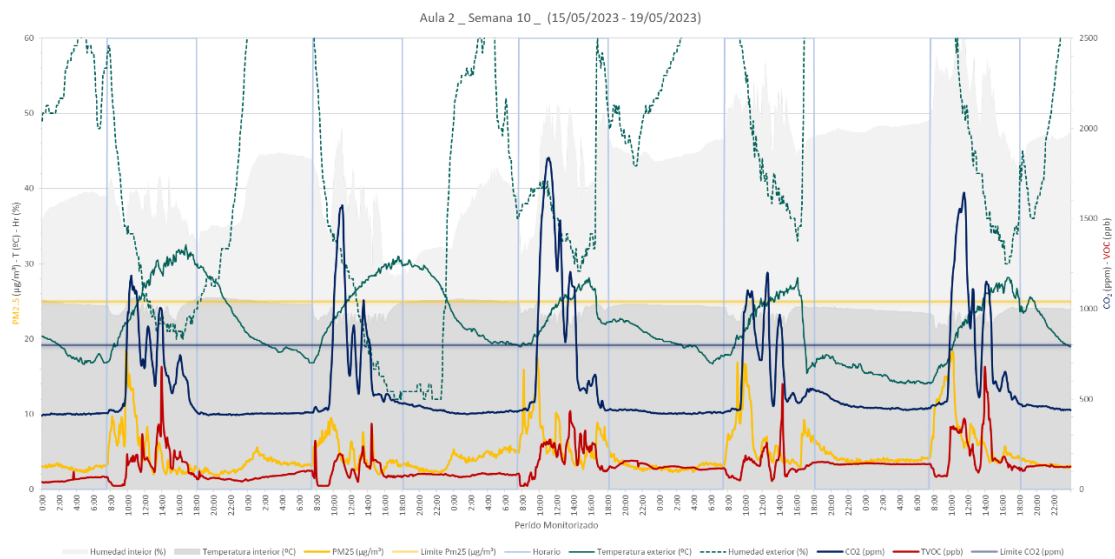


Figura 78 - Análisis gráfico de la evolución de la T, Hr, CO₂, TVOC y PM_{2,5} durante la semana 10 en el Aula 2.

Tabla 22 - Resumen semana 10 Aula 2.

Horario labo	T (°C)	Hr (%)	CO ₂ (ppm)	TVOC (ppb)	PM ₂₅ (µg/m ³)
Valor Máxim	25,7	62,9	1836,9	675,7	18,4
Valor Mínim	21,2	28	421,3	20	2
Promedio	23,35	43,95	740,83	156,58	6,26
Mediana	23,3	44,4	590,9	136,7	5,5
Límite establ	21-25	40-60	800	-	25

Semana 11

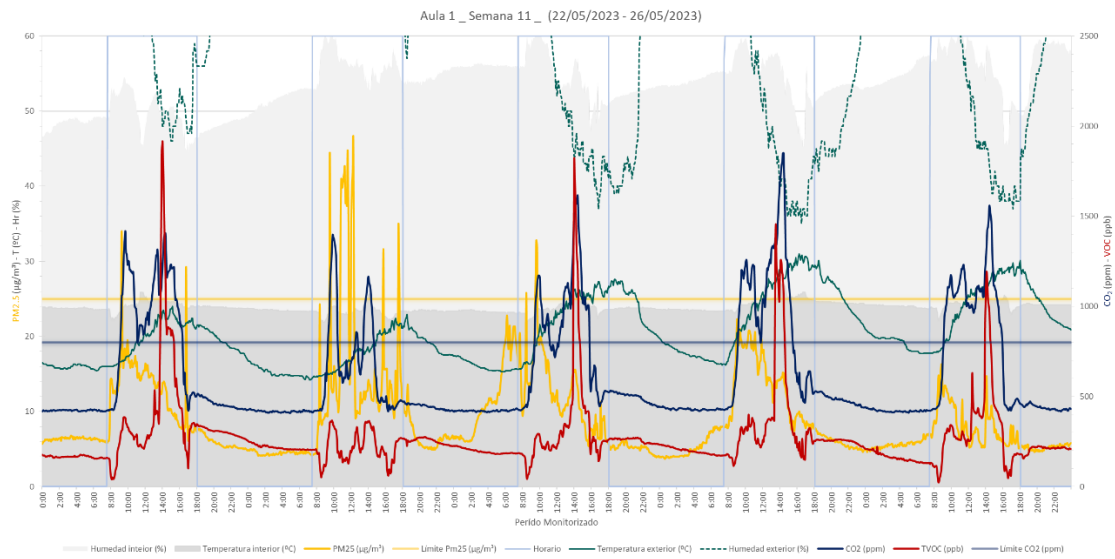


Figura 79 - Análisis gráfico de la evolución de la T, Hr, CO2, TVOC y PM2,5 durante la semana 11 en el Aula 1.

Tabla 23 - Resumen semana 11 Aula 1.

Horario labo	T (°C)	Hr(%)	CO2 (ppm)	TVOC (ppb)	PM25 (µg/m³)
Valor Máxim	27	61	1850,2	1915,9	46,2
Valor Mínim	21,8	44,2	410,9	22,7	4,2
Promedio	24,07	54,32	850,50	336,08	12,67
Mediana	24,1	55,1	864	266,3	11,6
Límite establ	21-25	40-60	800	-	25

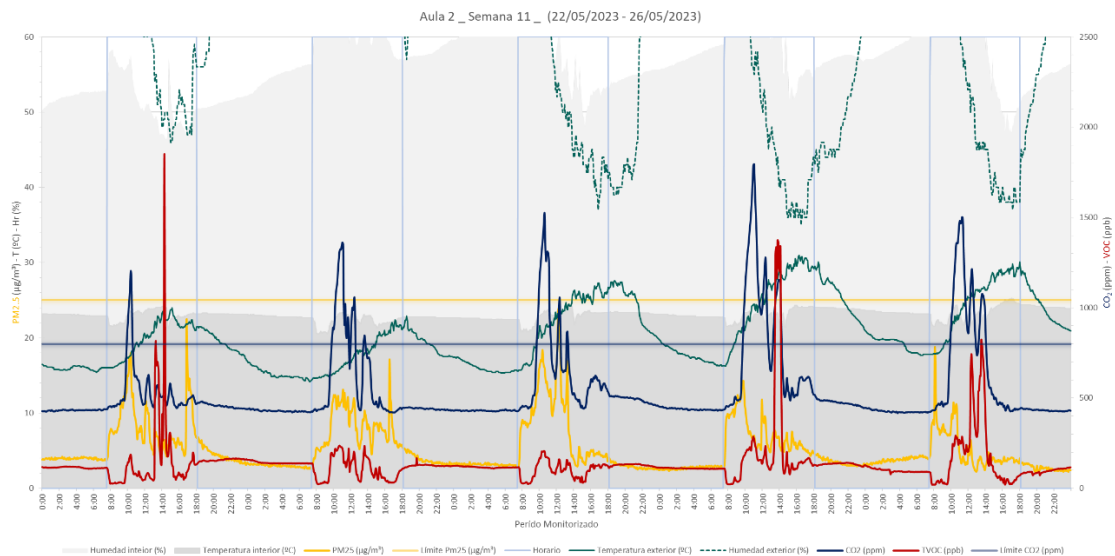


Figura 80 - Análisis gráfico de la evolución de la T, Hr, CO2, TVOC y PM2,5 durante la semana 11 en el Aula 2.

Tabla 24 - Resumen semana 11 Aula 2.

Horario labo	T (°C)	Hr(%)	CO2 (ppm)	TVOC (ppb)	PM25 (µg/m³)
Valor Máxim	25,3	70,5	1794,4	1850,5	24
Valor Mínim	20,5	46,4	419,3	20	2,2
Promedio	22,90	58,24	672,57	150,75	7,52
Mediana	23	59	531	106,8	6,7
Límite establ	21-25	40-60	800	-	25

ENCUESTAS RELLENADAS POR EL PERSONAL DEL CENTRO

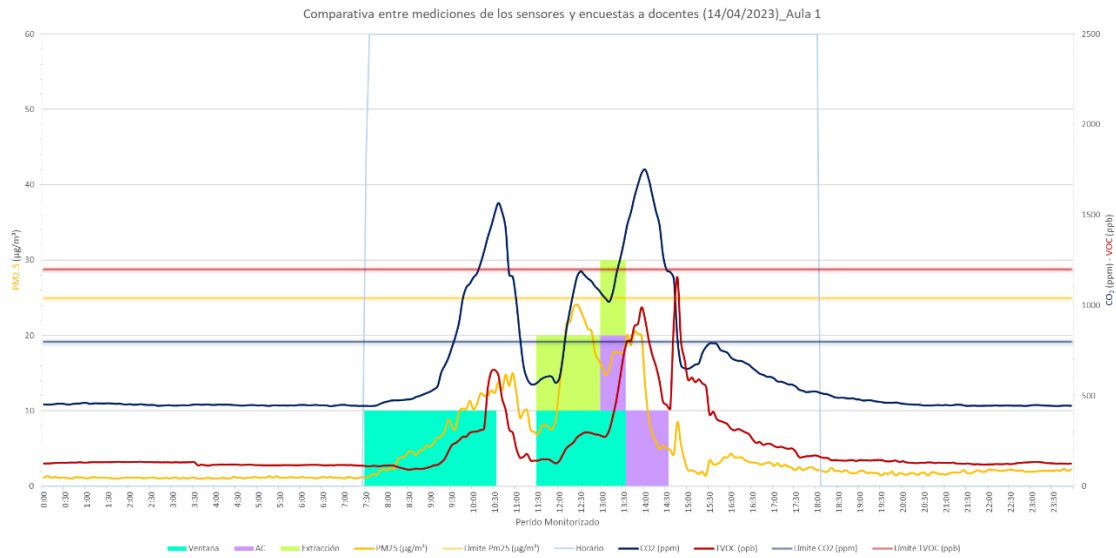


Figura 81 - Análisis gráfico comparativo entre los datos recabados de los sensores y las encuestas para docentes.

AULA BEBÉS

Estudio para la mejora de la calidad del aire en aulas y centros infantiles. Contacto: Guillermo García Martín: ggarcia1995@gmail.com. Fecha: 22-05-23.

Horario	Ventanas		Aire acondicionado		Extracción	
	Se abren las ventanas	Se cierran las ventanas	Se enciende	Se apaga	Se enciende el extractor del baño	Se apaga el extractor del baño
7:00	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7:30	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8:00	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8:30	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9:00	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9:30	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10:00	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10:30	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11:00	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11:30	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12:00	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12:30	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13:00	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13:30	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14:00	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14:30	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15:00	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15:30	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
16:00	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
16:30	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
17:00	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
17:30	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
18:00	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
18:30	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

¿Cuántos niños se durmieron? 0% 25% 50% 75% 100%

¿Cuánto tardaron en dormirse? 30 o más 20 - 30 min 10 - 20 min 0 - 10 min

AULA AZUL

Estudio para la mejora de la calidad del aire en aulas y centros infantiles. Contacto: Guillermo García Martín: ggarcia1995@gmail.com. Fecha: 14 abril.

Horario	Ventanas		Aire acondicionado		Extracción	
	Se abren las ventanas	Se cierran las ventanas	Se enciende	Se apaga	Se enciende el extractor del baño	Se apaga el extractor del baño
7:00	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7:30	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8:00	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8:30	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9:00	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9:30	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10:00	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10:30	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11:00	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11:30	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12:00	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12:30	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13:00	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13:30	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
14:00	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14:30	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15:00	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15:30	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
16:00	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
16:30	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
17:00	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
17:30	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
18:00	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
18:30	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Figura 82 - Ejemplos de encuestas rellenas por los docentes.

INFORME EXTRAÍDO DEL COVID RISK AIRBORNE

Tabla 25 - Evolución de la tasa de ataque de COVID 19 en el Aula 1 durante un evento de 390 minutos.

Evolución tasa de ataque COVID 19 - 390 minutos									
Caudal de ventilación (ACH)	Δ[CO2] promedio (ppm)	Nivel de CO2 promedio (ppm)	Nivel de CO2 máximo (ppm)	Respiración oral		Hablando		Hablando fuerte	
				Tasa de ataque	Hr	Tasa de ataque	Hr	Tasa de ataque	Hr
	0								
110,5	10	430	436	1,10%	0,0006	4,90%	0,0028	27,60%	0,0182
22,83	50	470	496	4,70%	0,0028	20,40%	0,0129	77,10%	0,0834
11,39	100	520	573	8,70%	0,0052	34,80%	0,0242	93,70%	0,1561
5,63	200	620	729	15,00%	0,0092	53,40%	0,0432	99,30%	0,2783
3,7	300	720	890	19,80%	0,0124	64,50%	0,0585	99,90%	0,3772
2,73	400	820	1056	23,50%	0,0151	71,60%	0,0712	100,00%	0,4588
2,15	500	920	1228	26,50%	0,0174	76,50%	0,0818	100,00%	0,5274
1,76	600	1020	1406	29,00%	0,0193	79,90%	0,0909	100,00%	0,5859
1,48	700	1120	1592	31,00%	0,0210	82,50%	0,0987	100,00%	0,6366
1,27	800	1220	1784	32,80%	0,0225	84,50%	0,1056	100,00%	0,6809
1,11	900	1320	1986	34,30%	0,0238	86,10%	0,1117	100,00%	0,7202
0,98	1000	1420	2196	35,60%	0,0249	87,40%	0,1172	100,00%	0,7553
0,87	1100	1520	2416	36,80%	0,0260	88,40%	0,1220	100,00%	0,7868
0,78	1200	1620	2647	37,90%	0,0269	89,30%	0,1265	100,00%	0,8155
0,7	1300	1720	2887	38,80%	0,0278	90,10%	0,1306	100,00%	0,8417
0,63	1400	1820	3138	39,70%	0,0286	90,70%	0,1343	100,00%	0,8659
0,57	1500	1920	3399	40,40%	0,0293	91,20%	0,1378	100,00%	0,8882
0,52	1600	2020	3670	41,20%	0,0300	91,70%	0,1410	100,00%	0,9090
0,47	1700	2120	3951	41,80%	0,0306	92,20%	0,1440	100,00%	0,9283
0,43	1800	2220	4243	42,40%	0,0312	92,50%	0,1468	100,00%	0,9465
0,39	1900	2320	4545	43,00%	0,0318	92,90%	0,1495	100,00%	0,9637
0,35	2000	2420	4856	43,50%	0,0323	93,20%	0,1520	100,00%	0,9798
0,32	2100	2520	5177	44,00%	0,0328	93,50%	0,1544	100,00%	0,9952
0,29	2200	2620	5505	44,50%	0,0333	93,70%	0,1566	100,00%	10097,0000
0,26	2300	2720	5844	45,00%	0,0338	94,00%	0,1588	100,00%	10235,0000
0,24	2400	2820	6191	45,40%	0,0342	94,20%	0,1608	100,00%	10368,0000
0,21	2500	2920	6550	45,80%	0,0346	94,40%	0,1628	100,00%	10496,0000
0,19	2600	3020	6914	46,20%	0,0350	94,60%	0,1647	100,00%	10617,0000

Tabla 26 - Efectividad de las hipótesis planteadas frente a la transmisión de patógenos aerotransportados.

AULA 1		Tasa de ataque (AR) (PROBABILIDAD DE INFECCIÓN)				CASOS DE COVID RESULTANTES
		Alumno sin mascarilla	Docente sin mascarilla	Docente - Quirúrgica sin ajustar	Docente - FFP2 ajustada	
-	Punto de partida	97,04	99,02	95,58	37,01	8,87
Aire acondicionado	Imperceptible	96,57	98,80	94,96	35,77	8,85
	Algo perceptible	96,02	98,55	94,26	34,51	8,83
	Claramente perceptible	95,58	98,33	93,70	33,60	8,81
Filtros	MERV 13_300 m ³	78,71	86,87	74,05	18,38	7,78
	MERV 13_400 m ³	73,40	82,42	69,06	15,95	7,38
	MERV 13_500 m ³	68,58	78,12	64,14	14,10	7,00
	HEPA 13_300 m ³	78,71	86,87	74,60	18,38	7,78
	HEPA 13_400 m ³	73,40	82,42	69,06	15,95	7,38
	HEPA 13_500 m ³	68,58	78,12	41,24	14,10	7,00
Lámpara UV	Eficacia 80%_300 m ³	84,89	91,63	81,25	21,96	8,21
Caudal de aire exterior	3 ACH	85,44	92,03	81,86	22,35	8,24
	6 ACH	69,91	79,32	65,49	14,58	7,10
	15 ACH	43,08	52,27	39,30	7,13	4,68
	20 ACH	35,29	43,52	31,99	5,55	3,90
	25 ACH	29,85	37,20	26,95	4,55	3,33
	30 ACH	25,85	32,46	23,27	3,85	2,91