

**Estudio experimental de
innovación sobre la medición y
control de calidad de aire frente a
la pandemia de COVID-19 en un
Instituto de Educación Secundaria**

INDICE

1	OBJETIVO Y MARCO DEL PROYECTO	3
2	INTRODUCCIÓN	3
3	DESPLIEGUE TÉCNICO DE LA SOLUCIÓN	6
3.1	ESQUEMA	8
3.2	TEMPERATURA	11
3.3	HUMEDAD	12
3.4	CO ₂	13
3.5	MEDICIONES EN EL EXTERIOR	14
3.6	ACCESO A LA PLATAFORMA	15
4	RESULTADOS	16
4.1	EL PAPEL DE LA VENTILACIÓN EN LA CONCENTRACIÓN DE CO ₂	16
4.2	ANÁLISIS DE AULAS ORDINARIAS EN LAS SESIONES DE CLASE	19
4.3	ANÁLISIS DE AULAS ESPECÍFICAS	22
4.3.1	SALÓN DE ACTOS	22
4.3.2	ACTIVIDADES EN POLIDEPORTIVOS	23
4.3.3	ACTIVIDADES EN AULAS DE MÚSICA	24
4.4	CALIDAD DEL AIRE EXTERIOR	25
5	CONCLUSIONES	28
6	REFERENCIAS	29

Este proyecto está financiado por el **Servicio de proyectos estratégicos S3 de la Dirección General de Industria del Gobierno de Navarra** representado por su director D.Unai Garbisu.

En el **IES Navarro Villoslada** el profesor D.Miguel Rios Martin ha coordinado el proyecto También han colaborado y participado:

- D. Alberto Arriazu, director
- D. Eduardo Marcotegui, secretario
- D. Alain Fernández, responsable de mantenimiento

La **empresa SENSONET** ha sido representada por su Gerente y responsable de ingeniería, D. Daniel Vázquez Alvarez.

1 Objetivo y marco del proyecto

El objetivo del proyecto es realizar un estudio en el IES Navarro Villoslada de Pamplona sobre las condiciones de contagio por COVID-19, su control y monitorización mediante la medición de la concentración de CO₂ en los espacios del centro donde hay mayor concentración de personas (aulas generales y específicas, laboratorios, talleres, etc.).

2 Introducción

La pandemia de COVID-19 ha provocado una auténtica revolución en la organización de los centros educativos en todas las etapas, desde la educación infantil hasta la universitaria, tanto en la vertiente organizativa como en la propia práctica docente. Una vez que ha quedado demostrado por las organizaciones científicas el papel que juegan los aerosoles en la transmisión del virus, los espacios donde se acumulan muchas personas se han señalado como los lugares con mayor riesgo de contagio.

Los centros educativos son espacios con elevada concentración de personas por metro cuadrado y el alumnado adolescente es, por su propia naturaleza, más resistente a mantener la distancia social y las medidas de seguridad. Es por ello que, en el ranking de espacios de riesgo, los centros docentes están ubicados en la zona de más alto riesgo, junto a recintos de ocio o el transporte público.

Con la experiencia del cierre de colegios durante la primera etapa de la pandemia se ha observado el grave perjuicio que se generó en un sector tan vulnerable como los niños y adolescentes. A la pérdida pedagógica hay que sumar la pérdida psicológica y emocional y el trastorno que generó en las familias la dificultad de conciliación. Por todo ello el objetivo prioritario a comienzo del curso 2020-21 era mantener la formación presencial, asegurando la salud de todos los miembros de comunidad educativa.

Una vez conocido el papel fundamental que juega la ventilación, y en concreto la ventilación cruzada, en la reducción del riesgo de contagio [1], el IES Navarro Villoslada estableció unas pautas de ventilación basándose en las recomendaciones de las autoridades de salud pública.

Normas de ventilación establecidas

VENTILACIÓN

Objetivo: provocar flujos cruzados de aire exterior entre ventanas y puertas de forma que “barran” el aire interior y se renueve con aire exterior de modo natural. Se deben evitar corrientes de aire interior que no estén asociadas a la ventilación.

Pautas de ventilación para intentar que la concentración de CO₂ no supere las 900 ppm teniendo en cuenta que hay que intentar que la temperatura no descienda de 19 °C para poder estar en clase en unas mínimas condiciones de confort en el actual contexto de pandemia covid-19. La ventilación natural será de la siguiente forma:

1. El profesorado es el encargado de abrir y cerrar ventanas.
2. Durante las clases las ventanas de la zona del alumnado permanecen cerradas para evitar la incomodidad térmica.
3. Durante las clases la ventana cercana a la mesa del profesorado permanece abierta en posición oscilobatiente y la puerta queda abierta poco o mucho según criterio del profesor o profesora.
4. En el cambio de clase el profesorado abre la ventana de su mesa totalmente y deja la puerta abierta.
5. Al finalizar la tercera sesión lectiva y salir al recreo el profesorado abre la ventana de su mesa totalmente y deja la puerta abierta.
6. Al terminar la jornada el profesorado abre la ventana de su mesa totalmente y deja la puerta abierta.

El criterio sanitario debe prevalecer sobre el bienestar térmico y la eficiencia energética (uso de la calefacción) siendo recomendable que el alumnado vaya más abrigado de lo habitual para poder ventilar las aulas cuando las temperaturas exteriores sean bajas.

En esta situación el centro se planteó la necesidad de disponer de datos en tiempo real para poder evaluar tanto las pautas de ventilación establecidas como el grado de cumplimiento de las mismas. Además, los datos en tiempo real permitirían establecer mejoras en los procedimientos definidos e incluso poder analizar situaciones del pasado si dichos datos eran guardados en bases de datos. Aunque el principal indicador de calidad del aire en interiores es la concentración de dióxido de carbono era importante llevar también un seguimiento de otros parámetros que inciden en la confortabilidad, como son la temperatura y la humedad relativa.

Durante el curso 2018-19 la escuela de arquitectura de la universidad de Navarra había iniciado en este centro un estudio para el diagnóstico de las condiciones ambientales interiores de edificios escolares para la eficiencia energética [2]. Con el apoyo de los componentes tecnológicos adecuados se planteó como objetivo conocer el riesgo de contagio y las condiciones de

confortabilidad óptimas a tiempo real, desarrollando una plataforma amigable que permitiera dar respuesta casi inmediata ante situaciones de riesgo. Adicionalmente se disponía de un sistema para valorar la conveniencia de abordar determinadas actividades que había quedado en suspenso por la situación de pandemia. Se podría conocer si la utilización de los gimnasios era adecuada o no, si las condiciones de ventilación de los laboratorios permitirían la realización de prácticas, si las aulas de música se podrían usar y sobre todo se dispondría de información contrastada para evaluar estas situaciones y poder realizar una correcta toma de decisiones.

Como segundo valor añadido, eligiendo la tecnología adecuada, sería posible disponer de un histórico de niveles de riesgo en cada espacio monitorizado durante todo el curso escolar. Este análisis podría llegar a ser de gran utilidad en caso de aparecer brotes de contagio para correlacionarlos con espacios y tiempos previos al brote detectado.

Por otra parte, la solución tecnológica elegida, basada en la comunicación por radio, facilitaba mucho el despliegue y la cobertura de un elevado número de espacios sin necesidad de grandes inversiones en cableado.

En resumen, el poder disponer de la información instantánea de las concentraciones de dióxido de carbono, temperatura y humedad en las aulas supone una importante mejora en el control de pandemia en el centro y ayudará de forma sustancial a mantener la docencia presencial.

3 Despliegue técnico de la solución

La solución técnica propuesta para el proyecto consta de las siguientes partes:

- Sensores inalámbricos de temperatura, humedad, concentración de CO₂, óxidos de nitrógeno y partículas en suspensión.



- Repetidor IP o miniPC que centraliza las mediciones de los sensores y las introduce en la red IP del centro.

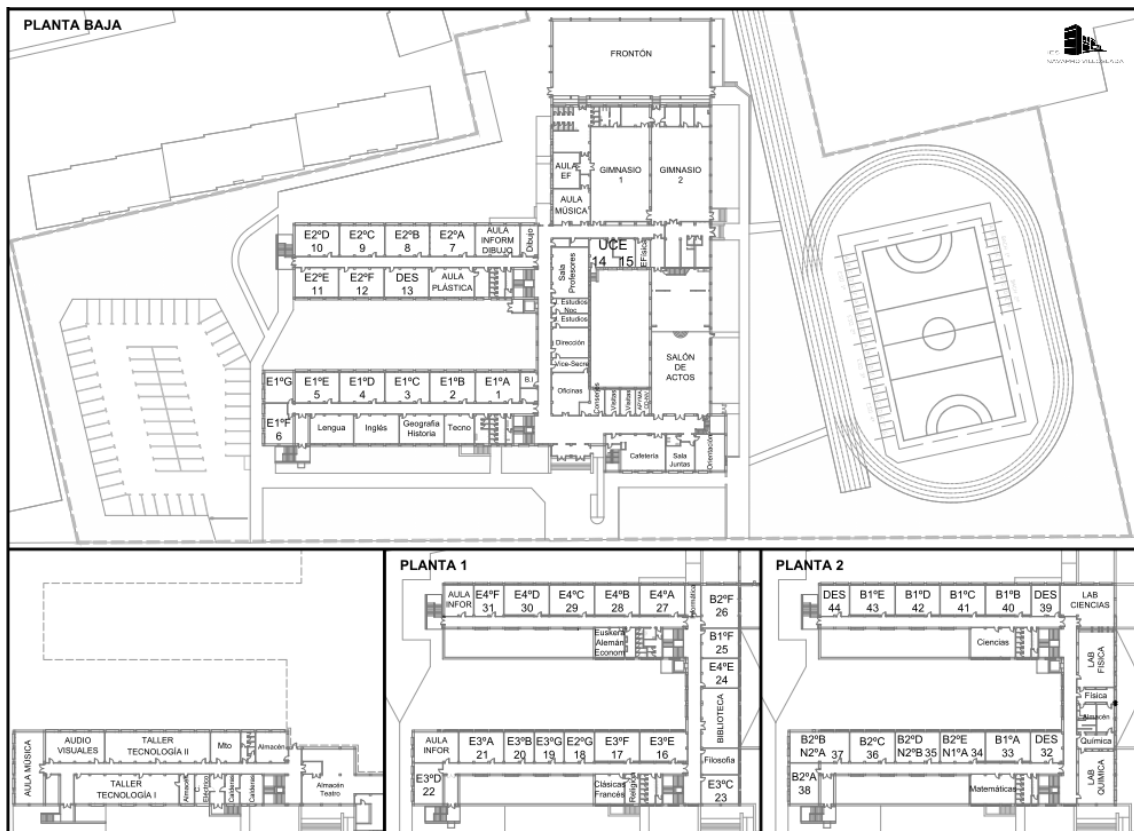


- Servidor de monitorización que almacena, explota y muestra gráficamente la situación medioambiental de los diferentes espacios del centro. Toda la información se mostrará en una página web accesible tanto desde dentro como desde fuera del mismo.



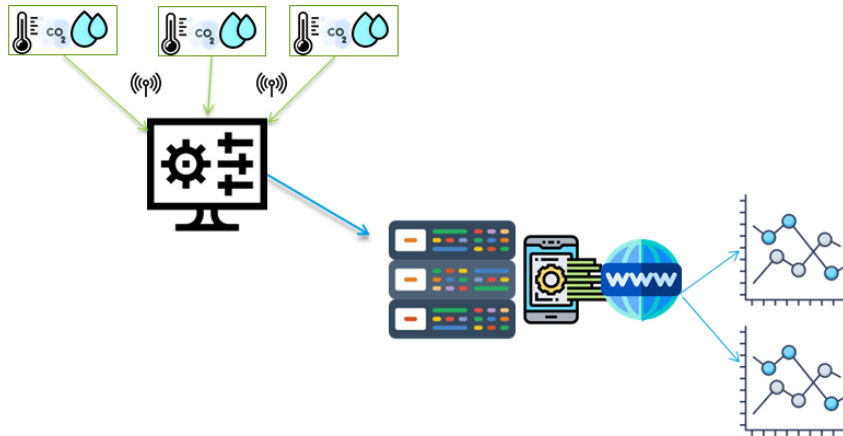
Los espacios que se monitorizarán son todas las aulas, tanto las generales como las específicas, laboratorios, gimnasios, etc. Es decir todas aquellas ubicaciones en las que se produzca concentración de personas. En todos los espacios interiores se medirán los parámetros de temperatura, humedad relativa y concentración de CO₂. Adicionalmente en un espacio por planta se medirá la concentración de partículas en suspensión de tamaños inferiores a 1, 2,5, 4 y 10 micras (PM1, PM2.5, PM4 y PM10 respectivamente).

En el exterior del edificio se medirán temperatura, humedad relativa, concentración de ozono, concentración de óxidos del nitrógeno (NO_x), y partículas en suspensión (PM_x). Los planos del edificio son los que se muestra a continuación



3.1 Esquema

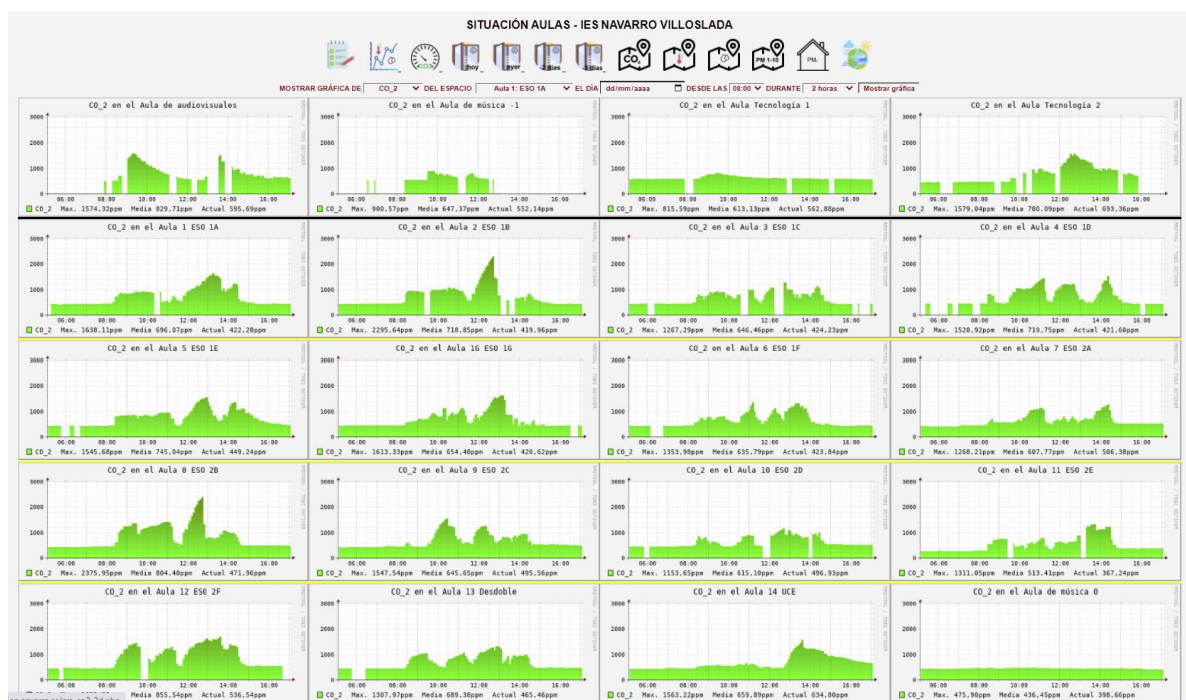
El esquema técnico de la solución propuesta es el siguiente

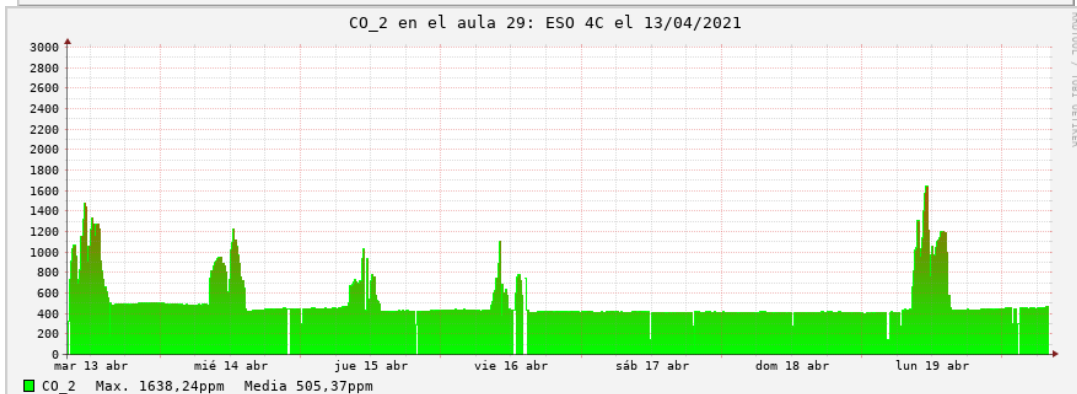
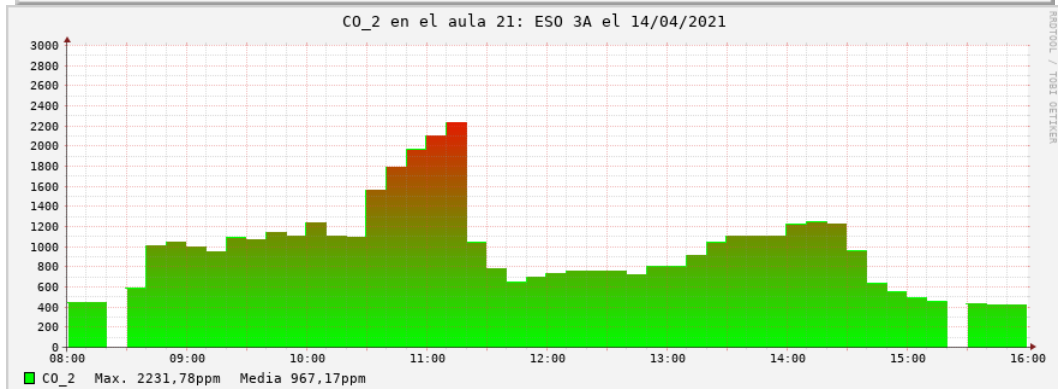
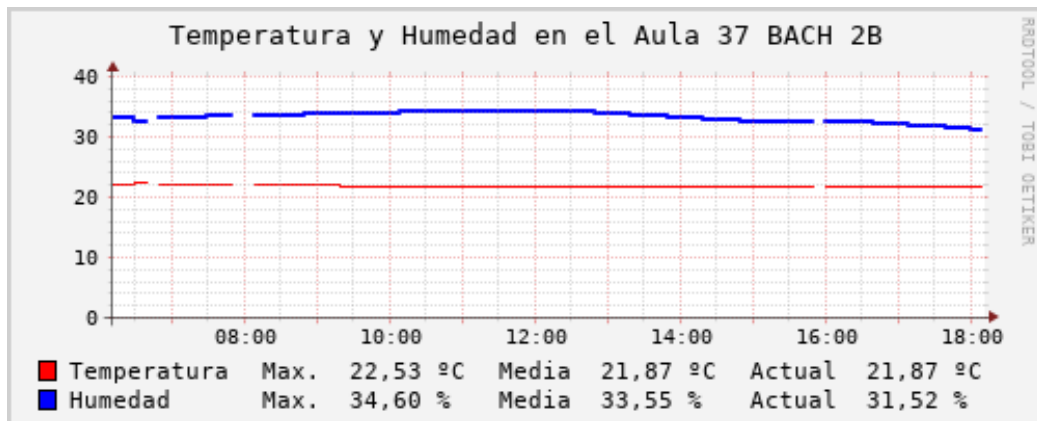
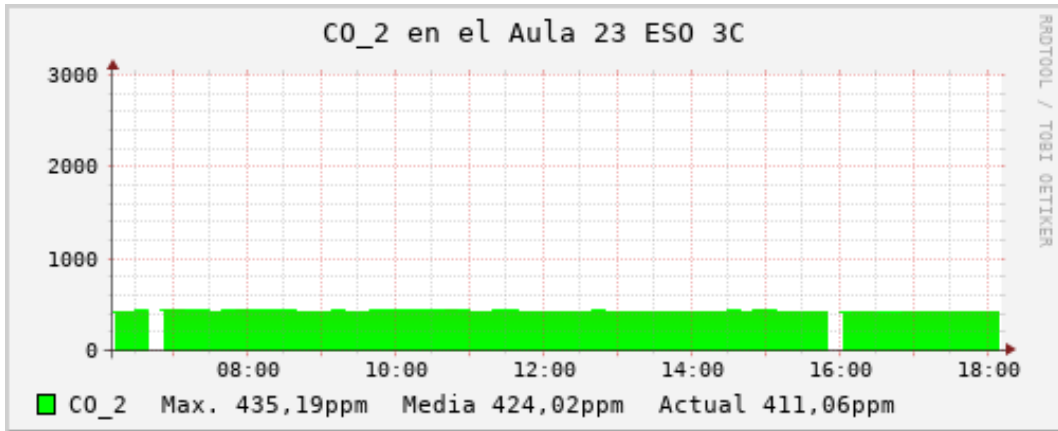


El sistema de monitorización recoge los datos enviados por los sensores cada 5 minutos permite obtener información a tiempo real e histórica de los parámetros que se miden.

Características técnicas de la explotación de datos:

- Proporciona las gráficas de temperatura, humedad relativa y concentración de CO₂ para diferentes periodos (horas, semanas o meses).





3.2 Temperatura



Sin datos <18°C Entre 18 y 19°C Entre 19 y 22°C Entre 22 y 23°C Entre 23 y 25°C >25°C

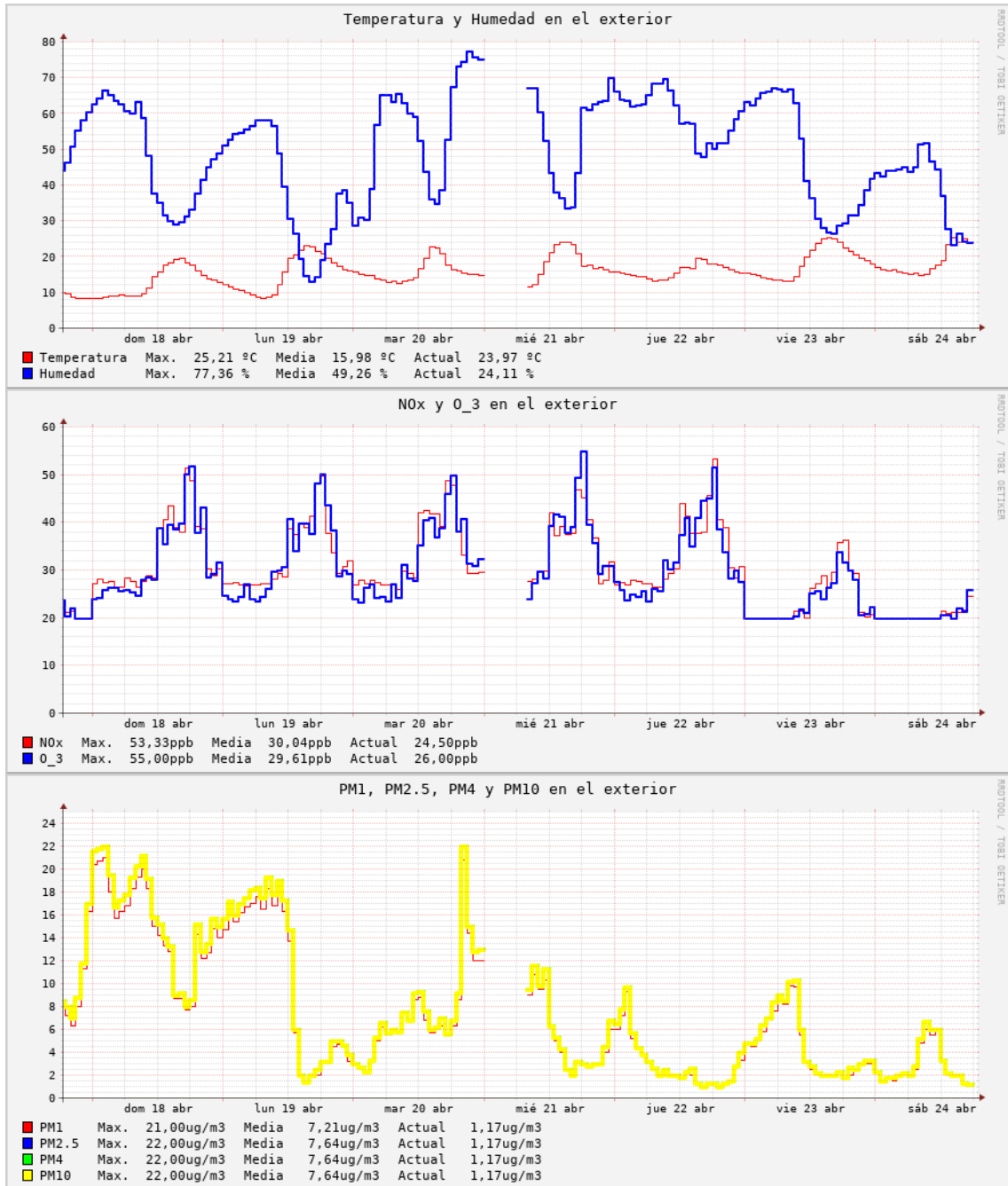
3.3 Humedad



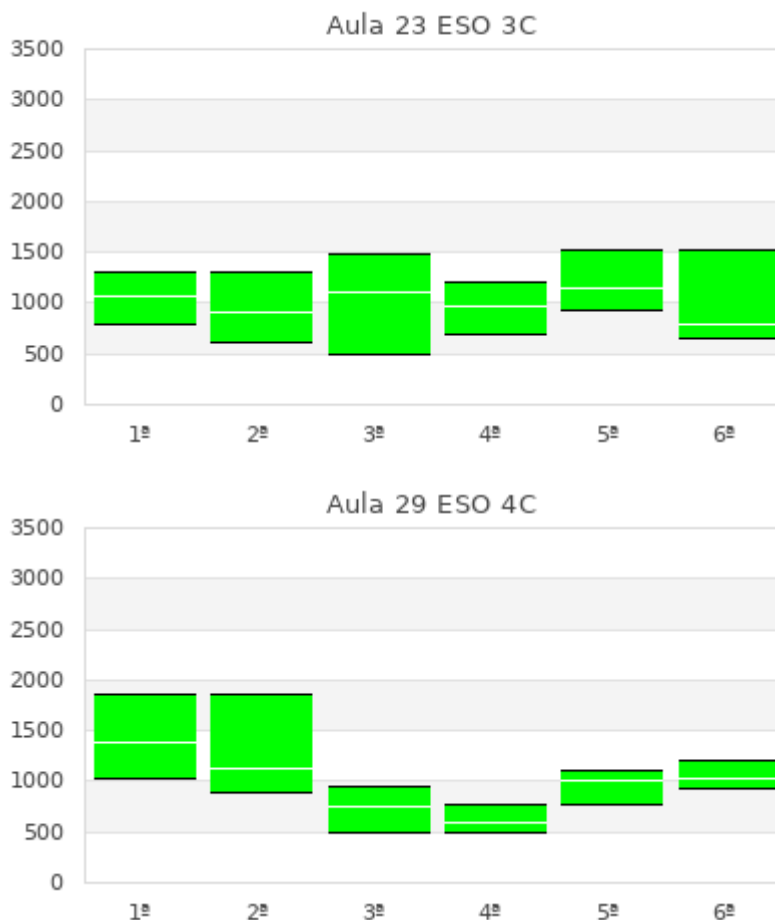
3.4 CO2



3.5 Mediciones en el exterior



Las gráficas de distribución de CO₂ muestran las concentraciones durante las sesiones de clase



Este tipo de gráficas permite conocer cómo ha evolucionado la concentración de CO₂ en cada sesión de clase y su evolución en las diferentes sesiones de la mañana. Para cada sesión muestra las concentraciones máxima y mínima alcanzada y el valor medio en esa sesión.

A todo lo anterior hay que añadir que se han realizado las configuraciones necesarias en la red educativa para que la plataforma sea visible a través de Internet y permita (bajo autenticación) conocer la situación a tiempo real de los espacios del centro desde cualquier lugar.

3.6 Acceso a la plataforma

<http://co2navi.educacion.navarra.es>

Usuario: iesnavar

Contraseña: (solicitar contraseña a mriosmar@educacion.navarra.es)

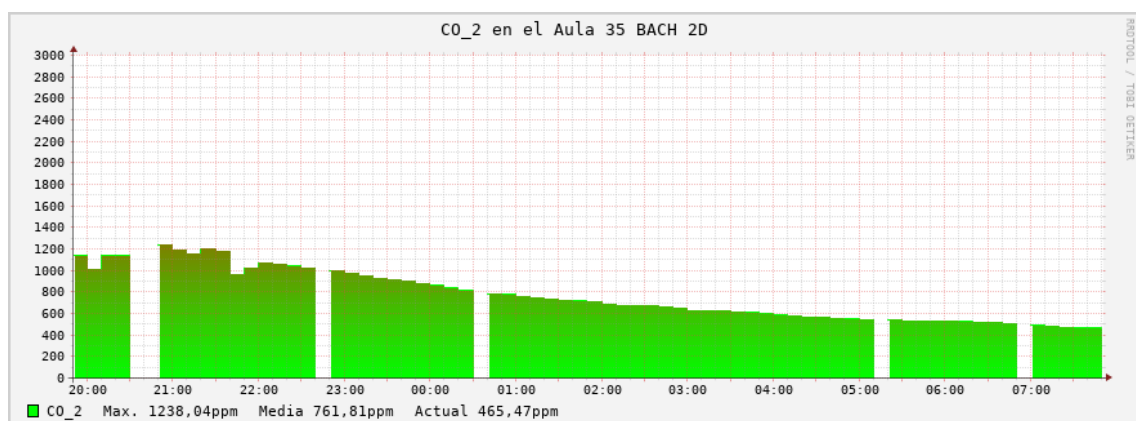
4 Resultados

El sistema de medición y monitorización se ha ido instalando de forma progresiva de tal manera que desde la instalación del primer sensor ya estaba disponible la información para ese espacio concreto.

4.1 El papel de la ventilación en la concentración de CO2

La guía para la ventilación de las aulas [3], elaborada por el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), aporta información relevante sobre el papel que juega la ventilación para mantener ambientes de baja concentración de CO2. Con los datos del informe relativos a la tasa de generación de dióxido de carbono en adultos y adolescentes se puede estimar que un aula tipo de dimensiones 6x7x3 metros sin ninguna ventilación y con 25 adolescentes y profesor puede alcanzar una concentración superior a las 3.000 ppm en una hora. Obviamente se trata de una situación no real porque, aunque mínima, siempre existe cierto nivel de ventilación. Con el sistema montado se ha podido verificar con claridad que la mala ventilación de un espacio no solo genera elevados niveles de CO2 sino que el ritmo de descenso de la concentración es extremadamente lento.

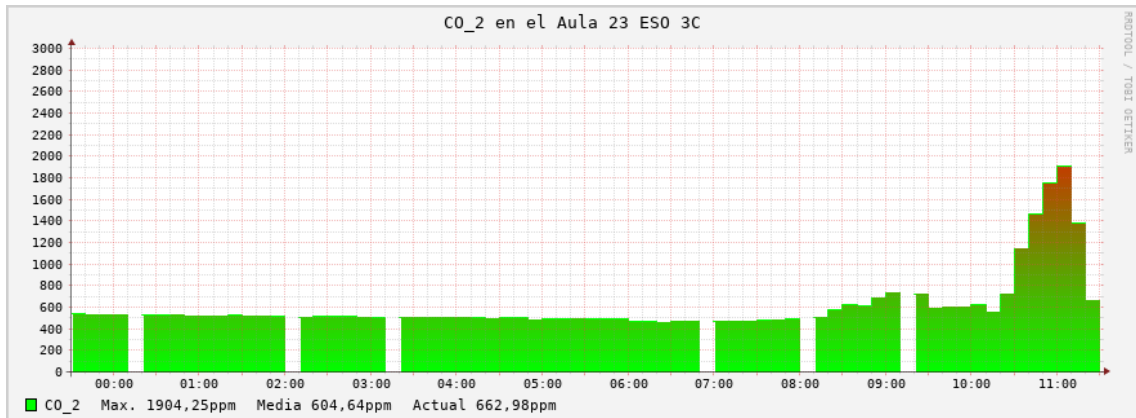
La siguiente gráfica muestra un aula donde se imparten clases de bachillerato en horario nocturno (finaliza sobre las 21.30) y ha quedado toda la noche con puertas y ventanas cerradas.



La concentración máxima alcanzada fue de 1.238 ppm a las 21 horas y el aula no recupera los valores normales hasta las 8 horas, once horas después. Como puede verse tres horas después de cerrar el aula la concentración sólo se ha reducido en un 20%.

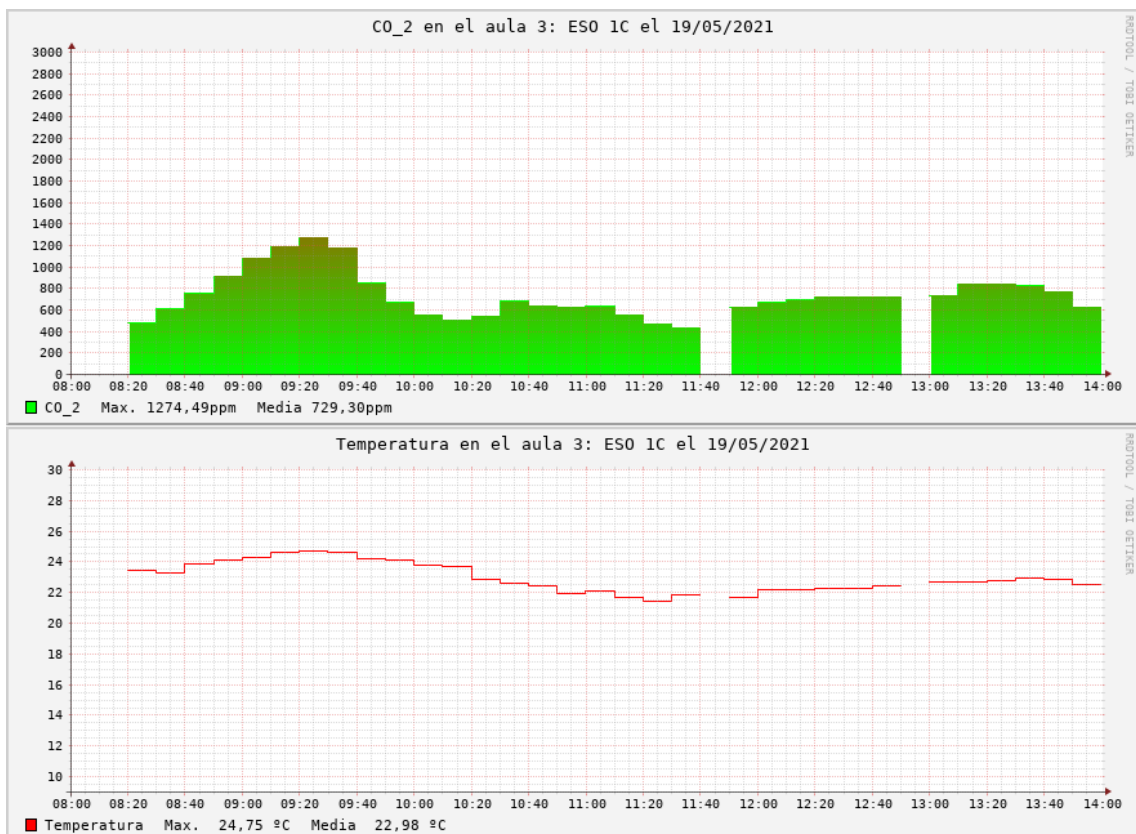
Como contrapunto se muestra la gráfica de un aula donde en la sesión previa al recreo se ha alcanzado una elevada concentración de CO2 de 1.900

ppm a las 11 horas. El recreo se inicia a las 11:15 y siguiendo el protocolo marcado se dejan abiertas las puertas y ventanas del aula.



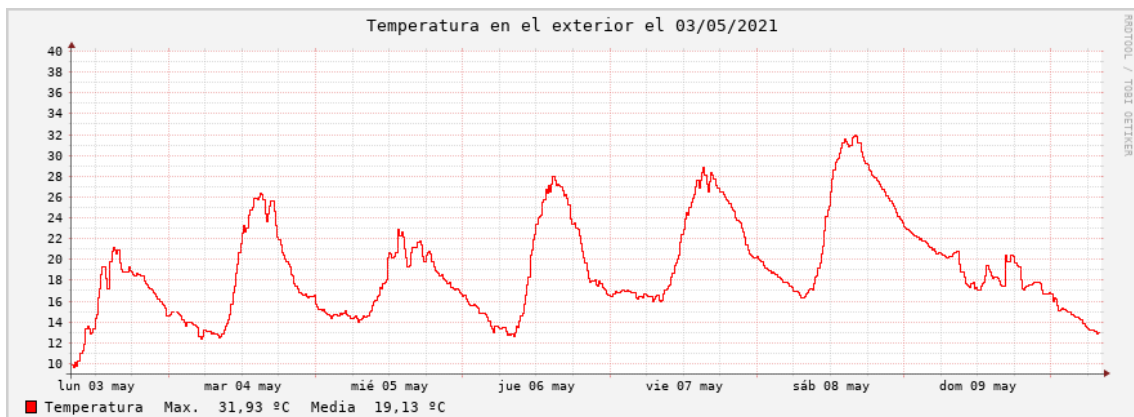
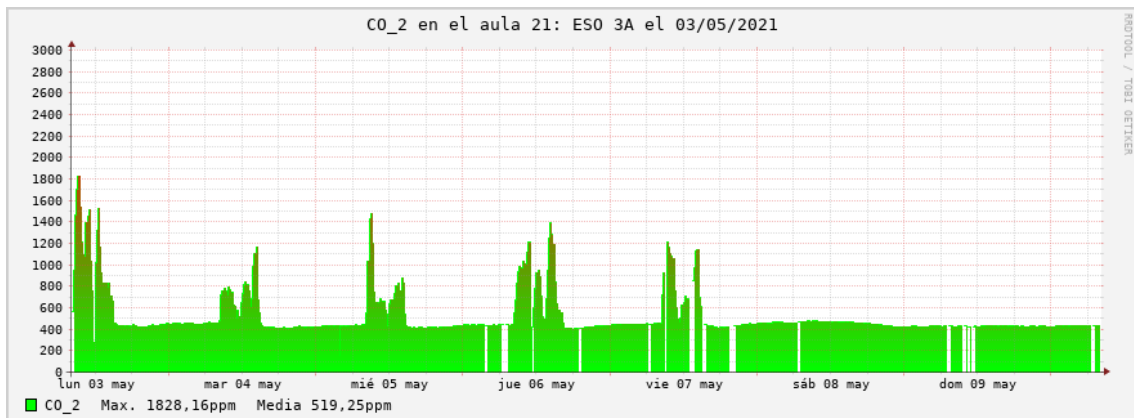
En 30 minutos se reduce la concentración hasta los 650 ppm, es decir se reduce en un 70%.

Pero las aulas son espacios donde hay que disponer de un mínimo de confortabilidad y eso implica tener en consideración otros factores como la temperatura y/o humedad. La siguiente gráfica muestra la evolución durante una mañana de la concentración de CO₂ y la temperatura en un aula que ha realizado varios procesos de ventilación.



Como puede observarse las pautas de ventilación conllevan un descenso de la temperatura y por lo tanto será necesario mantener un equilibrio que permita unas condiciones aceptables de confortabilidad en el aula.

También resulta interesante comprobar la correlación existente entre la concentración de CO2 en un aula y la temperatura exterior. Cuando la temperatura exterior es más baja la tendencia natural es reducir la ventilación para evitar “pasar frío” mientras que se es más generoso en la ventilación cuando la temperatura exterior sube. En las siguientes gráficas se muestran la concentración de CO2 en un aula y la temperatura exterior durante la misma semana

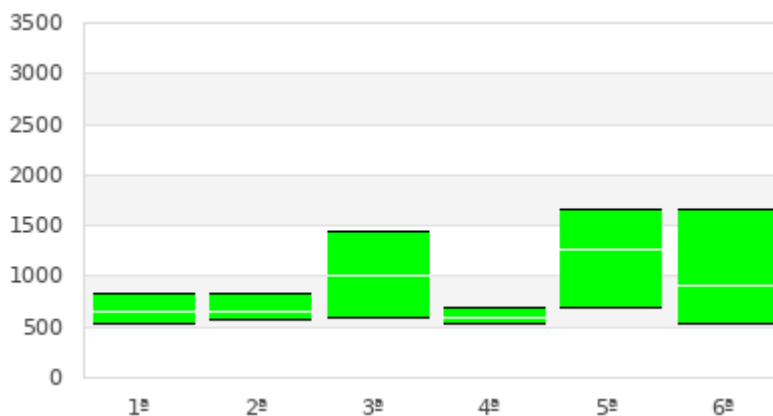


El lunes, día más frío, parece que la ventilación fue escasa y por ello se alcanzan valores elevados de CO2. El martes sube la temperatura y se ventila más, el miércoles vuelve a bajar la temperatura y se ventila menos. El jueves y viernes se va incrementando la ventilación conforme van subiendo las temperaturas.

4.2 Análisis de aulas ordinarias en las sesiones de clase

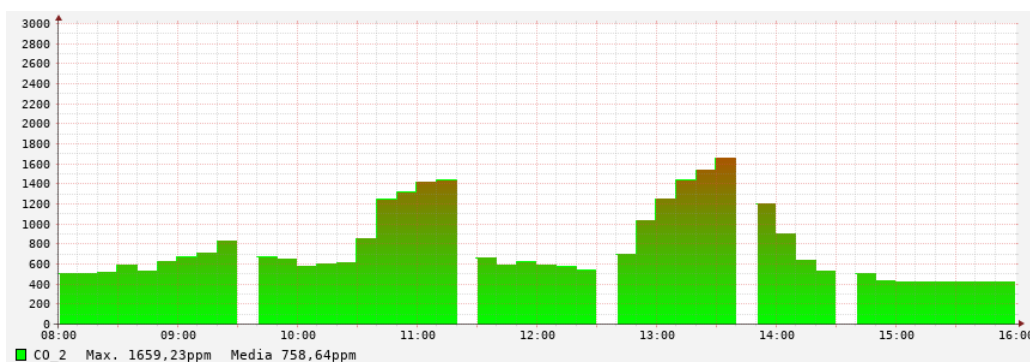
El instituto imparte la docencia, principalmente, en horario de mañana desde las 8:30 hasta las 14:30, en periodos de 55 minutos y con un descanso de 30 minutos entre las 11:15 y las 11:45. Aunque por las tardes hay clases de nocturno o de repaso, la acumulación de personas es muy inferior al horario matinal en el que en el centro se concentran más de 1.000 usuarios en unos 50 espacios. Aunque se ha procurado tener una baja concentración de personas en las diferentes aulas y mantener la distancia social, las condiciones en algunos casos puntuales no han sido las óptimas. Sin embargo ha sido la mejor opción para mantener las clases presenciales, las cuales tienen muchos más beneficios para el alumnado que las clases a distancia.

Para tener un conocimiento del nivel de concentración de CO₂ (muy ligado a las condiciones de contagio) en cada periodo lectivo se generan las gráficas que muestra para cada sesión de clase los valores máximo, mínimo y valor promedio de la concentración de dióxido de carbono.

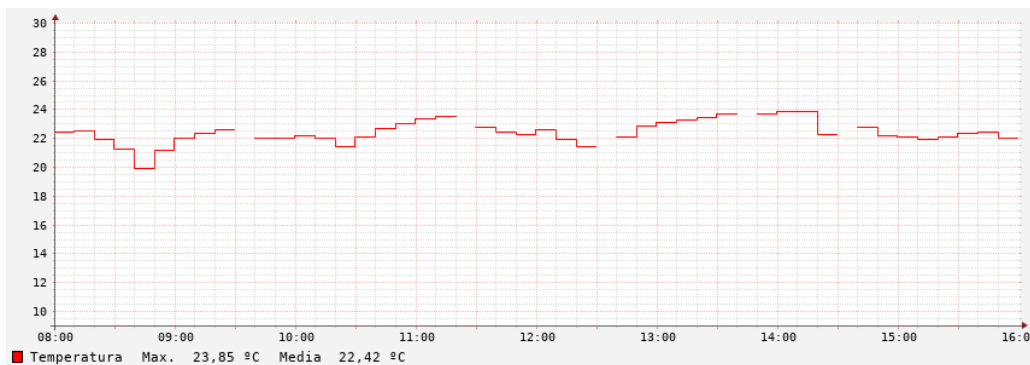


En la imagen se observa que las durante las dos primeras sesiones de clase el valor máximo ha estado en torno a 800 ppm, el valor mínimo ligeramente por encima de 500 ppm y el valor promedio durante ambas sesiones ha rondado 600 ppm. Sin embargo en la tercera clase el nivel máximo ha alcanzado casi 1.500 ppm y el promedio ha llegado hasta 1.000 ppm. En la cuarta hora se observa un notable descenso, tanto del nivel máximo como del promedio (con valores en torno a 500 ppm). El periodo del recreo entre la 3ª y la 4ª hora ha servido para llevar al aula a los niveles adecuados, lo cual pone de manifiesto que durante el recreo se han seguido las pautas de ventilación cruzada (con puertas y ventanas abiertas). Además durante la 4ª hora apenas presenta variación en la concentración, hecho plenamente compatible con que el aula ha estado vacía porque el alumnado ha acudido a otras aulas específicas (aulas de música en este caso). En la penúltima sesión el alumnado ha vuelto a la clase y se han vuelto a alcanzar valores máximos altos

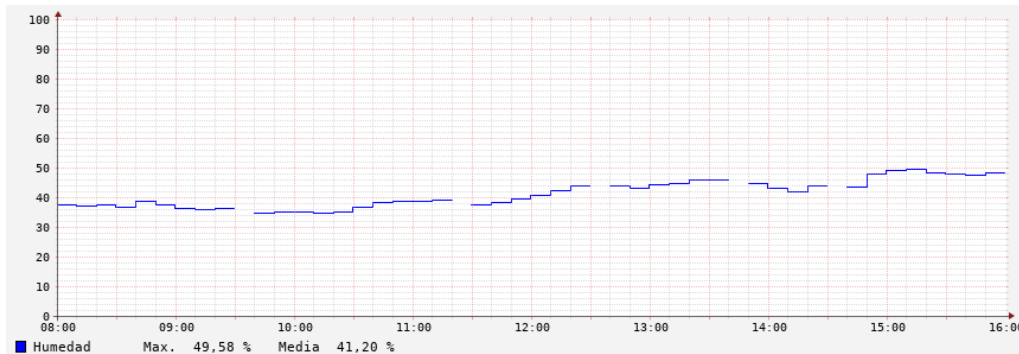
(~1.700 ppm) y también el promedio por encima de 1.200 ppm. Sin duda en esta sesión no ha habido una ventilación cruzada adecuada ni probablemente hayan tenido las ventanas abiertas. En la última clase el valor máximo es alto (heredado de la clase anterior) pero el promedio se reduce por debajo de 1.000 ppm y el valor mínimo cae a 500 ppm. Se intuye que en esta sesión se han vuelto a abrir puertas y/o ventanas y eso ha provocado la vuelta a valores aceptables. Muy probablemente en el inicio de esta sesión se ha detectado un ambiente cargado en el aula y se ha decidido abrir puertas y/o ventanas. La gráfica de la evolución temporal confirma lo comentado.



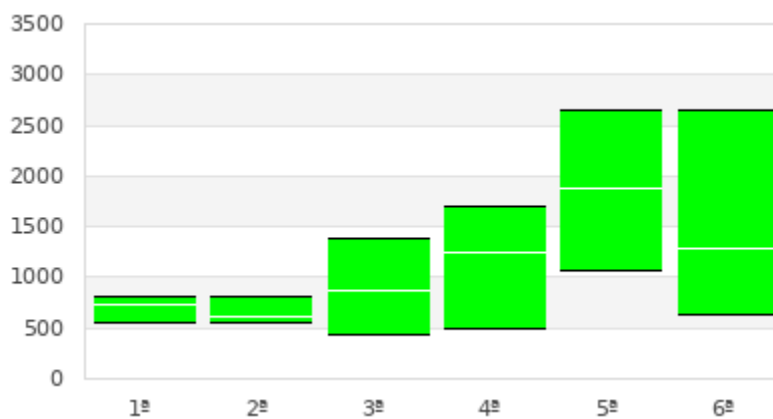
Dado que la confortabilidad en el aula está también muy relacionada con la temperatura resulta interesante ver su evolución temporal es ese periodo de tiempo.



Se observa que los valores se han mantenido entre 20 °C, a primera hora, y 24°C, con un promedio de 22,5°C, condiciones aceptables para un entorno educativo. Se deduce que ha sido posible compatibilizar la confortabilidad con la ventilación del aula. También los valores de humedad se han mantenido en valores adecuados (40-50%).

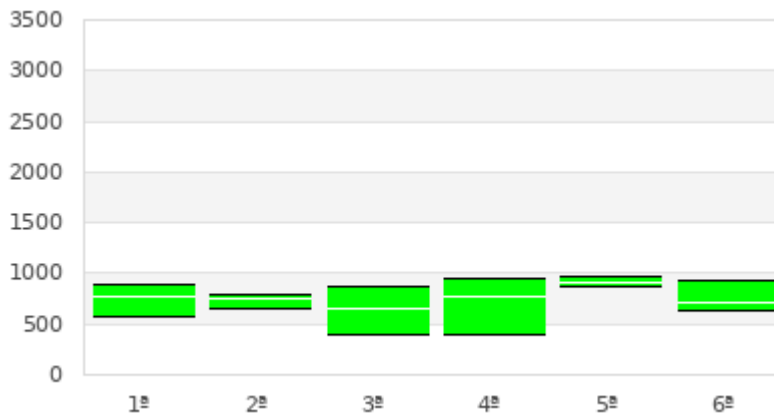


Las gráficas por sesiones nos dan muchas pistas respecto a la ventilación que se ha realizado en el aula durante cada una de las sesiones de impartición de docencia. En la que sigue a continuación



se observa que durante las dos primeras sesiones se han mantenido bajas las concentraciones de dióxido de carbono mientras que a partir de la tercera sesión la situación ha empeorado de forma considerable. Es muy probable que durante el recreo (entre 3ª y 4ª hora) se haya producido ventilación cruzada (los valores mínimos lo avalan) pero resulta claro que a partir de la 4ª hora no ha habido ventilación y eso ha provocado que se alcance un valor máximo de 2.700 ppm con un promedio que ronda 1.700 ppm, lo cual supone un elevado riesgo de contagio en caso de que alguna de las personas pudiera estar contagiada. En la última sesión parece que la ventilación ha vuelto a activarse y el valor medio se ha reducido por debajo de 1.500 ppm.

Frente a situaciones como la anterior encontramos otras en las que las concentraciones máxima y promedio se han mantenido en niveles muy aceptables a lo largo de todas las sesiones matinales, como se observa en la siguiente imagen.

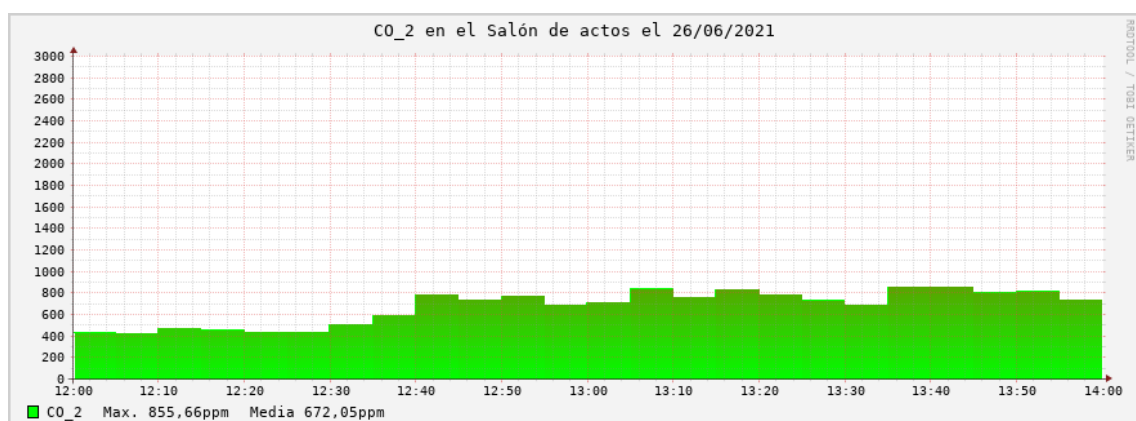


En este caso las pautas de ventilación han evitado elevadas concentraciones de dióxido de carbono.

4.3 Análisis de aulas específicas

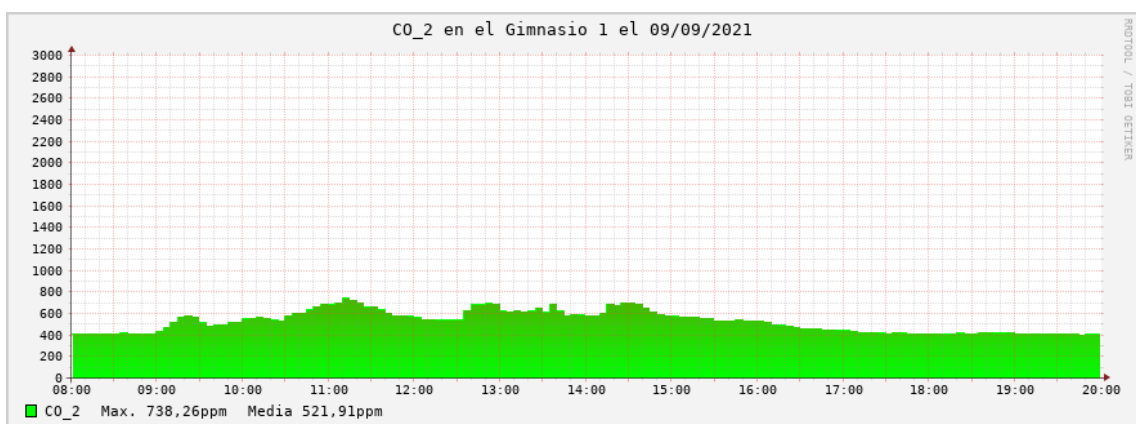
4.3.1 Salón de actos

El salón de actos es uno de los espacios que más restricciones ha tenido durante todo el curso, de hecho, el afamado teatro del Navarro Villoslada no ha podido desarrollarse durante el curso 2020-21. A pesar de su gran tamaño se ha limitado mucho su uso por ser un lugar donde pueden concentrarse más de 300 personas con el aforo completo. A finales de junio se ha realizado el acto de graduación de 2º de bachillerato, limitado sólo al alumnado (sin sus familias) y con un aforo de 1/3 (en torno a las 125 personas). Manteniendo las puertas traseras y delanteras abiertas durante el acto (de 12.00 a 14:00 horas) para garantizar la ventilación cruzada se ha conseguido controlar los niveles de dióxido de carbono en valores aceptables. El sistema nos ha mostrado la evolución de la concentración, que no ha llegado en ningún momento a las 900 ppm.

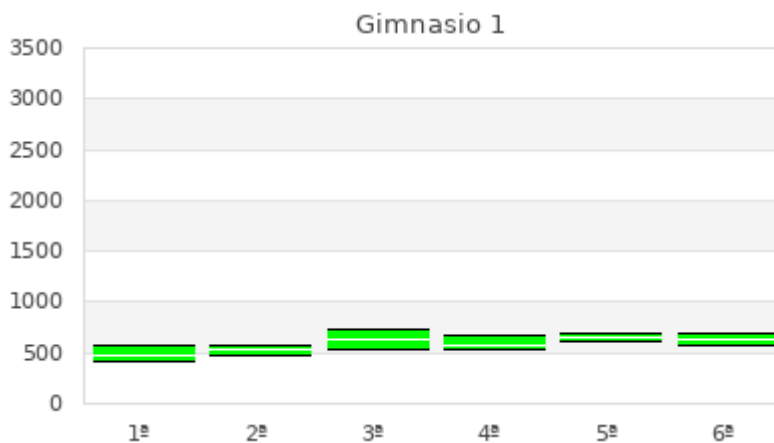


4.3.2 Actividades en polideportivos

La actividad que se desarrolla en estos espacios puede generar elevadas concentraciones de CO₂, aunque la amplitud y ventilación de los mismos es un factor mitigador importante. Será necesario mantener estas condiciones de ventilación para evitar condiciones de riesgo. Sorprende que en un espacio tan grande (superior a las dimensiones de una cancha de baloncesto y con altura considerable) la presencia de una treintena de personas presente concentraciones bien apreciables de dióxido de carbono, como puede observarse en la siguiente gráfica

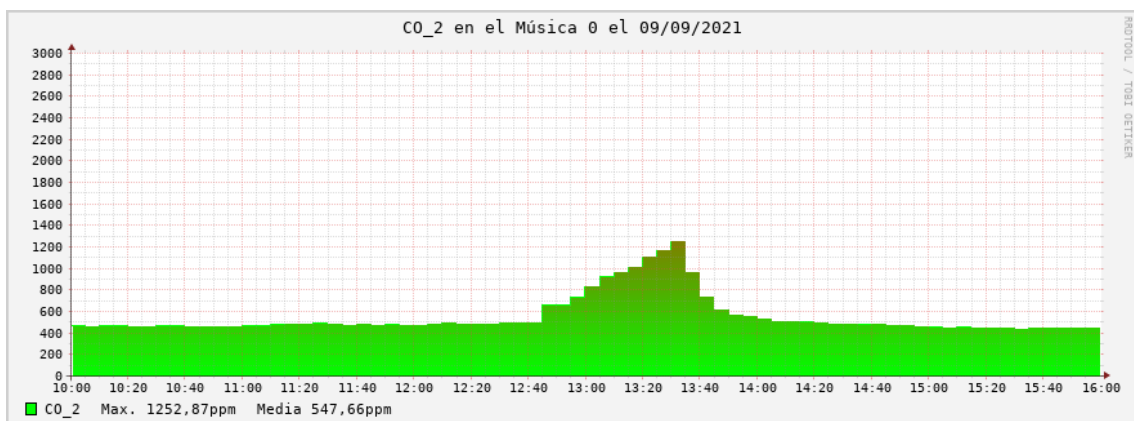


Visto por sesiones de clase podemos decir que las condiciones se han mantenido controladas durante el periodo escolar, aunque será importante vigilar estas aulas durante el curso

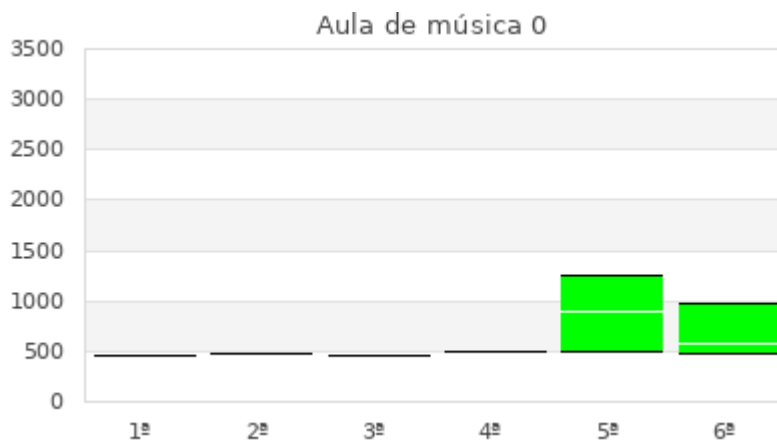


4.3.3 Actividades en aulas de música

Las aulas de música del centro son espacios especialmente sensibles a las elevadas concentraciones de dióxido de carbono por sus características: la propia actividad que se desarrolla y además son aulas con una ventilación no muy adecuada. Estas circunstancias obligan a prestar especial atención a las condiciones ambientales de las mismas. Las siguientes gráficas muestran la evolución del CO₂ en una de las aulas de música durante una mañana en la que sólo hubo alumnado en la 5ª hora



Por sesiones:

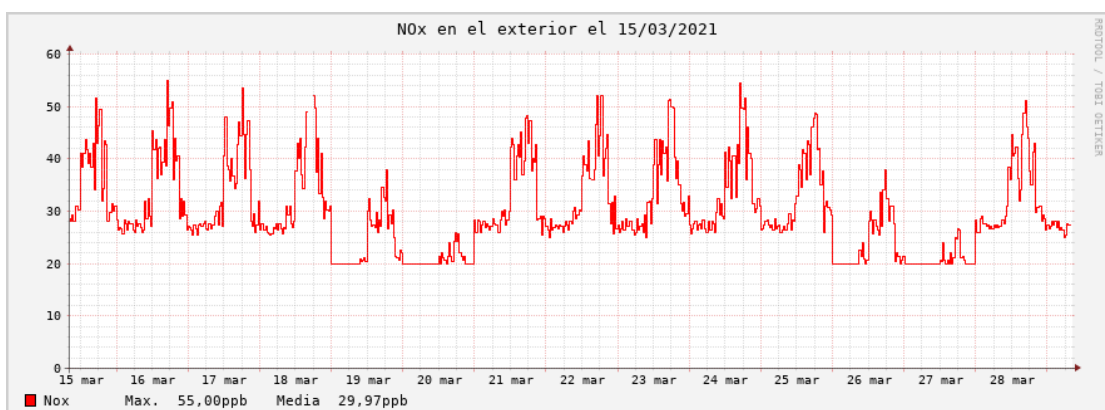
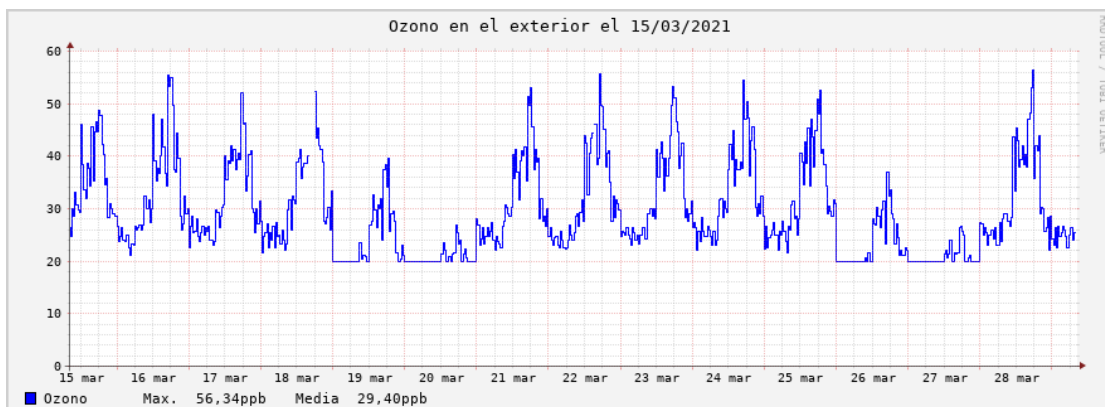


Se observa que las condiciones del aula elevan de forma considerable, en una única sesión, la concentración de dióxido de carbono y que la mala ventilación dificulta la vuelta a unas condiciones aceptables.

4.4 Calidad del aire exterior

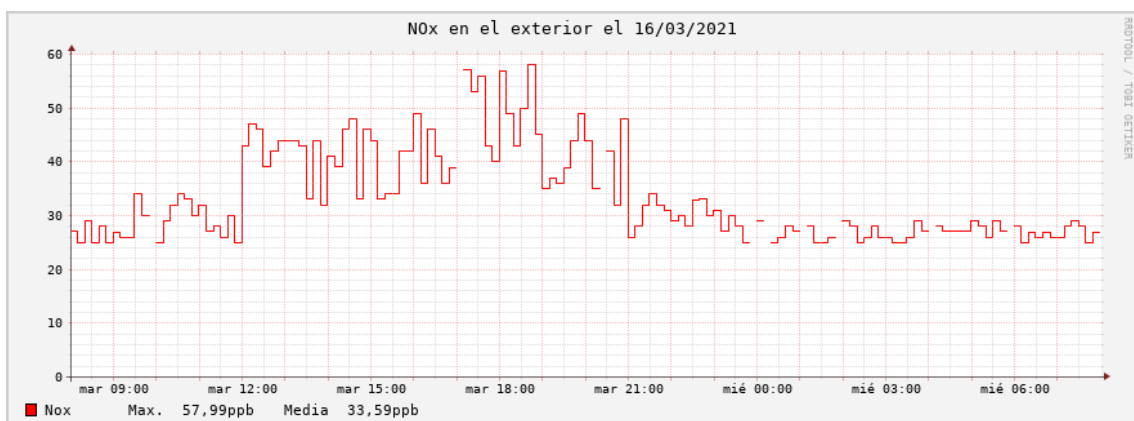
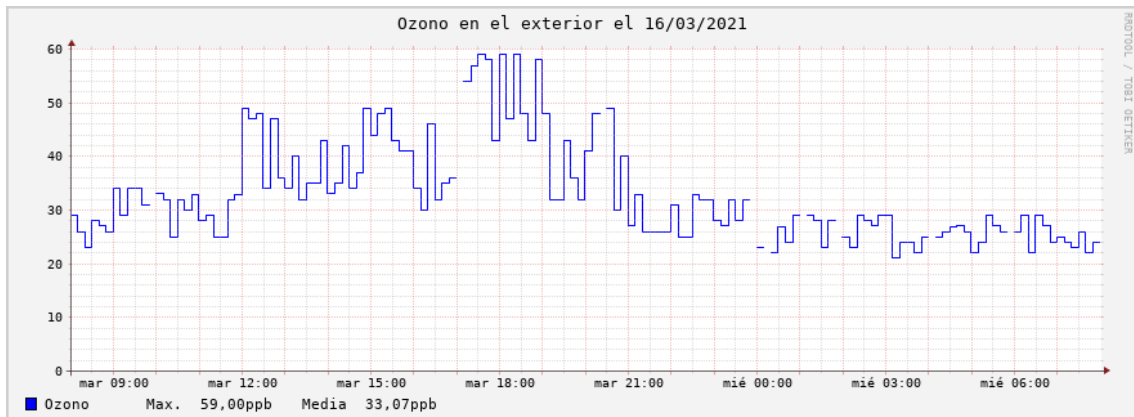
Los sensores exteriores ubicados en el patio del centro educativo han permitido tener información relativa a la calidad del aire exterior. Existen diversos estudios ([4]) que apuntan que la contaminación atmosférica puede ser un factor de riesgo en la pandemia de COVID-19, es por ello que consideramos adecuado disponer de información relativa a la contaminación en el entorno del centro escolar. En concreto se han medido las concentraciones de ozono (O₃), óxidos de nitrógeno (NO_x) y partículas en suspensión. De estas últimas se han considerado las de tamaños inferiores a 1 micrómetro (PM₁), a 2,5 micrómetros (PM_{2.5}), a 4 micrómetros (PM₄) y a 10 micrómetros (PM₁₀).

Los resultados obtenidos en relación a la concentración de ozono y óxidos del nitrógeno han resultado seguir un patrón muy predecible. En las siguientes gráficas (correspondientes a la segunda quincena del mes de marzo) puede observarse dicho patrón



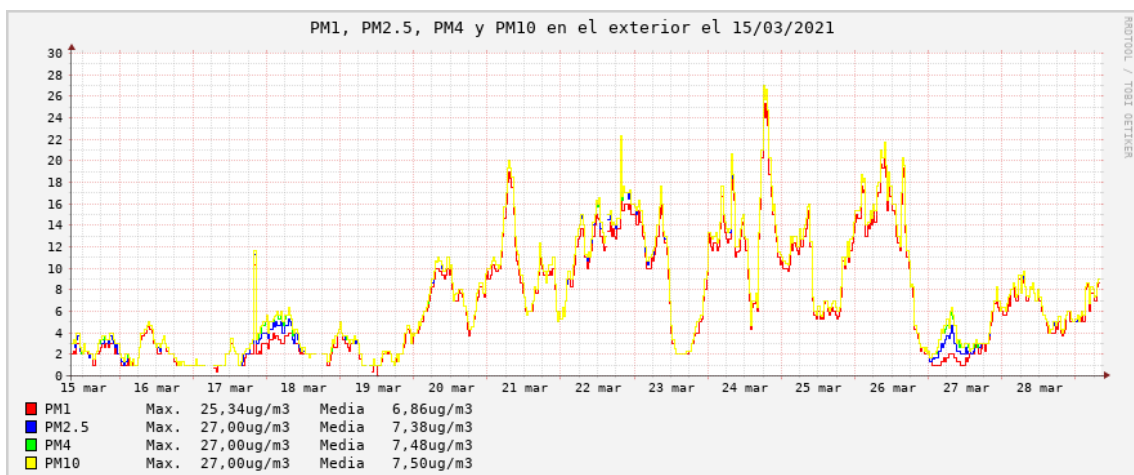
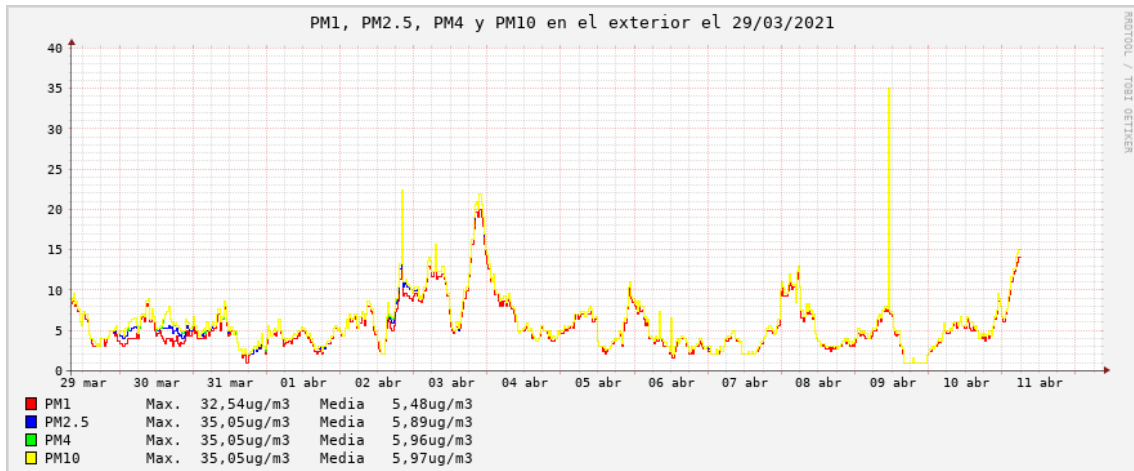
Se observa un patrón diario común durante los días de domingo a jueves, un descenso el viernes y un nivel muy bajo el sábado, lo cual muestra una importante correlación con la intensidad de tráfico en la zona.

Aumentando la resolución a un periodo de un día se comprueba que los picos de concentración, tanto de O₃ como de NO_x, se producen en torno a las 18 horas



Teniendo en cuenta que la actividad educativa en el centro es mayoritariamente de mañana (de 8.30 a 14.30) se puede concluir que sólo en la parte final del periodo escolar (a partir de las 12 horas) es significativo el deterioro ambiental del entorno del centro.

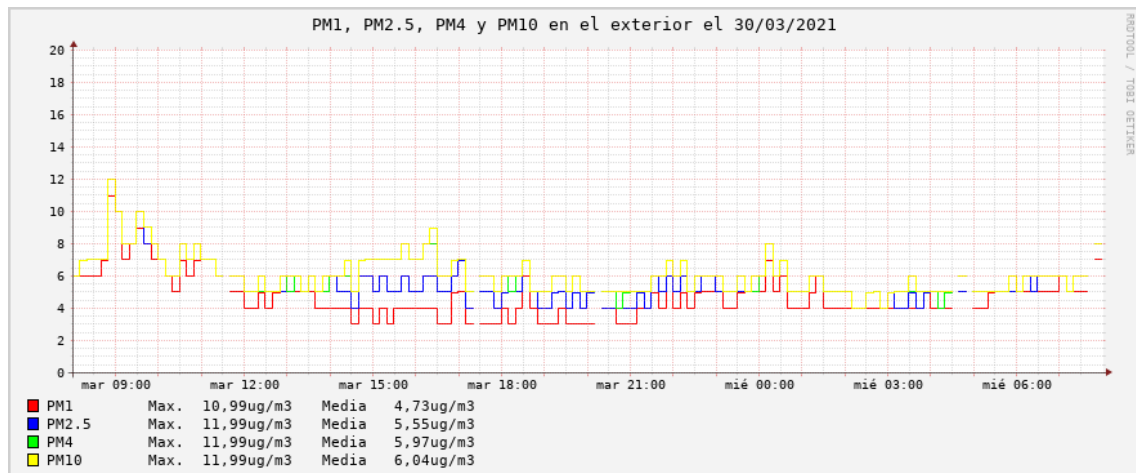
Para la concentración de partículas (PM_x) no se ha observado un patrón. Las gráficas muestran dos periodos quincenales diferentes



En el segundo se observa un fuerte incremento de la concentración partículas y corresponde a un periodo en el que había anunciado calima con polvo en suspensión procedente de África.

Cabe destacar que el hecho de que las gráficas de los diferentes tipos de partículas sean casi idénticas pone de manifiesto que la mayor parte de las partículas en suspensión son de tamaño inferior a 1 micrómetro (los sensores detectan partículas de tamaño inferior a 1, 2.5, 4 y 10 micrómetros).

Tampoco se observa un patrón diario en las concentraciones de PMx



5 Conclusiones

La evolución en la investigación de las condiciones epidemiológicas ha puesto de manifiesto la importancia capital, y casi exclusiva, de los aerosoles en las condiciones de contagio. Puesto que la concentración de aerosoles está íntimamente ligada a la concentración del dióxido de carbono, tener controladas dichas concentraciones constituye el mejor mecanismo para evitar los contagios. Aunque desde el inicio de la vuelta a las aulas tras el confinamiento se impusieron normas de ventilación en los centros educativos, si no se dispone de sistemas de medición siempre queda la duda de si dichas normas están siendo efectivas, si son mejorables o si son excesivas.

El proyecto ha proporcionado información fiable y datos empíricos que han permitido adaptar las normas iniciales teniendo en cuenta las especificidades de cada espacio del centro. El tamaño del aula, el número de personas en su interior, la ubicación de ventanas y puertas, la orientación o la actividad que se desarrolla en ella son condicionantes que marcan el tratamiento que debe darse a dicha aula, y esto sólo es posible conocerlo si se mide a tiempo real su estado. Además, otros parámetros como la temperatura o la humedad y su correlación con el exterior determinan las condiciones de confortabilidad mínimas para poder impartir la docencia.

En muchas ocasiones el profesorado está inmerso en sus tareas de atención al alumnado y olvida la situación de pandemia en la que vivimos. Para poder controlar las condiciones epidemiológicas de su aula necesita disponer de información a tiempo real y accesible de forma sencilla y rápida, de forma que pueda actuar abriendo puertas o más ventanas o cerrando parte de ellas si la temperatura es excesivamente baja y no hay malas condiciones. Ese ha sido otro de los objetivos del proyecto colocando toda la información relevante en

sencillos mapas de colores que de un simple vistazo permiten la toma de decisiones.

Aunque a nivel general era sabido que la ventilación era necesaria para mantener ambientes sanos en el centro se ha conseguido conocer con detalle lo que ocurre en cada espacio concreto en cada momento. Así se ha comprobado que para reducir los niveles de dióxido de carbono de forma rápida es imprescindible la ventilación cruzada, lo cual ha confirmado que la medida tomada de abrir puertas y ventanas de todas las aulas durante el recreo ha sido tremendamente efectiva. También iniciar las clases con ventanas y puertas abiertas ha sido muy adecuado para partir de inicio en condiciones óptimas.

Pero también se ha visto que esas dos medidas no eran suficientes, es sorprendente lo rápido que se deterioran las condiciones epidemiológicas en un aula con 25-30 personas. Midiendo se ha podido hacer seguimiento y verificar que durante las sesiones de clase es necesario mantener buenos niveles de ventilación cruzada para garantizar un ambiente saludable.

La solución técnica utilizada, con conexiones vía radio, ha sido muy adecuada por la rapidez para su despliegue y gestión, aunque ha sido necesaria la realización de ajustes en la potencia de las emisiones de radio de los sensores para garantizar la no existencia de cortes de señal prologados.

6 Referencias

[1] <https://theconversation.com/australian-children-are-learning-in-classrooms-with-very-poor-air-quality-154950>

[2] Aurora Monge-Barrio, Maira Bes-Rastrollo, Sara Dorregaray-Oyaregui, Purificación González-Martínez, Nerea Martín-Calvo, Dolores López-Hernández, Ainhoa Arriazu-Ramos, Ana Sánchez-Ostiz "Encouraging natural ventilation to improve indoor environmental conditions at schools. Case studies in the north of Spain before and during COVID", enviado a Energy&Buildings (Elsevier), en revisión.

[3] Minguillón, M. C., Querol, X., Felisi, J. M., & Garrido, T. (2020). Guía para ventilación de las aulas CSIC.

[4]-<https://www.conprueba.es/sites/default/files/noticias/2020-05/ES%20LA%20CONTAMINACI%C3%93N%20ATMOSF%C3%89RICA%20N%20FACTOR%20DE%20RIESGO%20EN%20COVID-19.pdf>

[5] <http://hdl.handle.net/20.500.12105/10231>