

ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES DE CENTROS EDUCATIVOS DEL ÁREA MEDITERRÁNEA EN TIEMPOS DE COVID-19.



Trabajo Fin de Grado_ TFG D

ACONDICIONAMIENTO AMBIENTAL Y EFICIENCIA ENERGÉTICA EN
ARQUITECTURA

Autor: Paula González González

Tutor: Rafael Suárez Medina

“La arquitectura podría ayudar a adaptarnos a la pandemia. La propagación del virus no es solo una crisis de salud; también es un problema de diseño.”⁰

.....

⁰ TINGLEY, K. *La arquitectura podría ayudar a adaptarnos a la pandemia: La propagación del virus no es solo una crisis de salud; también es un problema de diseño.* The New York Times 2020.

ÍNDICE

1.	Resumen y palabras claves.....	6		
2.	Introducción.....	8		
3.	Objetivos.....	10		
	3.1. Hipótesis de partida.....	10		
	3.2. Objetivo general.....	10		
	3.3. Objetivos específicos.....	10		
4.	Metodología.....	11		
	4.1. Fases.....	11		
	4.1.1. Toma de datos. Monitorización del edificio.....	11		
	4.1.1.1. Instrumentos y programas utilizados.....	12		
	4.1.2. Encuestas.....	13		
5.	Estado del arte.....	15		
	5.1. Espacio escolar y pandemias.....	15		
	5.2. Confort y salud.....	22		
	5.3. Contexto normativo.....	25		
	5.3.1. Guías europeas de recomendaciones para la pandemia del covid-19....	25		
	5.3.2. Guía española de recomendaciones del ministerio de Educación.....	28		
6.	Caso de estudio.....	30		
	6.1. Descripción gráfica y descrita del edificio docente.....	30		
	6.1.1. Ubicación.....	30		
	6.1.2. Clima.....	30		
	6.1.3. Memoria descriptiva.....	31		
	6.1.4. Descripción de las aulas y planimetría.....	32		
	6.1.5. Condiciones de ventilación.....	33		
	6.2. Análisis de los datos recogidos.....	35		
	6.2.1. Datos cuantitativos. Sensores de control ambiental.....	35		
	6.2.2. Datos cualitativos. Encuestas.....	50		
7.	Hipótesis y estrategias de mejora.....	62		
8.	Conclusiones.....	69		
9.	Bibliografía.....	72		
10.	Anexos.....	74		

1. Resumen y palabras claves.

Este Trabajo Fin de Grado, pretende ser un punto de inflexión, que pone de manifiesto la problemática que existen en las aulas de los centros docentes, debido a unas inadecuadas condiciones de salubridad, tanto antes, por un funcionamiento inexistente de las instalaciones de ventilación como durante la pandemia del covid-19. Además, se propone cómo estas condiciones están afectando a los alumnos/as y profesores/as en sus clases en lo relativo al confort ambiental de las aulas.

Para ello, se analizarán cómo se solventaron los problemas y adversidades que surgieron en los centros docentes en anteriores pandemias y qué relación existe entre el confort y la salud en las aulas, y cómo estos temas repercuten en el día a día de los niños/as.

Además de ello, se examinarán las condiciones en las normativas sobre la ventilación en los centros y cuáles son las exigencias que se deben de cumplir. Asimismo, con la aparición del covid-19, las instituciones pertinentes y comités de expertos en la materia realizaron una serie de guías europeas, como soporte de qué medidas son las más correctas a aplicar en los centros docentes a la hora de su ventilación, las cuales se compararán y estudiarán.

Por último, se realizará un análisis de condiciones ambientales de dos aulas de un centro de educación preescolar y primaria de reciente construcción, para ello se utilizarán dos sensores que medirán la concentración del dióxido de carbono, humedad relativa interior y exterior, temperatura interior y exterior en distintas

etapas y circunstancias.

Posteriormente toda esta toma de datos se utilizará para estudiar los posibles problemas de salubridad y si este sistema de ventilación natural que se está realizando en las aulas de los centros es el más adecuado. Toda esta toma de datos irá acompañada de una serie de encuestas de confort y salud a alumnos/as.

En este TFG se han obtenido resultados de como los centros docentes presentan problemas de salubridad y ventilación antes y durante la pandemia del covid-19.

Palabras clave: Confort, centros docentes, ventilación, dióxido de carbono, COVID.

Abstract and keywords

This Final Degree Project aims to be a turning point, which highlights the problems that exist in the classrooms of school, due to inadequate health conditions, both before, for a non-existent operation of the ventilation facilities and during pandemic of the covid-19. In addition, it is proposed how these conditions are affecting students and teachers in their classes in terms of environmental comfort of the classrooms.

Therefore, we will analyse how the problems and adversities that arose in school in previous pandemics were solved and what relationship between comfort and health in the classrooms, and how these issues affect the day-to-day of children.

In addition, the conditions in the regulations on ventilation in the centers and what are the requirements that must be met will be examined. Likewise, with the appearance of covid-19, the pertinent institutions and expert committees in the field produced a series of European guides, as support of which measures are the most correct to apply in educational centers when it comes to ventilation, the which will be compared and studied.

Finally, an analysis of the environmental conditions will be carried out in two classrooms of a newly constructed pre-school and primary school, using two sensors that will measure the concentration of carbon dioxide, indoor and outdoor relative humidity, indoor and outdoor temperature in different stages and circumstances.

Subsequently, all this data collection will be used to study the possible health problems and whether this natural ventilation system being carried out in the classrooms of the centers is the most suitable. All this data collection will be accompanied by a series of comfort and health survey for students.

In this Final Degree Project, results have been obtained from how school present healthiness and ventilation problems before and during the COVID-19 pandemic.

Keywords: Comfort, educational centers, ventilation, carbon dioxide, COVID.

2. Introducción.

“La Educación es la formación práctica y metodológica que se le da a una persona en vías de desarrollo y crecimiento. Es un proceso mediante el cual al individuo se le suministran herramientas y conocimientos esenciales para ponerlos en práctica en la vida cotidiana.”¹

Para el desarrollo de la niñez y de la sociedad la educación juega un papel fundamental. Con la aparición del virus SARS-CoV-2 y el desarrollo del covid-19, gran parte de los países tomaron las medidas de restringir los movimientos de las personas, y el cierre total de las actividades no esenciales y con ello el cierre de los centros docentes. Esta situación anómala supuso el mayor paro de los sistemas educativos en la historia, que afectó a casi 1,6 mil millones de estudiantes. Este parón en los centros de todo el mundo ha producido un gran desequilibrio de oportunidades para los niños/as más vulnerables, es decir, aquellos que viven en zonas más pobres o rurales. Además de las cuestiones económicas, también surgieron nuevos problemas de estrés en el hogar debido a familias desorganizadas o el estrés generado por la enfermedad del covid-19. ²

Es por ello, que se hizo necesario una vuelta a la actividad presencial, con medidas de higiene y prevención que ayudasen a combatir el contagio del virus, debido a que tanto los niños/as como personas más mayores pueden desarrollar e infectarse.

Aunque según los datos que se han ido recogiendo desde que comenzó la pandemia a través de la Red Nacional de Vigilancia Epidemiológica, la población entre 0 y 19 años, tienen una tasa de contagio muy baja en comparación a edades superiores (Imagen 01).

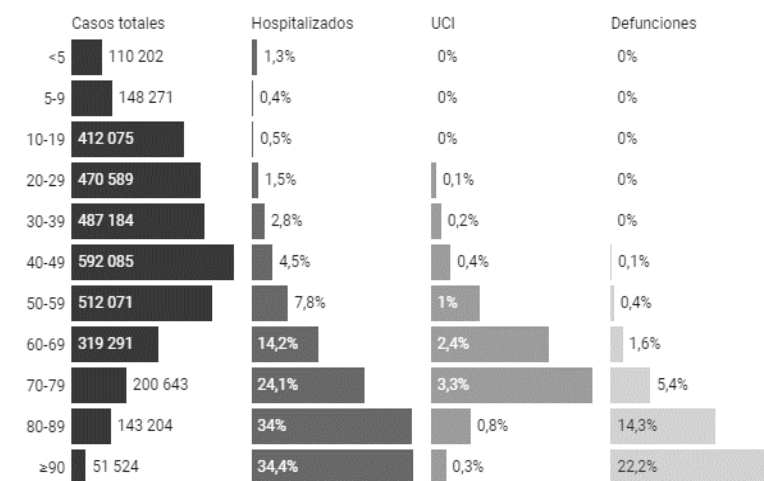


Imagen 01_Datos de la incidencia del coronavirus por grupos de edad en España. Gráfico realizado por: RODRÍGUEZ, C. Fuente: Ministerio de Sanidad.

¹ SÁNCHEZ, A. Definición de Educación. <https://conceptodefinicion.de/educacion/>. (2021). Consultado el 10 de junio de 2021.

² UNITED NATIONS. Policy Brief: Education during COVID-19 and beyond. [sg_policy_brief_covid-19_and_education_august_2020.pdf](https://www.un.org/sgsm/sm/content/publication/sg_policy_brief_covid-19_and_education_august_2020.pdf) (un.org) (2020). Consultado el 10 de junio de 2021.

³ ZIMMERMANN, P. y CURTIS, N. Coronavirus Infections in Children Including COVID-19: An Overview of the Epidemiology, Clinical Features, Diagnosis, Treatment and Prevention Options in Children. *The Pediatric infectious disease journal*. Págs. 355-368 (2020).

Es decir, los niños/as que se infectan con el virus, suelen presentar síntomas leves o moderados. Con respecto a la transmisión de la enfermedad, se ha podido apreciar que la mayor parte de contagios se producirán fuera del ámbito escolar³.

Como consecuencia de los factores descritos anteriormente, se volvió a las aulas con una recomendaciones y estrategias para que no se produjese una brecha educativa y de ese modo prevenir el fracaso escolar. Y por ello se intentaron preparar todos los centros docentes con las nuevas medidas y protocolos que fueron consensuadas y desarrolladas por todas las comunidades autónomas, pero que con los meses se han ido modificando en función que se iba teniendo más información del covid-19.

Por otro lado, tras más de un año conviviendo con el virus SARS-CoV-2 surge la pregunta de si ¿nuestros edificios están respondiendo correctamente a la pandemia del covid-19? Durante la cuarentena, muchas personas han estado viviendo en pequeños pisos sin apenas luz natural o ventilación día tras día, es decir, se ha podido comprobar la deficiencia (en las normativas, estructurales...) de las viviendas para dar respuesta a la vida en tiempos del covid-19. También hemos vivido cómo las personas han tenido que trabajar desde casa debido a que los edificios terciarios no estaban preparados, ya sea por falta de sistemas de ventilación o por falta de material y espacio para la creación de las distancias interpersonales.

O simplemente en el caso de los hospitales que con el comienzo de la pandemia estaban colapsados por falta de espacio. “Los hospitales actuales están bien planteados para responder a las necesidades de nuestra sociedad de manera generalista, pero no para responder a pandemias de este tipo”⁴.

Por lo que la respuesta a la pregunta anterior es que la arquitectura actual está un poco obsoleta y debería ser estudiada y analizada por los arquitectos e ingenieros para que se adapte a los nuevos tiempos.

Como consecuencia de la pregunta anterior, surge la duda de si en el caso de los colegios ¿Podría ayudar la arquitectura a parar o evitar los contagios en los centros educativos? Es por ello el tema de este trabajo de fin de grado analizar de si los edificios docentes presentan un inadecuado funcionamiento en las condiciones actuales de pandemia debida covid-19 o ya funcionaban mal previamente, y si estas medidas y recomendaciones impuestas por las autoridades sanitarias están ayudando a evitar contagios, pero a su vez están creando problemas de confort térmico de las aulas.

⁴ TORUELLA, M. arquitecto y director general del estudio de arquitectura PMMT.

3. Objetivos.

3.1. Hipótesis de partida.

¿Las condiciones ambientales de los centros docentes, eran adecuadas para la salud del estudiantado y profesorado antes de la pandemia del covid-19 o la transmisión del virus agravó sus actuales problemas?

A partir de esta hipótesis se plantea un estudio mediante mediciones in situ para intentar valorar si los colegios están preparados para este tipo situaciones y además si ellos podrían ayudar a evitar contagios o por el contrario los agravarían.

3.2. Objetivo general.

El objetivo general de este trabajo consistirá en diagnosticar cuantitativamente las condiciones de calidad del aire interior y confort en los centros de educación primaria derivadas de las actuales condiciones provocadas por la pandemia del covid-19. Para alcanzar este objetivo se analizará como caso de estudio el colegio Pedro Alonso Niño de Moguer (Huelva).

3.3. Objetivos específicos.

Como objetivos específicos se plantean:

- Analizar las exigencias de ventilación en los centros escolares.

- Evaluar las condiciones de confort y salubridad de las aulas mediante monitorización de las condiciones higrotérmicas y de calidad del aire.

- Valorar cuantitativamente los diferentes factores de comportamiento en la ventilación de las aulas.

- Establecer protocolos de ventilación natural que garanticen las condiciones de confort y salud en las aulas.

- Evaluar los pros y los contras de diferentes tecnologías para la mejora de la calidad del aire en las aulas.

4. Metodología.

La metodología seguida en este Trabajo Fin de Grado estará formada por dos partes:

- Un análisis histórico y de contexto de la vinculación entre los espacios docentes y pandemias, además de un estudio de las condiciones de confort y salud en las aulas, contrastado con un contexto normativo sobre las condiciones de salubridad e higrotérmicas en las aulas antes y después del covid-19.

- El desarrollo del caso de estudio, que estará formado por una motorización de dos aulas de un centro de educación primaria, más unas encuestas a niños de entre 8-12 años.

4.1. Fases.

4.1.1. Toma de datos. Monitorización del edificio.

La motorización del edificio consistirá en la colocación de dos sensores (Wöhler CDL) en dos aulas (uno en cada aula) del centro docente Pedro Alonso Niño, Moguer. Estos sensores se encargarán de medir las condiciones ambientales de las clases. Ambos medidores se encuentran situados a una altura de 1,60 metros, para obtener mejores resultados. (Imágenes XX)



Imagen XX_Posición del controlador ambiental en el aula de 4º de primaria.

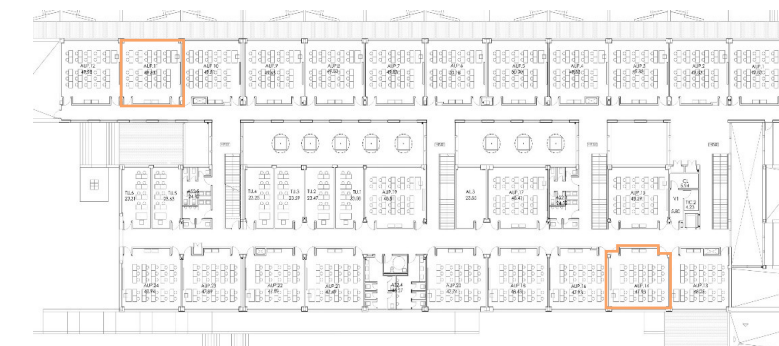


Imagen XX_Planta primera del Colegio Pedro Alonso Niño, Moguer.

Por otro lado, hay un sensor (The Weather Station. Netatmo) colocado en el exterior que mide las condiciones ambientales del aire externo.

En un primer momento, se quiso realizar las mediciones a través del segundo sensor, pero debido a que este necesita de conexión wifi y que en el centro no funcionaba correctamente, y la misma tenía restricciones para su acceso, no se pudo optar con este sensor para la medición tanto del interior como del exterior. Por lo que se tuvo que recurrir al sensor mencionado anteriormente y realizar las mediciones interior y exterior con diferentes sensores.

Esta toma de datos se llegó a realizar automáticamente cada media hora en un primer momento, con el fin de ver cómo va cambiando estas condiciones del ambiente, y de este modo saber, que horas son las que los datos alcanzan su máximo y su mínimo, pero con este periodo de medición apenas existen variaciones en los valores medidos, salvo en algunas horas claves. Por ello se modifica el periodo de medición, que se realiza cada 5 minutos, para poder constatar las variaciones en los valores medidos.

La recogida de los resultados se hace cada cierto tiempo, para su análisis y para que no se llene la memoria del sensor y se pudieran perder los resultados conseguidos.

Además de esta recogida de datos, se ha realizado un protocolo que se explicará detalladamente más adelante, que consistirá en unas pruebas en las aulas motorizadas, en las que se ensaya y cronometra los valores de CO₂ con diferentes condiciones ambientales en un periodo de tiempo determinado.

4.1.1.1. Instrumentos y programas utilizados.

Para mediciones en el interior se utiliza: Wöhler CDL, este controlador ambiental se encarga de medir el nivel de CO₂, la temperatura, la humedad relativa y el punto de rocío. Para recopilación de la información tomada por este instrumento se utiliza el programa Wöhler CDL-Series PC INT, el cuál digitaliza todos los valores en tablas Excel.

Medidor Wöhler CDL 210	
Rango de medición de CO₂	0...6000 ppm CO ₂
Precisión CO ₂	50 ppm ±5 %
Resolución	1 ppm
Principio de medición	Procedimiento NDIR (analizador no dispersivo por absorción en los infrarrojos)
Temperatura	-10 ... +60 °C
Precisión de temperatura	±0,6 °C
Resolución	0,1 °C
Humedad del aire	5 ... 95 %
Precisión	±3 % (10 – 90%) // 5 % (otros valores)
Resolución	0,1 %

Especificaciones técnicas del sensor de medida interior.

Para las mediciones en el exterior se utiliza: The Weather Station. Netatmo, el cuál mide la temperatura y la humedad del aire exterior.

Medidor The Weather Station Netatmo	
Temperatura	-40°C ... 65°C
Precisión de temperatura	±0,3 °C
Humedad del aire	0 ... 100%
Precisión de temperatura	± 3%

Especificaciones técnicas del sensor de medida exterior.

4.1.2. Encuestas.

Con el objetivo de conocer la opinión del estudiantado en el momento de su día a día en las clases de su sensación térmica, y así obtener una información más subjetiva, se realizaron encuestas.

En primer lugar, a las dos aulas monitorizadas, que correspondían a clases de 3º y 4º de primaria, es decir, entre 8 y 9 años. Esta misma encuesta se realizó en dos meses distintos de año, para así obtener resultados en diferentes estaciones del año, la primera de ellas se realizó a finales de marzo y finales de abril, y la segunda a mediados de junio (Imagen 05).

Por otro lado, para obtener una mayor base de datos, se hizo esta primera encuesta a nueve aulas más del colegio (todas ellas en la primera planta del edificio), donde se realizó preguntas a niños/as entre 7 y 12 años.



Imagen 05_Clase de 3º de primaria en la última encuesta. Fuente: Propia.

Esta primera encuesta consistió en 10 preguntas (Imagen 06), en las que se les preguntaba cuestiones sobre su sensación de confort térmico en la actualidad y en pasado (invierno). Debido a su edad, esta encuesta se realizó de forma que los niños/as la vieran como un juego y no como una obligación.

Para ello, se utilizó una aplicación llamada Plickers, que se proyectaba en la pizarra de cada aula, y ellos/as a través de un código QR, proporcionaban su respuesta.



Imagen 06_Preguntas en la aplicación plickers. Fuente: Propia.

5. Estado del arte.

5.1. Espacio escolar y pandemias.

A lo largo de la historia de la humanidad, las enfermedades han sido uno de los puntos clave en su evolución y desarrollo, siendo un factor clave en el cambio de las ciudades y edificaciones, además de en la sociedad. A partir de que los seres humanos comenzaron a formar una sociedad y a unirse con más personas en grupos en un mismo ámbito, fue cuando también empezaron las enfermedades contagiosas. Uno de los problemas de estas enfermedades era que se expandían de forma muy rápida, contagiando a naciones enteras convirtiéndose en pandemias.

Con cada pandemia la sociedad ha tenido que encontrar un nuevo equilibrio para continuar con sus vidas y encontrar una solución para eliminar o debilitar los virus o bacterias que las creaban. Dentro de ese equilibrio entraba garantizar la continuidad de los niños y jóvenes en las escuelas con la menor exposición al virus o bacteria, debido a que la paralización de la docencia significaría el fracaso y analfabetismo de la sociedad. En un primer momento en cada pandemia, casi siempre se realizaban el cierre completo de las aulas, o se buscaban lugares y espacios muy ventilados y abiertos, pero ante la larga duración de las cuarentenas, terminaban abriendo algunos colegios (Imagen 07), con protocolos muy estrictos de higiene pública y personal (Imagen 08).

Muchas veces los niños estaban más seguros de contagio en los colegios que en sus propias casas, debido a que las aulas estaban más limpias, ventiladas y preparadas que la gran mayoría de hogares de la clase media.⁵



Imagen 07_Escuela en Chicago ante la pandemia de la gripe. 1918. Fuente: MARTIN J.



Imagen 08_ Enfermeros y médicos que trabajaban en las escuelas. 1918. Fuente: GETTY IMAGES.

⁵ MARTIN, J., ¿Cómo se enfrentaron los colegios a otras pandemias?. Revista Historia y Vida nº 630. (2020).

Algunas de estas enfermedades que crearon pandemias fueron: la peste de Justiano (541-750), la peste negra (1346-1353), la viruela (origen desconocido-1977), gripe española (1918-1919), gripe asiática (1957-1958), gripe de Hong Kong (1968-1970), virus de Inmunodeficiencia Adquirida (VIH) (1981-X).⁶

Todas las enfermedades anteriores tienen en común que son virus, pero otra de las pandemias que realizó cambios en la sociedad y supuso una revolución en la arquitectura fue la enfermedad de la tuberculosis, que "es una enfermedad causada por *Mycobacterium tuberculosis*, una bacteria que casi siempre afecta a los pulmones."⁷

Esta enfermedad fue la causante de la muerte de muchas personas en el siglo XIX, a causa de su carácter infeccioso y que su bacteria solía encontrarse en lugares oscuros y polvorientos. Ante la falta de información de la enfermedad y los avances en la medicina, sus únicas soluciones eran el sol, el aire limpio y el completo reposo (imagen 09). Es en este momento, en el que los arquitectos se plantean realizar una nueva arquitectura que ayude a combatir esta bacteria. Por lo que surgen edificios con grandes ventanas, edificios elevados del suelo para huir de los gérmenes, amplias terrazas para un mayor acceso al sol, muebles aerodinámicos que no retuviesen el polvo...⁸

Este cambio en la arquitectura también se hace eco en los colegios, ya que es la única solución para regenerar la sociedad, en vista de la insalubridad que tenían las ciudades a causa de la industrialización.

Estas escuelas estuvieron ligadas a los tratamientos que se estaban realizando a los enfermos de tuberculosis y sobre todo a la mejora de la salud de los niños/as.



Imagen 09_Hospital en tiempos de pandemia de la gripe. 1918. Fuente: SPL

Estas primeras escuelas surgieron a finales del siglo XIX. En un primer momento estas escuelas se situaron en lugares lejanos a la ciudad, debido a que se pretendía una vuelta a los orígenes (naturaleza), y también otro de los motivos fue la búsqueda de una solución a los graves problemas higiénicos y sanitarios que se estaba viviendo en la población urbana. Estos lugares se caracterizan por la utilización de los espacios exteriores, debido a que en ese momento la única solución que se creía para la curación de la tuberculosis eran las terapias al aire libre y debido a que, aunque

.....
⁶ HUGUET, G. Grandes Pandemias de la Historia. Amenazas de la humanidad. National Geographic. 2020. https://historia.nationalgeographic.com.es/a/grandes-pandemias-historia_15178/2 Consultado el 8 de abril 2021.
⁷ Definición aportada por la Organización Mundial de la Salud creada el 7 de abril de 1948.
⁸ TORRICO E., Escuelas al aire libre (Open air school). Periódico El confidencial. 2020. <https://www.youtube.com/watch?v=qsazPRbh3cs>

existieran avances en la microbiología, no estaban siendo muy efectivos, sumado a la gran desconfianza de la sociedad.⁹

En un primer momento, estas escuelas se caracterizaron por ser un complemento a los hospitales o centros para niños enfermos en los que se utilizaban metodologías basadas en las terapias climáticas que consistían en aire puro, reposo, una alimentación adecuada y sol¹⁰.

Al principio estas edificaciones consistieron en la reutilización de granjas, castillos, almacenes... que se utilizaban como lugares de refugio cuando las condiciones ambientales no permitían estar en el exterior.

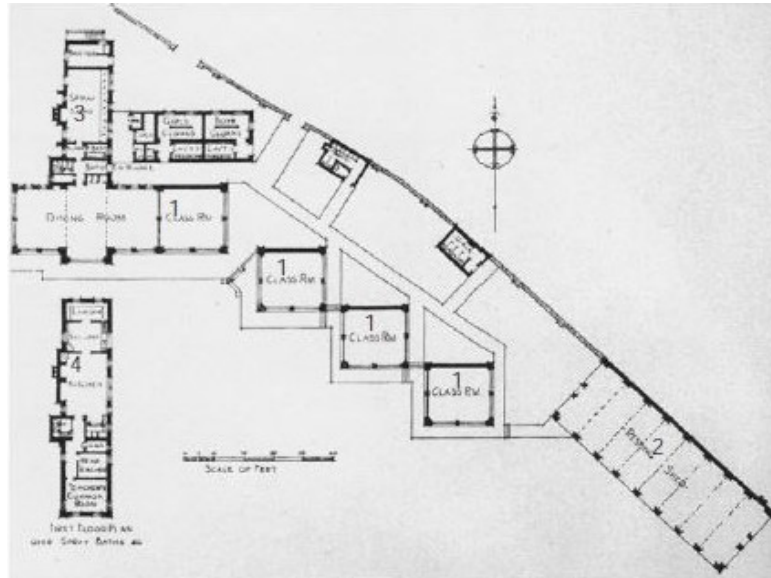
Posteriormente estas escuelas, conocidas como escuelas del sol o escuelas del bosque¹¹ se fueron consolidando debido a que la educación se convirtió en el punto clave para obtener la igualdad de los ciudadanos, es entonces cuando estos colegios dejaron de ser un acople de los hospitales y se convirtieron en edificaciones de nueva planta, pero fueron bastante escasas.

En estas nuevas escuelas se intentaba que los edificios fueran saludables, a través de la interacción entre el interior y el exterior, entrada de luz natural, y la desmaterialización de los límites. Debido a su exitoso acogimiento estos experimentos de escuelas fueron los protagonistas en los Congresos Internacionales que se produjeron sobre la Tuberculosis y la Higiene Escolar, en los cuales se reunían arquitectos, profesores, médicos con el fin de moldear esta nueva escuela.

.....
⁹ BERNAL, J.M. De las escuelas al aire libre a las aulas de la naturaleza. Áreas. Revista Internacional de Ciencias Sociales nº 20, (2012). Págs. 170-182.
¹⁰ TABAR, I. Orden y naturaleza en la escuela al aire libre: El colegio para la institución Teresiana en Alicante de Rafael de la Hoz y Gerardo Olivares. Departamento de Proyectos Arquitectónicos. Escuela Técnica Superior de Arquitectura. Universidad Politécnica de Madrid, (2015). Tomo 1. Págs. 21-249.
¹¹ Escuelas Waldorf término creado por la propuesta de Doctor Bernhard en 1904. En alemán la palabra Waldorf significa aldea en el bosque.
¹² BARNÉS, D. Escuelas al aire libre. ANALES. T.I. Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas, Madrid (1909). Págs. 68-71.

La primera escuela que se conoce fue la propuesta del Doctor Bernhard Bendix, llamada Waldschule situada a las afueras de Berlín más concretamente en el bosque de Charlotemburgo en 1904¹², (imágenes 10 y 11) este modelo de escuela sirvió de ejemplo para otras escuelas en otros países (Reino Unido, Estados Unidos, España...). Este proyecto de escuela fue elaborado por el arquitecto Walter Spickendorff, el cual desarrolló este colegio fundiéndose con la naturaleza, en otras palabras, se adaptó a la topografía y orientó el edificio para que tuviera la mejor orientación de luz natural, aunque en un principio las clases eran barracas desmontables de madera debido a que su uso era esporádico ya que lo primordial de esta escuela era que las clases se realizasen al aire libre.





Imágenes 10 y 11_Planta general y vista aérea de la Escuela en el bosque de Charlotemburgo, 1904. Fuente: TABAR, I.

Después del éxito de la escuela en Berlín, se hicieron muchas otras escuelas con esas condiciones de aulas al aire libre. A continuación, se muestran otros ejemplos de escuelas del bosque (Imágenes 12, 13):



Imagen 12_Escuela del Sol en Leysin. 1910. Doctor Auguste Rollier. Fuente: TABAR, I.



Imagen 13_Escuela al aire libre en Charlton Park. Londres, 1910. Fuente: TABAR, I.

En estas imágenes (12, 13) se pueden apreciar, cómo los niños daban la gran mayoría de sus clases a la interperie sin importar las bajas y altas temperaturas, o incluso las precipitaciones. En cierto modo estos nuevos colegios ponían en valor una buena ventilación antes que el confort térmico de niños/as, debido a que muchos de ellos tenían que asistir a las clases con múltiples piezas de ropa de abrigo, para soportar las bajas temperaturas en el exterior (Imagen 14).

Con el estallido de las dos guerras mundiales¹³, la escuela al aire libre toma mayor protagonismo debido al Movimiento Moderno¹⁴ que tenía como lema la reforma de la sociedad, y estos colegios se veían como una oportunidad para que los niños crecieran con los nuevos valores modernos, y es cuando se decide ampliar el ámbito de estas escuelas del bosque a lugares como la playa o parques. En un principio estas escuelas solo eran para niños/as enfermos o débiles, pero con el periodo de guerras se decide que este método de escuelas se debe aplicar a toda los infantes.

Este concepto de escuela al aire libre se va moldeando y creando distintas variantes con el paso de los años; además esta concepción de clases también se intenta llevar a cabo en los colegios ya existentes en los que se abren todas las ventanas y puertas para que gracias a la ventilación el aire exterior este lo menos viciado posible, y siempre que fuera posible se intentaban dar las clases en el exterior. Otro de los puntos que se llevan a cabo es la continua higiene en ropas, alimentos, baños y duchas.

En esta época surgen nuevas preopaciones en la arquitectura de los colegios debido a los continuos congresos de higiene y comités nacionales ¹⁵.

Con este gran apogeo de los colegios, se intenta adoptar una solución de colegio mixto donde se complemente todas las ventajas de las escuelas del bosque. Es por ello que en los años 30 se empiezan a crear numerosos colegios (imágenes 15 y 16) con aulas que tienen grandes zonas acristaladas para asegurar las vistas al exterior y tener un mayor contacto con la naturaleza, buena iluminación natural, y procurar ventilación cruzada. Los protagonistas de estos colegios son los jardines, galerías, terrazas y porches que se unen a las clases para crear esa conexión con el exterior.



Imagen 14_Escuela al aire libre de Rhiwbina. Fuente: GETTY IMAGES.

¹³ Primera Guerra Mundial (28 jul 1914 – 11 nov 1918), Segunda Guerra Mundial (1 sept 1939 – 2 sept 1945).

¹⁴ Movimiento Moderno (1925-1965): "su búsqueda de un nuevo método arquitectónico: el reconocimiento de la identidad entre la forma y función y la necesaria coherencia con el espíritu de los tiempos, la experimentación a pequeña escala para desarrollos que postularan alternativas válidas a los estilos históricos [...] y la convergencia de todas esas avanzadillas en un movimiento unitario capaz de reestructurar la producción constructiva, modificar el espacio social y hacerlo accesible."
DÍAZ-MIRANDA Y MACÍAS, F, La arquitectura del Movimiento Moderno 1925-1965. Fundación DoCoMoMo Ibérico. LIÑO 15. Revista Anual de Historia del Arte (2009). Pág.225.

A consecuencia de la Segunda Guerra Mundial, se produjo una divulgación del uso de los antibióticos, lo que tuvo como consecuencia la decadencia de estas escuelas al aire libre, debido a que las mismas suponían unos elevados costes de mantenimiento. Otro de los puntos que pone fin a sus construcciones es que pierden el apoyo económico y social de las instituciones competentes y de la sociedad. Estas escuelas se comienzan a ver como lugares para personas enfermas, pobres y débiles en lugar de espacios de innovación y progreso. Pero fue tal la globalización de este concepto en años anteriores que se había creado una nueva tipología a la hora de realizar colegios muy consolidada. Es por ello que los nuevos colegios que se construyeron sobre finales de los años 40, tienen cierto guiño a las escuelas al aire libre.



Imagen 15_Hindenburgschule en Praunheim. Frankfurt, 1930. Eugen Kaufman.

Concretamente los arquitectos siguieron teniendo esa preocupación por el espacio exterior, la luz natural, aire puro, relación interior-exterior. Pero es en este momento cuando comienzan a centrarse en los espacios interiores, para ello intentan tener en cuenta aspectos que proporcionen espacios higiénicos, evitar el ruido y las interferencias acústicas, bien iluminados artificialmente, una ventilación continuada y calefactados, es decir, en espacios condicionados.



Imagen 16_Escuela del Hospital antituberculoso Can Xifré. Arenys del Mar, 1937. José Luís Sert.

Estas nuevas escuelas querían ser el elemento regulador entre el individuo y la sociedad, en otras palabras, se quería que estos lugares se pudieran aprovechar para otros eventos, y ponerlas al servicio de la sociedad, como por ejemplos los espacios ajardinados y deportivos.

.....
¹⁵ El primer congreso de Higiene Escolar se realizó en Nuremberg, dirigido por Friedrich Erismann, y fue donde se expuso por primera vez el colegio del bosque de Waldshule. A este congreso le siguieron el congreso internacional de tuberculosis en Paris en 1905, el segundo congreso de Higiene Escolar en Londres en 1906, el tercero en 1907 y el cuarto en 1910.

Entre todas las propuestas que surgieron, destaca la escuela Munkegärds en Gentofte (Copenhague) de Arne Jacobsen en 1951 (Imágenes 17 y 18). Esta escuela consistía en una serie de pabellones conectados por unos corredores que eran los que configuraban todas las aulas y patios, esta escuela tenía la particularidad que estaba pensada para que se pudiera ir ampliando en el futuro. Los corredores mencionados anteriormente servían como elemento estructurante, de forma que ayudaban a diferenciar los diferentes volúmenes por funciones.

Este colegio estuvo formado por 5 pabellones, dos a cada lado y uno en el fondo, todos ellos conectados por estos corredores. Otro de los aspectos de este centro es su ventilación cruzada y gran iluminación, a través de grandes ventanales y lucernarios. En este caso Jacobsen no crea un vínculo interior-exterior directo como se hacía en las escuelas al aire libre, sino que concibe las aulas y el patio como dos lugares que sirven para diferentes actividades, es decir, el intenta que se cree un vínculo visual pero no espacial.



Imágenes 17 y 18_Escuela Munkegärds en Dinamarca. Arné Jacobsen (1951). La 1º foto consiste en una imagen aérea del colegio, la 2º es una imagen donde se puede apreciar el vínculo de un aula y el patio. donde se puede ver esos ventanales y lucernarios que proporcionan luz y ventilación.

5.2. Confort y salud.

Desde que el ser humano ha tenido un lugar donde vivir, ha tenido la tendencia de adaptarse a las condiciones climáticas de donde vive. Con el paso del tiempo, estas condiciones han determinado la forma de vida de las personas, la ubicación de las ciudades y nuestras formas de comercio y desarrollo. Pero los grandes cambios, se produjeron en el siglo XVI con las pandemias en las ciudades, debido a problemas de insalubridad en calles y viviendas. Es por ello, que surge una preocupación mayor por el estudio de una ciudad limpia y sin grandes epidemias. Tras estos pensamientos, dos siglos después surgieron las teorías higienistas que con el tiempo se convirtieron en el confort térmico ¹⁶, definido por la norma UNE-EN ISO-7730 (2006) como "aquella condición mental que expresa satisfacción con el ambiente térmico" ¹⁷.

Todo este interés por el confort surgió porque en 1970, P. O. Fanger escribió un libro llamado "Thermal Comfort" ¹⁸, en el que ponía en práctica un nuevo método de evaluar la sensación de confort a través de la transferencia de calor entre el ambiente y las personas. Para desarrollar este modelo realizó una serie de experimentos en una cámara climática controlada con alumnos universitarios. Con este experimento obtiene la sensación térmica de los integrantes de la cámara y además de ello consigue el grado de insatisfacción, estos datos son los llamados "Predicted Mean Vote" (PMV), y el "Predicted Percentage of Dissatisfied" (PPD).

Este libro fue un gran avance en el estudio del confort, consistió en un modelo matemático en el que se incluía un método de valoración que consideraba la totalidad de las variables que influyen

en los intercambios térmicos hombre-medio ambiente, que son los valores que contribuyen a la sensación de confort; estas variables (PMV) son: nivel de actividad, características de la vestimenta, temperatura seca, humedad relativa, temperatura radiante media y velocidad del aire.

Con su método se podían conocer el porcentaje de personas insatisfechas con el ambiente en el que estaban, para así poder mejorar ese entorno.

A continuación, se van a definir las variables que contribuyen al confort térmico:

*Temperatura seca: la que rodea a la persona en el interior del lugar donde se encuentra, interactuando con el calor de la piel.

*Humedad relativa: el porcentaje de humedad que tiene el aire con respecto al límite máximo admitido.

*Velocidad del aire: cuando la temperatura y la humedad interactúan con la velocidad, intervienen en el balance y sensación térmica de las personas.

*La temperatura radiante media: es una temperatura uniforme, que es como el valor único de temperatura que rodea al ocupante de ese espacio." ¹⁹

Todas estas variables relacionadas, indicaran que grado de ambiente térmico se tiene, si negativo o positivo, en un espacio.

.....
¹⁶ ANGUIA A., ARCO J., HIDALGO D., *Estudio de confort térmico en las aulas de la Escuela Técnica Superior de ingeniería de Edificación de la Universidad de Granada*. Revista Anales de Edificación. Vol. 4, Nº 4, 55-64 (2018).
¹⁷ UNE-EN ISO 7730:2006 Ergonomía del ambiente térmico. Determinación analítica e interpretación del bienestar térmico mediante el cálculo de los índices PMV y PPD y los criterios de bienestar térmico local.
¹⁸ FANGER, P.O., *Thermal Comfort: Analysis and Applications in Environmental Engineering*, Danish Technical Press, Copenhagen (1970).

Con el tiempo han surgido diferentes opiniones de otros autores, que difieren de lo aportado por Fanger, ya que piensan que para que los usuarios tengan un confort completo lo que se debe tener en cuenta es su capacidad de adaptación y además los datos que se tomen como referencia deberían de estar basados en estudios realizados en edificios reales.

A pesar de estas opiniones, en la actualidad es el modelo de Fanger, el que se debe aplicar según la norma ISO-7730. Además de ello, en el Reglamento de Instalaciones (RITE)²⁰ vigente en España y de obligado cumplimiento establece valores para la temperatura y la humedad relativa. Y estos son unos valores de entre 21 y 23°C en invierno y entre 23 y 25°C en verano, por otro lado, con respecto a la humedad relativa, los valores son entre 30 y 70% en invierno y verano.

Otros de los conceptos a tener en cuenta es la calidad del aire, definido por el Real Decreto 102/2011²¹ (2011) como "nivel de cada contaminante, aisladamente o asociado con otros, cuyo establecimiento conlleva obligaciones conforme las condiciones que se determinen para cada uno de ellos." Para que estas condiciones se cumplan en el RITE, se obliga a que las instalaciones térmicas de los edificios mantengan un aire interior admisible, y que eliminen los contaminantes que contengan el aire exterior que se recoge, es por ello que desde el 2007 se estableció la obligación de la instalación de un sistema de ventilación mecánica en todos los edificios de uso público terciario de nueva construcción.

Debido a los diferentes usos que puede acoger un edificio, la calidad del aire está clasificada en cuatro niveles. En el caso de los

.....
¹⁹ Estas definiciones se han sacado de un estudio, NOYA, A. E., *Evaluación de la percepción de confort térmico que tiene los estudiantes en el bloque de la universidad de la costa*. Universidad de la costa (CUC). Barranquilla (2019).
²⁰ RITE. *Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios*. Real Decreto 178/2021, de 23 de marzo.
²¹ Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire.
²² Datos obtenidos del estudio realizado por la Universidad de Burgos y la Plataforma de Edificación Passivhaus, *Proyecto de monitorización de colegios*. 2020.

En un estudio realizado en diferentes centros de enseñanza, gracias a la Universidad de Burgos y con la ayuda de la Plataforma de edificación antes del covid-19, se demuestra que muchos de los centros de España no tienen las condiciones ambientales óptimas, para que los niños/as estén en las aulas tanto tiempo. "el tiempo en el que los alumnos están en adecuadas condiciones de confort queda reducida a una hora escasa al día (53 minutos), suponiendo tan solo el 17,90% del tiempo total." "Para los datos de confort interior higrotérmico se puede concluir que en la mayoría de los casos están dentro de los rangos de confort situándose por encima del 60% los centros de Valencia, Alicante, Barcelona y Almería, quedando ligeramente por debajo del 50% el colegio de Cádiz y por último con un 25% de porcentaje Huelva y Murcia." ²²

Asimismo, estos estudios, incluso han demostrado que el método utilizado no está adaptado a todas las edades, y solo consiguen dar confort a una minoría. Un estudio realizado en diferentes escuelas de Seoul, Korea, demuestra que los niños son más sensibles a los cambios en su metabolismo²³ que los adultos, y que su temperatura de confort es diferente a la que se exige en el modelo de Fanger (normalmente la prefieren más baja). En este estudio, se plantea la opción de añadir las variables de la psicología, la raza y el género (debido a que el género femenino, según los resultados del estudio, es más sensible a las altas temperaturas, y su grado de confort difiere de él que tiene el género masculino)²⁴.

En otro de los estudios realizados antes de la pandemia en los cuales se muestran como muchos de los centros docentes de

calidad ambiental debido que no cuentan con sistemas de ventilación mecánica o cuenta con ellos, pero no se utilizan porque suponen un mayor gasto. Y las diferencias de un aula con a sin ventilación son bastantes significativas como se puede apreciar en el gráfico 01:

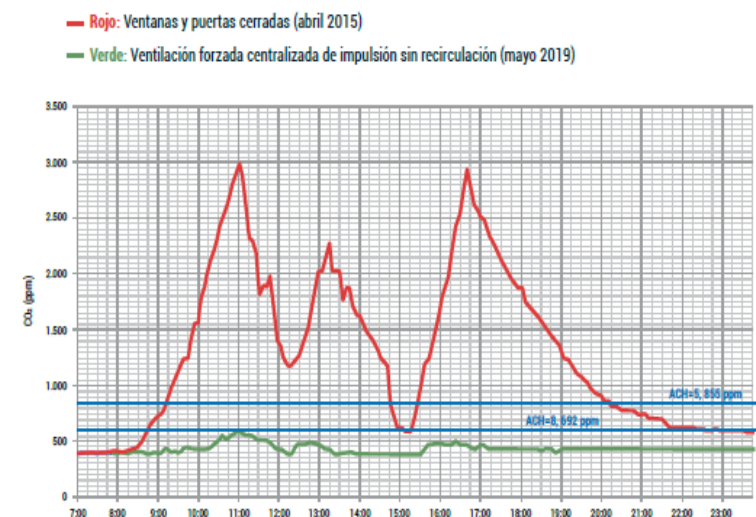


Gráfico 01_Variación de concentración de CO₂ durante una jornada escolar sin ventilación y con ventilación forzada centralizada en un aula de un centro de la comunidad Valenciana. Fuente: MimoCO₂

²³ "Es el proceso en el que la energía es consumida por los seres humanos durante su actividad física y se calcula por la pérdida de calor". Definición realizada por HYUNJUN Y., INSICK N., JINMAN K., JINHO Y., KYOUNGHO L., JONGRYEUL S., A field study of thermal comfort for kindergarten children in Korea. An assessment of existenf models and preferences of children. Building and Environment 75 (2014). Pág 185.

²⁴ HYUNJUN Y., INSICK N., JINMAN K., JINHO Y., KYOUNGHO L., JONGRYEUL S., A field study of thermal comfort for kindergarten children in Korea. An assessment of existenf models and preferences of children. Building and Environment 75 (2014). Págs 182-189.

5.3. Marco normativo.

Desde el 2007 con la publicación del RITE, la calidad del aire interior y ventilación en los centros docentes estará obligada a cumplir con unas exigencias mínimas. Con este Reglamento se establece por un marco normativo en el que se regulará las exigencias de eficiencia energética y de seguridad que deberán cumplir las instalaciones para que se produzca un correcto confort térmico. En este reglamento se dispone la exigencia de un sistema de ventilación mecánico con un adecuado filtrado para garantizar la calidad del aire, debido a que la ventilación natural, es decir, la apertura de ventanas no está permitida por no garantizar unos adecuados niveles de calidad de aire interior. Además de ello se debe procurar una recuperación de energía del aire que se extrae a través de equipos con recuperación de calor²⁵.

Para ello, los edificios docentes deberán de tener calidad de aire tipo IDA 2, con un caudal de 12,5 l/s por persona, lo que supone unas 6 renovaciones horas, según las dimensiones del aula y el número de personas en las aulas.

Sin embargo, con la pandemia del covid-19 y con el comienzo de un nuevo curso para los niños y niñas surgieron una serie de guías con recomendaciones sobre cómo ventilar los edificios docentes al máximo y de esa manera poder evitar posibles contagios del covid-19.

Toda esta incertidumbre surgió debido a que la OMS advirtió del posible contagio por aerosoles en el aire, es por ello que varios expertos internacionales en climatización y la calidad del aire interior realizaron estas guías²⁶.

5.3.1. Guías europeas de recomendaciones para la pandemia del covid-19.

Estas guías surgieron como unas directrices a llevar a cabo para evitar los contagios, y mantener seguros y sanos a los alumnos/as y a los profesores/as en su ámbito de trabajo. Estas medidas están elaboradas para solventar varios escenarios de transmisión y también dependiendo del funcionamiento de las escuelas, las cuales son referenciadas a medidas de distancia, higiene de manos y uso de mascarillas.

Entre estas directrices también se encuentran estrategias para conseguir una adecuada calidad del aire, destacando²⁷:

* Ventilación natural siempre que sea posible a través de ventanas y puertas para lograr flujo de aire continuo entre el interior y exterior, cuando las condiciones ambientales y el edificio lo permita.

* Si se llegan a utilizar sistemas de calefacción, ventilación mecánica y aire acondicionado (HVAC), estos deben de estar continuamente inspeccionados y limpios. Su mantenimiento debe de ser constante para que sea seguro y eficaz. Para ello se deben de comprobar filtros y su monitorización.

* En el caso de los sistemas mecánicos, estos deben de estar funcionando en su flujo de aire máximo y también se debe aumentar el porcentaje de aire exterior.

²⁵ UNE-EN 13779. Ventilación de edificios no residenciales.

²⁶ CUERDO, M.T., COVID-19: La ventilación en centros educativos, una asignatura pendiente. The Conversation. 2020. <https://theconversation.com/covid-19-la-ventilacion-en-centros-educativos-una-asignatura-pendiente-145417> Revisado el 1 de junio de 2021.

²⁷ OMS, Considerations for school-related public health measures in the context of COVID-19. Annex to Considerations in adjusting public health and social measures in the context of COVID-19. 2020.

* Se deberán de desactivar los controles de ventilación según el control de demanda, debido a que algunos sistemas de ventilación regulan su potencia en función de la demanda que se esté necesitando y esto podrá reducir el suministro de aire según la ocupación o la temperatura.

* El sistema de ventilación deberá estar encendido dos horas antes de que el edificio comience a estar ocupado y dos horas después que el edificio se quede vacío.

Con la información aportada por la OMS sobre el covid-19, las grandes compañías que investigan en la ventilación y climatización de los edificios crearon sus propias guías con sus propias recomendaciones para combatir el virus, las cuales se han ido actualizando cada cierto tiempo según los avances y conocimientos que se estaban obteniendo del virus, como por ejemplo REHVA (Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning Associations) o ASHRAE (The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers). En ellas se da todo tipo de información sobre los medios posibles por donde se puede propagar o contagiar el virus (imagen 19), es por ello que en ambos se proponen medidas de mejoras o prevención para corto y largo plazo, en el que además de las directrices mencionadas anteriormente también detallan los procesos que se deben de efectuar en los sistemas de instalaciones, limpieza de los filtros y además que tipo de ventilación y la potencia adecuada deben de tener

los espacios más singulares de los centros docentes. En estas guías siempre se recomienda que se utilicen sistemas mecánicos, o una mezcla de sistemas mecánicos y apertura de ventanas. Si esta ventilación natural es la única que se puede utilizar para la renovación del aire entonces se intentará que está sea ventilación cruzada.

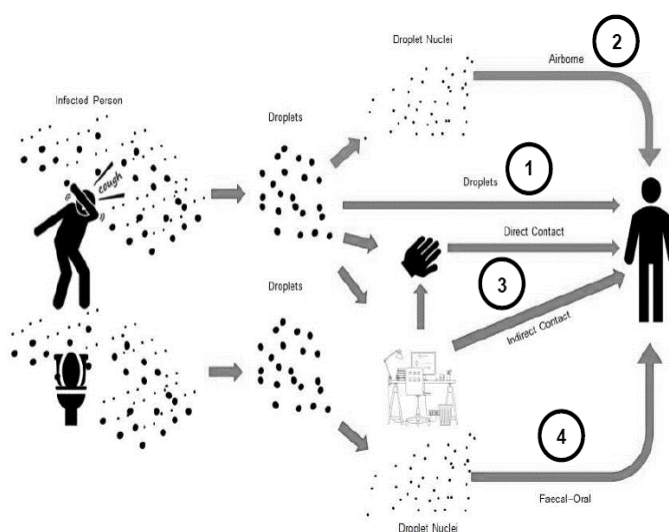


Imagen 19_ Mecanismos de exposición de las gotas de COVID-19 SARS-CoV-2 Fuente: FRANCHIMON, F.

En el caso de la inexistencia de sistema de ventilación mecánica, en la guía de ASHRAE se especifican unos valores mínimos que se deben de tener en cuenta para que no se creen una falta de confort ambiental en los espacios que estén siendo ocupados, estos deberán ser controlados a ser posibles por humidificadores o sensores. Estas recomendaciones son:

* En invierno, las clases deberán de tener entre 40-50% de humedad relativa y una temperatura media de 72 F, es decir, unos 22°C.

* En verano, las clases deberán de tener entre 50-60% de humedad relativa y una temperatura de 75 F aproximadamente, lo que serían unos 24°C²⁸.

Imagen 20_ Panel resumen de la guía de REHVA. Fuente: REHVA.

²⁸ ASHRAE, ASHRAE EPIDEMIC TASK FORCE. Schools & Universities. ASHRAE Introduces Updated Reopening Guide for Schools and Universities. Pág.18. Atlanta (2020).

Una de las cuestiones que se proponen en la guía de REHVA (imagen 20) es la de la incorporación de un sensor de CO2, para que se puedan controlar los valores y según sean se puedan abrir o cerrar ventanas, o inclusive cuando el sistema de ventilación necesite un apoyo y se deban de abrir las ventanas si los valores son muy altos, o se pueda mejorar la demanda del edificio ya que, si se conocen los valores de CO2, los sistemas de ventilación mecánica se puedan regular. Y por otro lado mientras que la guía de ASHRAE aconseja el empleo de humidificadores en los espacios, la guía de REHVA rechazan la colocación de humidificadores debido a que no existen evidencias científicas de que sean efectivos para obtener una ventilación correcta²⁹.

5.3.2. Guías de recomendaciones españolas.

En el caso de España, el Ministerio de Educación, el de Sanidad y el de Ciencia e Innovación, junto con un comité de expertos, también crearon una guía para que los profesores y directores de los centros tuvieran ciertas pautas para actuar con la reapertura de los centros docentes.

Entre estas guías destaca la *Guía para ventilación en aulas*³⁰, en la que proporcionan posibles soluciones, estrategias y herramientas para determinar si es correcta la ventilación que se está realizando (sensores de CO₂).

Esta guía explica en qué consiste el virus, y que medidas podrían evitar el riesgo de contagio en las aulas.

Algunos ejemplos de estas medidas son: disminución de la ratio de alumnos/as en las aulas; que en las aulas se mantengan un tono medio de voz, debido a que hablar fuerte supone un aumento de la emisión; aumento de la distancia interpersonal entre el alumnado y el profesorado... Y se recuerdan las especificaciones que exigen la normativa del RITE, como las renovaciones horas (imagen 21) o el caudal de ventilación necesario por persona (12,5 l/s).

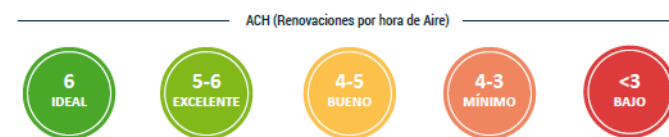


Imagen 21_ Rango de renovaciones por hora de aire. Fuente: CSIC.

En esta guía se proponen 5 soluciones diferentes (clases en el exterior, ventilación natural, ventilación individual forzada, ventilación forzada centralizada, purificación) dependiendo de las condiciones de los espacios que formen el edificio o pueden ir complementándose entre ellas si no se consiguen los valores necesarios. En cada solución se analizan y se explica cómo se debe de actuar para que estas estrategias funcionen correctamente.

²⁹ REHVA, *How to operate HVAC and other building service systems to prevent the spread of the coronavirus (SARS-CoV-2) disease (COVID-19) in workplaces*. REHVA COVID19 GUIDANCE. Versión 4.0. Págs. 34-37. (2020).

³⁰ MINGUILLÓN, M., QUEROL, X., FELISI, J.M., GARRIDO, T. *Guía para ventilación en aulas*. Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua, IDAEA-CSIC Mesura. VERSIÓN 3. (2020).

Por otro lado, también se explican las ventajas de tener sensores de CO₂ en las aulas a través de ejemplos y experimentos que se han realizado en aulas. Además, se especifican a través de cálculos cuales serían los valores óptimos de CO₂, según la ocupación, el volumen del aula y las renovaciones horas recomendadas.

Otras de las guías a destacar es una que se llama Recomendaciones de operación y mantenimiento de los sistemas de climatización y ventilación de edificios y locales de climatización para la prevención de la propagación del SARS-COV-2³¹, en la que se aportan datos técnicos sobre la ventilación mecánica y climatización en todo tipo de edificios y el mantenimiento y protocolos de revisión que se han de realizar en los sistemas. En esta guía como en todas las anteriores, tiene un primer apartado donde se dan especificaciones del covid-19 y el peligro de su propagación. Igualmente se aporta información sobre el uso de sensores de CO₂ como método de ayuda para obtener una correcta ventilación, además de otros métodos como los sistemas de filtración o purificadores del aire. Aunque esta guía está más enfocada a la ventilación mecánica, también se especifica que en los edificios que carezcan de este sistema se deberá producir un aumento de la ventilación natural. *“es recomendable la apertura de ventanas accesibles. Aunque pueda generar cierta incomodidad por las corrientes de aire, o sensación térmica.”*

³¹ IDAE y GOBIERNO DE ESPAÑA. *Recomendaciones de operación y mantenimiento de los sistemas de climatización y ventilación de edificios y locales de climatización para la prevención de la propagación del SARS-COV-2*. Ministerio de Sanidad y Ministerio para la Transición ecológica y el reto demográfico. (2020).

6. Caso de estudio.

6.1. Descripción gráfica y descrita del edificio docente.

6.1.1. Ubicación.

El centro docente está situado en Moguer (con una altitud de 50 metros con respecto al nivel del mar.), un pueblo de la provincia de Huelva, (37° 16' 28" N, 6° 50' 12" O) ³² más concretamente en la Av. España, 12. Se ubica en una parcela de 10.700 m², con una superficie de 5487 m².³³

La parcela se encuentra a las afueras del pueblo (imagen 22), por lo que sus alrededores son solares vacíos de campos, o parcelas con edificios que se están construyendo actualmente.

6.1.2. Clima.

"En Moguer, los veranos son muy calientes, áridos y mayormente despejados y los inviernos son fríos, ventosos y parcialmente nublados. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 7 °C a 31 °C y rara vez baja a menos de 3 °C o sube a más de 36 °C." ³²

Tiene una temporada de calor que dura 3 meses, desde el 16 de junio al 15 de septiembre, y su temporada de frío, suele durar aproximadamente unos 4 meses, del 19 de noviembre al 8 de marzo.

Con respecto a los días nublados, Moguer también cuenta con dos temporadas, tiene una época más despejada que empieza a principio de junio y suele terminar a principio de septiembre, en este ciclo las lluvias suelen ser escasas donde puede haber una probabilidad más o menos de un 6% de días nublados. Esta época coincide un poco con la temporada más seca, que dura unos cuatro meses y medio, y que comienza a mitad de mayo hasta final de septiembre.

La época más nublada del año empieza en septiembre y termina aproximadamente a principio junio, donde el porcentaje de cielo nublado será como máximo de un 46%.



Imagen 22_C.E.I.P. Pedro Alonso Niño. Fuente: Google Earth Pro. 2019.

La humedad en Moguer suele variar bastante como se puede ver en el gráfico 02, pero los meses más húmedos suelen ser entre finales de junio y mediados de octubre, esta humedad está acompañada de un gran bochorno, sobre todo en el mes de agosto.

Este pueblo al estar situado en zona de costa, la velocidad del viento tiene variaciones estacionales, pero los vientos más rápidos y fuertes se encuentran durante los meses de octubre a mayo, con unas ráfagas de viento que pueden llegar a los 15,3 km/h. Normalmente este viento siempre viene del norte ³⁴.

6.1.3. Memoria descriptiva.

"El proyecto consiste en un edificio escolar tipo C4, con educación infantil y primaria. El edificio está muy condicionado por la normativa del ISE Andalucía, conformándose en "L", la parte pequeña alberga el comedor y el gimnasio (todo ello en una sola planta) y la parte mayor (de dos plantas), contiene la educación primaria y la infantil, separadas por un patio." ³³

Este centro se construyó por la aprobación del gobierno andaluz de un plan llamado OLA (Oportunidades Laborales de Andalucía), para la mejora de las infraestructuras docentes y la generación de más empleos. La ejecución de este proyecto estuvo financiada por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (Feder) y el Fondo Social Europeo (FSE), y además de ello, fue sometida a un concurso en el

año 2011. El proyecto fue realizado por el arquitecto Miguel Blazquez Gómez-Ladero, y fue construida por Edificaciones Castelló S.A. con una financiación de 4.271.696,12 euros de la Junta de Andalucía. El edificio fue inaugurado el 1 de septiembre de 2014 por la presidenta de la Junta de Andalucía, y el alcalde de Moguer ³⁵.

El centro está formado por 12 aulas de Educación Infantil y 24 aulas de Educación Primaria, junto con sus espacios comunes, todas ellas repartidas en la planta baja y primera que componen el edificio; además de ello está formado por 10 aulas para grupos más reducidos, un aula de Educación Especial, taller de música, salón de usos múltiples, biblioteca y una sala de recursos.

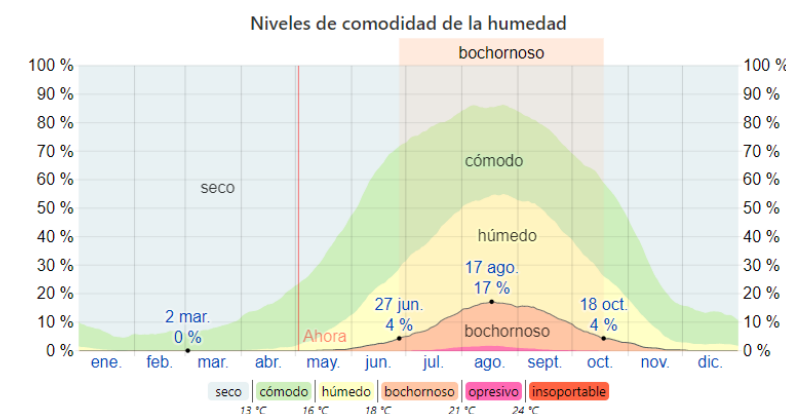


Gráfico 02_Niveles de comodidad de la humedad. Fuente: WeatherSpark.

³² Datos obtenidos de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET).

³³ Información aportada por el arquitecto del colegio en su página web. <https://www.miguelblazquez.com/ceip-pedro-alonso-nino-de-moguer-huelva/> Consultado 24 de marzo de 2021.

³⁴ <https://es.weatherspark.com/y/33214/Clima-promedio-en-Moguer-Espa%C3%B1a-durante-todo-el-a%C3%B1o> Consultado el 2 de mayo de 2021.

³⁵ <https://huelvaya.es/2013/04/23/educacion-invierte-427-millones-de-euros-en-el-nuevo-colegio-pedro-alonso-nino-de-moguer/> Consultado 24 de marzo de 2021.

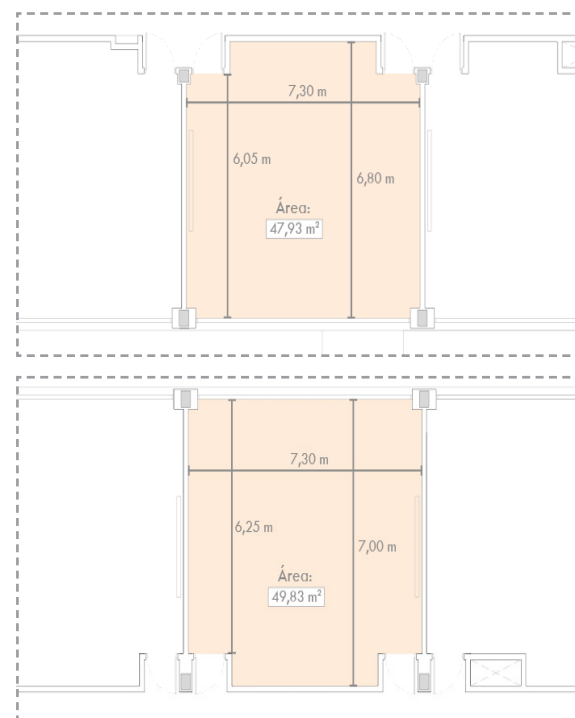
6.1.4. Descripción de las aulas y planimetría.

Para la monitorización del colegio se seleccionaron dos aulas de las veinticuatro aulas que forman el edificio; estas dos aulas deberían de estar en la primera planta (imagen 23) para que las mismas estuvieran expuestas a más corrientes de aire. Por otro lado, cada aula seleccionada debería de estar una orientación para observar si la ubicación de las mismas pudiera influir en el confort ambiental. Las aulas seleccionadas corresponden a un aula de 4º de primaria y la otra a una de tercero de primaria, es decir, niños/as con edades de 8-10 años.

La clase de 4º de primaria esta situada en la parte noreste del edificio, su planta tendría forma de un cuadrado salvo por los retranqueos de las puertas, la misma tiene una superficie de 47,93 m² y una altura aproximada de 2,90 metros (Imagen 24). El aula cuenta con dos puertas y con cuatro ventanas abatibles. El aula se encuentra en tres de sus caras rodeadas de otras aulas y el pasillo, y la cuarta cara (fachada) da hacia las pistas deportivas y parte del pueblo de Moguer. Esta clase esta ocupada normalmente por 23 alumnos/as y un/a profesor/a.

Por otro lado el aula de 3º de primaria tiene una orientación suroeste. Este aula es muy parecida al aula de 4º, salvo porque es un poco más ancha. El aula tiene una superficie de 49,83 m² y una altura de 2,90 metros aproximadamente (imagen 25).

Al igual que el otro aula cuenta con 4 ventanas abatibles y dos puertas. Este aula esta rodeada en dos de sus caras por dos aulas, al frente por un pasillo que da hacia el exterior, y por último, la cara de su fachada da hacia la calle y unos solares vacios. Esta clase al igual que la de 4º tiene una ocupación de 23 alumnos/as y un/a profesor/a.



Imágenes 24 y 25_Aula 4º y 3º de primaria, Planta primera del C.E.I.P. Pedro Alonso Niño. Fuente: BLAZQUEZ, M.

6.1.5. Condiciones de ventilación.

Este centro docente cuenta con 5 unidades de tratamiento de aire (UTAs) (imagen 26), las cuales hacen la admisión y extracción del aire a través de rejillas (imágenes 27 y 28) que están conectadas por conductos. Cada una de estas UTAs ventilan aproximadamente entre 5-8 aulas y algunas también se ocupan de la ventilación de los aseos. Este sistema de ventilación podría haber ayudado a ventilar de manera segura las aulas, aunque en algunos tramos de horas se hubiese tenido que apoyar con la apertura de ventanas y puertas (después del recreo o cuando los alumnos llegan de realizar educación física). Pero el problema de este sistema es que no se utiliza desde el año 2015 aunque en las normativas se exija este sistema en todos los centros docentes desde el 2007, debido a que el mismo genera un ruido excesivo para el desarrollo de las clases, según palabras de la directora. Como consecuencia, este sistema al llevar tantos años en desuso, muchos de sus elementos y filtros se habrán deteriorado.

Es por ello que este colegio ha tenido que recurrir a la ventilación natural de todas sus estancias a través de puertas y ventanas abiertas todas las horas en la que se encuentra ocupación en el edificio.

Al igual que el otro aula cuenta con 4 ventanas abatibles y dos puertas. Este aula esta rodeada en dos de sus caras por dos aulas, al frente por un pasillo que da hacia el exterior, y por último, la cara de su fachada da hacia la calle y unos solares vacios. Esta clase al igual que la de 4º tiene una ocupación de 23 alumnos/as y un/a profesor/a.

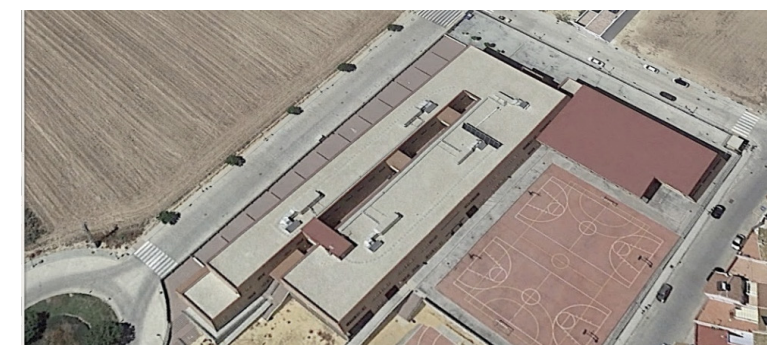


Imagen 26_Cubierta C.E.I.P. Pedro Alonso Niño. Fuente: Google Earth Pro. 2019.

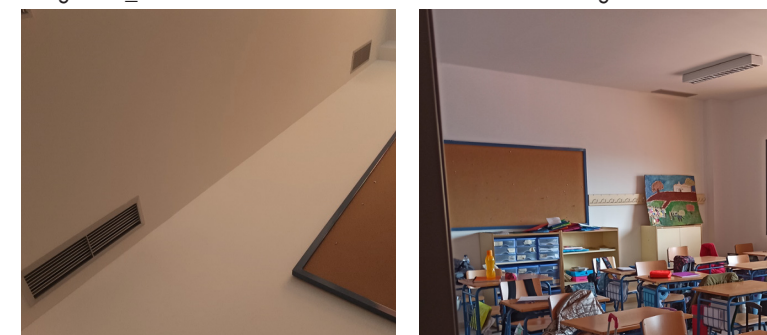


Imagen 27 y 28_Rejillas de ventilación del aula de 4º de primaria. Fuente: Propia.

Con la primera visita en noviembre se observó esa apertura de ventanas y puertas (imagen 29), mientras que, con la segunda visita en febrero, los profesores tuvieron que colocar un film de plástico en un cuarto de las ventanas (imagen 30) debido a que en días de lluvia a los alumnos cercanos a las ventanas se mojaban, y también servía para evitar la corriente de aire directa a la cara de los niños/as que se ubicaban cercanos a la ventana.



Imagen 29_Primera visita en noviembre de 2021. Fuente: Propia.



Imagen 30_ Segunda visita en febrero de 2021. Fuente: Propia.

6.2. Análisis de los datos obtenidos.

6.2.1. Toma de datos. Motorización del edificio.

A continuación, se van a analizar los datos y gráficas obtenidos a través de los sensores colocados en las aulas de 3º y 4º de primaria.

Ante la gran cantidad de datos obtenidos durante el periodo monitorizado (25 de marzo-12 de junio) como se puede ver en el gráfico 03, el análisis se dividirá en varias partes.

En primer lugar, se analizarán tres semanas con diferentes periodos de temperatura, una de ellas será con la temperatura más fría que se haya obtenido, la siguiente será con la temperatura de más calor y, por último, una que sea una temperatura media entre las dos anteriores. En este análisis se contará con gráficos de una semana completa (de lunes a domingo) de CO₂, de temperaturas interiores y exteriores, de las humedades relativas del interior y del exterior, y también un gráfico donde se comparan las temperaturas interiores de la clase con los valores de CO₂.

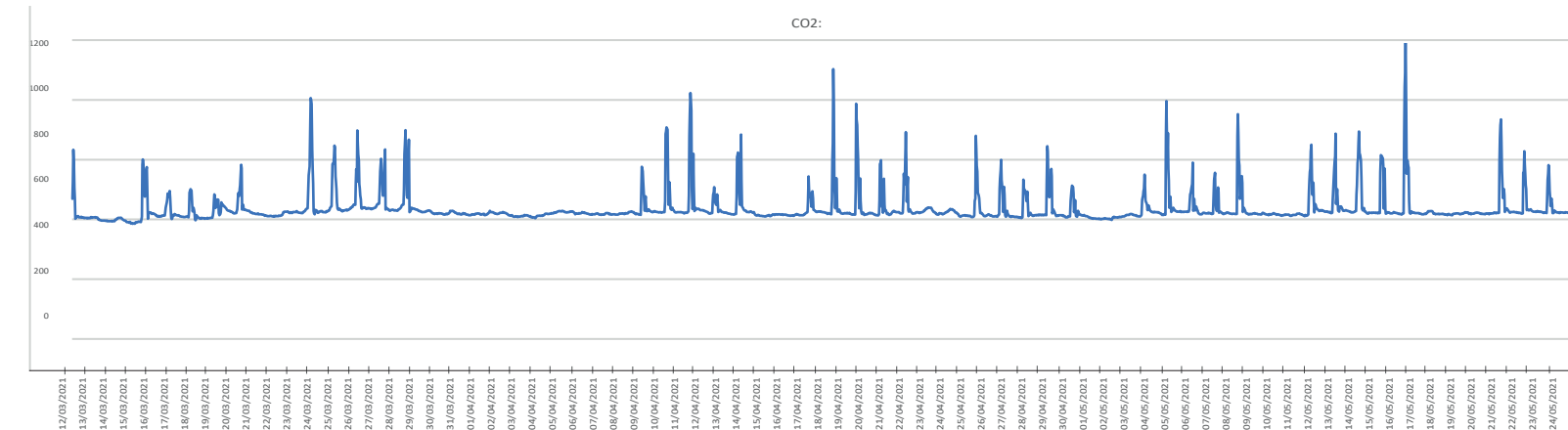


Gráfico 03_ gráfico de los niveles de CO2 del 12 de marzo al 25 de mayo..

- Semana con temperaturas más frías. Del 15 al 21 de marzo. Clase 3º de primaria.

En el siguiente gráfico (04) se pueden apreciar las temperaturas interiores (líneas discontinuas), y las temperaturas exteriores (líneas continuas). En la franja inferior se pueden ver las horas en las que se han obtenido todos los valores.

En este gráfico (04) se puede observar como la temperatura de la clase se mantiene considerablemente estable a

lo largo de todo el día, salvo que comienza a subir levemente cuando la temperatura del exterior aumenta también su valor, asimismo se observa un incremento de temperatura con el cierre de ventanas en el colegio, a partir de las 14:30 horas. Estas temperaturas del aula a lo largo de la clase se encuentran en el rango de valor de confort recomendado por la norma del RITE (entre 21 y 23°C en invierno). Por otro lado, también se cumple lo recomendado en la guía de REHVA, que en invierno se recomienda una temperatura media de 22°C.

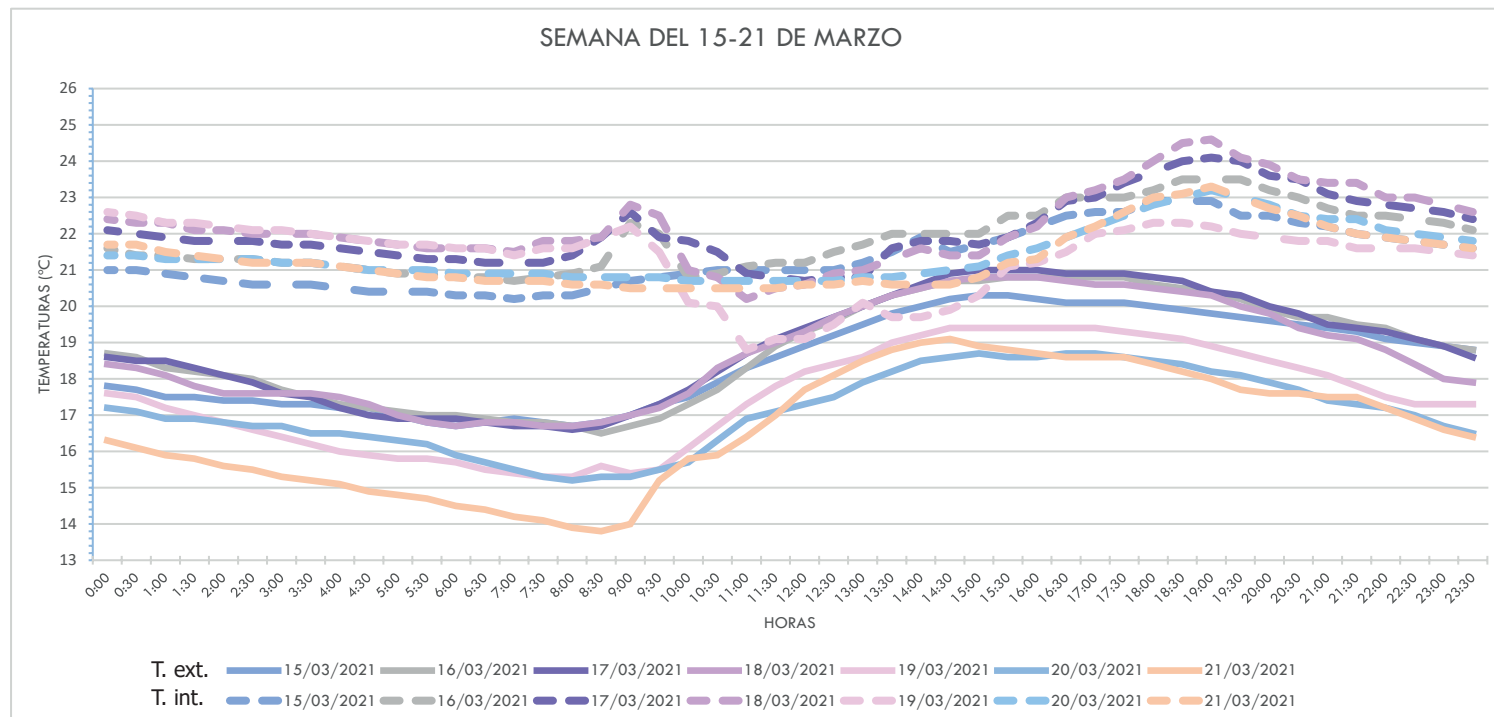


Gráfico 04_Gráfico de temperaturas interiores y exteriores de la clase de 3º de primaria. Líneas discontinuas: temperaturas interiores. Líneas continuas: temperaturas exteriores. Fuente: Propia

El gráfico (05) que se ve a continuación corresponde a los valores de CO₂ en la semana del 5 al 11 de abril. En él se pueden observar un pico a partir de la hora que se aproxima la entrada de los alumnos/as al aula. Esto es debido a que el profesor de la clase, llega antes de las 9:00 horas y las ventanas del aula se encuentran cerradas, y es cuando los niños/as entran en la misma cuando se abren las ventanas y puertas. A pesar de que se produzca ese incremento de CO₂, los valores se encuentran en el rango de calidad del aire aceptable (700-1000 ppm aire bueno). Otro de los picos que se producen es aproximadamente con el regreso de los niños/as del recreo, donde se encontraran más alterados.

Por otro lado, se ha realizado unos cálculos para averiguar cuál es el límite de valor óptimo real en una de las aulas que se han estado monitorizando que se ha obtenido de la guía de ventilación realizada por CSIC, y de ese modo tener otro rango de estudio cuando se realicen el análisis de los datos obtenidos ³⁶.

Aula de 3º de primaria de 51,1 m² con 23 alumnos/as y 1 docente.

Dimensiones del aula: 7,00 x 7,30 x 2,9= 148,19 m²
 Concentración de CO₂ exterior 416 ppm
 Generador de CO₂ = 23 x 0,186= 4,28
 Renovaciones de aire por hora objetivo, ACH=5

ACH= (14 l/pers./s x 24 personas x 3600 s/h x 0,001 m³/l)/ 148,19= 8,16
 Caudal de aire exterior necesario: 5 x 148,19= 740,95 m³/h= 12349 lpm

$$C_{\text{estado estable}} = \frac{\text{Generación de CO}_2 + \text{Caudal aire exterior objetivo} \times C_{\text{exterior}} \times 10^{-6}}{\text{Caudal aire exterior objetivo} \times 10^{-6}}$$

$$C_{\text{estado estable}} = 747,40 = \mathbf{747} \text{ ppm.}$$

Este valor se puede incrementar o bajar un 20% debido a las condiciones en las que se encuentre el aula. Es decir, 149 ppm más o menos.

Según el dato obtenido en el cálculo según el volumen y ocupación que se realizó anteriormente y con los datos obtenidos, se sigue sin superar ese rango de 747+20% (de posibles desviaciones) = 896 ppm.

³⁶ MINGUILLÓN, M., QUEROL, X., FELISI, J.M., GARRIDO, T. *Guía para ventilación en aulas*. Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua, IDAEA-CSIC Mesura. VERSIÓN 3. Págs. 34-40. (2020).

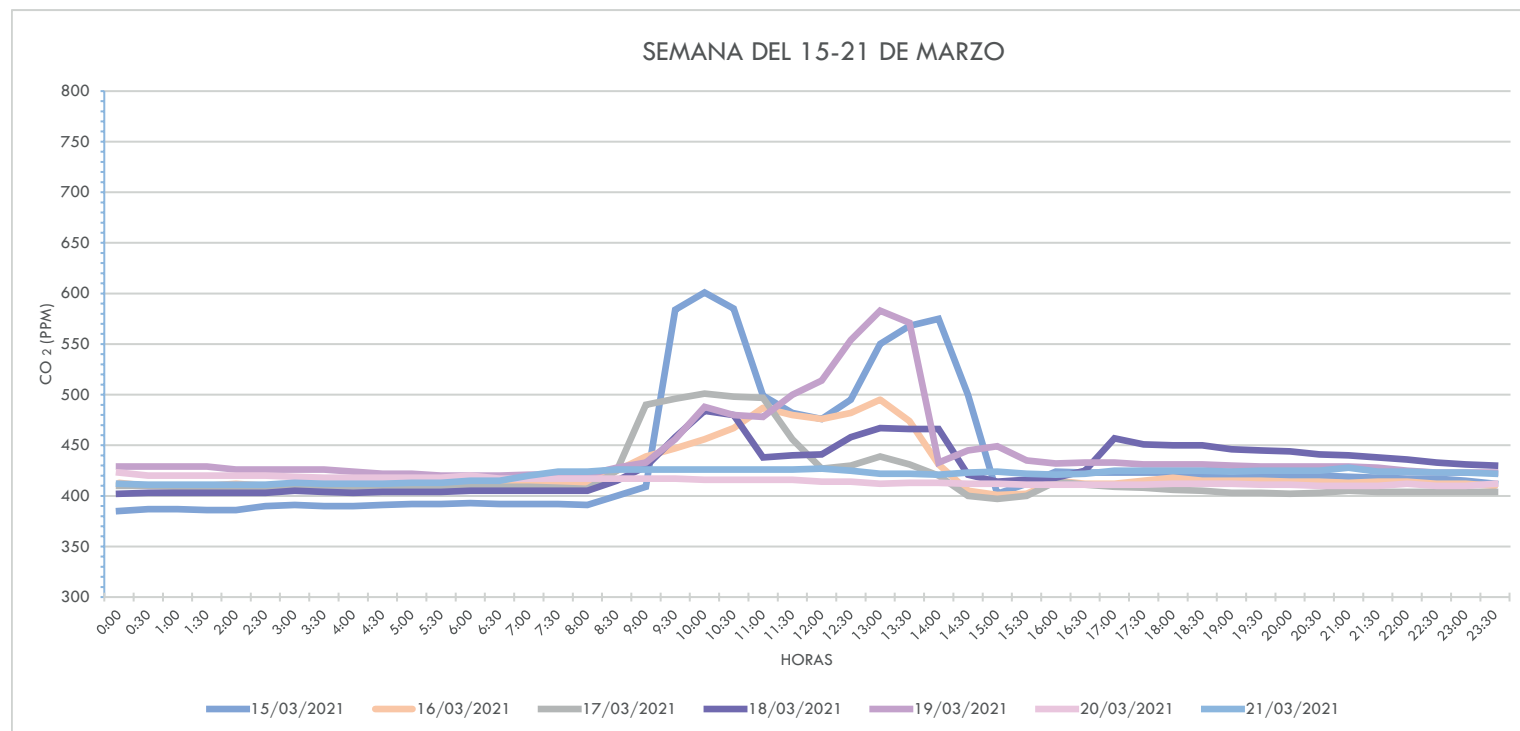


Gráfico 05_Gráfico de niveles de CO₂ de la clase de 3º de primaria. Fuente: Propia

Seguidamente se muestra el gráfico (06) en el que se representan las humedades relativas tanto del interior (líneas continuas) como del exterior (líneas discontinuas). En las cuales se puede ver una gran diferencia entre las humedades del exterior con las del interior, aun así, los valores de humedad relativa en el interior se encuentran entre los rangos aconsejados por la norma del RITE

(30-70%), salvo en algunos días que están por debajo de 30%, lo que habrá provocado un ambiente un poco más seco, estos valores bajos pueden provocar problemas de salud (sequedad de garganta y nariz)³⁷.

Sin embargo el rango de valores recomendados por la guía de REVHA no lo cumple casi ningún día, debido a que son valores inferiores a 40%.

³⁷ ROSÓN, V. *La humedad relativa y sus implicaciones sobre la salud y el confort*. Revista Mundo HVAC&R. Págs 36-42. (2016).

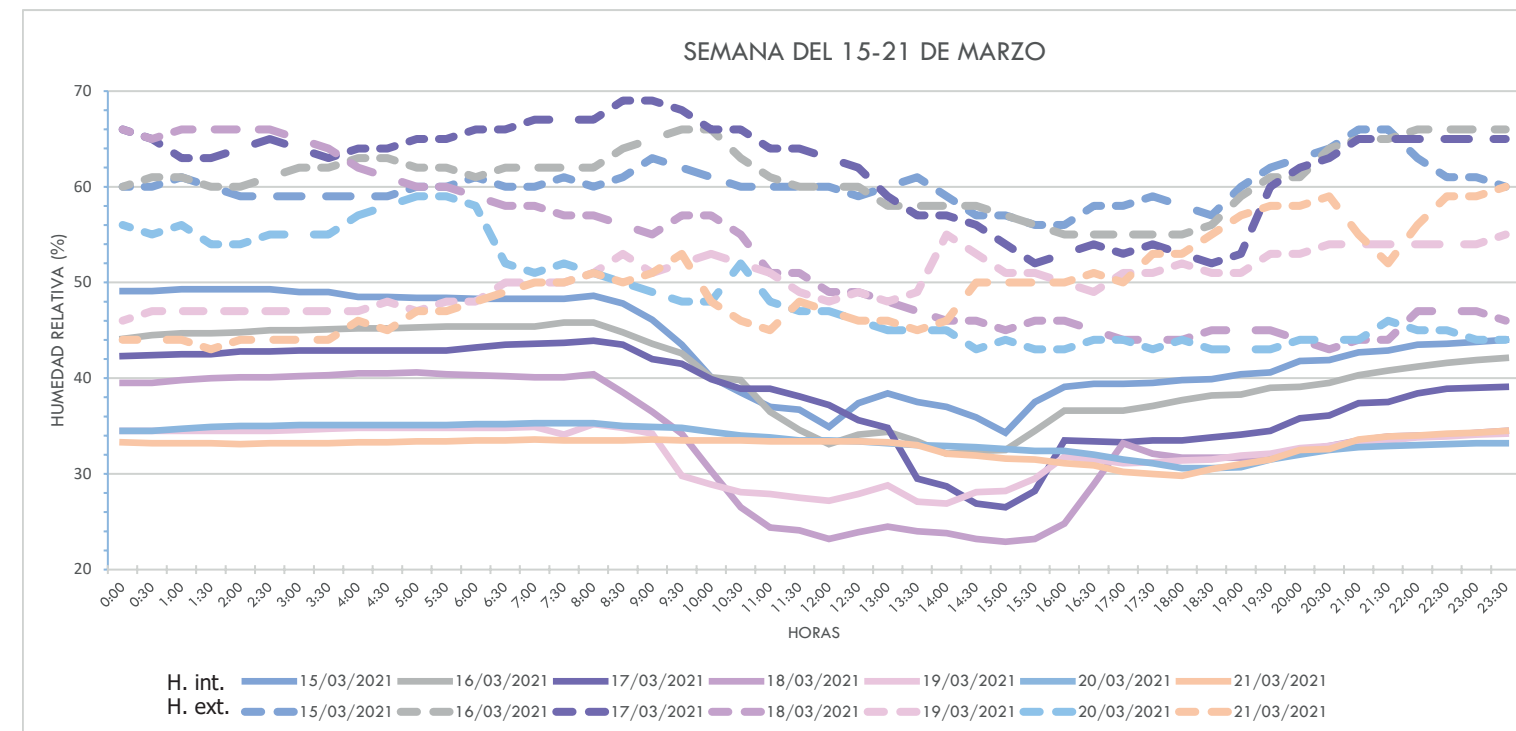


Gráfico 06_Gráfico con valores de humedad relativa interior y exterior de la clase de 3º de primaria. Fuente: Propia

Por último, un gráfico (07) comparativo en el que se muestra los valores de CO₂ junto con los valores de temperatura interior y exterior.

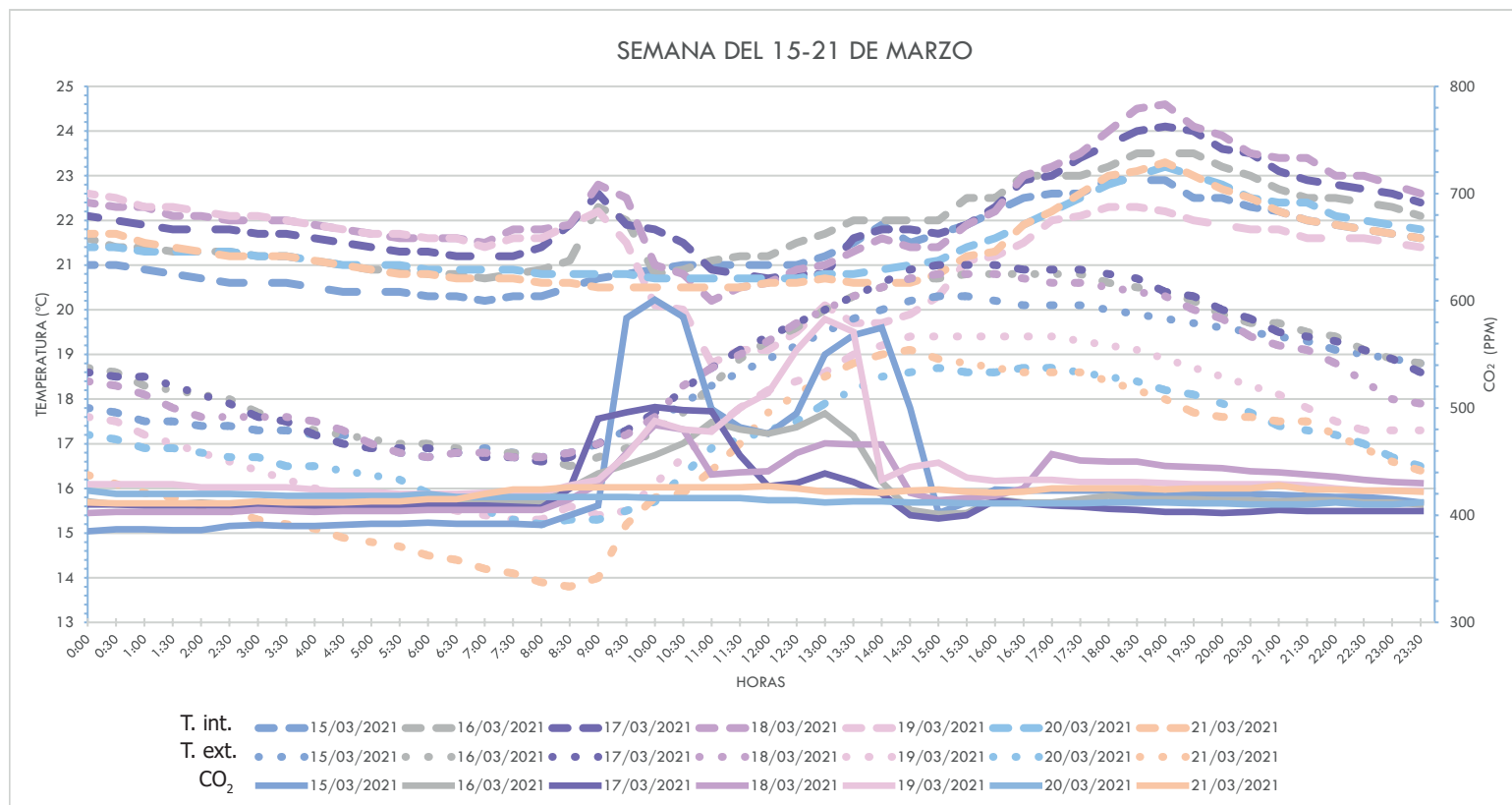


Gráfico 07_Gráfico con valores de CO2 y temperaturas interiores y exteriores de la clase de 3º de primaria. Líneas continuas: CO2, líneas discontinuas: temperatura interior, líneas de puntos: temperatura exterior.

- Semana con temperaturas templadas. Del del 10 al 17 de mayo. Clase 4º de primaria.

En el gráfico (08) se puede observar un comportamiento en la evolución de la temperatura similar. Esta temperatura del aula se va manteniendo aproximadamente constante y a medida que va subiendo la temperatura exterior, esta va aumentando lentamente su valor. Y posteriormente cuando la ocupación de la clase es nula comienza a bajar y se mantiene en un valor más o menos constante.

Esta temperatura interior en este caso está más igualada con la temperatura del exterior que en el caso anterior, es decir, que los niños/as tienen un ambiente térmico parecido al exterior.

Mientras que la temperatura exterior está formada por una línea con mayor pendiente que va aumentando su valor a medida que van pasando las horas. El pico que se ve siempre por la tarde se puede deber a que a esa hora le dé el sol al sensor y este se descalibre un poco.

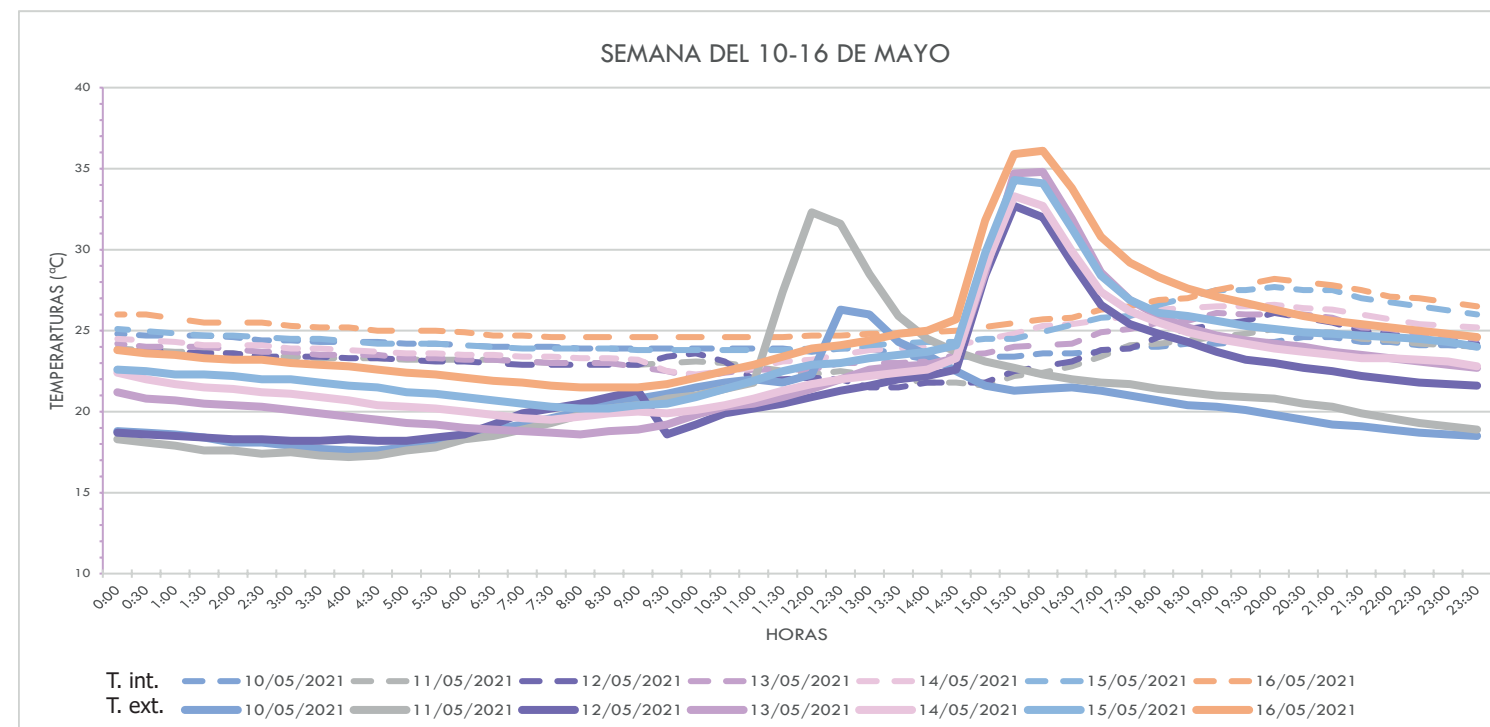


Gráfico 08_Gráfico de temperaturas interiores y exteriores de la clase de 4º de primaria. Líneas discontinuas: temperaturas interiores. Líneas continuas: temperaturas exteriores. Fuente: Propia

En este caso la temperatura del aula no cumple la temperatura recomendada por la guía de REHVA, debido que supera la recomendada en invierno y en verano.

El siguiente gráfico (09) corresponde a los niveles de CO₂, pero en este caso, estos valores corresponden al aula de 4º de primaria, la cual tiene una orientación no-este. Estos valores son poco más bajos que en la clase de 3º de primaria, pero el patrón de la gráfica es bastante parecido, debido a que aparece una subida del valor con la entrada de los niños, y en cuanto los niños/as parece que se han organizado en la clase y han abierto puertas y ventanas, el valor de CO₂ comienza a bajar, además de ello se pueden observar otros pequeños picos que se pueden deber a que los profesores hayan querido proyectar algo en la pizarra digital y como consecuencia se han cerrado la lamas, lo que delimita la superficie para que la clase pueda ventilar o simplemente que los niños se suelen acercar a la mesa del profesor para realizar correcciones y se crean filas cerca del sensor. Aun así, los valores siguen estando entre los valores correctos y buenos para que no se produzcan riesgos en la salud de los integrantes de la clase.

* Cálculo del nivel de CO₂ según la guía de ventilación de CSIC.
Aula de 4º de primaria de 49,64 m² con 23 alumnos/as y 1 docente.

Dimensiones del aula: 6,80 x 7,30 x 2,9= 143,96 m²
Concentración de CO₂ exterior 416 ppm

Generador de CO₂ = 24 x 0,186= 4,46
Renovaciones de aire por hora objetivo, ACH=5
ACH= (14 l/pers./s x 24 personas x 3600 s/h x 0,001 m³/l) / 143,96= 8,40
Caudal de aire exterior necesario: 5 x 143,96= 719,8 m³/h= 11996 lpm

$$C_{\text{estado estable}} = \frac{\text{Generación de CO}_2 + \text{Caudal aire exterior objetivo} \cdot C_{\text{exterior}} \cdot 1 \cdot 10^{-6}}{\text{Caudal aire exterior objetivo} \cdot 1 \cdot 10^{-6}}$$

C_{estado estable} = 787,79 = **787** ppm.

Este valor se puede incrementar o bajar un 20% debido a las condiciones en las que se encuentre el aula. Es decir, 154 ppm más o menos.

Este valor tampoco es superado en esta semana, por lo que los valores que se obtienen de CO₂ son muy favorables.

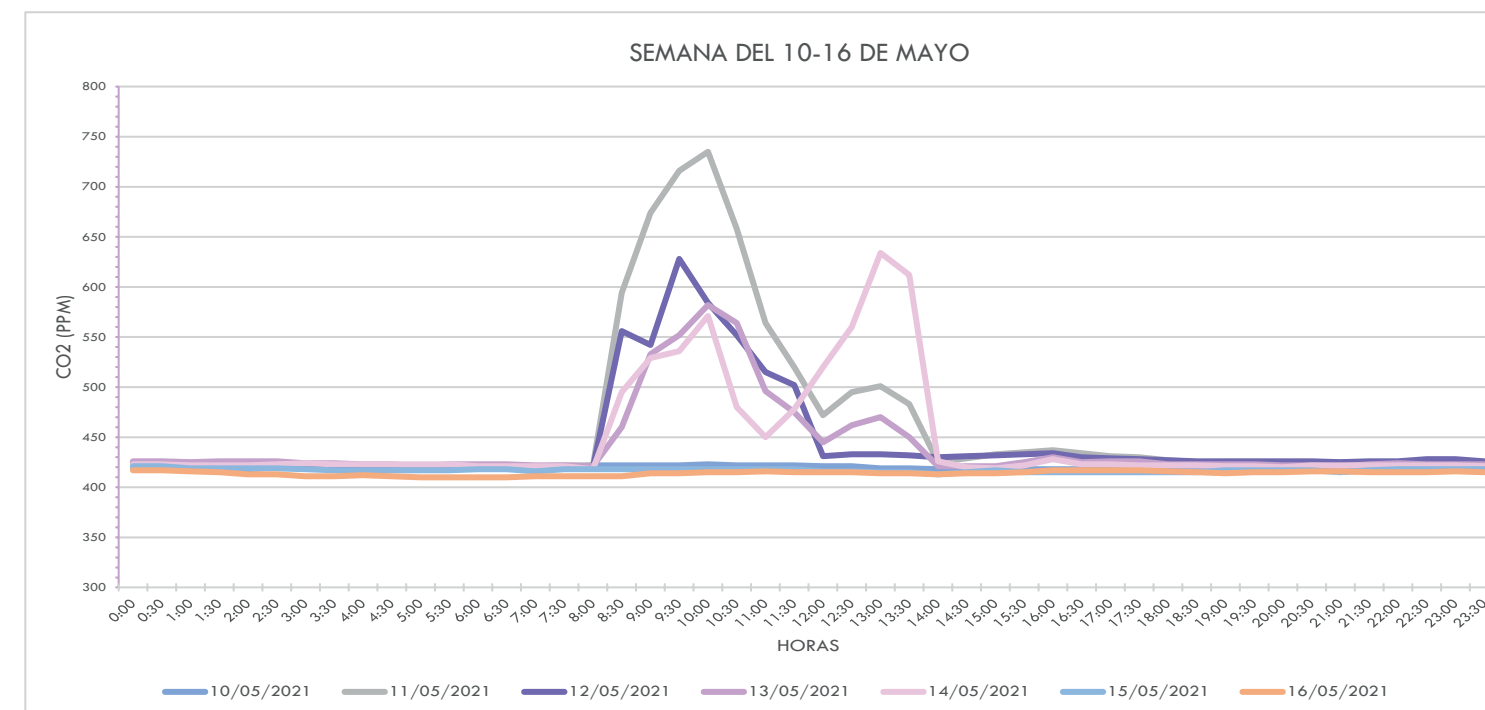


Gráfico 09_Gráfico de niveles de CO₂ de la clase de 4º de primaria. Fuente: Propia

Seguidamente se muestra el gráfico (10) con los valores de humedad relativa en la que se pueden apreciar valores parecidos a los al gráfico (07), en el que se observa

una diferencia entre los valores del exterior y los del interior, salvo en algunos tramos de hora donde los valores coinciden. Estos valores de humedad relativa en el interior siguen cumpliendo con la normativa.

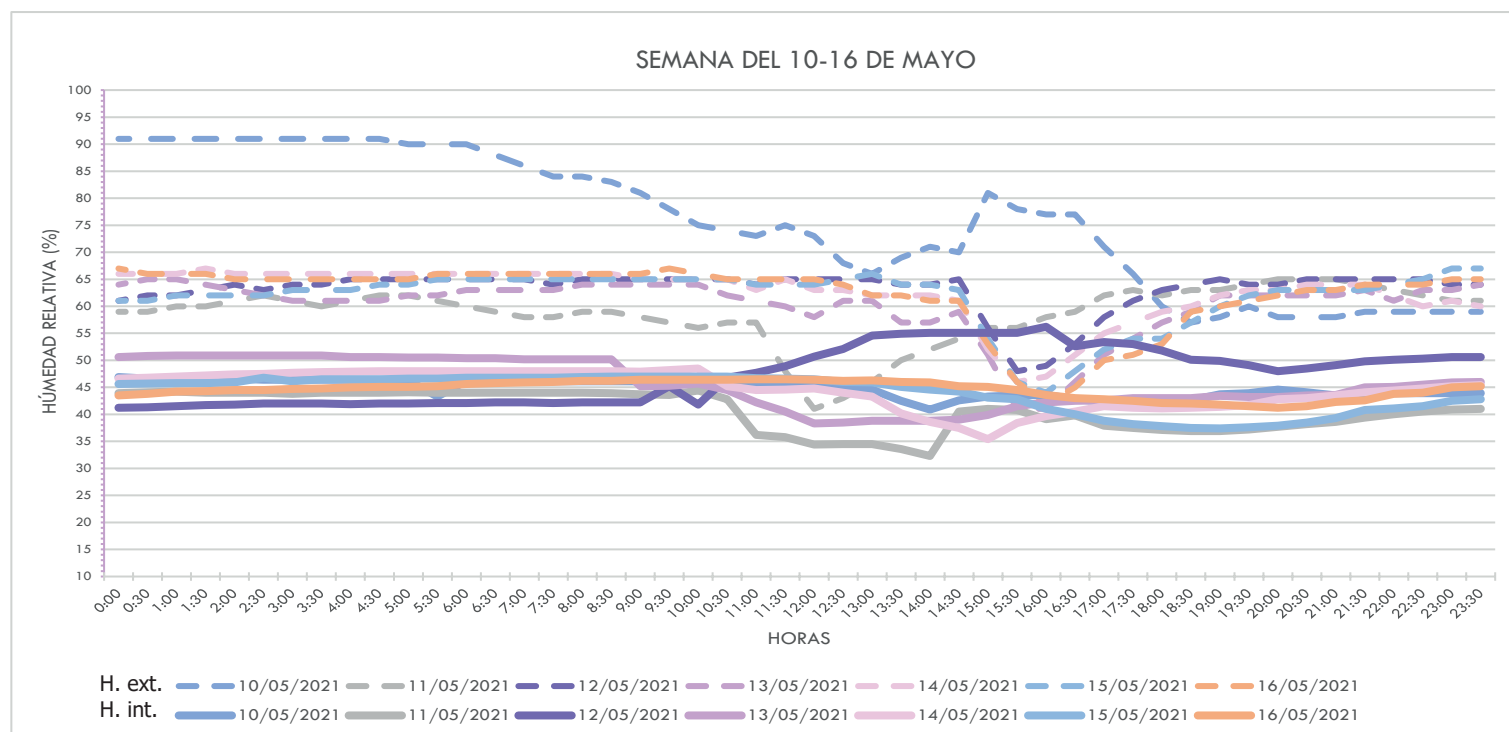


Gráfico 10_Gráfico de las humedades relativas interiores y exteriores de la clase de 4º de primaria. Líneas discontinuas: humedades relativas exteriores. Líneas continuas: humedades relativas interiores. Fuente: Propia

Por último, se muestra un gráfico (11) en el que se relacionan los datos de nivel de CO₂, y las temperaturas interiores y exteriores. En el mismo se puede apreciar que en el periodo de ocupación de las clases es cuando la temperatura interior más alta se encuentra. Esto puede ser debido a la misma tasa metabólica y el calor que pueden

desprender los ocupantes al espacio. Se puede apreciar que la temperatura comienza a bajar en el tramo donde menor nivel de CO₂ hay y además de ello coincide con la hora del recreo que es cuando se supone que no hay ocupación en las aulas.

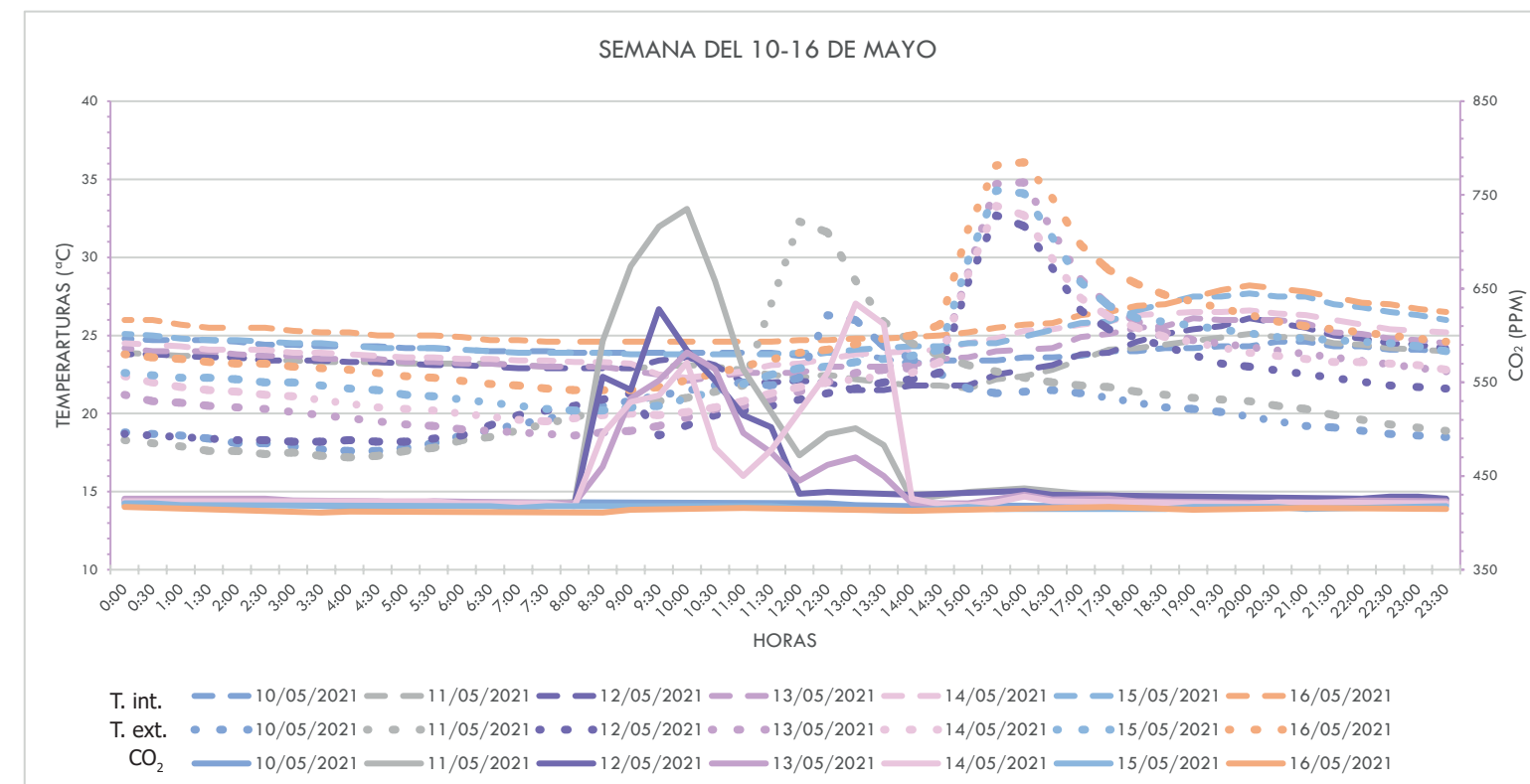


Gráfico 11_Gráfico con valores de CO₂ y temperaturas interiores y exteriores de la clase de 4º de primaria. Líneas continuas: CO₂, líneas discontinuas: temperatura interior, líneas de puntos: temperatura exterior.

- Semana con temperaturas más calurosas del 17 al 23 de mayo. En la clase de 4º de primaria.

En el gráfico (12) se puede observar un comportamiento en la evolución de la temperatura similar a los dos anteriores. Esta temperatura del aula se va manteniendo más o menos constante con una subida de temperatura muy lenta, a medida que va subiendo la temperatura exterior, esta va aumentando su valor.

En este caso no se produce una bajada de temperatura cuando la ocupación de la clase. Se puede apreciar como la temperatura del interior y exterior van siendo muy parecidas a lo largo del transcurso de las horas lectivas. En esta semana, la temperatura del aula tampoco cumple con lo recomendable en la guía.

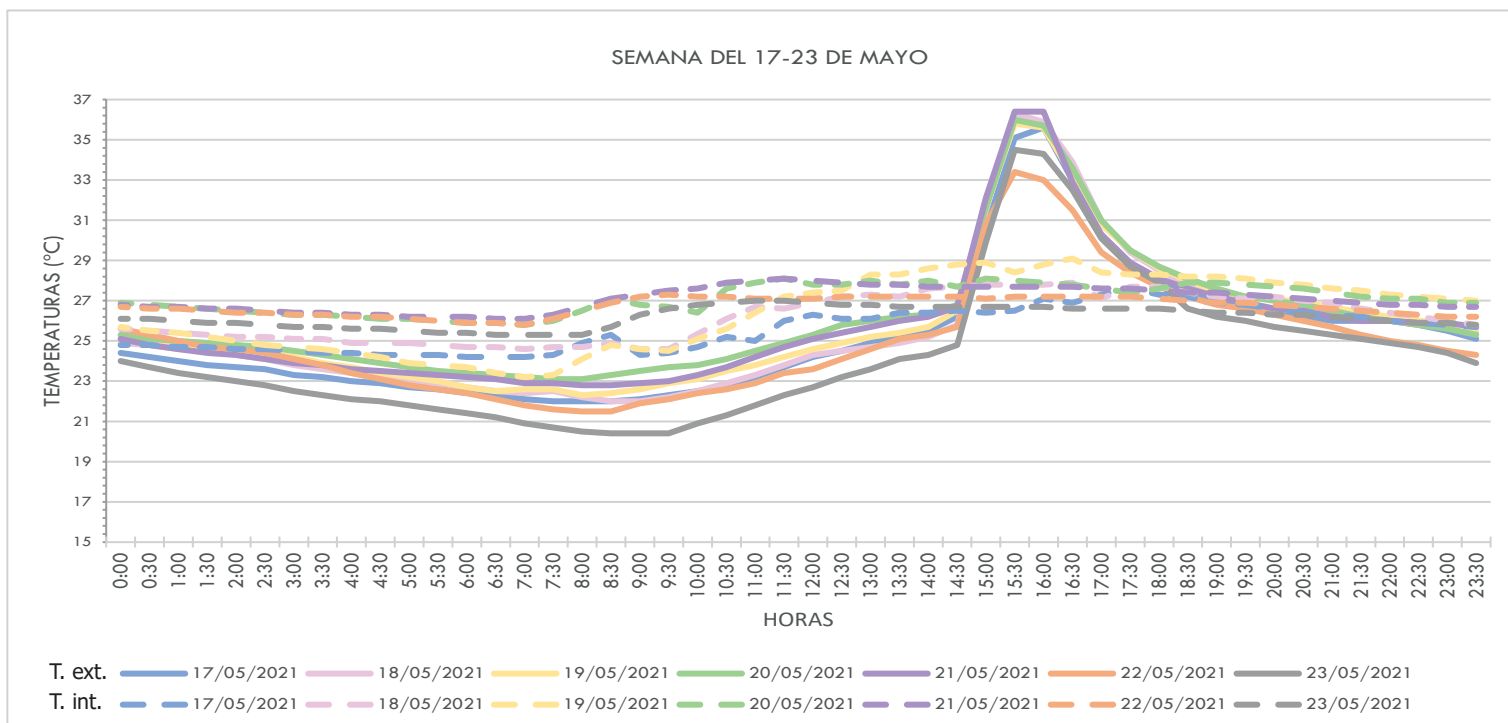


Gráfico 12_Gráfico de temperaturas interiores y exteriores de la clase de 3º de primaria. Líneas discontinuas: temperaturas interiores. Líneas continuas: temperaturas exteriores. Fuente: Propia

En siguiente gráfico (13), se muestran los niveles de CO₂, donde se aprecian valores más altos que las otras veces, pero sin llegar a superarse los valores que son considerados malos para la salud de las personas. Los picos más altos se producen al comienzo del horario de clase y al final, que estos últimos pueden deberse a que los niños se colocan al lado de la pizarra en forma de fila para que el profesor pueda ordenarlos y salir más tranquilos sin que se junten mucho con las otras clases.

Por otro lado, se puede apreciar una subida de CO₂ en una hora donde se supone que no hay ocupación, esto puede ser debido a que el profesor se quedase por la tarde para posibles claustros o reuniones con otros profesores. Por otro lado, aunque en este caso los valores son mayores, siguen sin superar el valor para esta aula que se calculó en el apartado anterior.

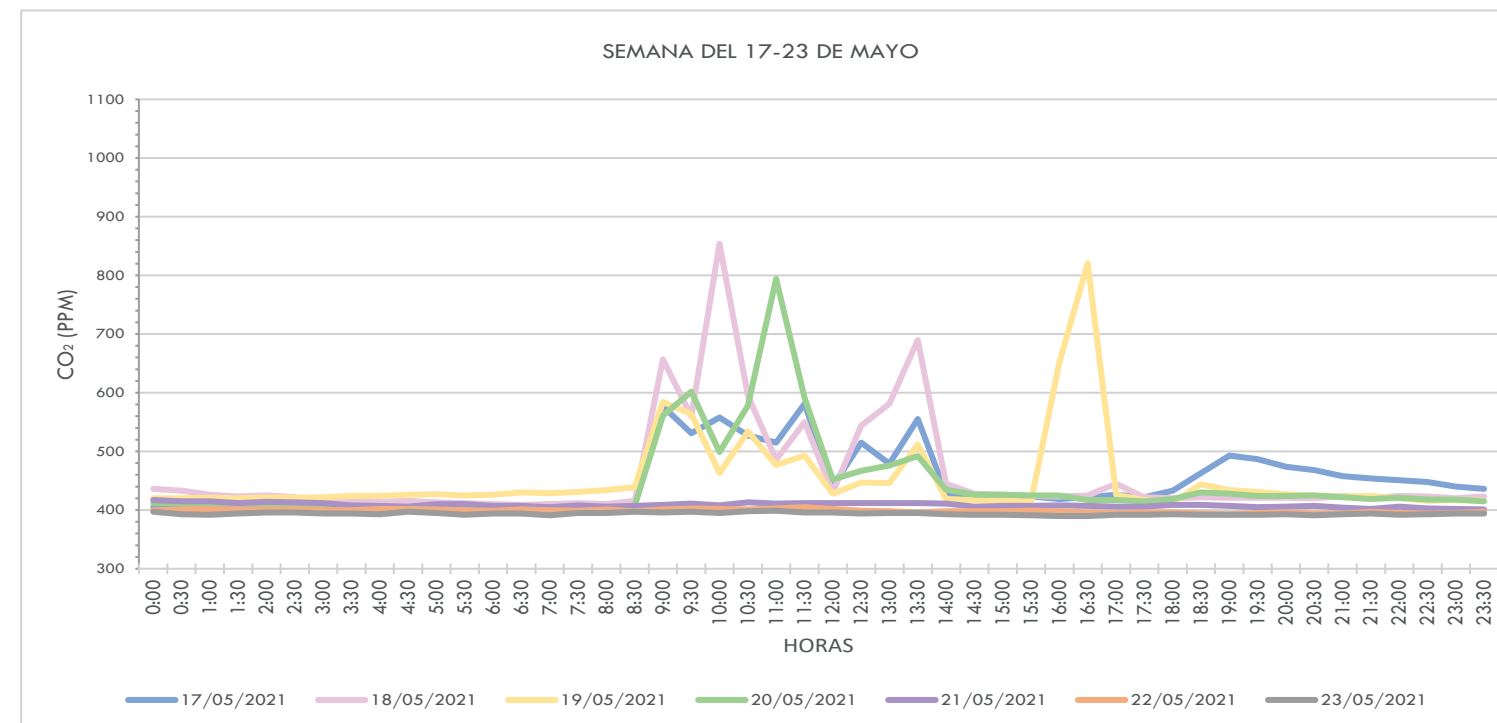


Gráfico 13_Gráfico de niveles de CO₂ de la clase de 4º de primaria. Fuente: Propia

En el siguiente gráfico (14) se muestran las humedades relativas, se pueden apreciar como los valores de humedad relativa en el exterior han ido bajando en comparación con la semana más frío, y se puede observar cómo los valores del interior y el exterior son cada vez más parecidos entre ellos.

Por otro lado, la humedad relativa ha seguido bajando con respecto a la humedad relativa de la segunda semana estudiada, llegando a valores muy bajos (casi 10%), lo que habrá podido provocar en el alumnado y profesorado, sequedad en las mucosas y garganta. Además de una gran sensación de bochorno.

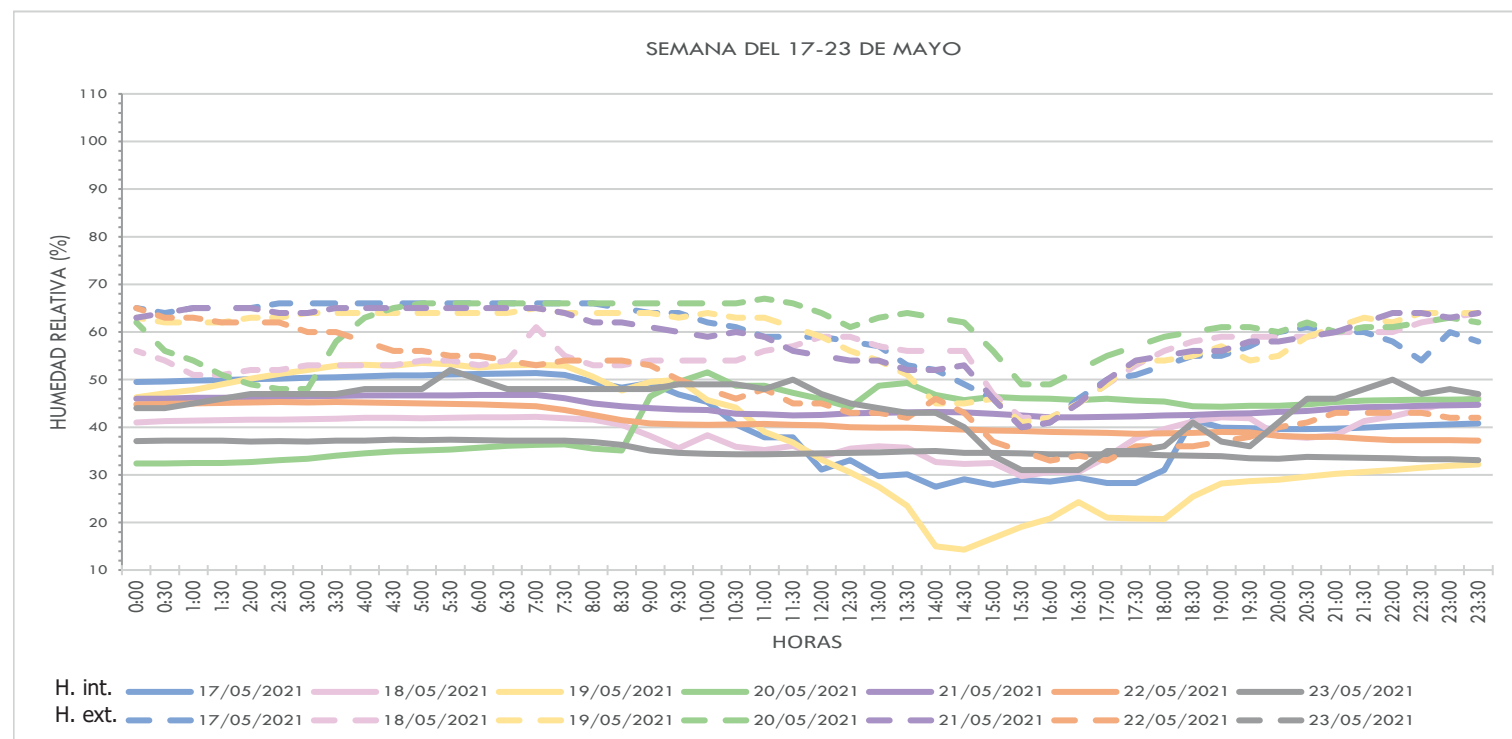


Gráfico 14_Gráfico de las humedades relativas interiores y exteriores de la clase de 4º de primaria. Líneas discontinuas: humedades relativas exteriores. Líneas continuas: humedades relativas interiores. Fuente: Propia.

Por último, se muestra el gráfico (15) comparativo donde se muestra el nivel de CO₂, y las temperaturas tanto interiores como exteriores.

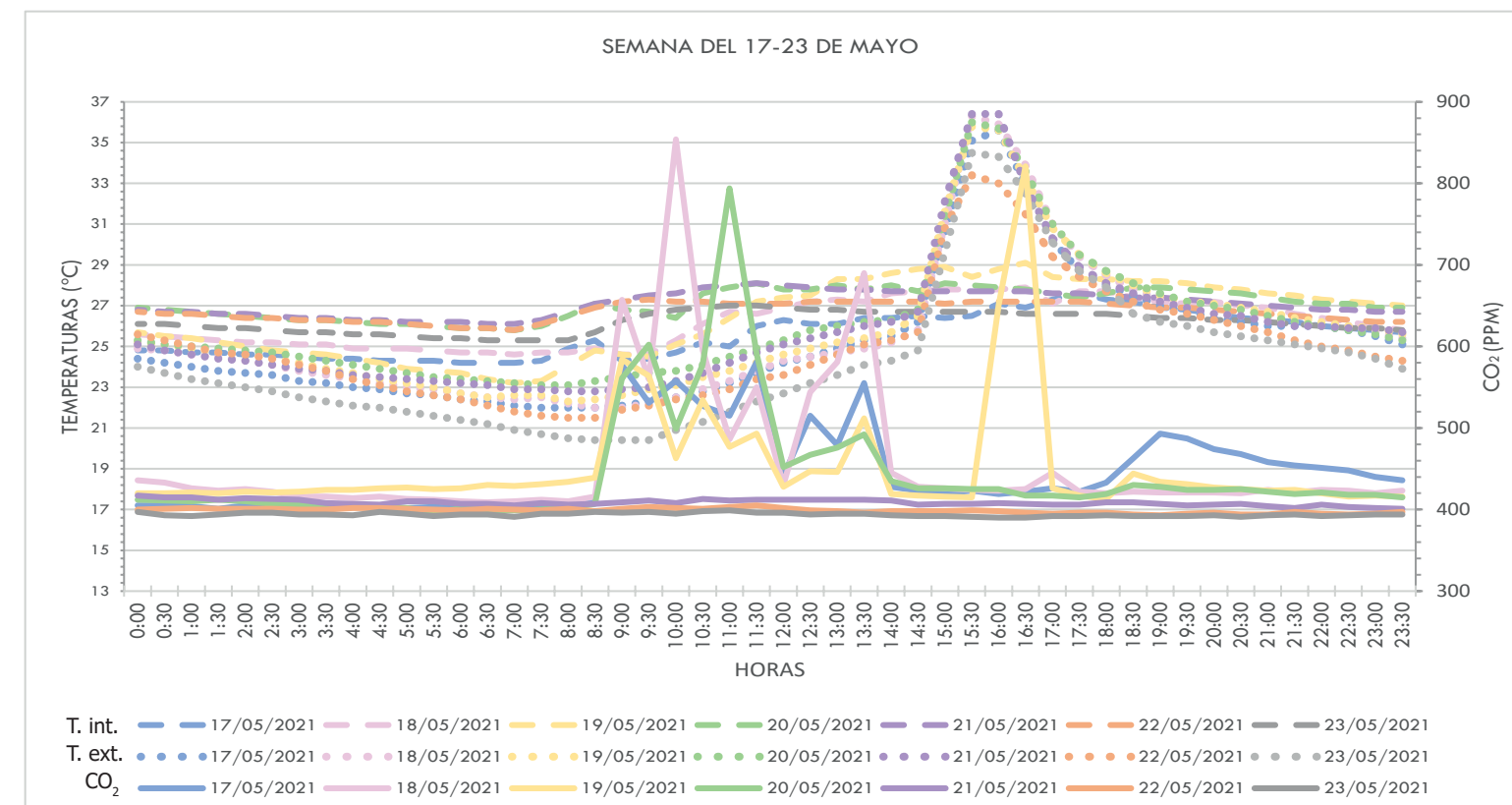


Gráfico 15_Gráfico con valores de CO₂ y temperaturas interiores y exteriores de la clase de 4º de primaria. Líneas continuas: CO₂, líneas discontinuas: temperatura interior, líneas de puntos: temperatura exterior.

6.2.2. Datos cualitativos. Encuestas.

Resultados primera encuesta:

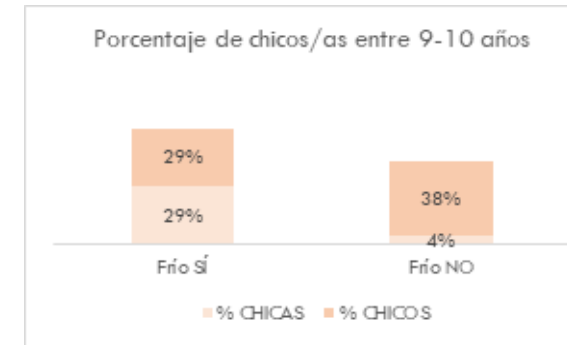
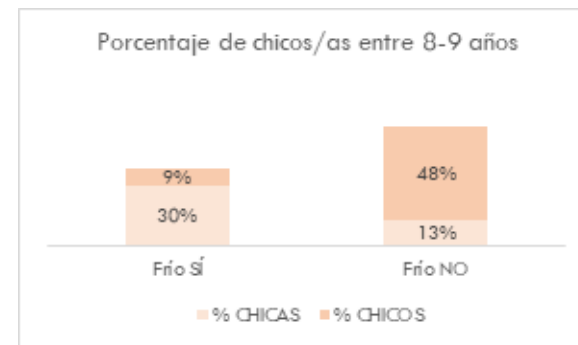
Esta primera encuesta se realizó entre el 25 y 26 marzo, a las aulas monitorizadas (3º y 4º de primaria) pero a diferentes horas, una se realizó entre las 9:20-9:35 (primera hora) y la otra sobre las 12:45-13:00 (después del recreo), para de ese modo reflejar diferentes sensaciones de confort y tasas metabólicas.

Entre las preguntas que se realizó al alumnado, una de ellas fue si habían pasado frío este invierno, debido a que tuvieron que estar con puertas y ventanas abiertas al 100%. Sus respuestas fueron las siguientes:



Gráfico 16_Gráfico de respuestas a la pregunta ¿has pasado frío este invierno? de las aulas monitorizadas.

En este gráfico (16) se puede apreciar dos datos contrarios, por un lado, los más pequeños responden la mayoría que no han pasado frío en invierno, con respecto a los niños/as entre 9-10 años, en el que la respuesta con mayor voto es que sí han pasado frío en invierno (aunque la diferencia entre los votos es menor que en la clase de 3º de primaria). Esta disparidad de respuestas podría ser porque tienen diferentes tasas metabólicas o porque los niños cuando son más pequeños tienen muy poca memoria a largo plazo, es decir, que como solo utilizan su memoria a corto plazo, solo recuerdan cómo se han sentido hace unas pocas semanas, donde las temperaturas ya han empezado a subir, y el confort en las aulas es más ameno³⁸. Con estas respuestas a esta pregunta también se analizó el sexo de los niños/as para comprobar si era cierto que las chicas son más sensibles a las temperaturas que los chicos. Como se pueden ver en los siguientes gráficos (17 y 18), un mayor porcentaje de chicos votaron que no pasaron frío en invierno tanto en 3º como 4º de primaria.



Gráficos 17 y 18_Gráficos de respuestas a la pregunta ¿has pasado frío este invierno? de las aulas monitorizadas en relación al sexo de los alumnos/as.

Otra de las preguntas fue cómo se sentían, es decir, para intentar saber si estaban en confort térmico con respecto a las temperaturas de la clase. Según los sensores, las temperaturas interiores eran aproximadamente de unos 22-23°C, mientras que la temperatura exterior era de 18°C sobre las 9:20 y de 19°C sobre las 12:45.

La respuesta con más votos fue que se sentían en una situación de confort térmico (gráfico 19). Entre estas respuestas se puede apreciar en los siguientes gráficos (20 y 21) como son un mayor porcentaje de chicos los que votan la opción de que tienen calor.

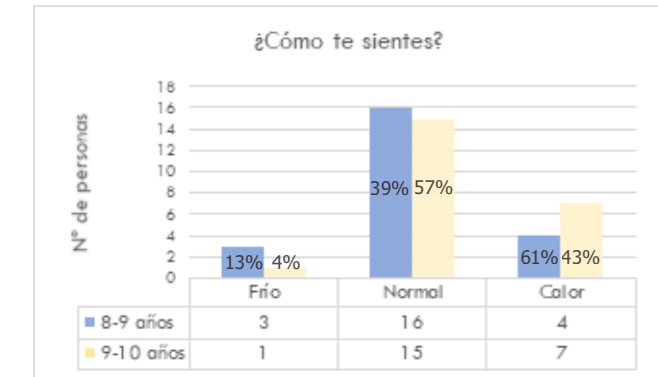
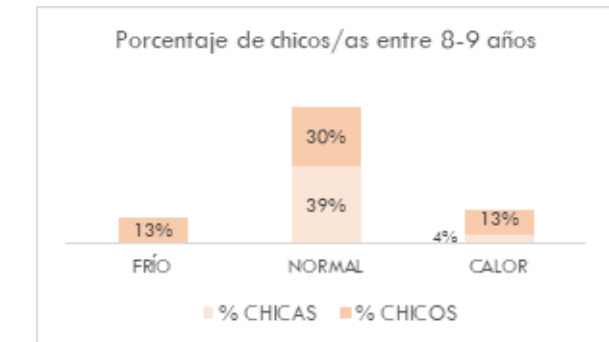
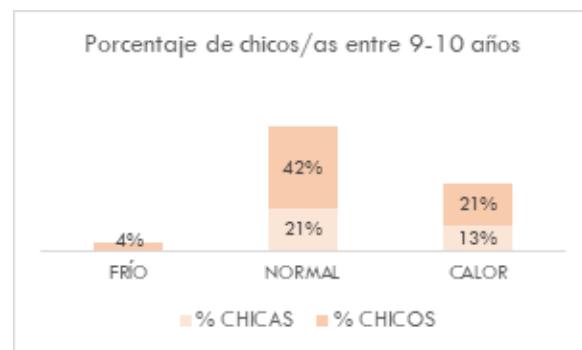


Gráfico 19_Gráfico de respuestas a la pregunta ¿Cómo te sientes? de las aulas monitorizadas.



³⁸ ESPINOSA, P., *Etapas de desarrollo de la memoria infantil*. RED CENIT Centros de desarrollo cognitivo. Valencia (2018). <https://www.redcenit.com/etapas-de-desarrollo-de-la-memoria-infantil/> Consultado el 30 de mayo de 2021.



Gráficos 20 y 21_Gráficos de respuestas a la pregunta ¿Cómo te sientes? de las aulas monitorizadas en relación al sexo de los alumnos/as.

Esta pregunta se puede poner en común con otras de las preguntas que se les realizó, en la que se preguntó por el tipo de ropa que llevaban puesto y qué actividad estaban realizando antes de hacer la encuesta.

Mientras que la pregunta de la ropa se realizó para saber si este confort térmico en el que se encuentran es debido a la cantidad o tipo de ropa que llevan. Por otro lado, la pregunta de qué estaban haciendo antes, tiene el objetivo de obtener información de su tasa metabólica.

En el siguiente gráfico (22) se puede ver que en la clase de 3º la gran mayoría aun llevan chaquetas o sudaderas para no pasar tanto frío en las clases, mientras que en la clase de 4º muchos de ellos siguen llevando sudadera/ chaqueta a pesar de que antes hayan estado en recreo, saltando, jugando o corriendo, aunque la mayoría de respuestas de la clase de 4º fue que tenían una camiseta.

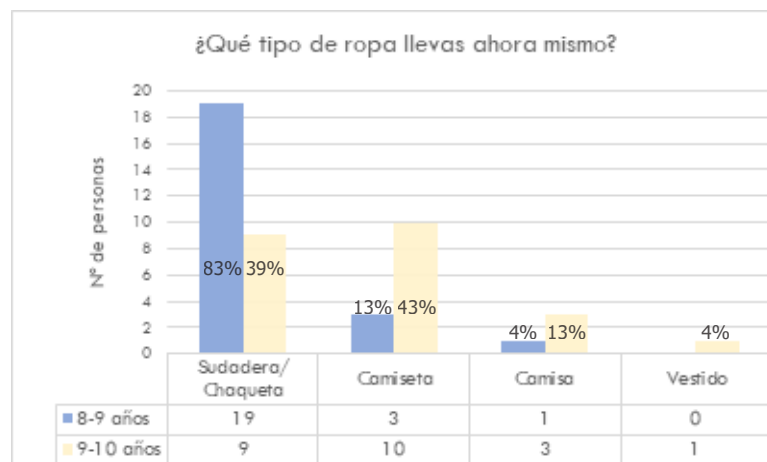


Gráfico 22_Gráfico de respuestas a la pregunta ¿Qué tipo de ropa llevas ahora mismo? de las aulas monitorizadas.

Otro dato a recordar es que aunque las encuestas se hayan realizado en días y horas diferentes las temperaturas eran muy parecidas. También se adjunta la gráfico (23) con las actividades que estaban realizando antes de la realización de la encuesta.

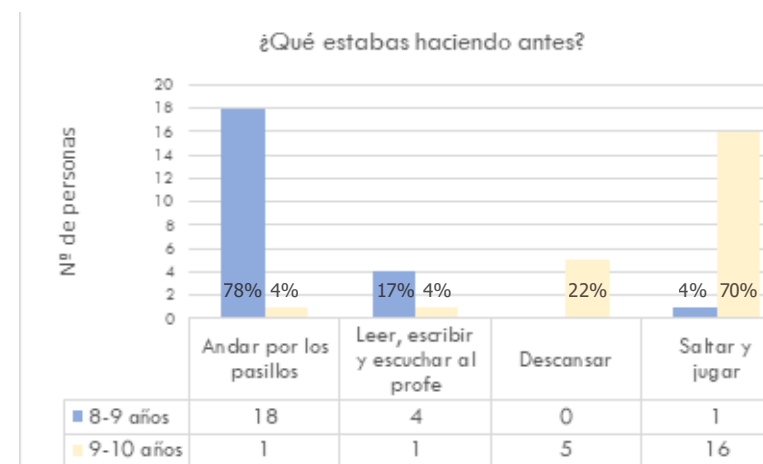


Gráfico 23_Gráfico de respuestas a la pregunta ¿qué estabas haciendo antes? de las aulas monitorizadas.

La última pregunta que se realizó sobre confort en las aulas, fue ¿preferirías pasar más o menos calor?, para obtener respuestas si en este tiempo las ventanas estaban ayudando o empeorando la sensación térmica en las aulas.

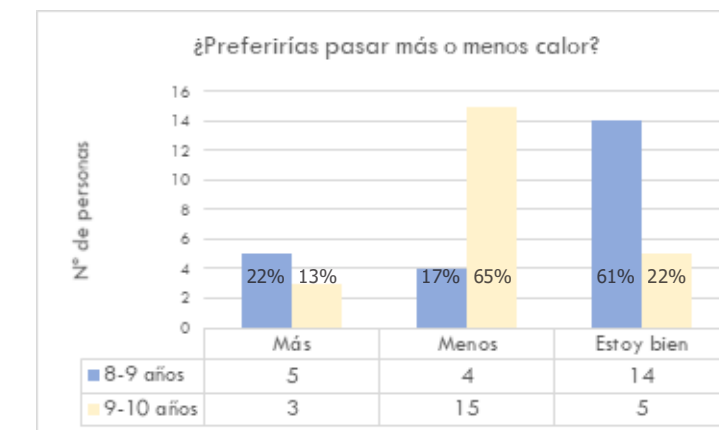
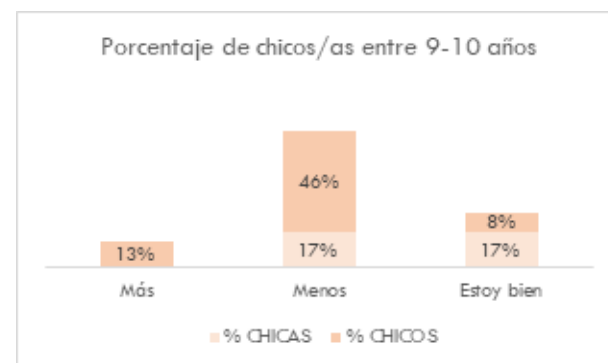
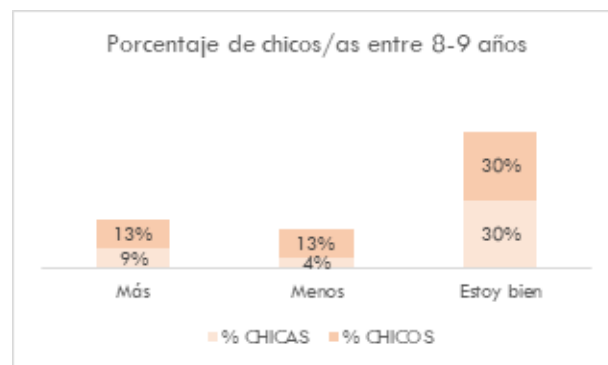


Gráfico 24_Gráfico de respuestas a la pregunta ¿preferirías pasar más o menos calor? de las clases monitorizadas.

En esta pregunta, se pueden apreciar respuestas muy contrarias (gráfico 24). En los alumnos/as de 4º de primaria, su mayor respuesta fue que necesitaban menos calor, esta respuesta puede venir dada a que venían del recreo o simplemente porque en algunos días cuando la temperatura era superior en las clases hacía bastante calor, mientras que la respuesta de los alumnos/as de 3º fue que actualmente estaban bien.



Gráficos 25 y 26_Gráficos de respuestas a la pregunta ¿preferirías pasar más o menos calor? de las clases monitorizadas en relación al sexo de los alumnos/as.

En estos gráficos (25 y 26) se puede apreciar que son los chicos los que necesitan menos calor.

Por último, se les hizo dos preguntas que iban enfocadas a la salud en las aulas, por esa razón se preguntó por el tema de la alergia y del cansancio en el tiempo que los niños pasaban en el centro, más concretamente en las clases.

Debido a que la encuesta se realizó a finales de marzo, coincidía con el comienzo de la primavera que es cuando las flores empiezan a germinar y florecer, lo que provoca el movimiento del polen y de los ácaros, y todo esto provoca en algunas personas la llamada alergia estacional³⁹. Es por ello, que, con ventanas y puertas abiertas, la corriente que se genera estaría provocando que la alergia en los niños aumente. Por lo que se pregunta si están estornudando mucho últimamente en el horario escolar.

Con esta pregunta, ambas clases dicen cosas contrarias (gráfico 27), por lo que no se pueden sacar conclusiones de si realmente las ventanas abiertas, está perjudicando la alergia de los alumnos. Debido a que los alumnos más mayores, su respuesta con más votos fue que si están estornudando mucho, y los más pequeños votaron que no. Esta pregunta se contrastará con las respuestas de las otras clases en la que participaran niños/as mayores de 10 años.

³⁹ GREEN, N.A., *Alergia estacional (fiebre del heno)*. KidsHealth from Nemours. (2013). <https://kidshealth.org/es/parents/seasonal-allergies-esp.html#:~:text=Signos%20y%20s%C3%ADntomas&text=Los%20s%C3%ADntomas%20de%20la%20alergia,congesti%C3%B3n%20nasal> Consultado el 30 de mayo de 2021.

En relación a la pregunta del cansancio, se realiza debido a que existen estudios que exponen que con altos niveles de CO₂ sobre los 1000 ppm, los niños/as pueden presentar dolores de cabeza, cansancio o fatiga a lo largo de las horas. Después de realizar la encuesta se pudo comprobar que este hecho es poco probable en tiempos de covid-19 en este colegio concretamente, debido a que los datos obtenidos de CO₂ por los sensores, son bastantes óptimos salvo en algunos puntos, puesto que no suelen superar los 800 ppm.

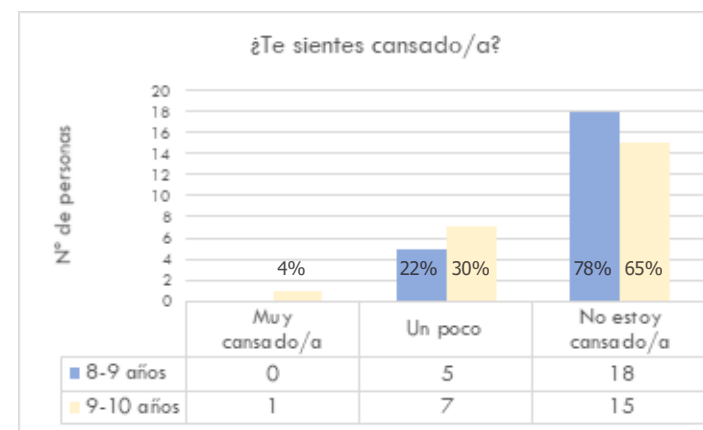


Gráfico 28_Gráfico de respuestas a la pregunta ¿te sientes cansado/a? de las clases monitorizadas.

Para poder contrastar estos datos de una forma más correcta, se decidió realizar esta misma encuesta a nueve clases más con diferentes edades de 7 a 12 años, más concretamente clases de 2º a 6º de primaria. Esta encuesta se realizó aproximadamente un mes después de la primera encuesta a las aulas monitorizadas, pero las condiciones térmicas eran muy parecidas entre ambos días. Esta encuesta se realizó entre los días 21 y 22 de abril con unas temperaturas exteriores alrededor de 22°C y la temperatura de las aulas tenían una temperatura promedio de 23° C.

En la pregunta de si habían pasado frío en el invierno, la gran mayoría (72,37%) votaron que sí habían pasado frío en el pasado invierno, por lo que se corrobora con las respuestas de las clases monitorizadas que los niños/as en las escuelas no estuvieron en confort térmico durante esta estación (gráfico 29), debido a que la sensación térmica en las aulas era inferior a la recomendada por las normativas. En este porcentaje del 72,37%, el 40% son chicas, lo que se repite de nuevo de que las niñas sean más sensibles al frío que los niños (gráfico 30).

Con este rango de edad se puede apreciar que ya los niños/as de estas edades tienen la memoria a largo plazo mucho más desarrollada.

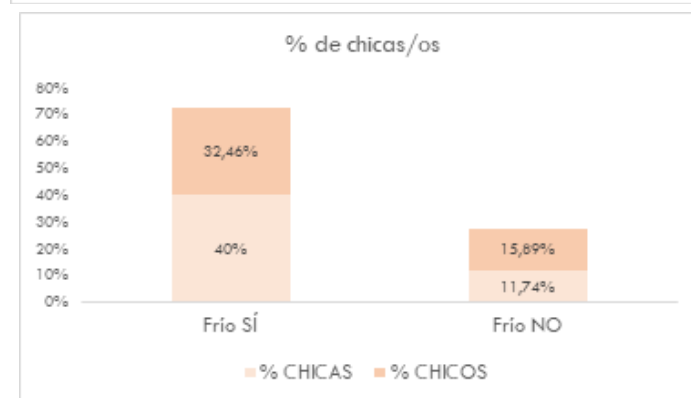


Gráfico 29 y 30_Gráfico de respuestas a la pregunta ¿has pasado frío este invierno? de las aulas de 2º a 6º de primaria. Y gráfico en relación al sexo de los alumnos/as.

En las preguntas relacionadas con el confort térmico, las respuestas fueron muy parecidas a la de las clases monitorizadas, debido a que la gran mayoría del alumnado (59,65%) se encontraba en un confort térmico, y teniendo en cuenta que el 45,61% aun llevaba sudadera o chaqueta en el momento que se realizó la encuesta, unos valores muy parecidos con respecto a las encuestas realizadas hace un mes en las clases monitorizadas. Con respecto a la pregunta del confort ideal para el alumnado, el 50% voto que su sensación térmica era adecuada, y no deseaba modificar la temperatura interior en las aulas, por lo que se estima que las ventanas y puertas abiertas están siendo un gran sistema pasivo para ventilar y refrescar las aulas a través de las corrientes de aire, siempre que la temperatura del exterior lo permita y sea agradable.

En relación con las preguntas que iban más enfocadas al tema de la salud, en la pregunta de si estaban estornudando más con las ventanas abiertas, la respuesta con mayor porcentaje de respuestas fue la de un poco con 49,12%, por lo que se supone que el tener las ventanas no agrava el aumento de ácaros y partículas de polen en las aulas debido a las corrientes de aire, si no que puede que el uso de mascarillas en las aulas, mejore esa exposición.

Como se comentó anteriormente, la pregunta del cansancio del alumnado por motivos de altos valores de CO₂ era algo poco probable debido a que los niveles eran muy bajos como para ser perjudiciales para la salud. Aun así, la respuesta con mayores votos del alumnado fue que no se encontraba cansado.

En general, el alumnado en este periodo de tiempo (primavera) manifiesta encontrarse en condiciones de confort térmico, debido a que las temperaturas no son muy altas y las corrientes de aire que se crean a través de la ventilación cruzada que se obtiene en las aulas con ventanas y puertas abiertas.

Resultados segunda encuesta:

Esta segunda encuesta se realizó el 17 de junio, solamente en las aulas que estaban monitorizadas. Esta encuesta consistió en las mismas preguntas que la anterior, salvo dos preguntas que se cambiaron para obtener unas valoraciones del cambio de temperatura de estas fechas con la que se realizaron en la primera encuesta. Estas preguntas fueron casi las mismas, para realizar una comparación de las diferentes sensaciones térmicas que tenían en la primera encuesta y las que tienen con la segunda.

Una de las nuevas preguntas que se realizó fue: ¿Estás pasando calor en la clase? Para intentar averiguar si la sensación térmica en las aulas es parecida a la de estar en el exterior.

En ambas clases se pueden apreciar respuestas contrarias (gráfico 31), esto es debido a que la clase de tercero había una gran corriente de aire fresco, que daba la sensación de frío en el aula. Y como en estas fechas ya se habían quitado los films de plástico que se pusieron en noviembre, la corriente iba directa hacia la cara de los niños provocando mayor falta de confort térmico.

Sin embargo, en la otra clase, la sensación en el aula era de calor.

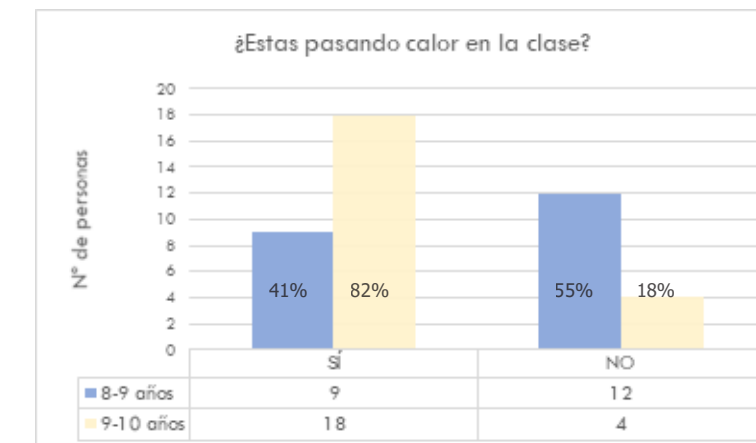
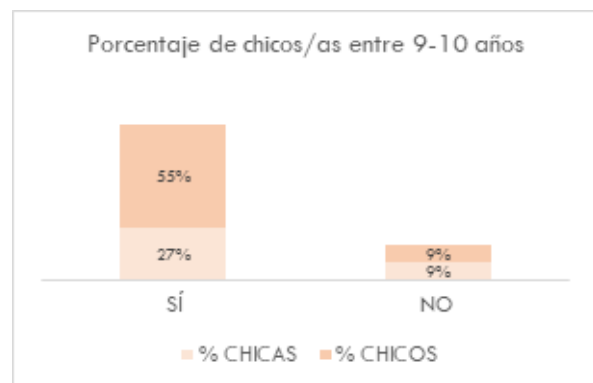
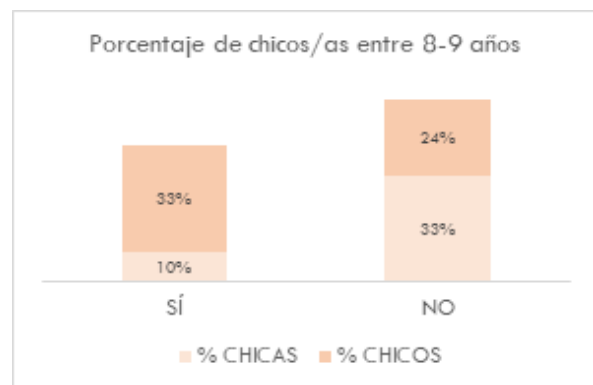


Gráfico 31_Gráfico de respuestas a la pregunta ¿Estas pasando calor en la clase? de las clases monitorizadas.

En este caso (gráficos 32 y 33) se vuelve a apreciar como los chicos son más sensibles al calor, y la gran mayoría de los votos de que si tenían calor son de chicos en las dos clases.



Gráficos 32 y 33 _Gráficos de respuestas a la pregunta ¿Estas pasando calor en la clase? de las clases monitorizadas en relación al sexo de los alumnos/as

Otra de las preguntas nuevas que se realizó fue: ¿Cómo prefieres las ventanas? Para de ese modo obtener opiniones de si en este tiempo son beneficiosas para el confort térmico en las aulas. (Gráfico 34).

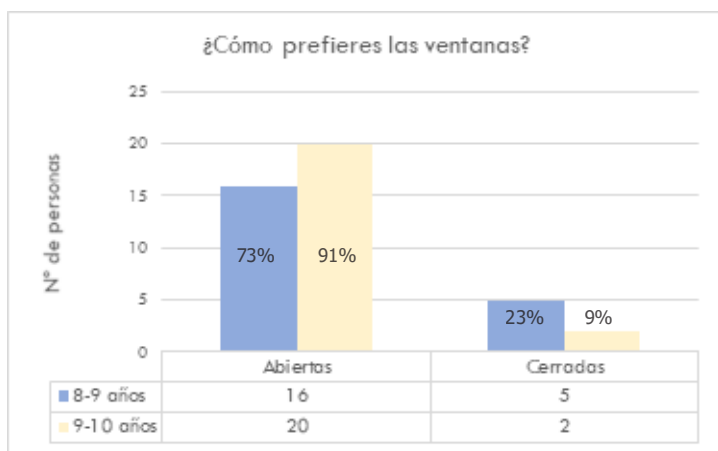


Gráfico 34 _Gráfico de respuestas a la pregunta ¿Cómo prefieres las ventanas? de las clases monitorizadas.

En esta pregunta se puede ver una clara respuesta afirmativa, de que los niños actualmente prefieren las ventanas abiertas a pesar de las temperaturas exteriores.

En relación a las preguntas que se realizaron también en la primera encuesta sobre el confort térmico.

En la pregunta de sensación térmica en el momento que se realizó la encuesta la gran mayoría (73%) de la clase de 4º se encontraba en confort, mientras que en la clase de tercero debido al viento que entraba en la clase, la respuesta con mayores votos (10 de 21 en total) fue la de que tenían frío como se puede ver en el gráfico (35).

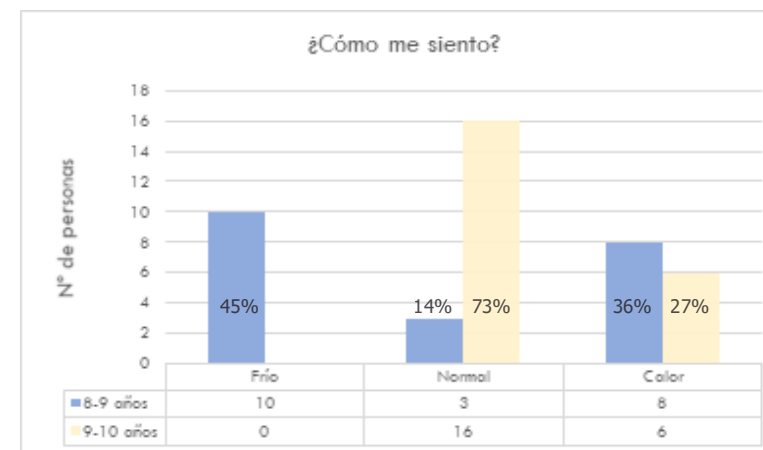
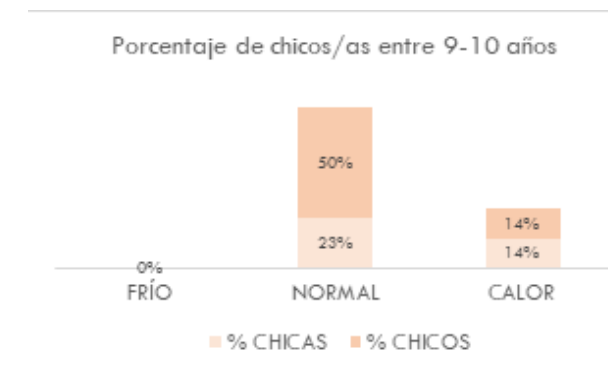
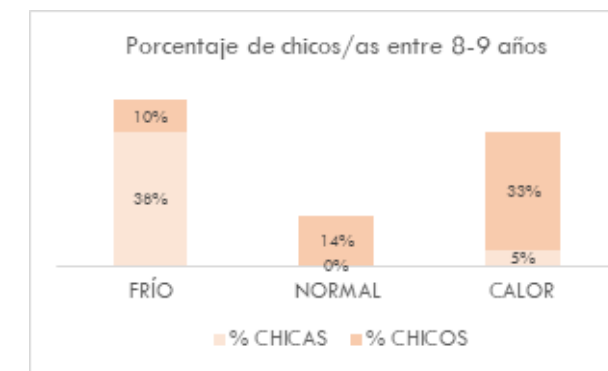


Gráfico 35 _Gráfico de respuestas a la pregunta ¿Cómo me siento? de las clases monitorizadas.

En esta pregunta se ve claramente también como las niñas son más sensibles a las temperaturas bajas, mientras que los niños lo son a las altas. (Gráficos 36 y 37).



Gráficos 36 y 37 _Gráficos de respuestas a la pregunta ¿Cómo me siento? de las clases monitorizadas en relación al sexo de los alumnos/as.

Esta pregunta al igual que en la primera encuesta se puede poner en común con la del tipo de ropa que llevaban puesto y qué actividad estaban realizando antes de hacer la encuesta.

En el gráfico (38) se puede ver como la mayoría de los niños/as ya llevan camisetas de mangas cortas o similar, aunque en la clase de tercero la segunda ropa más usada es la sudadera o chaqueta debido a lo que ocurría en ese aula comentado anteriormente.

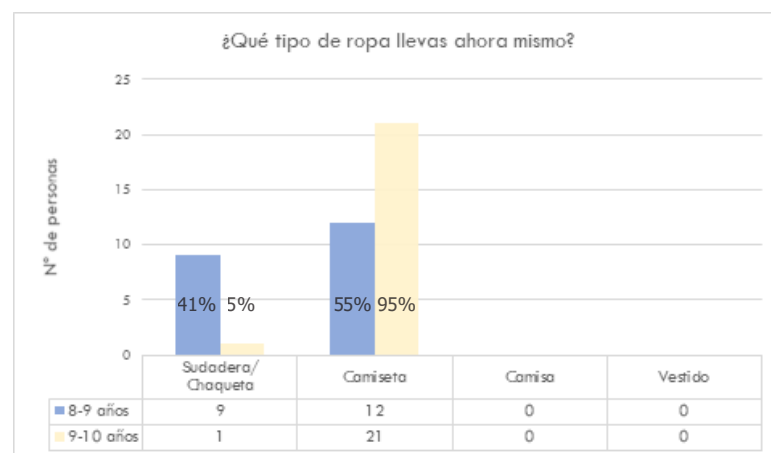


Gráfico 38_Gráfico de respuestas a la pregunta ¿Qué tipo de ropa llevas ahora mismo? de las clases monitorizadas.

En relación con las actividades que estaban realizando antes de la realización de la encuesta, al tratarse de la primera hora de clase, hay una gran variedad de respuestas.

La última pregunta de confort realizada fue: ¿Preferirías pasar más o menos calor?, para ver si su nivel de confort ha cambiado con el aumento de las temperaturas. En esta pregunta surgen respuestas contrarias debido a que la clase de 3º la gran mayoría (59 %) quiere pasar más calor, esto puede ser debido a la memoria a corto plazo que se tiene en esas edades, y como en ese momento estaban pasando un poco de frío pues no se acuerdan a días anteriores donde las temperaturas han sido más altas. Por otro lado en la clase de 4º, la mayoría (55 %) preferiría pasar menos calor en el aula, aunque la segunda respuesta con mayor votos se encuentra en confort (41 %). En la otra encuesta esta misma respuesta tuvo resultados parecidos pero la diferencia entre menos y estado de confort en el aula de 4º era menor como se puede apreciar en el siguiente gráfico (39).

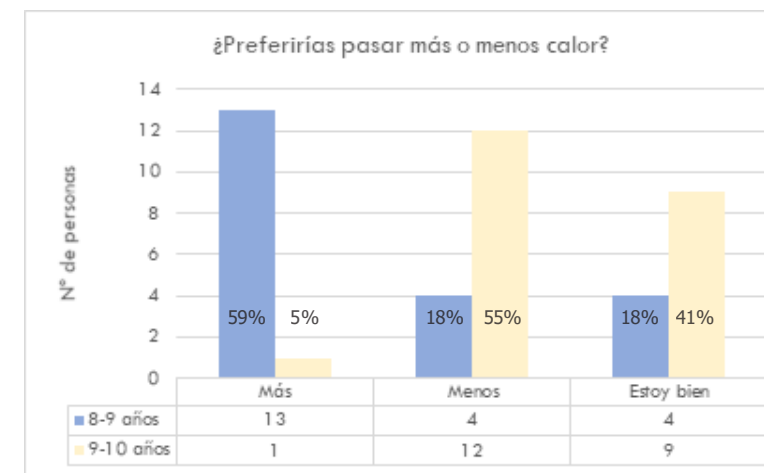


Gráfico 39_Gráfico de respuestas a la pregunta ¿Preferirías pasar más o menos calor? de las clases monitorizadas.

En esta preguntas se demuestra de nuevo la diferente sensibilidad de temperaturas entre chicos y chicas.

En las respuesta que tienen relación con la salud salieron respuestas muy parecidas a los de la primera encuesta. En la pregunta de si estaban cansados, la mayor parte del alumnado respondió que no estaba cansado (50 % en la clase de 4º y 73 % en la clase de 3º), es por ello que se da por nula la opción de cansancio por altos niveles de CO₂.

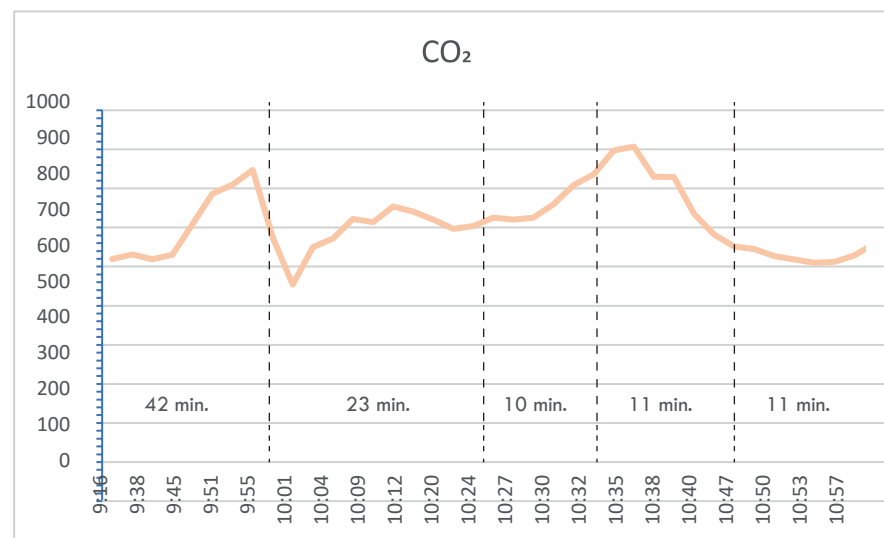
En el caso de la pregunta de si estornudaban mucho en el aula con las ventanas abiertas, se produce un mayor número de respuestas que no estornudas en ambas clases, mientras que en la primera encuesta salió respuestas más contradictorias.

7. Hipótesis y estrategias de mejora.

Una vez analizados todos los resultados obtenidos, se ha podido observar cómo los niveles de CO₂ son adecuados en la mayor parte del tiempo de todas las semanas monitorizadas, salvo algunos en algunos casos puntuales, pero vuelven a ser estables en un corto plazo. Estos adecuados niveles de concentración de CO₂ pueden deberse a un exceso de caudal de ventilación que se está produciendo en las aulas, con niveles que casi nunca llegan a las 1000 ppm al estar 5 horas continuas ventilando. Sin embargo, esta excesiva ventilación no ha favorecido al confort térmico, principalmente con temperaturas más extremas, debido a que las condiciones de temperatura interior eran muy parecidas a las de

la temperatura exterior.

Es por ello que se realizó un protocolo de mejora (gráfico 40) para valorar si es necesaria la ventilación todo el tiempo o simplemente no se deban tener todas las ventanas y puertas abiertas a la vez. Para el protocolo se plantearon varias hipótesis de apertura de puertas y ventanas en un tiempo de dos horas en la clase de 4º de primaria (imágenes 31 y 32) debido a que en la que se han estado obteniendo valores un poco más altos que en la de 3º de primaria.



HIPÓTESIS 0 HIPÓTESIS 1 HIPÓTESIS 2 HIPÓTESIS 3 HIPÓTESIS 0 HIPÓTESIS 4 HIPÓTESIS 0

Gráfico 40_Gráfico resumen de las hipótesis realizadas durante dos horas.



Imagen 31_Durante la realización de las hipótesis en el aula de 4º de primaria.



Imagen 32_Durante la realización de las hipótesis en el aula de 4º de primaria, con las puertas cerradas.

El estudio se comenzó a las 9:16 con la totalidad de las ventanas y una de las puertas, debido a que la otra puerta siempre se encuentra cerrada como consecuencias de las corrientes que se generan que logran cerrarla. En este momento se cierran las dos ventanas centrales.

- **Hipótesis 1:** 50% apertura de ventanas y puertas.

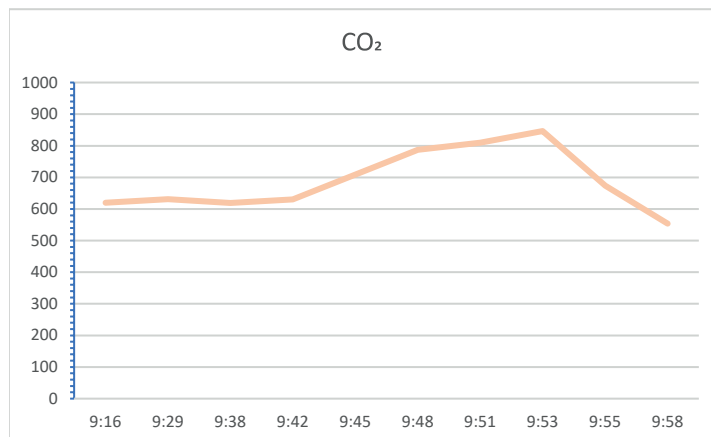
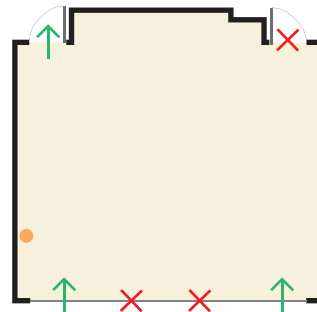
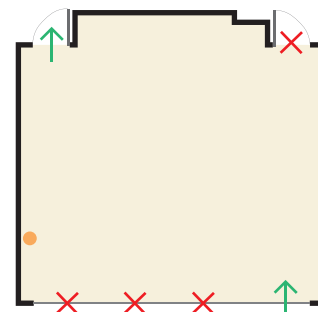


Gráfico 41_ Hipótesis 1 con una duración de 42 minutos.

Una vez pasados unos 30 minutos los valores de concentración de CO₂ superaron el valor recomendado de 700 ppm., valor en el que los niveles de CO2 comienzan a ser de óptimos a adecuado. En el gráfico (41) se puede apreciar como el proceso de subida se va realizando lentamente. Cuando pasan 8 minutos más se consigue un valor de 847 ppm. En los minutos posteriores se producen un aumento de la corriente del aire que entra por las ventanas lo que hace bajar el nivel a 674 ppm., minutos después el nivel de CO₂ continúa bajando, aunque se tengan la mitad de puertas y ventanas cerradas.

Ante esta situación se decide cerrar otra ventana, dejando que se siga realizando una ventilación cruzada en el aula.

- **Hipótesis 2:** 25% apertura de ventanas y 50% de puertas.



Pocos minutos después del cierre de una de las ventanas, comienza a subir los niveles de CO₂ y se vuelven a superar los 700 ppm., tras aproximadamente pasados unos 20 minutos los valores se mantienen más o menos estables como se puede ver en el gráfico (42), por lo que se decide cerrar la última puerta que está abierta.

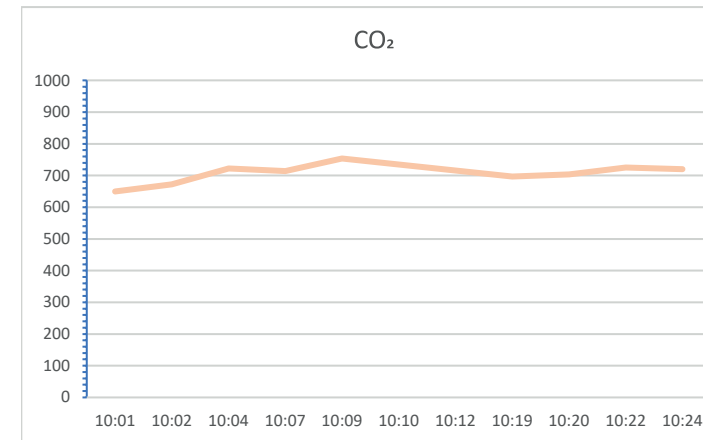
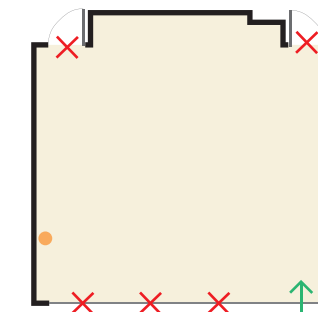


Gráfico 42_ Hipótesis 2 con una duración de 23 minutos.

- **Hipótesis 3:** 25% apertura de ventanas.



Con esta opción al disminuir significativamente la ventilación, los valores de CO₂ aumentan rápidamente (gráfico 43) en tan solo 7 minutos, una vez alcanzado un valor superior a 900 ppm., se decide la apertura de puertas y ventanas, debido a que no se cree necesario llegar a valores

superiores que puedan poner en riesgo a los integrantes del aula.

Seguidamente se abren la totalidad de las puertas y las ventanas para que el nivel de CO2 vuelva a ser el adecuado.

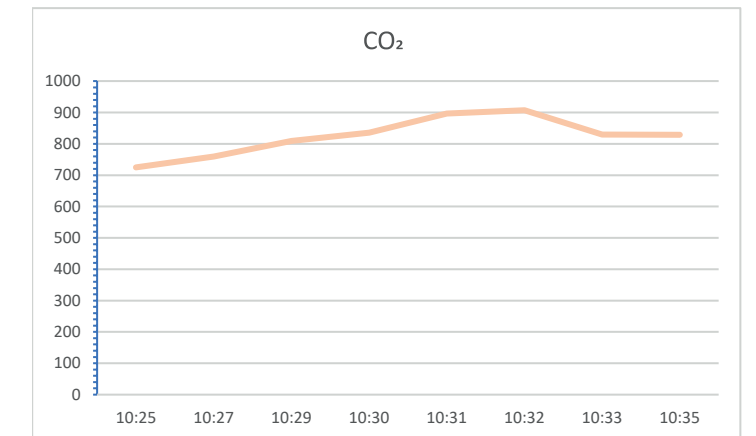
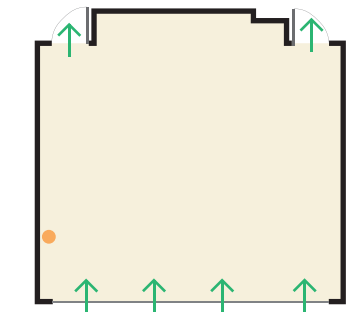


Gráfico 43_ Hipótesis 3 con una duración de 7 minutos.

- **Hipótesis 0_estado inicial:** 100% apertura de ventanas y puertas.



El aula tarda aproximadamente unos 11 minutos en volver a su nivel inicial. En el gráfico se puede apreciar como esa bajada se produce gradualmente como se observa en el gráfico (44).

Una vez alcanzado de nuevo un valor adecuado de CO₂, se opta por probar una nueva hipótesis, el cierre de las dos puertas.

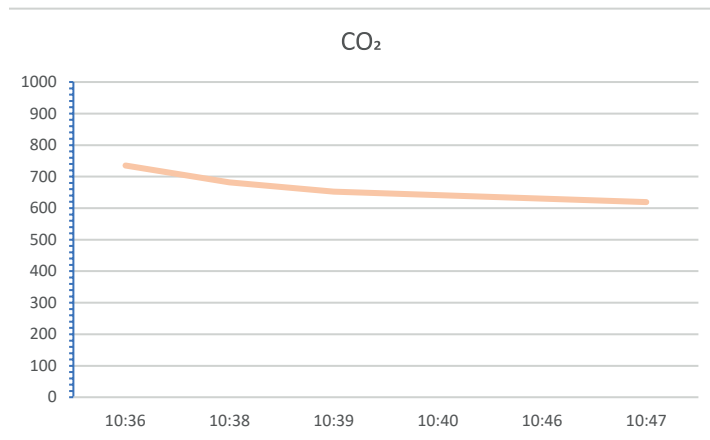
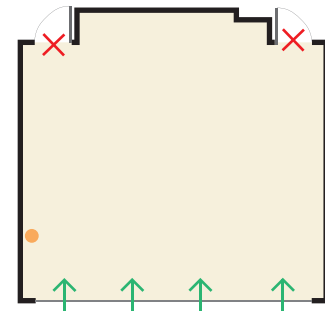


Gráfico 44_ Hipótesis 0 con una duración de 11 minutos.

- **Hipótesis 3:** 25% apertura de ventanas.

- **Hipótesis 4:** 100% apertura de ventanas.



Una vez cerradas las puertas, el nivel de CO₂ comienza a subir progresivamente durante los 11 minutos que dura esta hipótesis. En esta hipótesis no se llega a niveles más altos, debido a que el cierre de ventanas y puertas en el periodo de la realización de las hipótesis creo un aumento de la temperatura del aula. Lo que provocó una gran sensación de bochorno, por lo que se decidió parar con el estudio.

Durante la realización de estas hipótesis el sensor ambiental estaba realizando mediciones cada 5 minutos, y en los datos volcados por el programa se puede apreciar esta subida de temperatura en el aula comentada en el gráfico siguiente:

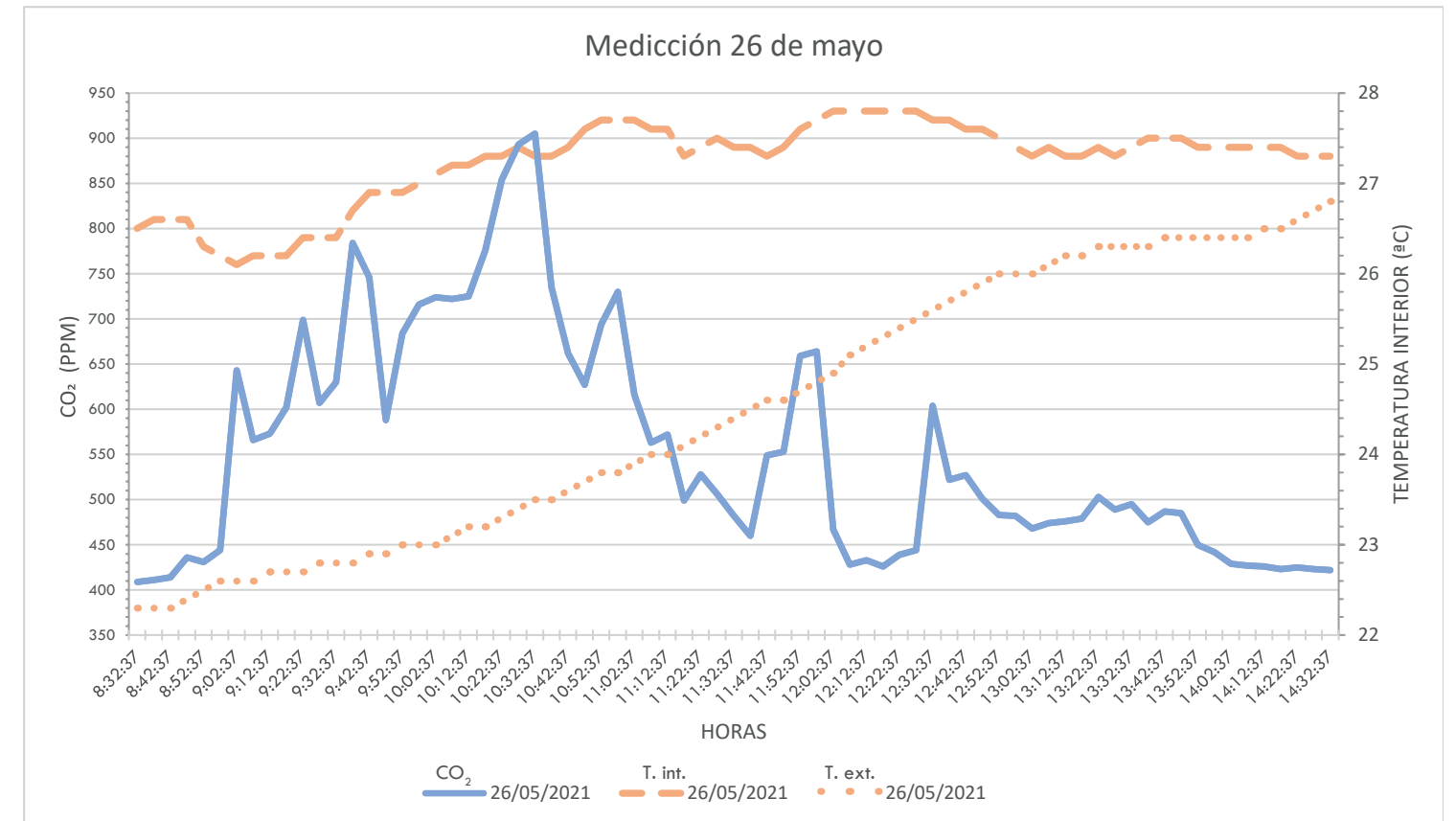


Gráfico 45_ Medición del día 26 de mayo. Fuente: Wöhler CDL 210.

A continuación, se ha realizado una tabla resumen que recoge los siguientes datos de todas las hipótesis realizadas:

	Hipótesis 0'	Hipótesis 1	Hipótesis 2	Hipótesis 3	Hipótesis 0	Hipótesis 4
Sup. abierta de ventana (m ²)	2,53	1,27	0,63	0,63	2,53	2,53
Sup. a bierta de p uerta (m ²)	1,94	1,94	1,94	0 3	,89	0
Nivel máx. de CO ₂	602 8	46	776	905	735	730
Temperatura interior máx.	26,2	26,9	27,3	27,3	27,3	27,7
Temperatura exterior máx.	22,7	23	23,2	23,5	23,5	23,8

Teniendo el aula total un área aproximada de 138,97 m³ y normalmente el aula esta ocupada por 24 integrantes, el volumen de aire que le corresponde a cada persona es de 5,79 m³. Tras la valoración de las diferentes hipótesis de ventilación se considera que la más adecuada es la hipótesis 1 en periodos más calurosos, debido a que en ella se consigue una ventilación cruzada que hace que se cree cierta corriente, generando una buena ventilación y una adecuada sensación térmica en el aula en un periodo de tiempo bastante extenso. Otra de las hipótesis que funciona bien es la hipótesis 2, pero la reducción de la superficie de ventilación tiene el inconveniente de aumentar ligeramente la temperatura interior en el aula, pero esta hipótesis se podría utilizar en periodos menos calurosos. La hipótesis con peores datos es la 3, debido a que ella apenas se genera movimiento del aire en el aula, aumentando el nivel de concentración de CO₂ y temperatura interior.

8. Conclusiones.

La actual pandemia debido a la covid-19 ha puesto en evidencia las inadecuadas condiciones ambientales en los centros docentes vinculadas con la salud y el confort. Tras el análisis de los resultados realizados en el CEIP Pedro Alonso Niño, Moguer (Huelva), tanto cuantitativos, mediante los sensores ambientales, como cualitativos, a través de encuestas al alumnado, se extraen las siguientes conclusiones:

- Los centros docentes no funcionaban correctamente en relación a las exigencias básicas exigidas en la norma antes de la pandemia, lo que conlleva a que no estuvieran preparados para la pandemia del covid-19. Las aulas de nuestros edificios docentes, al igual que las anteriores pandemias, no han sabido dar respuesta a las exigencias de salud y confort. Los inexistentes o no utilizados sistemas de ventilación mecánica exigidos por la normativa han hecho necesario recurrir a la ventilación natural para evitar problemas de contagio.

- La ventilación en las aulas estudiadas ha tenido niveles de concentración de CO₂ inferiores a 700 ppm, adecuados durante todo el periodo de monitorización. Debido a que se han cumplido con las exigencias de las guías de recomendaciones frente al covid-19, de la apertura del 100% de ventanas y puertas durante todo el horario escolar. Estos datos han sido favorables a pesar de no haberse reducido la ratio del alumnado en las aulas, y que no se abriesen las ventanas antes de la ocupación de las aulas.

- La consecución de unas adecuadas condiciones de salud ha mermado significativamente las condiciones de confort en las aulas. Debido a que en las aulas se ha llegado a pasar bastante frío en invierno y actualmente con las temperaturas

más altas en el exterior (21-35 °C), se están llegando a tener en el interior del aula unas temperaturas de 23-28 °C. Pero esta ventilación excesiva en periodos con temperaturas más templadas si fue una ventaja, en la que se tenían en el exterior una temperatura entre 15-21 °C y en el aula entre 20-24 °C.

- La sensación subjetiva de confort se ha evaluado mediante las encuestas realizadas al alumnado. En general la gran mayoría se encontraba en un estado de confort en la estación de primavera, y con el aumento de la temperatura en estas últimas semanas empezaron a experimentar una falta de confort debido al alto valor de temperaturas en las aulas. Aun así, el alumnado prefería tener las ventanas abiertas, debido a que en ciertas ocasiones se llegaba a generar cierta corriente que daba la sensación de frescor. Mientras que en invierno esta ventilación fue un contratiempo para lograr que las aulas estuvieran a una temperatura adecuada debido a que la gran mayoría del alumnado paso frío en las aulas.

- Las inadecuadas condiciones de confort demuestran que los protocolos de ventilación seguidos no han sido los más adecuados, ya que las aulas han estado demasiado ventiladas. Tras la realización de diferentes protocolos se ha podido determinar que con solo el 50 % de apertura de puertas y ventanas se pueden lograr unas adecuadas condiciones de concentración de CO₂ y un mayor confort en las aulas, pudiéndose haber podido cerrar un porcentaje hasta un 75 % de los huecos de ventanas y un 50% de las puertas cuando las condiciones meteorológicas no eran favorables. Así mismos, en los periodos donde las condiciones en el exterior son agradables, esta ventilación ayuda a que el aula tenga unas

condiciones de confort mejores.

- Sin embargo, las condiciones de ventilación natural propuestas no son la mejor solución a implementar en las aulas, ya que los espacios ventilados naturalmente dependen de las corrientes de aire que suelen ser incontrolables. Si bien pueden plantearse como solución complementaria, el empleo de una eficiente ventilación mecánica, con un flujo de aire exterior controlado y una adecuada filtración del aire debería ser un equipamiento necesario en las aulas.

Una vez finalizado este trabajo fin de grado, se exponen las diferentes limitaciones que surgieron durante su realización:

* Se han tenido que ajustar al periodo de realización del TFG, lo que ha supuesto no poder incluir un periodo importante como es el de invierno.

* La monitorización no se comenzó antes debido a problemas de programación con los sensores.

* Se había planteado el análisis de este colegio porque tenía un sistema de ventilación mecánica, pero no está en uso y no han permitido utilizarlo para poder comprobar mediante medición la eficiencia del sistema en periodo de pandemia. A pesar de estas limitaciones y que la muestra de estudio es escasa, se ofrece una imagen de la problemática de las aulas en el clima mediterráneo, concretamente en la zona climática A4.

70

71

9. Bibliografía.

* ANGUITA A., ARCO J., HIDALGO D., Estudio de confort térmico en las aulas de la Escuela Técnica Superior de ingeniería de Edificación de la Universidad de Granada. Revista Anales de Edificación. Vol. 4, Nº 4 (2018).

* ASHRAE, ASHRAE EPIDEMIC TASK FORCE. Schools & Universities. ASHRAE Introduces Updated Reopening Guide for Schools and Universities. Atlanta (2020).

* BARNÉS, D. Escuelas al aire libre. ANALES. T.I. Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas, Madrid (1909).

* BERNAL, J.M. De las escuelas al aire libre a las aulas de la naturaleza. Áreas. Revista Internacional de Ciencias Sociales nº 20, (2012).

* CUERDO, M.T., COVID-19: La ventilación en centros educativos, una asignatura pendiente. The Conversation. (2020). <https://theconversation.com/covid-19-la-ventilacion-en-centros-educativos-una-asignatura-pendiente-145417>

* DÍAZ-MIRANDA Y MACÍAS, F., La arquitectura del Movimiento Moderno 1925-1965. Fundación DoCoMoMo Ibérico. LIÑO 15. Revista Anual de Historia del Arte (2009).

* ESPINOSA, P., Etapas de desarrollo de la memoria infantil. RED CENIT Centros de desarrollo cognitivo. Valencia (2018). <https://www.redcenit.com/etapas-de-desarrollo-de-la-memoria-infantil/>

* FANGER, P.O., Thermal Comfort: Analysis and Applications in Environmental Engineering, Danish Technical Press, Copenhagen (1970).

* GREEN, N.A., Alergia estacional (fiebre del heno). KidsHealth from Nemours. (2013). <https://kidshealth.org/es/parents/seasonal-allergies-esp.html#:~:text=Signos%20y%20s%C3%ADntomas&text=Los%20s%C3%ADntomas%20de%20la%20alergia,-congesti%C3%B3n%20nasal>

* HUGUET, G. Grandes Pandemias de la Historia. Amenazas de la humanidad. National Geographic. (2020). https://historia.nationalgeographic.com.es/a/grandes-pandemias-historia_15178/2

* HYUNJUN Y., INSICK N., JINMAN K., JINHO Y., KYOUNGHO L., JONGRYEUL S., A field study of thermal comfort for kindergarten children in Korea. An assessment of existing models and preferences of children. Building and Environment 75 (2014).

* IDAE y GOBIERNO DE ESPAÑA. Recomendaciones de operación y mantenimiento de los sistemas de climatización y ventilación de edificios y locales de climatización para la prevención de la propagación del SARS-COV-2. Ministerio de Sanidad y Ministerio para la Transición ecológica y el reto demográfico. (2020).

* MARTIN, J., ¿Cómo se enfrentaron los colegios a otras pandemias? Revista Historia y Vida nº 630. (2020).

*MINGUILLÓN, M., QUEROL, X., FELISI, J.M., GARRIDO, T. Guía para ventilación en aulas. Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua, IDAEA-CSIC Mesura. VERSIÓN 3. (2020)

* NOYA, A. E., Evaluación de la percepción de confort térmico que tiene los estudiantes en el bloque de la universidad de la costa. Universidad de la costa (CUC). Barranquilla (2019).

* OMS, Considerations for school-related public health measures in the context of COVID-19. Annex to Considerations in adjusting public health and social measures in the context of COVID-19. (2020).

* Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire.

* REHVA, How to operate HVAC and other building service systems to prevent the spread of the coronavirus (SARS-CoV-2) disease (COVID-19) in workplaces. REHVA COVID19 GUIDANCE. Versión 4.0. (2020).

* RITE. Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios. Real Decreto 178/2021, de 23 de marzo.

* ROSÓN, V. La humedad relativa y sus implicaciones sobre la salud y el confort. Revista Mundo HVAC&R. (2016).

* TABAR, I. Orden y naturaleza en la escuela al aire libre: El colegio para la institución Teresiana en Alicante de Rafael de la Hoz y Gerardo Olivares. Departamento de Proyectos Arquitectónicos. Escuela Técnica Superior de Arquitectura. Universidad Politécnica de Madrid, (2015). Tomo 1.

* TINGLEY, K. *La arquitectura podría ayudar a adaptarnos a la pandemia: La propagación del virus no es solo una crisis de salud; también es un problema de diseño.* The New York Times (2020). <https://www.nytimes.com/es/2020/06/28/magazine/arquitectura-pandemia.html>

* TORRICO E., Escuelas al aire libre (Open air school). Periódico El confidencial. 2020. <https://www.youtube.com/watch?v=qsa-ZPRbh3cs>

* UNE-EN 13779. Ventilación de edificios no residenciales.

* UNE-EN ISO 7730:2006 Ergonomía del ambiente térmico. Determinación analítica e interpretación del bienestar térmico mediante el cálculo de los índices PMV y PPD y los criterios de bienestar térmico local.

* UNITED NATIONS. Policy Brief: Education during COVID-19 and beyond.(2020). [sg_policy_brief_covid-19_and_education_august_2020.pdf](https://www.un.org/sgsm/content/sgsm/content.do?contentType=SGSM_Policy_Brief&id=2312) (un.org)

* Universidad de Burgos y la Plataforma de Edificación Passivhaus, Proyecto de monitorización de colegios. 2020.

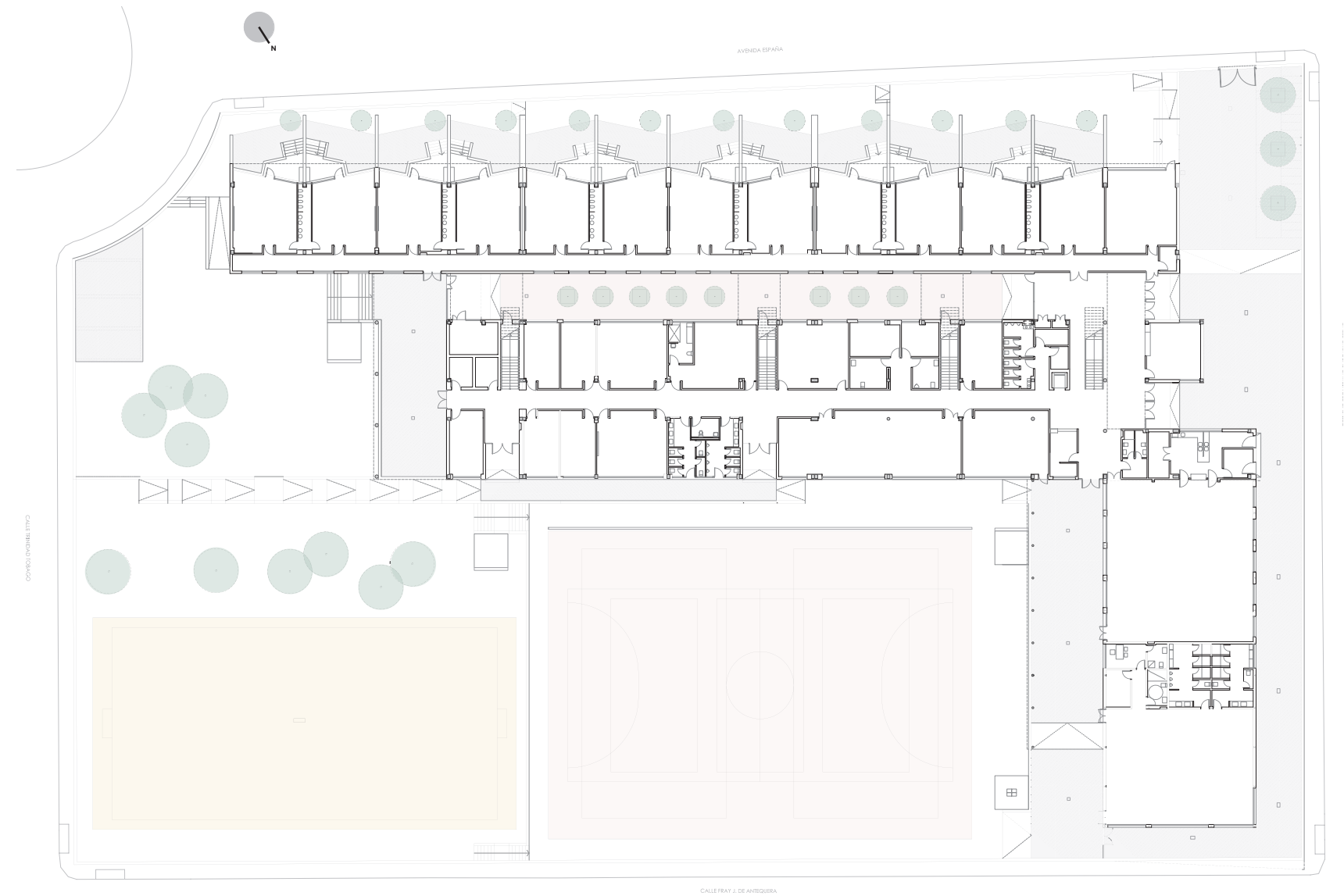
* ZIMMERMANN, P. y CURTIS, N. Coronavirus Infections in Children Including COVID-19: An Overview of the Epidemiology, Clinical Features, Diagnosis, Treatment and Prevention Options in Children. The Pediatric infectious disease journal. (2020).

*<https://es.weatherspark.com/y/33214/Clima-promedio-en-Moguer-Espa%C3%B1a-durante-todo-el-a%C3%B1o>

* <https://huelvaya.es/2013/04/23/educacion-invierte-427-millones-de-euros-en-el-nuevo-colegio-pedro-alonso-nino-de-moguer/>

10. Anexos.

Planimetría. Planta baja del CEIP Pedro Alonso Niño, Moguer (Huelva).









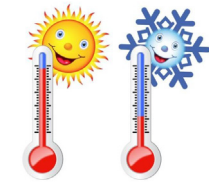

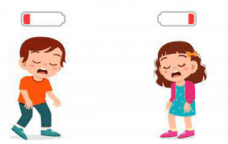


Planimetría. Planta primera del CEIP Pedro Alonso Niño, Moguer (Huelva).



76

77

Encuestas de confort y salud realizadas a niños entre 7- 12 años en el CEIP Pedro Alonso Niño.

Sexo:		A Chica. B Chico.	¿Cómo prefieres las ventanas?		A Abiertas. B Cerradas.
¿Qué estabas haciendo antes?		A Andar por los pasillos. B Leer, escribir y escuchar. C Descansar. D Saltar y jugar.	¿Estás pasando el calor en la clase?		A Sí. B No.
¿Estás sentado/a cerca de la ventana?		A Sí. B No. C No, estoy cerca.	¿Qué tipo de ropa llevas ahora mismo?		A Sudadera o chaqueta. B Camiseta. C Camisa. D Vestido.
¿Cómo me siento?		A Tengo frío. B Normal. C Tengo calor.	¿Tienes los pies fríos?		A Sí. B No.
¿Te sientes cansado/a?		A Muy cansado/a. B Un poco cansado/a. C No estoy cansado/a.	¿Estornudas mucho?		A Sí. B No. C Un poco solo.
¿Has pasado frío este invierno?		A Sí. B No.			

Todos los datos recogidos por los sensores ambientales y las encuestas realizadas al alumnado se encuentran en el siguiente onedrive:

<https://1drv.ms/u/s!AoGJO4-Yf-SDZ4Qnww5WuzpM-so?e=79BJwc>