

EDITORIAL

BUILDING & MANAGEMENT SEPTEMBER—DECEMBER 2021
<http://dx.doi.org/10.20868/bma.2021.3.4708>

INMACULADA MARTÍNEZ PÉREZ

BUILDING & MANAGEMENT

VENTILACIÓN NATURAL Y CALIDAD DEL AIRE INTERIOR EN EDIFICIOS DE USO DOCENTE

NATURAL VENTILATION AND INDOOR AIR QUALITY IN EDUCATIONAL BUILDINGS

Después de los meses de pandemia que nuestra sociedad está sufriendo y gracias al esfuerzo de muchos científicos e ingenieros con muchos años de experiencia en investigación colectiva relacionada con la calidad del aire en interiores, no cabe ya ninguna duda sobre la transmisión del coronavirus a través de la inhalación de aerosoles, partículas inferiores a $100\mu\text{m}$, posiblemente como vía dominante.

Esto no quiere decir que la transmisión vinculada a las gotitas balísticas no tenga que seguir evitándose con distancia, mascarillas e higiene de manos.

Los expertos siguen analizando datos fundamentales sobre el comportamiento del coronavirus y su transmisión, confirmando en sus análisis que no todas las personas infectadas son igualmente contagiosas, que el tamaño de los aerosoles y la cantidad de virus exhalado varía según la etapa de la infección y con el tipo de actividad de la persona infectada. Está claro que si sabemos cómo se comporta el coronavirus podemos evaluar el riesgo y podemos dar soluciones.

Una de las preguntas fundamentales es el tiempo que permanece infeccioso el SARS-CoV-2 en los aerosoles y parece que según varios estudios realizados la vida útil puede ser de una a dos horas a una temperatura ambiente de alrededor de 20°C . Esta conclusión refuerza la idea de que las personas con alto riesgo que tengan que acudir a espacios públicos interiores lo hagan a primera hora.

La temperatura y la humedad también afecta a la supervivencia del virus en el aire. Las bajas temperaturas pueden ayudar a aumentarla considerablemente, y la humedad relativa más baja puede también aumentarla, ya

After the pandemic months that our society is suffering and thanks to the efforts of many scientists and engineers with many years of experience in collective research related to indoor air quality, there is no longer any doubt about the transmission of the coronavirus through inhalation of aerosols, particles smaller than $100\mu\text{m}$, possibly as the dominant route.

Nevertheless, it is still very important to continue with the prevention of transmission linked to ballistic droplets with distance, masks and hand hygiene.

Experts continue to analyse key data on coronavirus behaviour and transmission, confirming in their analyses that not all infected persons are equally contagious, that the size of aerosols and the amount of virus exhaled varies with the stage of infection and with the type of activity of the infected person.

If we know how the coronavirus behaves, we can assess the risk and can provide solutions.

One of the fundamental questions is how long SARS-CoV-2 remains infectious in aerosols and it appears from several studies that the lifespan may be one to two hours at an ambient temperature of around 20°C .

This conclusion reinforces the idea that people at high risk who need to go indoors in public places should do so first thing in the morning.

Temperature and humidity also affect the survival of the virus in the air. Low temperatures can help to increase this conside-

que con porcentajes altos de humedad superiores al 85% los aerosoles se asentarian en el suelo más rápido, aunque este factor sólo importa la para la transmisión interior a largo alcance.

Por lo tanto, para intentar establecer el tiempo que el virus permanece en el aire de un espacio cerrado, con la capacidad de infectar, se tendrá en cuenta el tamaño del aerosol que la transporta y el movimiento de aire que se produce en el interior de ese espacio.

Las instalaciones de climatización son un gran aliado que puede ayudar a evitar contagios facilitando el remplazo del aire del espacio interior por aire exterior. Cuando no es posible garantizar la calidad del aire interior por medios mecánicos la ventilación natural se convierte en el único recurso.

Y el uso para el que está previsto cada edificio implica unas necesidades de ventilación diferentes. En concreto, en este número se han analizado en varios artículos las condiciones de ventilación natural de centros docentes en los que el número de personas en cada aula, el tipo de actividad que realizan, las condiciones del entorno próximo a los huecos acristalados, sus dimensiones y el volumen de la propia aula, entre otros, condiciona la capacidad de ese espacio de generar una renovación de aire con aire del exterior.

De todos los espacios estudiados en los artículos de este número, el más desfavorable, teniendo en cuenta las condiciones del entorno, el volumen del aula, el número de personas en su interior y las dimensiones de los huecos, ventanas y puerta, con los que se puede hacer un intercambio de aire con el exterior, ha permitido extraer una serie de conclusiones de mínimos que pueden ser útiles a la hora de establecer los tiempos de ventilación natural durante el próximo invierno.

Todas las mediciones que se han realizado han estado vinculadas al análisis de la acumulación y disipación de CO₂ en el interior del aula, para así poder establecer la velocidad con la que ese espacio puede acumular aire viciado o ser capaz de eliminarlo. En todos los casos se utilizaron sensores de CO₂ de referencia comercial Wohler-cdl-210, calibrados.

En concreto se ha analizado durante varios meses del invierno del 2020 la situación del aula 2EF del Instituto Ramiro de Maeztu. En uno de los artículos publicados en este número, "P. Guijarro, T. Estay, L. Patrón and R. Tendero Caballero, "CO₂ assessment in a school classroom for an optimal natural ventilation strategy" *Building & Management*, vol. 5 (3), pp. 29-43, 2021", se realizaron también otros ensayos puntuales en esta misma aula y en el artículo quedan recogidas las condiciones generales del aula, de su entorno y de sus ocupantes.

A partir de los casos de estudio realizados durante semanas completas de medición en esta aula, se han podido observar las condiciones de ventilación del aula en la situación natural de uso y de apertura y cierre de ventanas durante el uso diario habitual del aula y también se han podido establecer los valores máximos y mínimo de concentración de CO₂ obtenidos durante la jornada lectiva, de modo que se reconocen tres hitos, que en las tres mediciones distintas muestran resultados similares entre sí.

Por un lado, en todas las mediciones de jornada completa se observa que, durante el período de recreo, en el cual no hay alumnos en la sala, el nivel de CO₂ alcanza los mínimos. Un segundo hito reconoce el cierre de persianas el cual afecta en

rably, and lower relative humidity can also increase it, as at high humidity percentages above 85% aerosols will settle to the ground more quickly, although this factor only matters for long-range indoor transmission.

Therefore, to try to establish how long the virus remains airborne in an enclosed space, with the ability to infect, the size of the aerosol carrying it and the air movement within that space will be considered.

Air-conditioning systems are a great ally that can help to avoid contagion by facilitating the replacement of indoor air with outdoor air.

When it is not possible to guarantee indoor air quality by mechanical means, natural ventilation becomes the only recourse.

And the intended use of each building implies different ventilation needs. Specifically, several articles in this issue have analysed the natural ventilation conditions of educational buildings in which the number of people in each classroom, the type of activity they carry out, the conditions of the surroundings near the glazed openings, their dimensions, and the volume of the classroom itself, among others, determines the capacity of this space to generate air renewal with outside air.

Of all the spaces studied in the articles in this issue, the most unfavourable, considering the conditions of the environment, the volume of the classroom, the number of people inside and the dimensions of the openings, windows and door, with which air can be exchanged with the outside, has enabled a series of minimum conclusions to be drawn that may be useful when establishing natural ventilation times during the coming winter.

All measurements were linked to the analysis of CO₂ accumulation and dissipation inside the classroom, to establish the rate at which the space can accumulate stale air or be able to remove it. In all cases, calibrated Wohler-cdl-210 CO₂ sensors were used.

Specifically, the situation in the 2EF classroom at the Ramiro de Maeztu Institute was analysed for several months during the winter of 2020. In one of the articles published in this issue, "P. Guijarro, T. Estay, L. Patrón and R. Tendero Caballero, "CO₂ assessment in a school classroom for an optimal natural ventilation strategy" *Building & Management*, vol. 5 (3), pp. 29-43, 2021", other specific tests were also carried out in this same classroom and the article includes the general conditions of the classroom, its environment, and its occupants.

Based on the case studies carried out during complete weeks of measurements in this classroom, it has been possible to observe the ventilation conditions of the classroom in the natural situation of use and the opening and closing of windows during the normal daily use of the classroom, and it has also been possible to establish the maximum and minimum values of CO₂ concentration obtained during the school day, so that three milestones can be recognised, which in the three different measurements show similar results to each other.

On the one hand, all full-day measurements show that during the break period, when there are no pupils in the room, the CO₂ level reaches the minimum. A second milestone recognises the closing of blinds which affects a rise in CO₂ in both cases and thirdly, it is observed that the opening and closing of win-

un alza de CO₂ en ambos casos y en tercer lugar se observa que la apertura y cierre de ventanas genera fluctuaciones destacables en un corto período de tiempo.

Esta información ha sido fundamental para poder diseñar el experimento de casos de estudios puntuales que se han realizado en distintos días lectivos durante las clases y, dado que no se ha podido contar con un purificador con filtros que pudiera garantizar la calidad del aire con puerta y ventanas cerradas, este conocimiento ha permitido tomar la decisión del establecimiento de los valores límite de concentración de CO₂ que no debían sobrepasarse durante la fase de cierre de huecos (puerta y ventanas), manteniéndose este valor en las 1000ppm, y los valores mínimos de concentración de CO₂ que iban a servir para establecer el tiempo necesario para disipar el CO₂ del aula en las fases de apertura de puerta y ventanas, estableciendo este valor en 700ppm.

Las conclusiones fundamentales de los casos de estudio realizados en el aula mencionada pueden extraerse como datos interesantes a tener cuenta para cualquier aula docente y para decidir cuales son las estrategias más adecuadas de ventilación natural de ese tipo de habitáculos durante el próximo invierno:

- ◆ Cuando se procede al cierre al 100% de la puerta del aula y del 100% de la superficie de apertura de las ventanas, se supera la concentración de 1000 ppm de CO₂ en un rango de tiempo entre los 4 y los 9 minutos en las distintas zonas del aula.
- ◆ La apertura del 100% del total de la superficie posible de ventanas y el 100% de la puerta del aula garantiza un nivel bueno de ventilación, manteniendo la concentración de CO₂ por debajo de las 800ppm.
- ◆ La apertura del 50% del total de la superficie posible de ventanas y el 100% de la puerta del aula logra garantizar también un nivel bueno de ventilación manteniendo la concentración de CO₂ por debajo de las 800ppm.
- ◆ No ha podido analizarse la ventilación natural que proporciona la apertura de porcentajes inferiores del 50% del total de la superficie posible de ventanas, además del 100% de la puerta del aula, dado que, al no contar con un purificador con filtros HEPA, con filtros mínimos MERV 13, no se podría haber garantizado la seguridad para los alumnos y profesores en caso de que hubiera algún positivo asintomático en el aula, y este experimento difería de las situaciones naturales a las que está expuesta el aula durante la semana.

En todo caso, de los datos de medición continuada realizados en las distintas fechas, se ha podido analizar la influencia en la ventilación natural del aula vinculada con la reducción de la apertura de ventanas provocada por el cierre parcial o total de las persianas, concluyéndose que cuando se cierran las persianas en un proporción cercana al 100% de la superficie de apertura posible (por evitar la radiación solar directa, al tener el aula orientación sur, o para garantizar la visibilidad de la pizarra electrónica), el efecto que se produce es similar al del cierre completo de las ventanas sobrepasando en pocos minutos la concentración de 1000 ppm de CO₂.

- ◆ La zona del aula que experimenta unos niveles mayores de concentración de CO₂ coincide con la ubicación de sensores con mayor concentración de personas en una menor superficie, en el caso de los casos de estudio analizados en

dows generates significant fluctuations in a short period of time.

This information has been fundamental in order to design the case study experiment that has been carried out on different school days during classes and, given that it has not been possible to have a purifier with filters that could guarantee the quality of the air with the door and windows closed, this knowledge has made it possible to make the decision to use the air purifier with a filter that could guarantee the quality of the air with the door and windows closed, This knowledge made it possible to take the decision to establish the limit values of CO₂ concentration that should not be exceeded during the closing phase (door and windows), keeping this value at 1000ppm, and the minimum values of CO₂ concentration that were to be used to establish the time needed to dissipate the CO₂ from the classroom during the door and window opening phases, setting this value at 700ppm.

The fundamental conclusions of the case studies carried out in the classroom can be extracted as interesting data to be taken into account for any teaching classroom and to decide which are the most appropriate natural ventilation strategies for this type of room during the coming winter:

- ◆ When 100% of the classroom door and 100% of the opening surface of the windows are closed, the concentration of 1000 ppm CO₂ is exceeded in a time range between 4 and 9 minutes in the different areas of the classroom.
- ◆ Opening 100% of the total possible area of windows and 100% of the classroom door ensures a good level of ventilation, keeping the CO₂ concentration below 800ppm.
- ◆ Opening 50% of the total possible window area and 100% of the classroom door also ensures a good level of ventilation while keeping the CO₂ concentration below 800ppm.
- ◆ It was not possible to analyse the natural ventilation provided by opening less than 50% of the total possible surface area of windows, in addition to 100% of the classroom door, given that, in the absence of a HEPA filter purifier with minimum MERV 13 filters, it would not have been possible to guarantee safety for students and teachers in the event of any asymptomatic positive in the classroom, and this experiment differed from the natural situations to which the classroom is exposed during the week.

In any case, from the continuous measurement data taken on the different dates, it was possible to analyse the influence on the natural ventilation of the classroom linked to the reduction in the opening of windows caused by the partial or total closure of the blinds, It was concluded that when the blinds are closed to a proportion close to 100% of the possible opening area (to avoid direct solar radiation, as the classroom faces south, or to guarantee the visibility of the electronic whiteboard), the effect produced is similar to that of completely closing the windows, exceeding the concentration of 1000 ppm of CO₂ in just a few minutes.

- ◆ The area of the classroom that experiences higher levels of CO₂ concentration coincides with the location of sensors with a higher concentration of people in a smaller area; in the case of the case studies analysed in this work, the

este trabajo, los mayores valores de concentración de CO₂ en las mediciones se registran en los sensores situados en el centro del aula, rodeados de alumnos.

La zona del aula que experimenta unos niveles menores de disipación de CO₂ cuando se procede a la apertura de puerta y ventanas, coincide con la única esquina que está alejada de la puerta de acceso y de las ventanas, como era previsible, obteniéndose en el sensor situado en dicha esquina, mayores valores de tiempo para alcanzar reducciones de concentración de CO₂ (de 1000ppm a 700ppm) en comparación con los valores de tiempo registrados en los sensores situados en otras zonas del aula.

También se han encontrado diferencias significativas en los niveles de disipación de concentración de CO₂ que experimenta el aula en las distintas alturas, obteniéndose valores de tiempo de disipación inferiores para sensores situados a la altura de la cabeza de los alumnos cuando estos están de pie, que los valores de tiempo de disipación obtenidos en sensores situados a la altura de las rodillas de los alumnos cuando estos están sentados.

- ◆ Al no disponer el aula analizada de otra sala enfrentada en el pasillo que habitualmente tenga la puerta y ventanas abiertas, no ha podido estudiarse una posible ventilación cruzada, no obstante, se ha intentado analizar la influencia de la apertura de las ventanas del pasillo de planta, aunque su posición, a alrededor de 15 metros de la puerta del aula y en la parte de la base de la U que forma el pasillo, no permita de forma evidente garantizar que pueda existir dicha ventilación cruzada.

En ese sentido, de los resultados obtenidos en los distintos casos de estudio se puede concluir, que cuando se genera una ventilación natural con las máximas aperturas de huecos de ventana de aula y puertas y además están abiertas las ventanas del pasillo, los tiempos en los que se genera la disipación del CO₂ concentrado en el aula son una sexta parte del tiempo necesario para disipar el CO₂ cuando las ventanas del pasillo están cerradas.

No obstante, dado que la ventilación natural cruzada, siempre va a depender de las diferencias de temperatura y presión y de la velocidad del viento exterior, siempre habrá variables, influenciadas por las condiciones meteorológicas del momento que puedan implicar una variación en dichos resultados.

En este edificio estudiado, el punto fijo puede ejercer mayor variabilidad en la ventilación cruzada en la medida en que se controlen las aperturas de las otras ventanas de pasillo de los otros pisos, la apertura de las puertas de acceso principales y secundarias.

- ◆ Las recomendaciones que desprenden de las conclusiones obtenidas con este estudio coinciden con las conclusiones de otros ejercicios realizados por otros investigadores en los que se recomienda mantener abiertas las ventanas en la mayor área posible, incluso con ayuda de filtros HEPA según las condiciones de ventilación y evitar cerrar las ventanas pues se alcanza rápidamente niveles superiores a las 1000ppm que son los máximos recomendados por la OMS. Por lo tanto, estos resultados se encuentran alineados con los resultados obtenidos de las investigaciones analizadas previamente, en donde de mantenerse las ventanas cerradas no se cumple con los estándares óptimos para el nivel de educación, no obstante, como una futura línea de investigación se podrían realizar mediciones con

highest CO₂ concentration values in the measurements are recorded in the sensors located in the centre of the classroom, surrounded by students.

The area of the classroom that experiences lower levels of CO₂ dissipation when the door and windows are opened coincides with the only corner that is far from the access door and the windows, as expected, with the sensor located in this corner obtaining higher time values to reach CO₂ concentration reductions (from 1000ppm to 700ppm) compared to the time values recorded in the sensors located in other areas of the classroom.

Significant differences were also found in the levels of CO₂ concentration dissipation experienced in the classroom at different heights, with lower dissipation time values obtained for sensors located at the height of the students' heads when they are standing than the dissipation time values obtained for sensors located at the height of the students' knees when they are seated.

- ◆ As the classroom analysed does not have another room facing it in the corridor that usually has its door and windows open, it was not possible to study possible cross-ventilation. However, an attempt was made to analyse the influence of opening the windows in the floor corridor, although their position, around 15 metres from the classroom door and in the part of the base of the U that forms the corridor, does not clearly guarantee that there could be such cross-ventilation.

In this sense, from the results obtained in the different case studies, it can be concluded that when natural ventilation is generated with the maximum openings of classroom windows and doors and the corridor windows are also open, the times in which the dissipation of the CO₂ concentrated in the classroom is generated are one-sixth of the time needed to dissipate the CO₂ when the corridor windows are closed.

However, since natural cross ventilation will always depend on differences in temperature and pressure and outside wind speed, there will always be variables, influenced by the weather conditions at the time, which may imply a variation in these results.

In this building studied, the fixed point can exert greater variability in cross ventilation to the extent that the openings of the other corridor windows on the other floors, the opening of the main and secondary access doors are controlled.

- ◆ The recommendations that emerge from the conclusions obtained with this study coincide with the conclusions of other exercises carried out by other researchers in which it is recommended to keep the windows open in the largest possible area, even with the help of HEPA filters depending on the ventilation conditions and to avoid closing the windows as levels above 1000ppm, which are the maximum recommended by the WHO, are quickly reached. Therefore, these results are in line with the results obtained from previously analysed research, where keeping the windows closed does not meet the optimal standards for the level of education, however, as a future line of research, measurements could be carried out with

diferentes temperaturas y condiciones climáticas.

En ese sentido, pueden realizarse una serie de recomendaciones concretas, para esta aula analizada que podrían ser extrapolables como mínimos recomendados para otros edificios docentes:

- No cerrar las ventanas y puerta del aula más de 5 minutos, ya que con ese tiempo es suficiente para que la concentración de CO₂ supere las 1000ppm.
- Pueden abrirse las ventanas en un 50% de su superficie total de apertura ya que con esta superficie es suficiente para garantizar niveles de alrededor de 800ppm de concentración de CO₂.
- Procurar no cerrar las persianas en porcentaje superior al 50% de la superficie de apertura de ventana total y que si se cierran al 100% el efecto es similar al de ventanas cerradas y se alcanzan las 1000ppm en pocos minutos, y en cambio con el 50% de la superficie de persiana y ventana abierta se ha comprobado que la concentración de CO₂ no supera dicho valor.
- En la medida de lo posible favorecer la ventilación cruzada con la apertura de las ventanas del pasillo, ya que en los distintos casos de estudio analizados ha podido demostrarse que los tiempos de disipación son seis veces más rápidos con dichas ventanas abiertas.
- Además, se recomienda tener en cuenta las estimaciones que han realizado los expertos en aerosoles sobre el modo más adecuado de gestionar los cuartos de baño siguiendo las recomendaciones que ha realizado la Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR), al respecto: <https://www.atecyr.org/search.php?q=covid> y las analizadas por los científicos internacionales que están desarrollando modelos matemáticos para estimar el riesgo de infección, o en su defecto, la exposición, que pueden encontrarse en <http://tinyurl.com/covid-estimator>

different temperatures and climatic conditions.

In this sense, a series of concrete recommendations can be made for this classroom, which could be extrapolated as minimum recommendations for other educational buildings:

- Do not close the windows and door of the classroom for more than 5 minutes, as this is enough time for the CO₂ concentration to exceed 1000ppm.
- Windows can be opened to 50% of their total opening area as this is sufficient to ensure levels of around 800ppm CO₂ concentration.
- It is important not to close the blinds in a percentage higher than 50% of the total window opening surface and that if they are closed at 100% the effect is similar to that of closed windows and 1000ppm are reached in a few minutes, and on the other hand with 50% of the surface of the blind and window open it has been proven that the CO₂ concentration does not exceed this value.
- As far as possible, cross-ventilation should be encouraged by opening the corridor windows, as it has been shown in the various case studies analysed that the dissipation times are six times faster with these windows open.
- In addition, it is recommended to take into account the estimates made by aerosol experts on the most appropriate way to manage bathrooms following the recommendations made by the Spanish Technical Association of Air Conditioning and Refrigeration (ATECYR): <https://www.atecyr.org/search.php?q=covid> and those analysed by international scientists who are developing mathematical models to estimate the risk of infection or, alternatively, exposure, which can be found at <http://tinyurl.com/covid-estimator>.