

Análisis del caso de la implantación de purificadores de aire y estudio de ventilación natural en un centro escolar público en tiempos del SARS-CoV-2

Análise do caso de implantação de purificadores de ar e estudo da ventilação natural em uma escola pública em tempos de SARS-CoV-2

Analysis of the case of the implementation of air purifiers and study of natural ventilation in a public school in times of SARS-CoV-2

José Antonio Martínez García¹

¹ Universidad Politécnica de Cartagena.

Cita: Martínez García JA. Análisis del caso de la implantación de purificadores de aire y estudio de ventilación natural en un centro escolar público en tiempos del SARS-CoV-2. Rev. Salud ambient. 2025; 25(1):42-50.

Recibido: 18 de septiembre de 2023. **Aceptado:** 13 de enero de 2025. **Publicado:** 15 de junio de 2025.

Autor para correspondencia: José Antonio Martínez García.
Correo e: josean.martinez@upct.es

Financiación: Ninguna.

Declaración de conflicto de intereses: Sin conflictos de intereses.

Resumen

En este trabajo se analiza en detalle el caso de la implantación de purificadores de aire portátiles y el estudio de ventilación natural en un centro escolar público español durante el inicio de curso 2020-21, en un contexto de alta incertidumbre y sin directrices claras de la administración sobre la importancia de la transmisión por aerosoles. La iniciativa, además, fue totalmente promovida e implantada por los padres y las madres. El estudio de este caso provee implicaciones importantes para la gestión de la calidad del aire en las aulas, mostrando la necesidad del estudio individualizado de los espacios escolares. De este modo, la descripción en profundidad del proceso puede ayudar a imitar decisiones similares.

Palabras clave: SARS-CoV-2; transmisión aérea; ventilación natural; purificadores de aire; centros escolares; calidad del aire.

Resumo

Este trabalho analisa detalhadamente o caso da implementação de purificadores de ar portáteis e do estudo da ventilação natural numa escola pública espanhola durante o início do ano letivo 2020-21, num contexto de elevada incerteza e sem orientações claras da administração sobre a importância da transmissão por aerossol. Além disso, a iniciativa foi totalmente promovida e implementada pelos pais. Este estudo de caso traz implicações importantes para a gestão da qualidade do ar nas salas de aula, mostrando a necessidade de um estudo individualizado dos espaços escolares. Finalmente, a descrição detalhada do processo pode ajudar a imitar decisões semelhantes.

Palavras-chave: SARS-CoV-2; transmissão aérea; ventilação natural; purificadores de ar; escolas; qualidade do ar.

Abstract

This research analyzes in detail the case of the implementation of portable air purifiers and the study of natural ventilation in a Spanish public school during the beginning of the 2020-21 academic year, in a context of high uncertainty and without clear guidelines from the administration on the importance of aerosol transmission. Furthermore, the initiative was totally promoted and implemented by parents. This case study provides important implications for the management of air quality in classrooms, showing the need for individualized study of school spaces. Finally, the in-depth description of the process can help imitate similar decisions.

Keywords: SARS-CoV-2; air transmission; natural ventilation; air purifiers; schools; air quality.

INTRODUCCIÓN

En julio de 2020 la Organización Mundial de la Salud (OMS) admitió la transmisión por aerosoles del SARS-COV-2¹, pese a que numerosos científicos ya lo habían advertido desde hacía meses². Sin embargo, no le dio todavía la importancia merecida, incidiendo en la transmisión por gotas o fómites como la principal vía de contagio. En España, el 18 de noviembre de 2020, el Ministerio de Sanidad publicó el Documento técnico *Evaluación del riesgo de la transmisión del SARS-CoV-2 mediante aerosoles. Medidas de prevención y recomendaciones*³. No obstante, a comienzos de septiembre de 2020 se inició un nuevo curso escolar con presencialidad, tras el confinamiento de los primeros meses de la pandemia.

En esos días de incertidumbre, ni el Ministerio de Sanidad había admitido todavía la transmisión por aerosoles, ni existían guías para que los centros escolares se amoldaran a la realidad del contagio aéreo. Por ejemplo, en la Región de Murcia, la *Guía para el inicio del curso 2020-2021* realizada por la Comisión Mixta de la Consejería de Educación y Cultura y la Consejería de Salud, no mencionaba las palabras o conceptos "aerosol", "transmisión aérea" o "calidad del aire" en sus principios básicos de prevención, higiene y promoción de la salud frente a la COVID-19 en los centros educativos⁴. Simplemente se hacía referencia a la necesidad de ventilar los espacios cerrados, pero poniendo el foco en la ventilación durante unos minutos después de cada clase, o al menos 5 minutos cada hora, siendo la desinfección y limpieza de superficies la principal preocupación. Pese a que se recomendaba la ventilación frecuente, no se hacía referencia a la necesidad de realizar ventilación cruzada o de mantener unos niveles de tasa de renovación de aire adecuados durante las clases, tal y como la Escuela de Salud Pública, de la Universidad de Harvard, había recomendado semanas atrás⁵.

En ese contexto, la preocupación era creciente, y en un centro escolar público de Cartagena (España), los padres y las madres se movilizaron a comienzos de septiembre de 2020 para la adquisición de equipos de filtrado HEPA portátiles y de un monitor de CO₂, con el fin de mejorar las condiciones de calidad del aire y realizar un estudio sobre ventilación en las aulas. Este trabajo, analiza este caso específico, mostrando con detalle el proceso seguido y los resultados obtenidos, en una iniciativa pionera, y de cuyo estudio se pueden extraer implicaciones relevantes para la salud ambiental en este periodo actual (confusamente llamado) pospandémico.

MATERIALES Y MÉTODOS

1. ANÁLISIS DEL CASO: CEIP SAN CRISTÓBAL (CARTAGENA)

1.1. Exposición del problema

La iniciativa partió de un padre, investigador universitario, que contactó con la dirección del centro escolar y la correspondiente Asociación de Madres y Padres de Alumnos (AMPA) a principios de septiembre de 2020, casi dos semanas antes de comenzar el curso. En esa primera comunicación se planteaba el problema del adecuado aseguramiento de la calidad del aire interior, referenciando investigaciones sobre la transmisión por aerosoles y la Guía de la Escuela de Salud Pública de Harvard. Se planteó, inicialmente, la compra de medidores de CO₂ y la realización de un estudio sencillo de ventilación en las aulas, además de la compra de purificadores de aire con filtros HEPA.

Dado que el centro escolar tenía prácticamente 40 años de antigüedad no estaba sujeto al Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE), publicado en 2007⁶ por lo que no tenía la obligatoriedad de disponer de un sistema de ventilación mecánica.

La dirección del centro escolar remitió, primeramente, a la elaboración de un plan de contingencia en el que se especificaran las medidas organizativas y preventivas a llevar a cabo en el recinto escolar, basado en la *Guía para el inicio del curso 2021-2022*, de la Consejería de Educación y Sanidad, de la Región de Murcia. Sin embargo, dado que, como se ha comentado con anterioridad, esa guía no prestaba suficiente atención a la transmisión por aerosoles y a la necesidad de una adecuada ventilación, se siguió insistiendo a la dirección del centro escolar sobre la necesidad de hacer algo más de lo que los protocolos aconsejaban. Así, la dirección del centro se puso en contacto con el Servicio de Riesgos Laborales, de la Consejería de Educación, para plantearles la situación.

Durante ese intercambio de información, se puso en conocimiento también a la dirección del centro de otras iniciativas espontáneas y voluntarias que diferentes padres y madres estaban realizando en otros lugares de España sobre compra de purificadores de aire y medidores de CO₂ para colegios, experiencia que compartían en redes sociales.

Además, se remitió el documento creado entre varios Ministerios, y publicado el 30 de julio de 2020, sobre recomendaciones de operación y mantenimiento de

los sistemas de climatización y ventilación de edificios y locales para la prevención de la propagación del SARS-CoV-2, donde se recomendaba el uso de filtros HEPA en locales mal ventilados.

1.2. Decisión de adquirir purificadores, medidor de CO₂ y analizar la ventilación

A mitad de septiembre de 2020, y tras exponer y explicar el problema, el AMPA mostró su voluntad para estudiar la adquisición de equipos portátiles de purificación de aire, así como de un medidor de CO₂. La dirección del centro también dio el visto bueno. La última semana de septiembre se confirmó la decisión de realizar tales acciones, previo análisis de los equipos necesarios para cubrir las necesidades del volumen de cada aula, así como de las diferentes opciones. Por ejemplo, se valoró la posibilidad de adquirir equipos con tecnología que crea una descarga eléctrica para crear iones de hidrógeno y de oxígeno que se adhieren a los contaminantes del aire para formar hidroxilos eliminando el hidrógeno de la estructura de esos compuestos. Aunque el ozono que puedan generar esté por debajo de los estándares internacionales (0,05 ppm) y se hayan hecho pruebas de seguridad⁸, el problema puede surgir de las reacciones de esos radicales con otros compuestos del aire (compuestos orgánicos volátiles), y la consiguiente aparición de contaminantes secundarios⁹ que podrían ser cancerígenos. Esos radicales hidroxilos pueden estar de forma "natural" ya dentro de las clases, formados incluso por fotocatalisis de HONO producida por la luz que entra del exterior o por las luces encendidas de clase (en determinadas circunstancias de potencia). Por tanto, incrementar la concentración de radicales hidroxilos dentro del aula debido al purificador podría tener efectos no deseados.

De este modo, se eligió el modelo más sencillo de purificador con filtro HEPA sin ninguna opción añadida "desinfectante".

1.3. Análisis del caudal de los equipos y presupuesto

Una vez tomada la decisión de adquirir purificadores con filtros HEPA se realizó un análisis del caudal necesario (CADR) en función de la tasa de renovación (*ACH*), y no sobrepasando las limitaciones presupuestarias del AMPA. Esos purificadores tenían una eficiencia de 99,98 % y estaban certificados cumpliendo la norma UNE-EN 1822.

Se eligió un proveedor que ofrecía un modelo con $CADR = 330 \text{ m}^3/\text{h}$, y se tomó como modelo el volumen (V) de una clase tipo del colegio (unos 160 m^3). Por tanto, el *ACH* se calculaba como (1):

$$ACH = CADR/V \quad (1)$$

Es decir, $ACH = 2$. La Guía de la Universidad de Harvard recomendaba al menos $ACH = 5$, (considerado como "bueno-excelente") por lo que se necesitarían un mínimo de 2 purificadores por aula para acercarse a esos niveles deseados de *ACH*. Sin embargo, y dado que se requerían 15 dispositivos, el AMPA no disponía de presupuesto para ello ya que el precio de cada unidad (una vez realizado el descuento por volumen de compra) rondaba los 150 €. Se decidió, entonces, optar por la compra de un solo purificador por aula, y conseguir el resto de las renovaciones de aire necesarias a través de una idónea ventilación natural.

Se realizó una reunión virtual organizada por el AMPA invitando a todos los padres y madres de alumnos, a los que se les expuso el proyecto y se les explicó todo el proceso seguido. Los progenitores apoyaron la decisión de realizar la compra e instalación de dispositivos con cargo al presupuesto del AMPA.

Faltaban todavía dos detalles importantes a considerar: el primero de ellos era el ruido de los equipos, y el segundo la potencia consumida por estos. En cuanto al ruido, el rango de dB oscilaba entre los 27 y 51, lo que se consideró dentro de los niveles admisibles de ruido de fondo. Y con relación a los requerimientos de consumo medio, estos eran de 25 W por unidad. El centro escolar realizó la consulta pertinente al Ayuntamiento de Cartagena para ver si la potencia contratada era suficiente para soportar el funcionamiento habitual del colegio y el escenario de los 15 purificadores trabajando a la vez. La respuesta del consistorio fue positiva, por lo que se procedió finalmente a la compra de estos.

Al mismo tiempo se gestionó la compra de un medidor de CO₂ con tecnología de infrarrojo no dispersivo (NDIR), tal y como recomendaban Minguillón y cols.¹⁰ cuyo precio final estuvo alrededor de 200 €.

1.4. Instalación y mantenimiento

Los purificadores llegaron la primera semana de noviembre de 2020. Sin embargo, el medidor de CO₂ no llegó hasta mediados del mes de diciembre. Se decidió entonces instalar los purificadores y realizar el estudio de ventilación justo después de las vacaciones de Navidad, en enero de 2021.

La instalación en cada aula la realizaron padres y madres en colaboración con algunos profesores, insertando el purificador a una estructura de madera diseñada específicamente para tal fin, que estaba fijada al suelo para dar estabilidad a todo el conjunto. Se estudió el sitio idóneo en cada aula para poner el purificador, considerando las medidas de seguridad oportunas relativas al cableado para intentar minimizar cualquier riesgo de accidente para alumnos y profesores.

Paralelamente al proceso de instalación, el centro escolar recibió una circular de las Direcciones Generales de Salud Pública y Adicciones e Infraestructuras¹¹, en la que se daban directrices sobre el tipo la idoneidad del uso de purificadores en centros escolares ante la inminente llegada del invierno. Esas directrices estaban en consonancia con las actuaciones y medidas que el colegio estaba adoptando en este sentido a propuesta de los padres y las madres, por lo que se siguió con la instalación y puesta en marcha de los equipos.

Asimismo, se acordó cambiar los filtros HEPA una vez al año, y el filtro de tela del purificador debía ser lavado periódicamente, según las indicaciones del fabricante. Se dio instrucciones al encargado de ese mantenimiento (personal del centro escolar) de llevar guantes, mascarillas FFP2 y gafas de protección para realizar esos trabajos.

1.5 Diseño del estudio de la ventilación natural

El estudio de la ventilación natural se realizó durante los días inmediatamente posteriores a las vacaciones de Navidad; concretamente el trabajo de campo se efectuó entre el 12 y el 28 de enero. El objetivo era encontrar para cada aula el mínimo de apertura de ventanas necesario para aproximarse al objetivo de 5 renovaciones de aire por hora. De este modo, se podría (sobre todo en los meses más fríos) evitar tener todas las ventanas abiertas y que la temperatura se rebajase por debajo de los 17 °C, que es la que establece la ley como temperatura mínima de los locales donde se realicen trabajos sedentarios, como pueda ser un aula escolar¹². Para acometer esta tarea fueron fundamentales las referencias de Minguillón y cols.¹⁰ que es una guía editada por el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) y de Allen y cols.⁵ que es una guía editada por la Escuela de Salud Pública, de la Universidad de Harvard.

Un archivo *Excel* ligado a la guía de Minguillón y cols.¹⁰ que podía descargarse de la web del Ministerio de Sanidad, sirvió como base para el diseño de los cálculos. Se estableció un protocolo por el cual cada profesor debía rellenar una tabla donde, a lo largo de la mañana, se indicase el grado de apertura de las ventanas y las concentraciones de CO₂ que daba el medidor, así como el número de alumnos y profesores presentes en la clase y los horarios de recreo o abandono del aula por otra actividad. Finalmente, se les pidió que valoraran la velocidad del viento exterior.

Los profesores tenían autonomía para ir probando diferentes aperturas de las ventanas a lo largo de la mañana, con el fin de ir tomando nota de las concentraciones de CO₂ en el aula, con la indicación general de que no debía sobrepasarse los 1 000 ppm en el medidor, y que cuando se acercara a ese valor debían incrementar los centímetros de apertura

inmediatamente. El medidor también reportaba datos de la temperatura del aula, y todas las medidas se grababan en la memoria del medidor cada 15 o 30 segundos (dependiendo de cómo se hubiera preprogramado el registro interno), para posteriormente ser descargadas en una computadora. El dispositivo debía colocarse en un lugar de la clase con poca corriente de aire (caso más desfavorable), usualmente en la mesa del profesor cerca de la pared (donde la existencia de la capa límite hace que la velocidad del flujo de aire sea más reducida).

De este modo, al final de cada jornada se tenía una hoja de registro realizada por cada profesor con diferentes intervalos de horarios asociados a diversas aperturas de las ventanas, así como una lectura "manual" de los datos proveídos por la pantalla del medidor de CO₂. Cuando, posteriormente, los datos grabados cada 15 o 30 segundos en la memoria del medidor eran volcados a una computadora, se comprobaba la adecuación de los registros de la lectura manual (en la hoja de registro se tenía que especificar la hora de esas lecturas manuales), y se vinculaba en la hoja de cálculo los intervalos horarios registrados con cada apertura de las ventanas con los registros grabados de medición correspondientes a dichos intervalos.

Se empleó el método de determinación de la concentración de CO₂ objetivo en estado estable, descrito en detalle en Minguillón y cols.¹⁰, consistente en determinar la concentración de dióxido de carbono con el aula ocupada una vez fijado el objetivo de renovación de aire. El proceso fue el siguiente:

1. Estimación del volumen de cada aula.

En concordancia con el equipo del centro se estimó el volumen de cada una de las aulas en las que se iba a evaluar la ventilación. El aula tipo tenía unos 160 m³, aunque había otras tipologías, como un aula prefabricada y un gimnasio donde también se daba clase. El rango de volúmenes estaba entre 112 y 255 m³.

2. Identificar la tasa de generación de CO₂ por persona en función de la edad, sexo, peso y actividad metabólica.

Para ello se emplearon las tablas proveídas por los citados autores. Por ejemplo, para un niño entre 6 y 11 años con un peso medio de unos 32 kg y un nivel de actividad física asociado a estar sentado leyendo o escribiendo, el valor de CO₂ generado es de aproximadamente 0,0033 L/s. Para una docente de entre 40 y 50 años de un peso de 77 kg sería de unos 0,0042 L/s. Evidentemente, este tipo de cifras deben considerarse de forma aproximada, debido a la heterogeneidad de perfiles físicos de los alumnos y profesores y de las propias actividades de dentro del aula. Se trató de adecuar esas cifras al perfil de cada profesor y se tomó como valor tipo para el alumnado el

correspondiente a un niño (cuyo valor es algo más alto y, por tanto, es un escenario más desfavorable que el de una niña).

3. Cálculo del caudal de aire exterior objetivo.

Aquí se considera que el *ACH* proveído por el purificador se suma al *ACH* objetivo. De este modo, que se necesitaba un *ACH* objetivo de 3, dado que los purificadores proveían un *ACH* aproximadamente de 2. Por tanto, el caudal de aire objetivo se obtenía de multiplicar el *ACH* objetivo por el volumen de cada aula.

4. Estimar la concentración de CO₂ en estado estable.

Para ello se siguieron de nuevo las directrices de Minguillón y cols.¹⁰, usando la siguiente expresión (2):

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

RESULTADOS

Se acordó con la dirección del centro escolar y con el AMPA publicar en abierto y con total transparencia los resultados obtenidos, para que todas las personas vinculadas con el colegio pudieran acceder a estos y valorarlos. Para ello, se empleó el software *Tableau*, que proporciona una potente visualización interactiva de datos. Los datos se colgaron en la web del investigador: <https://www.cienciasinmiedo.es/ceip-san-cristobal/>. Una captura de esa presentación de datos se muestra en la figura 1, aunque evidentemente con esa imagen no se puede acceder a los datos completos sobre cada punto de los gráficos, como sí se puede hacer en la web.

Finalmente, se realizó un breve y sencillo esquema sobre los umbrales a no sobrepasar en cada aula del colegio, tomando dos escenarios posibles, con 12 y con 20 alumnos, y considerando si el purificador estaba trabajando a máxima potencia o no estaba siendo empleado. Una versión del esquema presentado al centro escolar se muestra en la tabla 1.

La descripción detallada (siguiendo el orden de las columnas) del origen de los datos de la tabla 1 es la siguiente:

Clase: Se especifica el aula y el curso de todos los recintos estudiados del colegio.

Ventilación: Se muestran las condiciones de ventilación analizadas en cada aula que producían al menos no sobrepasar el umbral CO₂ objetivo. Como los profesores podían manipular la ventilación natural en función de la lectura del medidor de CO₂, se registraron en esta tabla las condiciones estudiadas en esa aula específica que no superaban ese límite.

Idoneidad: Es una valoración cualitativa de la diferencia entre los niveles de CO₂ generados en las condiciones específicas de ventilación (columna 2) y el umbral objetivo de CO₂ calculado (y que se muestra en la figura 1). Si esa diferencia fluctuaba en torno al umbral de CO₂ objetivo, se valoró como “en el límite”. Si, por el contrario, esa diferencia era consistentemente inferior a ese umbral objetivo, se valoró como “buena”.

Análisis de escenarios: Dado que el número de alumnos por aula podría variar cada día (en unos márgenes determinados, obviamente), se simularon dos escenarios divergentes: con 12 y con 20 alumnos (además de la profesora). De este modo, las siguientes 4 columnas de la tabla 1 muestran el umbral de CO₂ calculado para ese hipotético número de personas en el aula para dos situaciones diferentes: cuando el purificador está a máxima potencia (*ACH* objetivo de 3, ya que el purificador proporcionaba un *ACH* de 2) y cuando el purificador no estaba activo (*ACH* objetivo de 5). De este modo, y en función de los resultados mostrados en la figura 1, cada profesor de cada aula podría valorar en esas dos situaciones extremas (con 12 y con 20 alumnos) si era adecuado mantener las condiciones de ventilación natural (columna 2) o si, por el contrario, se tendría que ser más cuidadoso y ampliarlas. Hay que recordar que, para ese curso académico en la Región de Murcia, los estudiantes iban 4 de los 5 días de la semana, por lo que iban rotando en ese día que se quedaban en casa. Esto hizo que las ratios bajaran en cada clase y que, al menos para este colegio, no se superaran los 20 alumnos por clase durante ese curso escolar.

DISCUSIÓN

Como acertadamente indican Crespí & Ordóñez¹³, la higiene del aire ha sido un constructo conceptual meramente anecdótico o ausente en el ámbito de la sanidad ambiental. La pandemia de la COVID-19 ha evidenciado todavía más esta anomalía y ha revelado la falta de preparación sanitaria para vigilar y controlar la higiene del aire en las circunstancias que puede actuar como vehículo de transmisión, sobre todo en ambientes interiores¹⁴. Esta deficiencia se ha intentado resolver de manera urgente publicando guías, como las realizadas para los centros escolares, que enfatizan la importancia de la ventilación como medida preventiva relevante.

Figura 1. Presentación de resultados del estudio de ventilación



Tabla 1. Recomendaciones de ventilación natural para cada aula

Clase	Ventilación	Idoneidad	Escenario 1: 1 profesora 12 alumnos		Escenario 2: 1 profesora 20 alumnos	
			Umbral CO2 (ppm)	Sin purificador (ppm)	Umbral CO2 (ppm)	Sin purificador (ppm)
1 infantil	1 puerta abierta y ventanas 20 cm	Buena	735	609	920	720
2 infantil	1 puerta abierta, 1 ventana abierta 15 cm	Buena	748	617	940	732
3 infantil	1 puerta abierta y 2 ventanas abiertas 30 cm	Buena	748	617	940	732
1A	1 puerta abierta y 3 ventanas abiertas 7 cm cada una	Buena	799	648	1 028	785
1B	1 puerta abierta y ventanas abiertas 10 cm cada una	Buena	799	648	1 028	785
2A (prefabricada)	Puertas abiertas. 2 ventanas abiertas 5 cm cada una y otra opuesta 30 cm	Buena	960	744	1 286	939
2B (gimnasio)	Puerta abierta y ventana abierta 20 cm	Buena	657	562	800	648
3A	Puerta abierta y ventanas abiertas completamente	En el límite	799	648	1 028	785
3B	Puerta abierta y ventanas abiertas 30 cm cada una	En el límite	799	648	1 028	785
4A	Puerta abierta y ventanas abiertas 40 cm cada una	Buena	799	648	1 028	785
4B	Puerta abierta y ventanas abiertas 15 cm cada una	Buena	799	648	1 028	785
5A	Puerta abierta y 3 ventanas abiertas enteras	Buena	799	648	1 028	785
5B	Puerta abierta y ventanas abiertas enteras	Buena	799	648	1 028	785
6A	Puerta abierta y ventanas abiertas 10 cm	Buena	862	685	1 113	848
6B	Puerta abierta y ventanas abiertas 20 cm	Buena	862	685	1 113	848

El caso mostrado en este trabajo tiene la cualidad de que se gestó incluso antes de que en España se publicaran guías o recomendaciones para centros escolares. En ese contexto de total incertidumbre y de falta de información, este caso demuestra que la voluntad ciudadana apoyada en las evidencias científicas actualizadas puede producir cambios positivos en la gestión de la sanidad ambiental en centros escolares.

Con escasísimos recursos tanto económicos como técnicos se consiguió que el centro escolar dispusiera de unas recomendaciones claras aula por aula sobre cómo obtener una tasa adecuada de renovación de aire, y todo ello gracias al esfuerzo económico y humano de los padres y las madres, y a la colaboración de la dirección y el profesorado del centro.

Como puede derivarse de los resultados no todas las aulas responden de manera homogénea al mismo criterio de ventilación natural. En algunas de ellas se pueden obtener concentraciones de CO₂ aceptables sin necesidad de tener las ventanas totalmente abiertas, incluso con mínimas aperturas. Esto es importante desde el punto de vista del confort térmico de los estudiantes y profesores, y fue uno de los motivos para adquirir los purificadores portátiles. Solo en un 26 % de los registros de temperatura se estaba por debajo de los 17° C que indica la ley, teniendo en cuenta que esas medidas se realizaron justo en las mañanas de enero y febrero, que es cuando hace más frío. Se recomendó, asimismo, al profesorado vigilar las aulas que estaban más al límite usando el medidor de CO₂ para ver si había que reorientar esas directrices que marcaba el estudio de ventilación.

De este modo, las ventajas de la incorporación de purificadores portátiles quedaron plenamente justificadas; al disminuir el ACH objetivo se incrementó el umbral de CO₂ admisible, por lo que las exigencias de ventilación natural eran menores. Esto implica que se necesite una menor apertura de las puertas y ventanas para conseguir los niveles adecuados de calidad de aire interior. Así, es más sencillo mantener los niveles de confort térmico, por lo que las aulas pueden permanecer, incluso en invierno, la mayor parte del tiempo a una temperatura superior a los 17°C.

Además, el estudio individualizado por aula permitió identificar las clases más problemáticas, y donde mayor atención debía ponerse en respetar las condiciones de ventilación descritas en la tabla 1.

Si bien es cierto que durante esos meses se fueron paulatinamente publicando guías en otras comunidades autónomas, por ejemplo en la Comunidad de Madrid¹⁵ que aconsejaban el uso de purificadores con filtros HEPA solo en el caso en que la ventilación natural no fuera adecuada, el caso analizado en este artículo nos

muestra que, en un centro escolar, debido a la diversidad de aulas, orientaciones geográficas y características de diseño, convendría una evaluación más detallada con un medidor de CO₂ para llegar a conclusiones aula por aula. Pese a que el confort térmico debe ceder frente a consideraciones sanitarias¹⁵, lo cierto es que un sistema de purificación de aire hace que los requerimientos de ventilación natural sean menores y que, por tanto, como ya se ha reiterado, se pueda conseguir un mejor confort térmico en las aulas.

Evidentemente este caso también revela puntos débiles en el procedimiento. Así, el estudio debió realizarse durante más días y, de forma ideal, con un medidor de CO₂ por aula para que las condiciones ambientales del exterior fueran homogéneas en todas las clases al mismo tiempo. La falta de recursos y la urgencia de tener directrices claras en esos meses de invierno condicionó la forma de proceder. No obstante, y pese a estas y otras limitaciones, se consiguió realizar una valiente propuesta que mejoró las condiciones de calidad de aire en las clases. Además, fue pionera en la ciudad, donde la inmensa mayoría de centros escolares públicos de primaria y secundaria fueron construidos antes de 2007, es decir, antes de que existiera la reglamentación sobre calidad de aire recogida en el RITE y, por tanto, estaban y están en las mismas condiciones que el colegio objeto de este estudio.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación está en deuda con el AMPA del CEIP San Cristóbal, su equipo directivo y el profesorado. Asimismo, gracias también a María de la O Álvarez Rodríguez por su colaboración en la documentación de este artículo.

BIBLIOGRAFÍA

1. SINC. La OMS admite que es posible la transmisión aérea del coronavirus por aerosoles en entornos cerrados [actualizado el 10 de julio 2020; citado el 15 septiembre 2023] Disponible en: <https://www.agenciasinc.es/Noticias/La-OMS-admite-que-es-posible-la-transmision-aerea-del-coronavirus-por-aerosoles-en-entornos-cerrados>.
2. Mandavilli A. 239 experts with one big claim: Coronavirus is airborne [actualizado el 4 de julio de 2020; citado el 15 septiembre 2023] Disponible en: <https://www.nytimes.com/2020/07/04/health/239-experts-with-one-big-claim-the-coronavirus-is-airborne.html>.
3. Ministerio de Sanidad. Evaluación del riesgo de la transmisión del SARS-CoV-2 mediante aerosoles. Medidas de prevención y recomendaciones. 2020. Disponible en: https://www.mscbs.gob.es/profesionales/saludPublica/ccayes/alertasActual/nCov/documentos/COVID19_Aerosoles.pdf.
4. Consejería de Educación y Cultura y Consejería de Salud de la Región de Murcia (2020). Guía para el inicio del curso 2020-2021 [actualizado el 24 de julio de 2020; citado el 15 septiembre 2023] Disponible en: http://cendocps.carm.es/documentacion/2021_Guia_inicio_curso2021_22.pdf.

5. Allen J, Spengler J, Jones E, Cedeno-Laurent J. Guía en 5 pasos para medir la tasa de renovación de aire en aulas. Universidad de Harvard [actualizado en agosto de 2020; citado el 15 septiembre 2023] Disponible en: https://drive.google.com/file/d/1_50PAmoiSB0aaa4vUctYy4qVrR1r5q/view.
6. Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios. BOE nº 207, de 29 de agosto.
7. Ministerio de Sanidad. Recomendaciones de operación y mantenimiento de los sistemas de climatización y ventilación de edificios y locales para la prevención de la propagación del SARS-CoV-2. 2020. Disponible en: https://www.mscbs.gob.es/profesionales/saludPublica/ccayes/alertasActual/nCov/documentos/Recomendaciones_de_operacion_y_mantenimiento.pdf.
8. Vimbert R, Arañó M, Custodio D, García J, Monagas P. Evidence of OH radicals disinfecting indoor air and surfaces in a harmless for humans method. *International Journal of Engineering Research & Science* 2020; 6(4):1-13.
9. Gómez Alvarez E, Amedro D, Affif C, Gligorovski S, Schoemaeker C, Fittschen, C et al. Unexpectedly high indoor hydroxyl radical concentrations associated with nitrous acid. *Proc Natl Acad Sci U S A* 2013; 110(33):13294–9.
10. Minguillón MC, Querol X, Felisi JM, Garrido T. Guía para ventilación de las aulas CSIC [actualizado en octubre de 2021; citado el 15 septiembre 2023]. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (España).
11. Consejería de Salud de la Región de Murcia. Informe sobre el uso de aparatos portátiles de purificación de aire en centros educativos [actualizado el 22 de octubre de 2020; citado el 15 septiembre 2023] Disponible en: https://www.murciasalud.es/recursos/ficheros/469933-Informe_Purificadores_portatiles.pdf.
12. Real Decreto 486/1997 de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo. BOE nº 97, de 23 de abril.
13. Crespi S, Ordóñez JM. La relevancia de la higiene del aire: una urgencia tras la pandemia de la COVID-19. *Rev. Salud Ambiental* 2022; 22(1):81-90.
14. Morawska L, Li Y, Salthammer T. Lessons from the COVID-19 pandemic for ventilation and indoor air quality. *Science (New York, N.Y.)* 2024; 385(6707):396–401.
15. Comunidad de Madrid. Instrucción de la Viceconsejería de Organización Educativa de la Comunidad de Madrid para la correcta ventilación de los centros educativos [actualizado el 3 de noviembre de 2020; citado el 15 septiembre 2023] Disponible en: <https://formacion.educa.madrid.org/mod/resource/view.php?id=36362>.