

# EVALUACIÓN DEL CONFORT TÉRMICO Y CALIDAD DE AIRE CON DISTINTOS SISTEMAS DE VENTILACIÓN Y PURIFICACIÓN DE AIRE EN UNA RESIDENCIA DE PERSONAS MAYORES

J.L. Sánchez-Jiménez<sup>1\*</sup>, F. Peci<sup>1</sup> y M. Ruiz de Adana<sup>1</sup>

1: Departamento de Química, Física y Termodinámica Aplicada, Universidad de Córdoba, 14014,  
Córdoba.  
e-mail: p02sajij@uco.es

**Resumen:** *La calidad del aire en interiores es crucial para asegurar la salud de los ocupantes en espacios cerrados, especialmente para personas mayores. En residencias de personas mayores, es fundamental asegurar la ventilación y filtración de aire para evitar la acumulación de contaminantes como el CO<sub>2</sub> y/o partículas. La combinación de sistemas de ventilación y purificadores de aire eficaces permiten desarrollar estrategias para mejorar el confort térmico y la calidad del aire interior en espacios cerrados. Este estudio se realizó en una residencia de personas mayores en Córdoba, España. Se registraron valores de temperatura y humedad relativa para evaluar confort térmico, y se midió la concentración de CO<sub>2</sub> y de partículas PM<sub>2.5</sub> con distintos sistemas de ventilación: natural, mecánica y mecánica con purificador de aire. La instalación de un sistema de ventilación mecánica redujo el CO<sub>2</sub> en un 24% respecto al caso con ventilación natural, mejorando el confort térmico. Sin embargo, la adición de un purificador de aire al sistema de ventilación mecánica redujo las partículas PM<sub>2.5</sub> en un 67%. Estos resultados resaltan la importancia de establecer una adecuada estrategia de ventilación y purificación de aire para garantizar el confort térmico y la calidad del aire en ambientes interiores.*

**Palabras clave:** Residencias de mayores; confort térmico; ventilación natural; ventilación mecánica; purificador de aire portátil.

## 1. INTRODUCCIÓN

Durante la reciente pandemia provocada por el SARS-CoV2 los centros de atención de largo plazo como son las residencias de mayores fueron los lugares más críticos. En Córdoba, en personas de 80 años o más, hubo un total de 2854 personas hospitalizadas provenientes de residencias desde que se comenzaron a registrar datos semanales hasta el fin de la pandemia. De estas personas hospitalizadas, 1046 fallecieron, lo que representa un 37% de fallecimientos de las personas hospitalizadas provenientes de residencias de mayores [1]. Estos resultados indican que las personas mayores que viven en residencias son un grupo especialmente vulnerable. Por ello es necesario adoptar estrategias de calidad de aire interior que reduzcan el riesgo de infecciones respiratorias. Los patógenos como la gripe, el resfriado común o el SARS-CoV-2 [2] se transmiten mediante infección cruzada entre una persona infectada que exhala gotitas y una o varias personas sanas que las inhalan. Una mala ventilación aumenta el riesgo de una mayor infección en este tipo de ambientes interiores [3], [4]. Para reducir la probabilidad de infección se pueden plantear diferentes soluciones basadas en ventilación natural, ventilación mecánica y/o filtración mediante purificadores de aire portátil.

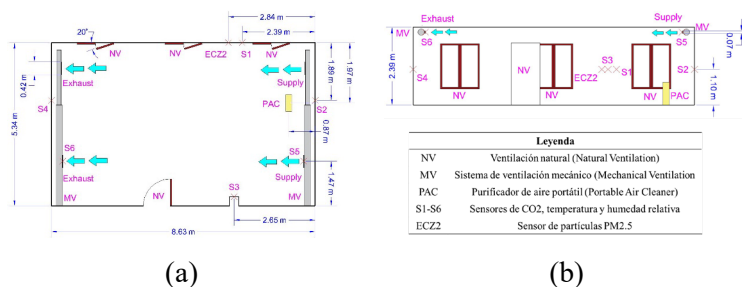
En trabajos anteriores en residencias de mayores Urrutia [5] instaló una tecnología avanzada de purificación de aire en los conductos de ventilación de un centro de atención de larga duración. Su estudio reveló que esta tecnología redujo un 98.83% los patógenos transmitidos por el aire y un 89.88% los componentes volátiles.

1 En [6], se concluyó que el aumento de las tasas de caudal de aire resultaban efectivas para limpiar la sala de  
2 contaminantes en 40 minutos. Wu [7] diseñó una planta de un centro de atención de largo plazo y simuló el  
3 comportamiento de contaminantes bajo una combinación entre un sistema de ventilación HVAC y varios  
4 purificadores de aire portátiles. En lugares más pequeños, la concentración se redujo un 99.9%, mientras que,  
5 en zonas comunes como vestíbulo, la reducción fue de un 30%.

6  
7 En este estudio la calidad de aire interior y el confort térmico fueron evaluados bajo diferentes estrategias de  
8 ventilación natural, ventilación mecánica y combinación del sistema de ventilación con un purificador de aire  
9 portátil en una sala de usos múltiples de una residencia de mayores ubicada en Córdoba. Este trabajo evalúa  
10 las diferentes opciones de ventilación natural, ventilación mecánica y purificador de aire portátil existentes,  
11 pero no considera otras alternativas no instaladas o que puedan emplearse en una residencia de mayores.

## 12 2. METODOLOGÍA

13 Este estudio se realizó en una sala de una residencia ubicada en Córdoba, España. La sala tiene las siguientes  
14 dimensiones: 8.63 m de largo, 5.34 m de ancho y 2.39 m de alto (110 m<sup>3</sup>), véase la figura 1. En esta sala había  
15 10 personas. Durante un periodo de 10 días se llevó a cabo un periodo de medida en la sala en su estado inicial,  
16 es decir, empleando ventilación natural cruzada, NV. Esta ventilación se formaba por el aire que entraba por  
17 las ventanas, las cuales estaban abiertas 20° y se extraía por la puerta de la sala, la cual se encontraba abierta  
18 totalmente, dando lugar a una tasa de 1.3 ACH (143 m<sup>3</sup>/h). Posteriormente, se instaló un sistema de ventilación  
19 mecánico, MV, y se volvió a realizar un periodo de medida de 10 días. Adicionalmente, se añadió un  
20 purificador de aire portátil, PAC, en el lateral derecho de la sala y se combinó el sistema MV con la NV, véase  
21 la figura 1, y se volvió a realizar un periodo de medida de 10 días.



22 Figura 1. Setup sala de usos múltiples: (a) planta (b) alzado.

23 El sistema MV estaba formado por un intercambiador de calor (RCF5DMTHA, Frimec, España) junto con un  
24 sistema de conductos instalados para la impulsión y extracción de aire ubicados en la zona superior de la pared  
25 derecha e izquierda respectivamente. El MV impulsaba aire filtrado del exterior a través de dos rejillas y lo  
26 extraía de la sala a través de dos rejillas. El MV impulsaba y extraía aire con una tasa 1.6 ACH (176 m<sup>3</sup>/h). El  
27 PAC (K08A, Tecnapure, España) extraía aire de la sala e impulsaba a través de una rejilla aire filtrado mediante  
28 filtro HEPA H13. El PAC se ajustó a 0.6 ACH (66 m<sup>3</sup>/h) debido a que el ruido del ventilador del PAC resultaba  
29 molesto para las personas que había en el interior de la sala. Las tasas de ventilación de la ventilación natural,  
30 ventilación mecánica y el purificador de aire portátil se obtuvieron con el método de decaimiento [8].

31  
32 Para evaluar las variables de calidad de aire de la sala se midió concentración de dióxido de carbono, CO<sub>2</sub>, y  
33 partículas, PM2.5. Para medir la concentración de CO<sub>2</sub> se emplearon seis sensores (LoRaWAN EU868,  
34 IMBuildings, Países Bajos) con una precisión de ±50 ppm +5% de lectura. Se ubicaron cuatro sensores en las  
35 paredes (S1-S4), un sensor en la impulsión (S5) en la impulsión y otro en la extracción (S6) del MV. Además,  
36 con estos seis sensores se pudo medir la temperatura ambiente y la humedad relativa para evaluar el confort  
37 térmico con una precisión de ±0,2°C y ±2% respectivamente. Por otro lado, para medir la concentración de  
38 partículas PM2.5 se utilizó un sensor (EcomZen2, DILUS, España) ubicado cerca de S1 (ECZ2), véase la  
39 figura 1. Para todos estos sensores, la frecuencia de medida fue de dos minutos.

40  
41 Se llevaron a cabo tres periodos de medida con diferentes estrategias de ventilación, NV, combinando NV y  
42 MV y combinando NV con MV y PAC, véase la tabla 1. De los tres periodos de medida se escogieron tres  
43 días en los cuales se realizó la misma actividad: 5 de abril de 2023 (NV), 26 de abril de 2023 (NV+MV) y 31  
44 de mayo de 2023 (NV+MV+PAC).

1

Tabla 1. Casos experimentales

Caso experimental	Fecha	Número de personas	Horario	Volumen (m <sup>3</sup> )	Tasa de caudal de aire		Tasa de caudal de aire equivalente	
					h <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> /h	h <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> /h
NV	5 de abril 2023	10	10:00 - 14:00	110	1.3	143	0	0
NV+MV	26 de abril 2023		10:00 - 14:00		2.9	319	0	0
NV+MV+PAC	31 de mayo 2023		10:00 - 14:00		2.9	319	3.5	385

2

3 Se registraron los datos de temperatura ambiente, radiante, humedad relativa y velocidad de cada día en los  
4 que la sala mantuvo una ocupación similar de personas mediante el conteo de personas de forma manual. Se  
5 realizó un filtrado de los datos registrados para asegurar una ocupación similar. Se evaluó el confort térmico  
6 determinando el porcentaje de personas insatisfechas, PPD [9], mediante la herramienta CBE  
7 Thermal Comfort Tool [10] en base a la norma EN-16798 [11]. Para ello, se ha considerado una actividad  
8 metabólica de 1 met, personas sentadas, y un índice de vestimenta de 0.74 clo. Los resultados obtenidos se  
9 agruparon en función de las categorías de confort térmico según el valor de PPD, véase la tabla 2.

10

Tabla 2. Clasificación de una sala según valor PPD.

Clasificación	PPD
I	< 6%
II	6% - 9%
III	10% - 15%
IV	> 15%

11

12 Para la evaluación de la calidad de aire interior se realizó un análisis estadístico de todo el periodo de medida  
13 de cada caso experimental. Al igual que para la evaluación del confort térmico, se filtraron los datos  
14 considerando los días en los que la sala estuvo ocupada. Con estos datos se obtuvo el promedio, máximo y  
15 mínimo de la concentración tanto de CO<sub>2</sub> como de partículas PM<sub>2.5</sub>. Para la clasificación de la calidad de aire  
16 de la sala, se empleó el criterio establecido en el Reglamento de Instalaciones Térmicas, RITE [12],  
17 determinando la concentración de CO<sub>2</sub> por encima de la concentración en el aire exterior, según se muestra en  
18 la tabla 3.

19

Tabla 3. Clasificación de una sala según valor de CO<sub>2</sub>.

Categoría	CO <sub>2</sub> (ppm)
IDA1	350
IDA2	500
IDA3	800
IDA4	1200

20

21 Para la evaluación de la sala según el valor de partículas, se tomó como referencia el valor límite proporcionado  
22 por la Organización Mundial de la Salud, OMS [13]. Para partículas PM<sub>2.5</sub> el valor límite es 15 µg/m<sup>3</sup> para  
23 un período de 24 horas.

24

### 3. RESULTADOS

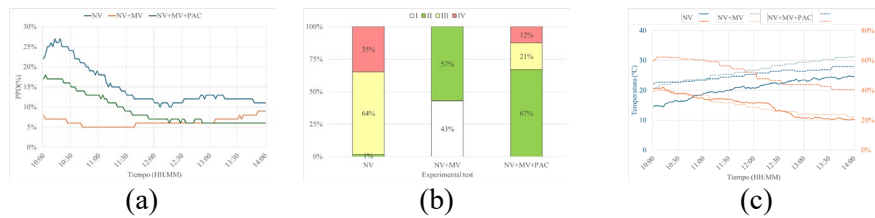
25

#### 3.1. Confort térmico. Evolución temporal PPD – Categorías

26

27 En la figura 2 se muestra la evolución temporal del porcentaje de personas insatisfechas, PPD, la clasificación  
28 del confort térmico en diferentes categorías (I, II, III y IV) según la norma EN-16798, la evolución temporal  
29 de la temperatura exterior y la humedad relativa exterior para todos los casos experimentales en un día  
30 representativo del periodo de medida.

30

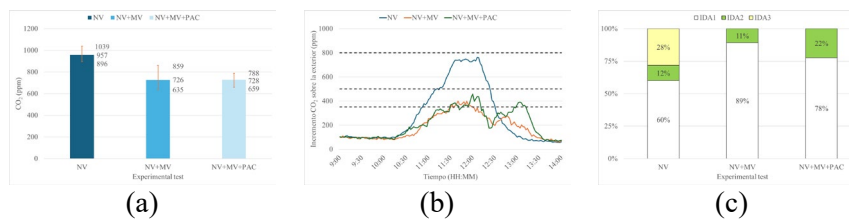


1 Figura 2. Confort térmico: (a) Evolución temporal PPD (b) Clasificación confort térmico según EN-16798 (c)  
 2 Evolución temporal temperatura exterior y humedad relativa exterior.

3 Se encontraron valores de PPD elevados, 27% y 18%, para los casos NV y NV+MV+PAC en la parte inicial  
 4 de la evaluación, coincidiendo con la entrada de personas en la sala (10:00-10:30). Pasado este periodo el PPD  
 5 comienza a disminuir hasta estabilizarse (a partir de las 11:40), véase la figura 2a. Dentro de ese periodo de  
 6 estabilidad, el valor promedio, 12%, de PPD más alto se encontró en NV en la sala. Sin embargo, este valor  
 7 disminuyó hasta un 7% cuando se utilizó el MV o cuando se combinó con el PAC. Como se puede ver en la  
 8 figura 2b, empleando NV, el confort térmico se clasificó solo un 1% como categoría II, un 64% como categoría  
 9 III y un 35% como categoría IV. En el caso del sistema MV, el confort térmico mejoró considerablemente. Se  
 10 obtuvo un porcentaje del 43% como categoría I y un 57% como categoría II. Sin embargo, al combinar NV y  
 11 MV con el sistema PAC, se obtuvieron porcentajes del 67%, 21% y 12% como categorías II, III y IV  
 12 respectivamente. Es decir, en este caso, se redujo el confort térmico respecto al caso combinado NV y MV,  
 13 aunque los valores resultantes son superiores al caso NV. Estos resultados dependen en gran medida de la  
 14 temperatura y humedad relativa medidas en el exterior. Durante NV, el PPD fue notablemente alto entre las  
 15 10:00 y las 10:30, como se observa en la figura 2c, debido a la baja temperatura exterior y la alta humedad  
 16 relativa registradas en ese período. Al introducir el sistema MV, el PPD mejoró significativamente debido al  
 17 aumento de la temperatura exterior, lo que, junto con una alta humedad relativa, figura 2c, contribuyó a esta  
 18 mejora. Sin embargo, hacia el tramo final, el PPD aumentó debido al incremento de la temperatura exterior y  
 19 la disminución de la humedad relativa. En contraste, al añadir el PAC, se observó una humedad relativa muy  
 20 alta, lo que llevó a un alto PPD, el cual mejoró con el tiempo, conforme la humedad relativa fue disminuyendo.

21 **3.3. Calidad de aire: CO<sub>2</sub>. Análisis estadístico – Evolución temporal – Categorías.**

22 En la figura 3 se muestra un análisis estadístico (máximo, promedio y mínimo) de la concentración de CO<sub>2</sub>, la  
 23 evolución del incremento de la concentración de CO<sub>2</sub> sobre el exterior en el tiempo y la clasificación de la sala  
 24 en diferentes categorías (IDA1, IDA2 e IDA3) según el nivel de CO<sub>2</sub> establecido en el Reglamento de  
 25 instalaciones térmicas, RITE, en los edificios para todos los casos experimentales durante un día representativo  
 26 del periodo de medida. La concentración de CO<sub>2</sub> exterior media fue de 450 ppm.  
 27



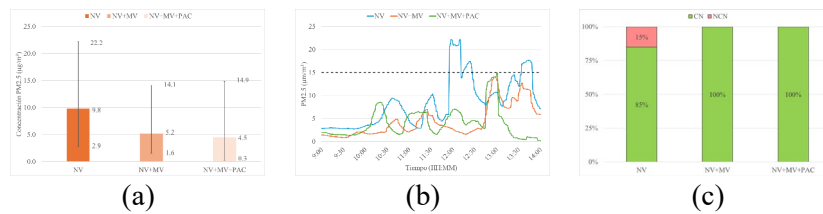
28 Figura 3. CO<sub>2</sub>: (a) Análisis estadístico (b) Evolución temporal (c) Categorías.

29 La concentración media de CO<sub>2</sub> más alta, 957 ppm, se encontró cuando en la sala NV, véase la figura 3a. En  
 30 este caso se alcanzó un valor máximo de 1039 ppm y un valor mínimo de 896 ppm. La concentración de CO<sub>2</sub>  
 31 disminuyó un 24% cuando se usó el MV. Se alcanzó un valor medio, 726 ppm, de concentración de CO<sub>2</sub>. El  
 32 valor máximo y mínimo disminuyeron un 17% y un 29% respectivamente (859 ppm y 635 ppm). Esto se debe  
 33 a la capacidad de dilución y extracción del MV. Sin embargo, la concentración de CO<sub>2</sub> se mantuvo estable  
 34 cuando se añadió el PAC, dado que el filtro HEPA retiene partículas pero no tiene efecto sobre gases. En la  
 35 figura 3b se observa como para los tres casos experimentales la concentración de CO<sub>2</sub> comienza a aumentar a  
 36 partir de las 10:00 que es cuando comienzan a entrar personas a la sala hasta alcanzar una estabilidad sobre las  
 37 11:30. Esta concentración disminuye sobre las 12:00 hasta alcanzar su valor inicial entre las 13:00 y 13:30.  
 38 Cuando se alcanzó una estabilidad en la concentración de CO<sub>2</sub>, se observa que cuando NV, la sala se clasificó  
 39 como una IDA3, mientras que cuando el MV se activó, la sala mejoró hasta una IDA1, aunque en instantes  
 40 estuvo en una IDA2. En el caso de combinación con el sistema PAC, los resultados son similares. La figura

3b muestra un repunte de la concentración de CO<sub>2</sub> a partir de las 12:30 tanto cuando se usó solo el VM como cuando se combinó con el PAC. Esto se debe a que hubo en estos días se realizó una actividad extra de 12:30 a 13:30, por tanto, la sala volvió a estar ocupada y la concentración volvió a aumentar. La figura 3c muestra como la sala se clasificó como IDA1 un 60% del tiempo, como IDA2 un 12% y como IDA3 un 28% cuando NV. Esto mejoró considerablemente con el MV y la sala estuvo un 89% del tiempo clasificada como IDA1 y un 11% como IDA2. De manera similar ocurrió cuando se combinó con el PAC, un 78% como IDA1 y un 22% como IDA2. La mejora utilizando el MV se debe a una mayor efectividad en la dilución de CO<sub>2</sub> y la extracción de aire al exterior.

### 9 3.6. Partículas. Evolución temporal-Categorías

10 En la figura 4 se muestra un análisis estadístico (máximo, promedio y mínimo) de la concentración de  
 11 partículas PM2.5, la evolución de la concentración en el tiempo y el porcentaje de tiempo en el que cada caso  
 12 experimental cumple la normativa, CN, o no cumple la normativa, NCN, establecida por la OMS, 15 µg/m<sup>3</sup>,  
 13 para PM2.5 para todos los casos experimentales durante un día representativo del periodo de medida.  
 14



15 Figura 4. PM2.5: (a) Análisis estadístico (b) Evolución temporal (c) Categorías.

16 En la figura 4a se muestra como la concentración media de PM2.5 disminuyó conforme se van añadiendo  
 17 sistemas de ventilación/filtración como se esperaba. Para NV, la concentración media obtenida fue de 9.8  
 18 µg/m<sup>3</sup> en PM2.5 con un máximo y un mínimo de 22.2 µg/m<sup>3</sup> y 2.9 µg/m<sup>3</sup> respectivamente. La concentración  
 19 media, el máximo y el mínimo de concentración disminuyeron un 47%, un 36% y un 45% cuando se usó el  
 20 MV (5.2 µg/m<sup>3</sup>, 14.1 µg/m<sup>3</sup> y 1.6 µg/m<sup>3</sup> respectivamente). Ahora bien, al combinarlo con un PAC, la  
 21 concentración media y mínima disminuyeron un 13% y un 81% respectivamente hasta 4.5 µg/m<sup>3</sup> y 0.3 µg/m<sup>3</sup>  
 22 respectivamente. No obstante, la concentración máxima fue ligeramente superior a la combinación de sistemas  
 23 NV y MV, 14.9 µg/m<sup>3</sup>. En la figura 4b se muestra como a partir de las 10:00 comienza a crecer la concentración  
 24 de PM2.5 cuando entran personas. Entre las 13:00-14:00 las personas comienzan a salir de la sala y la  
 25 concentración empieza a descender. En la figura 4b se puede ver como en NV hay periodos de tiempo, 15%  
 26 como se muestra en la figura 4c, en que la sala superaba el límite establecido por la OMS con un máximo de  
 27 22.2 µg/m<sup>3</sup>. En los casos de NV y MV y en NV,MV y PAC siempre se mantuvo la concentración inferior al  
 28 límite de la OMS, 100% como se puede ver en la figura 4c. Estos resultados indican que el MV tuvo una mayor  
 29 efectividad para reducir la concentración PM2.5 debido a la dilución con aire exterior filtrado y a su capacidad  
 30 de extracción de aire. Estos resultados mejoraron con la inclusión del PAC debido a la elevada capacidad de  
 31 retención de partículas de su filtro HEPA.

### 32 4. CONCLUSIONES

33 Se ha realizado un estudio de calidad de aire y confort térmico fueron evaluados en una sala de usos múltiples  
 34 de una residencia de mayores ubicada en Córdoba bajo diferentes estrategias de ventilación: ventilación natural  
 35 cruzada, combinación de sistema de ventilación natural cruzada y ventilación mecánica y combinación de  
 36 ventilación natural cruzada, ventilación mecánica y purificador de aire portátil. Los resultados obtenidos en el  
 37 presente trabajo permiten concluir que:

- 38 • Al emplear la combinación de sistema de ventilación natural cruzada y ventilación mecánica, el confort  
 39 térmico alcanzó la categoría I durante el 43% del tiempo de ocupación de la sala. A pesar de que las  
 40 condiciones de confort térmico están afectadas por las condiciones externas de temperatura y humedad  
 41 relativa.
- 42 • La calidad del aire interior, en términos de concentración de CO<sub>2</sub>, mantuvo a la sala en la categoría  
 43 IDA1 durante el 89% del tiempo de ocupación al emplear la combinación de sistema de ventilación  
 44 natural cruzada y ventilación mecánica.
- 45 • La concentración de partículas PM2.5 de la sala analizada cumplió con los estándares de la OMS

1 durante todo el tiempo de ocupación al emplear la combinación de sistema de ventilación natural  
2 cruzada y ventilación mecánica y también al emplear la combinación de sistema de ventilación natural  
3 cruzada y ventilación mecánica y purificador de aire portátil.

4 Los resultados de este trabajo permiten avanzar en la evaluación del confort térmico y de la calidad de aire  
5 interior en residencia de personas mayores empleando soluciones basadas en combinaciones de sistemas de  
6 ventilación natural, ventilación mecánica y de purificación de aire. Este conocimiento resulta de interés para  
7 garantizar unas condiciones ambientales adecuadas para las personas mayores que viven en este tipo de  
8 residencias. En el futuro se espera completar el estudio con otros tipos de contaminantes y tasas de ventilación.

## 9 AGRADECIMIENTOS

10 Los autores agradecen el apoyo económico recibido del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades al  
11 Proyecto Nacional I+D+i BIORISK con referencia RTI2018-094703-B-I00, titulado “*Bioaerosoles en*  
12 *entornos hospitalarios. Control y evaluación del riesgo de infección*”. Este proyecto está cofinanciado por el  
13 Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER).

## 14 REFERENCIAS

- 15 [1] Junta de Andalucía, Informe COVID-19 en Andalucía tras la fase aguda de la pandemia, (n.d.).  
16 <https://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/salud/COVID19.html> (accessed  
17 March 26, 2024).
- 18 [2] L. Morawska, D. Milton, It Is Time to Address Airborne Transmission of COVID-19, *Clin. Infect. Dis.*  
19 73 (2021) E3981–E3982. <https://doi.org/10.1093/cid/ciaa1118>.
- 20 [3] P. de Man, S. Paltansing, D. Ong, N. Vaessen, G. van Nielen, J. Koeleman, Outbreak of Coronavirus  
21 Disease 2019 (COVID-19) in a Nursing Home Associated With Aerosol Transmission as a Result of  
22 Inadequate Ventilation, 73 (2021) 170–171. <https://doi.org/10.2807/1560>.
- 23 [4] G. Sanglier-Contreras, E.J. López-Fernández, R.A. González-Lezcano, Poor ventilation habits in  
24 nursing homes have favoured a high number of COVID-19 infections, *Sustain.* 13 (2021).  
25 <https://doi.org/10.3390/su132111898>.
- 26 [5] A.R. Urrutia, S.D. Schlener, S. Eid, K.A. Bock, K.C. Worrilow, The Effects of an Advanced Air  
27 Purification Technology on Environmental and Clinical Outcomes in a Long-Term Care Facility,  
28 *Journals Gerontol. - Ser. A Biol. Sci. Med. Sci.* 78 (2023) 2325–2332.  
29 <https://doi.org/10.1093/gerona/glad113>.
- 30 [6] E. Mousavi, K. Grosskopf, P. Arnold, R. Lautz, J. Lau, Experimental measurement of bioaerosol  
31 concentrations and containment in long-term care environments, *Build. Environ.* 223 (2022) 109415.  
32 <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109415>.
- 33 [7] A. Wu, M. Brands, K. Ullah, A. Rohn, A.S. Fung, HVAC Strategies for Mitigating the Spread of  
34 COVID-19 in Ontario Long-Term Care Homes, in: *ASHRAE Trans.*, 2022: pp. 68 – 75.  
35 [https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-](https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85170038554&partnerID=40&md5=fe93ffa2550306afc8f15c55f476e45e)  
36 [85170038554&partnerID=40&md5=fe93ffa2550306afc8f15c55f476e45e](https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85170038554&partnerID=40&md5=fe93ffa2550306afc8f15c55f476e45e).
- 37 [8] W. Liang, X. Qiu, Comparative analysis of CO2 tracer gas methods for the measurement of air change  
38 rates in student dormitory rooms with open/closed window statuses, *Energy Build.* 296 (2023) 113363.  
39 <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113363>.
- 40 [9] UNE-EN ISO 7730. Ergonomía del ambiente térmico Octubre 2006. Determinación analítica e  
41 interpretación del bienestar térmico mediante el cálculo de los índices PMV y PPD y los criterios de  
42 bienestar térmico local, (2006).
- 43 [10] CBE, CBE Thermal Comfort Tool, (n.d.). <https://comfort.cbe.berkeley.edu/EN> (accessed January 10,  
44 2024).
- 45 [11] UNE-EN 16798-1, Eficiencia energética de los edificios. Ventilación de los edificios. Parte 1:  
46 Parámetros del ambiente interior a considerar para el diseño y la evaluación de la eficiencia energética  
47 de edificios incluyendo la calidad del aire interior, condiciones térmi, *Asoc. Española Norm.* (2020) 7.
- 48 [12] REAL DECRETO 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones  
49 Térmicas en los Edificios, *Bol. Of. Del Estado.* (2007) 35931–35984.  
50 <https://www.boe.es/boe/dias/2007/08/29/pdfs/A35931-35984.pdf>.
- 51 [13] OMS, WHO global air quality guidelines, Part. Matter (PM2.5 PM10), Ozone, Nitrogen Dioxide, Sulfur  
52 Dioxide Carbon Monoxide. (2021) 1–360.