

VENTILACIÓN DE ESPACIOS EDUCATIVOS EN EL CONTEXTO DE COVID-19 EN PUERTO MADRYN, ARGENTINA

Natalia L. Pessacg¹, Damián Taire^{2,3}

¹Instituto Patagónico para el Estudio de los Ecosistemas Continentales CCT CONICET CENPAT

²Instituto Patagónico de Ciencias Sociales y Humanas CCT CONICET CENPAT

³Unidad de Neumonología Infantil, Hospital Zonal “Dr. Andrés R. Isola”, Puerto Madryn, Argentina

(Manuscrito recibido el 5 de abril de 2023, en su versión final el 9 de julio de 2023)

RESUMEN

La buena calidad del aire interior y el confort térmico en las aulas educativas, especialmente en lo que respecta a las infancias, no sólo es relevante para disminuir el contagio de numerosas enfermedades respiratorias entre ellas la causada por el SARS-CoV-2, sino que también favorece la concentración, mejora los niveles de satisfacción con el entorno y disminuye las tasas de ausentismo escolar. En este trabajo se presentan los resultados de las mediciones de concentración de CO₂ que se realizaron en el interior de aulas de jardines y escuelas de nivel inicial de la ciudad de Puerto Madryn, Argentina, en el contexto de la pandemia de COVID-19. Esto permitió evaluar los niveles de CO₂ en las aulas y colaborar con las instituciones educativas en verificar si la ventilación que estaban realizando era la adecuada con el fin de disminuir el riesgo de contagio de COVID-19. Los resultados evidenciaron que una ventilación natural continua disminuye la concentración de CO₂ de las aulas, lo que indica un menor riesgo de contagio de COVID-19, pero que bajo condiciones ambientales no favorables es complejo de implementar por lo que es necesario innovar con nuevas soluciones simples a las deficiencias de los sistemas actuales de ventilación en las instituciones educativas de nuestro país.

Palabras clave: Aerosoles, CO₂, Enfermedades respiratorias, Espacios educativos.

VENTILATION OF SCHOOL SPACES IN THE CONTEXT OF COVID-19 IN PUERTO MADRYN, ARGENTINA

ABSTRACT

Good indoor air quality and thermal comfort in the educational classroom, especially with regard to childhood, is not only relevant to reduce the spread of numerous respiratory diseases, including that caused by SARS-CoV-2, but also it favors concentration, improves levels of satisfaction with the environment and decreases rates of school absenteeism. This paper presents the results of the CO₂ concentration measurements that were carried out inside kindergarten classrooms and elementary schools in the city of Puerto Madryn in the context of the COVID-19 pandemic. This made it possible to evaluate the CO₂ levels in the classrooms and collaborate with educational institutions to verify if the

Dirección Electrónica: pessacg@cenpat-conicet.gob.ar

Esta obra está bajo una: Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional

ventilation they were carrying out was adequate in order to reduce the risk of contagion of COVID-19. The results showed that continuous natural ventilation greatly decreases the CO₂ concentration in the classrooms which indicates a lower risk of COVID-19 contagious, but under unfavorable environmental conditions it is complex to implement, so it is necessary to innovate with new simple solutions to the deficiencies of the current ventilation systems in the classrooms. educational institutions in our country.

Keywords: Aerosols, CO₂, Respiratory diseases, Educational spaces.

1. INTRODUCCIÓN

La Organización Mundial de la Salud (OMS) en las primeras instancias de la pandemia de COVID19 declaró que el SARS-CoV-2 no se transmitía por el aire (Lewis 2022). Sin embargo, el 20 de octubre de 2020 reconoció que los aerosoles (diminutas gotas de líquido) podían transmitir el virus, pero que esto era una preocupación solo en entornos específicos, como espacios interiores, abarrotados de personas e inadecuadamente ventilados. Ese mensaje de la OMS fue modificándose gradualmente para finalmente concluir, el 23 de diciembre de 2021, que los aerosoles podrían transportar el virus por más de un metro y permanecer en el aire. Además, la OMS específico en ese momento, que la transmisión del virus puede ocurrir a través de "transmisión aérea de largo alcance.^{em} entornos interiores mal ventilados o abarrotados "porque los aerosoles pueden permanecer suspendidos en el aire o viajar más allá de la distancia conversacional"(Lewis 2022). Esta última declaración es la más clara de la OMS hasta el momento sobre la transmisión aérea del SARS-CoV-2 y está en línea con lo declarado por numerosos expertos y expertas en aerosoles y salud pública desde los primeros días del brote (Lewis, 2021a, 2021b; Chau et al., 2021; Groves et al., 2021; Lendacki et al., 2020; Tang et al., 2021a). Actualmente, hay una aceptación general de que éste es el modo de transmisión principal y potencialmente dominante de SARS-CoV-2 (Peng et al., 2022; Wang et al., 2021; Morawska y Milton, 2019; Lednický, 2020; National Academies of Sciences,

2020; Prather et al., 2020; Miller et al., 2021; Greenhalgh et al., 2021; Tang et al., 2021b). Este mecanismo de transmisión no es nuevo, por el contrario, la transmisión aérea es la forma dominante de transmisión de varios patógenos respiratorios. Es ampliamente aceptado por ejemplo que enfermedades como el sarampión, tuberculosis, varicela, viruela, influenza, SARS, MERS, virus sincicial respiratorio y rinovirus también se transmiten por inhalación de aerosoles (Peng et al., 2022; Wang et al., 2021).

En este contexto, es indispensable evaluar y conocer la calidad del aire que respiramos en términos de concentración de aerosoles de modo de disminuir los posibles contagios en caso de presencia de personas infectadas con alguna de estas enfermedades, y en particular con SARS-CoV-2. Uno de los métodos para evaluar cuán saludable es el aire que respiramos en este contexto particular es medir la concentración de CO₂ (dióxido de carbono). Al respirar, junto con los aerosoles, las personas exhalamos CO₂, por lo que la acumulación de este gas es un muy buen indicador de la acumulación de aerosoles (que pueden ser infectivos si hay alguien en periodo de contagio). Los medidores de CO₂ indican entonces cuán probable es estar respirando aire que ya fue respirado por otra persona en un ambiente cerrado y sin presencia de otras fuentes de CO₂, y por ende denotan cuán probable es estar expuesto a patógenos respiratorios exhalados por otros. En espacios cerrados o mal ventilados, y en el contexto de la pandemia COVID-19, se recomendó que los valores de concentración de CO₂ no superen en 300 ppm

(partes por millón de masa de aire) el valor de CO₂ exterior. Teniendo en cuenta que el valor de concentración de CO₂ exterior es cercano a las 400 ppm, en este trabajo se considerará como valor límite 800 ppm. Este valor fue, además, el valor límite recomendado por la Guía COVID-19 Prevención de transmisión por aerosoles del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Investigación y Ministerio de Salud de Argentina (https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/covid-19-prevencion-de-transmision-por-aerosoles-2021_0.pdf, accedido el 14/06/2023). Sin embargo, es importante aclarar, que en otros países del mundo este valor previo a la pandemia estaba preestablecido en valores superiores, entre 900-1200 ppm, por ejemplo, en la Unión Europea en el año 2018 estaba establecido un valor de 900 ppm como indicador de condiciones aceptables para lugares interiores (Guidelines on ventilation, thermal comfort and indoor air quality in schools. 2018, <https://www.gov.uk/government/publications/building-bulletin-101-ventilation-for-schoolbuildings>, accedido el 05/06/2023).

Considerando lo descrito previamente, y en el contexto de la pandemia de COVID-19, durante agosto de 2021 se midió la concentración de CO₂ en aulas de jardines y escuelas de nivel inicial de la ciudad de Puerto Madryn, con el fin de colaborar con las instituciones educativas en verificar si la ventilación que estaban realizando era la adecuada considerando el momento de pandemia. Se evaluó la concentración de CO₂ de las aulas y de acuerdo a los resultados se realizaron recomendaciones a las instituciones con el fin de mejorar la ventilación en las aulas y disminuir el riesgo de contagio de COVID-19.

En este marco, el objetivo de este trabajo es documentar la colaboración que se realizó, mostrar los resultados de las mediciones de CO₂ y problematizar la necesidad de mejorar los sistemas de ventilación en los espacios educativos de nuestro país para brindar a las y los alumnos ambientes con baja probabilidad de contagio de enfermedades respiratorias transmitidas por el aire.

2. METODOLOGÍA

2.1. Comunicación

Se diseñó material para comunicar e informar a jardines y escuelas de la ciudad por qué y para qué queríamos medir, y los objetivos del trabajo. Se aclaró, además, cómo se usaría la información y con qué fin. Por otro lado, se elaboró una planilla de toma de datos (Anexo) que fue validada por docentes para determinar la factibilidad de utilizarla en el aula. El acercamiento a los establecimientos educativos se realizó a través de los cargos directivos de los mismos, quienes realizaron la selección sobre qué aulas medir.

2.2. Mediciones de CO₂

Las mediciones de concentración de CO₂ se realizaron con el medidor Aranet4 donado por el Dr. José Luis Jiménez de la Universidad de Colorado (EUA). Este medidor es un monitor inalámbrico que cuenta con un sensor autónomo para monitorear concentración de CO₂ y adicionalmente temperatura, humedad relativa y presión atmosférica, con tecnología de sensor infrarrojo no dispersivo (NDIR). En este medidor, el CO₂ circula por una cámara donde absorbe la luz infrarroja y esta absorción es la que se mide por el sensor. Cuanta menos luz pase, mayor será la concentración de CO₂. El medidor utiliza un filtro óptico, dado que el CO₂ solo absorbe una longitud de onda específica de la luz. Los sensores con tecnología NDIR son más precisos que sensores químicos o foto acústicos, por ejemplo. El medidor se configuró para que transmita datos cada 2 minutos.

Al momento de la realización de las mediciones, el contexto sanitario en el marco de la pandemia era aún complejo y se estaba realizando una progresiva reinserción del alumnado a las aulas. Por este motivo, no fue posible que personas que no pertenecían a las instituciones educativas pudieran acceder a las mismas. En este sentido, tanto las mediciones, como la descripción del aula y la colocación del sensor estuvieron a cargo

de los equipos docentes.

El medidor de CO₂ lo colocó el equipo docente en las aulas antes del ingreso de las y los alumnos, alejado de ventanas y de la respiración cercana de personas, y ubicado entre 1 y 1.5 metros de altura, tal como se recomienda en la Guía COVID-19 Prevención de transmisión por aerosoles del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Investigación y Ministerio de Salud, Argentina (https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/covid-19-prevencion-de-transmision-por-aerosoles2021_0.pdf, accedido el 14/06/2023). Se consideran estas especificaciones de manera que el sensor esté alejado de fuentes (personas) o sumideros (ventanas) puntuales de CO₂. Los equipos docentes registraron en una planilla las condiciones iniciales del experimento (número de personas en el aula, cantidad de ventanas y puertas y apertura de las mismas) y el horario en el que hubo cambios que pudieran influir en la medición de concentración de CO₂ (entrada o salida de personas y apertura cierre de puertas o ventanas) (Anexo). Se tomaron mediciones en 16 aulas de 5 establecimientos educativos diferentes entre el 02/08/2021 y el 19/08/2021 (Tabla I). Al momento de las mediciones los jardines y escuelas funcionaban con el sistema de “burbujas” (turnado de asistencia) en Argentina, por lo que la cantidad de alumnos/as por aula fue menor a lo habitual. Los equipos docentes y alumnos/as mayores a tres años asistían a los establecimientos educativos con mascarillas tapabocas al momento de las mediciones. Dada la época del año todas las aulas en las que se realizaron mediciones contaban con los sistemas de calefacción encendidos (split, calefacción central, calefactores).

2.3. Condiciones ambientales y edilicias

Para caracterizar el comportamiento de la temperatura y del viento durante el periodo de medición se utilizaron los datos de la estación meteorológica de Puerto Madryn perteneciente al Servicio Meteorológico Nacional y ubicada a 5 km de distancia del centro de la ciudad.

Se consideraron los valores tridiurnos (9hs, 15hs y 21hs) de cada día del mes para ambas variables. Además, para los días donde se realizaron mediciones en los jardines y escuelas se utilizaron los registros horarios de dichas variables para calcular el valor medio de temperatura del aire y de intensidad y dirección del viento durante el turno mañana (8 a 12 hs) y turno tarde (13 a 17 hs), según correspondiera al turno de medición.

Respecto a las condiciones edilicias, los equipos docentes facilitaron información de las dimensiones y orientación de las aulas, sistemas de calefacción, disposición de puertas y ventanas y tamaño de las mismas. Como fue mencionado previamente, el contexto de pandemia dificultó en algunos casos conocer la orientación geográfica de las aulas, las dimensiones de ventanas y puertas y la posición de las mismas, de forma de evaluar correctamente la ventilación cruzada.

Se consideran condiciones edilicias adecuadas para la ventilación cruzada cuando la puerta y/o ventanas que se abren se encuentran ubicadas en paredes opuestas, de manera que el aire fluya atravesando el aula. La ventilación cruzada además es favorecida cuando la dirección de viento predominante es en el mismo sentido que la orientación de las puertas y ventanas. En este sentido, en este trabajo se consideran tres situaciones de ventilación cruzada descritas en la Tabla II: adecuada, intermedia, no adecuada.

2.4. Procesamiento de la información

Para el procesamiento de las mediciones realizadas con el sensor y los datos relevados en las planillas se utilizaron planillas de cálculo. Se verificó además que no hubiera inconsistencias entre la planilla y los valores detectados por el sensor. Finalmente se realizó un informe de devolución con los resultados obtenidos y recomendaciones para cada uno de los establecimientos educativos donde se realizaron mediciones.

ID	Fecha	Grado / Turno	Niños / Docentes	Tamaño Aula	Puertas/ Ventanas	Temp.	Viento	Orientación VC	Condiciones VC
M01	02-08	2do/TM	8/1	75 m ³	1P-2V	11.2	8 km h ⁻¹ O	N-S	NA
M02	04-08	Maternal/TM	10/1	150 m ³	1P-2V	9.6	14,2 km h ⁻¹ N	O-E	NA
M03	05-08	6to/TM	6/1	72 m ³	1P-2V	14.4	27,4 km h ⁻¹ NO	N-S	I
M04	06-08	1ro/TM	14/2	120 m ³	1P-2V	11.9	12,6 km h ⁻¹ O	sin VC	sin VC
M05	06-08	Sala 5/TT	13/2	56 m ²	2P-3V	16.8	13 km h ⁻¹ O	N-S	NA
M06	09-08	Sala 3/TM	9/2	56 m ²	2P-2V	3.3	11 km h ⁻¹ NO	N-S	I
M07	09-08	Sala 5/TT	13/2	56 m ²	1P-4V	13.6	14,6 km h ⁻¹ NO	O-E	I
M08	10-08	5to/TM	15/2	46 m ²	1P-2V	4.9	22,4 km h ⁻¹ O	N-S	NA
M09	10-08	3ro/TT	14/2	49 m ²	1P-2V	12.8	32,2 km h ⁻¹ SE	N-S	I
M10	11-08	6to/TM	14/2	50 m ²	1P-2V	1.9	11.8 km h ⁻¹ NO	O-E	I
M11	11-08	2do/TT	15/2	50 m ²	1P-2V	12.4	18 km h ⁻¹ NO	O-E	I
M12	13-08	Sala 4/TM	7/2	sin datos	3P-2V	6.6	15 km h ⁻¹ O	sin datos	sin datos
M13	19-08	Sala 5/TM	11/2	sin datos	2P-2V	7.5	18,4 km h ⁻¹ S	sin datos	sin datos
M14	17-08	2do/TT	10/1	40 m ²	1PV-1P-1V	18	28,4 km h ⁻¹ O	sin VC	sin VC
M15	18-08	3ro TT	10/1	40 m ²	1PV-1P	18.5	31,6 km h ⁻¹ O	sin VC	sin VC
M16	19-08	1ro/TT	sin datos	25 m ²	1P-2V	12.9	22,6 km h ⁻¹ O	sin VC	sin VC

Tabla I: Información de los espacios educativos de la ciudad de Puerto Madryn dónde se realizaron las mediciones de concentración de CO₂. TM: Turno Mañana; TT: Turno Tarde. P: Puertas, V: Ventanas y PV: Puerta-Ventana. Temp.: Temperatura en °C. Viento: intensidad en km h⁻¹ y dirección (N: norte; S: sur; E: este, O: oeste). VC: Ventilación Cruzada. Condiciones de ventilación: NA: no adecuada, I: intermedia siguiendo las condiciones propuestas en la Tabla II.

2.5. Consideraciones éticas

Los resultados no incluyen datos de personas. La anonimización de los datos es total e incluye el nombre de las instituciones educativas.

3. RESULTADOS

3.1. Condiciones ambientales

La ciudad de Puerto Madryn, ubicada en la costa patagónica de Argentina, está caracterizada durante el mes de agosto por valores medios de temperatura máxima de 14°C, temperatura mínima de 2°C e intensidad del viento media de 15.3 km/h. Sin embargo, a escala horaria y diurna las series de temperatura e intensidad del viento muestran una marcada variabilidad. En agosto de 2021, se observa un

periodo más cálido que lo normal durante los primeros días del mes, seguido por temperaturas debajo de 0°C entre el 7 y 13 de agosto y un nuevo ascenso de temperatura hasta el día 18 donde vuelve a descender (Fig. 1a). Mientras que para la intensidad del viento (Fig. 1b) se puede observar en algunos horarios marcados picos de intensidad a lo largo del periodo de medición que superan los 40 km/h. La conjunción de bajas temperaturas y vientos intensos es un factor bioclimático relevante en Patagonia, que conlleva a días con baja sensación térmica, lo que consecuentemente repercute en el confort humano (Coronato 1993). Las condiciones ambientales externas modifican en este sentido las formas de ventilación natural que se realizan en los espacios educativos, debido a que por ejemplo

es mucho más probable que las personas abran las ventanas en respuesta a las altas temperaturas que en respuesta a altos niveles de CO₂ (Guidelines on ventilation, thermal comfort and indoor air quality in schools. 2018, <https://www.gov.uk/government/publications/building-bulletin-101-ventilation-for-school-buildings>, accedido el 18/01/2023).

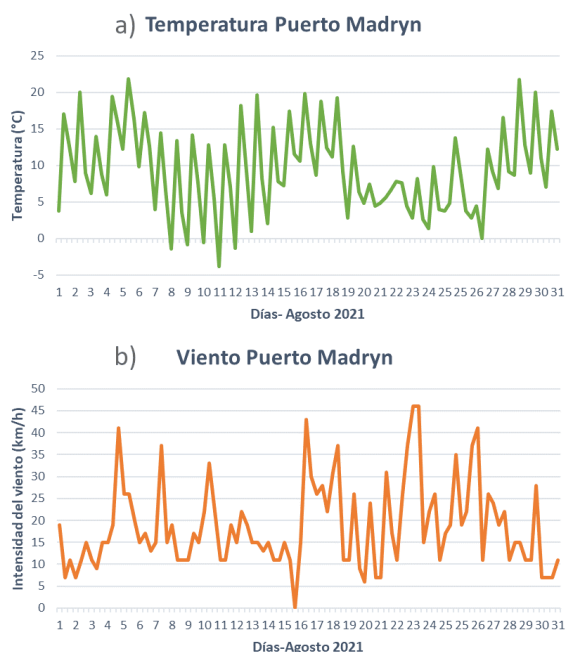


Figura 1: a) Valores de temperatura (°C) y b) intensidad del viento (km/h), tridiurnos (9hs, 15hs y 21hs) para la ciudad de Puerto Madryn en el periodo de medición (agosto 2021). Datos del Servicio Meteorológico.

En la ciudad de Puerto Madryn, durante el periodo invernal y especialmente durante el turno mañana, las condiciones frías dificultan la ventilación adecuada previo al ingreso de las y los alumnos. Los establecimientos educativos cuentan además con diferentes sistemas de calefacción (split, calefacción central, calefactores), que son relevantes en términos de la capacidad que tienen para poder superar las infiltraciones y la inercia térmica de las aulas, de manera que permitan alcanzar la temperatura adecuada en un tiempo razonable antes de que el alumnado ingrese a la institución.

Además, los diferentes sistemas de calefacción pueden equilibrar o no las pérdidas de calor por la ventilación mientras el aula esté ocupada (Guidelines on ventilation, thermal comfort and indoor air quality in schools. 2018, <https://www.gov.uk/government/publications/building-bulletin-101-ventilation-for-school-buildings>, accedido el 18/01/2023). Por otro lado, los días ventosos, la ventilación continua es poco práctica debido a las continuas corrientes de aire frío. Además, en los horarios con intensidades de viento muy marcadas algunas ventanas o puertas se cierran debido a que la corriente de aire que se genera es muy fuerte generando un ambiente no comfortable. Esto dificulta los mecanismos de ventilación natural y en particular de ventilación cruzada y continua. Problemas similares se han encontrado en otros sistemas de ventilación natural en espacios educativos de otras regiones (Guidelines on ventilation, thermal comfort and indoor air quality in schools. 2018, <https://www.gov.uk/government/publications/building-bulletin-101-ventilation-for-school-buildings>, accedido el 18/01/2023).

3.2. Mediciones de CO₂

En la Fig. 2 se grafican los valores de concentraciones de CO₂ medidos en cada aula, así como la temperatura ambiente. Además, se incorpora información sobre cómo se realizó la ventilación natural en cada espacio educativo (puertas y/o ventanas abiertas o aulas vacías) y en qué momento de la jornada. En la Tabla I se complementa la información.

Los resultados evidencian que las formas de ventilación en cada aula fueron muy variables. En algunos espacios educativos se mantuvo una ventilación natural continua (puertas y/o ventanas abiertas permanentemente durante toda la jornada de clase) y cruzada durante la jornada escolar (por ej. M02; M05; M06; M07; M10; M11; M15). Por el contrario, en otras aulas la ventilación no fue continua (por ej. M08; M09; M14) y en casos particulares fue muy escasa a lo largo de la jornada (por ej. M01; M03; M12;

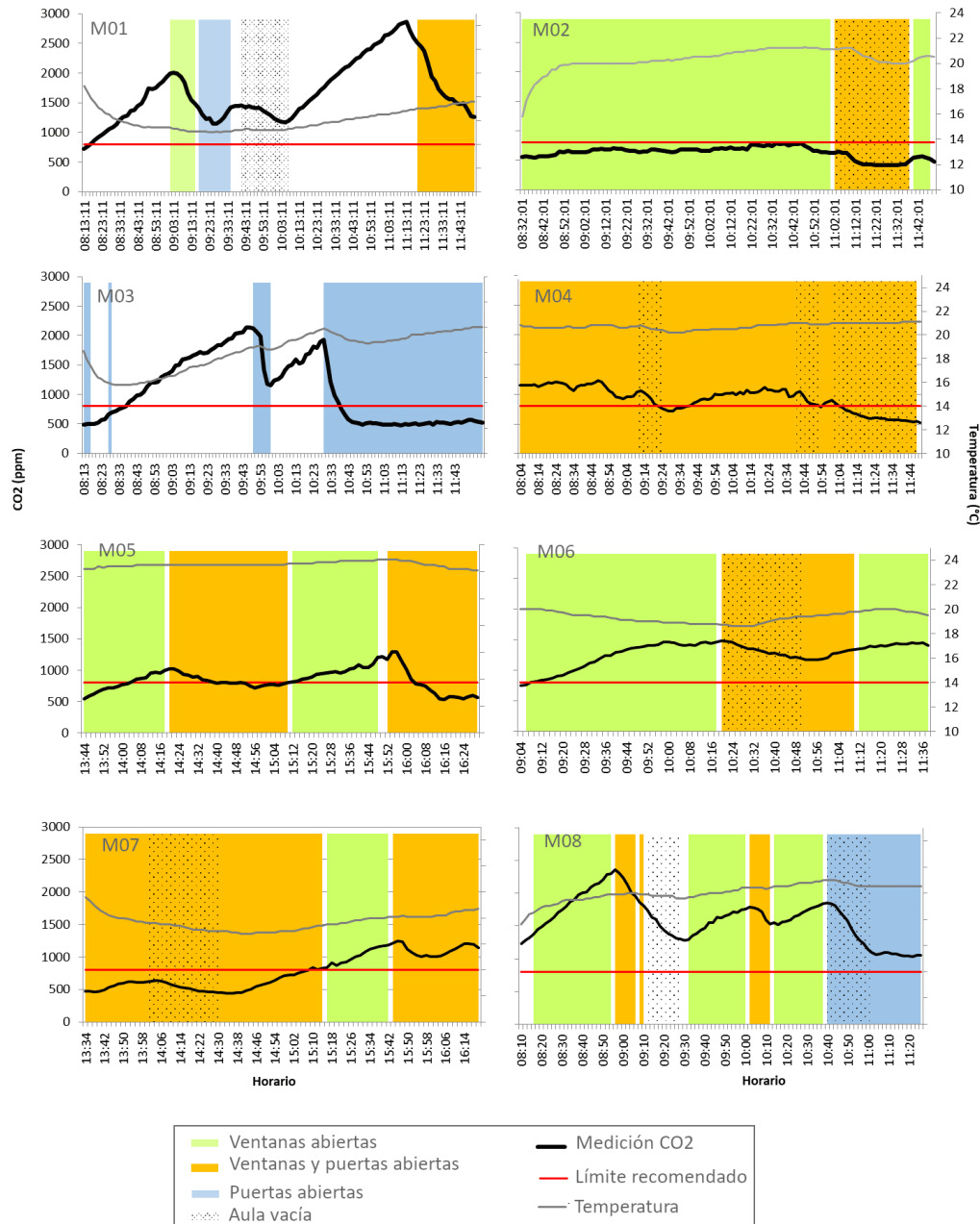


Figura 2a: Resultados de las mediciones de concentración de CO2 (línea negra) en las aulas M01 a M08 (arriba a la izquierda de cada panel se indica el número de medición descrito en la Tabla I). En sombreados de colores se indican las condiciones donde se midió (puertas y/o ventanas abiertas; aula vacía por receso en la hora escolar) y además se muestra el valor límite de CO2 recomendado (línea roja) y la temperatura en el aula (línea gris).

M13). En cuatro de las aulas la disposición de ventanas y puertas no permite una ventilación cruzada (M04, M14, M15 y M16), sin embargo, en M04, M15 y M16 la ventilación fue continua (Tabla I).

Respecto a los valores obtenidos de las mediciones de concentración de CO2, los resultados muestran que en las aulas donde se utilizó una ventilación natural continua y cruzada, los valores de CO2 se mantuvieron

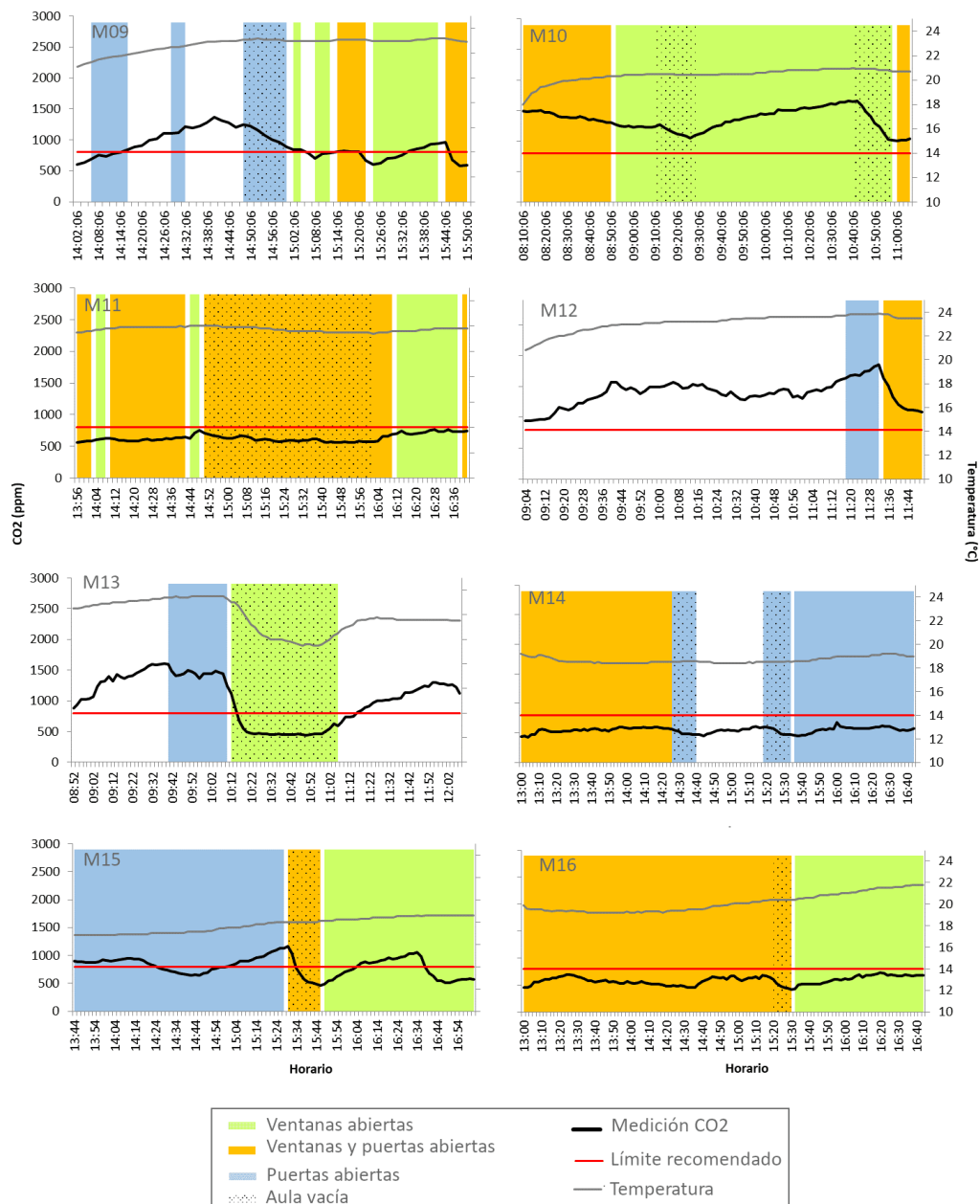


Figura 2b: Idem Figura 2^a, pero para las aulas M09 a M16.

por debajo del valor límite recomendado o fluctuando alrededor del mismo (M02; M04; M05; M07; M11; M15), indicando que la proporción de aire ya respirado fue baja. La excepción a esta situación son los valores registrados en las aulas M06 y M10, donde a pesar de mantener ventilación natural continua y cruzada, los valores de concentración de CO2 superaron ampliamente el valor límite

recomendado, indicando una proporción de aire ya respirado muy alta. En estas aulas se midió los días 9 y 11 de agosto durante el turno mañana, con una intensidad y dirección de viento medio a lo largo de la jornada de 11 km h⁻¹ NO y 11.8 km h⁻¹ NO, respectivamente. Las condiciones edilicias y ambientales para una ventilación cruzada fueron intermedias en ambos casos (Tabla I) y en ambas aulas se mantuvieron

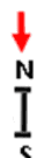
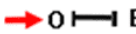


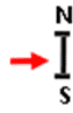

Condiciones para ventilación cruzada	Adecuada (A)	Adecuada (A)	Intermedia (I)	Intermedia (I)	No adecuada (NA)	No adecuada (NA)
Orientación VC	N-S	O-E	N-S	O-E	N-S	O-E
Dirección predominante de viento	N o S	O o E	NO; SO; NE; SE	NO; SO; NE; SE	O o E	N o S
Ejemplos						

Tabla II: Definición teórica de condiciones adecuada (A), intermedia (I) y no adecuada (NA) de ventilación cruzada (VC), teniendo en cuenta la orientación de puertas y ventanas (ubicadas en lados opuestos) que permitan una ventilación cruzada (segunda fila) y la dirección predominante del viento (tercera fila). Las letras en mayúsculas de la segunda, tercera y cuarta fila indican los puntos cardinales. En la cuarta fila se muestran ejemplos para cada caso, la barra en negro indica la orientación de puertas y ventanas y la flecha en rojo la dirección predominante del viento.

abiertas las ventanas y/o puertas durante toda la jornada, pero con una abertura menor a 5cm. Durante las mediciones M06 y M10 se registraron valores de temperatura del aire muy bajos a lo largo de la jornada (3.3 y 1.9 °C en promedio para las horas del turno mañana, respectivamente). En decir que, en estas dos aulas, a pesar de mantener un flujo de aire continuo y cruzado, las condiciones frías fueron determinantes para que la abertura de ventanas y puertas fuera escasa, lo que claramente no fue suficiente en estos espacios particulares para una adecuada renovación de aire.

Por otro lado, en las aulas donde la ventilación natural fue segmentada, durante intervalos cortos de tiempo, se registraron valores muy altos de concentración de CO₂, que superaron ampliamente el valor límite recomendado, indicando una proporción de aire ya respirado muy alta (M01; M03; M08; M12; M13). En el aula M09 la ventilación no fue continua, durante los momentos donde las aberturas estuvieron cerradas se observa el incremento en la concentración de CO₂, mientras que durante la apertura de las aberturas con ventilación cruzada (condiciones intermedias para ventilación cruzada, Tabla

I) la concentración de CO₂ fluctuó alrededor de los valores recomendados. El aula M14 es una excepción, en la misma la ventilación no fue continua y la disposición de puertas y ventanas no permite ventilación cruzada, sin embargo, los valores de concentración de CO₂ se mantuvieron por debajo del nivel recomendado durante toda la jornada. En esta aula se cuenta con dos ventanas amplias y una puerta a la calle que favorecieron la renovación de aire en los momentos de apertura total (cuando las infancias no estaban en el aula).

Es relevante notar que en algunas aulas a pesar de no contar con una disposición de aberturas que permita ventilación cruzada o que la conjunción de condiciones ambientales y edilicias no fuera adecuada para ventilación cruzada (casos NA, Tabla I), los valores de concentración de CO₂ se mantuvieron dentro de los valores recomendados, como es el caso de las aulas M02, M04, M05, M15.

Es importante resaltar, además, que en algunas de las aulas la calidad del aire no fue adecuada en el inicio de la jornada, con valores de concentración de CO₂ al ingreso de las y los alumnos a las aulas que superaron el valor límite

recomendado, indicando la falta de ventilación previa a la ocupación del aula (por ej. M04; M08; M10; M12; M13; M15).

4. DISCUSIÓN

En el contexto histórico de las mediciones los jardines y escuelas funcionaban con el sistema de “burbujas” (turnado de asistencia) en Argentina, por lo que la cantidad de alumnos y alumnas por aula era menor a lo habitual. El resto de las medidas de protección y cuidado eran el uso de mascarillas tapabocas con buen ajuste a partir de los tres años, la distancia de al menos dos metros, lavado de manos, minimizar la cantidad de personas, usar ventilación natural, continua y cruzada en las aulas, minimizar el tiempo de permanencia, evitar aglomeraciones y trasladar actividades al aire libre cuando se pudiera. La variante SARS-CoV-2 dominante a nivel global al momento de las mediciones era la Delta, que era menos transmisible que la Omicron y sus variantes actuales (Lai et al 2022). Al momento de las mediciones, la vacunación para niños y niñas menores de once años aún no había iniciado en Argentina.

Los experimentos realizados evidenciaron que la buena ventilación natural de aulas previa al ingreso del alumnado y durante los períodos de receso contribuye significativamente a reducir las concentraciones de CO₂ de las aulas. Las aulas con apertura de puerta y ventana permanente evidenciaron adecuados valores de CO₂, verificando que este mecanismo, aun cuando la apertura de las aberturas no sea total, es mejor que una apertura intermitente. La ventilación natural continua y en lo posible cruzada y distribuida contribuye a generar un flujo de aire permanente que reduce la acumulación de aerosoles (Recomendaciones para la prevención de transmisión de COVID-19 por aerosoles, 2021, <https://www.argentina.gob.ar/ciencia/unidad-coronavirus/ventilar/informes-y-guias>; Guía práctica para ventilar manualmente la escuela. Red Argentina de Investigadoras e Investigadores en Salud,

2020, https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/guia_para_ventilar_la_escuela.pdf, accedidos el 08/01/2023). En las aulas internas la ventilación natural del pasillo y espacios comunes es importante para mejorar la ventilación de las aulas.

La ventilación también es importante para la salud humana más allá del COVID-19. Los estudios han demostrado que una buena ventilación se asocia con una mejor salud, mejor concentración, mayores niveles de satisfacción con el entorno, menores tasas de ausentismo escolar y laboral, mejor calidad de sueño y exposición reducida a una amplia gama de contaminantes del aire (Sundell et al., 2011; Fisk, 2018). Los jardines y escuelas son los lugares donde las y los niños pasan la mayor parte del tiempo durante su infancia además de sus hogares. Las infancias son más vulnerables a la mala calidad del aire interior debido a que tienen una frecuencia respiratoria más rápida en comparación con las personas adultas, y también a que su cuerpo aún está en crecimiento y sus órganos todavía están en desarrollo. Los equipos docentes, familias, funcionarios/as escolares e investigadores/as son cada vez más conscientes de la importancia de la calidad del aire interior y el confort térmico en el aula, especialmente en lo que respecta a las infancias y las tasas de ausentismo (Deng, 2021).

Sumado a lo anteriormente expuesto, es relevante resaltar que existe una relación bien establecida entre la contaminación del aire de los espacios interiores y la morbilidad del asma en las infancias (Zheng et al. 2015). Las escuelas generalmente están ubicadas muy cerca de avenidas, calles de tráfico pesado y edificios comerciales e industriales dentro de una comunidad. La contaminación del tráfico es una fuente importante de material particulado, dióxido de nitrógeno y carbono negro que pueden penetrar y afectar negativamente la calidad del aire interior de las escuelas (Brandt et al., 2015). Asimismo, el ambiente escolar es una fuente significativa de exposición a alérgenos (de cucarachas, ratones, perros, gatos, moho,

etc.) y tiene un impacto en la morbilidad del asma infantil (Haktanir et al., 2019; Mackay et al., 2010). Otros factores que alimentan la mala calidad del aire interior de las escuelas son la ventilación reducida, el mantenimiento inadecuado de los edificios y la exposición a productos de limpieza y subproductos de los sistemas de calefacción y refrigeración (Naja et al., 2018). Teniendo en cuenta estos múltiples factores que afectan la calidad de aire interior y consecuentemente la salud de las infancias es aún más relevante la ventilación de los espacios interiores. Es importante señalar, que se debe controlar que la calidad de aire exterior sea buena, y en ese caso ventilar de manera continua, cruzada y distribuida los ambientes. En el caso que la calidad de aire exterior no sea adecuada, se deben evaluar otros mecanismos de ventilación o sistemas de ventilación mecánica que filtren el aire que toman del exterior antes de ingresarlo a los ambientes.

5. CONCLUSIONES

El contexto de la pandemia de COVID-19 brindó la oportunidad de poner en discusión la relevancia de la ventilación de los espacios interiores, no solo por el riesgo de contagio de SARS-CoV-2 sino también por las numerosas enfermedades respiratorias y contaminantes a las que están expuestas las infancias en los espacios escolares. Las y los investigadores expertos en aerosoles coinciden en que un mayor enfoque en la ventilación generará beneficios durante la próxima pandemia, e incluso cuando no haya brotes de enfermedades importantes. Una adecuada ventilación de los espacios escolares puede significar un impacto relevante en la salud pública, especialmente de las infancias.




Los resultados de las mediciones de concentración de CO₂ evidenciaron que es necesario innovar con soluciones simples y asequibles las deficiencias de los sistemas actuales de ventilación de los diferentes arquetipos de aulas en las instituciones educativas de nuestro país (de Diego, 2023).









Una limitación relevante de este estudio fue la imposibilidad de acceder a las aulas por parte de personas no pertenecientes a las instituciones educativas, dada las condiciones de extremo cuidado en estos espacios en el marco de la pandemia COVID-19 y de la reinserción progresiva a las aulas. Esto dificultó en algunos casos conocer la orientación geográfica de las aulas, las dimensiones de ventanas y puertas y la posición de las mismas, de forma de evaluar correctamente la ventilación cruzada. Además, el sensor fue colocado en las aulas por las y los docentes, lo que pudo haber introducido alguna incertidumbre en las mediciones, dado que, si bien se dieron recomendaciones para su correcta colocación, las y los docentes debían prever además que hubiera un lugar para apoyar el sensor, que el alumnado no pasara continuamente por el sector para que no se cayera, etc. En estudios futuros, es recomendable que las personas que hagan las mediciones puedan acceder a los establecimientos educativos, colocar el sensor adecuadamente y medir las instalaciones, con el fin de lograr una mayor estandarización de las mediciones. Además, diseños experimentales futuros deberían contemplar registrar valores de concentración de CO₂ en aulas con los cursos completos (sin burbujas), en diferentes turnos (mañana y tarde) y en diferentes estaciones del año. Investigaciones futuras en esta temática en Argentina deberían incorporar además estudios de modelado que permitan estimar la transmisión de aerosoles bajo diferentes condiciones ambientales, diseños de aulas y cantidad de personas por aula. Esto permitiría contar con una herramienta de planificación muy relevante. Finalmente, es importante señalar que en este diseño experimental no se consideró la calidad de aire exterior y es un factor a considerar en mediciones que se realicen a futuro y especialmente en ciudades más grandes con mayores factores y fuentes de contaminación.

ANEXO

Ejemplo de la planilla de toma de datos que se utilizó en cada aula.

Mediciones de CO2
Proyecto VENTILACIÓN CCT CONICET CENPAT, UNPSJB, Hospital Dr. Andrés Isola

CARACTERÍSTICAS DEL AULA	
Escuela	
Dirección	
Aula	
Turno	
Dimensiones del aula	
N° de alumnos y alumnas	
N° de docentes	
Uso de barbijo ajustado	SI / NO / ALGUNOS SI y OTROS NO
Ventanas abiertas al inicio de la medición	SI / NO (pintamos cuantos dedos de apertura. Si está completamente abierta pintamos el puño cerrado) 
Puerta abierta al inicio de la medición	SI / NO (pintamos cuantos dedos de apertura. Si está completamente abierta pintamos el puño cerrado) 
Forma del aula y distribución de puertas y ventanas (si se puede tamaño de puertas y ventanas y descripción de apertura)	
<p>Ejemplo</p> 	<p>Aula</p>

MEDICIONES				
REGISTRAMOS SOLO CUANDO HAY CAMBIOS				
Se abren o cierran ventanas/puerta o entran o salen personas.				
Ubicar medidor a la altura que respiramos (1,5m) y en el lugar del aula menos ventilado.				
APERTURA O CIERRE DE VENTANAS/ PUERTA INGRESO/EGRESO PERSONAS	CUANTO SE ABRIÓ LA PUERTA O VENTANA	HORA	CO2	COMENTARIOS ADICIONALES
Ej. Abrimos una ventana		9 hs	600	Abrimos la ventana de atrás
				
				
				
				
				
				
				

Agradecimientos: Este trabajo se desarrolló de manera ad-honorem dada la compleja situación que se atravesaba. Se contó con muy buena colaboración y predisposición de escuelas y jardines de la ciudad de Puerto Madryn. Agradecemos muy especialmente al Dr. José Luis Jiménez de la Universidad de Colorado (EUA) quien donó el medidor de CO2 Aranet4.

REFERENCIAS

- Brandt, E.B., Myers, J., Ryan, P.H., Hershey, G., 2015: Air pollution and allergic diseases. *Current opinion in pediatrics*. 27(6):724–35. [PubMed: 26474340]. <https://doi.org/10.1097/mop.0000000000000286>
- Chau, N.V.V., Hong, N.T.T, Ngoc, N.M., et al. 2021: Superspreading Event of SARS-CoV-2 Infection at a Bar, Ho Chi Minh City, Vietnam. *Emerg Infect Dis*. 27 (1): 310-314. <https://dx.doi.org/10.3201/eid2701.203480>
- Coronato, F., 1993: Wind chill factor applied to Patagonian climatology. *J Biometeorology* 37:1-6.
- de Diego, M., 2022: Analizan la ventilación de las aulas para evitar contagios. Agencia CTyS-UNLaM. Disponible en: <https://www.ctys.com.ar/interdisciplinario/analizan-la-ventilacion-de-las-aulas-para-evitar-contagios/>
- Deng, S., Zou, B., Land, J., 2021: The adverse associations of classrooms' indoor air quality and thermal comfort conditions on students' illness related absenteeism between heating and non-heating seasons-A pilot study. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 18, 1500. <https://doi.org/10.3390/ijerph18041500>
- Esty, B., Phipatanakul, W., 2018: School exposure and asthma. *Ann Allergy Asthma Immunol.*; 120: 482–487. <https://doi.org/10.1016/j.anai.2018.01.028>
- Fisk, W.J., 2018: How home ventilation rates affect health: A literature review. *Indoor air*. 28: 473-487. <https://doi.org/10.1111/ina.12469>
- Greenhalgh, T., Jimenez, J.L., Prather, K.A., Tufekci, Z., et al., 2021: Ten Scientific Reasons in Support of Airborne Transmission of SARS-CoV-2. *Lancet*. 397: 1603-5. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)00869-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)00869-2)
- Groves LM, Usagawa L, Elm J, Low E, et al., 2021: Community Transmission of SARS-CoV-2 at Three Fitness Facilities — Hawaii, June–July 2020. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep.*, 70:316-320. <http://dx.doi.org/10.15585/mmwr.mm7009e1>
- Haktanir Abul, M., Naja, A.S., Fitzpatrick, A., Phipatanakul, W., et al., 2019: Evaluation and management in children. In: Chung KF, Israel E, Gibson PG, eds. *Severe Asthma (ERS Monograph)*. Sheffield, United Kingdom: European Respiratory Society. 246–264. <https://doi.org/10.1183/2312508X.10024418>
- Lai, J., Coleman, K.K., Sheldon Tai, S.H., German, J., et al., 2022: Exhaled breath aerosol shedding of highly transmissible versus prior severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 variants. *Clinical Infectious Diseases*. ciac846, <https://doi.org/10.1093/cid/ciac846>
- Lai, P.S., Kolde, R., Franzosa, E.A., Gaffin, J.M., et al., 2018: The classroom microbiome and asthma morbidity in children attending 3 inner-city schools. *J Allergy Clin Immunol*. 141: 2311–2313. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2018.02.022>
- Lednický, J.A., Lauzardo, M., Fan, Z.H., Jutla, A., et al., 2020: Viable SARS-CoV-2 in the Air of a Hospital Room with COVID-19 Patients. *Int. J. Infect. Dis*. 100: 476-482. <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2020.09.025>
- Lendacki, F.R., Teran, R.A., Gretschi, S., Fricchione, M.J., et al., 2021: COVID-19 Outbreak Among Attendees of an Exercise Facility — Chicago, Illinois, August–September 2020. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep.*, 70:321-325. <http://dx.doi.org/10.15585/mmwr.mm7009e2>
- Lewis, D., 2022: Why the WHO took two years to say COVID is airborne. *Nature*, 604: 26-31. <https://doi.org/10.1038/d41586-022-00925-7>
- Lewis, D., 2021a: COVID-19 rarely spreads through surfaces. So why are we still deep cleaning?. *Nature*, 590: 26-28. <https://doi.org/10.1038/d41586-021-00251-4>

- Lewis, D., 2021b: Why indoor spaces are still prime COVID hotspots. *Nature*, 592: 22-25. <https://doi.org/10.1038/d41586-021-00810-9>
- Mackay, D., Haw, S., Ayres, J.G., Fischbacher, C., et al., 2010: Smoke-free legislation and hospitalizations for childhood asthma. *N Engl J Med*. 363: 1139-1145. <https://www.nejm.org/doi/full/10.1056/NEJMoa1002861>
- Mendell, M.J., Eliseeva, E.A., Davies, M.M., Spears, M., et al., 2013: Association of classroom ventilation with reduced illness absence: a prospective study in California elementary schools. *Indoor Air*. 23(6):515-28. <https://doi.org/10.1111/ina.12042>
- Miller, S.L., Nazaroff, W.W., Jimenez, J.L., Boerstra, A., et al., 2021: Transmission of SARS-CoV-2 by Inhalation of Respiratory Aerosol in the Skagit Valley Chorale Superspreading Event. *Indoor Air*. 31: 314-323. <https://doi.org/10.1111/ina.12751>
- Morawska, L., Milton, D.K., 2020: It Is Time to Address Airborne Transmission of Coronavirus Disease 2019 (COVID-19). *Clin. Infect. Dis.*, 71: 2311-3. <https://doi.org/10.1093/cid/ciaa939>
- Naja, A.S., Permaul, P., Phipatanakul, W., 2018: Taming Asthma in School-Aged Children: A Comprehensive Review. *J Allergy Clin Immunol Pract*. 6(3): 726-735. <https://doi.org/10.1016/j.jaip.2018.01.023>
- Peng, Z., Pineda Rojas, A.L., Kropff, E., Bahnfleth, W., et al., 2022: Practical Indicators for Risk of Airborne Transmission in Shared Indoor Environments and Their Application to COVID-19 Outbreaks. *Environ. Sci. Technol.*, 56, 11251137. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c06531>
- Phipatanakul, W., Koutrakis, P., Coull, B.A., Kang, C.H.M. et al., 2017: The school inner-city asthma intervention study: design, rationale, methods, and lessons learned. *Contemp Clin Trials*. 60: 14-23. <https://doi.org/10.1016/j.cct.2017.06.008>
- Prather, K.A., Marr, L.C., Schooley, R.T., McDiarmid, M.A., et al., 2020: Airborne Transmission of SARS-CoV-2. *Science*. 370: 303-4. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.abf0521>
- Strøm-Tejsten, P., Zukowska, D., Wargocki, P., Wyon, D.P., 2015: The effects of bedroom air quality on sleep and next-day performance. *Indoor air*. 26: 679-686. <https://doi.org/10.1111/ina.12254>
- Sundell, J., Levin, H., Nazaroff, W.W., Cain, W.S., et al., 2011: Ventilation rates and health: multidisciplinary review of the scientific literature. *Indoor Air*. 21(3):191-204. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2010.00703.x>
- Tang, J.W., Bahnfleth, W.P., Bluysen, P.M., Buonanno, G., et al., 2021a: Dismantling myths on the airborne transmission of severe acute respiratory syndrome coronavirus-2 (SARS-CoV-2). *J Hosp Infect*. 110 89e96. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2020.12.022>
- Tang, J.W., Marr, L.C., Li, Y., Dancer, S.J., 2021b: Covid-19 Has Redefined Airborne Transmission. *BMJ*, 373: n913. <https://doi.org/10.1136/bmj.n913>
- Wang, C.C., Prather, K., Sznitman, Jimenez, J.L., et al., 2021: Airborne transmission of respiratory viruses. *Science*. 373, eabd9149. <https://doi.org/10.1126/science.abd9149>
- Zheng, X.Y., Ding, H., Jiang, L.N., Chen, S.W., et al., 2015: Association between air pollutants and asthma emergency room visits and hospital admissions in time series studies: a systematic review and meta-analysis. *PLoS One*. 10(9):e0138146. [PubMed: 26382947]. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0138146>