

1Artículo en edición

2

1 VENTILACIÓN DE ESPACIOS EDUCATIVOS EN EL CONTEXTO 2 DE COVID-19 EN PUERTO MADRYN, ARGENTINA

3

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

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

7 ²Instituto Patagónico de Ciencias Sociales y Humanas CCT CONICET CENPAT

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

10

11 Autora correspondiente: Natalia Pessacg, pessacg@cenpat-conicet.gob.ar

12

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

14

15

RESUMEN

16La buena calidad del aire interior y el confort térmico en las aulas educativas, especialmente en lo
17que respecta a las infancias, no sólo es relevante para disminuir el contagio de numerosas
18enfermedades respiratorias entre ellas la causada por el SARS-CoV-2, sino que también favorece la
19concentración, mejora los niveles de satisfacción con el entorno y disminuye las tasas de
20ausentismo escolar.

21En este trabajo se presentan los resultados de las mediciones de concentración de CO₂ que se
22realizaron en el interior de aulas de jardines y escuelas de nivel inicial de la ciudad de Puerto
23Madryn, Argentina, en el contexto de la pandemia de COVID-19. Esto permitió evaluar los niveles
24de CO₂ en las aulas y colaborar con las instituciones educativas en verificar si la ventilación que
25estaban realizando era la adecuada con el fin de disminuir el riesgo de contagio de COVID-19.

26Los resultados evidenciaron que una ventilación natural continua disminuye la concentración de
27CO₂ de las aulas, lo que indica un menor riesgo de contagio de COVID-19, pero que bajo
28condiciones ambientales no favorables es complejo de implementar por lo que es necesario innovar
29con nuevas soluciones simples a las deficiencias de los sistemas actuales de ventilación en las
30instituciones educativas de nuestro país.

5 **Artículo en edición**

6

31

32 **Palabras clave:** Aerosoles, CO₂, Enfermedades respiratorias, Espacios educativos

33

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

36

37

ABSTRACT

38 Good indoor air quality and thermal comfort in the educational classroom, especially with regard to
 39 childhood, is not only relevant to reduce the spread of numerous respiratory diseases, including that
 40 caused by SARS-CoV-2, but also it favors concentration, improves levels of satisfaction with the
 41 environment and decreases rates of school absenteeism.

42 This paper presents the results of the CO₂ concentration measurements that were carried out inside
 43 kindergarten classrooms and elementary schools in the city of Puerto Madryn in the context of the
 44 COVID-19 pandemic. This made it possible to evaluate the CO₂ levels in the classrooms and
 45 collaborate with educational institutions to verify if the ventilation they were carrying out was
 46 adequate in order to reduce the risk of contagion of COVID-19.

47 The results showed that continuous natural ventilation greatly decreases the CO₂ concentration in
 48 the classrooms which indicates a lower risk of COVID-19 contagious, but under unfavorable
 49 environmental conditions it is complex to implement, so it is necessary to innovate with new simple
 50 solutions to the deficiencies of the current ventilation systems in the classrooms. educational
 51 institutions in our country.

52

53 **Key Words:** Aerosols, CO₂, Respiratory diseases, Educational spaces

54

55 **1) INTRODUCCIÓN**

56 La Organización Mundial de la Salud (OMS) en las primeras instancias de la pandemia de COVID-
 57 19 declaró que el SARS-CoV-2 no se transmitía por el aire (Lewis 2022). Sin embargo, el 20 de
 58 octubre de 2020 reconoció que los aerosoles (diminutas gotas de líquido) podían transmitir el virus,
 59 pero que esto era una preocupación solo en entornos específicos, como espacios interiores,
 60 abarrotados de personas e inadecuadamente ventilados. Ese mensaje de la OMS fue modificándose

9Artículo en edición

10

61gradualmente para finalmente concluir, el 23 de diciembre de 2021, que los aerosoles podrían
 62transportar el virus por más de un metro y permanecer en el aire. Además, la OMS específico en ese
 63momento, que la transmisión del virus puede ocurrir a través de "transmisión aérea de largo
 64alcance" en entornos interiores mal ventilados o abarrotados "porque los aerosoles pueden
 65permanecer suspendidos en el aire o viajar más allá de la distancia conversacional" (Lewis 2022).
 66Esta última declaración es la más clara de la OMS hasta el momento sobre la transmisión aérea del
 67SARS-CoV-2 y está en línea con lo declarado por numerosos expertos y expertas en aerosoles y
 68salud pública desde los primeros días del brote (Lewis, 2021a, 2021b; Chau et al., 2021; Groves et
 69al., 2021; Lendacki et al., 2020; Tang et al., 2021a). Actualmente, hay una aceptación general de
 70que éste es el modo de transmisión principal y potencialmente dominante de SARS-CoV-2 (Peng et
 71al., 2022; Wang et al., 2021; Morawska y Milton, 2019; Lednicky, 2020; National Academies of
 72Sciences, 2020; Prather et al., 2020; Miller et al., 2021; Greenhalgh et al., 2021; Tang et al., 2021b).
 73Este mecanismo de transmisión no es nuevo, por el contrario, la transmisión aérea es la forma
 74dominante de transmisión de varios patógenos respiratorios. Es ampliamente aceptado por ejemplo
 75que enfermedades como el sarampión, tuberculosis, varicela, viruela, influenza, SARS, MERS,
 76virus sincicial respiratorio y rinovirus también se transmiten por inhalación de aerosoles (Peng et
 77al., 2022; Wang et al., 2021).

78En este contexto, es indispensable evaluar y conocer la calidad del aire que respiramos en términos
 79de concentración de aerosoles de modo de disminuir los posibles contagios en caso de presencia de
 80personas infectadas con alguna de estas enfermedades, y en particular con SARS-CoV-2. Uno de
 81los métodos para evaluar cuán saludable es el aire que respiramos en este contexto particular es
 82medir la concentración de CO₂ (dióxido de carbono). Al respirar, junto con los aerosoles, las
 83personas exhalamos CO₂, por lo que la acumulación de este gas es un muy buen indicador de la
 84acumulación de aerosoles (que pueden ser infectivos si hay alguien en periodo de contagio). Los
 85medidores de CO₂ indican entonces cuán probable es estar respirando aire que ya fue respirado por
 86otra persona en un ambiente cerrado y sin presencia de otras fuentes de CO₂, y por ende denotan
 87cuán probable es estar expuesto a patógenos respiratorios exhalados por otros. En espacios cerrados
 88o mal ventilados, y en el contexto de la pandemia COVID-19, se recomendó que los valores de
 89concentración de CO₂ no superen en 300 ppm (partes por millón de masa de aire) el valor de CO₂
 90exterior. Teniendo en cuenta que el valor de concentración de CO₂ exterior es cercano a las 400
 91ppm, en este trabajo se considerará como valor límite 800 ppm. Este valor fue, además, el valor
 92límite recomendado por la Guía COVID-19 Prevención de transmisión por aerosoles del Ministerio
 93de Ciencia, Tecnología e Investigación y Ministerio de Salud de Argentina
 94(<https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/covid-19-prevencion-de-transmision-por-aerosoles->

11

3

12

13 Artículo en edición

14

15 [2021_0.pdf](#), accedido el 14/06/2023). Sin embargo, es importante aclarar, que en otros países del
16 mundo este valor previo a la pandemia estaba preestablecido en valores superiores, entre 900-1200
17 ppm, por ejemplo, en la Unión Europea en el año 2018 estaba establecido un valor de 900 ppm
18 como indicador de condiciones aceptables para lugares interiores (Guidelines on ventilation,
19 thermal comfort and indoor air quality in schools. 2018,
20 [https://www.gov.uk/government/publications/building-bulletin-101-ventilation-for-school-](https://www.gov.uk/government/publications/building-bulletin-101-ventilation-for-school-buildings)
21 [buildings](https://www.gov.uk/government/publications/building-bulletin-101-ventilation-for-school-buildings), accedido el 05/06/2023).

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

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

33

34) METODOLOGÍA

35 3.1. Comunicación

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

42

43 3.2. Mediciones de CO₂

44 Las mediciones de concentración de CO₂ se realizaron con el medidor Aranet4 donado por el Dr.
45 José Luis Jiménez de la Universidad de Colorado (EUA). Este medidor es un monitor inalámbrico
46 que cuenta con un sensor autónomo para monitorear concentración de CO₂ y

17Artículo en edición

18

127adicionalmente temperatura, humedad relativa y presión atmosférica, con tecnología de sensor
128infrarrojo no dispersivo (NDIR). En este medidor, el CO₂ circula por una cámara donde absorbe la
129luz infrarroja y esta absorción es la que se mide por el sensor. Cuanta menos luz pase, mayor será la
130concentración de CO₂. El medidor utiliza un filtro óptico, dado que el CO₂ solo absorbe una
131longitud de onda específica de la luz. Los sensores con tecnología NDIR son más precisos que
132sensores químicos o foto acústicos, por ejemplo. El medidor se configuró para que transmita datos
133cada 2 minutos.

134Al momento de la realización de las mediciones, el contexto sanitario en el marco de la pandemia
135era aún complejo y se estaba realizando una progresiva reinserción del alumnado a las aulas. Por
136este motivo, no fue posible que personas que no pertenecían a las instituciones educativas pudieran
137acceder a las mismas. En este sentido, tanto las mediciones, como la descripción del aula y la
138colocación del sensor estuvieron a cargo de los equipos docentes.

139El medidor de CO₂ lo colocó el equipo docente en las aulas antes del ingreso de las y los alumnos,
140alejado de ventanas y de la respiración cercana de personas, y ubicado entre 1 y 1.5 metros de
141altura, tal como se recomienda en la Guía COVID-19 Prevención de transmisión por aerosoles del
142Ministerio de Ciencia, Tecnología e Investigación y Ministerio de Salud, Argentina
143([https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/covid-19-prevencion-de-transmision-por-aerosoles-](https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/covid-19-prevencion-de-transmision-por-aerosoles-2021_0.pdf)
1442021_0.pdf, accedido el 14/06/2023). Se consideran estas especificaciones de manera que el sensor
145esté alejado de fuentes (personas) o sumideros (ventanas) puntuales de CO₂. Los equipos docentes
146registraron en una planilla las condiciones iniciales del experimento (número de personas en el aula,
147cantidad de ventanas y puertas y apertura de las mismas) y el horario en el que hubo cambios que
148pudieran influir en la medición de concentración de CO₂ (entrada o salida de personas y apertura-
149cierre de puertas o ventanas) (Anexo).

150Se tomaron mediciones en 16 aulas de 5 establecimientos educativos diferentes entre el 02/08/2021
151y el 19/08/2021 (Tabla I). Al momento de las mediciones los jardines y escuelas funcionaban con el
152sistema de “burbujas” (turnado de asistencia) en Argentina, por lo que la cantidad de alumnos/as
153por aula fue menor a lo habitual. Los equipos docentes y alumnos/as mayores a tres años asistían a
154los establecimientos educativos con mascarillas tapabocas al momento de las mediciones.

155Dada la época del año todas las aulas en las que se realizaron mediciones contaban con los sistemas
156de calefacción encendidos (split, calefacción central, calefactores).

157

158

159

21Artículo en edición

22

1602.3. Condiciones ambientales y edilicias

161Para caracterizar el comportamiento de la temperatura y del viento durante el periodo de medición
162se utilizaron los datos de la estación meteorológica de Puerto Madryn perteneciente al Servicio
163Meteorológico Nacional y ubicada a 5 km de distancia del centro de la ciudad. Se consideraron los
164valores tridiurnos (9hs, 15hs y 21hs) de cada día del mes para ambas variables. Además, para los
165días donde se realizaron mediciones en los jardines y escuelas se utilizaron los registros horarios de
166dichas variables para calcular el valor medio de temperatura del aire y de intensidad y dirección del
167viento durante el turno mañana (8 a 12 hs) y turno tarde (13 a 17 hs), según correspondiera al turno
168de medición.

169Respecto a las condiciones edilicias, los equipos docentes facilitaron información de las
170dimensiones y orientación de las aulas, sistemas de calefacción, disposición de puertas y ventanas y
171tamaño de las mismas. Como fue mencionado previamente, el contexto de pandemia dificultó en
172algunos casos conocer la orientación geográfica de las aulas, las dimensiones de ventanas y puertas
173y la posición de las mismas, de forma de evaluar correctamente la ventilación cruzada.

174Se consideran condiciones edilicias adecuadas para la ventilación cruzada cuando la puerta y/o
175ventanas que se abren se encuentran ubicadas en paredes opuestas, de manera que el aire fluya
176atravesando el aula. La ventilación cruzada además es favorecida cuando la dirección de viento
177predominante es en el mismo sentido que la orientación de las puertas y ventanas. En este sentido,
178en este trabajo se consideran tres situaciones de ventilación cruzada descritas en la Tabla II:
179adecuada, intermedia, no adecuada.

180

1812.4. Procesamiento de la información

182Para el procesamiento de las mediciones realizadas con el sensor y los datos relevados en las
183planillas se utilizaron planillas de cálculo. Se verificó además que no hubiera inconsistencias entre
184la planilla y los valores detectados por el sensor. Finalmente se realizó un informe de devolución
185con los resultados obtenidos y recomendaciones para cada uno de los establecimientos educativos
186donde se realizaron mediciones.

187

1882.5. Consideraciones éticas

189Los resultados no incluyen datos de personas. La anonimización de los datos es total e incluye el
190nombre de las instituciones educativas.

191

25 **Artículo en edición**

26

192

1933) **RESULTADOS**

1943.1. **Condiciones ambientales**

195 La ciudad de Puerto Madryn, ubicada en la costa patagónica de Argentina, está caracterizada
 196 durante el mes de agosto por valores medios de temperatura máxima de 14°C, temperatura mínima
 197 de 2°C e intensidad del viento media de 15.3 km/h. Sin embargo, a escala horaria y diurna las series
 198 de temperatura e intensidad del viento muestran una marcada variabilidad. En agosto de 2021, se
 199 observa un periodo más cálido que lo normal durante los primeros días del mes, seguido por
 200 temperaturas debajo de 0°C entre el 7 y 13 de agosto y un nuevo ascenso de temperatura hasta el día
 201 18 donde vuelve a descender (Fig. 1a). Mientras que para la intensidad del viento (Fig. 1b) se puede
 202 observar en algunos horarios marcados picos de intensidad a lo largo del periodo de medición que
 203 superan los 40 km/h. La conjunción de bajas temperaturas y vientos intensos es un factor
 204 bioclimático relevante en Patagonia, que conlleva a días con baja sensación térmica, lo que
 205 consecuentemente repercute en el confort humano (Coronato 1993). Las condiciones ambientales
 206 externas modifican en este sentido las formas de ventilación natural que se realizan en los espacios
 207 educativos, debido a que por ejemplo es mucho más probable que las personas abran las ventanas
 208 en respuesta a las altas temperaturas que en respuesta a altos niveles de CO₂ (Guidelines on
 209 ventilation, thermal comfort and indoor air quality in schools. 2018,
 210 [https://www.gov.uk/government/publications/building-bulletin-101-ventilation-for-school-](https://www.gov.uk/government/publications/building-bulletin-101-ventilation-for-school-buildings)
 211 [buildings](https://www.gov.uk/government/publications/building-bulletin-101-ventilation-for-school-buildings), accedido el 18/01/2023).

212 En la ciudad de Puerto Madryn, durante el periodo invernal y especialmente durante el turno
 213 mañana, las condiciones frías dificultan la ventilación adecuada previo al ingreso de las y los
 214 alumnos. Los establecimientos educativos cuentan además con diferentes sistemas de calefacción
 215 (split, calefacción central, calefactores), que son relevantes en términos de la capacidad que tienen
 216 para poder superar las infiltraciones y la inercia térmica de las aulas, de manera que permitan
 217 alcanzar la temperatura adecuada en un tiempo razonable antes de que el alumnado ingrese a la
 218 institución. Además, los diferentes sistemas de calefacción pueden equilibrar o no las pérdidas de
 219 calor por la ventilación mientras el aula esté ocupada (Guidelines on ventilation, thermal comfort
 220 and indoor air quality in schools. 2018, [https://www.gov.uk/government/publications/building-](https://www.gov.uk/government/publications/building-bulletin-101-ventilation-for-school-buildings)
 221 [bulletin-101-ventilation-for-school-buildings](https://www.gov.uk/government/publications/building-bulletin-101-ventilation-for-school-buildings), accedido el 18/01/2023). Por otro lado, los días
 222 ventosos, la ventilación continua es poco práctica debido a las continuas corrientes de aire frío.
 223 Además, en los horarios con intensidades de viento muy marcadas algunas ventanas o puertas se
 224 cierran debido a que la corriente de aire que se genera es muy fuerte generando un ambiente no

29Artículo en edición

30

225confortable. Esto dificulta los mecanismos de ventilación natural y en particular de ventilación
226cruzada y continua. Problemas similares se han encontrado en otros sistemas de ventilación natural
227en espacios educativos de otras regiones (Guidelines on ventilation, thermal comfort and indoor air
228quality in schools. 2018, [https://www.gov.uk/government/publications/building-bulletin-101-](https://www.gov.uk/government/publications/building-bulletin-101-ventilation-for-school-buildings)
229[ventilation-for-school-buildings](https://www.gov.uk/government/publications/building-bulletin-101-ventilation-for-school-buildings), accedido el 18/01/2023).

230

2313.2. Mediciones de CO₂

232En la Fig. 2 se grafican los valores de concentraciones de CO₂ medidos en cada aula, así como la
233temperatura ambiente. Además, se incorpora información sobre cómo se realizó la ventilación
234natural en cada espacio educativo (puertas y/o ventanas abiertas o aulas vacías) y en qué momento
235de la jornada. En la Tabla I se complementa la información.

236Los resultados evidencian que las formas de ventilación en cada aula fueron muy variables. En
237algunos espacios educativos se mantuvo una ventilación natural continua (puertas y/o ventanas
238abiertas permanentemente durante toda la jornada de clase) y cruzada durante la jornada escolar
239(por ej. M02; M05; M06; M07; M10; M11; M15). Por el contrario, en otras aulas la ventilación no
240fue continua (por ej. M08; M09; M14) y en casos particulares fue muy escasa a lo largo de la
241jornada (por ej. M01; M03; M12; M13). En cuatro de las aulas la disposición de ventanas y puertas
242no permite una ventilación cruzada (M04, M14, M15 y M16), sin embargo, en M04, M15 y M16 la
243ventilación fue continua (Tabla I).

244Respecto a los valores obtenidos de las mediciones de concentración de CO₂, los resultados
245muestran que en las aulas donde se utilizó una ventilación natural continua y cruzada, los valores de
246CO₂ se mantuvieron por debajo del valor límite recomendado o fluctuando alrededor del mismo
247(M02; M04; M05; M07; M11; M15), indicando que la proporción de aire ya respirado fue baja. La
248excepción a esta situación son los valores registrados en las aulas M06 y M10, donde a pesar de
249mantener ventilación natural continua y cruzada, los valores de concentración de CO₂ superaron
250ampliamente el valor límite recomendado, indicando una proporción de aire ya respirado muy alta.
251En estas aulas se midió los días 9 y 11 de agosto durante el turno mañana, con una intensidad y
252dirección de viento medio a lo largo de la jornada de 11 km h⁻¹ NO y 11.8 km h⁻¹ NO,
253respectivamente. Las condiciones edilicias y ambientales para una ventilación cruzada fueron
254intermedias en ambos casos (Tabla I) y en ambas aulas se mantuvieron abiertas las ventanas y/o
255puertas durante toda la jornada, pero con una abertura menor a 5cm. Durante las mediciones M06 y
256M10 se registraron valores de temperatura del aire muy bajos a lo largo de la jornada (3.3 y 1.9 °C

33Artículo en edición

34

257en promedio para las horas del turno mañana, respectivamente). En decir que, en estas dos aulas, a
258pesar de mantener un flujo de aire continuo y cruzado, las condiciones frías fueron determinantes
259para que la abertura de ventanas y puertas fuera escasa, lo que claramente no fue suficiente en estos
260espacios particulares para una adecuada renovación de aire.

261Por otro lado, en las aulas donde la ventilación natural fue segmentada, durante intervalos cortos de
262tiempo, se registraron valores muy altos de concentración de CO₂, que superaron ampliamente el
263valor límite recomendado, indicando una proporción de aire ya respirado muy alta (M01; M03;
264M08; M12; M13). En el aula M09 la ventilación no fue continua, durante los momentos donde las
265aberturas estuvieron cerradas se observa el incremento en la concentración de CO₂, mientras que
266durante la apertura de las aberturas con ventilación cruzada (condiciones intermedias para
267ventilación cruzada, Tabla I) la concentración de CO₂ fluctuó alrededor de los valores
268recomendados. El aula M14 es una excepción, en la misma la ventilación no fue continua y la
269disposición de puertas y ventanas no permite ventilación cruzada, sin embargo, los valores de
270concentración de CO₂ se mantuvieron por debajo del nivel recomendado durante toda la jornada. En
271esta aula se cuenta con dos ventanas amplias y una puerta a la calle que favorecieron la renovación
272de aire en los momentos de apertura total (cuando las infancias no estaban en el aula).

273Es relevante notar que en algunas aulas a pesar de no contar con una disposición de aberturas que
274permita ventilación cruzada o que la conjunción de condiciones ambientales y edilicias no fuera
275adecuada para ventilación cruzada (casos NA, Tabla I), los valores de concentración de CO₂ se
276mantuvieron dentro de los valores recomendados, como es el caso de las aulas M02, M04, M05,
277M15.

278Es importante resaltar, además, que en algunas de las aulas la calidad del aire no fue adecuada en el
279inicio de la jornada, con valores de concentración de CO₂ al ingreso de las y los alumnos a las aulas
280que superaron el valor límite recomendado, indicando la falta de ventilación previa a la ocupación
281del aula (por ej. M04; M08; M10; M12; M13; M15).

282

2834) DISCUSIÓN

284En el contexto histórico de las mediciones los jardines y escuelas funcionaban con el sistema de
285“burbujas” (turnado de asistencia) en Argentina, por lo que la cantidad de alumnos y alumnas por
286aula era menor a lo habitual. El resto de las medidas de protección y cuidado eran el uso de
287mascarillas tapabocas con buen ajuste a partir de los tres años, la distancia de al menos dos metros,

37Artículo en edición

38

288lavado de manos, minimizar la cantidad de personas, usar ventilación natural, continua y cruzada en
289las aulas, minimizar el tiempo de permanencia, evitar aglomeraciones y trasladar actividades al aire
290libre cuando se pudiera. La variante SARS-CoV-2 dominante a nivel global al momento de las
291mediciones era la Delta, que era menos transmisible que la Omicron y sus variantes actuales (Lai et
292al 2022). Al momento de las mediciones, la vacunación para niños y niñas menores de once años
293aún no había iniciado en Argentina.

294Los experimentos realizados evidenciaron que la buena ventilación natural de aulas previa al
295ingreso del alumnado y durante los períodos de receso contribuye significativamente a reducir las
296concentraciones de CO₂ de las aulas. Las aulas con apertura de puerta y ventana permanente
297evidenciaron adecuados valores de CO₂, verificando que este mecanismo, aun cuando la apertura de
298las aberturas no sea total, es mejor que una apertura intermitente. La ventilación natural continua y
299en lo posible cruzada y distribuida contribuye a generar un flujo de aire permanente que reduce la
300acumulación de aerosoles (Recomendaciones para la prevención de transmisión de COVID-19 por
301aerosoles, 2021, [https://www.argentina.gob.ar/ciencia/unidad-coronavirus/ventilar/informes-y-](https://www.argentina.gob.ar/ciencia/unidad-coronavirus/ventilar/informes-y-guias)
302guias; Guía práctica para ventilar manualmente la escuela. Red Argentina de Investigadoras e
303Investigadores en Salud, 2020,
304https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/guia_para_ventilar_la_escuela.pdf, accedidos el
30508/01/2023). En las aulas internas la ventilación natural del pasillo y espacios comunes es
306importante para mejorar la ventilación de las aulas.

307La ventilación también es importante para la salud humana más allá del COVID-19. Los estudios
308han demostrado que una buena ventilación se asocia con una mejor salud, mejor concentración,
309mayores niveles de satisfacción con el entorno, menores tasas de ausentismo escolar y laboral,
310mejor calidad de sueño y exposición reducida a una amplia gama de contaminantes del aire (Sundell
311et al., 2011; Fisk, 2018). Los jardines y escuelas son los lugares donde las y los niños pasan la
312mayor parte del tiempo durante su infancia además de sus hogares. Las infancias son más
313vulnerables a la mala calidad del aire interior debido a que tienen una frecuencia respiratoria más
314rápida en comparación con las personas adultas, y también a que su cuerpo aún está en crecimiento
315y sus órganos todavía están en desarrollo. Los equipos docentes, familias, funcionarios/as escolares
316e investigadores/as son cada vez más conscientes de la importancia de la calidad del aire interior y
317el confort térmico en el aula, especialmente en lo que respecta a las infancias y las tasas de
318ausentismo (Deng, 2021).

41Artículo en edición

42

319Sumado a lo anteriormente expuesto, es relevante resaltar que existe una relación bien establecida
 320entre la contaminación del aire de los espacios interiores y la morbilidad del asma en las infancias
 321(Zheng et al. 2015). Las escuelas generalmente están ubicadas muy cerca de avenidas, calles de
 322tráfico pesado y edificios comerciales e industriales dentro de una comunidad. La contaminación
 323del tráfico es una fuente importante de material particulado, dióxido de nitrógeno y carbono negro
 324que pueden penetrar y afectar negativamente la calidad del aire interior de las escuelas (Brandt et
 325al., 2015). Asimismo, el ambiente escolar es una fuente significativa de exposición a alérgenos (de
 326cucarachas, ratones, perros, gatos, moho, etc.) y tiene un impacto en la morbilidad del asma infantil
 327(Haktanir et al., 2019; Mackay et al., 2010). Otros factores que alimentan la mala calidad del aire
 328interior de las escuelas son la ventilación reducida, el mantenimiento inadecuado de los edificios y
 329la exposición a productos de limpieza y subproductos de los sistemas de calefacción y refrigeración
 330(Naja et al., 2018). Teniendo en cuenta estos múltiples factores que afectan la calidad de aire
 331interior y consecuentemente la salud de las infancias es aún más relevante la ventilación de los
 332espacios interiores. Es importante señalar, que se debe controlar que la calidad de aire exterior sea
 333buena, y en ese caso ventilar de manera continua, cruzada y distribuida los ambientes. En el caso
 334que la calidad de aire exterior no sea adecuada, se deben evaluar otros mecanismos de ventilación o
 335sistemas de ventilación mecánica que filtren el aire que toman del exterior antes de ingresarlo a los
 336ambientes.

337

3385) CONCLUSIONES

339El contexto de la pandemia de COVID-19 brindó la oportunidad de poner en discusión la relevancia
 340de la ventilación de los espacios interiores, no solo por el riesgo de contagio de SARS-CoV-2 sino
 341también por las numerosas enfermedades respiratorias y contaminantes a las que están expuestas las
 342infancias en los espacios escolares. Las y los investigadores expertos en aerosoles coinciden en que
 343un mayor enfoque en la ventilación generará beneficios durante la próxima pandemia, e incluso
 344cuando no haya brotes de enfermedades importantes. Una adecuada ventilación de los espacios
 345escolares puede significar un impacto relevante en la salud pública, especialmente de las infancias.

346Los resultados de las mediciones de concentración de CO₂ evidenciaron que es necesario innovar
 347con soluciones simples y asequibles las deficiencias de los sistemas actuales de ventilación de los

45 **Artículo en edición**

46

348 diferentes arquetipos de aulas en las instituciones educativas de nuestro país (de Diego, 2023). Una
 349 limitación relevante de este estudio fue la imposibilidad de acceder a las aulas por parte de personas
 350 no pertenecientes a las instituciones educativas, dada las condiciones de extremo cuidado en estos
 351 espacios en el marco de la pandemia COVID-19 y de la reinserción progresiva a las aulas. Esto
 352 dificultó en algunos casos conocer la orientación geográfica de las aulas, las dimensiones de
 353 ventanas y puertas y la posición de las mismas, de forma de evaluar correctamente la ventilación
 354 cruzada. Además, el sensor fue colocado en las aulas por las y los docentes, lo que pudo haber
 355 introducido alguna incertidumbre en las mediciones, dado que, si bien se dieron recomendaciones
 356 para su correcta colocación, las y los docentes debían prever además que hubiera un lugar para
 357 apoyar el sensor, que el alumnado no pasara continuamente por el sector para que no se cayera, etc.
 358 En estudios futuros, es recomendable que las personas que hagan las mediciones puedan acceder a
 359 los establecimientos educativos, colocar el sensor adecuadamente y medir las instalaciones, con el
 360 fin de lograr una mayor estandarización de las mediciones. Además, diseños experimentales futuros
 361 deberían contemplar registrar valores de concentración de CO₂ en aulas con los cursos completos
 362 (sin burbujas), en diferentes turnos (mañana y tarde) y en diferentes estaciones del año.
 363 Investigaciones futuras en esta temática en Argentina deberían incorporar además estudios de
 364 modelado que permitan estimar la transmisión de aerosoles bajo diferentes condiciones ambientales,
 365 diseños de aulas y cantidad de personas por aula. Esto permitiría contar con una herramienta de
 366 planificación muy relevante. Finalmente, es importante señalar que en este diseño experimental no
 367 se consideró la calidad de aire exterior y es un factor a considerar en mediciones que se realicen a
 368 futuro y especialmente en ciudades más grandes con mayores factores y fuentes de contaminación.

369

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

374




375

49 Artículo en edición









50

376 ANEXO

377 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> 	Aula

378

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 ABRÍÓ LA PUERTA O VENTANA	HORA	CO2	COMENTARIOS ADICIONALES
Ej. Abrimos una ventana		9 hs	600	Abrimos la ventana de atrás
				
				
				
				
				
				
				

379

380

53 **Artículo en edición**

54

381

382 **REFERENCIAS**

383 Brandt, E.B., Myers, J., Ryan, P.H., Hershey, G., 2015: Air pollution and allergic diseases. *Current opinion in*
384 *pediatrics*. 27(6):724–35. [PubMed: 26474340]. <https://doi.org/10.1097/mop.000000000000286>

385 Chau, N.V.V., Hong, N.T.T, Ngoc, N.M., et al. 2021: Superspreading Event of SARS-CoV-2 Infection at a
386 Bar, Ho Chi Minh City, Vietnam. *Emerg Infect Dis*. 27 (1): 310-314.
387 <https://dx.doi.org/10.3201/eid2701.203480>

388 Coronato, F., 1993: Wind chill factor applied to Patagonian climatology. *I J Biometeorology* 37:1-6.

389 de Diego, M., 2022: Analizan la ventilación de las aulas para evitar contagios. Agencia CTyS-UNLaM.
390 Disponible en: [https://www.ctys.com.ar/interdisciplinario/analizan-la-ventilacion-de-las-aulas-para-evitar-](https://www.ctys.com.ar/interdisciplinario/analizan-la-ventilacion-de-las-aulas-para-evitar-391-contagios/)
391 [contagios/](https://www.ctys.com.ar/interdisciplinario/analizan-la-ventilacion-de-las-aulas-para-evitar-contagios/)

392 Deng, S., Zou, B., Land, J., 2021: The adverse associations of classrooms' indoor air quality and thermal
393 comfort conditions on students' illness related absenteeism between heating and non-heating seasons-A pilot
394 study. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 18, 1500. <https://doi.org/10.3390/ijerph18041500>

395 Esty, B., Phipatanakul, W., 2018: School exposure and asthma. *Ann Allergy Asthma Immunol.*; 120: 482–487.
396 <https://doi.org/10.1016/j.anai.2018.01.028>

397 Fisk, W.J., 2018: How home ventilation rates affect health: A literature review. *Indoor air*. 28: 473-487.
398 <https://doi.org/10.1111/ina.12469>

399 Greenhalgh, T., Jimenez, J.L., Prather, K.A., Tufekci, Z., et al., 2021: Ten Scientific Reasons in Support of
400 Airborne Transmission of SARS-CoV-2. *Lancet*. 397: 1603-5. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)00869-](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)00869-4012)
401 [2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)00869-2)

402 Groves LM, Usagawa L, Elm J, Low E, et al., 2021: Community Transmission of SARS-CoV-2 at Three
403 Fitness Facilities — Hawaii, June–July 2020. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep.*, 70:316-320. DOI:
404 <http://dx.doi.org/10.15585/mmwr.mm7009e1>

405 Haktanir Abul, M., Naja, A.S., Fitzpatrick, A., Phipatanakul, W., et al., 2019: Evaluation and management in
406 children. In: Chung KF, Israel E, Gibson PG, eds. *Severe Asthma (ERS Monograph)*. Sheffield, United
407 Kingdom: European Respiratory Society. 246–264. [<https://doi.org/10.1183/2312508X.10024418>].

408 Lai, J., Coleman, K.K., Sheldon Tai, S.H., German, J., et al., 2022: Exhaled breath aerosol shedding of highly
409 transmissible versus prior severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 variants. *Clinical Infectious*
410 *Diseases*. ciac846, <https://doi.org/10.1093/cid/ciac846>.

411 Lai, P.S., Kolde, R., Franzosa, E.A., Gaffin, J.M., et al., 2018: The classroom microbiome and asthma
412 morbidity in children attending 3 inner-city schools. *J Allergy Clin Immunol*. 141: 2311–2313. [https://doi.org/](https://doi.org/41310.1016/j.jaci.2018.02.022)
413 [10.1016/j.jaci.2018.02.022](https://doi.org/10.1016/j.jaci.2018.02.022)

414 Lednicky, J.A., Lauzardo, M., Fan, Z.H., Jutla, A., et al., 2020: Viable SARS-CoV-2 in the Air of a Hospital
415 Room with COVID-19 Patients. *Int. J. Infect. Dis*. 100: 476-482. <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2020.09.025>

57Artículo en edición

58

416Lendacki, F.R., Teran, R.A., Gretsche, S., Fricchione, M.J., et al., 2021: COVID-19 Outbreak Among
417Attendees of an Exercise Facility — Chicago, Illinois, August–September 2020. *MMWR Morb Mortal Wkly*
418*Rep.*, 70:321-325. DOI: <http://dx.doi.org/10.15585/mmwr.mm7009e2>

419Lewis, D., 2022: Why the WHO took two years to say COVID is airborne. *Nature*, 604: 26-31. DOI:
420<https://doi.org/10.1038/d41586-022-00925-7>

421Lewis, D., 2021a: COVID-19 rarely spreads through surfaces. So why are we still deep cleaning?. *Nature*,
422590: 26-28. DOI: <https://doi.org/10.1038/d41586-021-00251-4>

423Lewis, D., 2021b: Why indoor spaces are still prime COVID hotspots. *Nature*, 592: 22-25. DOI:
424<https://doi.org/10.1038/d41586-021-00810-9>

425Mackay, D., Haw, S., Ayres, J.G., Fischbacher, C., et al., 2010: Smoke-free legislation and hospitalizations
426for childhood asthma. *N Engl J Med.* 363: 1139-1145.
427<https://www.nejm.org/doi/full/10.1056/NEJMoa1002861>

428Mendell, M.J., Eliseeva, E.A., Davies, M.M., Spears, M., et al., 2013: Association of classroom ventilation
429with reduced illness absence: a prospective study in California elementary schools. *Indoor Air.* 23(6):515-28.
430doi: 10.1111/ina.12042. Epub 2013 Apr 22. <https://doi.org/10.1111/ina.12042>

431Miller, S.L., Nazaroff, W.W., Jimenez, J.L., Boerstra, A., et al., 2021: Transmission of SARS-CoV-2 by
432Inhalation of Respiratory Aerosol in the Skagit Valley Chorale Superspreading Event. *Indoor Air.*31: 314-323
433. <https://doi.org/10.1111/ina.12751>

434Morawska, L., Milton, D.K., 2020: It Is Time to Address Airborne Transmission of Coronavirus Disease 2019
435(COVID-19). *Clin. Infect. Dis.*, 71: 2311-3. <https://doi.org/10.1093/cid/ciaa939>

436Naja, A.S., Permaul, P., Phipatanakul, W., 2018: Taming Asthma in School-Aged Children: A
437Comprehensive Review. *J Allergy Clin Immunol Pract.* 6(3): 726-735.
438<https://doi.org/10.1016/j.jaip.2018.01.023>

439Peng, Z., Pineda Rojas, A.L., Kropff, E., Bahnfleth, W., et al., 2022: Practical Indicators for Risk of Airborne
440Transmission in Shared Indoor Environments and Their Application to COVID-19 Outbreaks. *Environ. Sci.*
441*Technol.*, 56, 1125–1137. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c06531>

442Phipatanakul, W., Koutrakis, P., Coull, B.A., Kang, C.H.M. et al., 2017: The school inner-city asthma
443intervention study: design, rationale, methods, and lessons learned. *Contemp Clin Trials.* 60: 14-23.
444<https://doi.org/10.1016/j.cct.2017.06.008>

445Prather, K.A., Marr, L.C., Schooley, R.T McDiarmid, M.A., et al., 2020: Airborne Transmission of SARS-
446CoV-2. *Science.* 370: 303-4. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.abf0521>

447Strøm-Tejse, P., Zukowska, D., Wargocki, P., Wyon, D.P., 2015: The effects of bedroom air quality on sleep
448and next-day performance. *Indoor air.* 26: 679-686. DOI: <https://doi.org/10.1111/ina.12254>

449Sundell, J., Levin, H., Nazaroff, W.W., Cain, W.S., et al., 2011: Ventilation rates and health: multidisciplinary
450review of the scientific literature. *Indoor Air.* 21(3):191-204. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2010.00703.x>

61 **Artículo en edición**

62

452 Tang, J.W., Bahnfleth, W.P., Bluysen, P.M., Buonanno, G., et al., 2021a: Dismantling myths on the airborne
453 transmission of severe acute respiratory syndrome coronavirus-2 (SARS-CoV-2). *J Hosp Infect.* 110 89e96.
454 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2020.12.022>

455 Tang, J.W., Marr, L.C., Li, Y., Dancer, S.J., 2021b: Covid-19 Has Redefined Airborne Transmission. *BMJ*,
456 373: n913. <https://doi.org/10.1136/bmj.n913>

457 Wang, C.C., Prather, K., Sznitman, Jimenez, J.L., et al., 2021: Airborne transmission of respiratory viruses.
458 *Science.* 373, eabd9149. <https://doi.org/10.1126/science.abd9149>

459 Zheng, X.Y., Ding, H., Jiang, L.N., Chen, S.W., et al., 2015: Association between air pollutants and asthma
460 emergency room visits and hospital admissions in time series studies: a systematic review and meta-analysis.
461 *PLoS One.* 10(9):e0138146. [PubMed: 26382947]. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0138146>

462

463

464

465

466

467

468

469

470

471

472

473

474

475

476

477

478

63

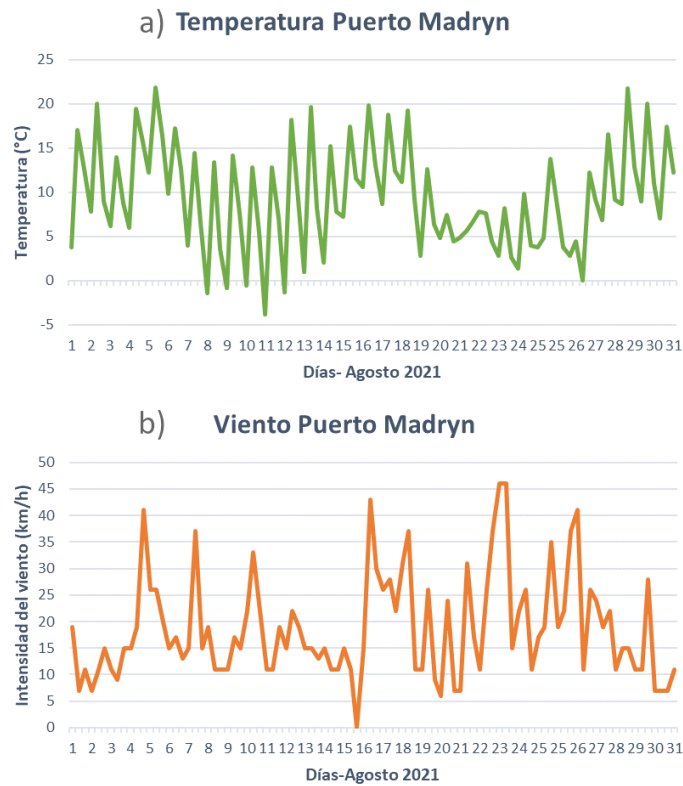
64

65 Artículo en edición

66

479 Figuras y Tablas

480



481

482 Figura 1: a) Valores de temperatura (°C) y b) intensidad del viento (km/h), tridiurnos (9hs, 15hs y 21hs) para

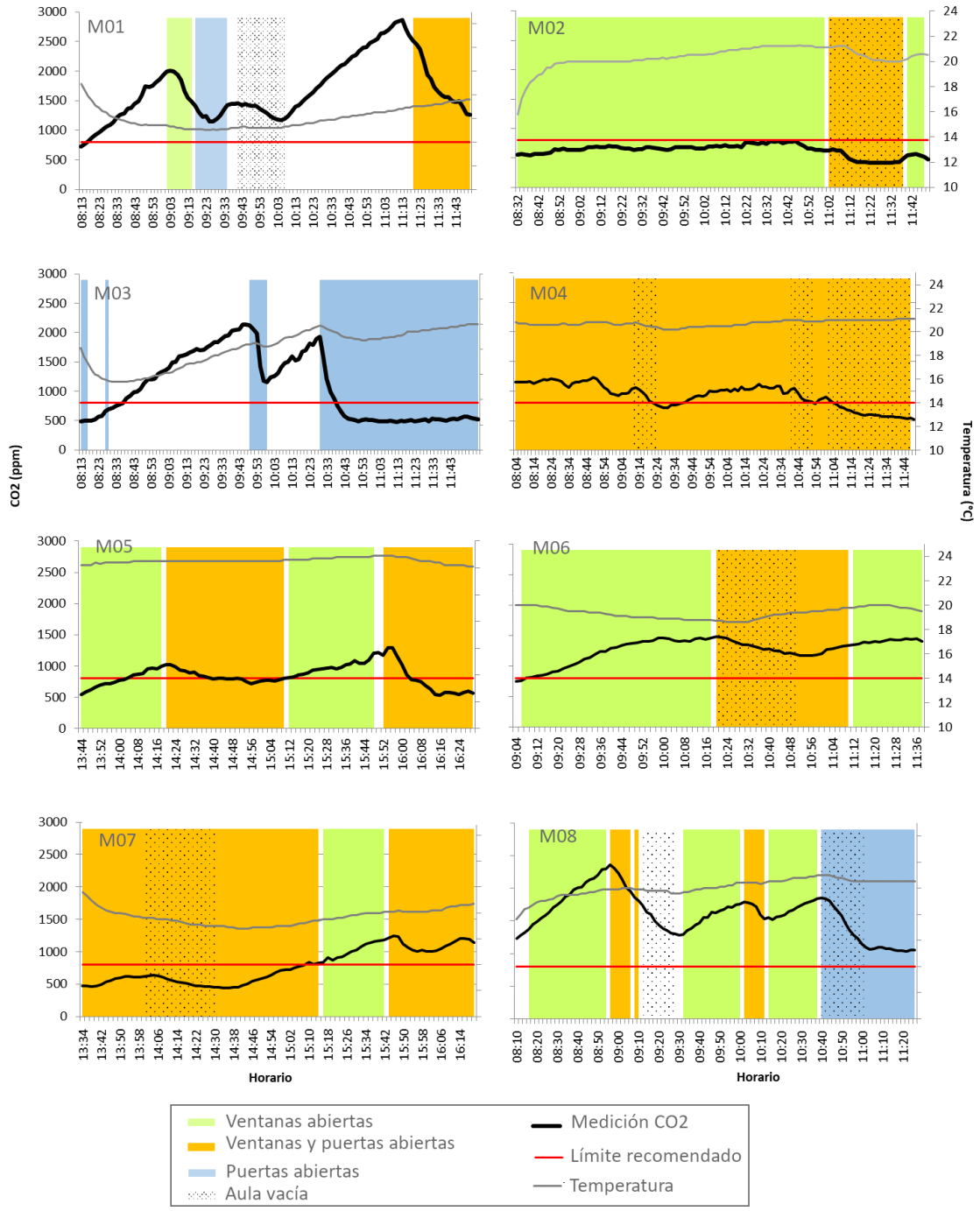
483 la ciudad de Puerto Madryn en el periodo de medición (agosto 2021). Datos del Servicio Meteorológico

69Artículo en edición

70

484

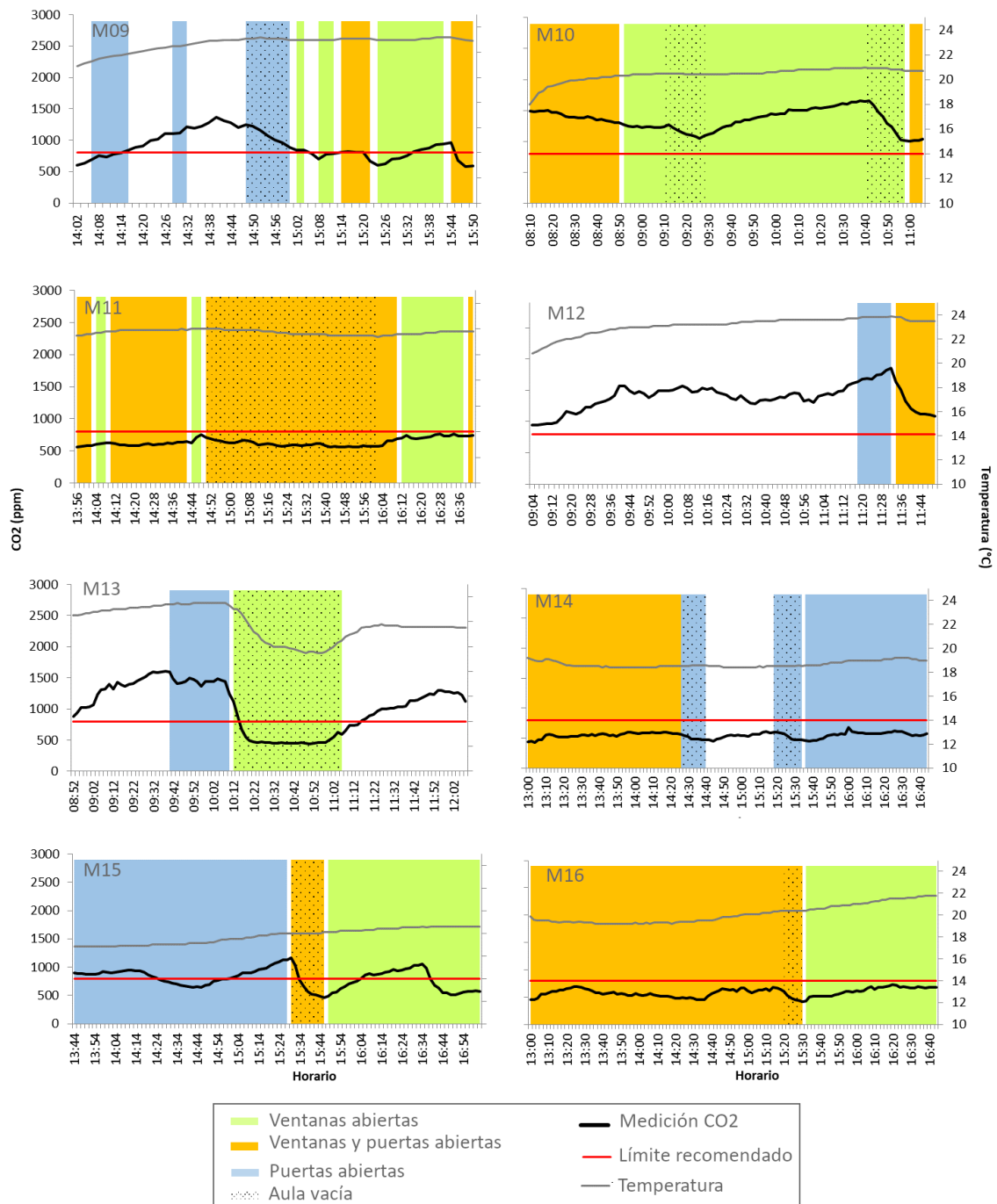
Nacional.



77Artículo en edición

78

486Figura 2a: Resultados de las mediciones de concentración de CO₂ (línea negra) en las aulas M01 a M08
 487(arriba a la izquierda de cada panel se indica el número de medición descrito en la Tabla 1). En sombreados
 488de colores se indican las condiciones donde se midió (puertas y/o ventanas abiertas; aula vacía por receso en
 489la hora escolar) y además se muestra el valor límite de CO₂ recomendado (línea roja) y la temperatura en el
 490aula (línea gris).



F

491

492

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

493

494

495

496

497

498

83

84

ID	Fecha	Grado / Turno	Niños / Docentes	Tamaño Aula	Puertas/Ventanas	Temp.	Viento	Orientación VC	Condiciones VC
M01	02-08	2do /TM	8/1	75 m3	1P-2V	11.2	8 km h ⁻¹ O	N-S	NA
M02	04-08	Maternal/TM	10/1	150 m3	1P-2V	9.6	14,2 km h ⁻¹ N	O-E	NA
M03	05-08	6to /TM	6/1	72 m3	1P-2V	14.4	27,4 km h ⁻¹ NO	N-S	I
M04	06-08	1ro /TM	14/2	120 m3	1P-2V	11.9	12.,6 km h ⁻¹ O	sin VC	sin VC
M05	06-08	Sala 5/TT	13/2	56 m2	2P-3V	16.8	13 km h ⁻¹ O	N-S	NA
M06	09-08	Sala 3/TM	9/2	56 m2	2P-2V	3.3	11 km h ⁻¹ NO	N-S	I
M07	09-08	Sala 5/TT	13/2	56 m2	1P-4V	13.6	14,6 km h ⁻¹ NO	O-E	I
M08	10-08	5to /TM	15/2	46 m2	1P-2V	4.9	22,4 km h ⁻¹ O	N-S	NA
M09	10-08	3ro /TT	14/2	49 m2	1P-2V	12.8	32,2 km h ⁻¹ SE	N-S	I
M10	11-08	6to /TM	14/2	50 m2	1P-2V	1.9	11.8 km h ⁻¹ NO	O-E	I
M11	11-08	2do /TT	15/2	50 m2	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 m2	1PV-1P-1V	18	28,4 km h ⁻¹ O	sin VC	sin VC
M15	18-08	3ro TT	10/1	40 m2	1PV-1P	18.5	31,6 km h ⁻¹ O	sin VC	sin VC
M16	19-08	1ro /TT	sin datos	25 m2	1P-2V	12.9	22,6 km h ⁻¹ O	sin VC	sin VC

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

504

505




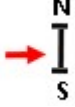

506

507

508

509

90
510

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						

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