

CONCENTRACIÓN DE DIÓXIDO DE CARBONO EN AULAS ESCOLARES, EN LA CIUDAD DE LA PLATA, BUENOS AIRES, ANTE SITUACIÓN DE PANDEMIA DE COVID-19

Graciela Viegas¹, Gustavo San Juan¹, Jesica Esparza¹, Alejandro Arévalo¹

¹ Instituto de Investigaciones y Políticas del Ambiente Construido (IIPAC). Universidad Nacional de La Plata (UNLP). Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Calle 47 N°162, La Plata, C.P. 1900 – Prov. de Buenos Aires. Tel. 0221-4236587/90 int. 250.

e-mail: gachiviegas@yahoo.com.ar; gustavosanjuan60@hotmail.com;
jescasparza@hotmail.com; arevaloarq@yahoo.com.ar

RESUMEN: La Pandemia de COVID-19 puso en evidencia la necesidad de revisar el diseño de las aulas en las escuelas de Argentina en relación a la ventilación. En la provincia de Buenos Aires, surgieron proyectos de investigación para evaluar las condiciones de ventilación de las escuelas, asociando organismos de gestión educacional con el ámbito científico. El propósito fue evitar la propagación de enfermedades contagiosas transmitidas por vía respiratoria a partir de regular los niveles de concentración de dióxido de carbono. Este trabajo tiene por objetivo describir un proyecto de investigación y los primeros resultados de la evaluación de las condiciones ambientales de aulas escolares primarias de la ciudad de La Plata, Buenos Aires, Argentina. La metodología involucra la evaluación y diagnóstico de la concentración de CO₂ como parámetro de referencia de cuatro aulas escolares “tipo” mediante mediciones “in situ” (auditoría ambiental), así como los parámetros ambientales (temperatura, humedad, sonido) a partir de auditoría “objetiva” y los factores de confort del usuario mediante auditoría “subjetiva”. A pesar de la ventilación, los resultados muestran altos niveles de concentración de dióxido de carbono, discomfort auditivo y temperaturas interiores bajas.

Palabras clave: Ventilación en aulas escolares, confort térmico y auditivo, análisis objetivo y subjetivo.

INTRODUCCIÓN

Este trabajo presenta avances del proyecto de investigación denominado: “Evaluación de parámetros ambientales en aulas escolares y definición de estrategias técnicas, edilicias y comportamentales, que mejoren la ventilación natural para disminuir el riesgo de contagio de COVID-19, durante clases presenciales”. El mismo está financiado desde el Programa Impact.Ar Ciencia y Tecnología, del Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación Argentina, que busca promover proyectos de investigación y desarrollo orientados a apoyar a organismos públicos, encontrar soluciones a desafíos de interés público, que requieran de conocimiento científico o tecnológico para su resolución. En este caso en particular, el proyecto reúne a la Subsecretaría de Planeamiento de la Dirección General de Cultura y Educación, al Ministerio de Salud, la Subsecretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación del Ministerio de Producción, Ciencia e Innovación Tecnológica de la Provincia de Buenos Aires. Junto con seis institutos y laboratorios de investigación dependientes del CONICET, la UNLP, la CIC¹.

¹ Centro de Investigaciones del Medio Ambiente -CIM- CONICET-UNLP y CICPBA; Centro de Investigaciones en -Química Aplicada- CINDECA- CONICET UNLP-CICPBA; Instituto de Investigaciones y Políticas del Ambiente Construido- IIPAC-CONICET/UNLP; Centro de Investigaciones Ópticas- CIOP-CONICET - UNLP – CIC; Grupo de Capa Límite y Fluidodinámica Ambiental, Departamento de Aeronáutica de la Facultad de Ingeniería, UIDET- LaCLyFA- UNLP. Integrante del Centro Tecnológico Aeroespacial (FI/UNLP); Laboratorio UPL-UNLP-CIC.

El proyecto mencionado, buscó evaluar los parámetros ambientales en aulas escolares y definir las estrategias técnicas, edilicias y comportamentales, que mejoren la ventilación natural para disminuir el riesgo de contagio de COVID-19, durante clases presenciales. En este sentido, es conocida la transmisión de enfermedades por el aire y en particular por aerosoles. Una forma de reducir esta vía de contagio en espacios interiores es la ventilación de los ambientes.

Las necesidades de ventilación dependen de la cantidad de personas por metro cuadrado y del tipo de actividad. Una forma indirecta para medir la calidad del aire y si la ventilación es adecuada, consiste en el monitoreo de la concentración de dióxido de carbono (CO₂). Una concentración del CO₂ por encima del nivel del aire exterior, en función de las normativas internacionales para espacios confinados, indica que la ventilación no es suficiente y que existe una acumulación de gases y aerosoles en el interior. El proyecto desarrollado tuvo como objetivo inmediato, contar con resultados que permitan avalar y optimizar los protocolos de medición del CO₂ en las aulas, evaluando variables tales como cambios de temperatura y tipo de actividad realizada en el aula, para establecer los niveles de apertura óptimos para cumplir dos objetivos: suficiente renovación de aire y adecuado confort higro-térmico de los y las estudiantes, docentes y no docentes.

Concentración de dióxido de carbono en aulas y confort

La importancia de la ventilación en aulas se puso en agenda durante la pandemia de COVID19, debido a la necesidad de volver a las aulas luego del Aislamiento social preventivo y obligatorio (ASPO) iniciado en marzo de 2020 en Argentina. Como la mayor parte de las actividades en las escuelas se desarrollan en ambientes interiores con volúmenes de aire limitados, la ventilación podría asegurar la eliminación de microgotas y aerosoles que contengan el virus, ya que existe un fuerte componente de transmisión de la enfermedad a través de aerosoles producidos por individuos asintomáticos (Prather, 2020). Asimismo, el contagio de COVID-19 así como de otras infecciones respiratorias (gripe, tuberculosis) se producen tanto por microgotas que contienen el virus (> 5 a 10 µm) como por aerosoles (≤5 µm) exhaladas por personas infectadas al respirar, hablar, toser y/o estornudar. Una correcta ventilación es clave para reducir las posibilidades de contagio de este tipo de enfermedades (Roberts, 2021; Krawczyk, 2016), así como otras medidas tales como la distancia social, el uso correcto de barbijos, la tasa de inhalación y las tareas que se desarrollan.

En este sentido, diferentes autores han señalado que el contenido de la concentración de CO₂ en interiores es un indicador que puede utilizarse para evaluar indirectamente la transmisión de enfermedades infecciosas respiratorias, debido a la inhalación de aerosoles (partículas de menor tamaño producidas en gran cantidad en todas las actividades, al respirar, hablar, toser o estornudar) (Krawczyk, 2016) (Rudnick, 2003). El contenido de CO₂ varía de acuerdo a la actividad que se realice, ya sea hablar, realizar actividad física, gritar, aumentando 150 veces respecto a la primera actividad mencionada (Hyde, 2021). Así como también, este parámetro se ve afectado por la humedad relativa y la temperatura (Buonanno, 2020) (Raj, 2020).

La incidencia de la ventilación en escuelas, afecta en cierta medida a otros parámetros de confort. Al hablar de confort ambiental, se debe hacer referencia a una serie de condicionantes o factores, que se pueden clasificar en: Ambientales, tales como confort higro-térmico, lumínico, acústico, y calidad de aire y arquitectónicos, tales como adaptabilidad del espacio, contacto visual, auditivo y estético (San Juan, 2014).

En Argentina, según el BID (Bos, 2020), el promedio de superficie de un aula es de 45 m² con una cantidad de 30 alumnos más un docente, es decir 1,45 m² por individuo, mientras que lo recomendable es un espacio entre 2,25 y 4 m² por cada alumno y el docente, para evitar contagios. En este sentido Morawska, et al (2021) han señalado que el diseño de los edificios debe empezar a contemplar mejores criterios de ventilación, no solo enfocado en la temperatura, el control de olores, el uso de energía y la calidad del aire percibida, sino también en la seguridad del aire que se respira, concluyendo que es una necesidad para prevenir futuras pandemias. Se considera que el aire debería ser considerado como un bien público, como lo es el agua, en función de generar en ese aire aquellas condiciones que eviten la transmisión de enfermedades.

En este sentido, el presente artículo aborda una parte del Proyecto marco y tiene por objetivo: (i) Evaluar y diagnosticar, mediante mediciones “in situ” (técnica de auditoría ambiental, o audit-diagnóstico), la concentración de CO₂ como parámetro de referencia de cuatro aulas escolares “tipo” en la ciudad de La Plata, provincia de Buenos Aires, con diferentes grados de renovación de aire para ser tenidos en cuenta en los protocolos COVID-19. (ii) Evaluar, los parámetros ambientales (temperatura, humedad, sonido), mediante auditoría “objetiva” y los factores de confort del usuario a partir de auditoría “subjetiva”.

METODOLOGÍA

Para arribar a los objetivos, se planteó el análisis “in situ” de escuelas en la ciudad de La Plata, una en zona céntrica y otra en zona periférica del casco urbano con el objetivo de analizar los niveles de CO₂ externo en diferentes situaciones de tránsito y el CO₂ generado en el aula para obtener niveles de concentración en distintas condiciones. Si bien la medición de CO₂ no indica la presencia de COVID, un alto valor de este parámetro implica que el aire en el ambiente medido, no presenta las condiciones óptimas de ventilación. Es por ende que la concentración de CO₂ actúa como indicador del grado de estanqueidad del aire interior. Además, se registró y evaluó el tipo de construcción, materiales constructivos, aberturas y sistema de ventilación, conformación tipológica del aula y otros parámetros ambientales.

En base a la recopilación de información sobre la infraestructura escolar, se seleccionaron 2 escuelas, con localización urbana y suburbana, con diferentes esquemas de ventilación en las 4 aulas auditadas. Las escuelas pertenecen a la Región Escolar 1, de La Plata. Zona Bioclimática IIIb (Templado cálido. Amplitud térmica < 14°C). Una vez seleccionados los escenarios se miden los parámetros ambientales del aula (ventilación natural, temperatura, humedad relativa, sonido) a partir de la metodología de audit- diagnóstico de carácter objetiva (utilizando instrumental de precisión) y los factores de confort del usuario, mediante auditoría de carácter subjetiva (encuesta de opinión), y el nivel de CO₂. Las tipologías edilicias son en doble crujía y en simple crujía. La auditoría se realizó en el período invernal (Registros documentales, concentración de CO₂ máxima).

Para el presente estudio, se tomó como nivel máximo de referencia 1000ppm (Norma ASHAE 62.1, 2022) y se adoptó 800ppm según la Guía para Instituciones Educativas del Ministerio de Educación de Argentina (Consejo Federal de Educación, 2021).

Se realizó una medición de las condiciones ambientales de las aulas en el mes de mayo y junio del año 2022, en un período de 15 a 18 días con un registro cada 15 minutos, utilizando el siguiente equipamiento: adquisidor de datos de dióxido de carbono (AD-CO₂ Meter, marca HTI, modelo HT2000); adquisidor de datos electrónico exterior de temperatura y humedad (AD-T+HR, Datalogger ONSET, modelo MX 2301AS) e interior (AD-T+HR+Light, marca HOBO, modelo H08-004-02) y nivel sonoro (Decibelímetro, marca TES, modelo 1350 A). Además, se realizó una encuesta de opinión a los estudiantes que asistieron en el aula auditada con lo cual relacionar los datos objetivos y los subjetivos.

Descripción de los casos de estudio

Uno de los establecimientos es la Escuela Primaria n° 33 (figura 1), localizada en área urbana en calle 8 esquina 38, con 654 alumnos. Su envolvente es de muro de ladrillo común de un espesor de 40cm, el techo de losa de hormigón armado y las carpinterías de madera, simple contacto en planta alta y de perfiles metálicos en planta baja. Pose ventilación natural (cruzada por ventana en pasillo) y su apertura se realiza manualmente.

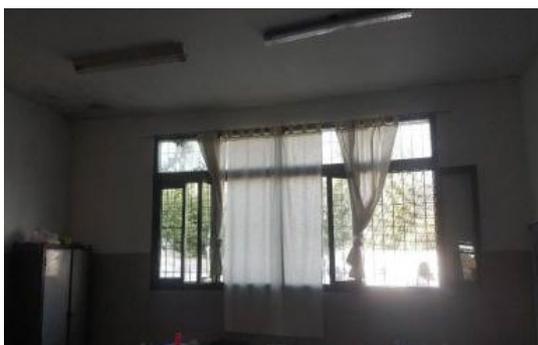
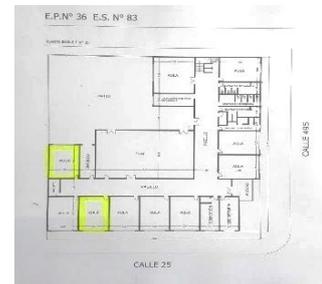
El otro establecimiento es la Escuela Primaria n° 36 (figura 2), localizada en área suburbana, en calle 25 esquina 495, con 382 alumnos. Su envolvente es de muro de ladrillo común de un espesor de 26cm, el techo de losa de hormigón armado y las carpinterías son practicables de madera, simple contacto. Tiene ventilación natural (no es cruzada) y su apertura se realiza manualmente.



AULA 1
Localización: Planta baja (PB). Ventana hacia Avda. 38. 24 alumnos: 6to grado. Orientación noroeste. La ventana permite escasa ventilación (como se observa en la apertura de las mismas en la fotografía). Se abre la puerta del aula en búsqueda de ventilación cruzada pero no es efectiva. **Encuesta turno mañana.**

AULA 2
Localización: Planta alta (PA). Ventana hacia calle 8. 19 alumnos: 5to grado. Orientación noreste. La ventana permite abrir para una ventilación media, aunque el ingreso de rayos solares hace que tenga que limitarse con postigos (como se ve en la fotografía). Se abre la puerta del aula y una ventana en el pasillo para lograr la efectiva ventilación cruzada. **Encuesta turno tarde.**

Figura 1: EP 33, urbana. Tipología simple cruzija.



AULA 1
Localización: Planta baja (PB). Ventana hacia el patio. 24 alumnos: 6to grado. Orientación suroeste. Las ventanas pueden abrirse francamente por su disposición al patio y su orientación SO que no produce deslumbramiento. La escuela es doble cruzija y no permite la ventilación cruzada efectiva. **Encuesta turno mañana.**

AULA 2
Localización: Planta baja (PB). Ventana hacia calle 25. 24 alumnos: 5to grado. Orientación noreste. Las ventanas pueden abrirse, aunque por su orientación al sol (NE) que produce deslumbramiento y por los ruidos de la calle se bloquean parcialmente. La escuela es doble cruzija y no permite la ventilación cruzada efectiva. **Encuesta turno mañana.**

Figura 2: EP 36. Suburbana La Plata. Tipología doble cruzija. Ambas ventanas abren francamente y es posible ventilar, aunque no se logra la ventilación cruzada efectiva.

Se trata de dos escuelas significativas de la ciudad. La EP 33 de carácter histórico, con una gran matrícula, mientras que la EP 36 es más moderna y a su vez con la mitad de la matrícula de la anterior. En ambos casos, las directivas se mostraron receptivas del trabajo a realizar, y comentaron las acciones que llevaban a cabo respecto a los protocolos de COVID-19. El Ministerio de Educación de la provincia les había proveído de sistemas de detección de CO₂ pero los mismos eran escasos (entre 2 y 5 por escuela), y con deficiencias respecto a su funcionamiento. Sin embargo, tanto docentes como directivos, realizaban testeos en algunos momentos del día para evaluar la concentración en determinadas aulas.

El período medido correspondió a la segunda quincena del mes de mayo y primera quincena del mes de junio de 2022, donde comenzaba a sentirse la baja temperatura en la ciudad. Ambas escuelas tienen dos turnos, mañana y tarde, donde se dictan clases a niños de 5to o 6to grado. Se seleccionaron estos cursos para obtener una mejor respuesta a la medición subjetiva mediante una encuesta papel que se les entregó a los y las niñas durante una jornada de clases, realizadas en formato “taller”.

DESARROLLO

El desarrollo del trabajo se ha estructurado en tres secciones: (i) Auditoría objetiva; (ii) Encuestas de opinión; (iii) Síntesis de resultados objetivos y subjetivos por escuela.

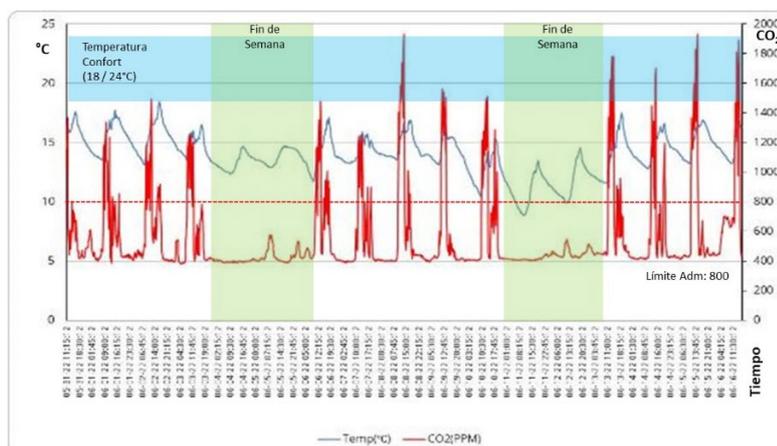
En la sección (i), se realiza un análisis de las mediciones de temperatura, humedad relativa, y concentraciones de CO₂, analizando el período completo de entre 15 y 18 días de medición, donde se indican los fines de semana y el área de confort térmico. Posteriormente se detalla el análisis diario de la jornada de clases, para determinar las diferencias entre los distintos turnos. En ambos casos se registra niveles de concentración de CO₂, considerados como nocivos, ya que valores superiores (800ppm) indican mayor riesgo de contagios a distancia por falta de una correcta ventilación.

En la siguiente sección (ii) se presentan los resultados de las encuestas de opinión respecto a la percepción de la temperatura y la humedad, así como la ventilación y el sonido. Los resultados se expresan porcentualmente y se indica la cantidad de estudiantes por aula.

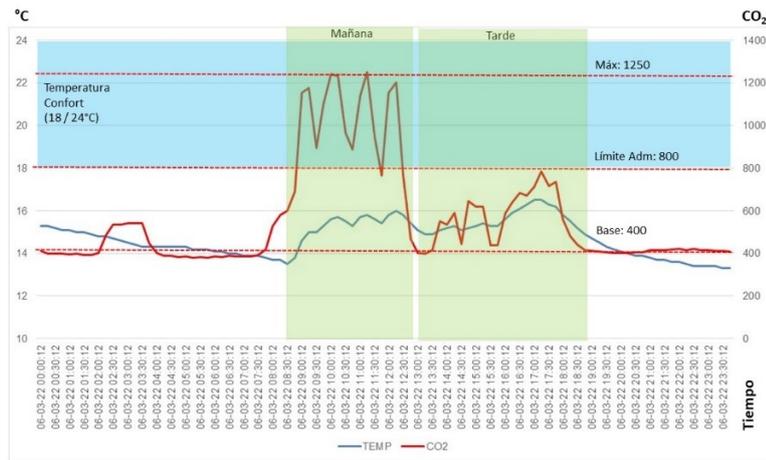
Finalmente, en la sección (iii) se articulan los resultados objetivos con las percepciones de los encuestados y se compara la situación.

Auditoría objetiva

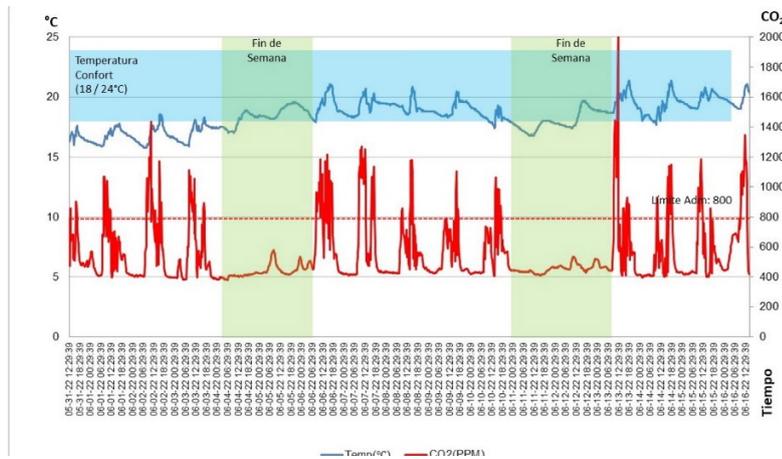
Las figuras 3 y 4 muestran los resultados de temperatura, humedad y concentración de dióxido de carbono medidos en las 4 aulas de ambas escuelas. Las mediciones de base de CO₂ en ambas escuelas cuando estaban sin uso ni ocupación (fines de semana o por la noche) registró entre 420 y 500 ppm. No se detectaron diferencias significativas entre la escuela urbana y la suburbana.



Aula de 6to en planta baja (Orientación NO). CO₂ período de medición



Aula de 6to en planta baja (Orientación NO). CO₂ período diario



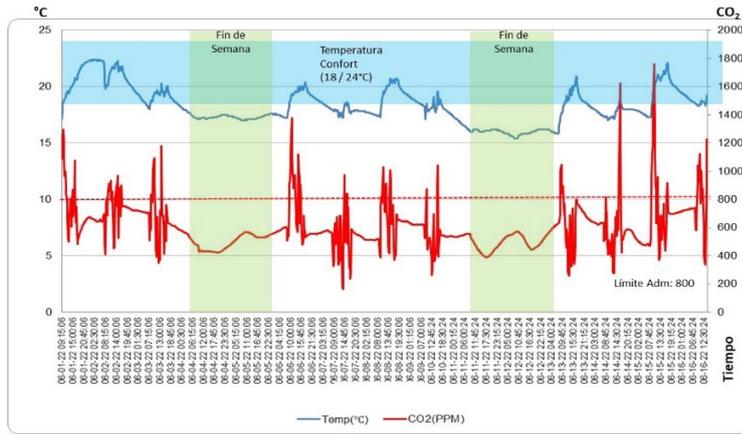
Aula de 5to en planta alta (Orientación NE). CO₂ período de medición



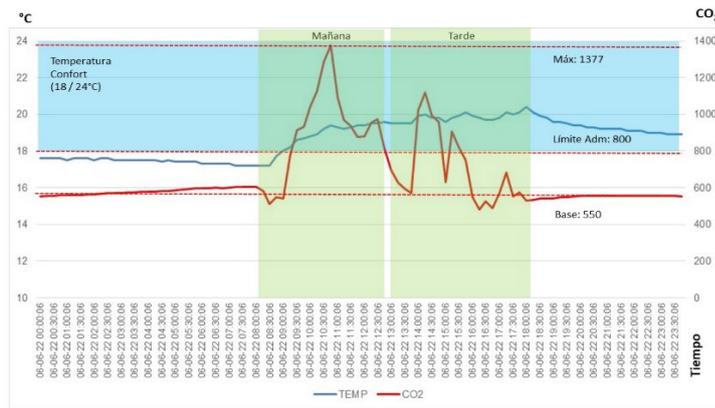
Aula de 5to en planta alta. (Orientación NE). CO₂ período diario

Figura 3: EP 33 – 6 A (PB) y 6 C (PA).

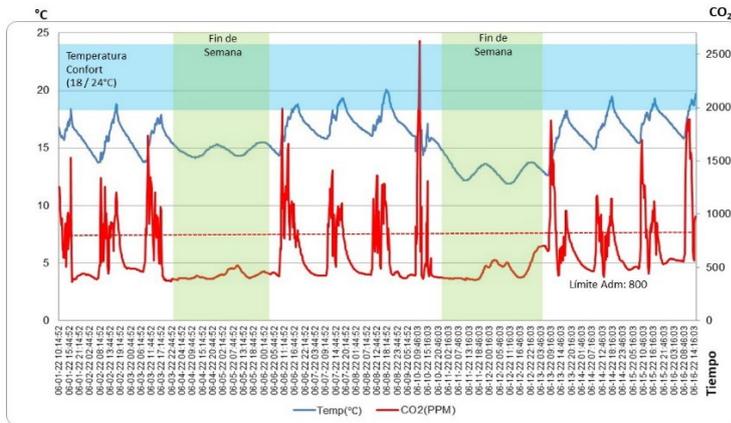
En la escuela urbana se observa una diferencia entre los dos cursos analizados. El aula con 24 estudiantes y ventilación más deficiente presenta valores de CO₂ durante el período que van de 1200 a 2000 ppm. El aula con mejor ventilación (cruzada) y 19 estudiantes, presenta valores menores, con máximos de 1200 ppm en el período. El aula de planta baja presenta sus temperaturas muy por debajo de la temperatura de confort, mientras que la de planta alta tiene la mayor parte de sus temperaturas en confort térmico. Los registros en un solo día muestran que, en el aula al noroeste, las concentraciones son mayores por la mañana que por la tarde, y en la otra aula las concentraciones son similares en ambos turnos. Todos los registros están por encima del límite de 800 ppm.



Aula 5to en planta baja calle (Orientación NE). CO₂ periodo de medición



Aula 5to en planta baja calle. (Orientación NE). CO₂ período diario



Aula 6to en planta baja patio (Orientación SO). CO₂ periodo de medición



Aula 6to en planta baja patio (Orientación SO). CO₂ período diario

Figura 4: EP 36 – 5to a la calle (PB) y 6to al patio (PB)

La escuela suburbana presenta concentraciones similares en ambas aulas (a la calle o al patio) durante el período. Ambas tienen la misma cantidad de alumnos y similar ventilación de acuerdo al tipo de aventanamiento. El aula noreste tiene mayores temperaturas interiores que se acercan a la zona de confort, mientras que el aula suroeste tiene muy bajas temperaturas que no alcanzan el confort térmico. El aula que da a la calle tiene similares concentraciones de CO₂ en los dos turnos, mientras que el aula que da al patio registra diferencias entre la mañana y la tarde. Todos los registros están por encima del límite de 800 ppm.

De este primer análisis se pudo concluir que no se registran grandes diferencias entre los dos tipos de escuelas (urbana y suburbana) ni tampoco de acuerdo a la orientación ya que las concentraciones de CO₂ son superiores a las requeridas por los protocolos sanitarios (800 ppm).

Encuestas de opinión

Las siguientes tablas (tabla 1 y 2) muestran los resultados de las encuestas realizadas en las 4 aulas durante un turno de la escuela (mañana o tarde) en el período medido. En los cursos asistieron entre 19 y 24 alumnos el día de la encuesta.

Tabla 1: Opinión de los alumnos encuestados. Temperatura y humedad relativa, en las cuatro aulas

Opiniones sobre TEMPERATURA Y HUMEDAD		Orientación	Alumnos	Temperatura										Humedad Relativa				
				Vestimenta (%)			¿Estas bien, tenés frío o calor? (%)			¿Es así todo el tiempo? (%)		¿Se enciende la estufa o el ventilador? (%)		¿Transpira Ud. cuando está en el aula? (%)		¿Transpira el aula? (%)		
				Muy abrigada	Abrigada	Liviana	Bien	Frío	Calor	Si	No	Nunca	Siempre	Alguna vez	Si	No	Si	No
EP 33 Urbana	Aula PB a la calle	NO	24	13	75	13	50	10	40	30	70	14	86	0	13	87	13	87
	Aula PA a la calle	NE	19	32	63	5	50	42	8	22	78	11	21	68	33	67	39	61
EP 36 Suburbana	Aula PB al patio	SE	24	8	83	8	50	50	0	46	54	4	87	9	0	100	67	33
	Aula PB a la calle	NE	24	13	75	13	50	10	40	30	70	0	86	14	13	87	13	87

Como primer análisis se observa que la mayoría de los alumnos (entre 63 y 83%) asisten a la escuela abrigados y en la escuela urbana en aula de planta alta (PA) el 30% asiste muy abrigado. Esto se da como respuesta a las condiciones de ventilación. La mitad de los alumnos se encuentran bien en cuanto a la temperatura, solventados por el abrigo con el que asisten. En la escuela suburbana en el aula suroeste, así como en la escuela urbana del aula noreste entre el 40 y el 50% de los estudiantes perciben frío. En todas las aulas los estudiantes comentan que se encienden las estufas, salvo en una de ellas. Y mayoritariamente los estudiantes no transpiran en el aula, así como tampoco registran que el aula tenga condensación superficial (o transpiración), producto de la ventilación producida a partir de los protocolos.

Tabla 2: Opinión de los alumnos encuestados. Ventilación y sonido en las cuatro aulas

Opiniones sobre VENTILACIÓN Y SONIDO		Orientación	Alumnos	Ventilación								Sonido						
				¿El aire es pesado/viciado? (%)		¿Ventila el aula en esta época? (%)		¿Al tener que ventilar nota alguna molestia? (%)		¿Cuándo ventilan tienen frío? (%)		¿Existen ruidos molestos? (%)		¿El sonido de las voces perturba la actividad? (%)		¿Cómo es el sonido en el aula? (%)		
				Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Confuso	Correcto	Débil
EP 33 Urbana	Aula PB a la calle	NO	24	62	38	100	0	4	96	8	92	100	0	96	4	21	67	12
	Aula PA a la calle	NE	19	37	63	100	0	37	63	37	63	100	0	84	16	31	53	16
EP 36 Suburbana	Aula PB al patio	SE	24	12	88	100	0	15	85	44	56	100	0	80	20	18	56	26
	Aula PB a la calle	NE	24	62	38	100	0	4	96	8	92	100	0	96	4	21	67	12

Como puede observarse los alumnos manifiestan que se ventila el aula (100%) en las dos escuelas y las cuatro aulas. De acuerdo a la opinión, en la urbana en el aula con mayor cantidad de alumnos y

escasa ventilación, se observa que se percibe el aire viciado (62%), así como también en la escuela suburbana en el aula que da a la calle con 24 estudiantes. A nivel general no se percibe molestia al ventilar, salvo en la escuela urbana en planta alta (37%) a la calle donde se abren bien las ventanas (y donde los ruidos de la calle pueden molestar). Por otro lado, no se observa que los estudiantes perciban frío considerable al ventilar, aunque esta percepción se hace presente en el aula orientada al suroeste (aula PB patio EP36, 44%) y en el aula noreste (PA calle EP33, 37%) donde son menos estudiantes.

Finalmente puede observarse que el sonido es una variable clave en el confort de los estudiantes ya que la totalidad de los mismos consideran que existen ruidos molestos, debido a que la ventilación natural provoca que accedan los ruidos desde distintos lugares, como los pasillos, las actividades en los salones de usos múltiples, los recreos, la actividad vehicular tanto en la escuela urbana como la suburbana. En la mayoría de las encuestas se constató que el sonido de las voces perturbaba las actividades de las clases. Durante la visita a los establecimientos se pudo constatar mediante entrevista a las docentes, que debido al uso de barbijos y la necesidad de abrir las ventanas y puertas para ventilar, surgieron problemas de salud en relación a las cuerdas vocales y comenzaron a utilizar micrófonos para dar sus clases.

Síntesis de resultados objetivos y subjetivos por escuela

Las siguientes tablas muestran la interrelación del análisis objetivo y el subjetivo para las dos escuelas, conjugando las dos aulas analizadas.

Tabla 3: Resultados objetivo-subjetivo de la EP 33 urbana

MEDICIÓN OBJETIVA	PERCEPCIÓN DE LOS ESTUDIANTES
<u>CO2 / Ventilación</u>	
Período completo de medición	Aula en Planta Baja
Mes de medición: Mayo	Aire viciado (SI): 32%
Valor máximo: 2000 ppm	Siempre se ventila el aula: 100%
Aula en Planta Baja	Percibe frío cuando se ventila (NO): 92%
Valor medio mañana: 1000 ppm	Molestias por ventilación (NO): 83%
Valor medio tarde: 600 ppm	Aula en Planta Alta
Valor máximo: 1200 ppm	Aire viciado (SI): 37%
Valor base: 400 ppm	Siempre se ventila el aula: 100%
Aula en Planta Alta	Percibe frío cuando se ventila (NO): 63%
Valor medio mañana: 900 ppm	Molestias por ventilación (NO): 63%
Valor medio tarde: 900 ppm	
Valor máximo: 1100 ppm	
Valor base: 420 ppm	
<u>TEMPERATURA</u>	
Aula en Planta Baja	Aula en Planta Baja
Temperatura de confort de “día tipo” (18 a 24°C):	En confort (Si): 50%
14 y 16°C. No se alcanza	Tienen frío (Si): 40%
Aula en Planta Alta	Tienen calor (Si): 10%
Temperatura de confort de “día tipo” (18 a 24°C):	Aula en Planta Alta
18 y 21°C. Si se alcanza	En confort (Si): 50%
	Tienen frío (Si): 42%
	Tienen calor (Si): 8%
<u>SONIDO</u>	
	Aula de Planta Baja
	Ruidos molestos (SI): 100%
	El sonido de las voces complica la actividad 96%
	Aula de Planta Alta
	Ruidos molestos (SI): 100%
	El sonido es confuso: 47%

En un análisis combinado es posible observar que, si bien las aulas de la escuela urbana están ventiladas durante el día, los valores de concentración de CO₂ son elevados, alcanzando valores medios de 1000 ppm en el aula más crítica y valores máximos del período de 2000 ppm. En el mes de medición, en cuanto a la ventilación los estudiantes no perciben considerablemente el frío, y no les ocasiona molestias. Esto se funda en que, los alumnos están abrigados dentro de ellas, lo que implica que solventan la necesidad térmica con grado de aislamiento con vestimenta (clo). Se observan diferencias térmicas considerables entre un aula y la otra, y en este sentido las percepciones de los alumnos son similares en ambas condiciones, demostrando que la mitad está en confort y la otra mitad percibe frío. Finalmente, en relación al sonido en aulas, se observa que es una de las dimensiones más críticas, teniendo una relación directa con la ventilación en relación a la apertura de ventanas hacia el exterior (calle) o reverberación interna (de pasillo), ya que en este aspecto hay consenso en las opiniones negativas de los alumnos.

Tabla 4: Resultados objetivo-subjetivo de la EP 36 suburbana

MEDICIÓN OBJETIVA	PERCEPCION DE LOS ESTUDIANTES
<u>CO2 / Ventilación</u>	Percepción de los estudiantes aula de Planta Baja calle
Período completo de medición	Aire viciado (SI): 62 %
Mes de medición: primera quincena de junio	Siempre se ventila el aula: 100 %
Valor máximo: 1800 ppm (aula a calle)	Percibe frío cuando se ventila (NO): 98 %
2500 ppm (aula a patio)	Molestias por ventilación (NO): 96 %
Aula en Planta Baja calle	Aula de Planta baja patio
Valor medio mañana: 800 ppm	Aire viciado (NO): 88 %
Valor medio tarde: 800 ppm	Siempre se ventila el aula: 100 %
Valor máximo: 1377 ppm	Percibe frío cuando se ventila (SI): 44%
Valor base: 550 ppm	Molestias por ventilación (NO): 85 %
Aula en Planta Baja patio	
Valor medio mañana: 1200 ppm	
Valor medio tarde: 900 ppm	
Valor máximo: 2000 ppm	
Valor base: 450 ppm	
<u>TEMPERATURA</u>	Aula de Planta Baja, calle
Aula en Planta Baja, calle	En confort (Si): 50 %
Temperatura de confort de “día tipo” (18 a 24°C):	Tienen frío (Si): 10 %
18 a 20 °C. En confort	Tienen calor (Si): 40 %
Aula en Planta Baja, patio	Aula de Planta baja, patio
Temperatura de confort de “día tipo” (18 a 24°C):	En confort (Si): 50 %
16 a 18 °C. Algunos momentos en confort	Tienen frío (Si): 50 %
	Tienen calor (Si): 0 %
<u>SONIDO</u>	Aula de Planta Baja, calle
	Ruidos molestos (SI): 100 %
	El sonido de las voces complica la actividad: 96%
	Sonido en aula se percibe correctamente: 62%
	Aula de Planta Baja, patio
	Ruidos molestos (SI): 100%
	El sonido de las voces complica la actividad: 80%
	Sonido en aula se percibe correctamente: 56 %

Respecto a los niveles de dióxido de carbono en la escuela suburbana, ambas aulas presentan valores medios entre 800 y 900 ppm. Sin embargo, a pesar de que el aula está 100% ventilada, se alcanzan valores máximos que superan los establecidos por norma (entre 1800 y 2500 ppm). Respecto a la temperatura, en ambos casos, los estudiantes están abrigados dentro del aula, lo que implica que solventan la necesidad térmica con grado de aislamiento con vestimenta (clo). Las temperaturas se perciben en confort en el aula que registra mayores temperaturas y se percibe frío en las de menores

temperaturas. En el aula de planta baja al patio, orientada al suroeste, la mitad de los estudiantes perciben frío. Respecto al sonido, el 100% de los estudiantes perciben ruidos molestos y mayoritario discomfort respecto a la molestia de las voces. El sonido en las aulas, es una de las dimensiones más críticas, teniendo una relación directa con la ventilación en relación a la apertura de ventanas hacia el exterior (calle, patio) o reverberación interna (de pasillo).

Como se pudo observar del análisis de factores objetivos y subjetivos, la ventilación no logra resolver la disminución de dióxido de carbono, y principalmente aumenta los problemas de discomfort. Se asocian también problemas de discomfort visual a la ventilación que no han sido abordados en este trabajo. Las condiciones urbanas o suburbanas no han mostrado diferencias sustanciales en estos estudios.

CONCLUSIONES

El artículo presentó los avances de un proyecto de investigación desarrollado en el marco de la articulación entre organismos de gestión educacional y grupos de investigación del sector científico del CONICET, la CIC y la UNLP. Se abordó la evaluación y el diagnóstico de dos establecimientos escolares de distinta localización (urbana, suburbana) y tipología arquitectónica, mediante mediciones “in situ” (audit- diagnóstico), la concentración de CO₂ como parámetro de referencia, localizados en la ciudad de La Plata, provincia de Buenos Aires, con diferentes grados de renovación de aire para ser tenidos en cuenta en los protocolos COVID-19. Así como los parámetros ambientales a partir de auditoría “objetiva” y factores de confort del usuario a partir de auditoría “subjetiva”.

Los resultados objetivos respecto a las concentraciones de dióxido de carbono en ambas escuelas no mostraron diferencias considerables, sino que fueron similares, por encima de los niveles aconsejados según normativa adoptada. Asimismo, se pudo comprobar que la ventilación natural practicada en las escuelas, no fue suficiente para reducir dichas concentraciones durante el período frío. Quedó demostrado que dicha ventilación provocó problemas de discomfort térmico y auditivo, abordados en este trabajo. No se ha verificado relación entre las emisiones de CO₂ proveniente del espacio exterior fundamentalmente debidas al tránsito vehicular y la concentración interior.

Finalmente se pudo verificar que los alumnos no registraron la ventilación como un problema en cuanto al confort térmico, ya que no fue sobresaliente la percepción de frío a nivel general. Pero sí percibieron ruidos molestos y dificultades para desarrollar sus actividades normalmente, temas asociados a mantener las ventanas y puertas abiertas durante las clases. Esto también ocasionó problemas de salud en los docentes en relación a los esfuerzos vocales.

Como conclusión final, es posible afirmar que el problema de la ventilación natural en aulas, debe ser abordado en forma integral, considerando todos los aspectos que afectan al confort de los estudiantes, ya sea térmico, visual, auditivo. Por otro lado, la ventilación natural en las condiciones actuales no asegura la correcta desconcentración de partículas de CO₂, con lo cual deben abordarse otro tipo de sistemas que incorporen la ventilación forzada y si es posible, programada.

En futuros trabajos se abordarán otros aspectos que hacen al confort de los estudiantes en relación a la ventilación.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a los distintos organismos que han hecho posible mediante apoyo y financiamiento la realización de este proyecto.

REFERENCIAS

ANSI/ASHRAE Standard 62.1 (2022). Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality. https://www.techstreet.com/ashrae/standards/ashrae-62-1-2022?product_id=2501063
Bos, M. Minoja, L. Dalaison W. (2020). Estrategias de reapertura de escuelas durante Covid-19. BID

<https://publications.iadb.org/es/publications/spanish/document/Estrategias-de-reapertura-de-escuelas-durante-COVID-19.pdf>

- Buonanno, G. Morawska, L. Stabile L. (2020). Quantitative assessment of the risk of airborne transmission of SARS-CoV-2 infection: Prospective and retrospective applications. *Environment International*, 145, 106112.
- Consejo Federal de Educación (2021). Ministerio de Salud, Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, Ministerio de Educación. Guía para las instituciones educativas. Condiciones y recomendaciones para habitar la escuela. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2021/08/guia_para_instituciones_educativas_covid19.pdf
- Hyde Z., Berger D., Miller A. (2021), Australia must act to prevent airborne transmission of SARS-CoV-2, *Medical Journal of Australia*, 10.5694/mja2.51131, 215, 1(7-9.e1).
- Morawska, L. Allen, J. Bahnfleth, W. Bluyssen, Ph. Boerstra, A. Buonanno G. et. al (2021). A paradigm shift to combat indoor respiratory infection. *Science* 372, 689-691.
- Prather, K. A. Wang, C. C. Schooley, R. T. (2020). Reducing transmission of SARS-CoV-2. *Science*, 368, 1422–1424.
- Raj A., Velraj, R. Fariborz H. (2020). The contribution of dry indoor built environment on the spread of Coronavirus: Data from various Indian states. *Sustainable Cities Soc.* 62, 102371.
- Roberts, M. Hu, J. Azevedo, G. Milner D. (2021). The role of built and social environmental factors in Covid-19 transmission. 102580.
- Rudnick, S. N. Milton, D. K. (2003). Risk of indoor airborne infection transmission estimated from carbon dioxide concentration. *Indoor Air.* 13, 237–245.
- San Juan, G. Hoses, S. Martini I. (2014). Aprendizajes en las escuelas del siglo XXI: nota 5. Auditoría ambiental y condiciones de confort en establecimientos escolares. BID.

CONCENTRATION OF CARBON DIOXIDE IN SCHOOL CLASSROOMS, IN THE CITY OF LA PLATA, BUENOS AIRES, IN FACE OF THE COVID-19 PANDEMIC SITUATION

ABSTRACT: The COVID-19 Pandemic highlighted the need to review ventilation in the design of classrooms in schools in Argentina. Research projects arose to evaluate the ventilation conditions of schools, associating educational management organizations with the scientific field in Buenos Aires province. The purpose was to prevent the spread of contagious diseases transmitted by the respiratory route by regulating the concentration levels of carbon dioxide. This work aims to describe a research project and the first results of the evaluation of the environmental conditions of primary school classrooms in the city of La Plata, Buenos Aires, Argentina. The methodology involves the evaluation and diagnosis of the CO₂ concentration as a reference parameter of four “typical” school classrooms through “in situ” measurements (environmental audit), as well as the environmental parameters (temperature, humidity, sound) based on an "objective" and user comfort factors based on a "subjective" audit. The results show high levels of carbon dioxide concentration, hearing discomfort and low interior temperatures, despite the ventilation.

Keywords: Ventilation in school classrooms, thermal and auditory comfort, objective and subjective analysis.