

**ÁREA DE CLIMA Y CONFORT, DEPARTAMENTO DE AMBIENTE
CONSTRUIDO, INSTITUTO DE TECNOLOGÍAS,**

Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo,
Universidad de la República.

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL, INSTITUTO DE
MECÁNICA DE LOS FLUIDOS E INGENIERÍA AMBIENTAL,**

Facultad de Ingeniería,
Universidad de la República.

**GRUPO DE MECÁNICA DE LOS FLUIDOS COMPUTACIONAL,
INSTITUTO DE MECÁNICA DE LOS FLUIDOS E INGENIERÍA
AMBIENTAL,**

Facultad de Ingeniería,
Universidad de la República.

Informe-guía de ventilación en la Escuela

PROYECTO DE EXTENSIÓN: COVID-19 Y VENTILACIÓN EN ESCUELAS

LLAMADO A PROYECTOS DE EXTENSIÓN 2021 DE FACULTAD DE INGENIERÍA,
UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

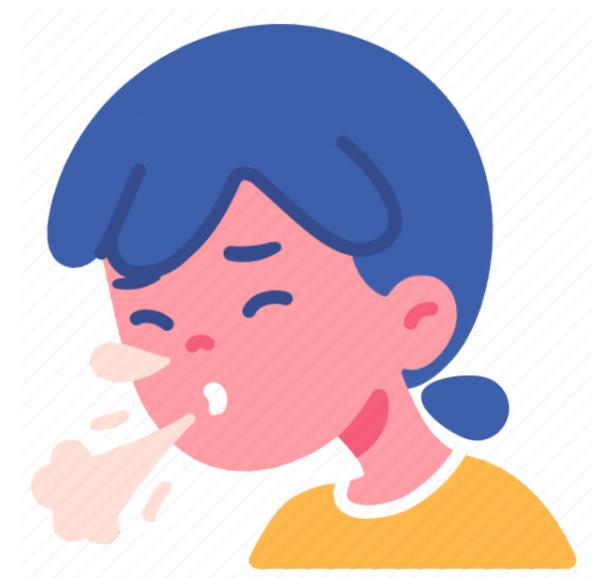
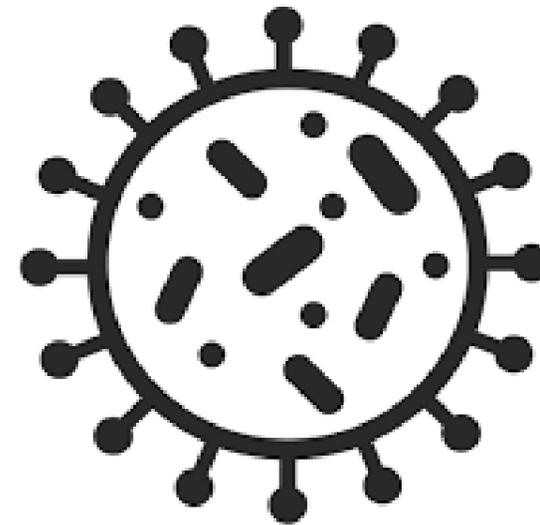
¿Por qué es importante ventilar el salón?

SEGÚN EL DICCIONARIO DE LA REAL ACADEMIA ESPAÑOLA, VENTILAR ES “RENOVAR EL AIRE ENRARECIDO DE UNA PIEZA”.

Ventilar es la acción por la cual entra aire “limpio” al interior de los ambientes cerrados.

Las personas necesitan de ese aire “limpio” para cumplir una de sus funciones básicas, la respiración. La respiración es un proceso metabólico que consiste en la utilización de oxígeno (O₂) que se encuentra en el aire para la obtención de energía celular. Dicho proceso produce dióxido de carbono (CO₂) como sustancia de desecho. El aire que entra al salón cuando abrimos las ventanas tiene mayor nivel de oxígeno -que necesitamos para respirar- y reduce la concentración de CO₂, de vapor de agua y otros contaminantes que se encuentran en el aire interior.

Como pasamos más del 90% de nuestro tiempo en ambientes cerrados (Cincinelli & Martellini 2017) es importante ventilar los espacios para cuidar nuestra salud.

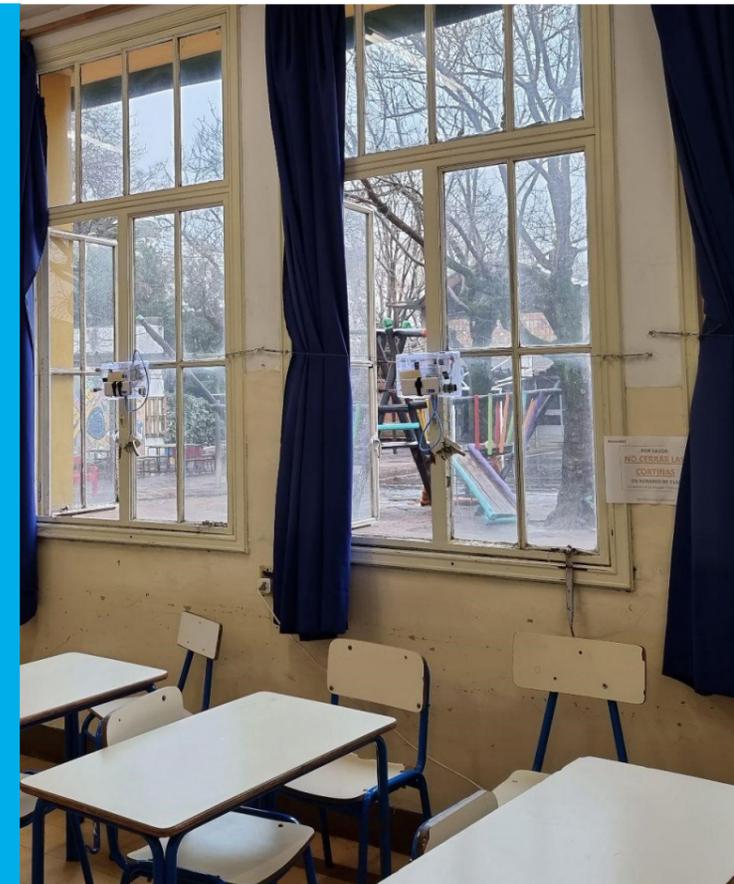


Contenido

- ¿Por qué es importante ventilar? 2
- ¿Cómo se vincula con las enfermedades? ... 3
- ¿Cómo se relaciona con el COVID-19? 4
- Ventilación..... 5
- Ventilación en invierno 8
- Ventilación en verano..... 9
- Ventilación natural..... 10
- Conclusiones y recomendaciones..... 20

¿Cómo se vincula con las enfermedades?

El aire de baja calidad puede afectar el estado de ánimo, el rendimiento y la salud, favoreciendo la ocurrencia de malestares y enfermedades. Por ejemplo, una mala ventilación puede generar estrés térmico, que se refiere a la sensación de malestar generada por permanecer en un ambiente donde la temperatura es elevada. Además, en las aulas con bajas tasas de ventilación es mayor el riesgo de contraer enfermedades respiratorias, así como otras enfermedades y malestares como alergias, dolor de cabeza o irritación de ojos (Daisey et al. 2003).



¿Cómo se relaciona con el COVID-19?

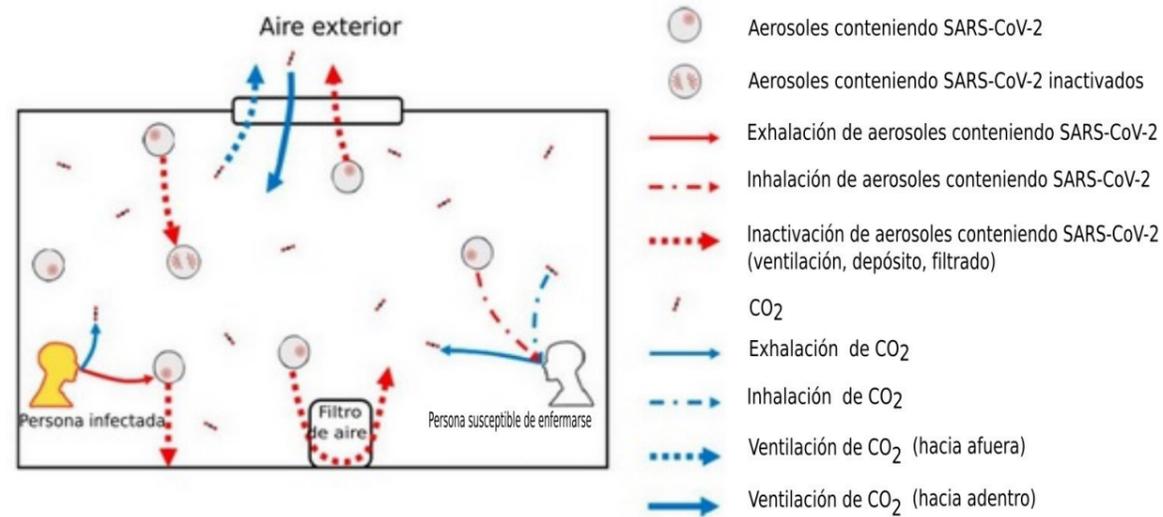


FIGURA 1. ESQUEMA DE EXHALACIÓN, INHALACIÓN Y OTROS PROCESOS ASOCIADOS DE AEROSOLES QUE CONTIENEN SARS-COV-2, JUNTO A ESQUEMA DE INHALACIÓN, EXHALACIÓN Y OTRAS FUENTES Y SUMIDEROS DE CO₂. TOMADO Y TRADUCIDO DE: PENG & JIMÉNEZ (2021).

Además del CO₂ exhalado al respirar, una persona al hablar, cantar, gritar, toser o estornudar emite pequeñas partículas de diverso tamaño, algunas de las cuales pueden llegar a quedar suspendidas en el aire por tiempos prolongados. A esta suspensión de partículas líquidas o sólidas en el aire se le denomina aerosol. Una adecuada ventilación reduce el riesgo de contagio, pues disminuye la concentración de aerosoles potencialmente infecciosos de esta enfermedad (aerosoles que contienen al virus SARS-CoV-2). De esta manera, se puede conseguir que disminuya mucho la cantidad de aerosoles que inhalamos cuando permanecemos en una habitación.

Ventilación

¿Cuándo hay que ventilar?

Es recomendable ventilar cada poco tiempo, todos los días, aunque sea abriendo una rendija. Las niñas, niños, docentes al respirar liberan CO₂ y eventualmente otros contaminantes. Asimismo, pequeñas partículas pueden desprenderse de objetos presentes en el ambiente, por ejemplo, de las pinturas de las paredes. Todo esto produce que el aire disminuya su calidad. Es por esto que es recomendable ventilar de 5 a 10 minutos, al menos cada 30 minutos aproximadamente abriendo la puerta o banderola y las ventanas de paredes opuestas. La configuración a utilizar dependerá de las condiciones ambientales y de las ventanas y puertas disponibles en el salón. En caso de no contar con aberturas en paredes opuestas el tiempo de ventilación debería ser mayor. No hace falta que

se abran completamente, pero sí que sea capaz de permitir el ingreso de aire exterior de tal forma de renovar el aire presente en el salón.

¿Cómo se mueve el aire en nuestro salón?

¿Y cuánto aire se mueve?

En los salones de la escuela la ventilación es natural y se produce por la presión de viento en las ventanas, lo que significa que el aire limpio ingresa fundamentalmente por las corrientes de aire producidas al abrir las ventanas del salón. Las ventanas se encuentran todas en una misma fachada. Por otro lado, en la pared opuesta se encuentra la puerta al pasillo y en algunos salones una banderola que da también al pasillo. Se entiende por ventilación cruzada estricta a aquella que se genera por diferencia de presión dinámica, a través del viento, en ventanas ubicadas en paredes distintas.



Figura 2. Sección del edificio principal de la escuela que da al patio.

Ventilación



Para que exista ventilación cruzada se deben presentar aberturas en diferentes paredes expuestas al viento. Esto determina diferencias de presión por la incidencia del viento. La ventilación cruzada es eficiente si la profundidad del local es hasta cinco veces su altura. La ventilación unilateral se refiere a aquella que se da a partir de una abertura o conjunto de aberturas en una misma pared. La ventilación unilateral es eficiente si la profundidad del local es hasta dos veces su altura.

En la mayoría de los salones de la escuela, cuando se abren ventanas y banderola o puerta del salón la ventilación es más eficiente que cuando se abren solo las ventanas, desde el punto de vista de la tasa de ventilación y del movimiento del aire. En este documento se denomina ventilación cruzada a esta configuración, a pesar de que estrictamente no lo sea, ya que la puerta y banderola dan a un espacio intermedio (pasillo) y no a un espacio exterior.

Ventilación



Figura 3. Esquemas del patrón de flujo de aire dentro del salón para diferentes configuraciones de apertura con ventilación unilateral.

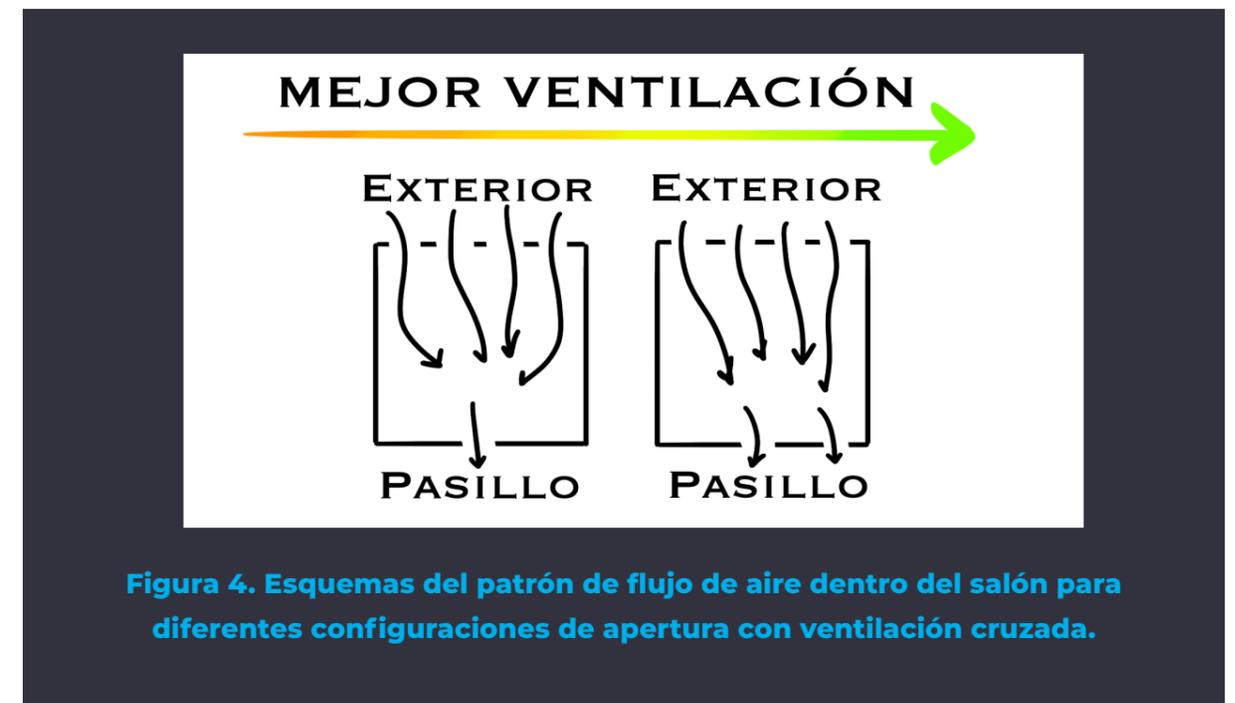
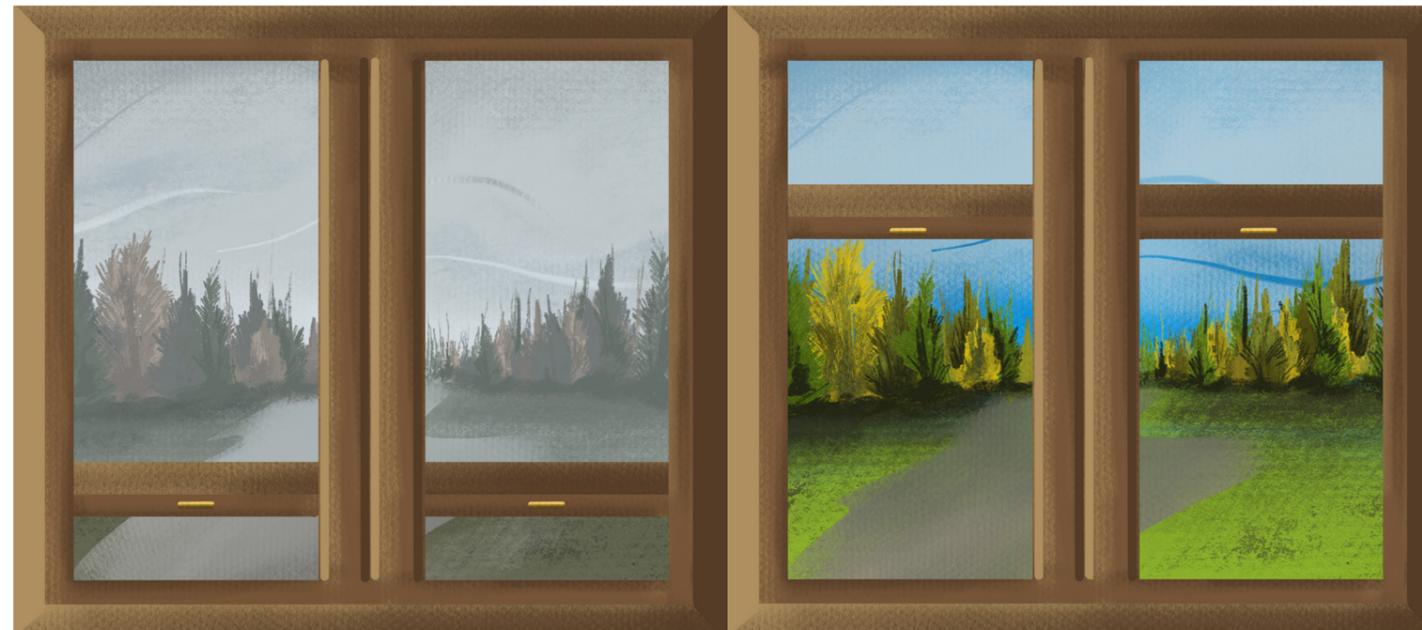


Figura 4. Esquemas del patrón de flujo de aire dentro del salón para diferentes configuraciones de apertura con ventilación cruzada.

Ventilación en invierno

¿Cuál es el objetivo de ventilar en invierno?

El objetivo de la ventilación en invierno es mejorar la calidad del aire interior. Es decir, permitir que ingrese aire limpio y retirar del salón el aire contaminado. Debemos hacerlo sin afectar nuestro confort térmico, o sea, hay que ventilar el salón, pero sin que llegemos a sentir frío. Por eso, en esta época del año debemos tener muy presente la importancia que tiene ventilar los espacios: como hace frío nos va a costar abrir las ventanas para que entre aire "limpio".



¿Cómo se recomienda ventilar el salón en invierno?

La recomendación es abrir las ventanas y puerta o banderola en pared opuesta al menos cada media hora por 5 a 10 minutos, aunque sea una rendija. Sería deseable contar con ventanas que fueran altas para que las niñas y los niños que están próximos a las ventanas no sientan las corrientes de aire.

Ventilación en verano

¿Cuál es el objetivo de ventilar en verano?

Además de mejorar la calidad del aire interior como en el invierno, el objetivo de la ventilación es principalmente de confort o bienestar térmico de las personas. La ventilación permite que las niñas y niños se refresquen siempre que la temperatura del aire exterior sea menor a 30°C. Por otra parte, la velocidad del aire no puede exceder 1,5 m/s porque se podrían volar las hojas de los cuadernos y resultar incómodo para trabajar.

¿Cómo se recomienda ventilar el salón en verano?

La ventilación en verano debe ser percibida por las personas. Las corrientes de aire deben pasar a la altura de los usuarios del salón. En esta escuela, las ventanas del salón se pueden abrir un 100%, y están a la altura mencionada, por lo que se puede cumplir con esta recomendación. Asimismo, mantener las ventanas abiertas junto a la puerta o banderola abiertas favorece la ventilación.

Ventilación natural

¿Cómo debería ser el diseño de la ventilación natural?

Para diseñar la ventilación, se la debe analizar cuantitativamente y cualitativamente, es decir debemos conocer cuánto aire hay y cómo se mueve en el local.

Desde el punto de vista cuantitativo, se debe evaluar si el aire renovado que entra en el local es suficiente para mantener las condiciones de calidad del aire del salón. Pero además se analiza si el flujo de aire es percibido o no por los ocupantes. En el período caluroso esto es fundamental, ya que el movimiento del aire debe darse a nivel de los usuarios. Por otra parte, en el período frío el flujo de aire no debe ser percibido para que las personas puedan abrir las ventanas y no sientan discomfort por el frío. Por este motivo el diseño de las aberturas es fundamental para que las personas puedan abrir las ventanas atendiendo a las necesidades de confort térmico de los diferentes periodos del año.

Los sistemas de ventilación natural presentan algunas ventajas e inconvenientes. Respecto a estos últimos, la ventilación natural es variable y depende de las condiciones climáticas exteriores con respecto al ambiente interior. Las dos "fuerzas" que generan el flujo de aire (es decir, el viento y la diferencia de temperatura) están sujetas a variaciones. La ventilación natural puede ser difícil de controlar, puede haber

flujos de aire excesivos e incómodos en algunos puntos y en otros, zonas de aire estancado. Además, la tasa de renovación de aire puede ser baja cuando las condiciones climáticas son desfavorables. A pesar de esto se deben abrir la puerta y/o banderola y las ventanas de la pared opuesta del salón al menos cada 30 minutos durante 5 a 10 minutos todos los días. En la época fría con una rendija podría ser suficiente para que la calidad del aire interior mejore, pero no se pierda tanto calor. En verano, siempre que la temperatura exterior no exceda los 30 °C, se deberían abrir las ventanas del salón, de modo de aumentar el bienestar térmico interior y favorecer la renovación del aire interior.

Ventilación natural

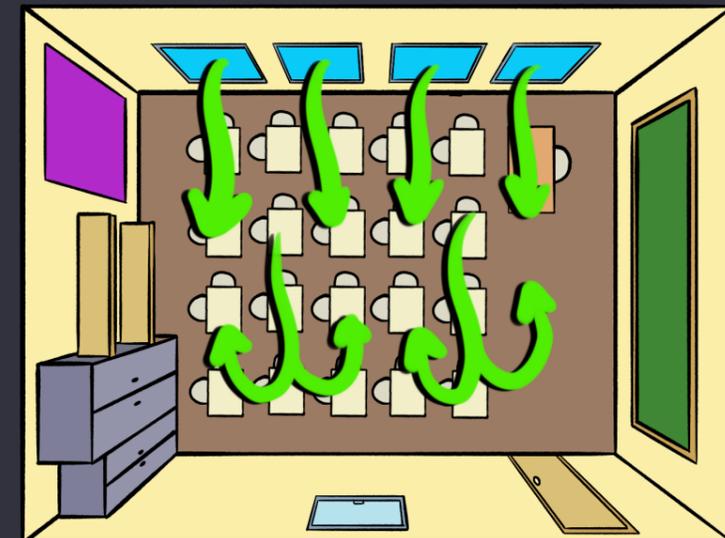


Figura 5. Esquema de patrón de flujo de ventilación natural con ventanas abiertas, banderola y puerta cerradas en el salón.

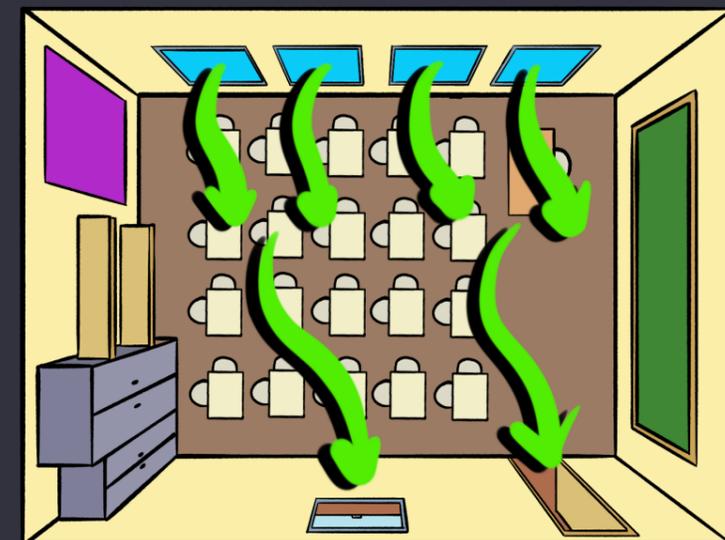


Figura 6. Esquema de patrón de flujo de ventilación natural con ventanas abiertas, banderola y puerta abiertas en el salón.

Ventilación natural

Algunas verificaciones para evaluar la ventilación natural.

¿Qué nivel de ventilación es el recomendable para el salón?

El caudal se define como la cantidad de fluido que circula a través de una sección por unidad de tiempo. Esta definición es válida para cualquier tipo de fluido, si bien el fluido que usamos en la ventilación es el aire. En general se expresa como m^3/h o litros/s. Al referirse al nivel de ventilación de un ambiente se presenta como renovaciones por hora (RpH), es decir cuántas veces en una hora el aire interior de todo el volumen del ambiente es sustituido por aire

exterior.

En el marco de la pandemia por COVID-19 se han presentado diversos valores de referencia respecto a la ventilación deseada de un ambiente. A modo de ejemplo, Harvard Healthy Building Program plantea como ideal un nivel de ventilación de 6 RpH o superior, calificando como excelente un ambiente con 5 a 6 RpH (Allen et al. 2020). La Organización Mundial de la Salud (OMS 2021) en su mapa de ruta para mejorar la ventilación específica un nivel de 10 litros/s/persona.

¿QUÉ SE MIDIÓ EN LA ESCUELA?

EN LOS SALONES SE HA MEDIDO LA TEMPERATURA DEL AIRE, SU VELOCIDAD Y LA CONCENTRACIÓN DE CO_2 Y DE MATERIAL PARTICULADO. ADEMÁS, EN LA ESCUELA SE HA MEDIDO LA VELOCIDAD Y DIRECCIÓN DEL VIENTO, ASÍ COMO TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA EN EL EXTERIOR A PARTIR DE UNA ESTACIÓN METEOROLÓGICA INSTALADA EN LA AZOTEA.

¿Por qué se mide la concentración de CO_2 ?

Al respirar las personas emiten CO_2 . Por lo tanto, la concentración de este gas puede ser un indicador de en qué medida el aire de un ambiente ya “ha sido respirado” por otras personas. Esto a su vez, puede ser indicativo del riesgo que implican ciertos contaminantes dispersos en el aire.

Por otra parte, dado que el aire exterior tiene menos CO_2 que el aire exhalado al respirar, la concentración de CO_2 permite estimar la tasa de ventilación. Si se mantiene la cantidad de personas en un salón, cuanto menos CO_2 haya mayor será la tasa de ventilación. Si se ventila con aire limpio, también bajará la concentración de contaminantes.

Ventilación natural

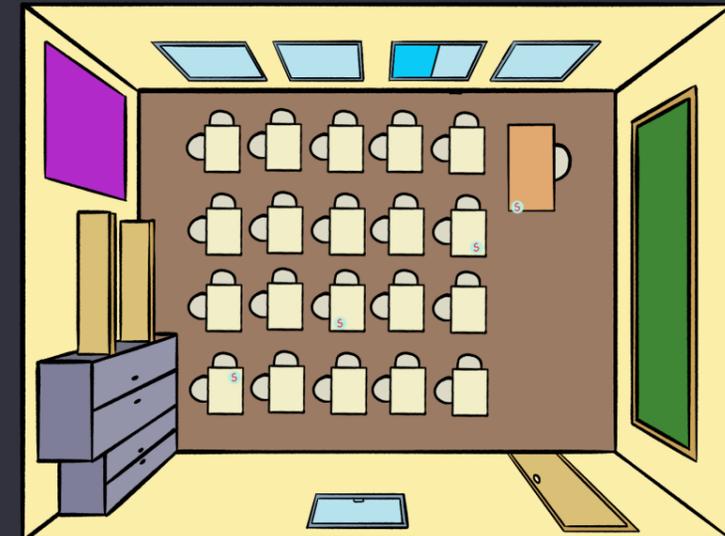


Figura 7. Prueba controlada con ventilación unilateral (apertura de una hoja de una ventana). La ubicación de los sensores se marca con un círculo celeste y la letra “S” en rojo.

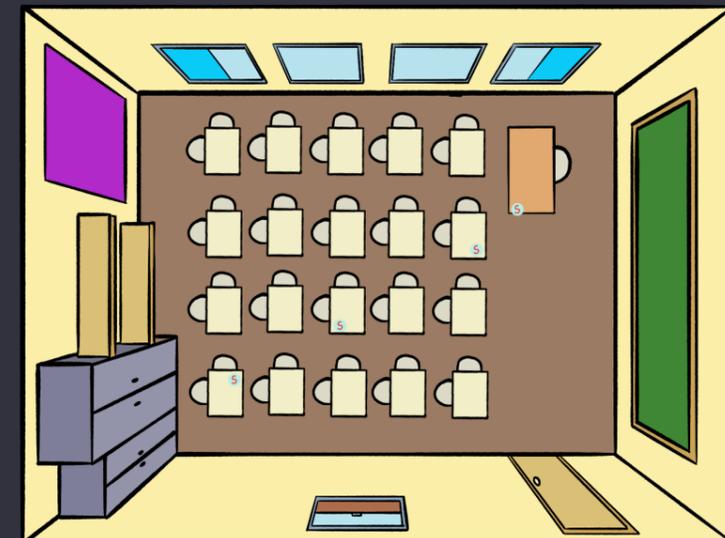
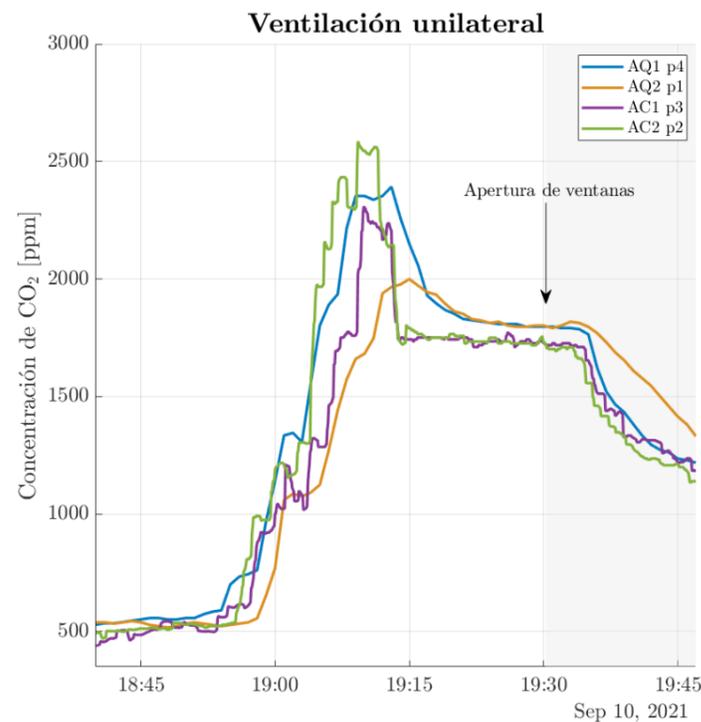


Figura 8. Prueba controlada con ventilación cruzada (apertura de una hoja de la ventana del fondo, una hoja de la ventana del frente y la banderola). Sensores se marcados con un círculo celeste y la letra “S” en rojo.

Ventilación natural

FIGURA 9. EVOLUCIÓN EN EL TIEMPO DE LA CONCENTRACIÓN DE CO₂ EN EL SALÓN 2 DURANTE UN EVENTO DE VENTILACIÓN UNILATERAL. PRUEBA CONTROLADA. SE DETALLA EN GRIS EL PERIODO CON APERTURA DE VENTANAS.



¿Qué resultados de CO₂ se obtuvieron? ¿Cómo es el nivel de ventilación en la escuela?

Se midió la concentración de CO₂ en dos tipos de instancias diferentes. Por un lado se tomaron medidas durante el tiempo de clase fundamentalmente en el salón 2 y en menos instancias en otros salones, para analizar el funcionamiento real de la escuela, y por otro lado se llevaron a cabo pruebas controladas en el salón 2 para entender mejor los resultados.

Las pruebas controladas consistieron en subir artificialmente la concentración de CO₂ en el salón y probar distintas configuraciones de las aberturas (ventanas, banderola y puerta). Analizando cómo

bajan los niveles de CO₂ al ventilar se puede estimar la tasa de ventilación. Al ser pruebas cortas y tener registros de la configuración de las aberturas se puede asociar una tasa de ventilación a dichas configuraciones.

Las figuras 9 y 10 muestran los resultados de subida y bajada de CO₂ para dos pruebas, una con ventilación unilateral (apertura de una hoja de una ventana) y otra con ventilación cruzada (apertura de una hoja de la ventana del fondo, una hoja de la ventana del frente y la banderola), midiendo la concentración de CO₂ en cuatro puntos dentro del salón. Cada curva representa la medida de un punto diferente.

Ventilación natural

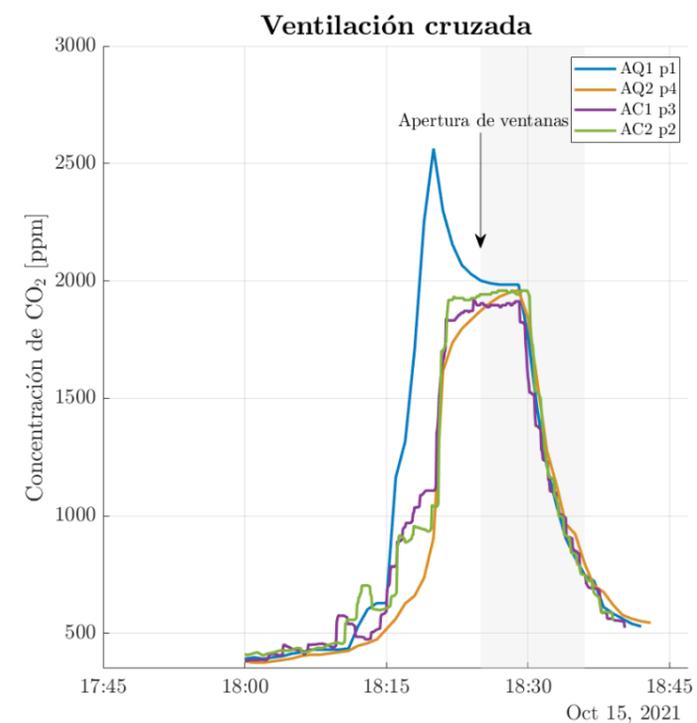


FIGURA 10. EVOLUCIÓN EN EL TIEMPO DE LA CONCENTRACIÓN DE CO₂ EN EL SALÓN 2 DURANTE UN EVENTO DE VENTILACIÓN CRUZADA. PRUEBA CONTROLADA. SE DETALLA EN GRIS EL PERIODO CON APERTURA DE VENTANAS.

En términos cualitativos, lo importante es notar que la velocidad de decrecimiento en la porción final de las curvas, una vez abiertas las aberturas correspondientes, es mucho mayor en el caso de la ventilación cruzada. Esto se debe principalmente a que la tasa de ventilación es mayor. En particular, para los experimentos mostrados se obtuvieron resultados de aproximadamente 3 renovaciones por hora (RpH) para ventilación unilateral y 16 RpH para ventilación cruzada. En función de las mediciones de velocidad del aire realizadas con la estación meteorológica, al abrir todas las ventanas se obtiene una tasa de ventilación teórica de 2 RpH, consistente con los resultados de las pruebas realizadas, en cambio si abrimos las ventanas y la banderola,

este caudal mejora y es de más del doble.

Los resultados obtenidos fueron concluyentes en cuanto a que la ventilación cruzada es mucho más efectiva que la ventilación unilateral. En el salón 2, abrir alguna ventana hacia el patio y alguna abertura hacia el pasillo genera tasas de ventilación mucho mayores que abrir sólo la banderola hacia el pasillo (10 veces mayor) o sólo ventanas hacia el patio (entre 3 y 5 veces mayor).

Ventilación natural

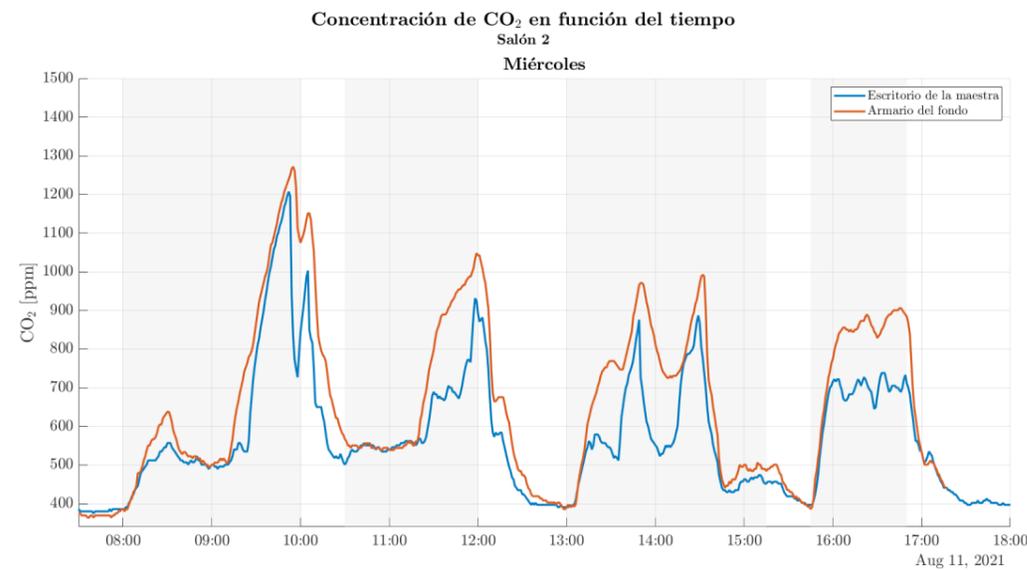


FIGURA 11. EVOLUCIÓN EN EL TIEMPO DE LA CONCENTRACIÓN DE CO₂ EN EL SALÓN 2 DURANTE EL 11/08/2021 MEDIDA POR EQUIPO UBICADO AL FONDO SOBRE ARMARIO Y POR EQUIPO UBICADO AL FRENTE EN ESCRITORIO DE LA MAESTRA. EN GRIS SE MARCAN LOS PERÍODOS DE OCUPACIÓN DEL SALÓN. TURNOS MATUTINO Y VESPERTINO.

Por otra parte, los registros diarios de CO₂ mostraron el comportamiento cualitativo esperado. El CO₂ crece con la ocupación y decrece durante los recreos y al final de los turnos. Durante la ocupación presenta oscilaciones que pueden deberse a cambios menores de ocupación (por ejemplo, salidas de estudiantes al baño) o a cambios en la tasa de ventilación. Esto último puede estar asociado al cierre o a la apertura de ventanas o a cambios en las condiciones meteorológicas exteriores.

Los valores absolutos de CO₂ registrados en el salón 2 son moderados y en general no superaron las 1000 ppm, aunque se observaron algunos días atípicos con concentraciones en el entorno de 1500 ppm. Si bien existe normativa que estipula ciertos umbrales recomendados de CO₂, es más importante desde el punto de vista sanitario estudiar los valores asociados de tasa de ventilación y de riesgo de contagio estimados a partir de la concentración de CO₂.

Las figuras 11, 12 y 13 muestran la concentración de CO₂ para los días miércoles 11 de agosto, jueves 2 de setiembre y martes 5 de octubre en el salón 2, para ambos turnos. Se puede observar el comportamiento anteriormente descrito, con crecimientos y decrecimientos pronunciados al comenzar y terminar las horas de ocupación, respectivamente.

Ventilación natural

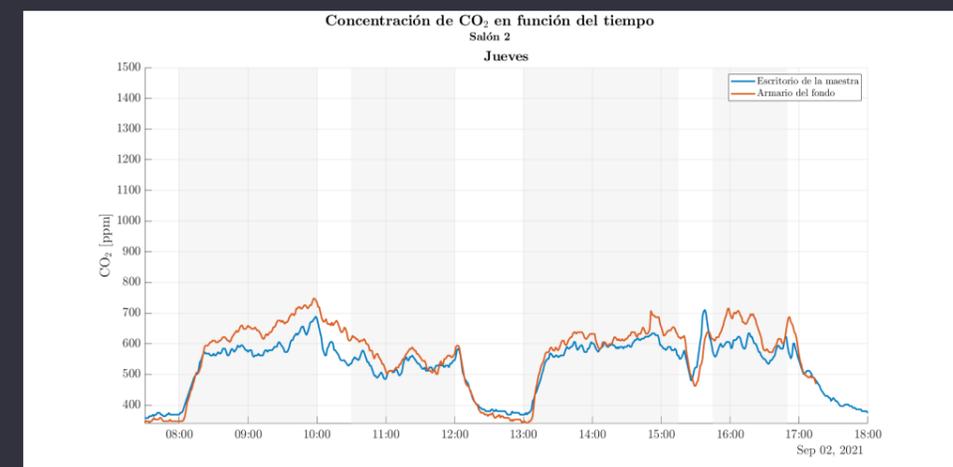


Figura 12. Evolución en el tiempo de la concentración de CO₂ en el salón 2 durante el 02/09/2021 medida por equipo ubicado al fondo sobre armario y por equipo ubicado al frente en escritorio de la maestra. En gris se marcan los períodos de ocupación del salón. Turnos matutino y vespertino.

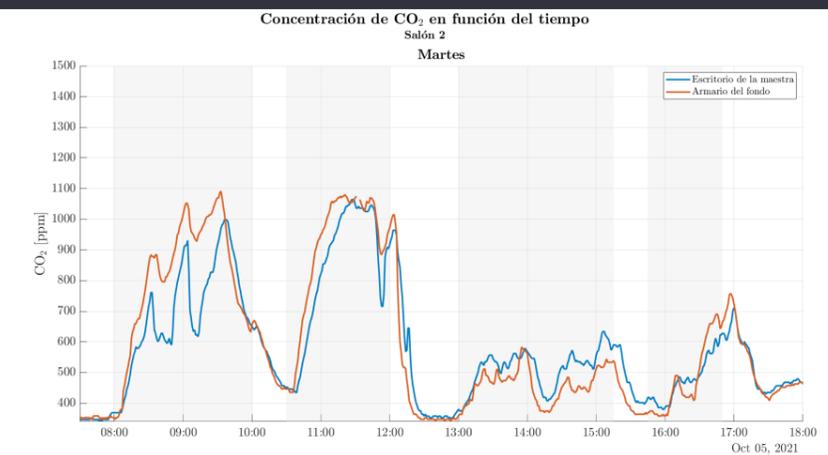


Figura 13. Evolución en el tiempo de la concentración de CO₂ en el salón 2 durante el 05/10/2021 medida por equipo ubicado al fondo sobre armario y por equipo ubicado al frente en escritorio de la maestra. En gris se marcan los períodos de ocupación del salón. Turnos matutino y vespertino.

Ventilación natural

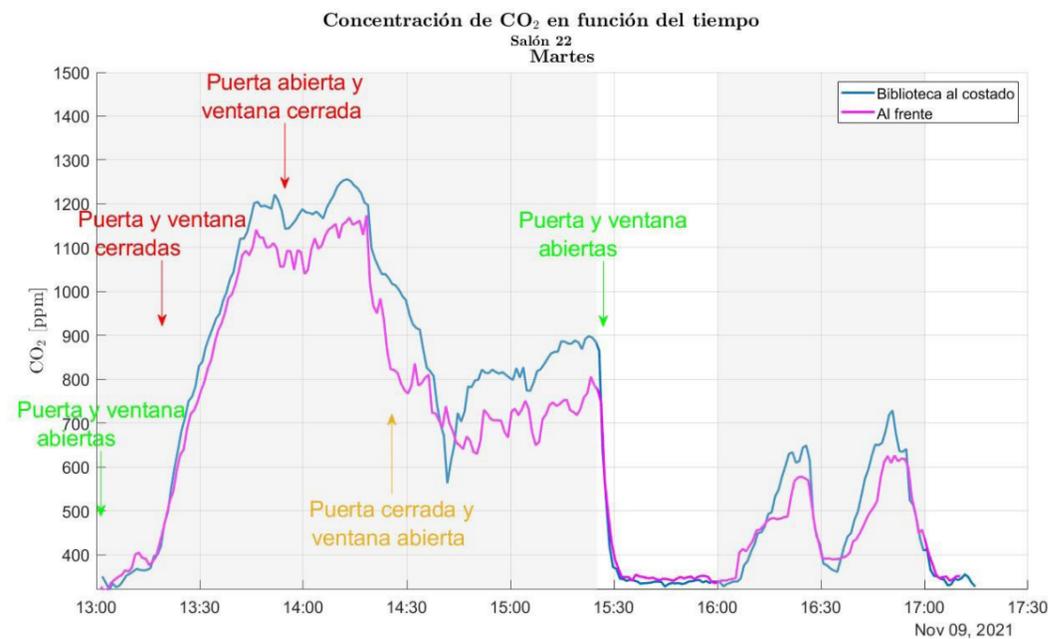


FIGURA 14. EVOLUCIÓN EN EL TIEMPO DE LA CONCENTRACIÓN DE CO₂ EN EL SALÓN 22 DURANTE EL 09/11/2021 MEDIDA POR EQUIPO UBICADO CASI AL FONDO SOBRE BIBLIOTECA Y POR EQUIPO UBICADO AL FRENTE A ALTURA DE LAS MESAS DEBAJO DEL PIZARRÓN. EN GRIS SE MARCAN LOS PERÍODOS DE OCUPACIÓN DEL SALÓN. TURNO VESPERTINO.

La tasa de ventilación estimada a partir de las mediciones diarias en el salón 2 comprendió un rango de valores muy amplio, entre valores cercanos a 0 RpH y más de 10 RpH. Sin embargo, se observó que en términos medios la tasa de ventilación diaria fue más bien baja, de entre 1 y 2 RpH. Esto significa que los eventos con alta tasa de ventilación fueron acotados en el tiempo. Probablemente se deba a que la apertura de ventanas hacia el patio se dé por períodos cortos de tiempo, lo cual es esperable en invierno. Si bien se recomienda mantener una tasa de ventilación superior, del orden de 6 RpH, la apertura de ventanas y puerta con cierta frecuencia puede llevar a mejoras relevantes en la calidad del aire interior y a reducciones importantes del riesgo de contagio en el marco de la pandemia.

Ventilación natural

Los resultados de estimación de tasa de ventilación muestran que la apertura de ventanas permite alcanzar tasas de ventilación muy altas, lo cual es deseable desde el punto de vista sanitario. Esto permite satisfacer las recomendaciones de ventilación dadas en el contexto de la pandemia de COVID-19. En particular la Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda un caudal de ventilación de 10 l/s por persona (OMS 2021), que en el salón 2 se traduce en una tasa de ventilación de poco menos de 6,5 RpH. No obstante, lo anterior, en invierno se observaron con menos frecuencia eventos con valores altos de ventilación.

Si bien se realizaron mediciones en otros salones por períodos breves, se obtienen conclusiones similares en cuanto a la relevancia de ventilar mediante la apertura de ventana(s) y puerta en paredes opuestas. A modo de ejemplo, en la siguiente figura se presenta la evolución en el tiempo de la concentración de CO₂ medida en el salón 22 durante el turno vespertino del martes 9 de noviembre. Se incluyen los registros relevados por estudiantes

y la maestra respecto a la operación de la ventana y puerta. Se observa como al cerrar todas las aberturas el CO₂ aumenta rápidamente, logrando detener el crecimiento al abrir la puerta, pero sin lograr una reducción importante.

Al abrir solo la ventana la concentración de CO₂ disminuye, pero se logran mayores reducciones cuando se abren la puerta y la ventana. Cabe destacar la rápida reducción del CO₂ en este último caso, consistente con las pruebas controladas realizadas.

Conclusiones y recomendaciones



La conclusión más importante del trabajo de campo en los salones de la escuela es que se verificó que existe una diferencia muy importante en la tasa de ventilación lograda por configuraciones de ventilación cruzada o unilateral. La ventilación cruzada logra tasas de ventilación significativamente mayores y en consecuencia una calidad de aire superior. Desde el punto de vista cualitativo, el diseño de las ventanas de los salones causa que cuando se abren las ventanas el flujo de aire pasa a la altura de los ocupantes (niños, maestras, etc). Esta situación es favorable en el período caluroso, ya que es deseable percibir el movimiento del aire y favorece la pérdida de energía por evapotranspiración. Para el período frío en cambio, puede generar sensación de discomfort ya que percibimos el ingreso

de aire a una temperatura más baja que la interior.

Por otra parte, se observó que la tasa de ventilación lograda por esquemas de ventilación cruzada puede ser excesiva desde el punto de vista del confort térmico invernal. En este sentido, mantener abierta alguna ventana hacia el exterior de forma permanente puede ser inviable. En este caso, se debe procurar mantener regímenes de ventilación periódicos. Establecer un régimen de ventilación cruzada (abrir las ventanas al exterior y la banderola al pasillo y/o la puerta) durante al menos 5 minutos cada media hora contribuye a reducir significativamente el riesgo de contagio de enfermedades por vía de aerosoles.

Referencias

Allen, J., Spengler, J., Jones, E., Cedeno-Laurent, J. (2020). 5-step guide to checking ventilation rates in classrooms. Harvard Healthy Buildings program. https://schools.forhealth.org/wp-content/uploads/sites/19/2021/01/Harvard-Healthy-Buildings-program-How-to-assess-classroom-ventilation-10-30-2020-EN_R1.8.pdf. Consultado el 25/11/2021.

Cincinelli, A., Martellini, T. (2017). Indoor Air Quality and Health. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 14, 1286.

Daisey, J. M., Angell, W. J., & Apte, M. G. (2003). Indoor air quality, ventilation and health symptoms in schools: an analysis of existing information. *Indoor air*, 13(LBNL-48287).

Organización Mundial de la Salud (OMS, 2021). Roadmap to improve and ensure good indoor ventilation in the context of COVID-19. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240021280>. Consultado el 25/11/2021.

Peng, Z., & Jimenez, J. L. (2021). Exhaled CO2 as a COVID-19 infection risk proxy for different indoor environments and activities. *Environmental Science & Technology Letters*, 8(5), 392-397.

