

INFORME TÉCNICO SOBRE PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES

VALORACIÓN DE CONDICIONES DE VENTILACIÓN EN LAS AULAS



Mérida, 21 de diciembre de 2020



Servicio de Salud y Riesgos Laborales
de Centros Educativos

Dirección General de Personal Docente

JUNTA DE EXTREMADURA
Consejería de Educación y Empleo

Índice

1.	OBJETO Y ALCANCE	3
2.	CONSIDERACIONES PREVIAS SOBRE CO ₂ , VENTILACIÓN Y PURIFICACIÓN.....	3
3.	CENTROS EDUCATIVOS DONDE SE HA LLEVADO A CABO EL ESTUDIO	4
4.	ESTRATEGIA DE MEDICIÓN Y MUESTREO	6
5.	EQUIPO DE MEDIDA	7
6.	RESULTADOS Y VALORACIÓN	7
7.	CONCLUSIONES	36
8.	MEDIDAS PREVENTIVAS	41
9.	REFERENCIAS	42

1. OBJETO Y ALCANCE

El objeto del presente informe es valorar si las pautas de ventilación propuestas en el protocolo preventivo de fecha 1 de septiembre de 2020, completadas mediante las aclaraciones emitidas con fecha 19 de octubre de 2020, permiten la dilución, hasta niveles no peligrosos, de una eventual concentración de bioaerosoles generada por la presencia de personas asintomáticas contagiadas de coronavirus.

Asimismo, se persigue definir, en caso de que los resultados así lo aconsejen, medidas preventivas complementarias o recomendaciones adicionales orientadas a conseguir un nivel de riesgo lo más bajo posible.

Conviene reseñar que la ventilación, aunque muy importante, es una más entre las medidas adoptadas (uso de mascarillas, control de síntomas, lavado frecuente de manos, mantenimiento de la máxima distancia posible, etc.) y que el riesgo de contagio cero no existe. Las medidas mencionadas reducen el riesgo, pero no lo eliminan completamente. El riesgo depende, además, entre otros factores, de la incidencia de casos en las localidades de residencia de los diferentes miembros de la comunidad educativa.

2. CONSIDERACIONES PREVIAS SOBRE CO₂, VENTILACIÓN Y PURIFICACIÓN

La ventilación se refiere a renovación de aire, es decir, sustitución del aire de una dependencia, potencialmente contaminado, por aire exterior, libre de virus. En cambio, la purificación del aire consiste en la eliminación de las partículas en suspensión, susceptibles de contener virus.



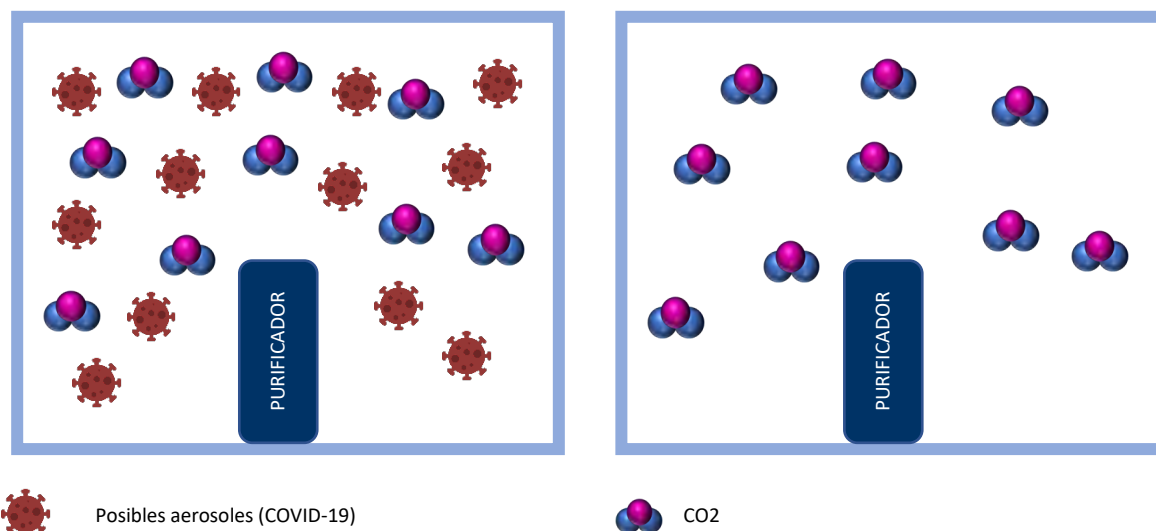
La buena ventilación suele asociarse con el nivel de dióxido de carbono (CO₂). Si el nivel se encuentra por debajo de los límites recomendados, quiere decir que existe buena ventilación.

La concentración de CO₂ en espacios interiores cerrados aumenta rápidamente en presencia de personas que exhalan CO₂ al respirar. La cantidad de CO₂ emitida por las personas depende de varios factores, entre los que se encuentran la edad y la actividad física desarrollada por los ocupantes. La renovación de aire con aire exterior “limpio” reduce las concentraciones de CO₂ en el interior.

El CO₂ no se degrada con el tiempo, mientras que el virus en aire sí, por lo que las concentraciones de virus en aire decrecerán más rápidamente que las de CO₂. La velocidad de degradación depende de varios factores ambientales, tales como radiación UV o temperatura.

Para referirse a la renovación de aire es usual utilizar las siglas ACH (Air Changes per Hour, renovaciones de aire por hora). Si decimos que un espacio tiene 1 ACH, esto quiere decir que, en una hora, entra en la dependencia un volumen de aire exterior igual al volumen de la sala, y, debido a la mezcla continua del aire, aproximadamente, el 63% del aire interior será reemplazado por aire del exterior. Con 2 renovaciones se reemplazará el 86% y con 3 renovaciones, el 95%.

Es importante resaltar que los purificadores de aire no actúan sobre el nivel de CO₂, aunque eliminan partículas en suspensión susceptibles de contener virus.



Izquierda, estancia donde se sitúa el purificador antes de su puesta en funcionamiento

Derecha, situación teórica tras un tiempo de funcionamiento si el purificador está correctamente dimensionado

El Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST), en su documento “Límites de exposición profesional de agentes químicos para España 2019”, establece que el VLA-ED (Valor Límite Ambiental-Exposición Diaria, o, lo que es lo mismo, el valor medio que no se puede superar para una exposición de 8 horas diarias y 40 horas semanales sin sufrir efectos adversos para su salud) del CO₂ en 5000 ppm.

Por otro lado, el CO₂ de VLA-EC (Valor Límite Ambiental-Exposición de Corta Duración), marcaría el valor máximo admisible en periodos cortos de tiempo. Para las sustancias que carecen de VLA-EC, se aplican como criterio los límites de desviación (LD). Se admiten valores, durante no más de un total de 30 minutos en una jornada de trabajo de 8 horas, superiores al valor 3xVLA-ED, no debiendo sobrepasar bajo ninguna circunstancia el valor 5xVLA-ED. En el caso concreto que nos ocupa, no sería peligroso superar, durante 30 minutos diarios una concentración de 15000 ppm, siempre que no se superaran, en ningún momento, las 25000 ppm.

Si se utiliza la concentración de CO₂ a modo de indicador de la calidad del aire, la concentración en estado estable a lograr para conseguir la dilución de bioaerosoles hasta valores que garanticen un riesgo controlado es un parámetro que varía dependiendo de la concentración de CO₂ en el exterior, las dimensiones del aula, su ocupación, las características de los ocupantes, su edad, la actividad y el número de renovaciones hora.

Valorados diversos criterios, se toma como referencia un valor de 800 ppm, si bien se admitirán desviaciones puntuales derivadas de la imposibilidad de controlar completamente todos los parámetros, como, por ejemplo, las condiciones ambientales exteriores (presencia de viento y dirección del mismo, humedad relativa), diferencia de temperatura entre interior y exterior, etc.

Teóricamente, con una concentración de CO₂ de 800 ppm, el 1% del aire que se inhala ya ha sido exhalado por otra persona y podría contener bioaerosoles. Si la concentración fuera de 1000 ppm el porcentaje ascendería al 1,45%. Para 2800 ppm y 4800 ppm, los valores ascenderían al 5% y al 10% respectivamente.

En aras a conseguir reducir el riesgo al mínimo, debe seguirse utilizando mascarilla, aunque la ventilación de la dependencia sea buena.

3. CENTROS EDUCATIVOS DONDE SE HA LLEVADO A CABO EL ESTUDIO

En la siguiente tabla se relacionan, agrupados según su tipología, y ordenados alfabéticamente, los centros y aulas donde se han llevado a cabo mediciones de la concentración de CO₂:

Centro	Aula	Localidad	Fecha de medición
El Los Diminutos	2-3 años (I y II)	Badajoz	20/11/2020
El Payaso Fofó	2-3 años (Brujitas I)	Cáceres	26/11/2020
CEIP De Prácticas	3 años A El y 4ºA EP	Cáceres	14/12/2020
CEIP Enrique Segura Covarsí	3ºA EP	Badajoz	17/11/2020
CEIP Guadiana	4ºA y 5ºA EP	Badajoz	29/10/2020, 24/11/2020, 30/11/2020
CEIP Los Glacis	2ºA y 6ºB EP	Badajoz	1/12/2020
CEIP Ntra. Sra. De Bótoa	4ºB EP	Badajoz	23/11/2020
IES Bioclimático	2ºE1 y 4ºB1	Badajoz	18/11/2020

Y en esta otra, se incluyen algunos datos de las aulas estudiadas:

Centro educativo	Aula	Nº personas	Superficie (m²)	Altura (m)	Volumen (m³)	Espacio por persona (m²/persona)	Volumen por persona (m³/persona)	Tipo de ventilación
El Los Diminutos	2-3 años I	12	44,7	4,9	219,0	3,7	18,3	Natural (ventilación cruzada por aula)
	2-3 años II	12	43,9	2,9	127,3	3,7	10,6	Natural
El Payaso Fofó	2-3 años	10	48,2	2,7	130,1	4,8	13,0	Natural (ventilación cruzada por aula)
CEIP De Prácticas	3 años	15	59,1	3,4	198,0	3,9	13,2	Natural y forzada
	4º EP	25	61,4	3,3	202,6	2,5	8,1	Natural y forzada
CEIP Enrique Segura Covarsí	3º EP	26	44,7	3,0	134,1	1,7	5,2	Natural
CEIP Guadiana	4º EP	23	46,2	2,8	129,4	2,0	5,6	Natural
	5º EP	19	44,1	2,8	123,5	2,3	6,5	Natural (ventilación cruzada por aula)
CEIP Los Glacis	2º EP	25	61,1	2,8	169,2	2,4	6,8	Natural
	6º EP	17	62,4	2,8	172,8	3,7	10,2	Natural
CEIP Ntra. Sra. de Bótoa	4º EP	21	58,3	2,7	158,6	2,8	7,6	Natural y forzada
IES Bioclimático	2º ESO	12	47,3	2,7	126,3	3,9	10,5	Natural
	4º ESO	15	70,6	2,7	188,5	4,7	12,6	Natural

La Consejería de Educación y Empleo y el Servicio de Salud y Riesgos Laborales de Centros Educativos agradece la colaboración prestada, tanto por los equipos directivos de los centros educativos como por las trabajadoras y trabajadores de los centros donde se desarrollaron las mediciones.

4. ESTRATEGIA DE MEDICIÓN Y MUESTREO

Se han seleccionado centros de diversa tipología, eligiéndose, dentro de cada tipo, centros que pueden categorizarse como representativos de las condiciones más desfavorables desde el punto de vista de las dimensiones de las aulas, condiciones de ventilación, ocupación, etc.

También se han realizado mediciones, con objeto de contrastar resultados, en centros con condiciones ideales desde el punto de vista de los parámetros anteriores.

La estrategia de muestreo ha consistido en medir a lo largo del periodo lectivo, el nivel de CO₂ en el punto más desfavorable desde el punto de vista de la ventilación dentro del aula, que suele ser el rincón de las mismas más alejado de la puerta y las ventanas, evitándose la incidencia de las corrientes de aire en la sonda del equipo.

Con objeto de valorar la suficiencia de las medidas pautadas se han ido realizando cambios en las condiciones de ventilación de los diferentes espacios (abriendo y cerrando puertas y ventanas, variando la apertura de diferentes elementos, modificando las condiciones de ventilación de los pasillos, etc.) durante el periodo de medición. Por ello no debe causar alarma que, en momentos puntuales, se haya superado el valor de referencia de 800 ppm perseguido para garantizar una adecuada dilución de aerosoles. En ningún caso el valor medido se aproximado al límite de exposición diaria (VLA-ED) del CO₂, 5000 ppm y mucho menos a los límites de desviación (LD), situados, como se indicaba en el apartado 2, en 15000 y 25000 ppm.

A lo largo del periodo de estudio, se ha registrado un dato por minuto.

La medición de CO₂ se ha realizado a la altura de la cabeza de las personas sentadas.



Medición del nivel de CO₂ en el interior de las aulas

Al comenzar y finalizar el periodo de medición, se ha medido el nivel de CO₂ en el exterior. Las imágenes que se incluyen a continuación ilustran esta actuación:



Medición del nivel de CO₂ en el exterior de las aulas

5. EQUIPO DE MEDIDA

Los datos del equipo de medida y la sonda utilizados en las mediciones son los siguientes:

Equipo	
Unidad de Control Testo 350 M/XL – Testo 454, con número de serie 011664709/512	
Caja Logger Testo 454, con número de serie 01163039/512	

Sonda Testo, modelo 0632 1240, con número de serie 01109289/512		
Rango	0 hasta +1 % Vol. 0 hasta +10000 ppm	
Exactitud	$\pm(75 \text{ ppm} + 3 \% \text{ del v.m.})$ (0 hasta +5000 ppm) $\pm(150 \text{ ppm} + 5 \% \text{ del v.m.})$ (+5001 hasta +10000 ppm)	
Sonda	Sensor de infrarrojo no dispersivo NDIR (Non Dispersive Infrared Detector)	

6. RESULTADOS Y VALORACIÓN

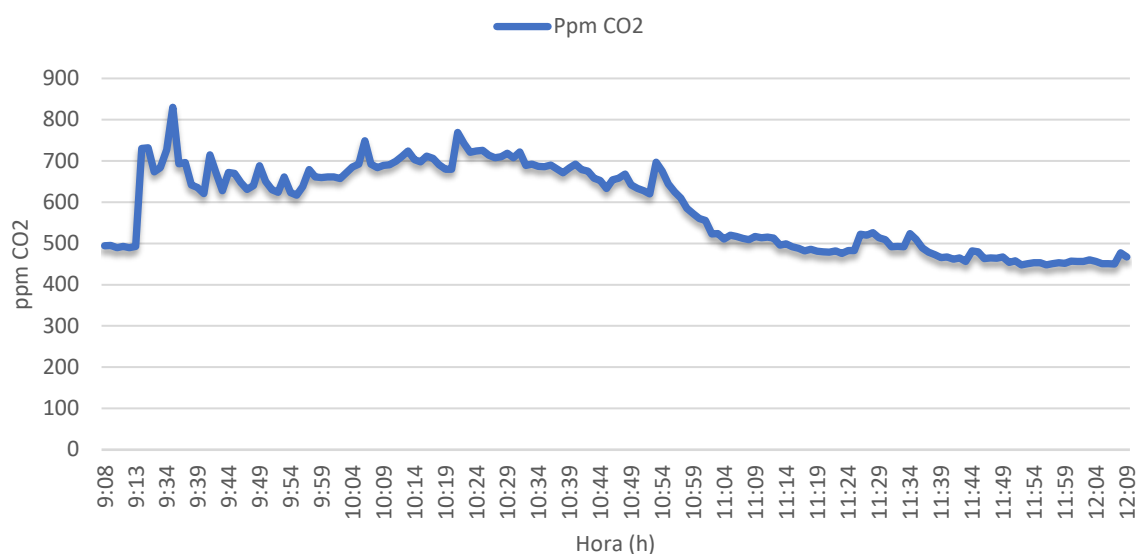
En las siguientes tablas se incluyen los resultados de las mediciones, así como su valoración.

EL LOS DIMINUTOS (2-3 AÑOS (I))

Centro: El Los Diminutos	Aula: 2-3 años (I)	Fecha: 20/11/2020
Nº de personas: 12+1	Calefacción: Si	Tª máxima del día: 21,8°C (14:20 h)
Espacio por persona (m²/persona): 3,7		Tª mínima del día: 8,2°C (06:00 h)
Volumen por persona (m³/persona): 18,3	Tipo de ventilación: Natural (indirecta a través de otra aula)	
Datos del aula:		
Dimensiones (LxAnxAl): 5,8 x 7,7 x 4,9 m		
Superficie = 44,7 m²		Volumen = 219,0 m³
Superficie máxima de apertura de ventanas al interior (VI): $1 \times (0,84 \times 0,74) = 0,62 \text{ m}^2$		
Superficie máxima de apertura de puerta al aula interior (PI): $1 \times (0,66 \times 2,01) = 1,33 \text{ m}^2$		
Altura alféizar ventana: 1,00 m		
Foto del aula:		



Resultados:



Acciones:

- 09:08. Inicio de medición en el exterior.
- 09:29. Apertura de ventana interior 1xVI 100% y puerta aula contigua abierta.
- 09:30. Cambio de la sonda al interior del aula.
- 10:41. Recreo. Sale el alumnado del aula.
- 11:16. Apertura de puerta del hall.

Comentarios:

- El alumnado puede estar en el aula desde las 7:30 horas.
- El pico inicial es debido a la recolocación de la sonda para que no pudiera ser tocada por el alumnado de 2-3 años, que estaba en sus proximidades en los momentos iniciales.
- Prácticamente la concentración se mantiene estable alrededor de 700 ppm con la abertura de la ventana interior al hall y ventilación cruzada indirecta a través del aula contigua, gracias a la puerta abierta.

Otras cuestiones relevantes:

- La sonda se situó en un lateral de la zona media del aula, de forma que fuera afectada lo menos posible por la corriente del aire o por la influencia del alumnado.
- El día de la medición, soleado, la velocidad del viento era nula, circunstancia especialmente adversa para la ventilación.

Valoración:

- Es muy probable que la baja concentración de CO₂ en el ambiente se deba, en parte, a que volumen de aire por persona es elevado (los techos son muy altos), a la baja densidad de ocupación y a la ventilación cruzada a través del aula contigua.
- Un volumen de aire por persona elevado contribuye a mantener la concentración de CO₂ en niveles bajos.
- La ventilación cruzada, aun con mínimas aberturas, permite mantener la concentración del CO₂ en el ambiente en niveles inferiores al nivel objetivo.

Anexo fotográfico:

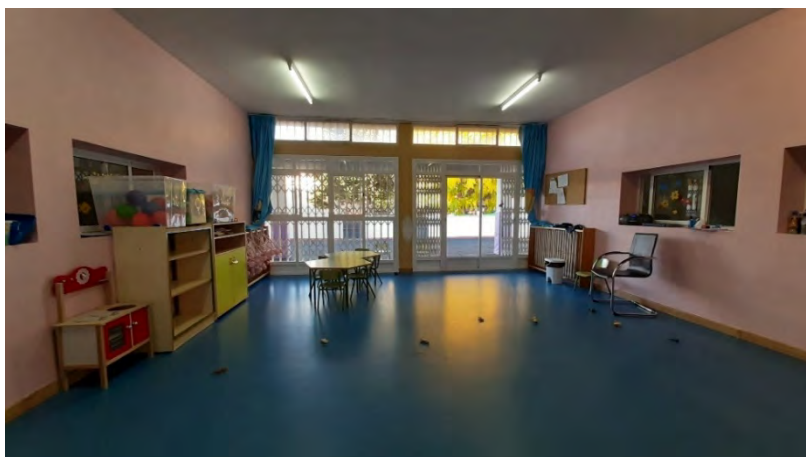
Detalle del espacio común, aulas a la izquierda



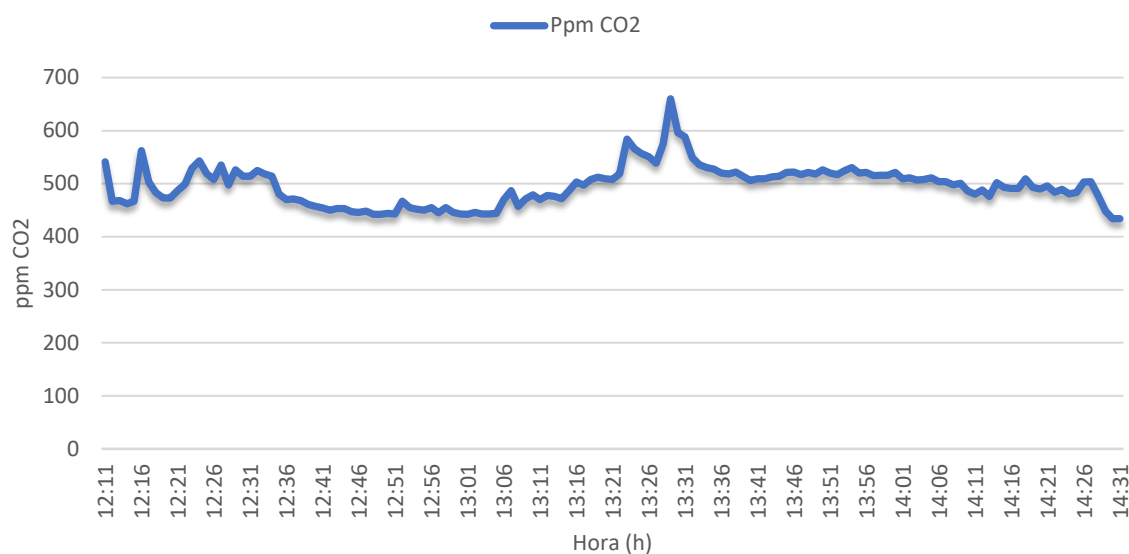
Detalle de las aberturas en la parte superior

EL LOS DIMINUTOS (2-3 AÑOS (II))

Centro: El Los Diminutos	Aula: 2-3 años (II)	Fecha: 20/11/2020
Nº de personas: 12+1	Calefacción: Si	Tª máxima del día: 21,8°C (14:20 h)
Espacio por persona (m²/persona): 3,7		Tª mínima del día: 8,2°C (06:00 h)
Volumen por persona (m³/persona): 10,6	Tipo de ventilación: Natural	
Datos del aula:		
Dimensiones (LxAnxAl): 5,7 x 7,7 x 2,9 m		
Superficie = 43,9 m²		
Volumen = 127,3 m³		
Superficie máxima de apertura de ventanas al exterior (VE): 1 x (0,84 x 0,59) = 0,50 m²		
Altura alféizar ventana: 1,00 m		
Foto del aula:		



Resultados:



Acciones:

12:11. Inicio de medición. Sonda situada sobre mueble de TV. Ventana al exterior abierta.
 12:08. Entra el alumnado en el aula.
 12:30. Salida del alumnado al comedor.
 13:05. Entrada del alumnado.
 13:14. Alumnado bailando en las proximidades de la TV.
 13:30. Alumnado dispuestos para la siesta.
 14:29. Medición en el exterior.

Comentarios:

- La medición comienza después de haber estado el aula ventilada durante el recreo.
- Cuando entra el alumnado, la concentración se mantiene sobre 520 ppm, y comienza a descender cuando salen hacia el comedor.
- Al regresar, se sitúan próximos a la zona donde está la sonda de medición y realizan una actividad física algo mayor al bailar y cantar las canciones emitidas en la televisión. Los picos de concentración son debidos a la actividad realizada por el alumnado y a que la misma se lleva a cabo en las inmediaciones de la sonda.
- Sobre las 13:30h se produce un movimiento de personas en el aula para sacar y colocar los colchones y sábanas para la siesta, manteniéndose la concentración estabilizada en 500 ppm.

Otras cuestiones relevantes:

- La sonda se situó sobre el mueble de TV, de forma que no fuera afectada lo menos posible por la influencia del alumnado.
- La siesta fue realizada por 7 ocupantes.
- El día de la medición, soleado, la velocidad del viento era nula, circunstancia especialmente adversa para la ventilación.

Valoración:

- La baja concentración de CO₂ en el ambiente se logra fácilmente debido a que el volumen de aire por persona es elevado y a la ventilación cruzada a través del aula contigua.
- Un volumen de aire por persona elevado contribuye a mantener la concentración de CO₂ en niveles bajos.
- La ventilación cruzada, aun con mínimas aberturas, permite mantener la concentración del CO₂ en el ambiente en niveles inferiores al valor objetivo.

Anexo fotográfico:

Detalle del aula, desde el patio



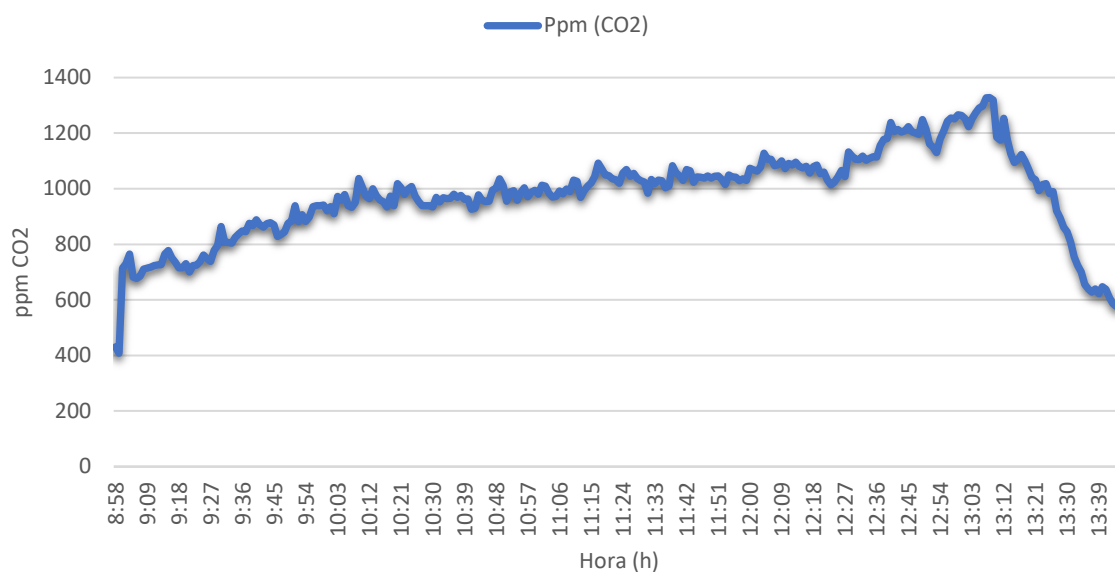
Detalle del aula desde las ventanas. En el fondo derecha, detalle del primer aula de estudio

El PAYASO FOFÓ (2-3 AÑOS (Brujitas I))

Centro: El Payaso Fofó	Aula: 2-3 años (Brujitas I)	Fecha: 26/11/2020
Nº de personas: 10+1	Calefacción: Si	Tª máxima del día: 11,0°C
Espacio por persona (m²/persona): 4,8		Tª mínima del día: 7,2°C
Volumen por persona (m³/persona): 13,0	Tipo de ventilación: Natural indirecta y purificador	
Datos del aula:		
Dimensiones (LxAnxAI): 8,60 x 5,60 x 2,70 m		
Superficie = 48,2 m²		Volumen = 130,1 m³
Superficie máxima de apertura de hueco de puerta al pasillo: 0,78 x 0,81 = 0,63 m²		
Superficie máxima de apertura de puerta a aula contigua: 0,80 x 1,00 = 1,80 m²		
Foto del aula:		



Resultados:



Acciones:

8:58. Inicio de medición en exterior.

9:04. Cambio de la sonda al interior del aula. Apertura de hueco de la puerta al hall.

13:07. Se abre parcialmente la puerta que comunica con el aula 1-2 (Duendes I), que dispone de ventilación directa al exterior. Las hojas de las ventanas estaban abiertas únicamente unos centímetros.

13:46. Cierre de puerta aula Duendes I.

Comentarios:

- Esta aula no dispone de huecos que permitieran la ventilación natural directa, por lo que se instaló un purificador de aire con filtros HEPA.
- Tras el inicio de la medición en el interior del aula, se observa que la concentración arranca en 685 ppm superándose el valor objetivo a los 30 minutos, continuando en ascenso constante. A las 3 horas se superan, incluso, las 1000 ppm.
- Al rebasar las 1300 ppm un corto periodo de tiempo, se decide actuar para dotar al aula de una ventilación cruzada (indirecta, a través de la puerta del hall y el aula contigua).
- Se abrió la puerta del aula contigua, que a su vez tenía las ventanas abiertas unos centímetros al exterior, y la concentración descendió bruscamente a 600 ppm en menos de 20 minutos.

Otras cuestiones relevantes:

- La puerta de entrada al aula está dividida permaneciendo abierta la mitad superior.
- Resaltar también que, a pesar de superarse la concentración objetivo, se entiende que la situación no entrañaba riesgo elevado debido a que el purificador estaba en funcionamiento para la eliminación de eventuales bioaerosoles. Como ya se ha explicado el equipo purificador no tiene incidencia sobre la concentración de CO₂.
- Esta aula es especialmente desfavorable desde el punto de vista de la ventilación, pues no dispone de huecos que permitan su ventilación directa. Tras el estudio se va a proceder a instalar extracción (a través de ojos de buey cenitales). Mientras tanto se mantendrá la ventilación cruzada indirecta y el purificador en funcionamiento continuo.
- El alumnado puede llegar desde las 7:30 horas.

Valoración:

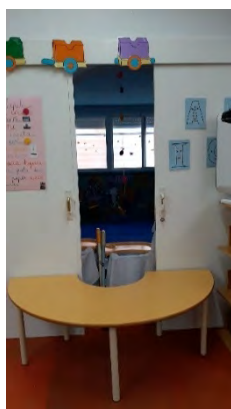
- En esta aula se comprueba la gran incidencia que tiene una pequeña abertura de ventanas a la hora garantizar una correcta ventilación cruzada. Cuando no existía, la concentración de CO₂ alcanzó valores elevados. En las fotografías siguientes, se pueden observar las aberturas utilizadas para garantizar una ventilación cruzada. La ventana del aula contigua solo estaba abierta 2 ó 3 cm.
- Los espacios habilitados para la docencia deberán disponer de ventilación cruzada, preferentemente directa. Si no es posible, se buscará ventilación indirecta o ventilación forzada. Si no hay otra opción, deben valorarse otras medidas como equipos de filtración equipados con filtros HEPA.

Anexo fotográfico:

Medición del CO₂ en el exterior



Hueco de puerta abierta al hall



Puerta abierta al aula 1-2 años



Al fondo, ventanas abiertas al exterior



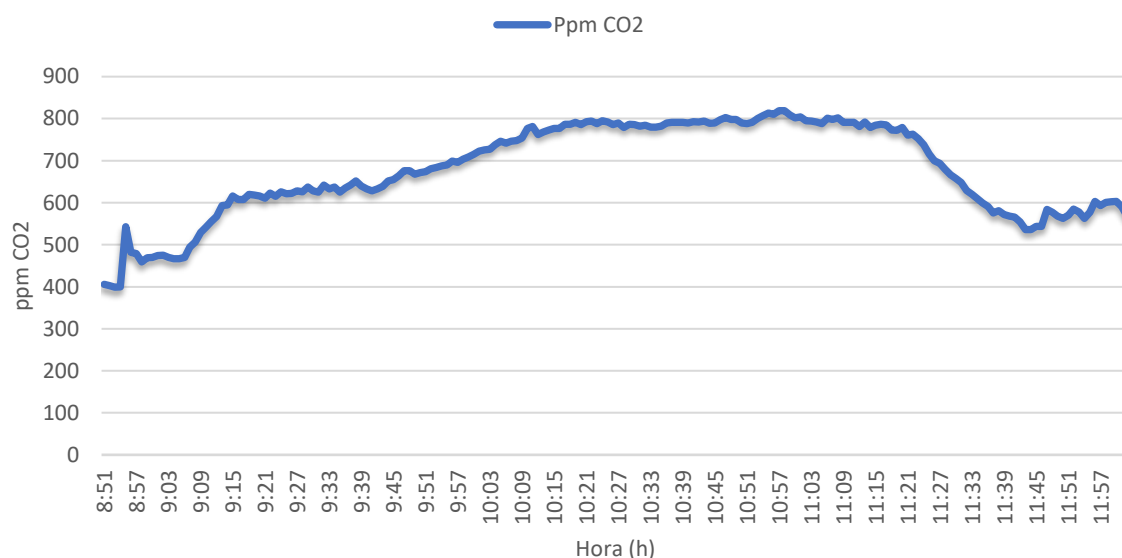
Detalle de ventana abierta unos centímetros

CEIP DE PRÁCTICAS (3 AÑOS A)

Centro: CEIP De Prácticas	Aula: 3 años A El	Fecha: 14/12/2020
Nº de personas: 15+2	Calefacción: Si	Tª máxima del día: 13,9°C (13:40 h)
Espacio por persona (m²/persona): 3,9		Tª mínima del día: 11,0°C (23:30 h)
Volumen por persona (m³/persona): 13,2	Tipo de ventilación: Natural y forzada (1 rejilla impulsión de 20x40 cm y 1 de extracción)	
Datos del aula:		
Dimensiones (LxAnxAl): 9,42 x 6,27 x 3,35 m		
Superficie = 59,1 m ²		
Volumen = 198,0 m ³		
Superficie máxima de apertura de ventanas al exterior (VE): 6 x (1,44 x 0,32) = 6 x 0,46 = 2,76 m ²		
Altura alféizar ventana: 1,00 m		
Foto del aula:		



Resultados:



Acciones:

- 08:51. Inicio de medición en el exterior.
- 08:55. Cambio de la sonda al interior del aula.
- 08:58. Apertura de ventanas 2xVE 25% manteniendo la puerta cerrada.
- 09:06. Entra el alumnado en el aula.
- 09:40. Cierre de ventanas.
- 10:19. Apertura de la puerta.
- 10:51. Apertura de ventanas 2xVE 3% (1cm).
- 11:21. Recreo. Sale el alumnado del aula.
- 11:45. Entra el alumnado en el aula. 12:00. Sale el alumnado del aula.

Comentarios:

- Después de la entrada del alumnado, la concentración experimenta un ascenso constante que, tras cerrar las ventanas, se manifiesta más acusado. Cuando se alcanza el valor de 800 ppm, se procede a abrir la puerta, manteniéndose la concentración próxima a dicho valor, y al superarse ligeramente, a los 40 minutos, se abren 1 cm las ventanas centrales descendiendo la concentración bruscamente.
- La concentración en estado estable, con una apertura de las ventanas centrales de solo el 3%, puerta abierta y el sistema de renovación de aire en funcionamiento, se mantiene en torno a las 600 ppm.

Otras cuestiones relevantes:

- La sonda se situó en una esquina, de forma que no fuera afectada por la corriente de aire de la ventilación forzada o por la influencia del alumnado.
- Durante el cambio de la sonda del exterior al interior, se produce un aumento de la concentración por interferencias.
- Durante el periodo de estudio, había dos docentes en el aula.

Valoración:

- La baja concentración de CO₂ medida se logra gracias al elevado espacio por persona y al elevado volumen de aire por persona, además de al sistema forzado de renovación de aire.
- En esta aula se comprueba que dicho sistema de renovación de aire forzado, por sí solo, no es capaz de mantener la concentración por debajo del valor objetivo. Es suficiente realizar un aporte mínimo de aire exterior mediante la apertura mínima de 2 ventanas.
- Una vez más, se constata que la ventilación cruzada, aun con mínimas aberturas, disminuye sustancialmente la concentración del CO₂ en el ambiente.

Anexo fotográfico:

Detalle de la rejilla de extracción (20x40cm)



Detalle de las entradas y salidas del aire de la ventilación forzada, por plantas

CEIP DE PRÁCTICAS (4ºA EP)

Centro: CEIP De Prácticas	Aula: 4ºA EP	Fecha: 14/12/2020
Nº de personas: 25+2	Calefacción: Si	Tª máxima del día: 13,9°C (13:40 h)
Espacio por persona (m²/persona): 2,5		Tª mínima del día: 11,0°C (23:30 h)
Volumen por persona (m³/persona): 8,1	Tipo de ventilación: Natural y forzada (1 rejilla impulsión de 20x40 cm y 1 de extracción)	

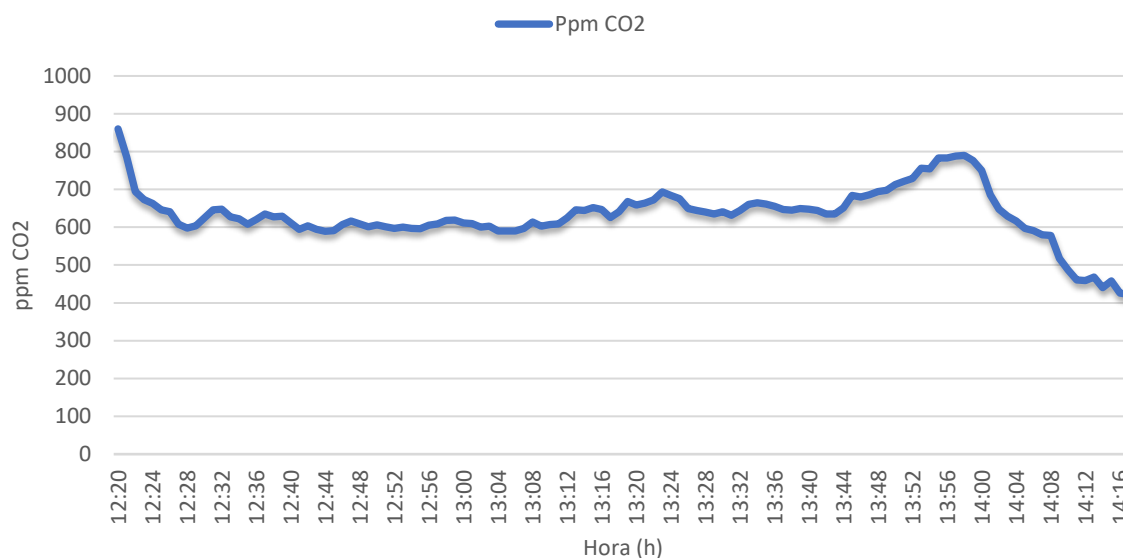
Datos del aula:

Dimensiones (LxAnxAl): 9,90 x 6,20 x 3,30 m **Superficie** = 61,4 m² **Volumen** = 202,6 m³
 Superficie máxima de apertura de ventanas al exterior (VE): 6 x (1,36 x 0,33) = 6 x 0,45 = 2,69 m²
 Superficie máxima de apertura de ventanas al exterior fondo (VEF): 3 x (1,12 x 0,32) = 3 x 0,36 = 1,07 m²
 Altura alféizar ventana: 0,85 m Altura alféizar ventana fondo: 1,10 m

Foto del aula:



Resultados:



Acciones:

- 12:24. Inicio de medición.
- 12:24. Apertura de ventanas 4xVE 100% y 1xVEF 100%.
- 12:25. Alumnado en el interior del aula tras realizar recreo en el aula.
- 12:40. Apertura de ventanas 4xVE 50% y 1xVEF 50%.
- 12:54. Cierre de ventana del fondo.
- 13:56. Sale el alumnado del aula.
- 14:16. Medición en el exterior.

Comentarios:

- La concentración se mantiene estabilizada sobre 600 ppm con una mayor apertura de ventanas. Tras cerrar la del fondo, experimenta un ascenso y se estabiliza.
- Cuando el alumnado procede a recoger sus materiales, comienza a moverse y a ponerse en pie, se experimenta un ascenso en la concentración (asociado probablemente al incremento de su actividad física).
- La concentración en estado estable con la apertura de las ventanas indicadas, puerta abierta y el sistema de renovación de aire en funcionamiento, se mantiene en torno a las 600 ppm.

Otras cuestiones relevantes:

- La sonda se situó en el fondo, de forma que fuera afectada lo menos posible por la corriente de aire de la ventilación forzada o por la influencia del alumnado.
- La apertura de ventanas en el pasillo se encuentra a unos 12 metros aproximadamente, desde la puerta del aula.
- Durante el periodo de estudio había dos docentes en el aula.

Valoración:

- En esta aula, al tener una relación más baja de espacio por persona que la de 3 años, es necesaria una mayor apertura de las ventanas para mantener la concentración de CO₂ por debajo de 800 ppm.
- Por otro lado, se comprueba que tampoco el sistema de renovación de aire, por sí solo, es capaz de mantener la concentración por debajo de lo recomendado, por lo que es necesario realizar un aporte de aire exterior mediante la ventilación natural con la apertura de 3 ventanas al 50%.
- En esta aula se comprueba también que la ventilación cruzada, con ventanas en paredes adyacentes, disminuye sustancialmente la concentración del CO₂ en el ambiente.

Anexo fotográfico:

Detalle del aula, desde el fondo



Detalle de la medición

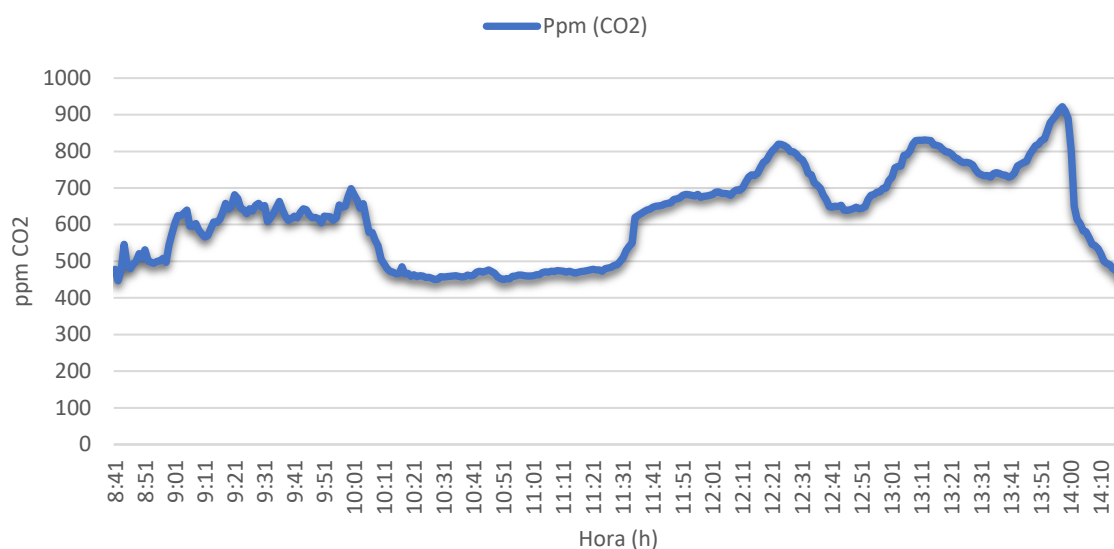
CEIP ENRIQUE SEGURA COVARSÍ (3ºA EP)

Centro: CEIP Enrique Segura Covarsí	Aula: 3ºAEP	Fecha: 17/11/2020
Nº de personas: 26+2	Calefacción: Si	Tª máxima del día: 17,8°C (15:50 h)
Espacio por persona (m²/persona): 1,7		Tª mínima del día: 10,8°C (00:00 h)
Volumen por persona (m³/persona): 5,2	Tipo de ventilación: Natural	
Datos del aula:		
Dimensiones (LxAxAI): 6,00 x 7,80 x 3,00 m Retranqueo: 0,97x2,27m Superficie = 44,7 m² Volumen = 134,1 m³		
Superficie máxima de apertura de ventanas al exterior (VE): 4 x (0,46x0,96) = 1,76 m²		
Altura alféizar ventana: 1,05 m		

Foto del aula:



Resultados:



Acciones:

08:42. Inicio de medición en el exterior. Se suben las persianas y se abren las ventanas cerradas y puerta abierta.
08:44. Cambio de la sonda al interior del aula. Apertura de ventanas 4xVE 100% y persianas subidas 30 cm.
09:09. Entra el alumnado en el aula.
10:02. Sale alumnado a clase de Educación Física.
10:54. Apertura de ventanas 4xVE 50% y persianas subidas 30 cm.
11:00. Entra alumnado de Educación Física y sale al recreo.
11:32. Entra alumnado del recreo.
12:23. Apertura de ventanas 4xVE 100%.
12:51. Apertura de ventanas 4xVE 100% y persianas bajadas.
13:12. Se suben las persianas 30 cm.
13:41. Se cierran las ventanas y se deja la puerta abierta.
13:53. Sale alumnado del aula.
13:58. Apertura de ventanas.
14:17. Medición en el exterior.

Comentarios:

- Después de la entrada del alumnado, la concentración experimenta un ascenso constante que se estabiliza sobre 650 ppm, descendiendo al valor inicial de partida al salir el alumnado para dirigirse a clase de Educación Física.
- Se decide mantener una apertura de ventanas del 50% con las persianas subidas 30 cm para ver la evolución de la concentración. En algo menos de 60 minutos, se rebasan las 800 ppm, por lo que se actúa abriendo las ventanas al 100% bajando la concentración a 650 ppm.
- Se bajan las persianas, pero manteniendo las aberturas de las lamas abiertas, para comprobar si fuera suficiente para la ventilación. Tras 20 minutos, la concentración vuelve a superar el valor objetivo, subiéndose posteriormente 30 cm las persianas, momento en el que la concentración baja a 730 ppm 40 minutos.
- Por último, se decide comprobar la incidencia de mantener solo la puerta abierta, dejando cerradas las ventanas. En menos de 20 minutos se incrementa en 170 ppm la concentración con respecto a la inicial de 730 ppm.

Otras cuestiones relevantes:

- La sonda se situó en aquel punto más desfavorable de ventilación, de forma que fuera afectada lo menos posible por la influencia del alumnado.
- Durante el periodo de medición, se apreciaban corrientes de aire en el aula, en particular, en la zona perpendicular a la puerta.
- El día era relativamente ventoso.

Valoración:

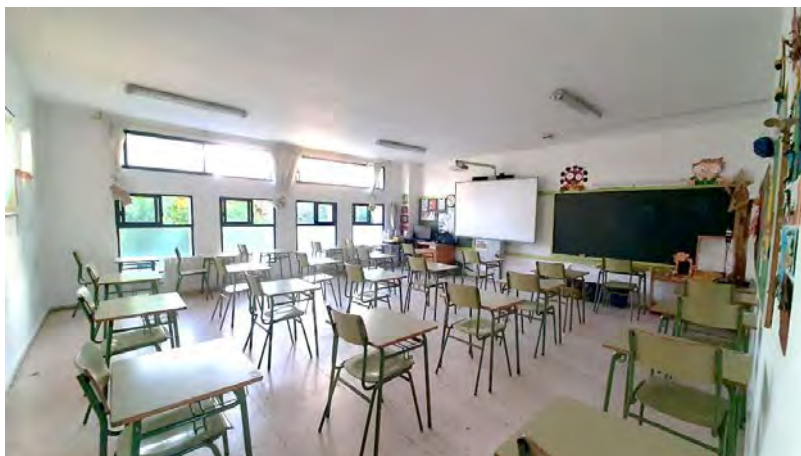
- La ventilación natural puede ser suficiente en aulas con un espacio por persona reducido ($1,7 \text{ m}^2/\text{persona}$), como es el caso de la estudiada.
- Después de probar diferentes configuraciones de apertura de ventanas, persianas y puerta, la apertura mínima de las persianas (30 cm) junto con las ventanas al 50% y la puerta abierta, son suficientes para mantener estabilizada la concentración en valores por debajo de la concentración objetivo.
- Los dientes de sierra que se aprecian en la parte final, se deben al cierre total o parcial de las aberturas de entrada del aire. Como se ha indicado anteriormente, es preferible mantener aberturas permanentes, aunque sean pequeñas, en lugar de cerrarlas totalmente para abrirlas con mayor amplitud con posterioridad.
- Por otro lado, se pone de manifiesto que mantener únicamente la puerta abierta no es suficiente para estabilizar la concentración por debajo de 800 ppm, experimentando la misma un apreciable incremento en pocos minutos.
- En este caso, la calefacción contribuye a mejorar la ventilación del aula, al crearse corrientes de ascenso del aire caliente y el arrastre de otro más frío a la parte inferior.
- Se debe mantener una ventilación cruzada constante y permanente, manteniendo la mayor distancia posible puerta-ventanas, siendo preferible mantener parcialmente abiertas todas las ventanas disponibles.
- En los días ventosos, con aberturas muy pequeñas, se logra la misma concentración que con aberturas mayores en días sin viento. Por tanto, con estas condiciones climatológicas puede reducirse la apertura de las ventanas o mantener más bajas las persianas.

Anexo fotográfico:

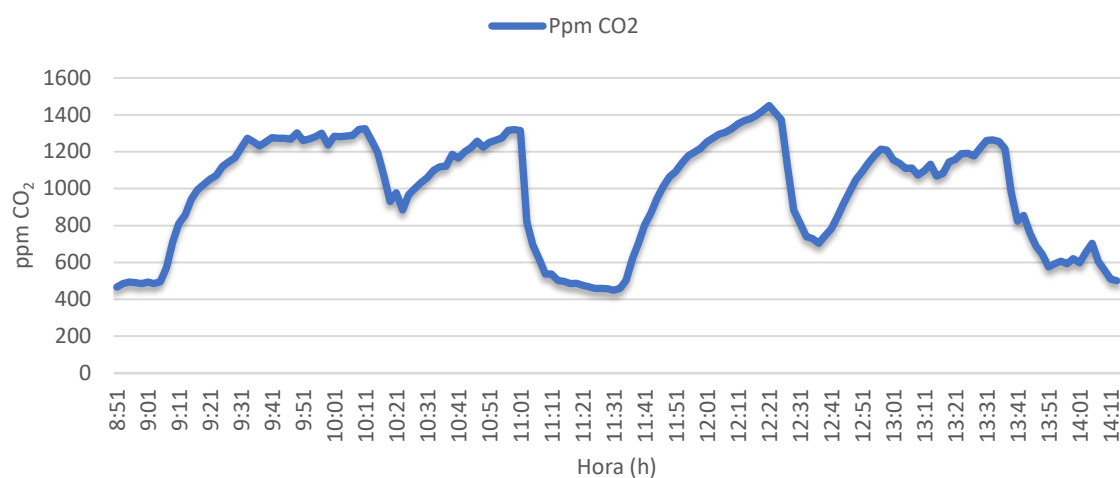
Configuración de ventanas al 50% y persiana subida 30 cm

CEIP GUADIANA (4ºA EP, 1º DÍA)

Centro: CEIP Guadiana	Aula: 4ºA EP	Fecha: 29/10/2020
Nº de personas: 23+1	Calefacción: No	Tª máxima del día: 16,7°C (13:50 h)
Espacio por persona (m²/persona): 2,0		Tª mínima del día: 7,4°C (06:00 h)
Volumen por persona (m³/persona): 5,6	Tipo de ventilación: Natural	
Datos del aula:		
Dimensiones (LxAnxAl) = 6,9 x 6,7 x 2,8 m	Superficie = 46,2 m²	Volumen = 129,4 m³
Superficie máxima de apertura de ventanas al exterior inferiores (VEI): 4 x (0,46x0,38) = 0,7 m²		
Superficie máxima de apertura de ventanas al exterior superiores (VES): 2 x (0,63 x 0,48) = 1,08 m²		
Altura alféizar ventana inferior: 1,23 m Altura alféizar ventana superior: 2,10 m		
Foto del aula:		



Resultados:



Acciones:

- 08:51. Inicio de medición en el exterior.
- 09:00. Se mantienen todas las ventanas cerradas y la puerta abierta.
- 09:06. Entra el alumnado en el aula.
- 10:09. Apertura de ventanas 4xVEI+1xVES 100%.
- 10:27. La puerta del pasillo estaba cerrada.
- 11:01. Recreo. Sale el alumnado del aula. Se abre puerta de pasillo.
- 11:37. Entra el alumnado en el aula. Se cierran ventanas y se mantiene la puerta abierta.
- 12:20. Apertura de ventanas 4xVEI 100%.
- 12:35. Apertura de ventanas 4xVEI 2 cm.
- 12:55. Apertura de ventanas 4xVEI 8 cm.
- 13:35. Apertura de ventanas 4xVEI+1xVES 100%. Había corriente de aire en el pasillo.
- 14:03. Sale el alumnado del aula.
- 14:12. Medición en el exterior.

Comentarios:

- Al cerrar todas las ventanas manteniéndose la puerta abierta, en 30 minutos aproximadamente, el CO₂ experimenta un ascenso rápido hasta situarse en 1232 ppm, manteniéndose alrededor de 1300 ppm durante otros 30 minutos.
- Se actúa abriendo todas las ventanas y en 15 minutos aproximadamente desciende a 890 ppm para comenzar otra vez un ascenso hasta 1314 ppm. Dicha subida es debida a que la puerta del pasillo se cerró, por lo que no se generaba corriente de aire en el aula.
- Al salir el alumnado al recreo y al abrir la puerta del pasillo que estaba cerrada, la concentración de CO₂ desciende rápidamente hasta 538 ppm en 10 minutos, continuando en descenso hasta llegar al nivel inicial en el exterior, 449 ppm.
- Se vuelven a cerrar las ventanas antes del regreso del alumnado del recreo que, al venir más activos, exhalan mayor cantidad de CO₂, y se observa un ascenso rápido, hasta llegar hasta 1450 ppm en 1 hora aproximadamente.
- Se abren las ventanas durante 15 minutos y la concentración se sitúa sobre 700 ppm. Se abren las ventanas inferiores 2 cm durante 10 minutos, pero al seguir la tendencia al alcista, se abren 8 cm, estabilizándose sobre los 1200 ppm.
- Posteriormente, se abren las 4 ventanas inferiores y una superior, descendiendo rápidamente en 15 minutos a 572 ppm.

Otras cuestiones relevantes:

- Durante 30 minutos del periodo de medición la puerta del pasillo se mantuvo cerrada.
- La tipología de ventanas de esta aula y su ubicación no son las habituales. No favorecen especialmente la ventilación del espacio.
- La sonda se situó cerca de la pizarra, por lo que los resultados pueden haberse visto afectados por la presencia de personas próximas a la misma.

Valoración:

- Para una adecuada ventilación, es necesario que existan entradas y salidas de aire. para generar corriente.
- Los resultados constatan que es preferible mantener permanentemente abiertas las ventanas que cerrarlas cierto tiempo para posteriormente abrirlas. En el momento que no hay ventilación cruzada, el nivel de CO₂ rebasa el valor de 800 ppm en menos de 30 minutos, siendo necesario al menos, 15 minutos de ventilación abundante para conseguir el nivel inicial.
- También se ha observado la gran incidencia que puede tener el cierre de las puertas o ventanas de los pasillos. Es necesario que los pasillos también estén ventilados permanentemente.

Anexo fotográfico:

Detalle del aula, desde el la puerta. Al fondo, ventanas



Detalle del aula, con otra configuración de ventanas. En el fondo, a la derecha, punto de medición



Detalle de puerta desde el aula. Al fondo, puerta del pasillo que se cerró en un momento de la medición

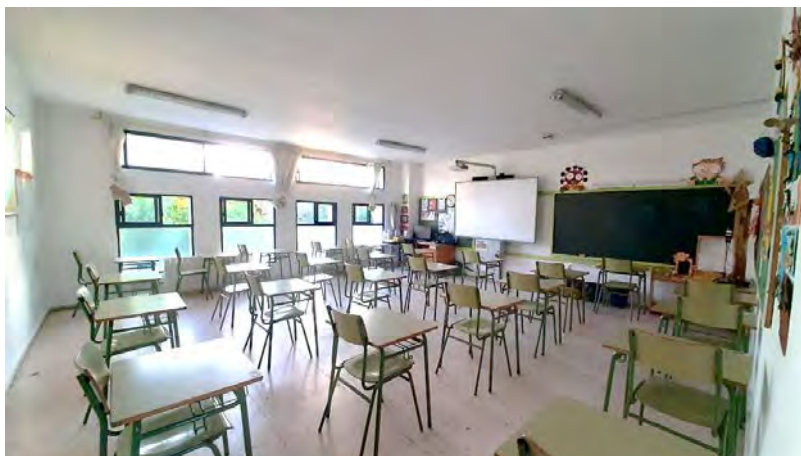
CEIP GUADIANA (4ºA EP, 2º DÍA)

Centro: CEIP Guadiana	Aula: 4ºA EP	Fecha: 24/11/2020
Nº de personas: 23+1	Calefacción: Si	Tª máxima del día: 17,5°C (14:30 h)
Espacio por persona (m²/persona): 2,0		Tª mínima del día: 4,2°C (06:50 h)
Volumen por persona (m³/persona): 5,6	Tipo de ventilación: Natural	

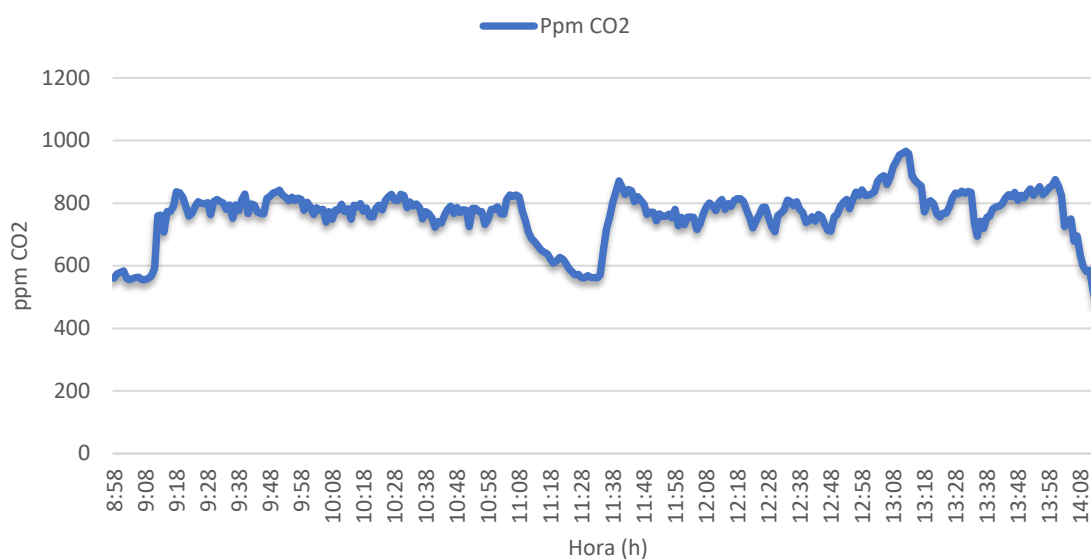
Datos del aula:

Dimensiones (LxAxAI) = 6,9 x 6,7 x 2,8 m **Superficie** = 46,2 m² **Volumen** = 129,4 m³
 Superficie máxima de apertura de ventanas al exterior inferiores (VEI): 4 x (0,46x0,38) = 0,7 m²
 Superficie máxima de apertura de ventanas al exterior superiores (VES): 2 x (0,63 x 0,48) = 1,08 m²
 Altura alféizar ventana inferior: 1,23 m Altura alféizar ventana superior: 2,10 m

Foto del aula:



Resultados:



Acciones:

08:58. Inicio de medición en el exterior.
 09:00. Apertura de ventanas 4xVEI 50%+2xVES 100%.
 09:01. Cambio de la sonda al interior del aula.
 09:06. Entra el alumnado en el aula.
 11:01. Recreo. Sale el alumnado del aula. Apertura de todas las ventanas al 100%.
 11:33. Entra el alumnado en el aula.
 12:51. Cierre de las ventanas inferiores.
 13:03. Apertura de las ventanas 4xVEI 100%.
 13:54. Sale el alumnado del aula.
 13:05. Medición en el exterior.

Comentarios:

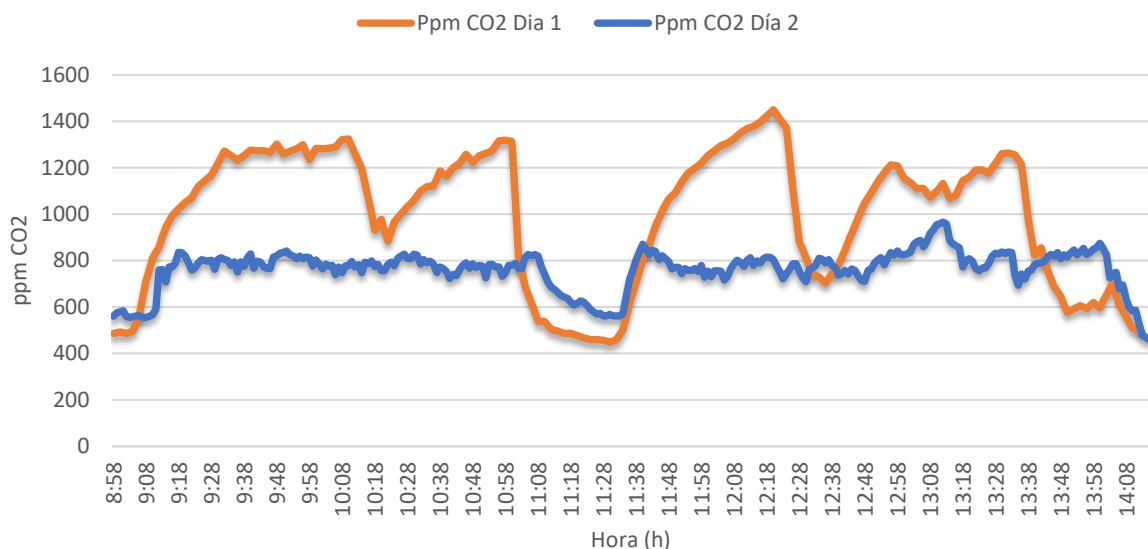
- En este 2º día se quiso comprobar la influencia que podría tener la calefacción en la ventilación del aula.
- Se dejaron abiertas las ventanas superiores al 100% y las inferiores al 50%.
- Desde la llegada del alumnado, la concentración de CO₂ ha mantenido sobre los 800 ppm hasta la salida al recreo, momento en que cae hasta el nivel inicial de partida.
- Tras la finalización del recreo y entrada del alumnado en el aula, en menos de 10 minutos, se alcanza rápidamente el valor de 800 ppm, y se mantiene.
- Se procede a cerrar las 4 ventanas inferiores para comprobar si fuera suficiente la ventilación obtenida con las superiores, y se aprecia que la concentración vuelve a subir progresivamente hasta un máximo de 958 ppm en 40 minutos, momento en el que se decide abrir todas las ventanas inferiores y se registra un descenso de la concentración por debajo de 800 ppm en menos de 6 minutos.
- Una vez que el alumnado abandona el aula, la concentración vuelve al valor de partida en menos de 15 minutos.

Otras cuestiones relevantes:

- La sonda se situó en aquel punto más desfavorable de ventilación, de forma que fuera afectada lo menos posible por la influencia del alumnado.
- La tipología de ventanas de esta aula y su ubicación no son las habituales. No favorecen especialmente la ventilación del espacio.
- Las condiciones climatológicas no eran favorables, día sin viento.

Valoración:

- Al estar en funcionamiento la calefacción, la concentración de CO₂ disminuye respecto al primer día. La mayor diferencia de temperatura interior / exterior genera corriente de aire que favorece la ventilación.
- Con las condiciones climatológicas de este día sin viento (circunstancia desfavorable para la ventilación), con la apertura de todas las ventanas se consigue que la concentración de CO₂ se mantenga por debajo de 800 ppm.

Comparación de los dos días**Valoración:**

- El primer día, se aprecian dientes de sierra derivados de la apertura y cierre de las ventanas. En el segundo día, la concentración del CO₂ se mantiene estable en torno a las 800 ppm.
- Es evidente que es mejor mantener aberturas permanentes en las ventanas en lugar de cerrarlas, para volverlas a abrirlas posteriormente al cabo de cierto tiempo.
- Se comprueba también el comportamiento idéntico de la concentración de CO₂ tras el regreso del alumnado del recreo, momento en que la configuración de apertura de ventanas y puertas era idéntica. Las pendientes de ambas curvas son exactamente iguales.
- De mismo modo, tras la salida del alumnado del aula, la concentración de CO₂ experimenta una evolución similar ambos días.
- Se constata pues, que tal y como presupone la Guía para la ventilación de las aulas de CSIC-IDEA, que el comportamiento de aulas parecidas en cuanto al número de personas, actividad y ventilación, es similar.

CEIP GUADIANA (5ºA EP)

Centro: CEIP Guadiana	Aula: 5ºA EP	Fecha: 30/11/2020
Nº de personas: 19+1	Calefacción: No	Tª máxima del día: 18,3°C (14:10 h)
Espacio por persona (m²/persona): 2,3		Tª mínima del día: 6,7°C (23:00 h)
Volumen por persona (m³/persona): 6,5	Tipo de ventilación: Natural	

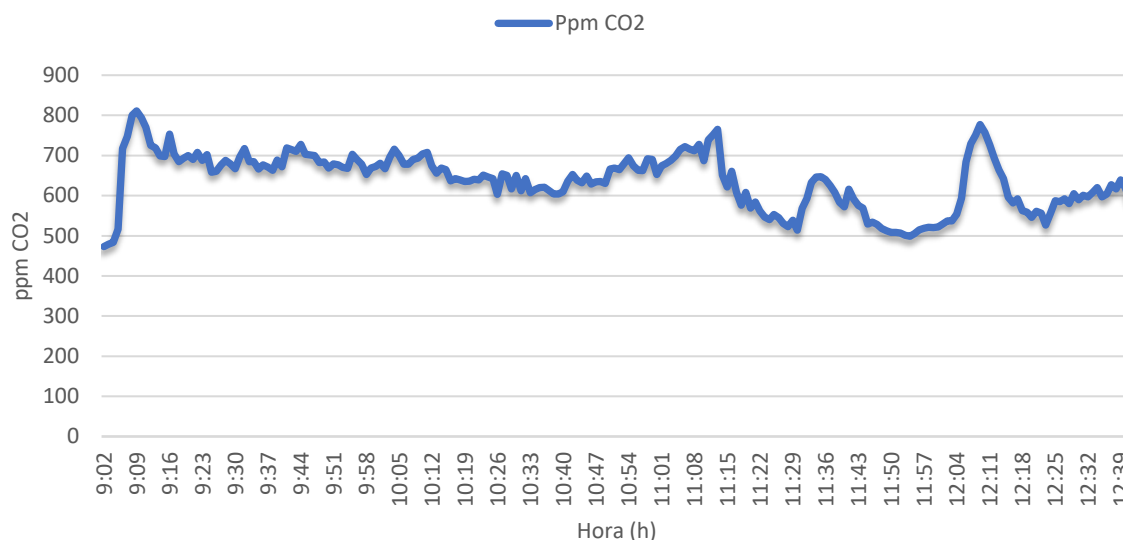
Datos del aula:

Dimensiones (LxAnxAl): 6,8 x 6,8 x 2,8 m Retranqueo: 1,4 x 1,5 m **Superficie** = 44,1 m² **Volumen** = 123,5 m³
 Superficie máxima de apertura de ventanas al exterior (VE): 4 x (0,38x1,13) = 1,7 m²
 Superficie máxima de apertura de ventanas al aula interior inferior (VII): 2 x (0,46 x 0,38) = 0,18 m²
 Superficie máxima de apertura de ventanas al aula interior superior (VIS): 2 x (0,46 x 0,38) = 0,18 m²
 Altura alféizar ventana exterior (VE): 1,23 m Altura alféizar ventana interior inferior y superior (VII-VIS): 1,23-2,10 m

Foto del aula:



Resultados:



Acciones:

09:02. Inicio de medición en el exterior.
 09:05. Cambio de la sonda al interior del aula, cerca de la puerta y sin corrientes de aire.
 09:06. Entra el alumnado en el aula.
 11:09. Sale alumnado. Quedan 9 en clase.
 11:10. Cambio de posición de la zona a un lugar más desfavorable (junto a pizarra).
 11:30. Entra el alumnado que había salido.
 11:34. Recreo. Sale el alumnado del aula.
 12:04. Entra alumnado.
 12:10. Apertura de ventana 1xVII 2 cm.
 12:43. Fin de la medición.

Comentarios:

- Después de la entrada del alumnado, la concentración experimenta un ascenso rápido, estabilizándose sobre 700 ppm, para comenzar un ligero descenso a los 60 minutos, repuntar y mantenerse alrededor de 700 ppm.
- Aprovechando la salida de parte del alumnado, se decide trasladar el punto de medición a un lugar más desfavorable desde el punto de vista de la ventilación, en la esquina junto a la pizarra.
- Durante 30 minutos la concentración decae y vuelve a subir cuando regresan los 9 alumnos que habían salido.
- Tras salir el alumnado al recreo, la concentración decrece rápidamente. A su regreso, asciende en menos de 8 minutos a valores próximos a 800 ppm.
- Para evitar la tendencia ascendente, se decide actuar abriendo 2 cm una ventana que comunica la dependencia con el aula contigua. En menos de 10 minutos, la concentración se estabiliza sobre 600 ppm.

Otras cuestiones relevantes:

- La sonda se situó inicialmente en el lugar donde no fuera interferida por el alumnado o corrientes de aire, y posteriormente se trasladó al punto más desfavorable de ventilación.
- La configuración del aula, puertas y ventanas en la misma pared, no es nada usual, y no favorece la ventilación.
- Una de las ventanas del aula está anulada por la escalera de emergencia.
- En el recreo se abrieron las ventanas superiores del hall, que estaban cerradas anteriormente, como se aprecia en la fotografía que se incluye más abajo.

Valoración:

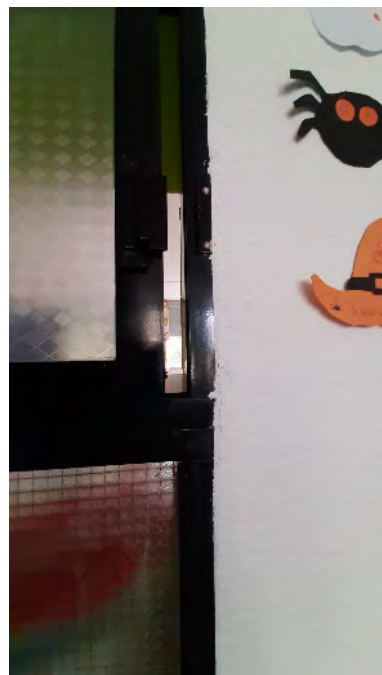
- La disposición de aberturas entre puntos, lo más alejado que sea posible entre ellos, dentro del aula, mejora significativamente la ventilación respecto a cuando las aberturas de ventilación se encuentran dispuestas en una sola pared (en este caso, ventanas y puerta, que además están muy próximas).
- En esta aula, la acción de abrir una mínima abertura para crear ventilación cruzada logra que la ventilación mejore sustancialmente en el punto más desfavorable, y, por ende, en toda el aula.
- Para una correcta ventilación, cuando el espacio por persona es reducido, es necesaria la ventilación cruzada mediante aberturas en paramentos opuestos. En caso de que ello no fuera posible debería valorarse la instalación de equipos de extracción de aire.

Anexo fotográfico:

Ventanas del hall. Aula a la izquierda



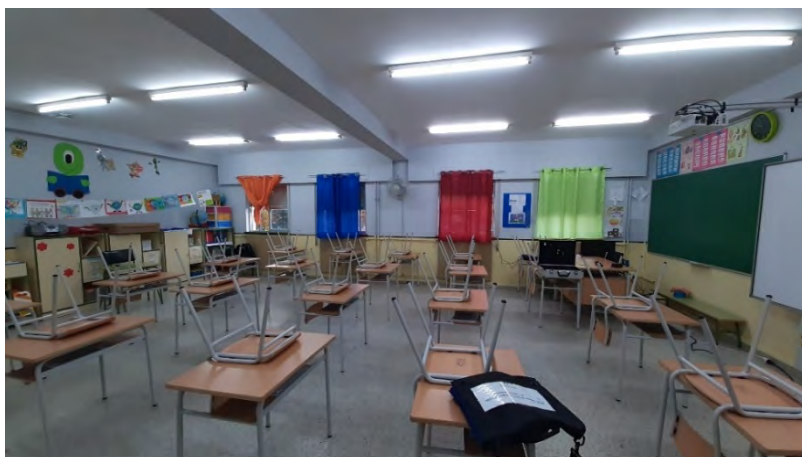
Detalle del aula, desde el 2º punto medición



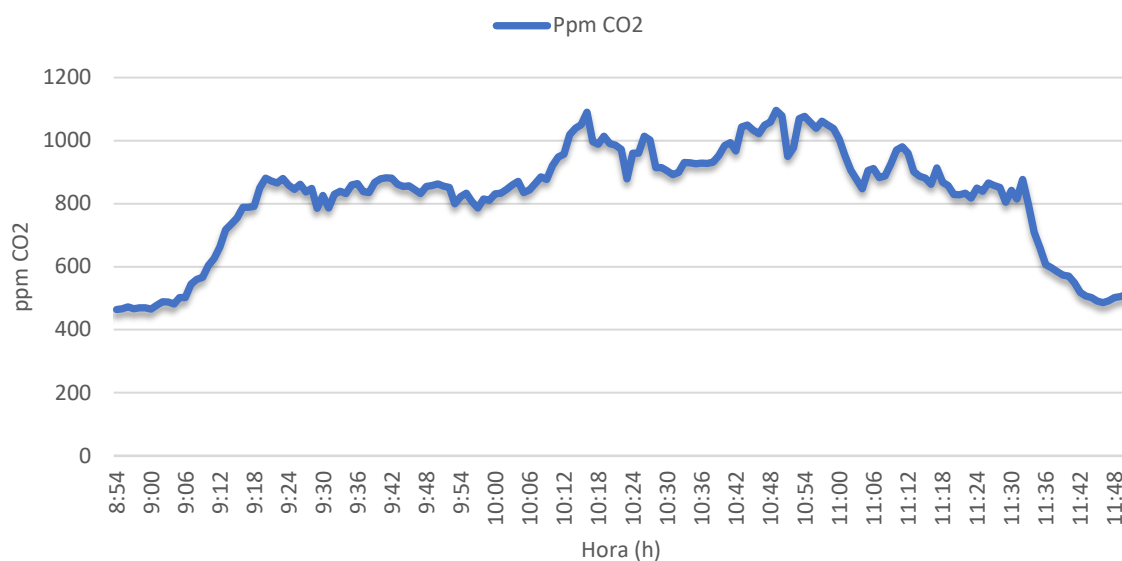
Detalle de abertura al aula contigua

CEIP LOS GLACIS (2ºA EP)

Centro: CEIP Los Glacis	Aula: 2ºA EP	Fecha: 01/12/2020
Nº de personas: 25+2	Calefacción: No	Tª máxima del día: 18,3°C
Espacio por persona (m²/persona): 2,4		Tª mínima del día: 6,7°C
Volumen por persona (m³/persona): 6,8	Tipo de ventilación: Natural	
Datos del aula:		
Dimensiones (LxAnxAI): 8,87 x 6,89 x 2,77 m		
Superficie = 61,1 m²		
Volumen = 169,2 m³		
Superficie máxima de apertura de ventanas al exterior (VE): 4 x (1,05 x 0,50) = 4 x 0,52 = 2,1 m²		
Altura alféizar ventana: 1,00 m		
Foto del aula:		



Resultados:



Acciones:

8:54. Inicio de medición en exterior.
 09:00 Cambio de la sonda al interior del aula. Se mantienen abiertas ventanas 3xVE 100% y persianas subidas 0,50 m.
 09:05. Entra el alumnado en el aula.
 09:15. Se bajan las persianas de 3 ventanas, quedando abierta la ventana 1xVE 100% frente a la puerta, debido a reflejos del sol en las mesas del alumnado.
 10:59 Cambio de posición de la sonda (ventana-puerta)
 11:30. Recreo. Sale el alumnado del aula.

Comentarios:

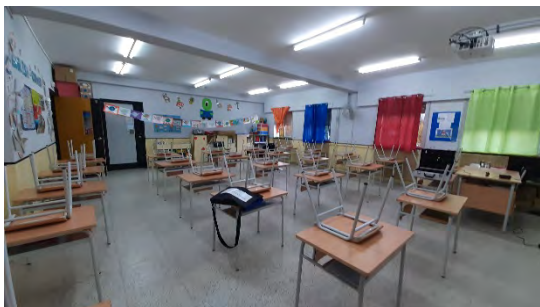
- Después de la entrada del alumnado, la concentración experimenta un ascenso constante que se estabiliza en algo más de 800 ppm. Tras bajar totalmente las persianas de tres ventanas, se alcanza un pico de algo más de 1000 ppm, manteniéndose con subidas y bajadas la concentración en torno a este valor.
- Se cambia la sonda de posición dentro del aula para comprobar la concentración en otro punto, a priori más favorable desde el punto de vista de la ventilación.
- Al situarse en la línea entre ventana y puerta, se observa que la concentración comienza a descender y estabilizarse sobre las 800 ppm, para continuar con un descenso acusado de 300 ppm en menos de 5 minutos tras abandonar el alumnado el aula y proceder a la apertura de las ventanas cerradas.

Otras cuestiones relevantes:

- La sonda se situó en aquel punto más desfavorable de ventilación, de forma que fuera afectada lo menos posible por la influencia del alumnado. Posteriormente se trasladó al punto medio de la perpendicular puerta-ventana.
- La incidencia del sol sobre la pizarra hace que, en esta aula concreta, se tienda a mantener sus ventanas cerradas. Esta configuración es espacialmente desfavorable para la ventilación, por ello se efectuó aquí la medición. Se han dado pautas al centro para que puedan mantener las ventanas abiertas sin problemas de deslumbramiento.
- Durante el periodo de estudio había dos docentes en el aula.

Valoración:

- El cierre de las ventanas más alejadas con respecto a la puerta tiene especial incidencia en el aumento de la concentración, al reducirse la ventilación cruzada.
- Una ventilación cruzada manteniéndose únicamente abierta la puerta y la ventana situada justo en frente, no es suficiente para garantizar una adecuada ventilación del aula, y en particular, cuando la densidad de ocupación no es baja.
- Se debe mantener una ventilación cruzada constante y permanente a través de puertas y ventanas situadas lo más alejadas posible una de la otra, siendo preferible mantener abiertas en todas las ventanas disponibles.

Anexo fotográfico:

Detalle del aula desde el punto de medición



Detalle del aula desde las ventanas

CEIP LOS GLACIS (6ºB EP)

Centro: CEIP Los Glacis	Aula: 6ºB EP	Fecha: 01/12/2020
Nº de personas: 17+1	Calefacción: No	Tª máxima del día: 18,3°C
Espacio por persona (m²/persona): 3,7		Tª mínima del día: 6,7°C
Volumen por persona (m³/persona): 10,2	Tipo de ventilación: Natural	

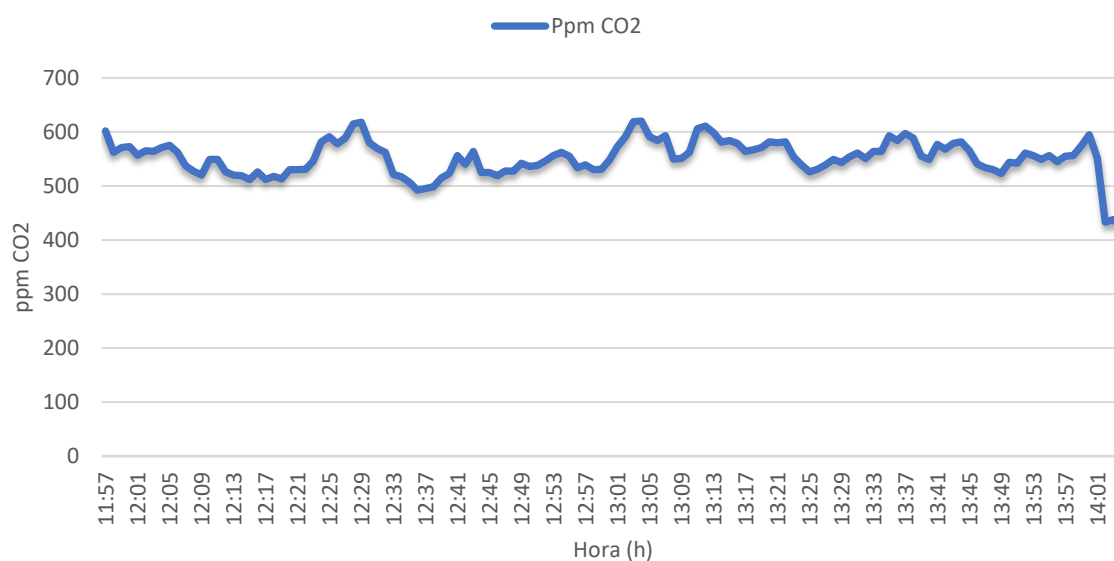
Datos del aula:

Dimensiones (LxAnxAl): 9,25 x 6,75 x 2,77 m **Superficie** = 62,4 m² **Volumen** = 172,8 m³
 Superficie máxima de apertura de ventanas al exterior (VE): 4 x (1,05x0,50) = 2,1 m²
 Superficie máxima de apertura de ventanas al pasillo (VP): 4 x (0,63 x 0,48) = 1,20 m²
 Altura alféizar ventana: 1,00 m **Altura alféizar ventana pasillo:** 2,12 m

Foto del aula:



Resultados:



Acciones:

11:57. Inicio de medición en aula. El alumnado ya estaba presente en el aula. Ventanas al exterior y al pasillo abiertas, así como la puerta abierta.
 12:23. Cierre de la puerta.
 14:00. Sale el alumnado del aula.
 14:02. Medición en el exterior.

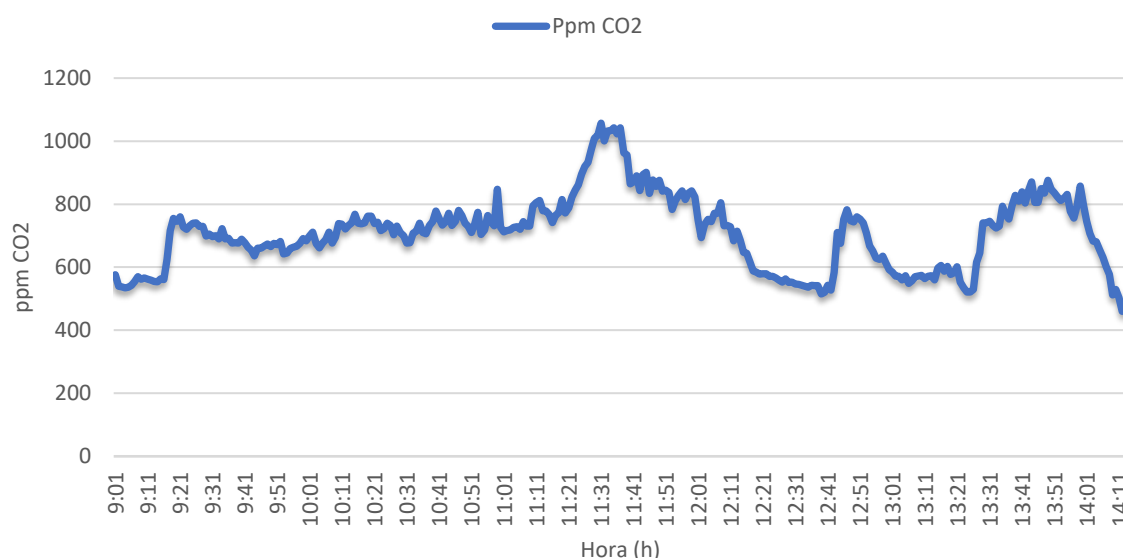
Comentarios:	
• Al mantenerse estable la concentración en torno a 550 ppm, se procede a comprobar la incidencia que pudiera tener el cierre de la puerta. • La concentración se mantiene estabilizada en torno a 550 ppm.	
Otras cuestiones relevantes:	
• La sonda se situó en aquel punto más desfavorable de ventilación, de forma que fuera afectada lo menos posible por la influencia del alumnado.	
Valoración:	
• Una mayor relación de espacio por persona unida a una mayor ventilación cruzada permite garantizar que la concentración se mantenga en niveles bajos. • El cierre de la puerta no ha tenido efectos en el aumento de la concentración puesto que en el aula existía ventilación cruzada, al disponer de aberturas en paredes enfrentadas a distintas alturas. • No obstante, el cierre de la puerta podría tener efectos en otras aulas.	
Anexo fotográfico:	
 Detalle de las ventanas superiores al pasillo abiertas	 Detalle del aula desde la puerta

CEIP NTRA. SRA. DE BÓTOA (4ºB EP)

Centro: CEIP Nra. Sra. De Bótoa	Aula: 4ºB EP	Fecha: 23/11/2020
Nº de personas: 12+1	Calefacción: Si	Tª máxima del día: 18,3°C (14:50 h)
Espacio por persona (m²/persona): 2,8		Tª mínima del día: 4,5°C (06:30 h)
Volumen por persona (m³/persona): 7,6	Tipo de ventilación: Natural y forzada (1 rejilla impulsión)	
Datos del aula:		
Dimensiones (LxAnxAI): 8,34 x 6,99 x 2,72 m		
Superficie = 58,3 m²		Volumen = 159,6 m³
Superficie máxima de apertura de ventanas al exterior (VE): 3 x (1,02x0,92) = 2,81 m²		
Altura alféizar ventana: 1,20 m		
Foto del aula:		



Resultados:



Acciones:

09:01. Inicio de medición en exterior.
 09:05 Cambio de la sonda al interior del aula. Apertura de ventanas 1xVE 100% y 2xVE 50%. Ventilación forzada funcionando.
 09:10. Entra el alumnado en el aula.
 11:05. Cierre de la puerta del aula de enfrente.
 11:30. Se ha abierto la puerta del aula de enfrente.
 12:08. Recreo. Sale el alumnado del aula.
 12:38. Entra alumnado en el aula.
 12:45. Sale alumnado a clase de Educación Física.
 13:19. Entra alumnado de clase de Educación Física.
 13:54. Sale alumnado del aula.
 14:06. Medición en el exterior.

Comentarios:

- Después de la entrada del alumnado, la concentración experimenta un ascenso rápido hasta mantenerse sobre 750 ppm con la configuración inicial de partida.
- Tras el cierre de la puerta del aula de enfrente, la concentración experimenta un rápido ascenso hasta rebasar 1000 ppm en menos de 25 minutos. A las 11:05 horas, se cerró la puerta del aula de enfrente, experimentándose un ascenso rápido de la concentración, que cayó bruscamente, al volver a abrir la puerta, hasta valores próximos a 750 ppm.
- Tras salir el alumnado al recreo, la concentración sigue en descenso hasta situarse en valores próximos a la inicial de partida.
- Al regresar el alumnado al recreo, en menos de 7 minutos crece la concentración a valores cercanos al objetivo y decrece nuevamente al salir el alumnado a la clase de Educación Física.
- Al volver el alumnado al aula, la concentración experimenta un rápido ascenso y posteriormente en aumento progresivo hasta rebasar un corto periodo de tiempo la concentración objetivo.
- Una vez que abandona el alumnado el aula, la concentración desciende rápidamente.

Otras cuestiones relevantes:

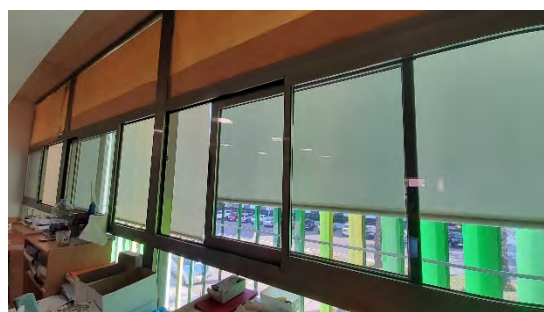
- La sonda se situó en aquel punto más desfavorable de ventilación, de forma que fuera afectada lo menos posible por la influencia del alumnado.
- Los estores exteriores estaban por debajo del alféizar de la ventana, excepto en una de ellas, dificultando la entrada de aire exterior.
- Durante el periodo de estudio no se apreciaron corrientes de aire.
- Tras la clase de Educación Física, el alumnado estaba sudoroso (indicador evidente de un mayor consumo metabólico), con una respiración más agitada, generando una mayor cantidad de CO₂ respecto a periodos previos a la realización de actividad física intensa.
- A partir de las 14:03 h, se estaba desarrollando una tutoría con 2 personas

Valoración:

- El sistema de renovación de aire del centro (ventilación forzada), por sí solo, no es capaz de mantener la concentración por debajo de lo recomendado, por lo que es necesario aporte de aire exterior mediante la ventilación natural con la apertura de las ventanas.
- En esta aula se comprueba que, a pesar de tener las ventanas abiertas, los estores dificultan la entrada natural del aire (no se apreciaron corrientes de aire, que sí se midieron en dependencias sin estores).
- Se ha observado cómo el cierre de una puerta de otra aula incide de manera especial en la ventilación del aula de estudio.
- Para garantizar de forma permanente y constante una adecuada ventilación cruzada, deben mantenerse todas las puertas de las aulas abiertas, ya que el cierre de alguna puede afectar a las demás.
- Con una configuración similar de aperturas de ventanas y puerta, tanto al inicio de la jornada como tras la clase de Educación Física, se aprecia una mayor concentración de CO₂ cuando el alumnado acaba de realizar actividad física intensa. Por ello, sería muy recomendable que, una vez finalizada la clase de educación física, se respete un periodo de recuperación de, al menos, 5 minutos en el exterior, con el objetivo de minimizar la emisión de CO₂ en el aula.

Anexo fotográfico:

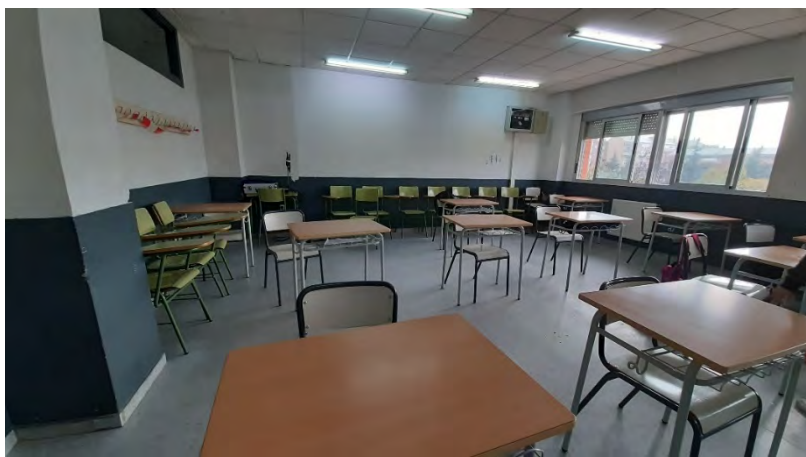
Rejilla del sistema de ventilación forzada (40x25cm)



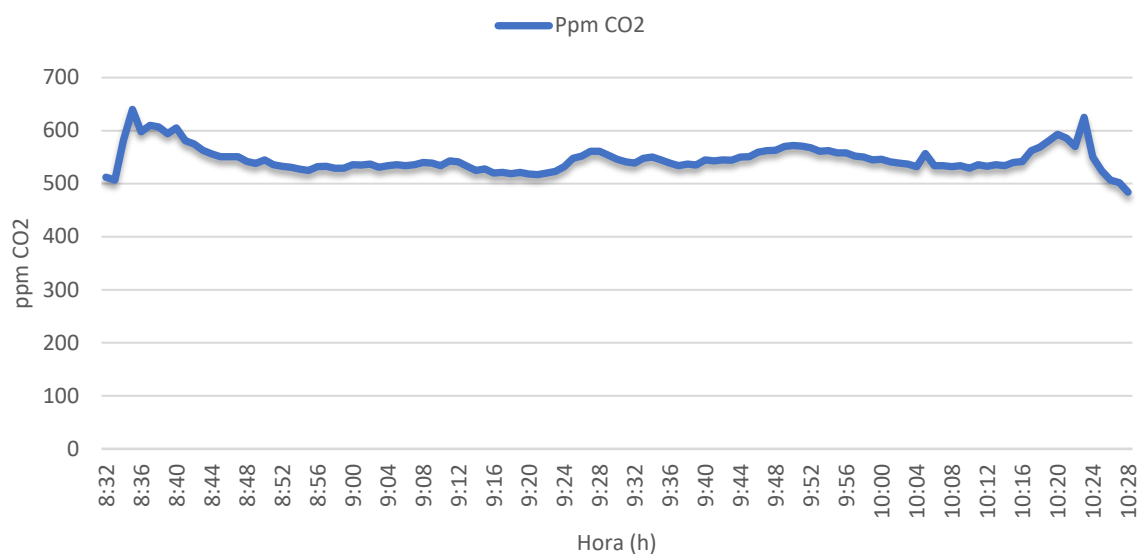
Detalle de ventanas y estores

IES BIOCLIMÁTICO (2ºE1 ESO)

Centro: IES Bioclimático	Aula: 2ºE1 ESO	Fecha: 18/11/2020
Nº de personas: 12 + 1	Calefacción: No	Tª máxima del día: 23,3°C (15:00 h)
Espacio por persona (m²/persona): 3,9		Tª mínima del día: 9,6°C (07:30 h)
Volumen por persona (m³/persona): 10,5	Tipo de ventilación: Natural	
Datos del aula:		
Dimensiones (LxAnxAl) = 6,35 x 7,45 x 2,67 m		
Superficie = 47,3 m²		Volumen = 126,3 m³
Superficie máxima de apertura de ventanas al exterior (VE): 4 x (0,35x1,03) = 1,44 m²		
Altura alféizar ventana exterior: 1,06 m		
Foto del aula:		



Resultados:



Acciones:

- 08:32. Inicio de medición en el exterior.
- 08:35. Cambio de la sonda al interior del aula. Apertura de ventanas 4xVE 50%, persianas 100% y puerta abierta.
- 08:40. Entra el alumnado en el aula. Solo 7.
- 10:25. Recreo. Sale el alumnado.
- 10:24. Medición en el exterior.

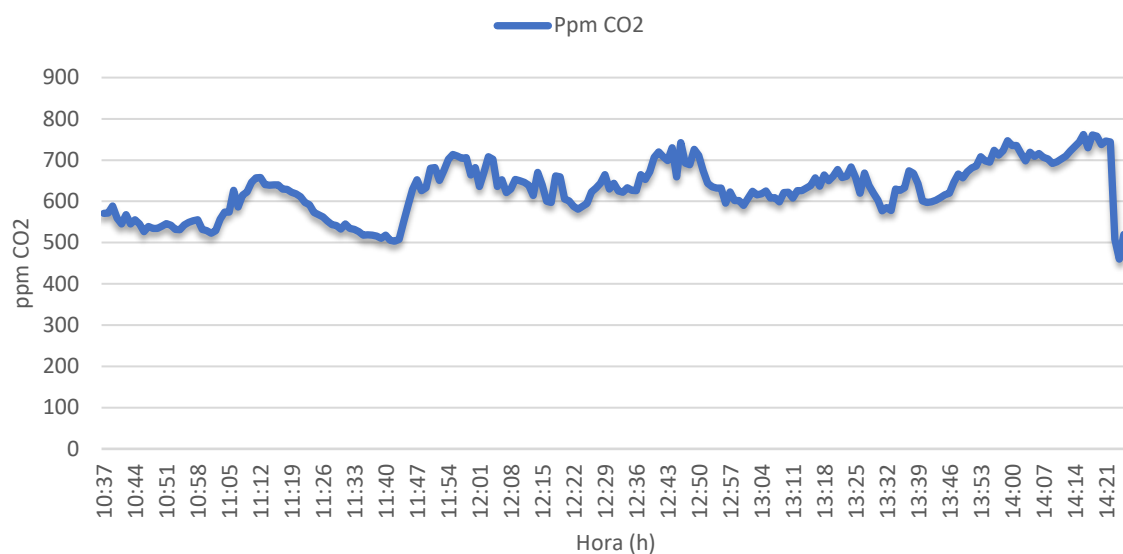
Comentarios:	
• Esta aula tiene un espacio por persona elevado (3,9 m²/persona) y el día de la medición era aún mayor (6,75 m²/persona), lo que hizo que la concentración se mantuviera prácticamente constante alrededor de 550 ppm. • Debido al bajo número de alumnos presente este día, se decidió medir en otra aula con mayor número de personas.	
Otras cuestiones relevantes:	
• La sonda se situó en aquel punto más desfavorable de ventilación, de forma que fuera afectada lo menos posible por la influencia del alumnado. • Durante el periodo de medición, no se apreciaban la entrada de corrientes de aire desde el exterior.	
Valoración:	
• Cuando el espacio por persona es alto, la generación de CO₂ de los ocupantes tiene un mayor volumen de aire para diluirse, lo cual se traduce en una menor concentración de CO₂. • Si el espacio por persona es elevado, pueden mantenerse aberturas mínimas en las ventanas.	
Anexo fotográfico:	
	
Detalle de las ventanas	Detalle del pasillo

IES BIOCLIMÁTICO (4ºB1 ESO)

Centro: IES Bioclimático	Aula: 4ºB1 ESO	Fecha: 18/11/2020
Nº de personas: 15 + 1	Calefacción: No	Tª máxima del día: 23,3°C (15:00 h)
Espacio por persona (m²/persona): 4,7		Tª mínima del día: 9,6°C (07:30 h)
Volumen por persona (m³/persona): 12,6	Tipo de ventilación: Natural	
Datos del aula:		
Dimensiones (LxAxAI) = 8,36 x 8,45 x 2,67 m		
Superficie = 70,6 m²		Volumen = 188,5 m³
Superficie máxima de apertura de ventanas al exterior (VE): 12 x (0,725x1,07) = 9,31 m²		
Altura alféizar ventana exterior: 1,03 m		
Foto del aula:		



Resultados:



Acciones:

- 10:37. Inicio de medición en aula.
- 11:02. Cierre de ventana fondo.
- 11:11. Recreo. Sale el alumnado del aula.
- 11:34. Entra el alumnado en el aula. Persianas subidas 80 cm y ventanas abiertas el 50%.
- 11:42. Entra alumnado en el aula.
- 12:24. Apertura solo de 1xVE 50%.
- 12:50. Apertura ventanas 5xVE 50%
- 13:33. Cierre de puerta
- 14:19. Sale el alumnado.
- 14:26. Medición en el exterior.

Comentarios:

- Se comienza la medición con el alumnado en el aula.
- Al salir el alumnado al recreo, la concentración desciende hasta situarse en 500 ppm.
- Durante este tiempo, se experimenta con una nueva configuración de ventanas y persianas, 5xVE 50% y persianas subidas 80 cm, para ver la respuesta.
- Al entrar el alumnado del recreo, tras la subida inicial, se mantiene estabilizada sobre 650 ppm. Se decide cerrarlas todas excepto una de ellas, subiendo a 726 ppm en algo menos de 20 minutos.
- Se vuelve a la configuración inicial de apertura y se mantiene la concentración sobre 700 ppm.
- Por último, se decide probar una última configuración, cierre de la puerta del aula para comprobar si la ventilación del aula a través de sus ventanas, situadas en paredes adyacentes y perpendiculares, fuera suficiente. La concentración experimenta un ascenso constante hasta situarse en 758 ppm al cabo de 40 minutos, descendiendo rápidamente al abrir la puerta por la salida de alumnado.

Otras cuestiones relevantes:

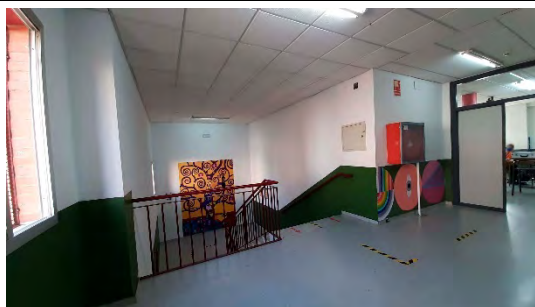
- La sonda se situó en aquel punto más desfavorable de ventilación, de forma que fuera afectada lo menos posible por la influencia del alumnado.

Valoración:

- Se vuelve a comprobar que, cuando el espacio por persona es elevado, la concentración de CO₂ se mantiene por debajo del valor objetivo.
- Una elevada relación de espacio por persona permite mantener aberturas mínimas de ventanas.
- La ventilación cruzada lograda a través de ventanas situadas en paredes adyacentes durante el cierre de la puerta logra mantener la concentración por debajo de las 800 ppm. No obstante, no se recomienda el cierre, pues el mismo podría afectar a la ventilación de otras aulas al dificultar la generación de corrientes de aire.
- Los pasillos deben mantenerse ventilados para que las aulas dispongan de aberturas de entrada y salida y favorecer su ventilación cruzada.

Anexo fotográfico:

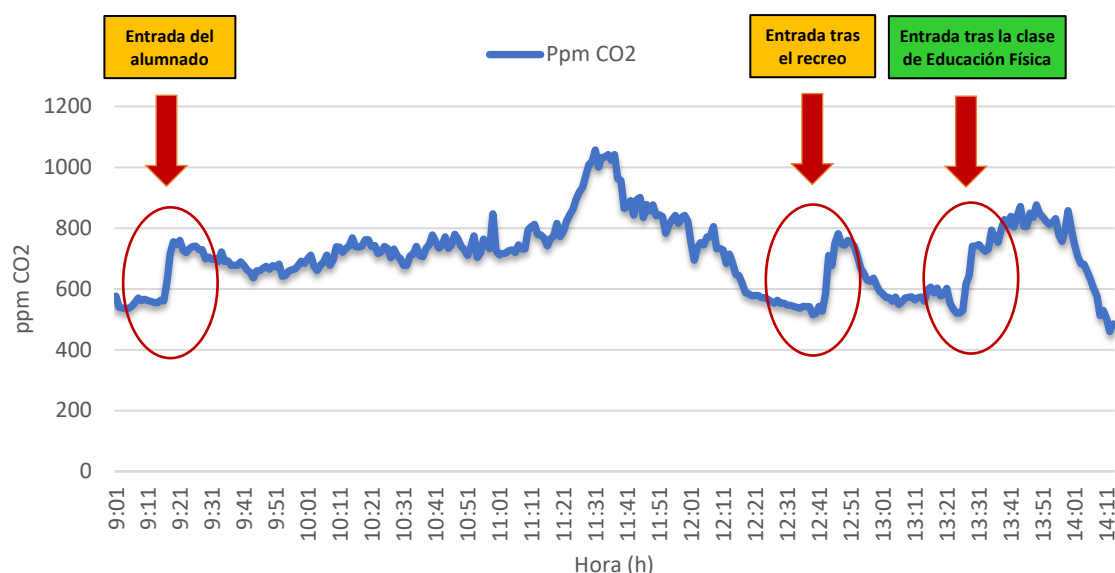
Configuración de ventanas al 50% y persianas subidas 80 cm



Vista del aula desde el pasillo

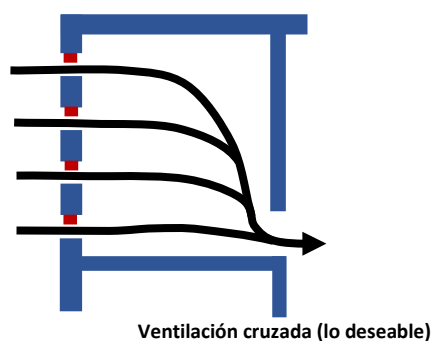
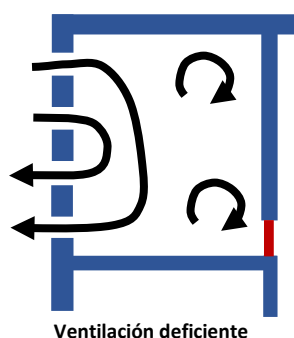
7. CONCLUSIONES

En todos los casos analizados, se experimenta un ascenso rápido de la concentración de CO₂ a los pocos minutos de la entrada del alumnado. Igualmente, se registra después del recreo, y en particular, después de las clases de educación física un incremento sobre el nivel que podríamos llamar normal, debido a que el aumento de actividad implica un mayor consumo metabólico y más generación de CO₂.

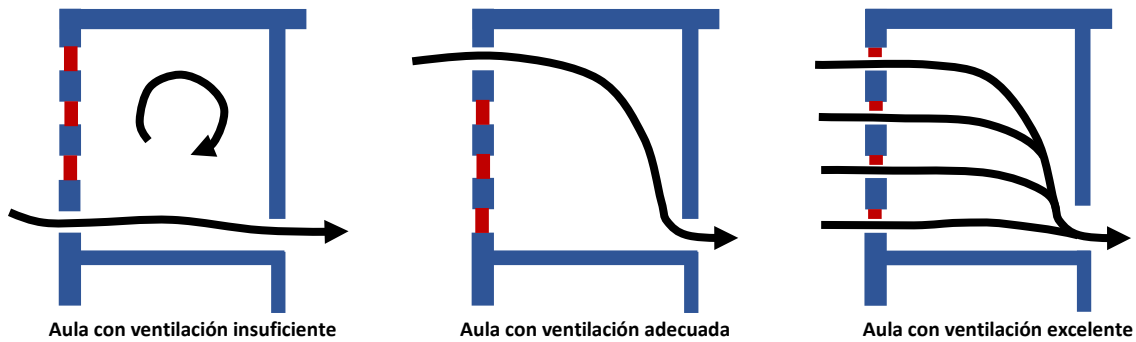


Los picos puntuales registrados en algunos casos al inicio del proceso de medición pueden asociarse al desplazamiento de la sonda desde la ubicación elegida para la medición de la concentración exterior hasta el punto donde se realizaron las mediciones dentro del aula.

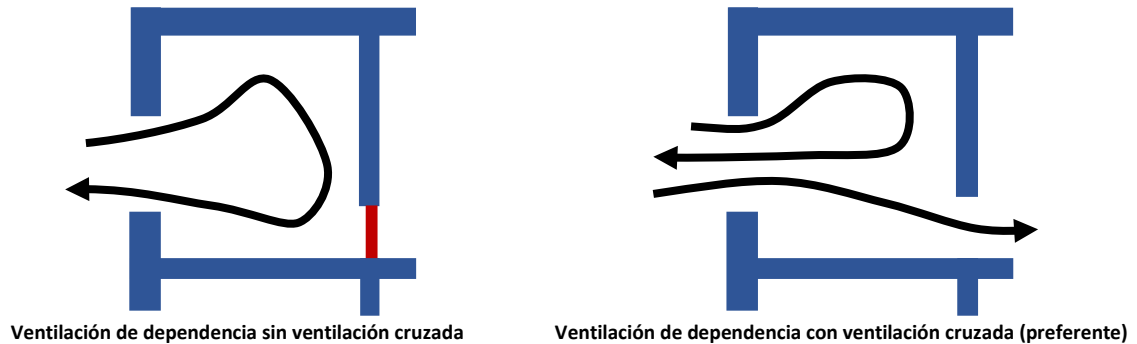
La ventilación cruzada, consistente en apertura de ventanas y puertas situadas en lados opuestos de la dependencia es más efectiva que la apertura de huecos en un solo paramento.



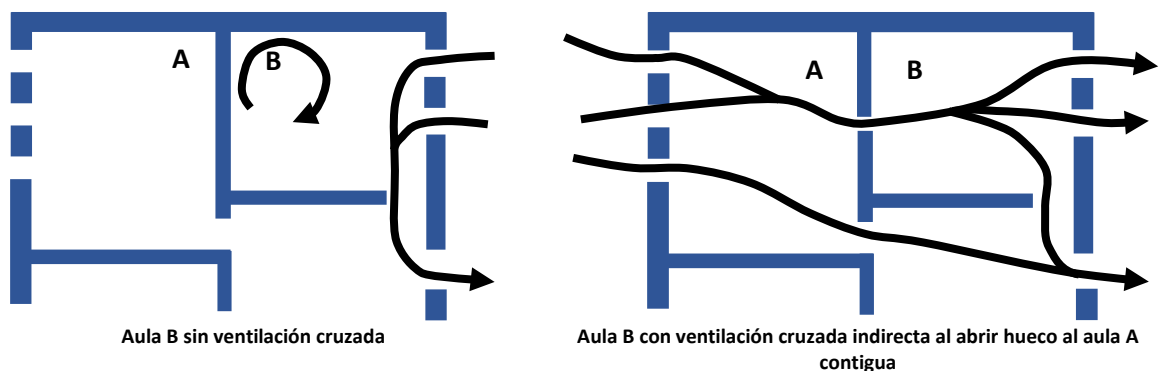
A continuación, se muestran configuraciones teóricas de apertura de puerta y ventanas y los comportamientos previsibles, con resultados muy dispares (*CEIP Los Glacis, 2ª EP*):



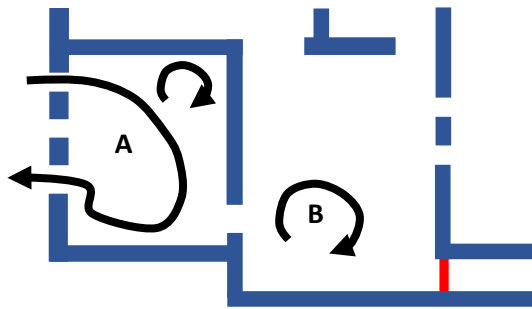
En reducidas ocasiones puede alcanzarse ventilación suficiente sin ventilación cruzada. Podría conseguirse en dependencias con muy baja densidad de ocupación, de ancho reducido, con ventanas en la pared de mayor longitud.



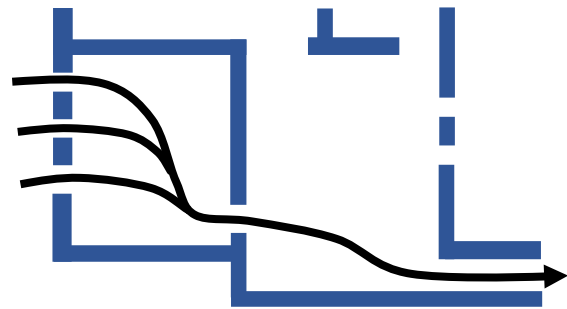
Incluso en dependencias sin ventilación directa al exterior puede conseguirse una ventilación adecuada dejando abiertos huecos en paramentos opuestos comunicados con dependencias que sí disponen de ventilación directa al exterior.



Es importante que, si los pasillos disponen de ventanas, se mantengan abiertas para favorecer la ventilación cruzada. De igual forma deben mantenerse abiertas las puertas de los pasillos (CEIP Guadiana, 4ª EP). Por la misma razón, también es necesario que permanezcan abiertas, al menos parcialmente, las puertas de las aulas.

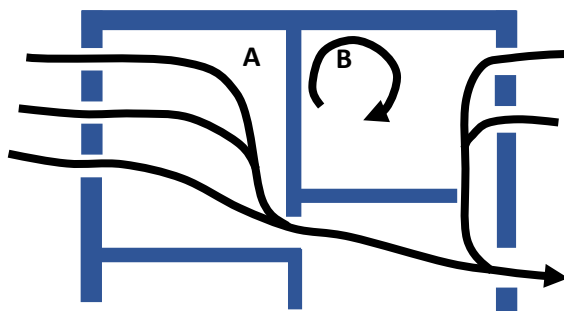


Puerta del pasillo cerrada, afectando al aula A. En la zona B, ausencia de corriente de aire

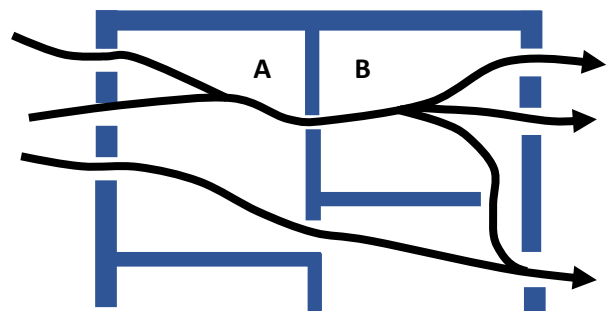


Puerta del pasillo abierta, favoreciendo la ventilación

Es difícil conseguir ventilación cruzada cuando las ventanas y puertas se encuentren situadas muy próximas. En cambio, una abertura a un espacio contiguo, aun siendo pequeña, gracias a la ventilación cruzada, mejora significativamente el resultado (CEIP Guadiana, 5ª EP).

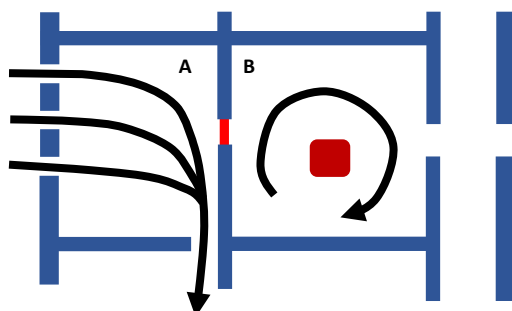


Aula B sin ventilación cruzada



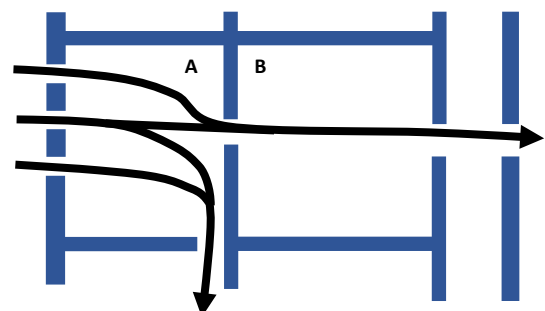
Dotación de ventilación cruzada indirecta del aula B a través de una abertura al aula A

Si una dependencia no dispone de ventilación directa al exterior y se le dota de una abertura que la comuniqué con un espacio que sí tenga aberturas al exterior, gracias a la ventilación cruzada indirecta, mejora sustancialmente la calidad del aire en pocos minutos (El Payaso Fofó, Brujitas I). En el caso mencionado incluso sería innecesario el filtro HEPA instalado.



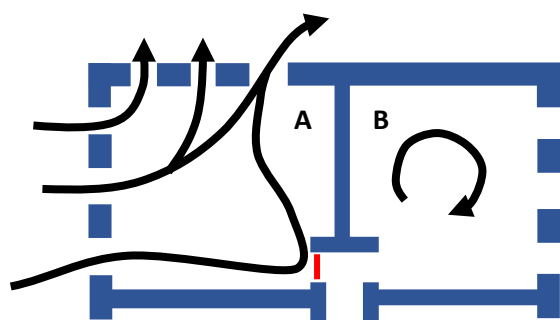
Purificador con filtro HEPA

Aula B, sin ventilación directa al exterior. Disposición de filtro HEPA

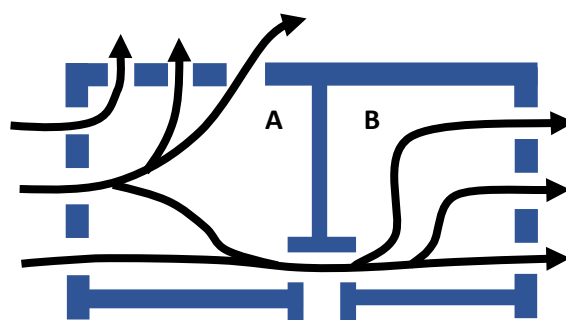


Aula B, con ventilación cruzada indirecta a través del aula A

Hay aulas que en las que la puerta podría mantenerse cerrada, ya que disponen de ventanas en paredes adyacentes, lo que garantizaría ventilación cruzada. No obstante, el cierre de esa puerta puede afectar a otras dependencias al taponarse el punto de entrada o salida de la corriente de aire hacia las mismas. Por ello, deben mantenerse todas las puertas abiertas.

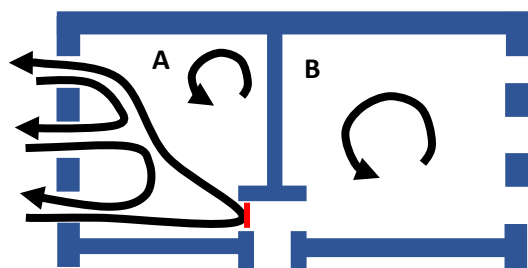


Interferencia del cierre de la puerta del aula A en el aula B

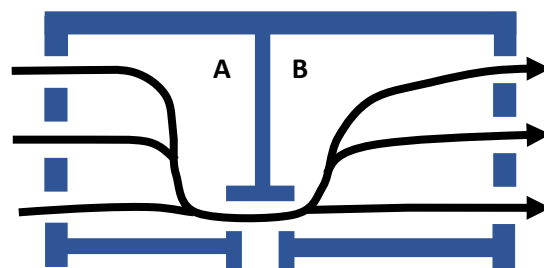


Mejora de la ventilación del aula B con la apertura de la puerta del aula A

Como se ha indicado, el cierre de la puerta de aula puede afectar tanto a la propia como a otras que se encuentren próximas o algo más lejanas (*CEIP Ntra. Sra. de Bótoa*).

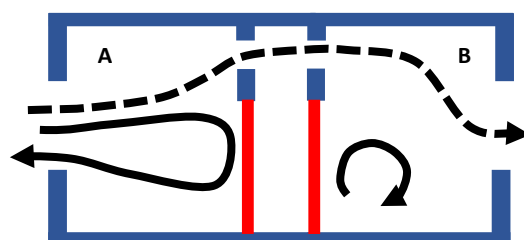


El cierre de la puerta del aula A, afecta al aula B y a la propia A

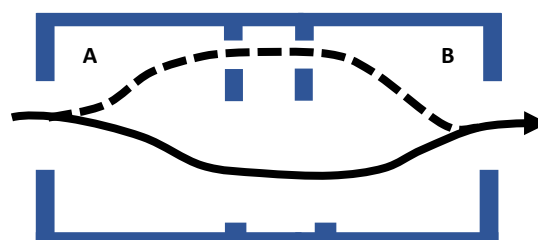


La apertura de la puerta del aula A dota de ventilación cruzada a ambas aulas

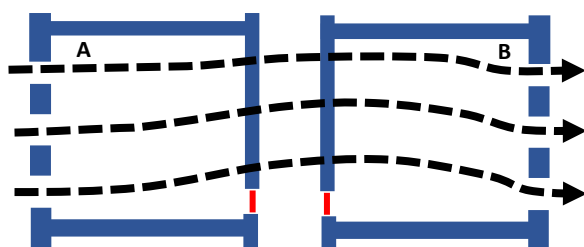
Existen aulas con ventanas en la zona superior que las comunican con el pasillo. El cierre de la puerta podría no afectar a la ventilación puesto que se seguiría disponiendo de aberturas de entrada y salida de aire (*CEIP Los Glacis, 6ºB*). No obstante, el cierre de puertas podría afectar a otras aulas, cercanas o incluso más lejanas.



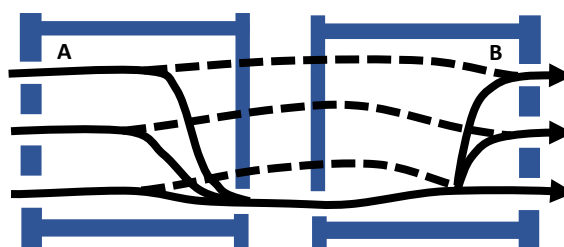
Alzado. El cierre de las puertas puede afectar al aula B



Alzado. Ventilación cruzada en aulas A y B



Planta. El cierre de las puertas puede afectar al aula B



Planta. Ventilación cruzada en aulas A y B

La relación de espacio por persona ($\text{m}^2/\text{persona}$) tiene especial incidencia en la concentración de CO_2 . Cuando dicha relación es superior a 3,5, no son necesarias grandes aperturas de ventanas. Con valores inferiores, son necesarias aperturas mayores.

Las condiciones ambientales exteriores influyen en la ventilación del aula. Una misma configuración de apertura de ventanas y puertas logra diferente ventilación dentro de las aulas dependiendo de la hora y del día (*CEIP Guadiana*). Los días más ventosos permiten una mejor ventilación.

También influye la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior, a mayor diferencia de temperatura, mejor ventilación. Si la calefacción está encendida, la ventilación se ve favorecida.

Si la intensidad del viento es elevada, pueden mantenerse aperturas de ventanas reducidas, aunque la densidad de ocupación sea elevada. Así, en el *CEIP Enrique Covarsí*, con una relación de 1,7 $\text{m}^2/\text{persona}$, se mantuvo la concentración estable, por debajo de 800 ppm, con las ventanas abiertas y las persianas subidas solo 30 cm (la calefacción conectada).

El volumen por persona también tiene cierta influencia en que la concentración se mantenga por debajo del valor objetivo. Cuando mayor sea este volumen, menor será la pendiente de ascenso de la concentración. En cambio, si es menor, será más acusada. No obstante, y a pesar de disponer de un volumen alto, si no existe ventilación, la curva ascenderá progresivamente hasta rebasar la concentración objetivo.

Aulas parecidas en cuanto a configuración física y número de ocupantes registran datos y evolución de la concentración CO_2 similares.

En los casos analizados, sería suficiente mantener quince minutos puerta y ventanas abiertas para llevar a la concentración de partida el nivel de CO_2 de un aula previamente ocupada.

Una vez finalizada la limpieza de las aulas, no es necesario que las ventanas se mantengan abiertas durante toda la noche puesto que la concentración de las aulas ya están en el mismo valor que el exterior. En cambio, si se mantienen abiertas, las aulas se encontrarán más frías en el momento de iniciar la jornada, al haber entrado durante la noche aire exterior frío y con humedad. Sería suficiente abrir las ventanas en el momento de iniciar la actividad.



La combinación de ventilación permanente mediante pequeños huecos y ventilación abundante abriendo completamente puertas y ventanas entre periodos lectivos y durante los recreos, de acuerdo con lo dispuesto en el protocolo preventivo de fecha 1 de septiembre de 2020, completadas mediante las aclaraciones emitidas con fecha 19 de octubre de 2020, permiten, con carácter general, la dilución, hasta niveles no peligrosos, de una eventual concentración de bioaerosoles generada por la presencia de personas contagiadas de coronavirus asintomáticas.

8. MEDIDAS PREVENTIVAS

Deben seguirse adoptando las pautas de ventilación propuestas en el protocolo preventivo de fecha 1 de septiembre de 2020, completadas mediante las aclaraciones emitidas con fecha 19 de octubre de 2020.

Además, se considera importante tener en cuenta las siguientes observaciones y recomendaciones:

- El mantenimiento de ventilación cruzada permanente entre ventanas y puertas situadas en paredes opuestas es la mejor opción.
- Es preferible que todas las ventanas disponibles estén abiertas parcialmente en lugar de dejar una sola totalmente abierta.
- Mantener los pasillos ventilados mejora sensiblemente la ventilación cruzada de las dependencias conectadas con los mismos. Igualmente, mantener las puertas de las aulas abiertas, además de mejorar la ventilación de las mismas al generar ventilación cruzada, mejora la ventilación del resto de dependencias conectadas al mismo pasillo.
- Ventilar durante la noche no incrementa la seguridad. Sin embargo, las condiciones termohigrométricas empeoran sensiblemente. Por tanto, se recomienda, ventilar tras la finalización de la jornada y mantener puertas y ventanas cerradas durante la noche.
- Después de las clases de educación física es recomendable proceder a realizar con el alumnado un periodo de recuperación de unos 5 minutos antes de su vuelta al aula.
- En aquellas dependencias donde la disposición de huecos no sea favorable (sean pocos o no estén situados en paredes opuestas) la ocupación sea muy elevada o se realicen actividades físicas intensas, se podría favorecer la ventilación natural utilizando medios mecánicos (extractores). Si se opta por esta opción no hay que olvidar que hay que garantizar la entrada de aire en la dependencia a través de algún hueco que la conecte, de forma permanente, con el resto del edificio.
- Otra opción a valorar en estos casos sería la utilización de purificadores de aire. No debe olvidarse que los mismos deben ofrecer un caudal de filtración equivalente, al menos, a cinco veces el volumen de la dependencia donde se instalen (ver Ficha de Prevención relativa a Equipos de purificación de aire equipados con Filtros HEPA). También hay que tener en cuenta que los filtros HEPA no permiten controlar el nivel de CO₂.
- En dependencias donde se pueda ventilar de acuerdo con lo dispuesto en el protocolo preventivo de fecha 1 de septiembre de 2020 y las aclaraciones emitidas con fecha 19 de octubre de 2020 los purificadores de aire equipados con filtros HEPA no aportan un incremento de seguridad significativo.
- Conviene recordar que es preferible no realizar actividades que no puede llevarse a cabo con mascarillas (como las meriendas) en el interior de las aulas. Lógicamente, esta recomendación no es aplicable a los grupos de convivencia estable cuyos integrantes no utilicen mascarilla.

9. REFERENCIAS

- Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de prevención de Riesgos Laborales y modificaciones posteriores.
- Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención y modificaciones posteriores.
- Límites de exposición profesional para agentes químicos en España. 2019. Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST).
- Guía para ventilación en las aulas. 2020. CSIC-IDEA.
- 5-step guide to checking ventilation rates in classrooms. 2020. Harvard University.

Mérida, a 21 de diciembre de 2020

El Jefe de Negociado de Riesgos Laborales de
Centros Educativos



Fdo. Javier Tejeda Montesinos