



ANEXO

Guía de ventilación.

CASOS PRÁCTICOS

*Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua, IDAEA-CSIC
Medura*



VERSIÓN 1, 11 de diciembre de 2020

María Cruz Minguillón, Xavier Querol, José Manuel Felisi y Tomás Garrido



Este anexo surge como continuación de la guía para ventilación en aulas, tras la aplicación práctica de las indicaciones que en ella se recogen, explorando posibles situaciones y adaptaciones. El objetivo es determinar recomendaciones más específicas y prácticas, basadas en medidas experimentales reales recientes.

Guía y anexos disponibles en: <http://hdl.handle.net/10261/221538>

Elaborada por: *CSIC-IDAEA, Ministerio de Ciencia e Innovación y Mesura*



Esta guía ha contado con la participación de la Conselleria d'Educació, Cultura i Esports de la Generalitat Valenciana en la conceptualización y la toma de medidas en aulas.



Tabla de contenido

▶ 1. Metodología.	4
▶ 2. Resultados y recomendaciones.	9
2.1 Resultados generales.	10
2.2 Variables concretas y recomendaciones.	12
2.2.1 Ventilación cruzada.	12
2.2.2 Apertura moderada de varias ventanas frente a apertura máxima de una sola ventana.	15
2.2.3 Selección de la configuración adecuada de apertura de ventanas.	16
2.2.4 Apertura de puertas y ventanas de zonas comunes.	17
2.2.5 Apertura de puertas y ventanas al llegar el alumnado, con calefacción previa.	18
2.2.6 Recuperación del aula. Ventilación completa en los descansos.	20
2.2.7 Protocolos de “vuelta a la calma”.	21
2.2.8 Relación volumen del aula/ratio (V/R) de estudiantes por aula.	23
2.2.9 Ventilación en los comedores.	25
2.2.10 Ventilación en días ventosos o con altas diferencias de temperatura.	26
▶ 3. Mapa interactivo.	27
▶ 4. Protocolo de validación.	29
▶ 5. Recomendaciones finales.	29

1. Metodología

1. METODOLOGÍA

Se han llevado a cabo ensayos prácticos entre los días 9 y 10 de noviembre de 2020 en 2 colegios públicos de València. Se evaluó la evolución de CO₂ a lo largo de la jornada lectiva en 40 aulas diferentes y sus espacios comunes, con diferentes configuraciones de ventilación.

Las condiciones meteorológicas fueron muy estables y semejantes en los dos días de muestreo. La velocidad del viento no superó en ningún caso los 9 km/h (2.5 m/s), siendo igual o inferior a 3 km/h (0.8 m/s) la mitad del tiempo (Figura 1). El gradiente de temperaturas interior/ exterior fue muy pequeño. Estas condiciones son **muy desfavorables para la ventilación**. Por tanto se puede asumir que es el peor escenario posible, y que cualquier otro día con otras condiciones meteorológicas se alcanzará una ventilación igual o superior a la alcanzada durante los presentes ensayos.

9 de noviembre de 2020				
Hora	T ³ (°C)	Humedad(%)	Dirección(°)	Velocidad(km/h)
8:00	11,2	79	Oeste	4,0
9:00	12,3	74	Oeste	2,0
10:00	14,3	65	Oeste	3,0
11:00	17,7	53	Calma	0,0
12:00	20,3	43	Sudeste	3,0
13:00	20,3	44	Sur	6,0
14:00	20,3	47	Sudeste	6,0
15:00	20,1	44	Sur	9,0
16:00	20,8	44	Sur	6,0
17:00	19,9	50	Sudeste	5,0

10 de noviembre de 2020				
Hora	T ³ (°C)	Humedad(%)	Dirección(°)	Velocidad(km/h)
8:00	12,6	83	Oeste	0,0
9:00	13,3	83	Noroeste	1,6
10:00	15,9	79	Oeste	1,6
11:00	18,7	69	Calma	0,0
12:00	20,7	54	Calma	0,0
13:00	21,4	52	Sur	1,6
14:00	21,0	55	Sur	4,8
15:00	20,1	65	Sur	9,7
16:00	19,4	69	Sur	8,0
17:00	18,7	76	Sudeste	8,0

Figura 1. Condiciones meteorológicas en el exterior (Fuente: 9 noviembre AEMET Viveros y 10 noviembre AVAMET Torrent).

Todas las mediciones se realizaron en los **puntos críticos** de las aulas. Se entiende por punto crítico la zona del aula más difícil de ventilar según los flujos de aire predominantes. En la práctica, este punto crítico corresponde a una zona alejada de puertas y ventanas, fuera del flujo principal de aire. El punto exacto ha de estar alejado lo máximo posible de cualquier persona y a una altura de 1.5 metros. Esto permite conocer la concentración máxima de CO₂ en cada momento, y por tanto el caso más desfavorable.

Las mediciones se realizaron en diferentes momentos de la jornada lectiva, de manera que en cada espacio se dispone de mediciones en 7 momentos diferentes: inicio de la jornada, antes del patio, durante el patio (aula sin estudiantes), tras el patio, final de la mañana, durante la comida (aula sin estudiantes), tras la comida. Para algunos espacios puede no estar disponible la medida para alguno de los momentos.



Foto 1: Punto crítico en un aula.

Se evaluaron aulas ocupadas, aulas vacías, comedores y zonas comunes.

Se dispone de la siguiente información para todas las medidas:

- volumen del aula (o el espacio a evaluar)
- ratio del alumnado
- V/R (cociente volumen/ratio)
- distribución de puertas y ventanas
- tipo de ventilación y configuración de apertura de puertas y ventanas
- actividad metabólica o intensidad de la actividad del alumnado
- momento de la jornada (y por tanto presencia o ausencia de alumnado)

Se utilizó un medidor de CO₂ AQ110.

AQ 110

Calidad del aire
CO₂ y temperatura

FUNCIONES

- Selección de unidades de temperatura
- Valores máximo y mínimo
- Función HOLD
- Ajuste del apagado automático
- Ajuste de la iluminación de fondo

FUNCIONES DESTACADAS

- Uso sencillo y rápido
- Selección de unidades
- Ajuste de la iluminación de fondo
- Valores máximo/mínimo y función HOLD

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Sensores	CO ₂ : sensor de infrarrojos Temperatura: sensor NTC
Cable	Espiral, long. 0.45 m extendible hasta 2.4 m
Pantalla	LCD de 4 líneas. 50 x 36 mm 2 líneas de 5 dígitos y 7 segmentos (valor) 2 líneas de 5 dígitos y 16 segmentos (unidad)
Carcasa	ABS. IP 54
Teclado	5 teclas
Conformidad	Directivas CEM 2004/108/CE y EN 61010-1
Alimentación	4 pilas de tipo AAA LR03 1.5 V
Autonomía	120 horas
Temperatura de uso	De 0 °C a 50 °C
Temperatura de almacenamiento	De -20 °C a 80 °C
Apagado automático	Ajustable de 0 a 120 min
Peso	340 g
Ambiente de trabajo	Aire y gases neutros

ESPECIFICACIONES

Unidades	Rango de medición	Precisión*	Resolución
CO₂			
ppm	0 a 5000 ppm	±3% del v.m. ±50 ppm	1 ppm
TEMPERATURA			
°C, F	-20 °C a 80 °C	±0.4% del v.m. ±0.3 °C	0.1 °C

* Todas las precisiones indicadas en este documento han sido establecidas en condiciones de laboratorio y se garantizan en mediciones realizadas en las mismas condiciones, o realizadas con las compensaciones necesarias.





Foto 2: Aula vacía



Foto 3: Aula ocupada



Foto 4: Comedor



Foto 5: Apertura de ventanas



Foto 6: Apertura de registros superiores



Foto 7: Zonas comunes

2. Resultados y recomendaciones

2. RESULTADOS Y RECOMENDACIONES

2.1 Resultados generales

Los resultados obtenidos se muestran en las Figuras 2 a 5. Se representan los valores medios de CO₂ en función de diferentes configuraciones y características: apertura de ventanas, apertura de puertas, ratio de estudiantes por aula, momento de la jornada (relacionado con presencia o ausencia de estudiantes en el aula y con el nivel de actividad).

Apertura de las ventanas:

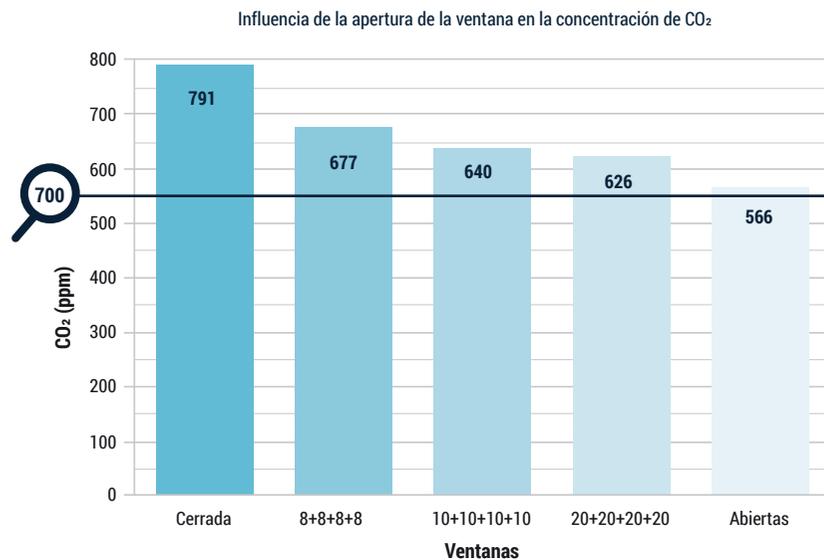


Figura 2. Niveles medios de CO₂ correspondientes a todas las aulas estudiadas según la apertura de las ventanas. Los números indican la apertura en cm de cada hoja de la ventana (correderas) y las repeticiones de las indicaciones corresponden al número de hojas de ventana. Ejemplo: 8+8+8+8: 4 hojas de ventana corredera abierta 8 cm cada una.

Apertura de las puertas:

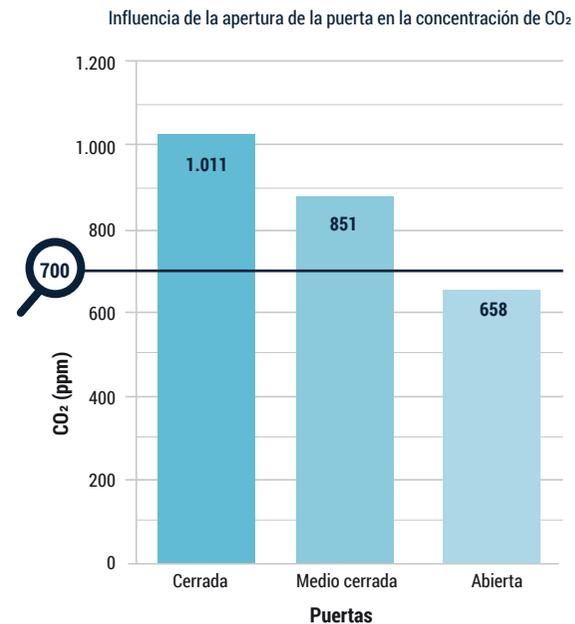


Figura 3. Niveles medios de CO₂ correspondientes a todas las aulas estudiadas según la apertura de las puertas.

Ratio de estudiantes por aula:

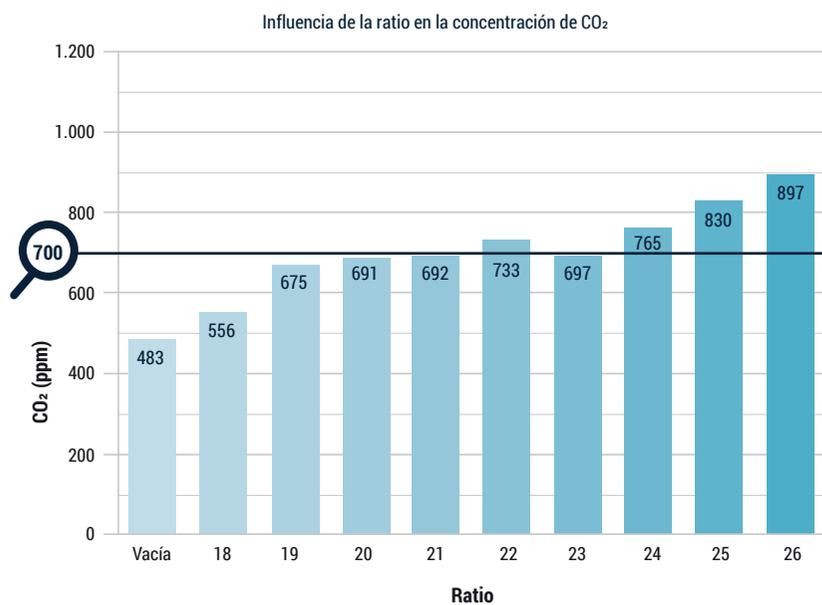


Figura 4. Niveles medios de CO₂ correspondientes a todas las aulas estudiadas según la ratio de estudiantes por aula.

Momento de la jornada (implica intensidad de actividad y presencia o ausencia de estudiantes):

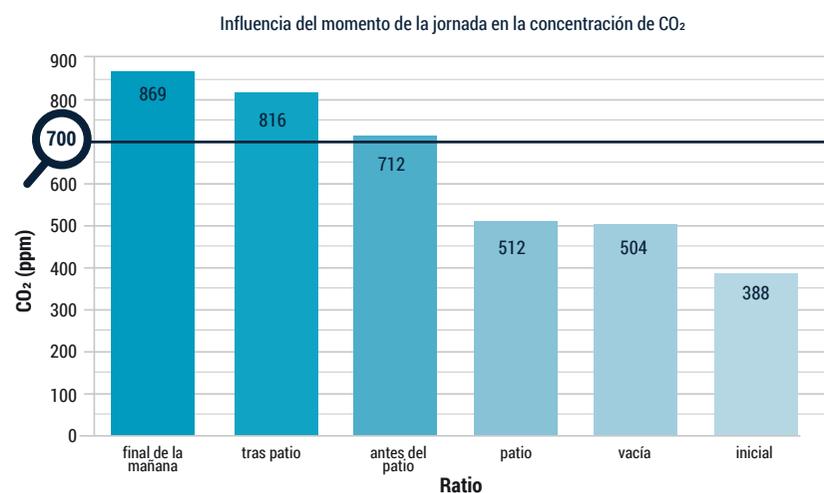


Figura 5. Niveles medios de CO₂ correspondientes a todas las aulas estudiadas según el momento de la jornada lectiva.

2.2 Variables concretas y recomendaciones

2.2.1 Ventilación cruzada.

En aulas similares, es decir, dimensiones y ratio de estudiantes/m² similares, la ventilación conseguida mediante la apertura de puertas y ventanas en lados opuestos (ventilación cruzada) es mejor que la alcanzada con apertura de ventanas únicamente. Por tanto la **ventilación cruzada** es preferible por ser la de mayor eficacia. Esta ventilación debe ser continua. A continuación se presentan ejemplos (Figuras 6,7 y 8).

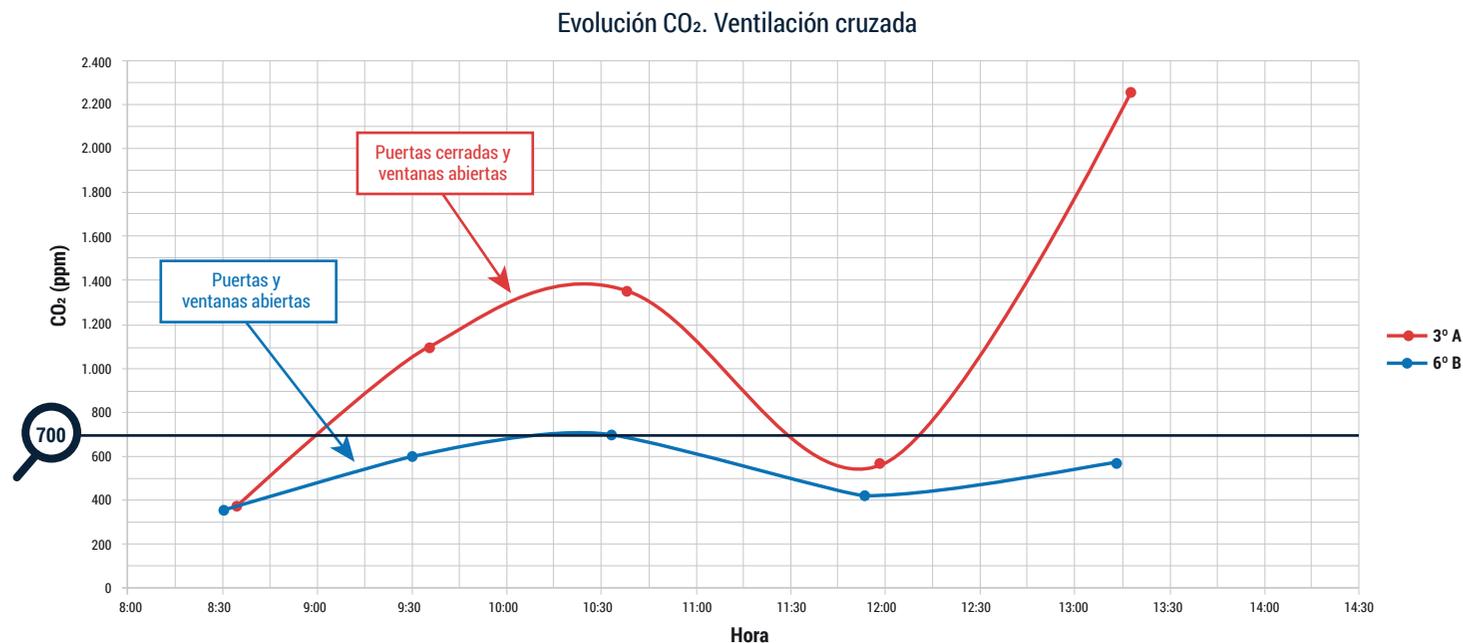


Figura 6. Niveles de CO₂ en diferentes momentos de la jornada en dos aulas con 1 puerta doble y 3 ventanas. Ratio entre 20-25 estudiantes. Ventilación cruzada en el aula de 6º B con puerta y ventanas abiertas; y ventilación NO cruzada en 3º A con ventanas abiertas, pero con puerta cerrada (sólo se abrió en el descanso del patio).

Evolución CO₂ Infantil. Ventilación cruzada

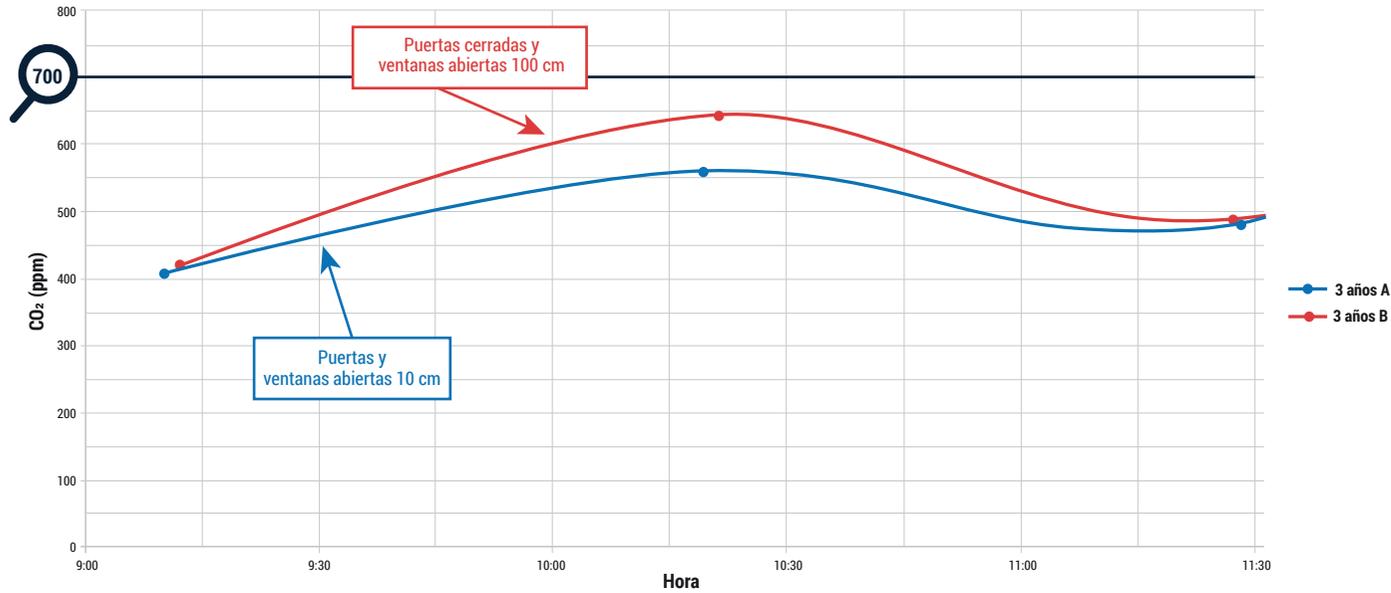
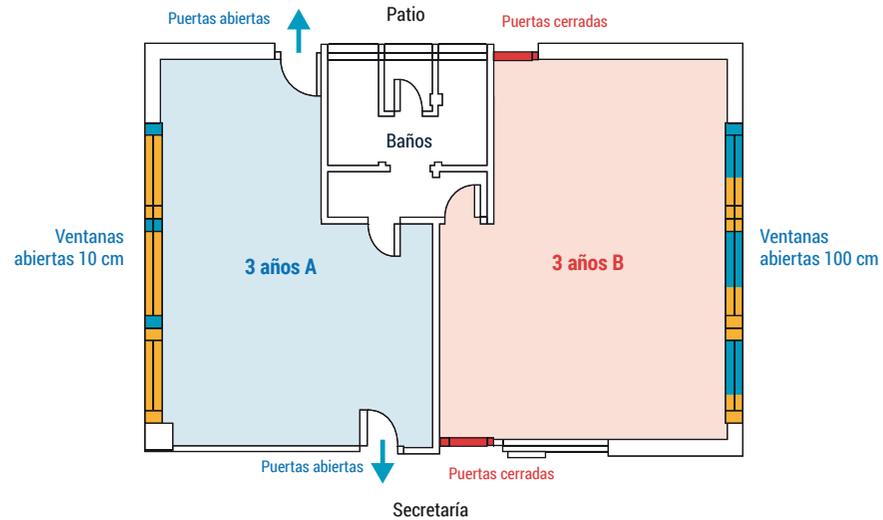


Figura 7. Niveles de CO₂ en diferentes momentos de la jornada en dos aulas gemelas de infantil con 2 puertas y 3 ventanas. Ratio de 21 estudiantes. Ventilación cruzada en el aula de 3 años A con las 2 puertas y ventanas abiertas sólo 3 hojas 10 cm cada una; y ventilación NO cruzada en 3 años B con ventanas abiertas 3 hojas 100 cm cada una y puertas cerradas (se abrieron en el descanso del patio).



Evolución CO₂ en Infantil

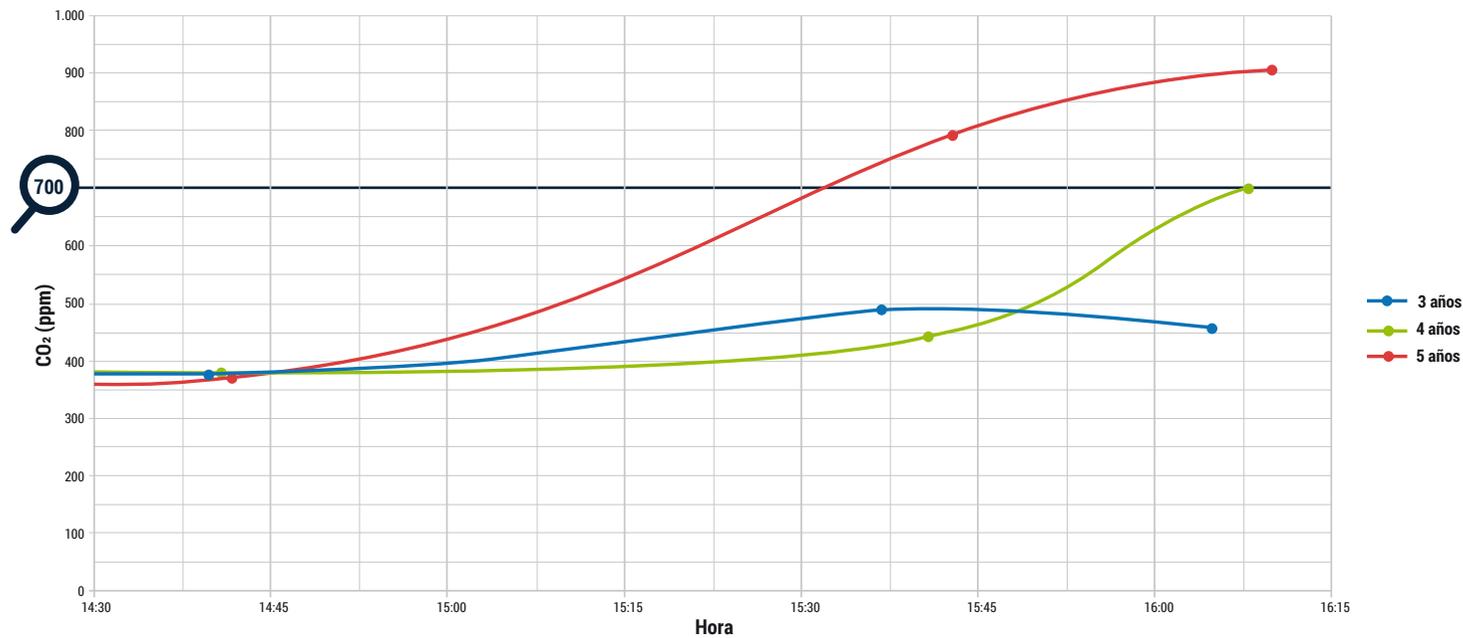
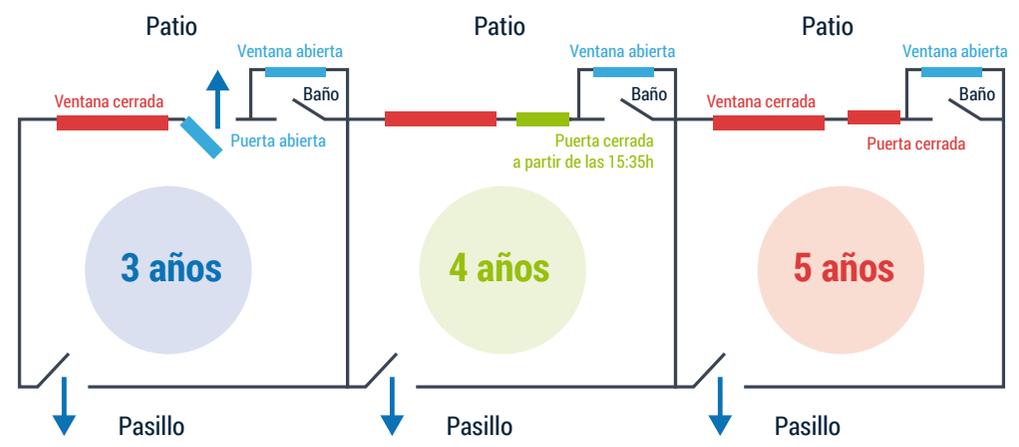


Figura 8. Niveles de CO₂ en diferentes momentos de la jornada en tres aulas de infantil. Las tres aulas disponen de puerta al pasillo, ventana, baño con ventana pequeña y puerta directa al exterior. La puerta del pasillo se mantuvo abierta siempre, la ventana se mantuvo cerrada y la ventana del baño abierta en todos los casos. La apertura de la puerta comunicante con el exterior varía: aula 3 años abierta, aula 4 años abierta hasta las 15:35 y después cerrada, aula 5 años cerrada.



2.2.2 Apertura parcial de varias ventanas frente a apertura máxima de una sola ventana.

Para alcanzar ventilaciones adecuadas es más eficaz abrir de forma parcial varias ventanas (probar entre 10 y 20 centímetros de apertura). Con un **reparto de la apertura entre todas las ventanas del aula se consigue una mejor ventilación**. Cuando las ventanas son correderas y se puede elegir el lado de apertura, es preferible abrir las hojas de las esquinas. También evitar, en la medida de lo posible, las hojas justo encima de los radiadores. Esta apertura parcial puede ayudar a mantener un confort térmico más aceptable si las condiciones meteorológicas son adversas.

2.2.3 Selección de la configuración adecuada de apertura de ventanas.

Para diferentes espacios, **la configuración de la apertura de puertas y ventanas que proporciona una ventilación suficiente puede variar**. Se pueden testar diferentes configuraciones y observar cómo varían las concentraciones de CO₂. La Figura 9 muestra la concentración de CO₂ para tres aulas en las que se modificaron las aperturas de las ventanas, manteniendo la puerta siempre abierta. Aperturas mayores proporcionan mejor ventilación, pero pueden reducir el confort térmico.

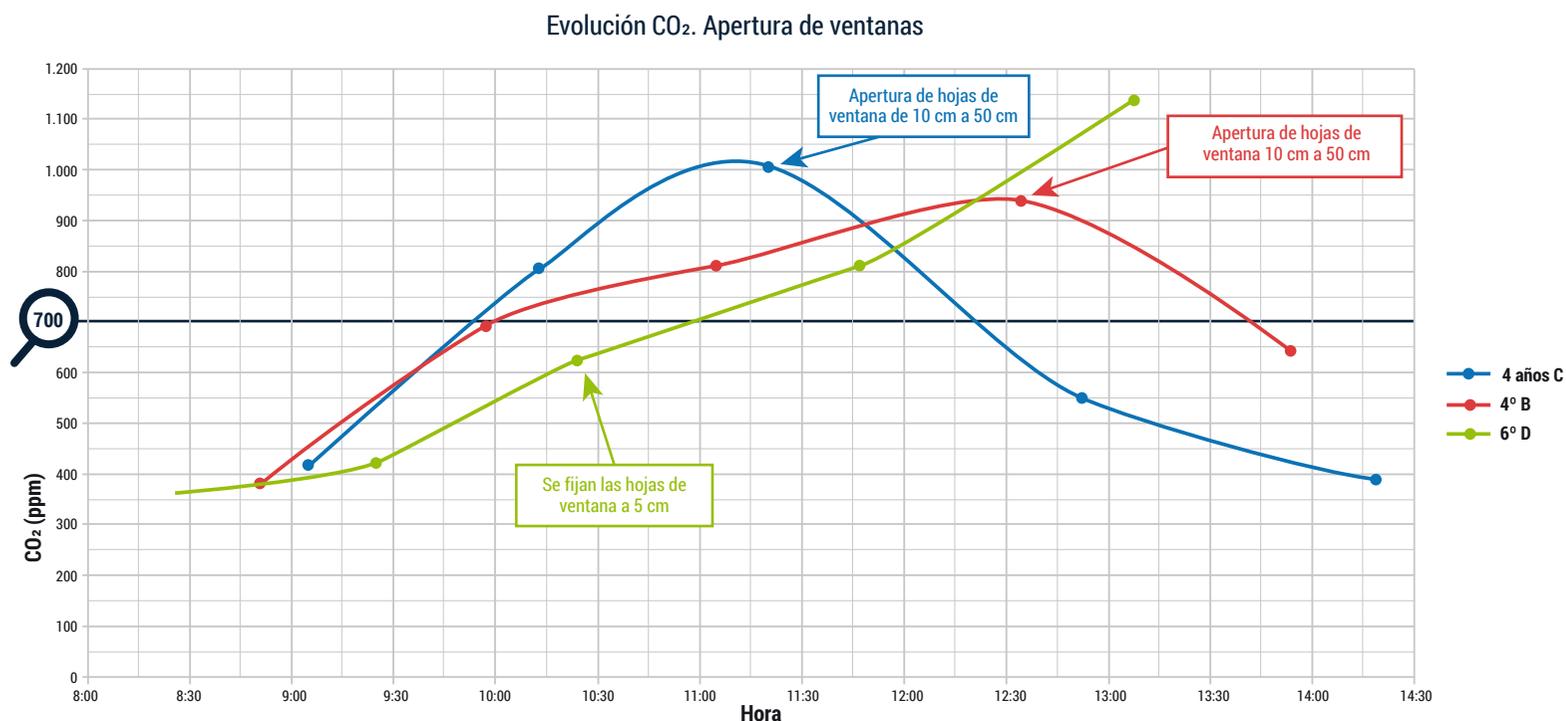


Figura 9. Niveles de CO₂ en tres aulas a lo largo de la jornada lectiva. En 4 años C se abrieron 3 hojas 10 cm cada una hasta las 11:20h y posteriormente se abrieron 3 hojas 50 cm cada una. En 4º B se abrieron 3 hojas 10 cm cada una hasta las 12:35h y posteriormente se abrieron 3 hojas 50 cm cada una. En 6º D se dejan abiertas 4 hojas 5 cm cada una a las 10:25h.

2.2.4 Apertura de puertas y ventanas de zonas comunes.

Como se ha expuesto la ventilación cruzada favorece la circulación de aire. Este aire por tanto circula entre aulas y zonas comunes de un mismo edificio. Por tanto, las **zonas comunes** (pasillos y hall) también han de tener **ventilación con el exterior** para que puedan funcionar como renovadoras de aire extraído de las aulas y se reduzca la potencial contaminación cruzada entre ellas.

En la Figura 10 se muestra la concentración de CO₂ en diferentes aulas y diferentes momentos de la jornada. Una de las aulas permanece vacía toda la mañana (por confinamiento domiciliario del alumnado). Aún estando vacía y teniendo una puerta abierta, un registro superior abierto (ver foto 7) y 4 hojas de las ventanas abiertas 8 cm, la concentración de CO₂ aumenta debido a la contaminación de otras aulas y zonas comunes.

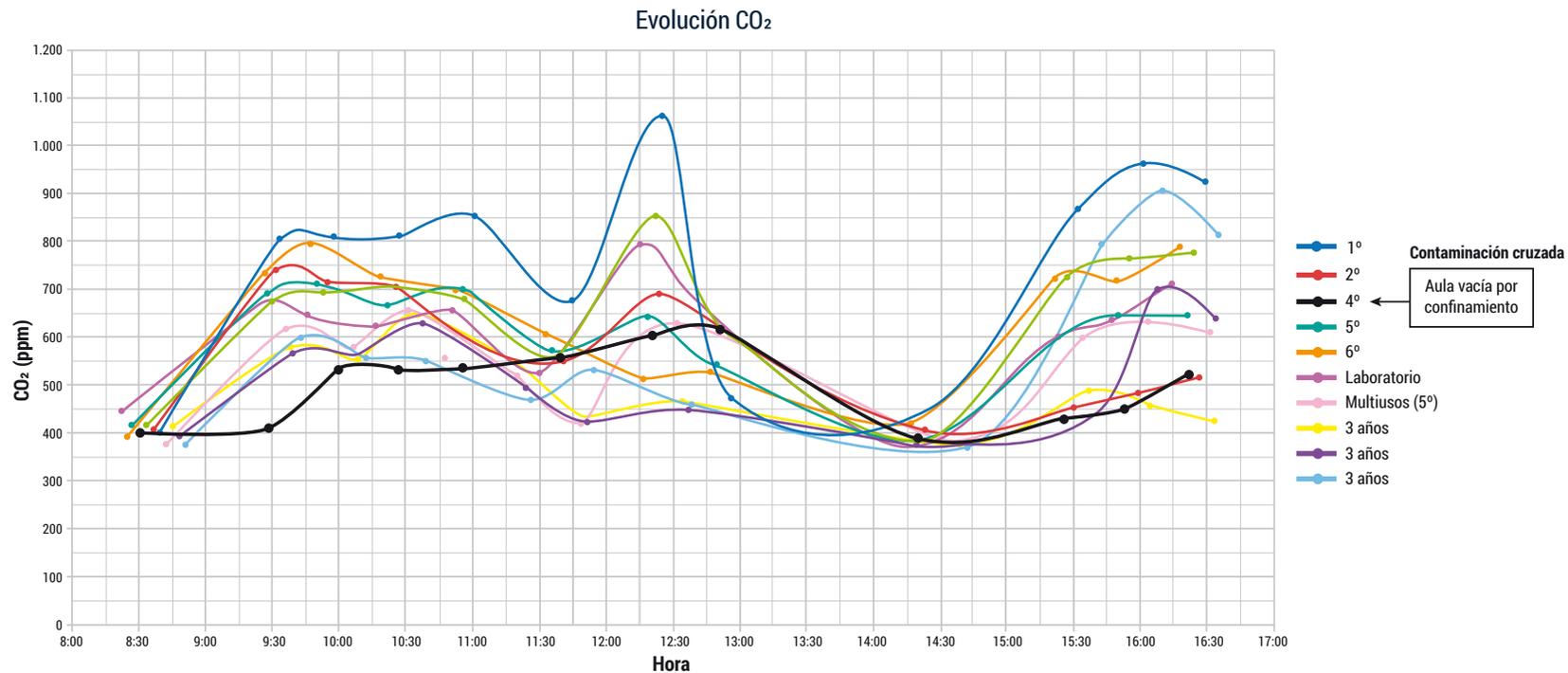
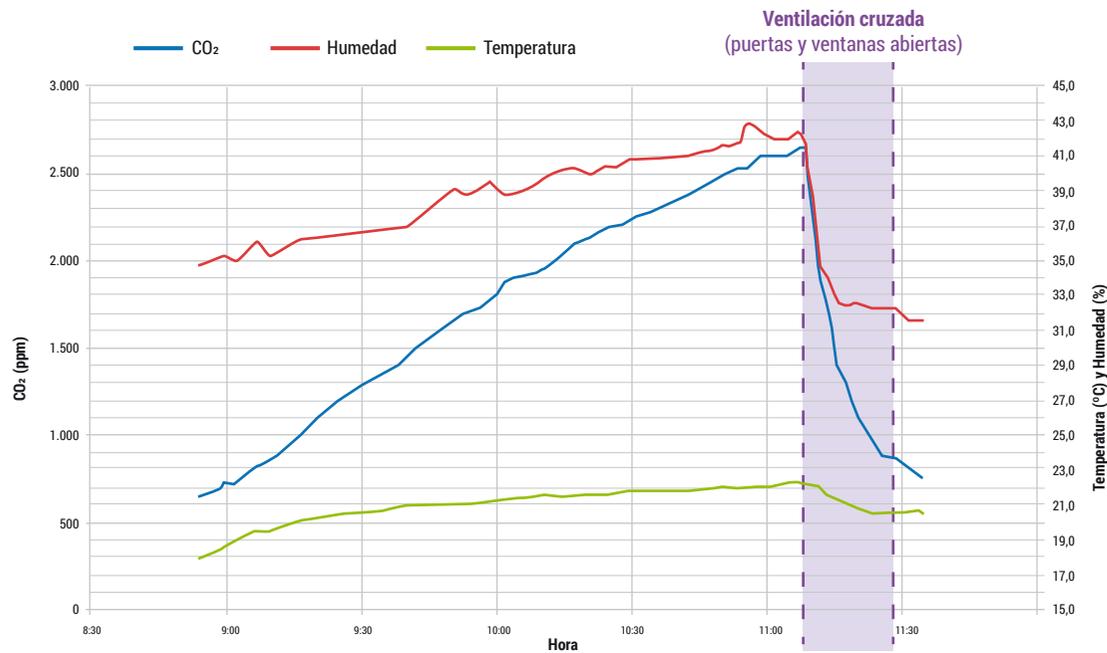


Figura 10. Niveles de CO₂ en varias aulas a lo largo de la jornada lectiva. El aula de 4° en negro corresponde a un aula vacía. El resto de aulas están ocupadas.

2.2.5 Apertura de puertas y ventanas al llegar el alumnado, con calefacción previa.

Un aula vacía a primera hora de la mañana antes de que entre nadie en la misma no debe ser ventilada intensamente, pues no hay riesgo de transmisión por aerosoles, y ello produciría una pérdida marcada del confort térmico cuando los alumnos accedan a la misma. Sí que es conveniente ventilar intensamente (ver 2.2.6), una vez se haya ocupado por alumnos y finaliza la clase, para obtener un aire libre de virus y concentraciones de CO₂ cercanas a la concentración exterior. Por tanto, no es necesario volver a ventilar antes de la llegada del alumnado. Sin embargo, sí es conveniente calentar el aula antes de la llegada del alumnado, cuando comienza la necesidad de ventilación y por tanto hay que abrir puertas y ventanas. Así pues, hay que abrir puertas y ventanas en el momento en que llega el alumnado al aula, hasta ese momento se puede calentar el aula en ausencia de estudiantes con ventanas y puertas cerradas.

La velocidad de la renovación de CO₂ es mucho mayor que la velocidad de pérdida de carga térmica en el aula. La Figura 11 muestra la variación de temperatura, humedad relativa y CO₂ en un aula durante las horas lectivas y los descansos. Al abrir puertas y ventanas en los descansos sin alumnado, el descenso de la concentración de CO₂ es mucho más acusado que el descenso de temperatura.



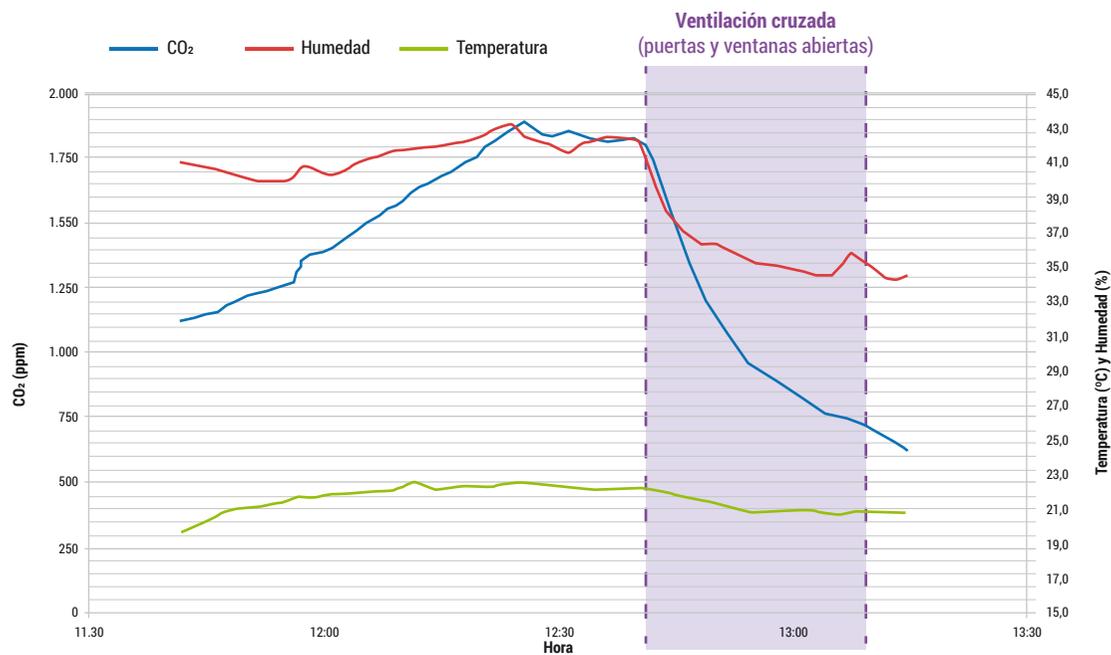


Figura 11. Niveles de CO₂, humedad y temperatura en un aula en momentos diferentes con la calefacción encendida y apertura de puertas y ventanas en los momentos de descanso sin alumnado.

A modo de ejemplo se muestra el efecto de la corriente de aire en la sensación térmica.

SENSACIÓN TÉRMICA APARENTE (°C)

Velocidades			Temperaturas (°C)				
m/s	km/h	Denominación	20,0	20,5	21,0	21,5	22,0
1	3,6	Brisa	21,6	22,1	22,5	22,9	23,4
4	14,4	Leve	15,5	18,1	18,7	19,3	19,9
9	32,4	Regular	14,6	15,4	16,1	16,8	17,5
15	54,0	Muy Fuerte	13,1	13,8	14,6	15,4	16,1

<https://www.lenntech.es/calculadoras/viento/sensacion-termica.htm>

2.2.6 Recuperación del aula. Ventilación completa en los descansos.

Durante los descansos (patio, comedor u otros) es posible llevar a cabo una ventilación completa del aula, también llamada **recuperación de aula**. Se debe **ventilar más intensamente**, mediante la apertura completa de puertas y ventanas durante 15-20 min. Esto consigue renovar bien el aire y comenzar la siguiente sesión con niveles iniciales de CO₂.

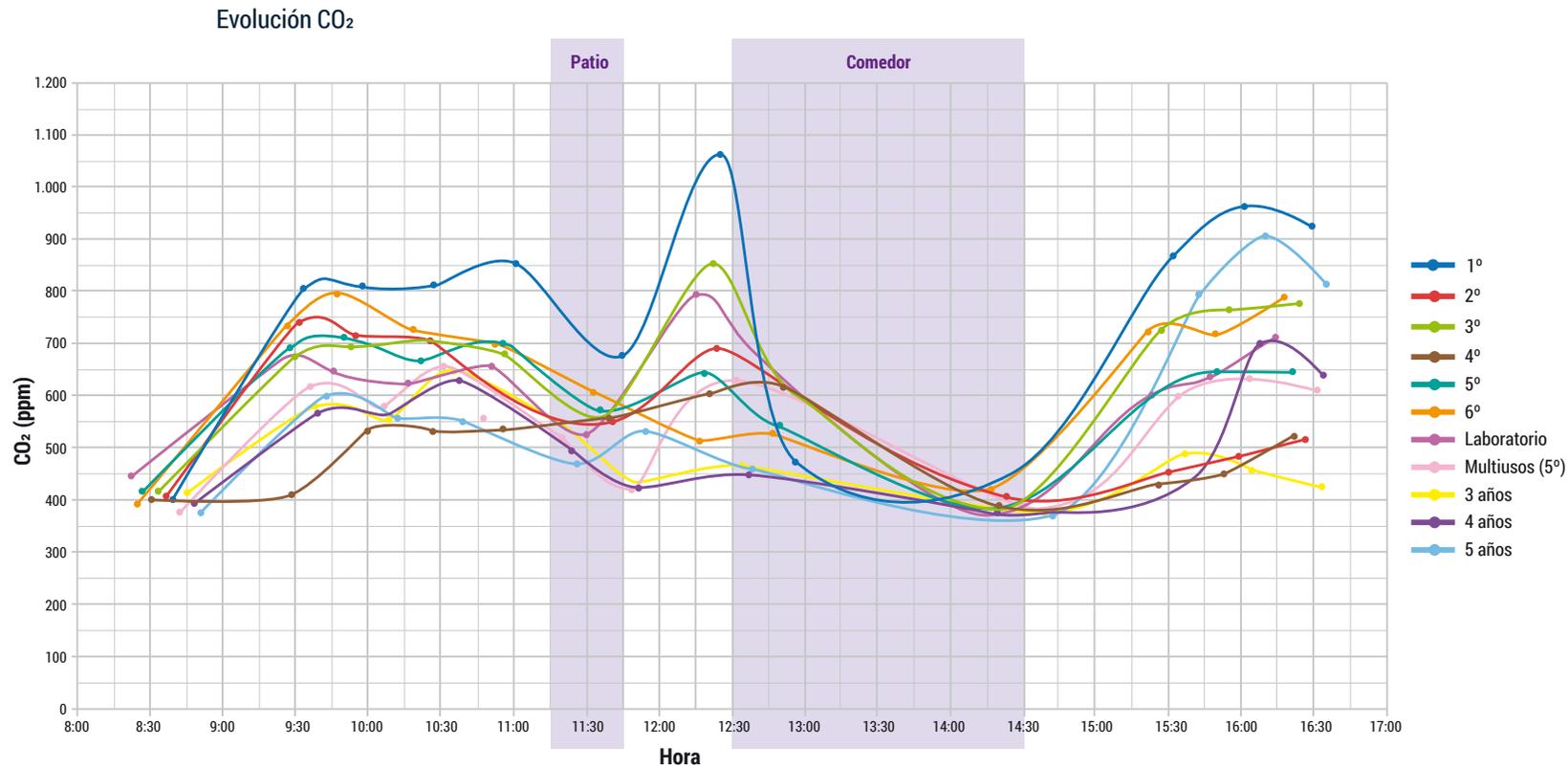


Figura 12. Niveles de CO₂ en varias aulas en diferentes momentos de la jornada.

2.2.7 Protocolos de “vuelta a la calma”.

La actividad física intensa aumenta la velocidad de respiración, es decir, la cantidad de aire inhalado y exhalado es mayor. Esto se ve reflejado en las concentraciones de CO₂, que son superiores tras el patio, el comedor y principalmente tras la clase de educación física. En la Figura 13 se representa la concentración media de CO₂ en varias aulas en diferentes momentos de la jornada, mostrando que las concentraciones son superiores después que antes del patio y muy superior a las registradas en el momento inicial de la jornada. Por tanto, es aconsejable dedicar unos minutos a la **relajación antes del regreso al aula** con el fin de que la actividad metabólica se regule.

Las actividades dentro del aula como cantar también aumentan la velocidad de respiración. Así lo muestra la Figura 14. Además es conocido que la emisión de aerosoles aumenta durante el canto, por tanto se recomienda limitar este tipo de actividades en interiores y hablar en voz baja siempre que se pueda.

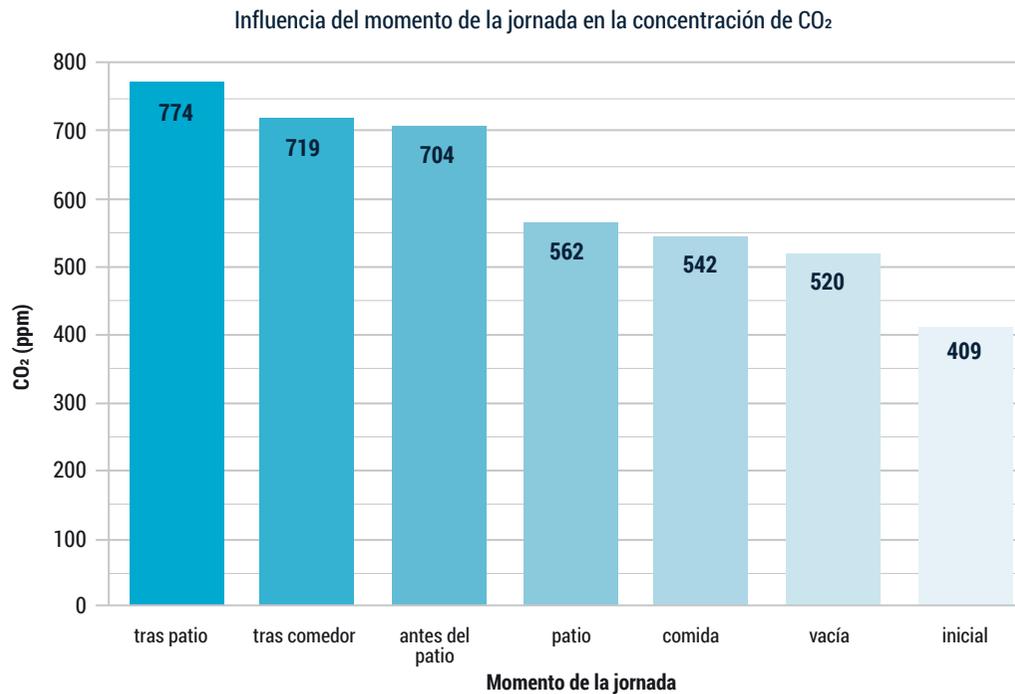


Figura 13. Niveles medios de CO₂ en varias aulas en diferentes momentos de la jornada lectiva.

Evolución CO₂. Aula 1º primaria

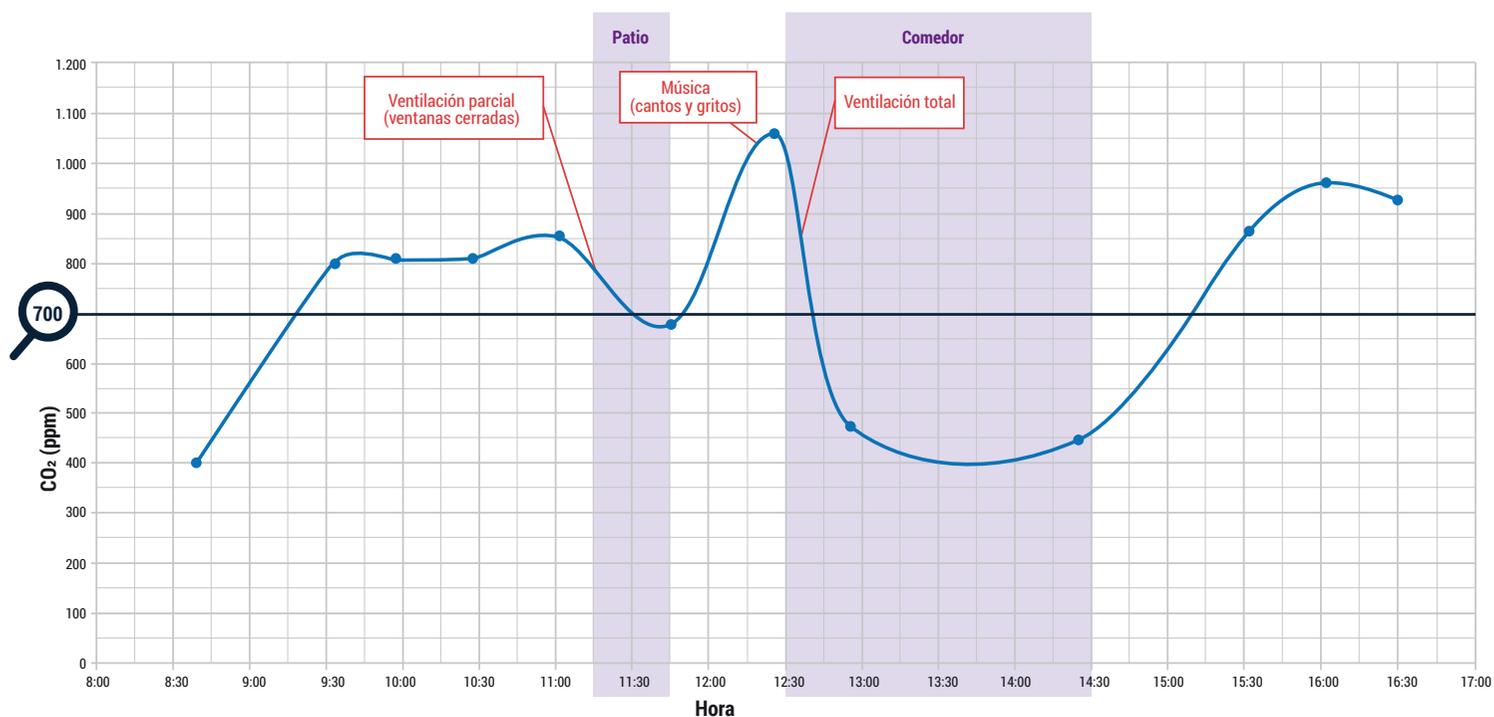


Figura 14. Niveles de CO₂ en varios momentos de la jornada, con indicación de la actividad de canto.

Aula con puerta y fijo superior abierto, pero ventanas cerradas.

En el descanso del patio no se abrieron ventanas, mientras que a la hora de la comida, sí.

Descanso patio: 11:15h - 11:45h

Descanso comida: 12:30h - 14:30h

2.2.8 Relación volumen del aula/ratio (V/R) de estudiantes por aula.

Para un mismo número de estudiantes, si éstos se encuentran en aulas de mayores dimensiones las concentraciones de CO₂ son inferiores al diluirse la emisiones en un volumen mayor. En las medidas realizadas, para alumnados de entre 15 y 20 estudiantes en aulas de 70-90 m², y 226-265m³, los niveles de CO₂ llegan con facilidad a valores bajos con ligera apertura de ventanas. Por tanto relaciones **volumen/ratio (V/R) más altas** son más favorables. La Figura 15 muestra las concentraciones de CO₂ en 2 aulas con la misma configuración de ventanas y puertas y el mismo número de alumnos, pero de diferentes volúmenes (226 y 260 m³). La Figura 16 muestra las concentraciones de CO₂ en 2 aulas con idéntico volumen con la misma configuración y diferente número de estudiantes.

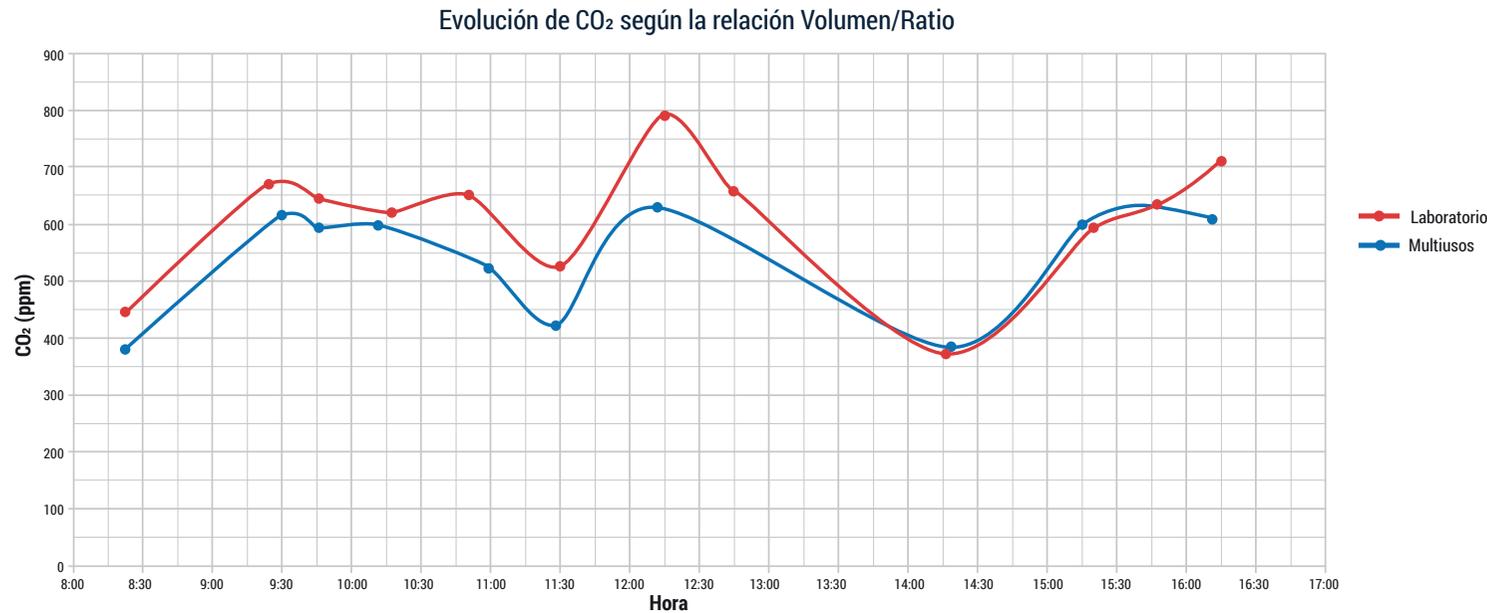


Figura 15. Niveles de CO₂ en dos espacios diferentes con 24 estudiantes: Laboratorio de 75 m² (226 m³, V/R de 9.4) y aula Multiusos de 90 m² (265 m³, V/R de 11.1).

Evolución de CO₂ Infantil. Ventilación NO cruzada y diferente ratio

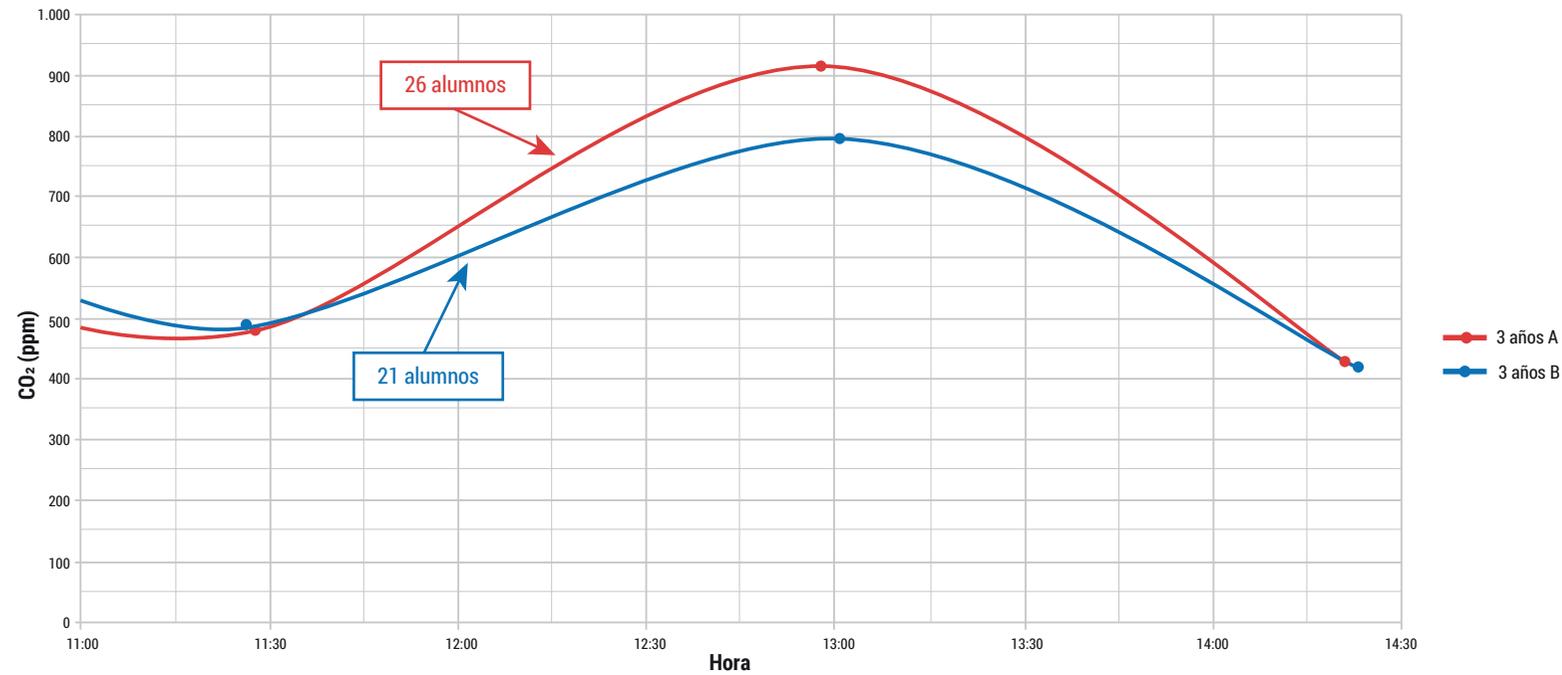


Figura 16. Niveles de CO₂ en dos espacios iguales con diferente ratio: Aula 3 años A con 26 estudiantes (V/R de 4.7) y aula 3 años B con 21 estudiantes (V/R de 6.2).

2.2.9 Ventilación en los comedores.

En los comedores las personas por razones obvias no llevan la mascarilla puesta. Esto implica un riesgo de contagio superior y por tanto la necesidad de mejorar la ventilación en estos espacios. Se puede optar por **aperturas mayores o totales en los comedores** y siempre **ventilación cruzada**. La reducción del número de personas simultáneamente presentes en el comedor también es una medida recomendable. La Figura 17 muestra todas las concentraciones de CO₂ registradas en las diferentes ubicaciones destinadas para comedor, mostrando que los valores se mantuvieron por debajo de 700 ppm, bien por bajo número de personas, por buena ventilación o por la combinación de ambas condiciones.

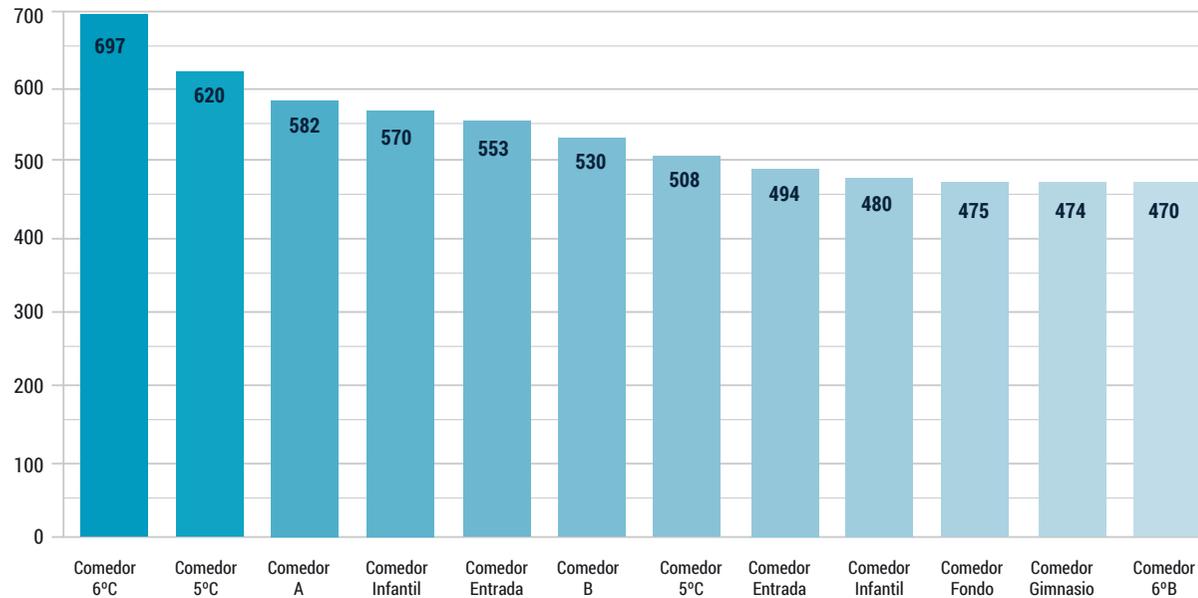
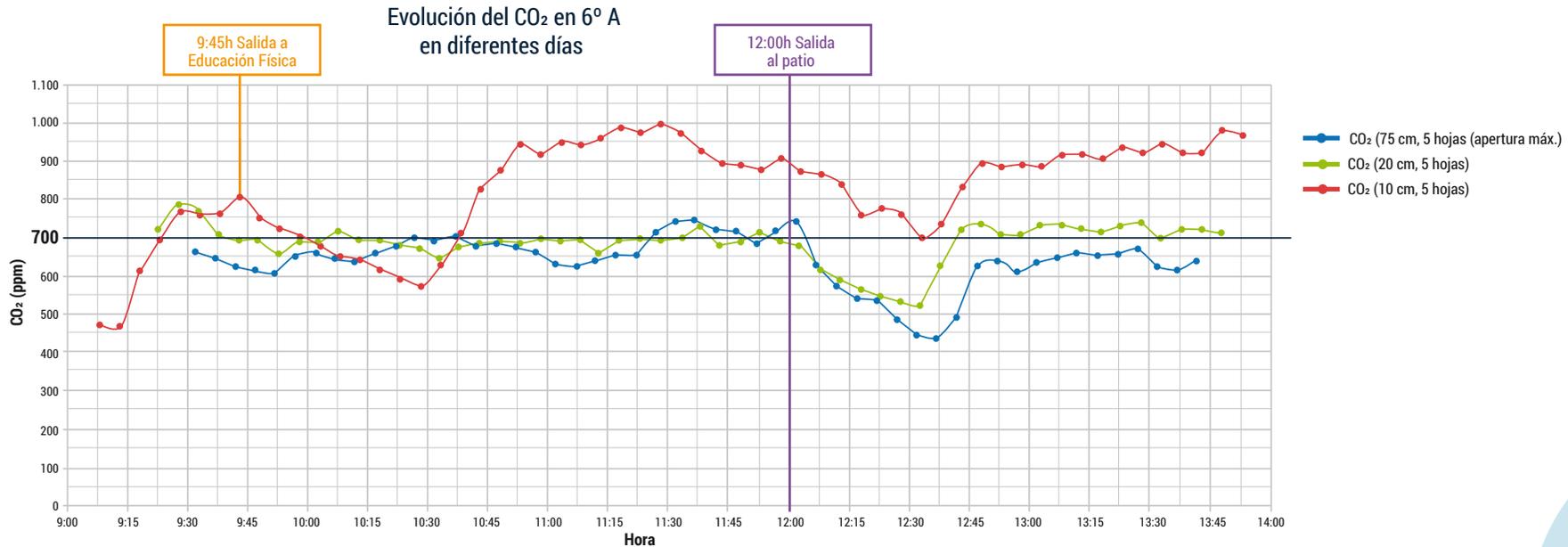


Figura 17. Niveles de CO₂ en varias espacios usados como comedor.



2.2.10 Ventilación en días ventosos o con altas diferencias de temperatura.

Los días ventosos y/o con alta diferencia de temperatura entre exterior e interior facilitan la ventilación y permiten aperturas de ventanas menores. La Figura 18 muestra un aula con diferentes configuraciones en la apertura de ventanas. A mayor velocidad del viento, la apertura de las ventanas puede ser menor como se muestra en la figura.



NOTAS:

- Ensayos de 3 días consecutivos: 17, 18 y 19 de noviembre de 2020.
- Condiciones meteorológicas comparables y desfavorables para la ventilación:
(Fuente: AVAMET)
- 17/11/2020: Dirección 292° y velocidad media 0,32 km/h
- 18/11/2020: Dirección 337° y velocidad media 0,31 km/h
- 19/11/2020: Dirección 325° y velocidad media 0,64 km/h

- Se mantuvieron las aperturas de puertas y ventanas toda la mañana, y no se hicieron aperturas totales en los descansos.
- Se mantuvieron las persianas medio bajadas durante todos los ensayos, ya que es necesario por la orientación del aula. Es práctica habitual por las molestias del sol.

CARACTERÍSTICAS AULA:

- 1 puerta + 5 ventanas
- Volumen: 174 m³
- N° alumnos: 21
- V/R:8,3

Figura 18. Niveles de CO₂ en un aula con diferentes aperturas de ventanas en diferentes días. Menor apertura en un día con ligero viento consigue la misma ventilación que mayor apertura en un día de viento calmado.

3. Mapa interactivo

3. MAPA INTERACTIVO

Todas las medidas de CO₂ para las diferentes configuraciones, espacios y momentos de la jornada, se pueden encontrar en el siguiente enlace: <https://webmesura.org/anexos-guia-para-la-ventilacion-en-aulas-casos-practicos/>

La herramienta “con un clic” ofrece una distribución espacial con sus diversas condiciones y configuraciones. La diversidad en las condiciones y configuraciones puede permitir al usuario encontrar un aula con características similares a la suya. Este mapa le da escenarios aproximados y tendencias diferentes sin la necesidad de medir CO₂ en su aula. Asimismo, se pueden identificar qué condiciones y configuraciones favorecen la reducción de riesgo de contagio por aerosoles en su aula en base a la renovación del aire interior. Siempre teniendo en cuenta las muchas necesidades en la dinámica habitual del aula y el confort térmico.

<https://webmesura.org/anexos-guia-para-la-ventilacion-en-aulas-casos-practicos/>

4. Protocolo de validación

4. PROTOCOLO DE VALIDACIÓN

Protocolo basado en la guía "VENTILACIÓN NATURAL EN LAS AULAS. GUÍA PRÁCTICA", elaborada por: Laboratorio de Investigación en Fluidodinámica y Tecnologías de la Combustión (LIFTEC) Centro Mixto Univ. Zaragoza / CSIC, donde han participado: Álvaro Muelas, Antonio Pina, Pilar Remacha, Eduardo Tizné, Diego Aranda, Ana Ruiz y Javier Ballester.

Protocolo de evaluación de la ventilación

1

Mantener las puertas abiertas durante los periodos de clase. También durante los periodos de "recuperación de aula". Las puertas solo se deben cerrar para calentar las aulas previamente a la entrada de alumnado.

2

Abrir las ventanas con la configuración de apertura adecuada y dejarlas fijas todo el tiempo, obteniendo una configuración de ventilación cruzada distribuida.

Su posición debe quedar fija todo el tiempo, hasta que se decida modificarla. Es sencillo en ventanas correderas. Si tienen bisagras, habrá que colocar topes y/o fijarlas con cinta para que no se abran ni se cierren.

3**Apertura de las hojas de ventanas.**

Elegir como punto de partida la apertura completa de la ventana. En caso de ventanas correderas, abrir al máximo la hoja de la ventana implica un 50% del área total de la ventana.

4**Registrar la evolución del CO₂.**

Se ha de registrar la concentración de CO₂ en un punto crítico, definido anteriormente como aquel alejado de puertas y ventanas, fuera del flujo principal de aire y alejado de cualquier persona, y a una altura de 1.5 metros. Es preferible realizar la monitorización de los niveles de CO₂ con medidores con registro continuo. En caso de que el instrumento no almacene los datos, hay que anotar la hora y la medida de forma manual al menos cada 5 minutos, convenientemente cada minuto. Se aconseja medir la evolución de un aula por día.

5**Durante la medición de CO₂ mantener condiciones fijas** (ventanas, ocupación...).

Mantener las condiciones de apertura de puertas y ventanas y ocupación iguales durante toda la jornada. En caso de que no sea así hay que registrar cualquier modificación para poder interpretarla.

6

Al final de la prueba, **valorar la calidad de la ventilación**.
Reajustar ventanas si es necesario según se indica en la Figura 19.



Figura 19. Diagrama de protocolo de evaluación de condiciones de ventilación.

- Si es inferior a 700 ppm, ventilación correcta. Incluso, si es bastante menor (p.ej. 600 ppm) indica que podemos cerrar más las ventanas.
- Si es superior a 700 ppm (y, sobre todo, si supera 800 ppm), la ventilación es deficiente. Será necesario abrir más.

7

Repetir el proceso hasta ajustar la ventilación.

Una vez se modifique la posición de las ventanas (dejar siempre puertas abiertas), repetir el proceso hasta encontrar el mejor compromiso entre ventilación y confort térmico (seguramente buscando la mínima apertura que garantiza una buena ventilación).

5. Recomendaciones finales

5. RECOMENDACIONES

1

La **ventilación cruzada** (dos aperturas opuestas evitando zonas con aire estancado) como la de mayor eficacia con mucha diferencia sobre las de sólo ventanas o sólo puertas. Esta ventilación debe ser continua.

2

El **reparto de la apertura entre todas las ventanas del aula consigue una mejor ventilación**. Es más eficaz abrir de forma moderada varias ventanas, que abrir al máximo una sola ventana, aunque la superficie abierta total sea la misma.

3

La **configuración de la apertura de puertas y ventanas que proporciona una ventilación suficiente puede ser diferente**. Se pueden testar diferentes configuraciones y observar cómo varían las concentraciones de CO₂.

4

Apertura de puertas y ventanas de zonas comunes (pasillos y hall) al exterior como aliviaderos de CO₂ de las aulas y reducción de la contaminación cruzada.

5

Las aperturas deben realizarse en el momento en que llega el alumnado al aula. Hasta ese momento se puede aprovechar para calentarla. Un aula vacía y bien ventilada tras su última ocupación tiene el aire libre de virus y concentraciones de CO₂ cercanas a la concentración de fondo. La velocidad de renovación de CO₂ es mucho mayor que la velocidad de pérdida de carga térmica en el aula.

6

Recuperación de aula. Deben ser obligatorias ventilaciones totales de entre 15-20 min durante los descansos (patio, comedor u otros). Esto consigue renovar bien el aire y comenzar la siguiente sesión con niveles iniciales de CO₂ muy bajos.

7

Protocolos de “vuelta a la calma” tras regresar del patio, regresar del comedor y fundamentalmente tras terminar la educación física es aconsejable dedicar unos minutos a la relajación con el fin de que la actividad metabólica se regule.

8

Relación Volumen/Ratio. Alumnados entre 15 y 20 estudiantes en aulas de 75-90 m² llegan con facilidad a valores bajos de CO₂ con ligera apertura de ventanas. Para un mismo número de estudiantes, en aulas más grandes las concentraciones de CO₂ son inferiores. Por tanto relaciones **volumen/ratio (V/R) más altas** son más favorables.

9

En comedores **ventilación cruzada con aperturas más agresivas o totales** ya que el alumnado y profesorado no tiene la mascarilla puesta.

10

Días ventosos o con altas diferencias de temperatura entre exterior e interior facilitan la ventilación y permiten aperturas menores.

Otras recomendaciones y observaciones:

- ▶ **Tiempos de apertura intermitente** son muy útiles para la ventilación sin pérdida de carga térmica pero muy poco operativos en el funcionamiento cotidiano de una clase. Incluso puede ser muy arriesgado por olvidos o despistes que provoquen grandes subidas de CO₂ en poco tiempo. Además, se ha de comprobar que se alcancen los niveles de ventilación suficientes con el método propuesto.
- ▶ Planteamiento, en la medida de lo posible, de **un descanso más entre clases en las jornadas continuas**.
- ▶ Planteamiento, en la medida de lo posible, de **una clase al día en zona exterior**: patio, huerto escolar, hall,...
- ▶ **Validación de la configuración con un medidor de CO₂** por colegio. Estas mediciones se aconsejan en las zonas peor ventiladas a 1,5 m de altura aproximadamente y lo más alejado posible de las personas.
- ▶ Si las condiciones de un aula y la meteorología no cambian, **el CO₂ se comporta igual todos los días**.
- ▶ Una vez se conoce el comportamiento del aula con diferentes condiciones meteorológicas, podemos **marcar las aperturas de ventanas** en función de los resultados obtenidos.



ANEXO

Guía de ventilación.

CASOS PRÁCTICOS

