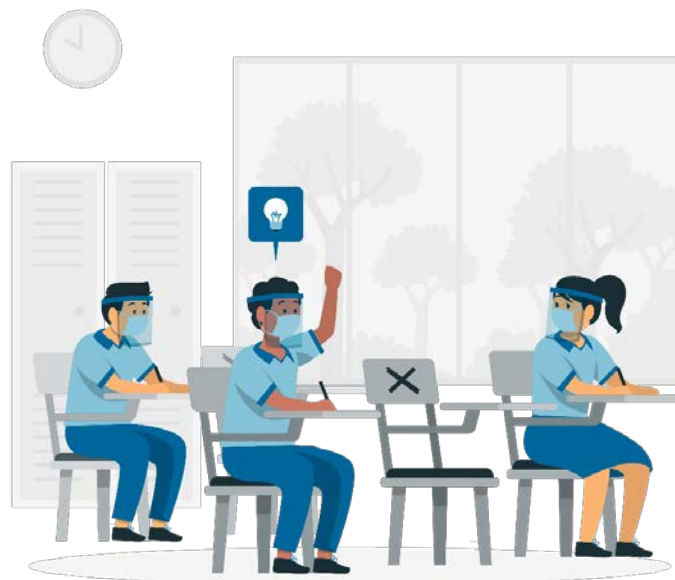


# VENTILACIÓN NATURAL EN LAS AULAS

## Ventilación Continua vs. Intermitente



Miembro de:



Autores: Á. Muelas, A. Pina, P. Remacha,  
E. Tizné y J. Ballester  
v5Feb21

## 0. Objetivo y método

---

El objetivo es aportar algunos números que ayuden a comparar la ventilación continua con diversas formas de ventilación intermitente. Todos los estudios, incluyendo muchas medidas reales en aulas, respaldan la mayor eficacia de la ventilación continua. Sin embargo, se sigue recomendando desde muchas instancias la ventilación intermitente. Aunque la información disponible debería ser suficiente para demostrar la superioridad de la ventilación continua, se discuten aquí algunas estimaciones que pueden facilitar la comparación entre las distintas alternativas.

Se compararán tres opciones distintas de ventilación intermitente, en todos los casos tomando como referencia una ventilación continua ajustada para mantener el CO<sub>2</sub> en el límite recomendado de 700 ppm:

1. Apertura solamente entre clases, con distintas duraciones e intensidades.
2. Más de una apertura por clase
3. Combinación continua+intermitente. En realidad, no es una ventilación intermitente, sino una ventilación continua reforzada con aperturas periódicas más amplias.

Con este fin, se han realizado cálculos para distintos tipos de ventilación, en todos los casos para una aula con las siguientes características:

- Superficie=50 m<sup>2</sup>, Altura=2.5 m → Volumen=125 m<sup>3</sup>
- Los resultados son válidos para los siguientes dos casos, que dan lugar a una emisión de CO<sub>2</sub> prácticamente idéntica (según factores de la guía de la Escuela de Salud Pública de Harvard, prácticamente iguales a los de la guía IDAEA-CSIC):
  - 26 alumnos de primaria + 1 adulto.
  - 20 alumnos de secundaria + 1 adulto.

Manteniendo estas condiciones fijas, se estima la evolución de la concentración en el aula, suponiendo que empieza con aire totalmente limpio (420 ppm). Se valorarán también algunos parámetros que pueden ser relevantes en la práctica, como son la cantidad total de aire exterior (relacionado con el confort térmico) o la velocidad máxima que se espera en ventanas o puertas (que da una idea de las corrientes que se generan en el aula).

Se trata de estimaciones, que conllevan cierto grado de incertidumbre y que podrían realizarse bajo distintos supuestos. Esto entraña cierto riesgo de que los resultados puedan estar sesgados en uno u otro sentido. Por eso, se ha prestado especial atención a evitar que estos sesgos pudieran favorecer a la ventilación continua, eligiendo siempre las hipótesis que tienden a mejorar los resultados con ventilación intermitente. En concreto, los cálculos se han realizado bajo los siguientes supuestos:

- Se supone mezcla perfecta del aire exterior entrante en todo el volumen. En la realidad, la ventilación no es perfecta, por lo se subestima en alguna medida el nivel

medio de CO<sub>2</sub> en la estancia; esta subestimación sería siempre más amplia en el caso de aperturas intermitentes.

- Cuando las ventanas están cerradas, se supondrá que existe una infiltración a través de rendijas y aperturas ocasionales de la puerta igual a 125 m<sup>3</sup>/h (ACH=1). Se considera que es un valor elevado, que tiende a favorecer más a la ventilación intermitente, dado que suaviza los picos que llegan a alcanzarse.
- Se da por supuesto que se conseguirá un caudal muy alto al abrir totalmente las ventanas, de manera que pocos minutos bastarían para renovar el aire. En la realidad, esto no siempre es cierto: con poco viento o en ciertas aulas, ocurre a veces que, incluso abriendo de par en par, la circulación es limitada y haría falta bastante más tiempo.

Este tipo de análisis globales se puede realizar con un modelo muy simple (0-D, mezcla perfecta). Esto supone una gran ventaja, puesto que garantiza que los resultados son suficientemente fiables para el propósito del estudio. De hecho, los resultados son totalmente coherentes con muchas mediciones en aulas reales,

No se ha considerado lo que ocurre en periodos sin alumnos, por ejemplo cuando se abre antes o después de la jornada. En estos casos, la ventilación en realidad no resulta útil y no afecta a la concentración de CO<sub>2</sub> (sí, en cambio, al confort térmico o al gasto en calefacción).

## 1. Continua vs. Intermitente (entre clases)

Se han considerado 5 situaciones distintas. En la tabla se listan las principales condiciones y resultados para cada uno de los casos.

El **Caso 1 representaría una ventilación continua**, en la que las ventanas se han abierto de manera que no se superen 700 ppm en el aula. La experiencia de medidas en muchas aulas indica que esto podría conseguirse típicamente con una apertura total de aprox. 1 m<sup>2</sup>, repartidos entre las ventanas disponibles.

El **Caso 2 correspondería a ventilación de 10 minutos entre clases**. Se ha supuesto que en estos 10 minutos llega a entrar un volumen de 1000 m<sup>3</sup> de aire, el mismo que entra durante toda la hora en el Caso 1. Esto corresponde a un caudal instantáneo 6 veces superior al que existe de forma continua en el Caso 1, que se supondrá que podría conseguirse abriendo completamente las ventanas.

El **Caso 3 sería similar al 2, pero abriendo solamente 5 minutos** entre clases. Se supone que el caudal instantáneo es el mismo (también abriendo completamente), pero el volumen total de aire exterior que entra en ese periodo será la mitad.

En el **Caso 4 se abren también 10 minutos entre clases, pero se ha abierto menos**, para tener un menor caudal instantáneo, con el fin de evitar corrientes excesivas dentro del aula.

En el **Caso 5 se ha abierto la ventana durante 15 minutos**, con una apertura de ventanas similar al Caso 4, también para limitar la intensidad de la corriente en el aula. Al abrir durante más tiempo, se consigue introducir un mayor volumen de aire exterior.

Caso	1	2	3	4	5
	Continua Aj. 700 ppm	Int, 10' Apert. Total	Int, 5' Apert. Total	Int, 10' Apertura 1/3	Int, 15' Apertura 1/3
Volum aire ext (m <sup>3</sup> )	1000	1000	500	355	530
V máx puerta (m/s)	0,15	0,85	0,85	0,31	0,31
CO <sub>2</sub> máx (ppm)	703	1888	1975	1926	1836
CO <sub>2</sub> medio (ppm)	687	1146	1268	1240	1121
Δ CO <sub>2</sub> medio (ppm)	267	726	848	820	701

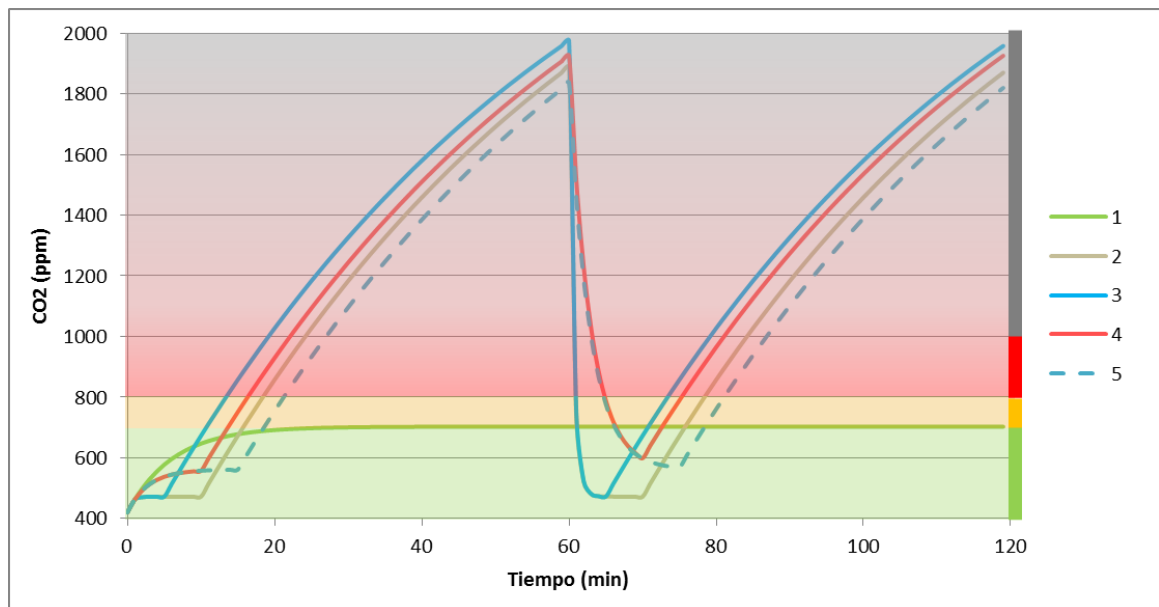
En la siguiente figura se muestra la evolución de la concentración de CO<sub>2</sub> estimada a lo largo de 2 horas, para cada uno de los 5 casos. Como referencia se incluye también el siguiente código de colores: verde hasta el nivel recomendado de 700 ppm, ámbar entre 700 y 800, rojo por encima de 800 ppm. En gris se ha marcado la zona por encima de 1000 ppm, donde además de aumentar significativamente el riesgo de transmisión de aérea de Covid-19, el nivel de contaminación en el aula supera el límite recomendado por la OMS para ambientes saludables.

El caso 1 muestra un aumento inicial hasta estabilizarse en 700 ppm, dado que la entrada permanente de aire compensa la emisión de CO<sub>2</sub> que se está produciendo en el aula.

En el caso 2 los valores se mantienen muy bajos durante los 10 minutos de apertura, al principio de las dos horas de clase. Sin embargo, a partir de ahí el nivel de CO<sub>2</sub> crece rápidamente, al ritmo que marca la respiración de los ocupantes.

Puede parecer llamativo que al reducir el tiempo de apertura a la mitad (caso 3) el nivel de CO<sub>2</sub> aumenta solamente de forma marginal. La explicación es clara: el caudal durante esos minutos es más que suficiente para renovar casi completamente el aire del aula, con niveles muy bajos y muy similares en ambos casos durante los minutos de apertura. Por eso, el ligero aumento en la concentración de CO<sub>2</sub> se debe únicamente a que el aula está cerrada 5 minutos más (55' en el caso 2 frente a 50' en el caso 1).

En ambos casos, la limitación no radica en el caudal de aire durante los periodos de apertura, y caudales menores hubieran dado resultados similares. Las elevadas concentraciones de CO<sub>2</sub> se deben exclusivamente a que el aula está cerrada (salvo infiltraciones) durante mucho tiempo, acumulándose rápidamente el CO<sub>2</sub> exhalado por los ocupantes. Evidentemente, si el caudal de aire que consigue entrar durante esos periodos fuera bastante menor, los valores serían todavía superiores, por lo que estas estimaciones deben considerarse un límite inferior del nivel de contaminación acumulado en el aire del aula.



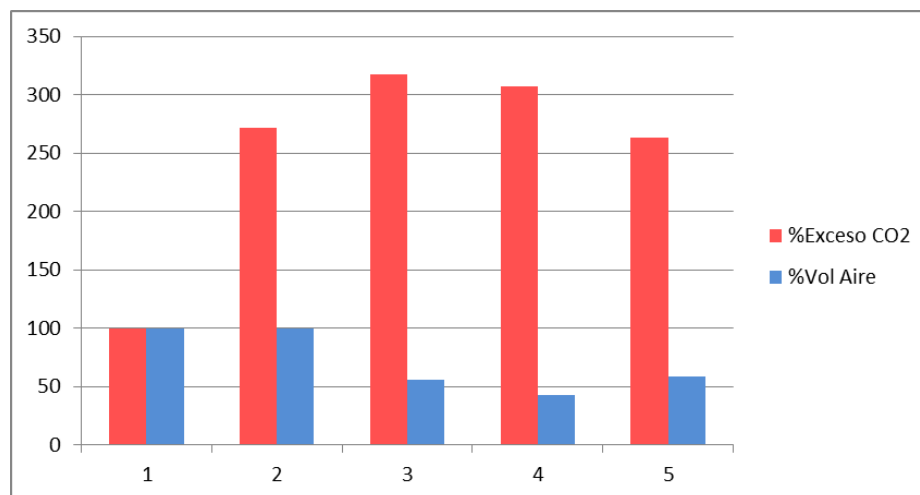
En la tabla se han indicado también los valores CO<sub>2</sub> máximo y promedio a lo largo de las 2 horas. En realidad, lo importante no es la concentración de CO<sub>2</sub> sino su exceso por encima del nivel ambiente (420 ppm), que estaría relacionado directamente con el riesgo de transmisión aérea. Este valor se indica también en la tabla.

Finalmente, se comparan entre sí todos los casos teniendo en cuenta dos variables:

- El exceso de CO<sub>2</sub> sobre el ambiente que, como se ha apuntado, estaría relacionado con el riesgo de contagio.
- El volumen total de aire exterior que entra al aula, que tiene que ver con el confort térmico y con el consumo de calefacción.

En la siguiente figura se representan estas variables, expresadas como % sobre el caso 1. Aunque no hay que olvidar que son estimaciones aproximadas, de estos resultados pueden extraerse algunas conclusiones claras:

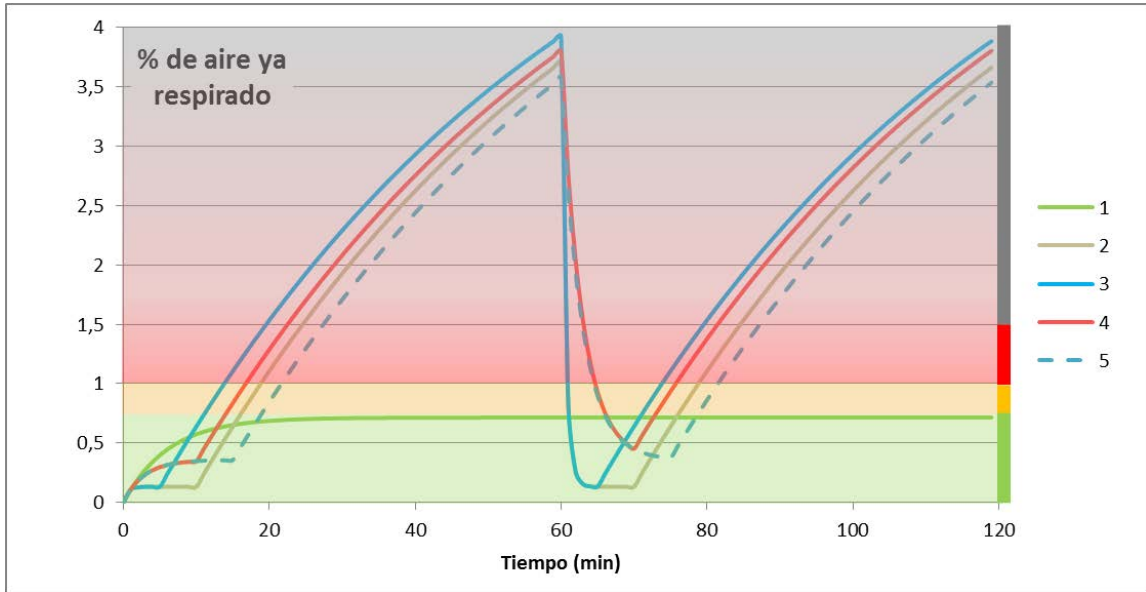
- El Caso 2, con aperturas de 10' entre clases, multiplica el exceso del CO<sub>2</sub> por más de 2,5, para la misma cantidad de aire exterior.
- Si al abrir las ventanas se consigue que entre un alto caudal de aire (no siempre garantizado), puede reducirse bastante la cantidad de aire fresco que entra, sin penalizar demasiado el riesgo. Pero es importante tener presente que, sin analizador de CO<sub>2</sub>, no se puede garantizar que el aire que entra en esos minutos es suficiente (y si no fuera así, el riesgo aumentaría).
- Comparativamente, la opción de ventilación intermitente que mejor funciona es el Caso 5. La explicación es muy sencilla: las ventanas están más tiempo abiertas, lo que reduce la acumulación de CO<sub>2</sub>. Es decir, funciona mejor simplemente porque se acerca más a la ventilación continua (en lugar de estar abierto 1/6 del tiempo, está abierto 1/4).



En la tabla se anota también la velocidad máxima del aire en un hueco de 2 m<sup>2</sup>, que sería aproximadamente el tamaño de la puerta. Este dato da una idea de cómo son las corrientes de aire. Hay diferencias apreciables, puesto que en las aperturas intermitentes se está suponiendo un caudal de aire muy elevado. En ventilación continua el aire se movería a 0.15 m/s. Sin embargo, en los instantes de apertura intermitente la velocidad del aire será superior (acercándose a 1 m/s, que ya es una corriente apreciable e incluso molesta).

En resumen, salvo otras cuestiones prácticas que pudieran darse en algunas situaciones particulares, todos los resultados demuestran claramente que la ventilación continua, debidamente ajustada, resulta muy ventajosa desde todos los puntos de vista: mucho menor exceso de CO<sub>2</sub> para la misma cantidad de aire fresco entrando en el aula.

También se pueden expresar los resultados en términos del % de aire de la habitación que ya ha sido respirado por los ocupantes (incluido, si lo hubiera, un individuo infectado). La conversión es muy simple, sin más que tener en cuenta que este % es proporcional al exceso de  $\text{CO}_2$  por encima del valor ambiente de 420 ppm. Estos resultados se muestran en la siguiente figura, que muestra los mismos patrones que la concentración de  $\text{CO}_2$ , ahora en términos de % de aire ya respirado, que obviamente tiene relación directa con la probabilidad de contagio.



**En consecuencia, parece obvio que debería recomendarse de manera clara e inequívoca que la ventilación debe ser continua. Y también la gran utilidad de disponer de analizadores de  $\text{CO}_2$  para poder ajustar correctamente las aperturas parciales que aseguran una ventilación suficiente, además de mejorar el confort térmico y reducir el consumo de calefacción.**

## 2. Continua vs. Intermitente (varias veces por clase)

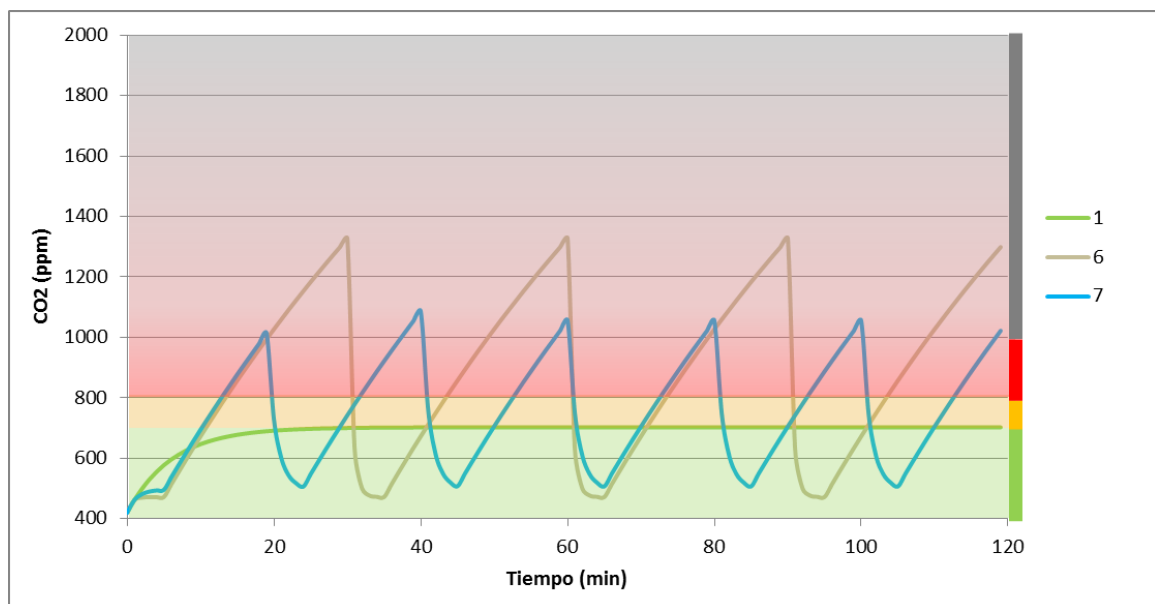
La ventilación intermitente también podría consistir en abrir varias veces durante una hora, cerrando el resto del tiempo. En este apartado se compara la opción de ventilación continua (Caso 1) con dos opciones de apertura intermitente:

- Caso 6: apertura de 5 minutos cada media hora (2 aperturas cada hora)
- Caso 7: apertura de 5 minutos cada veinte minutos (3 aperturas cada hora)
- En ambos casos, se supone que entra la misma cantidad de aire exterior que en el Caso 1.

En la siguiente tabla se resumen las principales variables y resultados de los tres casos.

Caso	1	6	7
	Continua Aj. 700 ppm	Intermitente 2x5'	Intermitente 3x5'
Volum aire ext (m <sup>3</sup> )	1000	1000	1000
V máx puerta (m/s)	0,15	0,85	0,75
CO <sub>2</sub> máx (ppm)	703	1327	1086
CO <sub>2</sub> medio (ppm)	687	864	744
ΔCO <sub>2</sub> medio (ppm)	267	444	324

La evolución estimada de la concentración de CO<sub>2</sub> se compara en la siguiente gráfica. También en estos casos se ha supuesto que al abrir periódicamente entra en pocos minutos una cantidad de aire suficiente para renovar casi íntegramente el interior (lo que no siempre ocurrirá...). Durante unos minutos, la concentración de CO<sub>2</sub> se encuentra claramente por debajo de las 700 ppm, mientras que el resto del tiempo supera ese límite, a veces de forma muy significativa.

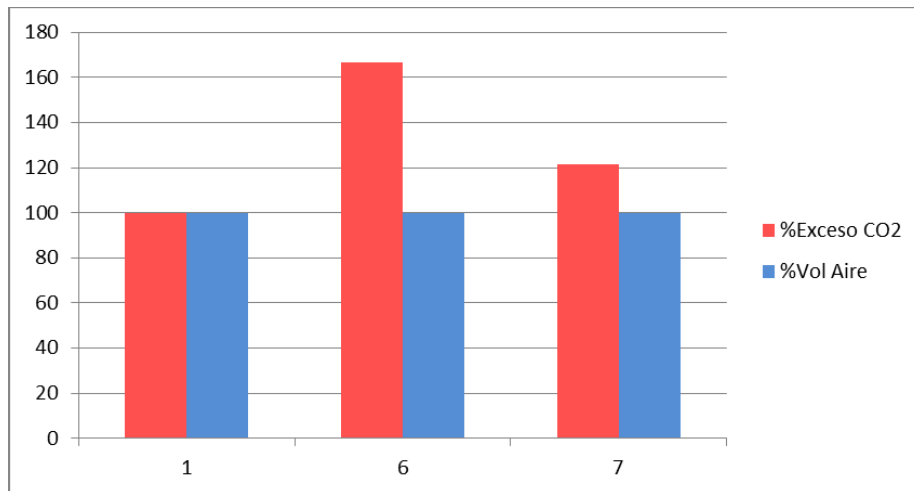


Como se ha hecho en el apartado anterior, se comparan los tres casos en términos de exceso de CO<sub>2</sub>. El volumen total de aire fresco que entra cada hora es idéntico, porque



así se ha fijado en las simulaciones. La opción que mejor administra este aire exterior es nuevamente la ventilación continua. Si se abre 2 veces por hora, el resultado es mucho mejor que en el Caso 2, con una sola apertura; sin embargo, multiplica por más de 1,6 veces el exceso de CO<sub>2</sub> promedio (la diferencia es mayor en términos del valor pico). Al abrir 3 veces en cada hora, el resultado mejora, con un exceso de CO<sub>2</sub> que es aprox. 1.2 veces mayor que en el Caso 1 (y picos que llegan a superar 1000 ppm). El principal motivo es, nuevamente, que abrir más veces es una manera de aproximarse a la ventilación continua.

Hay que tener en cuenta que en estos casos sería necesario manipular las ventanas 4 o 6 veces en cada clase, lo que puede plantear también algún inconveniente en la práctica.



### 3. Continua vs. Híbrido Continua-Intermitente

Finalmente, se va a considerar una tercera opción, que consistiría en mantener una apertura continua, a la que se superpone una apertura total varias veces durante la clase. No es por tanto una ventilación intermitente, sino una ventilación continua apoyada con aperturas periódicas.

Es un método propuesto por Javier Pérez Soriano para intentar asegurar que la ventilación es suficiente cuando no se dispone de analizador de CO<sub>2</sub>. En concreto, ha propuesto la estrategia 15-5-15-5-15-5 (abreviado aquí como 3x(15-5)), que se describe en este [documento](#).

Para analizar esta opción se compararán cuatro casos:

- El primero sigue siendo el Caso 1: ventilación continua que se supone bien ajustada para no superar 700 ppm.
- Caso 8: también ventilación continua, pero con menor entrada de aire. Es algo que perfectamente podría ocurrir si no se dispone de analizador de CO<sub>2</sub> y, por las condiciones del aula o la climatología, circula menos aire que la cantidad deseable. En concreto, se ha supuesto que por las ventanas entra la mitad del flujo que en el Caso 1.
- Caso 9: Método 3x(15-5) en caso con ventilación continua correcta. Como Caso 1, pero además abriendo totalmente durante 5' cada 20' (3 aperturas totales durante 1 hora), según la estrategia 3x(15-5). Durante las aperturas periódicas se ha supuesto que entra un caudal instantáneo que es 3 veces superior al que circula durante los periodos de apertura parcial.
- Caso 10: Método 3x(15-5) en un caso con ventilación continua insuficiente. Como Caso 8, también aplicando la misma estrategia 3x(15-5).

Las principales condiciones de estos casos y los resultados obtenidos se resumen en la siguiente tabla:

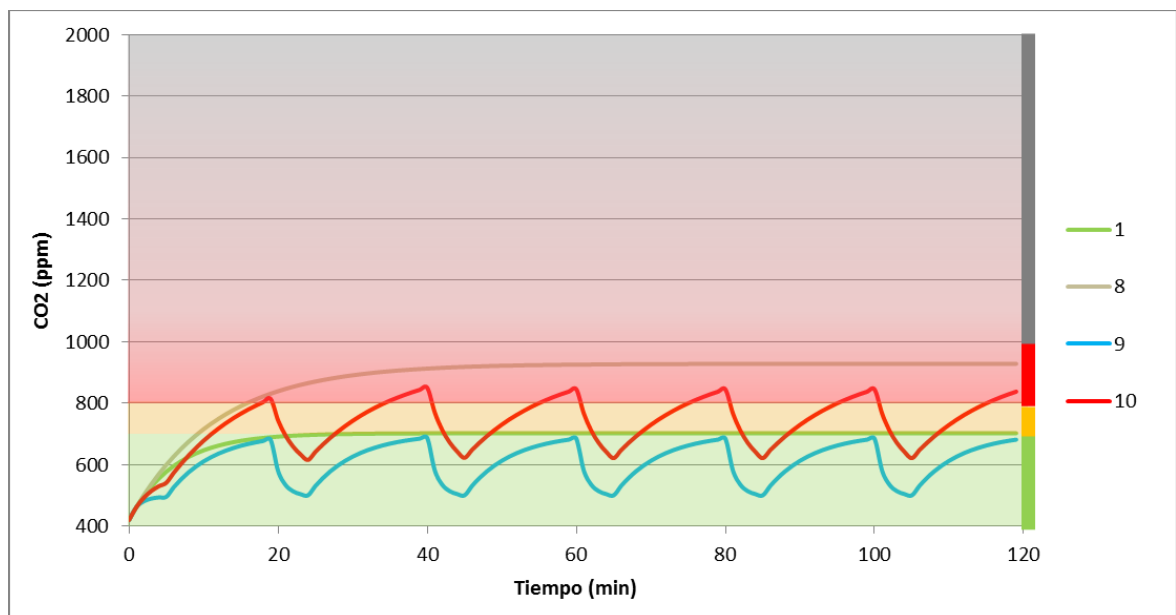
Caso	1	8	9	10
	Continua Aj. 700 ppm	Continua Mitad Flujo	3x(15-5) + Caso 1	3x(15-5) + Caso 8
Volum aire ext (m <sup>3</sup> )	1000	500	1750	875
V máx puerta (m/s)	0,15	0,08	0,57	0,29
CO2 máx (ppm)	703	929	688	851
CO2 medio (ppm)	687	878	602	727
ΔCO2 medio (ppm)	267	458	182	307

Las curvas estimadas de CO<sub>2</sub> se muestran en la siguiente figura. El Caso 8, como cabría esperar da lugar a una mayor concentración de CO<sub>2</sub>. Es lo que ocurriría si, por no disponer de la referencia que proporciona el medidor, se han ajustado las ventanas en una posición que en realidad no consigue aportar el aire necesario.

El Caso 9 supone aplicar el método 3x(15-5) en una situación en la que, en realidad, ya había una ventilación suficiente para no superar 700 ppm. Como resultado, se consigue una reducción periódica de la concentración que hace que en promedio el aula esté todavía más limpia.

El Caso 10 es el que realmente permite evaluar la eficacia de esta estrategia, al aplicarla a un caso en el que el aire que circula de forma continua resulta no ser suficiente. Las aperturas periódicas previstas en el método 3x(15-5) proporcionan renovaciones rápidas de forma puntual que consiguen que la concentración de CO<sub>2</sub> se mantenga bastante próxima valor correcto.

El documento citado incluye medidas reales que resultan muy consistentes con estas estimaciones.



Los resultados globales pueden valorarse mejor en la siguiente figura, que compara tanto el exceso de CO<sub>2</sub> promedio con el volumen total de aire exterior que circula.

Para las condiciones supuestas en el Caso 10, el método 3x(15-5) da lugar a un exceso de CO<sub>2</sub> promedio un 15% superior al que se obtendría con una ventilación continua bien ajustada, corrigiendo de forma efectiva el problema que se genera cuando la apertura parcial resulta no ser suficiente (Caso 8). Obviamente, al añadir estas aperturas periódicas en un caso en el que la ventilación fuera suficiente, como ocurre en el Caso 9, circula un mayor caudal de aire que en realidad no sería necesario.

Pero la efectividad de esta medida debe valorarse desde el punto de vista de un aula en la que no existe un medidor de CO<sub>2</sub>, donde hay que manejar las ventanas a ciegas, siguiendo unas pautas generales. En estos casos, y puesto que no es posible valorar el caudal de aire que entra por las ventanas, sería necesario disponer de un método que dé ciertas garantías de que la acumulación de aire ya respirado no supera límites

razonables, sin contar con la medida de CO<sub>2</sub> (como, desafortunadamente, sigue siendo el caso de la mayor parte de las aulas...). Desde ese punto de vista, el método 3x(15-5) parece una opción eficaz, como también han demostrado las medidas realizadas en diversas aulas.

Obviamente, es necesario valorar la dificultad añadida que supone la manipulación repetida de ventanas durante la clase, que seguramente requiere una buena organización y la implicación del alumnado.

