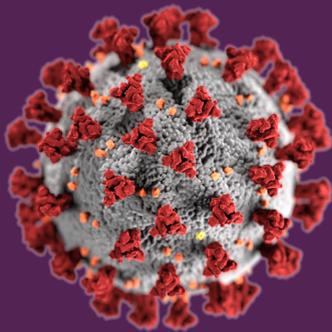


Estrategias de ventilación segura en tiempos de pandemia.



@PrevincinDocen1

www.prevenciondocente.com

*Javier Pérez
Soriano*



**PREVENCIÓN
DOCENTE**

Estudio sobre ventilación realizado en una aula de Secundaria.

Autor: Francisco Javier Pérez Soriano

@PrevincinDocen1

Profesor de Tecnología.

Licenciado en Química Industrial por la Universidad de Málaga (U.M.A.).

Autor y webmaster del portal **www.prevenciondocente.com**

Técnico Superior de Prevención de Riesgos Laborales en las especialidades de: Seguridad en el Trabajo, Higiene Industrial, Ergonomía y Psicología Aplicada.

Máster oficial Universitario en Prevención de Riesgos Laborales por la U.M.A.

Técnico Superior de Prevención de Riesgos Profesionales.

Formador de Formadores en Seguridad y Prevención de Riesgos Laborales.

Auditor de Sistemas de Gestión de Prevención de Riesgos laborales.

Aviso Legal:

Este documento está registrado y tiene derechos de autor.

El autor de la obra cede sus derechos de manera gratuita a Colegios, Institutos, Escuelas Oficiales de Idiomas, Escuelas de Arte, Conservatorios, Universidades, Residencias Escolares y Asociaciones de padres y madres de alumnos y alumnas.

El autor no autoriza su uso, reproducción ni parcial ni total a nadie que no pertenezca a los colectivos anteriores, especialmente a cualquier persona o entidad que obtenga beneficios económicos a partir de la información del presente documento.

El presente documento parte de un proyecto de centro que ha intentado involucrar a la comunidad educativa del I.E.S. Poetas Andaluces de Benalmádena en tomar conciencia de la importancia de la ventilación como forma de evitar la transmisión del SARS-CoV-2 en espacios cerrados.

El objetivo de este proyecto ha sido conocer cuáles de las dependencias del instituto están mal ventiladas y así buscar estrategias de ventilación que hagan disminuir la probabilidad de contagio en nuestro centro.

El papel del alumnado ha sido fundamental. Se han realizado mediciones de CO₂ en todas las aulas, y han sido ellos (con explicación previa de lo que estábamos haciendo, porque lo hacíamos y la implicación de lo que suponían las mediciones), los que las han realizado (siendo posteriormente contrastadas con las mediciones automáticas que realizaban los distintos medidores utilizados). Una vez con los datos en la mano, ellos han sido los que han seleccionado (en base a las gráficas obtenidas) las estrategias de ventilación más adecuadas a las distintas aulas del centro, y van a ser ellos los que expliquen a sus propios compañeros como se tiene que ventilar de una manera más segura. Posteriormente el alumnado trabajará tanto en la asignatura de Matemáticas (cuestiones relacionadas con gráfica de funciones, estadística...), o en la se Física y Química (lo que es el CO₂, efectos, comportamiento...) los datos obtenidos.

En la situación actual, compartir experiencias y conocimientos debería ser una obligación.

A todos los alumnos y alumnas que han participado en esta experiencia. En especial a: Mame, Tomás, Darío, José Vicente, Pablo, Javier, Karim, Abraham, Lucas, Santiago, Silvia, Lidia, Víctor, Nicolás, Hugo, Valentino, Elena, Nikita, María, Manuel, Alberto, Martina, Abril, Christian, Hugo, Javier, Jorge, Erika, Kiara, Víctor, que son los grandes artífices de este proyecto.

Índice

<i>Cuestiones previas.....</i>	<i>4</i>
<i>Condiciones de las mediciones realizadas.....</i>	<i>7</i>
<hr/>	
<i>Experiencias.....</i>	<i>8</i>
• <i>Mapa de CO₂ del centro.....</i>	<i>8</i>
• <i>Medición de CO₂ en pasillos.....</i>	<i>13</i>
• <i>Estrategias de ventilación.....</i>	<i>20</i>
✓ <i>Cierre total de ventanas y ventilar.....</i>	<i>23</i>
✓ <i>Ventanas semiabiertas ocho centímetros y ventilar.....</i>	<i>24</i>
✓ <i>Ventanas semiabiertas quince centímetros y ventilar.....</i>	<i>25</i>
✓ <i>Ventanas semiabiertas veinticinco centímetros y ventilar.....</i>	<i>26</i>
<hr/>	
<i>Filtración.....</i>	<i>30</i>
<hr/>	
<i>Desayuno en un centro escolar y ventilación.</i>	<i>36</i>
<hr/>	
<i>Medidores de CO₂ y cómo realizar las medidas.....</i>	<i>40</i>
<hr/>	
<i>Referencias bibliográficas.....</i>	<i>43</i>

El siguiente estudio no tiene ningún objetivo científico específico (aunque se haya aplicado el método científico), ni pretende que a partir de él se puedan sacar conclusiones extrapolables al resto de aulas de ningún otro centro, pero si pretende llamar la atención de la posible situación que están viviendo los centros educativos en materia de ventilación, y servir de ayuda a otros centros a establecer su propia estrategia de ventilación lo más segura posible.

Una de las partes de estudio consiste en evaluar la influencia de la apertura o cierre de ventanas en un aula de Secundaria (donde junto con Bachillerato encontramos las mayores ratios del sistema educativo). Para ello, se han realizado mediciones continuas de valores de CO₂ durante toda la jornada escolar entre el 8 de octubre y el 4 de diciembre, como forma de determinar si la ventilación de un aula en las condiciones del estudio es o no suficiente, como forma de evitar la propagación del contagio del SARS-CoV-2 a través de aerosoles en un centro educativo.

Las primeras mediciones han ido encaminadas a establecer un mapa de CO₂ del centro para así poder conocer el nivel de riesgo para cada una de las aulas, con la finalidad poder de adoptar distintas estrategias de ventilación en función de cada nivel de riesgo. También se han realizado medidas de niveles de CO₂ en los pasillos, para conocer si éstos son o no seguros y por último para una clase tipo, se han estudiado distintas estrategias de ventilación para tratar de ver cuál de ellas se adapta mejor a las características del centro.

CUESTIONES PREVIAS.

Con el paso del tiempo, los estudios realizados por especialistas tanto nacionales como internacionales, incluso del propio Ministerio de Ciencia y también el de Sanidad están poniendo cada vez más el punto de mira en la importancia de la transmisión aérea por aerosoles. De hecho, muchos países, y más recientemente la CDC americana (equivalente en España al Centro de Coordinación de alertas y Emergencias Sanitarias del Ministerio de Sanidad que dirige Fernando Simón), la reconoce como importante, especialmente en ambientes interiores con mucha gente y sin buena ventilación, de la que los centros educativos son un buen ejemplo.

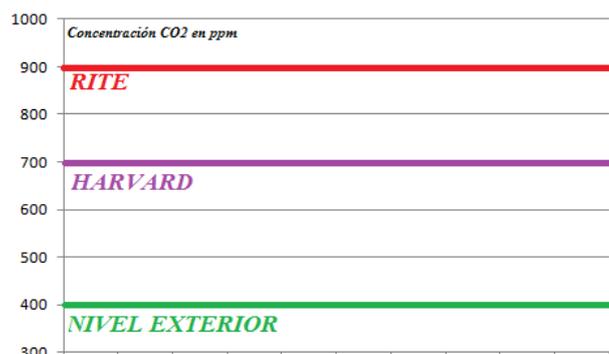
Las gotículas y los aerosoles que no son más que saliva y fluido respiratorio, se producen al hablar, respirar, exhalar, toser... Cuando una persona habla, las gotículas (gotas grandes) que emite, salen proyectadas y en función de su tamaño (desde 100 hasta 300 micras), acaban depositadas sobre superficies pudiendo llegar las de menor tamaño hasta una distancia de dos metros (actualmente se piensa que puede ser más). Sin embargo los aerosoles que tienen un tamaño mucho más pequeño (entre 1 y 100 micras) quedan suspendidos en el aire durante un tiempo, llegando todavía mucho más lejos por lo que afectaría de una manera significativa a lo que hoy en día entendemos como distancia de seguridad. Según los expertos, los aerosoles de tamaño de 10 micras pueden permanecer suspendidos en el aire hasta 10 minutos y los de tamaño de 1 micra hasta 3 o 4 horas (hay que recordar que el SARS-CoV-2 mide unas 0,1 micras). La probabilidad de contagio por aerosoles en el aire se ve afectada por la cantidad de partículas virales que haya en cada uno de esos aerosoles (lo que infecta no es el aerosol

en sí, sino las partículas virales que pueda haber dentro de él, si ha sido emitido por una persona infectada), por lo que su dilución o incluso su eliminación debería ser una pauta fundamental a tener en cuenta en los centros educativos, y más cuando estudios indican que el 60% de las personas jóvenes son asintomáticos.

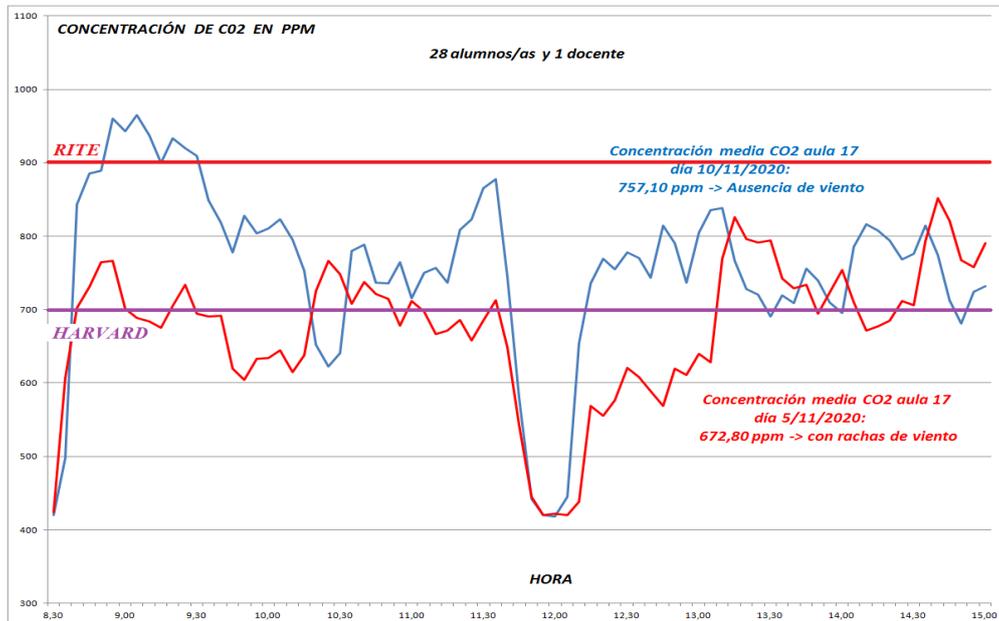
La ventilación siempre debería haber sido una cuestión fundamental en los centros educativos, pero que en la situación actual que estamos viviendo, debería ser una medida prioritaria como forma de reducir la probabilidad de contagio. Para determinar la **mejor o peor calidad del aire** se puede acudir a la medición de varios parámetros, niveles de CO₂, temperatura, humedad, partículas y aerosoles, formaldehído, compuestos orgánicos volátiles... De todos ellos, tanto por su facilidad a la hora de medir como por su relación con una buena o mala ventilación se utiliza la medición del CO₂. El CO₂ se puede medir directamente en el aire (es un gas que desplaza al oxígeno del aire), su unidad de medida es partes por millón en volumen (ppm) por encima de la concentración en el aire exterior del lugar donde se realiza la medida y es un **claro indicador de si el aire que respiramos ya ha sido o no, respirado previamente por otras personas**. La causa fundamental de la existencia de CO₂ en un aula es la exhalación del alumnado y profesorado (las mascarillas no lo filtran y por lo tanto lo dejan salir hacia afuera). El nivel de CO₂ existente en una clase va a depender de las **características del aula** (volumen, orientación de las ventanas...), **cantidad y edad de las personas que hay en el aula**, de la **actividad que se realicen en ella**, del **periodo de tiempo que el alumnado lleve en el aula, existencia o no de viento**...

Un aspecto muy importante es conocer cuáles son los niveles de CO₂ que hay que tener en cuenta a la hora de realizar las mediciones. Para los centros educativos, el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (***RITE***) les asigna la categoría IDA 2 (aire de buena calidad). Eso significa que en el caso de colegios e institutos la normativa indica que los niveles máximos de CO₂ permitidos en el interior del aula, no pueden ser superiores en 500 ppm a la concentración de CO₂ en el exterior (valores entorno a **416/418 ppm**). Eso nos daría un **valor límite de 916 ppm**. La OMS pone el límite para ambientes saludables en 1.000 ppm.

Tradicionalmente no ha sido recomendable superar los 800 ppm ya que comienza a aparecer disconfort. Sin embargo, el límite que nosotros vamos a tomar como referencia es el que establece la ***Escuela de Salud Pública de Harvard*** que indica que en la situación actual de pandemia no se deben superar los **700 ppm** (este valor supone que el 1% del aire del aula **ya ha sido respirado por otra persona**).



Lo que sí es muy importante tener claro es que la medida que realizamos en cada momento, solo nos enseña una foto fija de lo que ocurre en ese punto en ese preciso momento y en esas condiciones (cuando cambian las condiciones... cambiarán las medidas). Se puede ver en la siguiente gráfica como un día sin viento y otro con rachas de viento (aunque sea poco) puede provocar variaciones de hasta 85 ppm de media en el día (como es este caso), para el mismo aula.



Pero aunque solo sea un foto fija, nos puede indicar si un aula ventila mejor o peor. La medición continua de valores de CO₂ durante toda la jornada escolar se ha establecido como forma de determinar si la ventilación de un aula en las condiciones del estudio es o no suficiente, como forma de evitar la propagación del contagio del SARS-CoV-2 a través de aerosoles en un centro educativo bajo la siguiente premisa:

*Una mala ventilación de un aula, además de indicar una mala calidad del aire interior puede predecir una alta concentración de aerosoles (si no hay una ventilación adecuada que diluya el CO₂, tampoco diluirá partículas ni aerosoles). Si hay alguna persona que estando infectada, por un mal sellado respiratorio, emite aerosoles, esos aerosoles serán potencialmente infectivos, y tanta más será la carga viral (mayor concentración), cuanto mayor número de personas infectadas haya en el aula emitiendo ese tipo de aerosoles, por lo que **mayor será la probabilidad** de transmisión del coronavirus en la clase.*

En principio, en una aula donde no haya alumnado o profesorado infectado no van a existir aerosoles infectivos en el ambiente (salvo que por cuestiones de corrientes se pueda producir entrada de aire de otro aula o del pasillo que si los tenga). El principal problema que existen en los centros educativos es que la mayor parte del alumnado que tenga el coronavirus, va a pasar la enfermedad de manera asintomática, lo que significa que no va a tener síntomas, pero según los estudios científicos realizados hasta la fecha va a transmitir la enfermedad con la misma intensidad y con la misma carga infectiva.

Incluso aunque una persona estuviera infectada, un buen sellado respiratorio durante toda la jornada escolar no evitaría la salida de CO₂ al exterior (al ser un gas), pero sí podría evitar la salida de esos aerosoles potencialmente infectivos. Sin embargo, otro de los problemas que nos encontramos en los centros educativos radica en la existencia de mascarillas de dudosa fiabilidad y/o un inadecuado ajuste de la mascarilla utilizada que puede provocar la emisión de esos aerosoles.

En general en las aulas no se puede garantizar:

- Que las mascarillas de tela cumplan la normativa UNE 0065.
- Que no se le haya quitado el filtro para respirar mejor.
- Que sean higienizadas tras cada uso.
- Que las mascarillas quirúrgicas o FFP2 no se han extendido más del periodo de uso recomendado (4 horas para las quirúrgica, 8 para las FFP2).

Este estudio tiene como finalidad anticiparse a la situación en la que haya que ir cerrando ventanas, buscando cuales pueden ser las estrategias de ventilación más adecuadas.

CONDICIONES DE LAS MEDICIONES REALIZADAS.

Las aulas generales del centro donde se ha realizado el estudio son de 60 m² (150 m³), las ratios en la práctica totalidad de los cursos es de 30 alumnos/as por aula más un docente y disponen de ventanas correderas de doble hoja (solo se aprovecha la mitad de la superficie de ventana), que una vez abiertas suponen 4,1 m² de abertura de ventilación (si se quitan las dos hojas se duplica dicha superficie).



Para determinar el lugar donde realizar las mediciones con el medidor de CO₂ se han realizado mediciones previas, buscando el sitio más desfavorable de ventilación que en nuestro caso suele coincidir, con la zona más alejada de las ventanas y la puerta. El medidor se ha situado a una altura equivalente a la de la cabeza y a un metro de distancia del alumno que "peor aire respira".

Previamente, los medidores de CO₂ han sido verificados (y si ha sido necesario calibrados) con una medida en el exterior del centro, antes de realizar las distintas mediciones. Se han utilizado tres medidores (dos de ellos con función de exportación de datos PDF que permitieron verificar las medidas tomadas por el alumnado durante el estudio).

No	Date	Time	CO2	Temp	Humi	No	Date	Time	CO2	Temp	Humi	No	Date	Time	CO2	Temp	Humi	
001	2020/11/23	08:20:23	388	18.12	59.73													
002	2020/11/23	08:25:23	388	17.87	60.44													
003	2020/11/23	08:30:23	389	17.98	60.21													
004	2020/11/23	08:35:23	393	18.07	60.14													
005	2020/11/23	08:40:23	430	18.27	60.43													
006	2020/11/23	08:45:23	431	18.49	59.86													
007	2020/11/23	08:50:23	432	18.08	61.10													
008	2020/11/23	08:55:23	435	17.94	61.39													
009	2020/11/23	09:00:23	426	17.91	61.37													
010	2020/11/23	09:05:23	420	17.99	61.09													
011	2020/11/23	09:10:23	409	17.65	61.83													
012	2020/11/23	09:15:23	401	17.72	61.78													
013	2020/11/23	09:20:23	399	17.60	61.81													
014	2020/11/23	09:25:23	401	17.83	61.34													
015	2020/11/23	09:30:23	405	18.05	60.91													

Imagen de datos exportados por el medidor de CO2.

Para garantizar en todo momento la seguridad del alumnado durante las mediciones, cuando se han dejado ventanas semiabiertas o cerrado ventanas, se han utilizado dos equipos portátiles con filtros HEPA H13 sobredimensionados, que garantizaban un mayor número de cambios de aire por hora que los 5 recomendados por la Escuela de Salud Pública de Harvard para las centros educativos. Los dos equipos portátiles utilizados se han situado en ubicaciones estratégicas dentro del aula.



EXPERIENCIAS

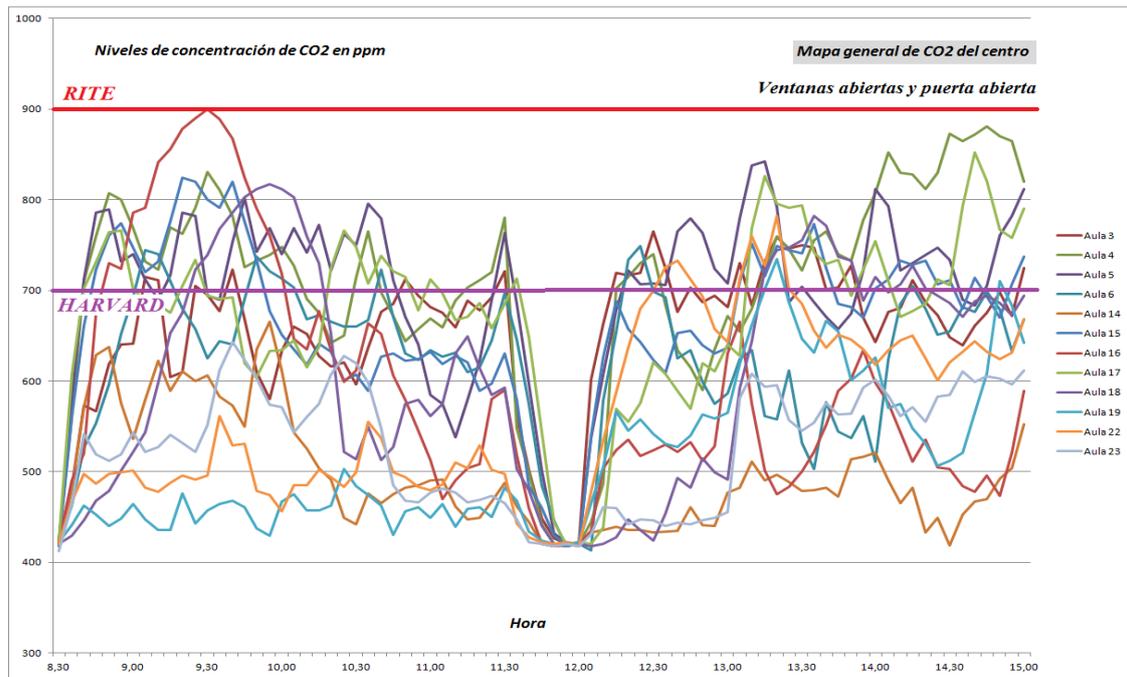
En el centro se han llevado a cabo tres experiencias relacionadas con la ventilación:

- Realización de un mapa de CO₂ del centro.
- Estudio de la influencia del CO₂ en los pasillos cercanos a las aulas.
- Estudio de distintas estrategias de ventilación.

-----o-----

MAPA DE CO₂ DEL CENTRO

La primera experiencia consistió en determinar el nivel de CO₂ de cada una de las aulas del centro con la finalidad de establecer un mapa de CO₂ que nos permita saber las aulas que ventilan mejor y las que ventilan peor, para en base a ello, poder establecer distintas fórmulas de ventilación. Para cada una de las aulas, se han realizado mediciones de niveles de CO₂ cada cinco minutos a lo largo de toda la jornada escolar en situación de ventanas abiertas y puerta abierta (ventilación cruzada). De las mismas se ha obtenido el siguiente mapa de CO₂:



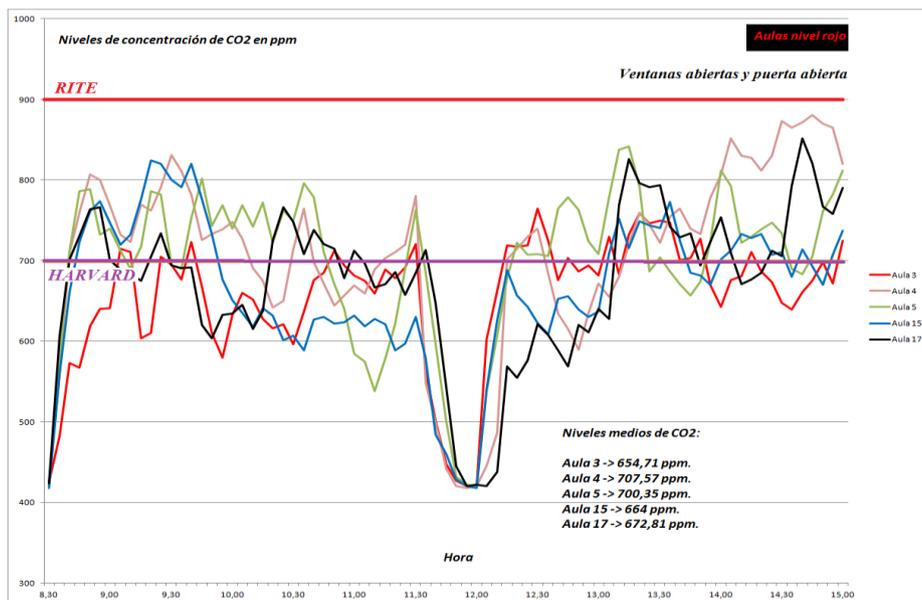
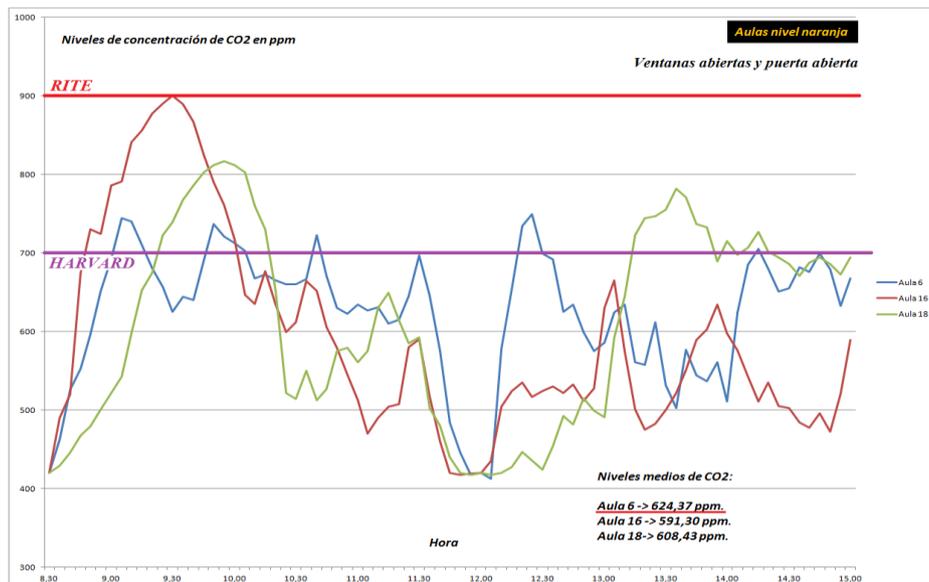
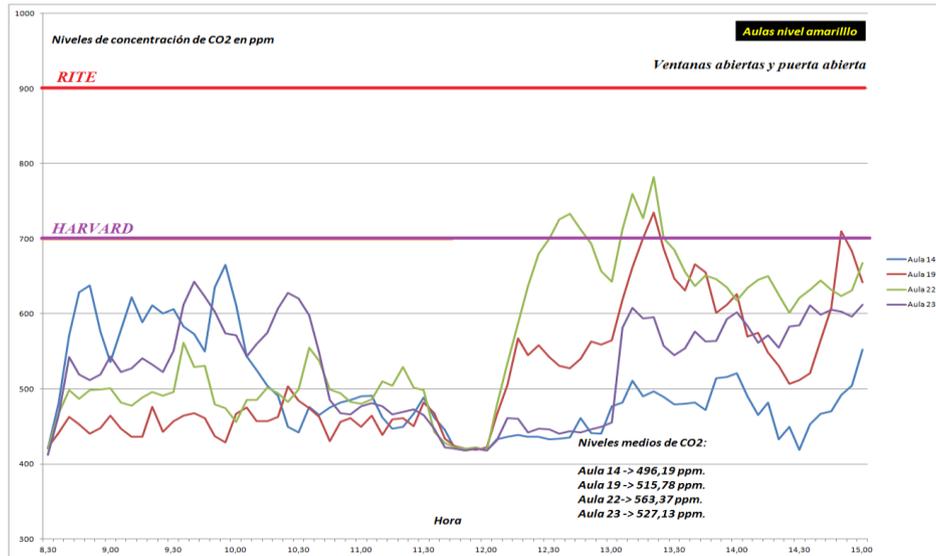
Para establecer el nivel de riesgo en función de la mejor o peor ventilación de cada una de las aulas se han establecido los siguientes criterios:

- **Nivel rojo** (aulas de riesgo alto) → Valores de concentración media de CO₂ (con ventanas abiertas y puerta abierta) superiores a 650 ppm.
- **Nivel naranja** (aulas de riesgo medio) → Valores de concentración media de CO₂ (con ventanas abiertas y puerta abierta) entorno a 600/650 ppm.
- **Nivel amarillo** (aulas de riesgo medio/bajo) → Valores de concentración media de CO₂ (con ventanas abiertas y puerta abierta) entorno a 500/550 ppm.

Los criterios elegidos para determinar el nivel de riesgo se basan en que:

- Un aula de **nivel rojo** que con ventanas abiertas y puerta abierta ya está en valores medios superiores a 650 ppm, cuando con condiciones climatológicas adversas se deba cerrar un poco la ventana, se va a ir por encima de los 700 ppm de manera clara y durante mucho tiempo, por lo que se estará respirando aire ya respirado por otras personas.
- Un aula de **nivel amarillo** con valores medios de 500 /550 ppm tiene todavía margen de maniobra para llegar al valor límite de los 700 ppm utilizando estrategias de ventilación de semi-cierre de ventanas.
- Las aulas de **nivel naranja** pueden tener un tratamiento intermedio, pero siempre hay que irse al caso más desfavorable y por lo tanto se le debería dar un tratamiento parecido a las aulas de nivel rojo.

En base a los criterios descritos anteriormente el mapa de CO₂ en función del nivel de riesgo quedaría:



Cuatro de la seis aulas que peor ventilan del centro (aula 4, 6, 15 y 17), deben su problema de ventilación a que dan al callejón que linda con la fachada del pabellón de deportes, además de la presencia de dos árboles que tapan con sus ramas parte de la fachada donde están las ventanas.

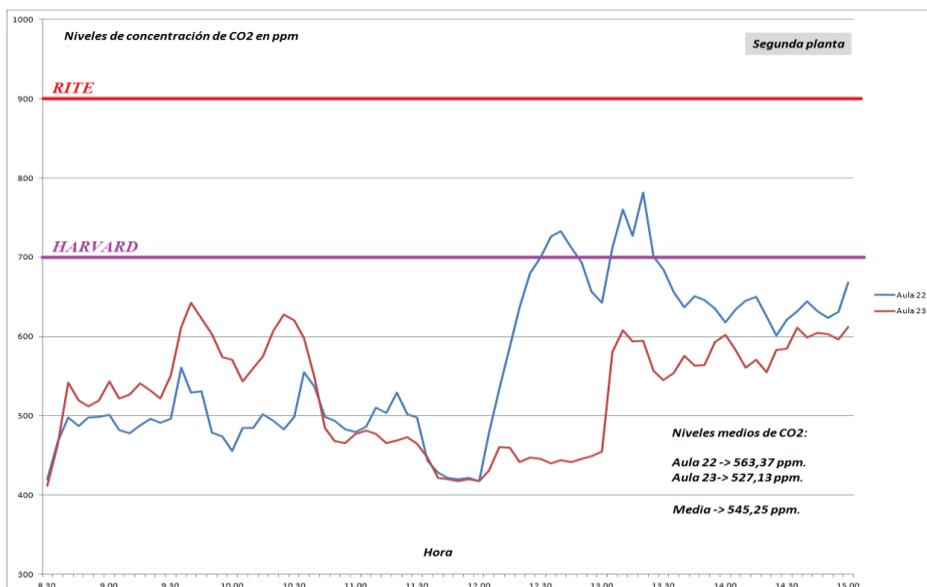
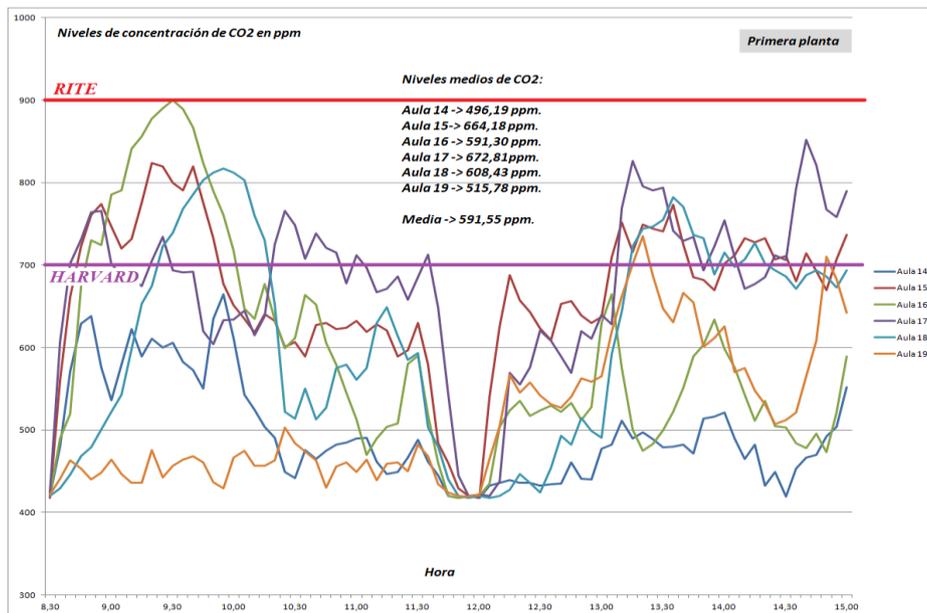
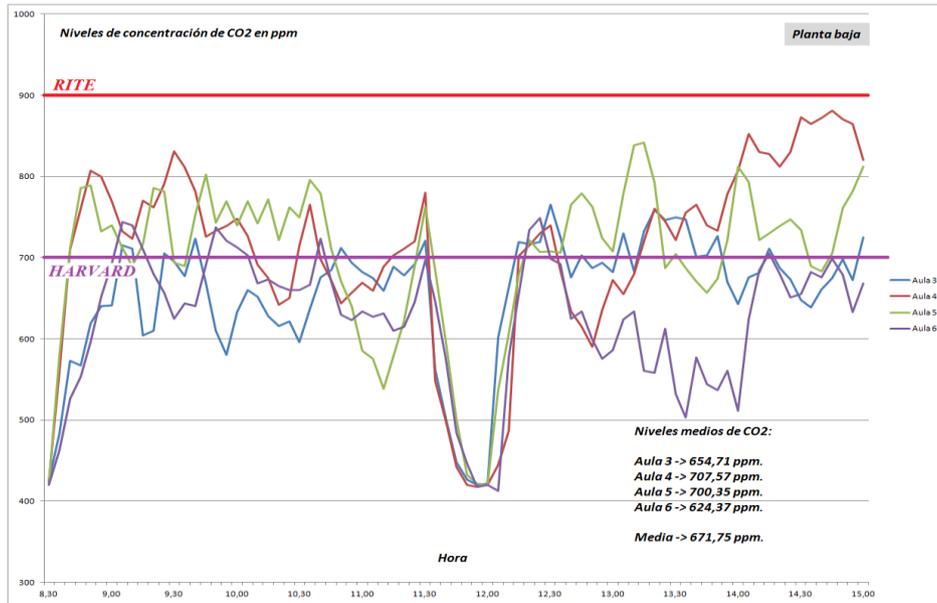


Para las aulas de **nivel amarillo** (nivel de riesgo medio/bajo) se propone el uso de ventilación natural de manera exclusiva aplicando en principio, las estrategias de ventilación que se van a describir más adelante.

Para las aulas de **nivel naranja** (nivel de riesgo medio) se propone en principio empezar con ventilación natural, y valorar uso de filtros HEPA (opción recomendable), en función de mediciones posteriores donde se vea la influencia del semi-cierre de ventanas para simular cuando lleguen las condiciones climatológicas adversas, aunque ante la duda, se optará por la situación más desfavorable y se aplicará un tratamiento parecido a las aulas de nivel rojo.

Para las aulas de **nivel rojo** (nivel de riesgo alto), al estar con ventanas abiertas y puerta abierta durante toda la jornada escolar con valores de concentración media por encima de 650 ppm, y por lo tanto muy cercano al límite recomendado por la Escuela de Salud Pública de Harvard de 700 ppm, se propone el uso de la ventilación natural **complementado** con el uso de la filtración (filtros HEPA) correctamente dimensionados **como una capa más de seguridad.**

Si se analiza por plantas, se puede observar claramente que conforme vamos subiendo en altura en el centro, la ventilación de las aulas va mejorando (cosa bastante obvia por otra parte), debido a que el flujo de aire que entra es mayor por la menor existencia de obstáculos cercanos que impiden la entrada del aire del exterior. La distribución de niveles de CO₂ (incluyendo valores medios) por plantas es la siguiente:



MEDICIÓN DE CO₂ EN PASILLOS.

Otra cuestión importante a controlar y que no se toma muy en cuenta, es la calidad del aire de los pasillos donde están ubicadas las aulas. En este caso, los niveles de CO₂ que no se recomiendan superar son **550 ppm***. El CO₂ en los pasillos proviene de varias fuentes:

- Por salida del CO₂ de las aulas cuando se tienen ventanas y puerta abierta.
- El propio CO₂ que exhalan las personas que circulan por el pasillo (mucho más acusado cuando es una clase completa la que se desplaza).
- Incluso (en mucha menor medida) CO₂ procedente de pasillos y aulas de plantas superiores a través de las escaleras que los une al ser el CO₂ un gas más pesado que el aire (esta cuestión es mucho más difícil de estimar ya que depende de gran cantidad de factores como pueden ser la existencia de corrientes de aire interiores, temperatura...).

** nivel propuesto en la guía práctica de ventilación natural en las aulas, elaborada por el Laboratorio de Investigación en Fluidodinámica y Tecnologías de la Combustión (LIFTEC) de la Universidad de Zaragoza.*

El pasillo puede ser un lugar peligroso ya que mientras el alumnado o profesorado transita por él, puede incurrir en una tendencia natural y hasta en cierta medida lógica (al no estar rodeado de personas cerca suya y tener que estar tantas horas con las mascarilla puesta), de quitarse/desajustarse la mascarilla para tomar un poco de aire.

Para calcular la calidad del aire en dichos espacios, se han realizado mediciones en los pasillos que dan acceso a los distintos grupos de aulas del centro, como forma de comprobar:

- Cómo afecta al pasillo que las aulas ventilen bien o mal.
- Cómo afecta que el propio pasillo tenga o no ventilación propia.

Para este estudio se han tomado valores simultáneos tanto en el interior del aula como en el pasillo (en un punto cercano a la salida de la clase), con la finalidad de ver cómo afecta el nivel de CO₂ del aula en el pasillo.



Para el estudio se han realizado las siguientes mediciones:

- Medidas simultáneas en pasillos y en aulas (con ventilación de ventanas abiertas y puerta abierta), de las cuatro clases cuyas ventanas dan al callejón que linda con la fachada del pabellón (que son las que peor ventilan). Para ello, se han realizado medidas en mitad y final de los pasillos, tanto de planta baja como primera planta.
- Medidas simultáneas en pasillos y en aulas (con ventilación cruzada de ventanas abiertas y puerta abierta), de las cuatro clases que mejor ventilan (situadas en primera y segunda planta). En este caso, se ha realizado una triple medida:
 - ✓ En la parte del pasillo cercana a las puertas de las aulas.
 - ✓ En las dos aulas que dan al pasillo.
- Medidas varias en función de estrategias de ventilación probadas en un aula tipo (aula 17 que es una clase de nivel rojo y por lo tanto, mala ventilación), para ver cómo afectan esas distintas estrategias en el nivel de CO₂ del pasillo.

Una vez realizado el estudio, se visualizan dos patrones claros:

- ✓ **Pasillos sin ventilación ninguna** que supone que los niveles de CO₂ varíen de una manera más o menos proporcional a la concentración de CO₂ de las aulas cercanas ya que la mayor parte del aire procede de ellas cuando éstas ventilan a través de la puerta.
- ✓ **Pasillos con ventilación propia** donde las concentraciones de CO₂ en los mismos van un poco más por libre que las concentraciones de CO₂ de las aulas cercanas. En este tipo de pasillos se puede dar el caso que incluso las propias aulas ventilen a través del aire procedente de los propios pasillos.



Pasillo sin ventilación
(en planta baja y primera)



Pasillo con ventilación cercana
(en planta primera y segunda)



Ventilación de pasillo (en planta primera y segunda)

En el **primer patrón** se van a analizar los **pasillos con mala ventilación** al carecer éstos de ventanas, siendo la única ventilación existente la de una puerta (en planta baja) o una ventana (planta primera) situada al principio del pasillo (en el lado opuesto de la zona donde están las aulas).

En planta baja el pasillo es un túnel largo sin ventilación propia. Sólo al principio del mismo se encuentra la puerta de acceso al centro que se mantiene abierta durante todo el día.



Vista desde principio del pasillo



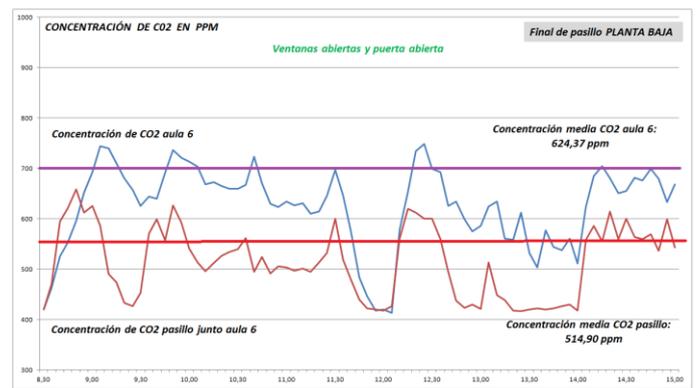
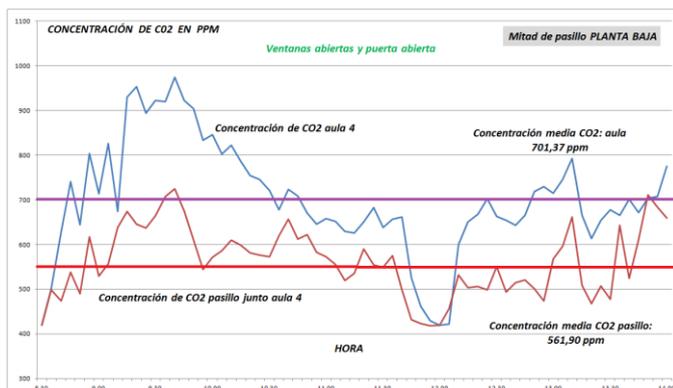
Vista desde final del pasillo



Puerta de salida del centro

En este caso, se ha podido comprobar que cuando en las aulas, las ventanas permanecen abiertas y la puerta también (ventilación cruzada), la evolución del nivel de CO₂ tanto en el interior del aula como en el pasillo (cercano a la puerta de la misma), despliegan una evolución similar. Como ejemplo, se muestra las gráficas de mitad y final del pasillo de planta baja que se corresponden a la zona cercana al aula 4 y aula 6 respectivamente.

A pesar de estar la puerta de acceso a la calle (situada al principio del pasillo) abierta, la ventilación es claramente insuficiente ya que se puede comprobar que el 69% de la jornada escolar en mitad del pasillo y un 39% al final del mismo se encuentra con valores superiores a los 550 ppm (límite recomendado por LIFTEC). Además, la concentración media en la parte media del pasillo ya supera dicho valor máximo recomendado.



Se puede comprobar en la gráfica que la concentraciones de CO₂ del pasillo durante las clases (dado que no hay alumnado normalmente transitando por el mismo), provienen del interior de las aulas que utilizan la puerta del aula como vías de salida de aire. En un aula que ventila mal (ambas clases tienen problemas de ventilación), se eleva mucho su nivel de CO₂, y una buena parte de lo que se se ventila acaba saliendo a los pasillos. Cuando estos además tienen una ventilación deficiente dan lugar a puntos donde deberían extremarse las precauciones.

En primera planta la situación es similar, los pasillos no tienen ventilación propia. Sólo al principio del mismo (las aulas están al final), encontramos unas ventanas que se mantienen abiertas durante toda la jornada escolar.



Vista desde principio del pasillo



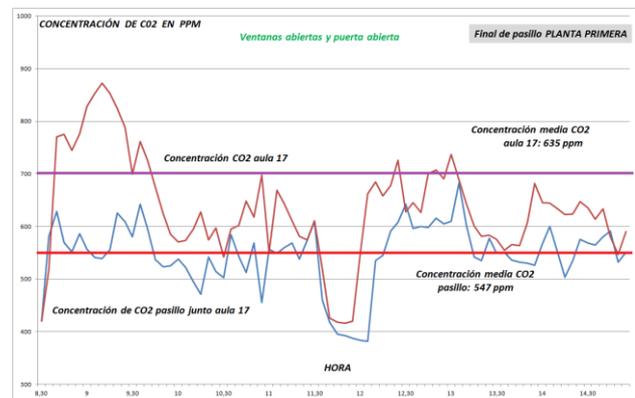
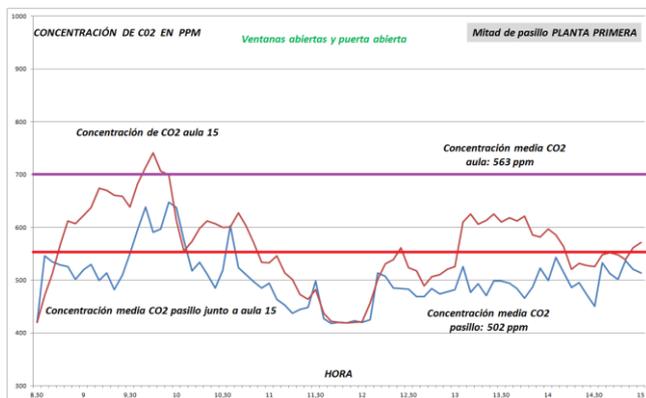
Vista desde final del pasillo



Ventanas al principio del pasillo.

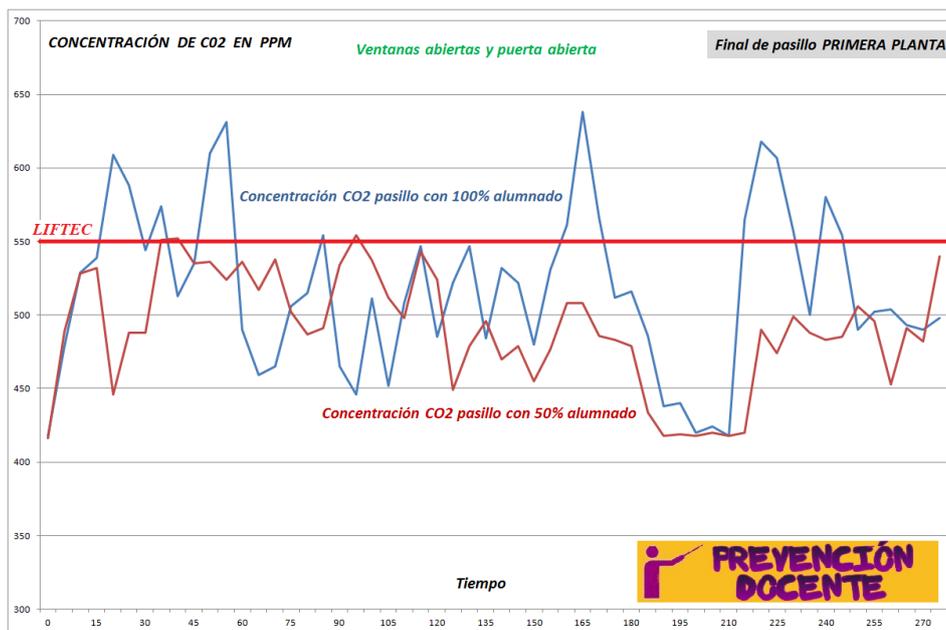
Para este caso, al igual que en planta baja se ha podido comprobar que cuando las ventanas de las aulas permanecen abiertas, al igual que la puerta situada de manera opuesta (ventilación cruzada), la evolución del nivel de CO₂ tanto en el interior del aula como en el pasillo (cercano a la puerta de la misma), también despliegan una evolución similar. En este caso el aula 15 (que se encuentra a mitad del pasillo), está formado por un grupo donde la mitad del alumnado desdobra a otro aula, por lo que la mayor parte de la jornada escolar, en el aula se encuentra solo la mitad de alumnado, de ahí que tanto los valores de CO₂ de la clase como los del pasillo sean más bajos, a diferencia de lo que ocurre en planta baja.

En cuando a valores medios de concentraciones de CO₂, a final del pasillo, dicho valor coincide prácticamente con el valor límite (pasando un 39% de la jornada escolar por encima de dicho valor). En mitad del pasillo, el valor medio está en 500 ppm (solo superándose el valor máximo en el 11% de la jornada escolar), pero debido a la situación descrita anteriormente (hay solo un 50% del alumnado). En caso de que dicho aula estuviera con una ratio del 100% de alumnado, muy probablemente se daría la misma situación que se da en planta baja donde la concentración media sería superior a la de final de pasillo, por lo que también sería la zona más peligrosa.



Al igual que en planta baja, se puede comprobar en la gráfica que las concentraciones de CO₂ del pasillo durante las clases provienen en su mayor parte del interior de las aulas que utilizan la puerta del aula como vía de salida, dado que en esos momentos no hay alumnado por los pasillos. En un aula que ventila mal (ambas clases tienen problemas de ventilación) se eleva mucho su nivel de CO₂, y parte de lo que ventila acaba echado a los pasillos, cuando estos no tienen una ventilación adecuada por lo que debería extremarse la precaución en dicho punto.

Otra cuestión analizada fue la variación del nivel de CO₂ en la zona del pasillo cercana a un aula, para ver si había una variación sustancial en el mismo cuando había una disminución de ratio del 50% en la clase cercana. Para ello, seleccionamos el aula 17 que se encuentra al final del pasillo de la primera planta. Se escoge este aula para realizar la experiencia porque tanto aula como principalmente pasillo (un túnel largo sin ventilación propia), no tienen una buena ventilación, por lo que como hemos visto antes, el pasillo suele ventilar principalmente a través de las puertas de las aulas. Para que el dato fuese más fiable se han repetido las medidas en cuatro días diferentes (dos midiendo con el alumnado al 100%, es decir 29 alumnos/as y un docente, y otros dos con el alumnado al 50%, 15 alumnos/as y un docente), siendo los resultados los siguientes:



Se quería comprobar si la disminución de CO₂ en el pasillo era proporcional a la disminución de dicha concentración en el aula. Y aunque efectivamente se produjo una disminución media de 25 ppm (suponía una mejora del 6% del nivel de CO₂ en el pasillo), era tres veces inferior a la disminución producida en el aula. Esta variación tiene su lógica dado que solo había una reducción de la ratio al 50% en dicha aula y no en el resto de aulas del mismo pasillo. Además, en el pasillo no hay separación entre zonas como si hay en cierta medida entre aula y aula. Hubiese sido interesante comprobar cómo afectaba a los niveles de CO₂ del pasillo el que la disminución de ratio al 50% se diera en todas aulas que ventilan el mismo pasillo. Otra cuestión que se puede observar en la gráfica es que en la medida del pasillo con la ratio al 50% nunca pasó en el punto de medición el límite LIFTEC.

Una conclusión clara de este primer patrón es que cuando un pasillo está mal ventilado sus concentraciones de CO₂ están muy relacionadas con las concentraciones de CO₂ de las aulas que dan a él, ya que el aire procede en buena parte del aire que sale del aula cuando entra aire limpio de la calle a la clase. Si además la ventilación de las aulas es mala, las concentraciones de CO₂ en el pasillo serán todavía mayores, haciendo de éste un lugar más peligroso.

El segundo patrón se corresponde con pasillos que tienen una mejor ventilación al tener ventanas cercanas al mismo. En este caso, como se ha indicado antes los niveles de CO₂ de las aulas y de los pasillos guardan una menor correlación.

El pasillo de primera planta cercano a las aulas que se encuentran junto a la sala del profesorado, es un pasillo bien ventilado (estando las aulas al final del mismo).



Vista desde ventanas del pasillo

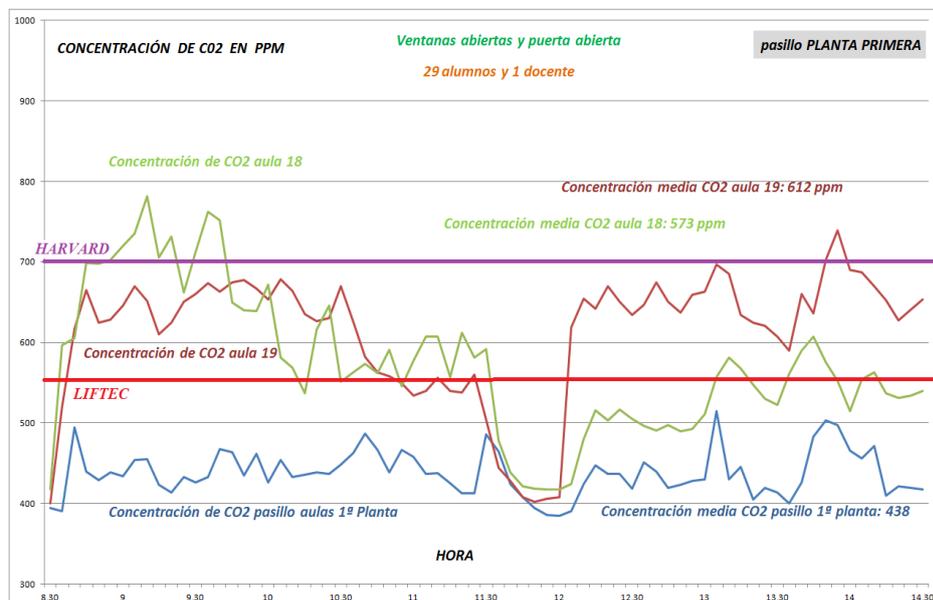


Vistas desde la puerta aulas



Ventanas en el pasillo

En la gráfica se puede observar que la concentración media de CO₂ es de 438 ppm lo que supone un valor muy cercano al nivel de CO₂ exterior, y ningún valor de pico se ha acercado a los 550 ppm, límite recomendado por LIFTEC para los pasillos, lo que supone que no es un espacio de mucho riesgo. En la gráfica también se puede observar la relativa poca interrelación de lo que ocurre en las aulas que dan al pasillo con lo que ocurre en el pasillo, como se puede ver especialmente antes del recreo.



En la segunda planta, las aulas 22 y 23 tienen la misma disposición que las aulas 18 y 19 que se encuentran en planta primera. El pasillo dispone de una buena ventilación y las aulas se encuentran también al final del mismo.



Vista desde ventanas del pasillo

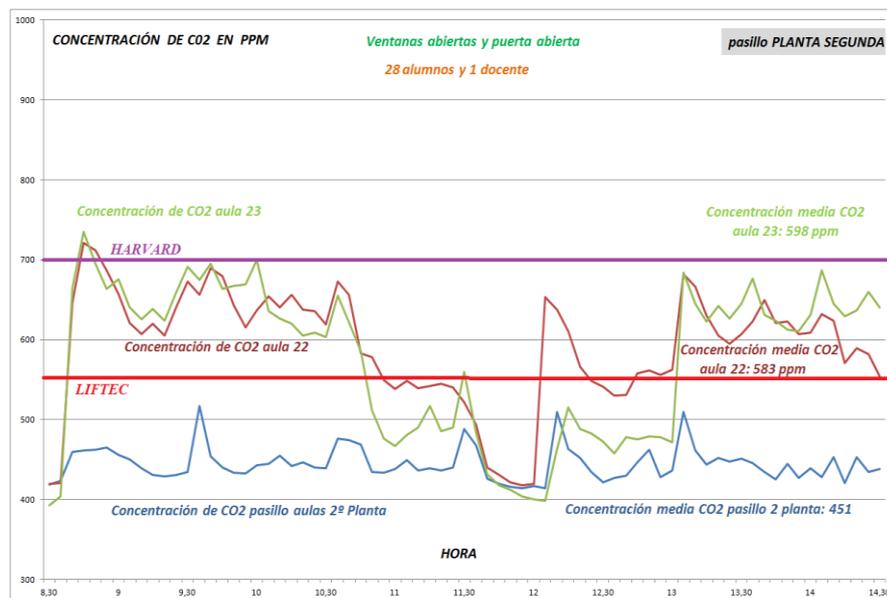


Vistas desde la puerta aulas



Ventanas en el pasillo

En la gráfica se puede observar al igual que ocurría en el anterior caso que la concentración media de CO₂ es de 451 ppm, y ningún pico ha supuesto superar los 550 ppm del límite LIFTEC para los pasillos, lo que supone al igual que ocurría anteriormente que hablamos de un espacio de poco riesgo. En este caso también se observa una menor interrelación entre los niveles de CO₂ en las aulas y en el pasillo aunque algunos valores de pico en la gráfica si coinciden como se puede observar.



En este segundo patrón, se puede sacar como conclusión que si un pasillo está bien ventilado (ventilación propia) y las aulas que dan a él también están bien ventiladas existe menor interrelación aparente entre los niveles de CO₂ de las aulas y del pasillo salvo cuando haya cambios bruscos de concentraciones de CO₂ como cuando el alumnado se incorpora a la clase proveniente del recreo o del patio tras finalizar Educación Física.

En este estudio, dadas las características de pasillos y aulas ha faltado comprobar un tercer caso que sería ver la relación entre los niveles de concentración de CO₂ de un pasillo bien ventilado con aulas mal ventiladas, ya que se podría haber sacado bastante información de que ocurre cuando una aula se ventila no a través de la calle sino a través de los pasillos.

ESTRATEGIAS DE VENTILACIÓN

La tercera parte de la experiencia ha consistido en aplicar en un mismo aula tipo (aula 17), distintas posibilidades de ventilación. Para ello se han estudiado varias situaciones posibles:

Una primera con tres posibilidades:

- Ventanas abiertas de par en par (al ser hojas correderas supone abrir por completo una hoja).
- Ventanas abiertas quitando las dos hojas de las ventanas con lo que se consigue duplicar la superficie de ventilación.
- Ventanas abiertas de par en par, pero solo con un 50% del alumnado (equivalente a la opción de semipresencialidad).

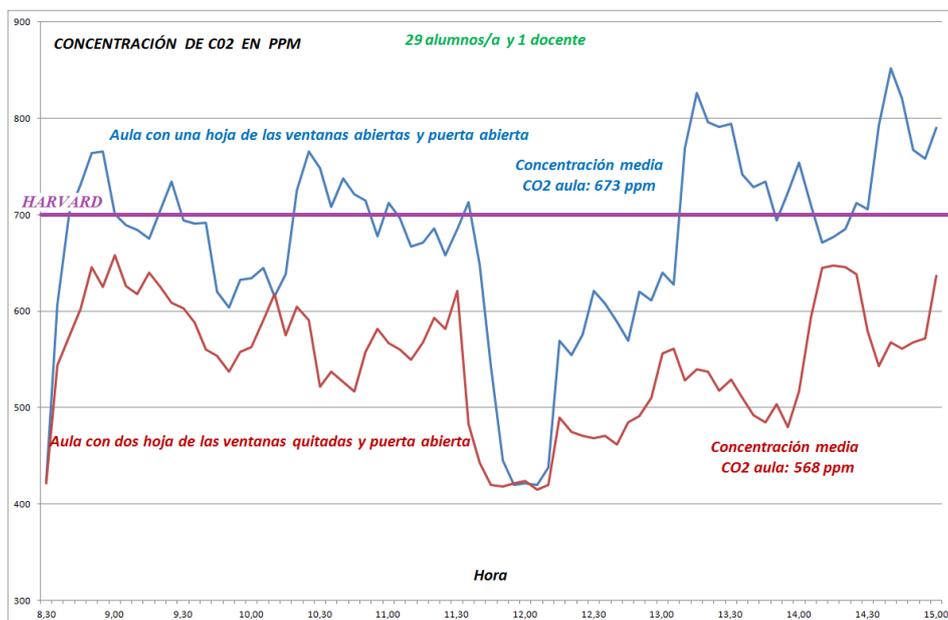


Ventanas con una hoja abierta



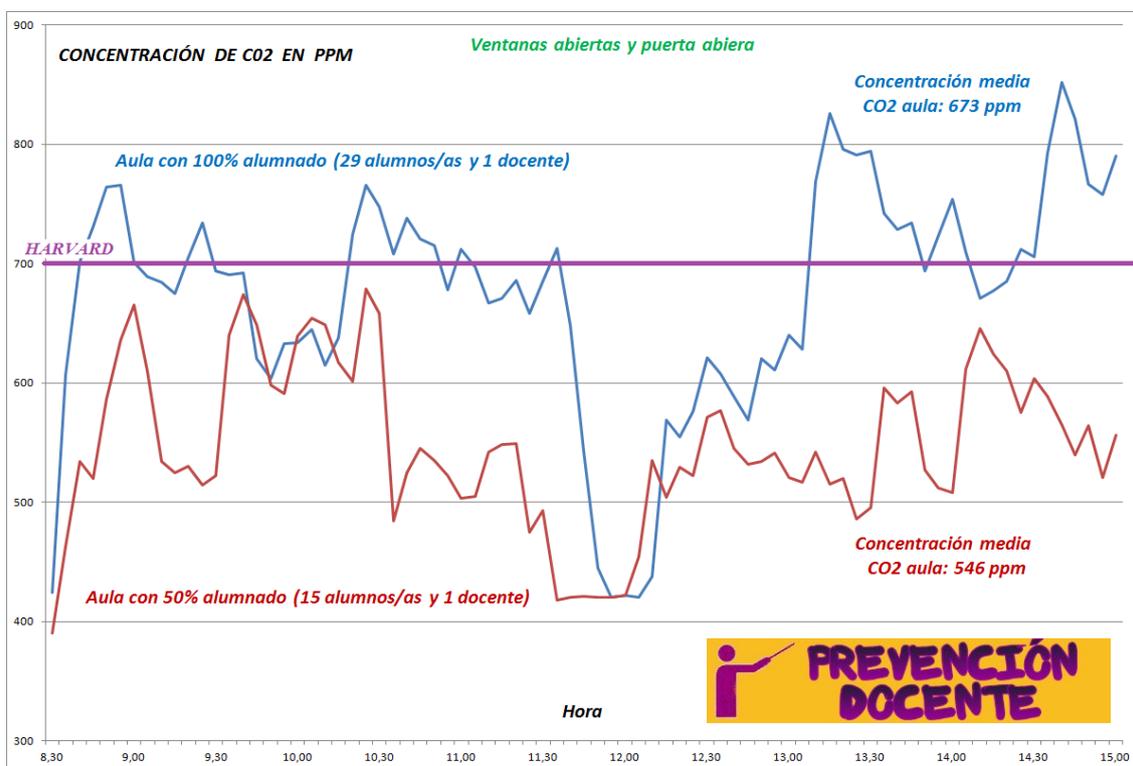
Ventanas con las 2 hojas quitadas.

Lo que se pretendía con esta medición era ver la influencia de duplicar la abertura de ventilación y observar la influencia de reducir el alumnado a la mitad. Con las ventanas correderas de una hoja se tenían 4,1 m² de superficie de ventilación, mientras que al quitar las dos hojas se disponía de 8,2 m² de abertura.



Como se puede observar, duplicar la superficie de ventilación de un aula quitando las dos hojas de las ventanas provoca una mejora sustancial de los niveles de CO₂, de media de 100 ppm (dicha actividad fue realizada dos veces con resultados muy parecidos), no superándose en ninguna de las medidas (cuando la superficie de ventilación era máxima), los límites de 700 ppm establecidos por la Escuela de Salud Pública de Harvard.

También, y aprovechando la semipresencialidad que ocurre actualmente en dicha clase y que supone que solo la mitad del alumnado viene cada día, se ha realizado la medida de los niveles de CO₂ para compararlos con la situación en la que esté todo el alumnado está en clase (ambas medidas se han realizado con ventanas abiertas de par en par y puerta abierta). Siendo los resultados los siguientes:



En la gráfica se puede ver que la disminución de la ratio al 50% supone como por otra parte era lógico una disminución media en los niveles de CO₂ de 125 ppm (valores similares a los que se obtienen cuando se multiplica por dos la superficie de ventilación), y además se ha conseguido que no se supere en ningún caso los 700 ppm recomendados por la Escuela de salud Pública de Harvard. Otra consecuencia es que se ha conseguido que un aula que por condiciones estructurales ventila mal, tenga un margen de maniobra para poder desarrollar una estrategia de ventilación de ventanas semiabiertas, que de otra forma no podría haberse desarrollado salvo en el caso de que se utilizara filtración. Por ello, mientras las condiciones climatológicas sean adversas y las fechas coincidan con la convivencia en el tiempo con otros virus que desarrollan sintomatología similar al SARS-CoV-2..., se debería promover la semipresencialidad del alumnado en aquellos niveles educativos que esté permitido por la administración educativa correspondiente.

En una segunda fase se ha estudiado que va a pasar cuando haya que ir cerrando ventanas por la climatología, con el consiguiente problema añadido de aquellas aulas que ventilan mal. Para ello se han trabajado cuatro escenarios posibles en un aula de este tipo (aula 17) y ver qué pasaba:

- Cerrar ventanas por completo.
- Dejar ventanas entreabiertas 8 cm.
- Dejar ventanas entreabiertas 15 cm.
- Dejar ventanas entreabiertas 25 cm.



Ventanas totalmente cerradas.



Abertura de 8 cm.



Abertura de 15 cm.

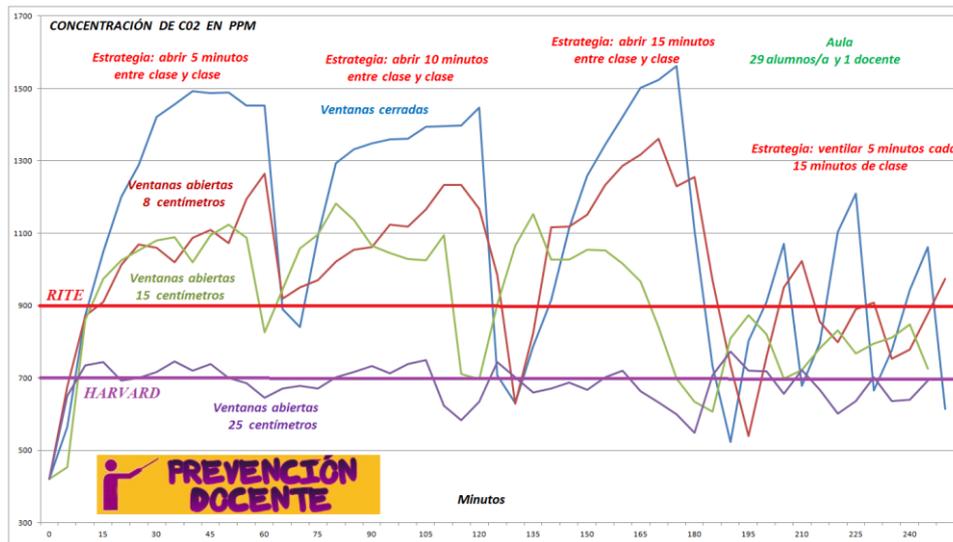


Abertura de 25 cm.

Y para cada una de las cuatro posibilidades anteriores, comprobar distintas estrategias de ventilación:

- Entre clase y clase, abrir la ventana de par en par 5 minutos.
- Entre clase y clase, abrir la ventana de par en par 10 minutos.
- Entre clase y clase, abrir la ventana de par en par 15 minutos
- Una estrategia compuesta por dejar quince minutos las ventanas en la posiciones descritas anteriormente (cerradas, entreabiertas 8 cm, 15 cm y 25 cm.), abrir las ventanas de par en par cinco minutos, volver a poner las ventanas en la posiciones descritas anteriormente quince minutos, volver a abrir de par en par cinco minutos, volver a poner las ventanas en la posiciones descritas anteriormente quince minutos, y abrir de par en par otros cinco minutos. Los 15-5-15-5-15-5 equivalentes a la hora.

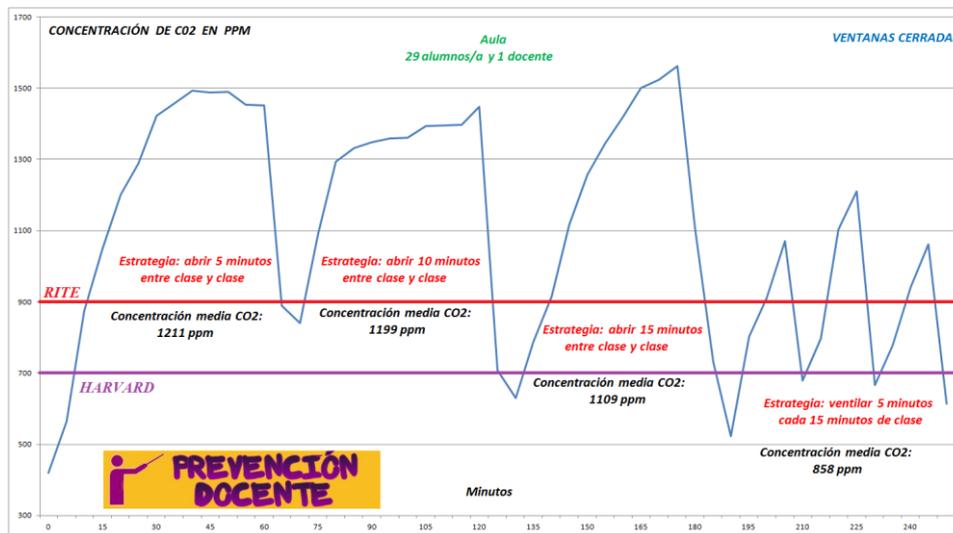
El resultado de las anteriores experiencias se puede comprobar en la siguiente gráfica general donde se pueden observar todas las estrategias llevadas a cabo.



El desglose de cada estrategia quedaría como sigue:

CIERRE TOTAL DE VENTANAS Y VENTILAR

En esta primera experiencia se han **dejado cerradas las ventanas del aula de manera permanente (con puerta abierta)** y se han probado las cuatro estrategias, abrir cinco minutos al final de la clase, abrir diez minutos y abrir 15 minutos al final de la clase. La última estrategia ha sido cerrar ventanas del aula de manera permanente y cada quince minutos, ventilar cinco con ventanas abiertas de par en par (estrategia 15-5-15-5-15-5).



La **peor estrategia de todas resultó sin lugar a dudas cerrar ventanas.** Aquí se puede ver dos situaciones claramente diferenciadas entre cerrar las ventanas y ventilar al final de la clase 5, 10 o 15 minutos y la de ventilar con la estrategia 15-5-15-5-15-5 (quince minutos cerrada, ventilar cinco, quince minutos cerrada, ventilar cinco, quince minutos cerrada, ventilar cinco). Si se cierra ventanas y se ventila solo al final de la clase se alcanzan valores de pico de 1.500 ppm casi en todos los casos y los valores medios de CO₂ durante la hora están en torno a los 1.100/1.200 ppm. En el caso de la estrategia 15-5-15-5-15-5 se alcanza un valor medio de concentración de CO₂ de 858

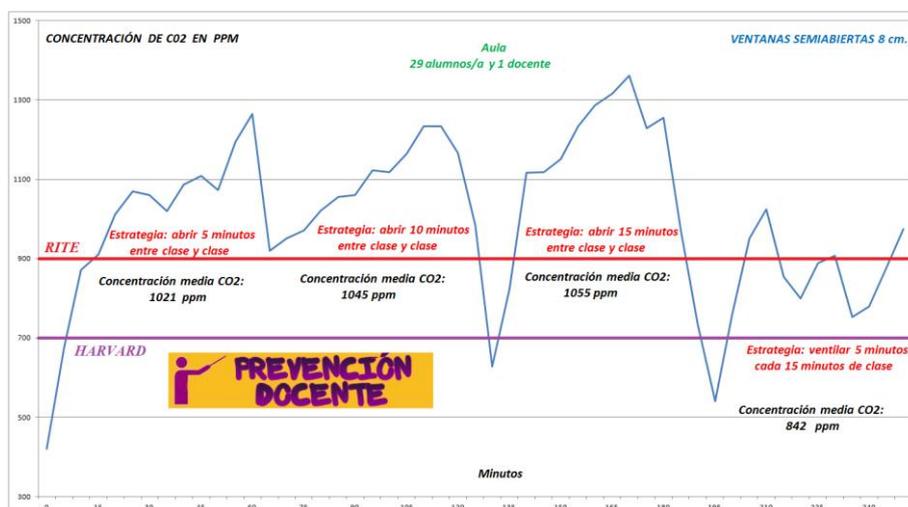
ppm con picos de 1.150 ppm. Otro aspecto a indicar es que cerrar las ventanas y ventilar al final de la clase supone que casi la totalidad de la jornada escolar (a excepción de cuando se ventila), estaríamos por encima de los 900 ppm límite máximo para centros educativos indicado por el Reglamento de Instalaciones Térmicas de Edificios (RITE).

Las conclusiones que se pueden sacar de esta experiencia son:

- ✓ Cerrar las ventanas por completo puede ser un grave error ya que no nos acercamos ni por asomo a los valores recomendados (en la situación actual generada por la Covid), por la Escuela de Salud Pública de Harvard (700 ppm).
- ✓ Salvo en el caso de la estrategia 15-5-15-5-15-5, se va a estar la práctica totalidad de la jornada escolar incluso en valores superiores al límite recomendado por el RITE (cuando el límite recomendado es el Harvard, 200 ppm por debajo).
- ✓ Cerrar las ventanas y solo ventilar al final de cada clase (ya sean 5, 10 o 15 minutos) es un error ya que se alcanzan valores de pico muy elevados, que aunque se recuperen con la apertura de ventanas, tardan prácticamente 15/20 minutos en volver a recuperar dichos valores máximos.
- ✓ La bajada de concentración de CO₂ que se produce al abrir las ventanas como era lógico es proporcional al tiempo que estén abiertas, pero la recuperación de los niveles más altos no guarda tanta proporcionalidad y se adquieren dichos valores en tiempos relativamente parecidos.
- ✓ Claramente, el secreto está en no dejar subir los niveles de CO₂ mucho, por lo que sería recomendable hacer más ventilaciones transcurriendo menos tiempo entre ellas.

VENTAS SEMIABIERTA 8 CM. (CUATRO DEDOS) Y VENTILAR

En esta experiencia se **han dejado las ventanas del aula cuatros dedos semiabiertas (ocho centímetros) y puerta abierta de manera permanente**, y se han probado cuatro estrategias, abrir cinco minutos al final de la clase, abrir diez minutos y abrir 15 minutos al final de la clase. La última estrategia ha sido dejar las ventanas del aula cuatros dedos abiertas de manera permanente y cada quince minutos ventilar cinco con ventanas abiertas de par en par (estrategia 15-5-15-5-15-5).

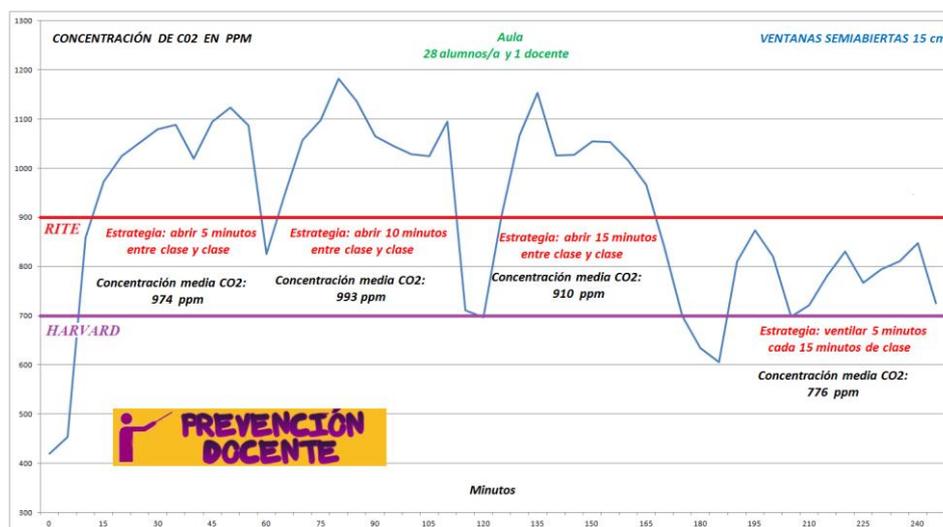


Las conclusiones que se pueden sacar de esta experiencia son:

- ✓ En el caso de las estrategias de ventilación al final de la clase (5,10 o 15 minutos):
 - Si se dejan ventanas semiabiertas cuatro dedos, los valores medios del nivel de CO₂ en el aula bajan un promedio de 150 ppm con respecto a la opción de ventanas cerradas.
 - Los valores de pico casi no sobrepasan de los 1.300 ppm (cuando con ventanas cerradas llegaban a los 1.500 ppm).
 - Los niveles medios de CO₂ en el aula siguen siendo superiores a los valores máximos establecidos por el RITE (900 ppm).
 - La mayor parte del tiempo, el alumnado y profesorado seguiría estando en valores superiores a los límites marcados por RITE.
- ✓ En el caso de la estrategia 15-5-15-5-15-5, prácticamente no ha supuesto modificación en cuanto a valor medio aunque si supone estar mayor tiempo en valores por debajo del límite RITE aunque sin llegar a estar todavía en valores cercanos HARVARD (que son los realmente recomendados)

VENTAS SEMIABIERTA 15 CM. Y VENTILAR

En esta experiencia *se han dejado las ventanas del aula semiabiertas quince centímetros de manera permanente (con puerta abierta)*, y se han probado cuatro estrategias, *abrir cinco minutos al final de la clase, abrir diez minutos y abrir 15 minutos al final de la clase. La última estrategia ha sido dejar las ventanas del aula quince centímetros abiertas (con puerta abierta) de manera permanente y cada quince minutos ventilar cinco con ventanas abiertas de par en par (estrategia 15-5-15-5-15-5).*



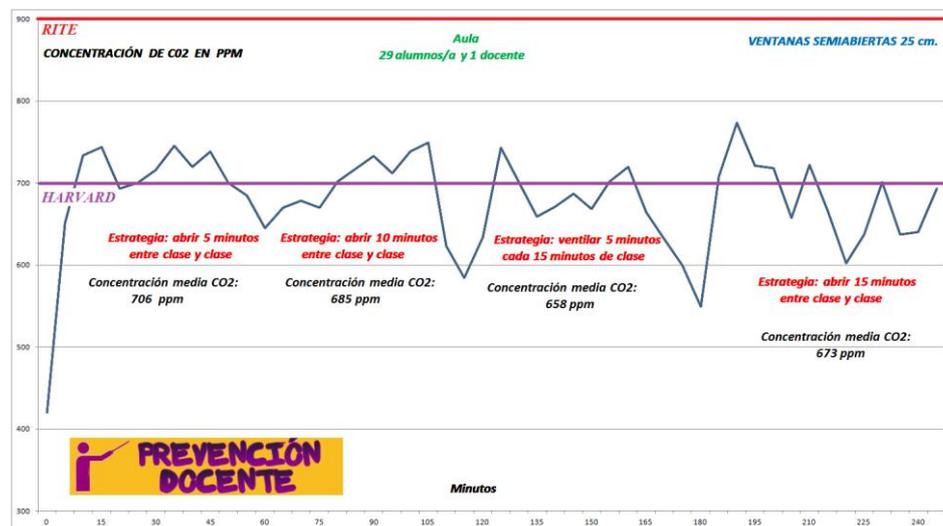
Las conclusiones que se pueden sacar de esta experiencia son:

- ✓ En el caso de las estrategias de ventilación al final de la clase (5,10 o 15 minutos):

- Si se dejan ventanas semiabiertas quince centímetros, los valores medios del nivel de CO₂ en el aula bajan un promedio de 215 ppm con respecto a la opción de ventanas cerradas.
 - Los valores de pico casi no sobrepasan de los 1.150 ppm (350 ppm menos que cuando se trabajaba con ventanas cerradas).
 - Los niveles medios de CO₂ en el aula siguen siendo superiores a los valores máximos establecidos por el RITE (900 ppm).
 - La mayor parte del tiempo el alumnado y profesorado sigue estando en valores superiores a los límites marcados por RITE (900 ppm).
- ✓ En el caso de la estrategia 15-5-15-5-15-5, solo supone una bajada de 80 ppm con respecto a los valores obtenidos con ventanas cerradas, aunque ya no se supera en ningún caso los valores límites que indica el RITE, pero todavía seguimos por encima de los 700 ppm que es el límite Harvard.

VENTAS SEMIABIERTA 25 CM. Y VENTILAR

En esta experiencia *se han dejado las ventanas del aula semiabiertas veinticinco centímetros (media hoja), de manera permanente (con puerta abierta)* y se han probado cuatro estrategias, abrir cinco minutos al final de la clase, abrir diez minutos y abrir 15 minutos al final de la clase. La última estrategia ha sido dejar las ventanas del quince centímetros abiertas (con puerta abierta) de manera permanente y cada quince minutos ventilar cinco con ventanas abiertas de par en par (estrategia 15-5-15-5-15-5).



Las conclusiones que se pueden sacar de esta experiencia son:

- ✓ Al abrir la hoja de la ventana veinticinco centímetros (media hoja) la gráfica se estabiliza y se obtienen valores de concentraciones medias y tendencias parecidas, por lo que con esa abertura la estrategia de ventilar al final 5, 10 o quince minutos o llevar la estrategia 15-5-15-5-15-5 no influye tanto como en los casos anteriores, por lo que la estrategia en sí sería mantener la ventana semiabierta la mitad, y ventilar al final de la clase 10/15 (15 mejor que 10)

minutos con lo que nos ahorramos la pesadez de tener que estar abriendo la ventana cada quince minutos.

- ✓ Con esta opción de ventana semiabierta se está bastante alejado de los límites máximos marcados por el RITE (no se acerca ni en los valores de pico) e incluso una buena parte de la jornada escolar (64%) se está por debajo de los límites de 700 ppm marcados por Harvard.

Como conclusión de las experiencias realizadas para poner a prueba las distintas estrategias de ventilación (ventilar 5, 10 o 15 minutos entre clase y clase o aplicar la estrategia 15-5-15-5-15-5), en función de los distintos escenarios (cerrar ventanas por completo, dejar ventanas semiabiertas 7, 15 o 25 centímetros) y comparándola con la opción de estar todo el día con ventanas abiertas de par en par, se podría resumir en lo siguiente:

El secreto consiste en **intentar conseguir el mayor confort térmico** pero **garantizando la máxima ventilación posible** (niveles de CO₂ < 700 ppm o garantizando 5 ACH).

- La ***opción más clara*** debería ser ***tener ventanas abiertas y puerta abierta de par en par con ventilación cruzada*** (ventanas y puerta/as en paredes opuestas, que es como suelen estar puertas y ventanas en los centros educativos) todo el tiempo se pueda.
- ***No existe ninguna opción aconsejable que no incluya una ventilación de manera constante*** (sea cual sea la opción elegida). ES LA ÚNICA FORMA DE DISMINUIR LAS CONCENTRACIONES DE CO₂ de una manera directa.
- La ***peor opción*** siempre va a ser ***cerrar las ventanas por completo*** (independientemente de la estrategia elegida).

El problema surge cuando las condiciones climatológicas piden que se vayan cerrando las ventanas. Aquí habría que diferenciar entre situaciones en las que se dispone de un medidor de CO₂ en el aula o no se dispone de él, o entre situaciones en las que se dispone de aparatos portátiles de purificación (filtros HEPA) o no.

- Si se dispone de medidores de CO₂ en el aula la estrategia está clara, **dejar una ventilación permanente** (cuanta mayor abertura mejor) y **realizar ventilaciones constantes** (dejando el medidor en la parte de la clase donde peor sea la ventilación). **Cuando el medidor de CO₂ suba por encima de los 700 ppm** (algunos medidores disponen de alarma) abrir ventanas.
- **SERÍA IMPORTANTE QUE HUBIERA MEDIDORES DE CO₂ EN TODOS LOS CENTROS EDUCATIVOS**, y que sirvieran como pauta real para ventilar (lo ideal sería uno por aula).
- Si no se dispone de medidor de CO₂ en el aula (que por desgracia va a ser la inmensa mayoría de los casos), las estrategias que aconsejan las gráficas anteriores sería implementar por el siguiente orden:
 1. Ventanas abiertas de par en par hasta que las condiciones climatológicas lo permitan.
 2. Ventanas abiertas a la mitad y ventilar (abrir de par en par) al menos 10/15 minutos entre clase y clase (aunque con la estrategia 15-5-15-5-15-5 nos garantizamos siempre la mejor opción).
 3. **Si hay que cerrar las ventanas todavía más**, hay que pasar (**durante la etapa de malas condiciones climatológicas**) a la estrategia 15-5-15-5-15-5 en cualquiera de los casos (con aberturas inferiores). Esta estrategia es **la peor desde el punto de vista educativo** ya que se debe estar casi más pendiente de la ventilación que de la clase, pero es **la mejor desde el punto de vista de la ventilación** y niveles de CO₂ y por lo tanto de concentraciones de aerosoles (que es lo realmente peligroso si los mismos son infectivos).

- Los días que haya viento (mayor sensación térmica y por lo tanto más sensación de frío), habrá una mejor ventilación en el aula por lo que se pueden cerrar un poco más las ventanas, pero en ese caso se debería pasar a la estrategia 15-5-15-5-15-5.
- **¿Cómo se pueden mejorar las anteriores estrategias?** sustituyendo parte de la ventilación natural por filtración (filtros HEPA). La Escuela de Salud Pública de Harvard indica que se deben renovar el aire de un aula al menos 5 veces por hora (5 ACH), (la OMS recomienda 6).
- Los filtros HEPA portátiles muchas veces no alcanzan el caudal requerido para garantizar el mínimo de cambios por hora recomendados por la Escuela de Salud Pública de Harvard, por lo que en este caso se sustituye parte de las renovaciones por hora de la ventilación con filtración

$$\text{ACH total} = \text{ACH ventilación natural} + \text{ACH filtro HEPA} \geq 5$$

- El uso de **filtros HEPA puede ayudar a pasar SOLO el frío ESTRICTAMENTE NECESARIO**, y **de una manera más segura**. Toda la información sobre los filtros HEPA se podrá encontrar al final de este documento.
- Los filtros HEPA son **MUY IMPORTANTES** en espacios donde hay **ACTIVIDADES DE RIESGO** que no puedan hacerse al aire libre y donde **NO ES NECESARIO LLEVAR MASCARILLA** (aulas con alumnado de infantil, de educación especial, comedores).



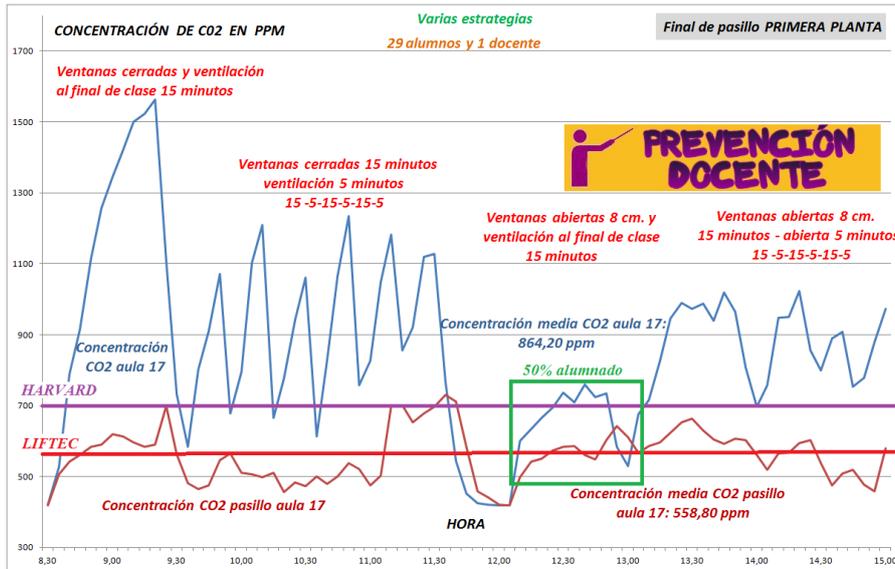
Una vez estudiadas las distintas estrategias descritas anteriormente, se ha querido ir todavía un paso más allá y se ha estudiado como influyen dichas estrategias (básicamente la apertura y cierre de ventanas en función del tiempo y de la frecuencia), a las concentraciones de CO₂ del pasillo, y así compararlas con las concentraciones con ventanas abiertas.



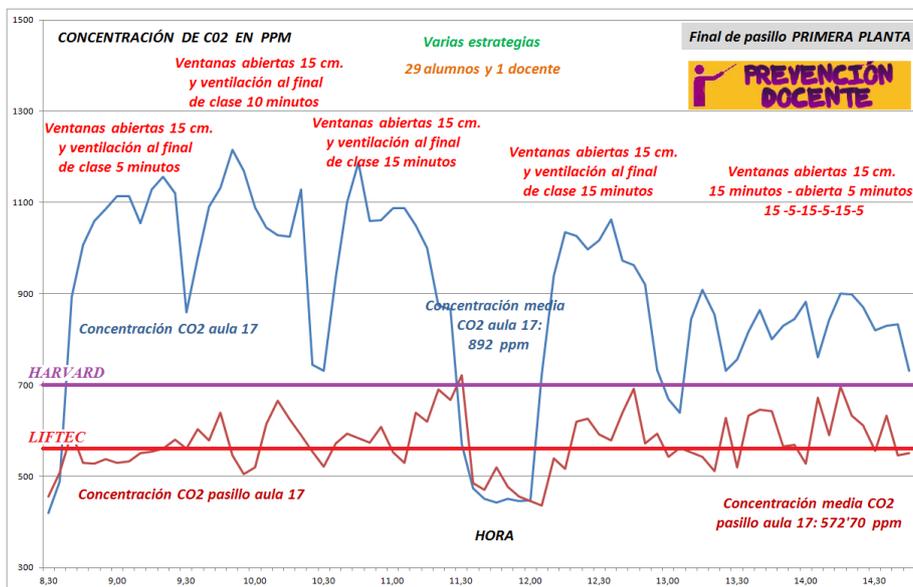
Partimos de una zona del pasillo donde el aula cercana con ventanas abiertas y puerta abierta tiene una concentración media de CO₂ (tras la realización de varias mediciones en distintos días) de 547 ppm (valor justo en el límite máximo recomendado por LIFTEC).

El objetivo es ver cómo se comportan los niveles de CO₂ en el pasillo, en función de las estrategias utilizadas para ventilar. Nos interesan especialmente aquellas que sean más efectivas para ventilar ya que deberían ser las más utilizadas (apertura de 15 y 25 centímetros de hoja de ventana, así como la estrategia 15-5-15-5-15-5).

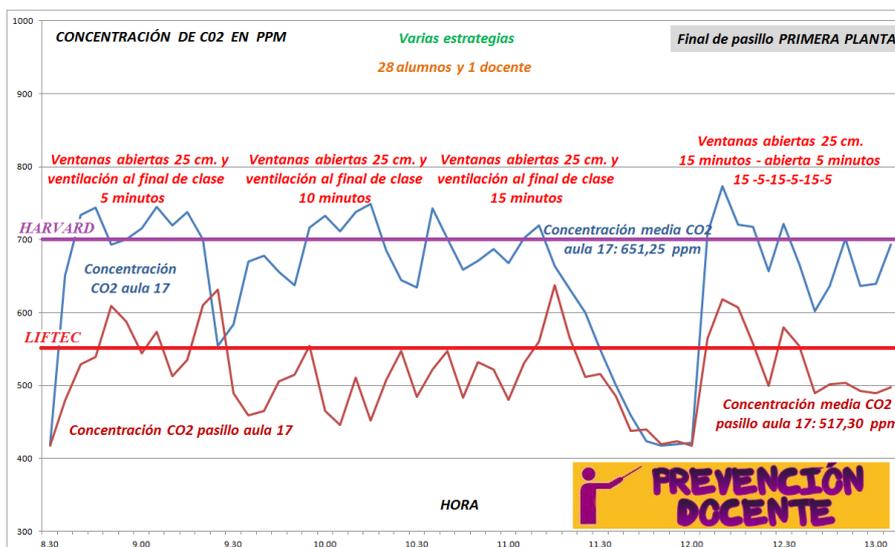
Después de las mediciones correspondientes tomadas en varios días, las graficas obtenidas son estas:



Ventanas cerradas y semiabiertas 8 centímetros con ventilación de 15 minutos entre clase y clase o con estrategia 15-5-15-5-15-5



Ventanas semiabiertas 15 centímetros con ventilación de 5, 10 y 15 minutos entre clase y clase o con estrategia 15-5-15-5-15-5



Ventanas semiabiertas 25 centímetros con ventilación de 5, 10 y 15 minutos entre clase y clase o con estrategia 15-5-15-5-15-5

Si se miran las concentraciones medias en el pasillo para cada experiencia y las comparamos con la concentración cuando las ventanas estaban abiertas (en todo momento la puerta siempre han estado abierta), vemos que independientemente de la opción (ventanas cerradas, semiabiertas 8, 15, 25 centímetros) y la estrategia utilizada (ventilación, 5, 10 o 15 minutos tras cada clase o la estrategia 15-5-15-5-15-5), las concentraciones medias de CO₂, solo varían 30 ppm hacia arriba y hacia abajo (valores poco significativos, aunque también es cierto que el valor puntual en un pasillo también está muy influenciado por las concentraciones de CO₂ en el resto del pasillo, y más cuando no hay ventilación como es este caso).

Lo que también se aprecia claramente, es que la opción de tener abierta media hoja (25 centímetros) de la ventana de manera permanentemente hasta que se ventile, supone el valor más bajo de concentración media y por lo tanto más alejado de límite LIFTEC, sino que además supone que la mayor parte de la jornada escolar los niveles de concentración de CO₂ en el pasillo están por debajo de dicho valor. En el resto de opciones (ventanas cerradas o semiabiertas 8 o 15 centímetros), independientemente del tipo de estrategia de ventilación, muchos de los valores del pasillo están por encima de los límites de los 550 ppm (límite LIFTEC), incluso con valores de pico puntuales superiores en algunos casos a los 700 ppm (valores límite Harvard para el propio aula).

Por lo tanto, de la observación conjunta tanto de las concentraciones de CO₂ a nivel de aula como a nivel de pasillos, las conclusiones en cuanto a opciones y estrategias son las mismas, ya que en ambos casos coinciden como ya se han indicado, con la única diferencia, de que habría que hacer un especial control de los pasillos mal ventilados que supongan un riesgo real. Sería interesante dar a conocer al alumnado estos datos y hacer pedagogía en la importancia de no bajar la guardia desajustándose la mascarilla en dichos lugares.

FILTRACIÓN.

La misión de la **ventilación** es el desplazamiento y/o la dilución del CO₂ exhalado tras la respiración, y lo que es más importante en la situación actual, el desplazamiento/dilución de los aerosoles potencialmente infectivos que puede haber suspendidos en el aire. Esta **debería ser la primera opción**. La ventilación natural que permite la entrada de aire limpio al aula, es la única opción que supone renovación real del aire (la ventilación forzada por sí sola, supone la recirculación del aire sin más ya que no filtra las partículas ni los aerosoles), por lo que es **la única recomendada**.

La ventilación natural puede ayudar **a disminuir la concentración de virus en el aire (disminución de la carga viral)**, ya que introduce aire exterior que ayuda a diluir y extraer tanto el CO₂ como la concentración de aerosoles potencialmente infectivos en los ambientes interiores por lo que se **disminuye el riesgo** de contagio.

Hasta hace pocas fechas, ventilar ha sido fácil, abrimos las ventanas y las puertas (ventilación cruzada), y ya está, pero ha llegado el momento donde por climatología se cae en la tentación de irlas cerrando o incluso se tendrán que cerrar por ejemplo por frío extremo o por lluvia ¿qué pasará entonces? o ¿qué pasa si la ventilación natural como

en muchas aulas no es suficiente? La respuesta es **FILTRAR**. El proceso de filtración, que no es excluyente con el de ventilación, lo que hace es purificar el aire de agentes contaminantes (incluidos aerosoles potencialmente infectivos), quitando el virus del aire al hacer pasar dicho aire a través de un filtro de alta eficiencia donde quedan atrapadas hasta el 99,995% (en el caso de filtros H14) de las partículas con un tamaño superior a 0,3 micras, y por lo tanto los aerosoles potencialmente infectivos. En el caso de centros escolares sería recomendable el **uso de purificadores con filtros HEPA del grupo H13** (sólo dejan pasar 50 de cada 100.000 partículas suspendidas en el aire), **con un caudal de aire proporcional a los metros cúbicos del volumen de aire a filtrar, debiendo tener en cuenta el número de personas que hay en dicho espacio y que mantengan una tasa de renovación por hora adecuado** (la Escuela de Salud Pública de Harvard recomienda **que todo el aire del aula pase por el filtro cada 12 minutos**). Hay que tener también en cuenta que los filtros de los aparatos que se compran deben ser reemplazados según el uso que hayan tenido cada 6/12 meses aproximadamente. Este tipo de aparatos en principio no tienen ningún efecto secundario para la salud, pero hay que tener cuidado en su manipulación cuando haya que cambiar el filtro, debiendo esperar para hacerlo hasta que pasen algunos días después de su último uso, con el fin de garantizar que el virus que pueda haber en el interior de los últimos aerosoles atrapados por el filtro esté desactivado. Posteriormente se debe realizar el reemplazo del mismo al aire libre y con la protección adecuada (guantes, gafas de protección y mascarilla).

Pero también **hay que tener muy claro** que el purificador con filtro HEPA utilizado en las aulas, **no es por sí solo la solución**. **Debe ser una medida de protección más**, como lo debe ser la propia ventilación natural, la limitación del tiempo de alumnado y profesorado en el interior, el distanciamiento entre el alumnado, el uso eficaz de la mascarilla (bien ajustada) o la higiene de manos, ya que su uso por sí solo **no garantiza** (como no lo hace ningún otro sistema de ventilación/filtrado/recirculación), **una tasa de contagio cero, solo consigue minimizar el riesgo**.

La ventaja que tienen estos equipos, es que al igual que con la ventilación, lo que estamos haciendo es disminuir la carga viral en el aire y por lo tanto el riesgo de transmisión, pero en este caso cuando la ventilación es insuficiente (ya sea de manera general, o en situaciones en la que no se puedan tener las ventanas abiertas como puede ser el invierno). Es cierto que cualquier filtro que se ponga en una aula es mejor que nada pero **es fundamental que los equipos comprados sean efectivos y eso SOLO ocurre cuando están bien dimensionados**. En la situación actual muchos y muchas docentes, así como Asociaciones de Padres y Madres de muchos centros se han lanzado a Internet a buscar filtros HEPA de una manera desesperada, pero hay que tener cuidado con que el filtro que estamos comprando se adapte a la realidad del espacio para el que va a ser utilizado. Va a suponer un gran inversión (solo hay que multiplicar el número de filtros HEPA para cada espacio a filtrar por el precio de cada uno de ellos), y nos podemos encontrar que **si no se tiene en cuenta las características que debe tener el equipo, los filtros comprados pueden no garantizar una filtración eficiente y podemos generar una falsa sensación de seguridad** por la relajación al pensar que con el filtro HEPA ya está todo hecho. Lo recomendable siempre que haya dudas es ponerse en contacto con personal especializado para que nos indique el tipo de filtro que mejor se adapta a las necesidades de cada uno de nuestros espacios a filtrar.

Como norma general, unas recomendaciones a la hora de elegir el filtro adecuado son:

- Como hemos visto antes la Escuela de Salud Pública de Harvard recomienda que el proceso de filtrado sea de cinco cambios de aire por hora (ACH) para las escuelas. Para determinar si el filtro que se va a comprar cumple o no con esa recomendación, tenemos que saber el volumen de la habitación a filtrar y la tasa de renovación por hora del aparato.

- Para calcular el volumen del aula multiplicamos largo x ancho x alto ó superficie del aula x altura.

$$10 \text{ m} \times 6 \text{ m} \times 2'5 \text{ m} = 150 \text{ m}^3$$

- El número de cambios de aire por hora (ACH). De acuerdo con la Escuela de Salud Pública de Harvard es recomendable 5 cambios de aire por hora (la OMS recomienda 6).
- La tasa de renovación de aire (CADR) es la cantidad de aire (m^3) por hora que el filtro HEPA debe filtrar para conseguir el número de cambios de aire recomendados. Se obtiene:

$$\text{CADR} = \text{volumen} \times \text{ACH} = 150 \text{ m}^3 \times 5 = 750 \text{ m}^3/\text{hr}^{**}$$

**** Este valor correspondería a una mala ventilación. A medida que el nivel de ventilación es mejor (bajo, normal bueno, excelente), el valor de CADR es menor.**

Encontrar en el mercado un filtro HEPA con un caudal $750 \text{ m}^3/\text{hr}$ por un precio asequible es imposible. Por ese motivo normalmente se suele combinar la ventilación natural con la filtración.

Si hay que renovar el aire 5 veces cada hora se puede combinar:

3 ACH con ventilación natural + 2 ACH con filtro HEPA
2 ACH con ventilación natural + 3 ACH con filtro HEPA...

Incluso aunque el volumen del aula fuera pequeño y el filtro HEPA tuviera un caudal que por sí solo cubriera las 5 renovaciones de aire por hora, también sería recomendable complementarlo con ventilación natural ya que el filtro HEPA solo elimina las partículas y aerosoles (retirando carga viral del ambiente), **pero no disminuye la concentración de CO_2** .

- ¿Cómo se puede calcular el número de veces que renueva un filtro HEPA el aire?

Dividiendo la tasa de renovación de aire (CADR) del filtro HEPA entre el volumen del aula:

$$ACH (\text{filtro HEPA}) = CADR / \text{volumen}.$$

Si el CADR de un filtro HEPA es 500 m³/hr y el volumen es 150 m³

ACH = 500 / 150 = 3,3 → los 1'7 ACH que faltan hasta los 5 → Ventilación natural.

Otra opción para calcular la tasa de renovación de aire necesario es acudir a calculadoras como la que se encuentra en la siguiente dirección: <https://calculadora-cadr.web.app/> Esta calculadora está basada en las instrucciones de la Escuela de Salud Pública de Harvard y solo se requiere introducir las dimensiones de la clase en cuestión.

Para las aulas de nuestro centro de de 60 m² y con los niveles de ventilación que tenemos se requiere una CADR de 672 m³/h.



Esos valores tan grandes suponen un problema ya que no hay equipos portátiles de dicho caudal, lo que supondría que habría que comprar 2 equipos por clase y dispararía el precio para tener cubierta cada aula.

La única opción sería buscar un aparato portátil del mayor caudal posible, y acorde al precio y complementar el resto con ventilación natural utilizando las estrategias adecuadas desarrolladas en este informe.

Hay otra calculadora: <https://www.calculadorahepa.com/> más gráfica, que incluye características (CADR, nivel de ruido y número de filtros necesarios para conseguir los 5 ACH), de un listado de filtros HEPA con sus enlaces en amazon.

Otras cuestiones hay que tener muy en cuenta con el filtro HEPA son:

- Los filtros HEPA son **MUY IMPORTANTES** en espacios donde hay **ACTIVIDADES DE RIESGO** que no puedan hacerse al aire libre y donde **NO ES NECESARIO LLEVAR MASCARILLA** (aulas con alumnado de infantil, de educación especial, comedores).
- El filtro HEPA **NO** genera corrientes de aire peligrosas ya que el flujo de aire a la entrada al filtro no es muy potente. El que es más potente es el flujo de aire/CO₂ de salida del filtro, pero sale sin partículas ni aerosoles infectivos por lo que tampoco es peligroso.



- Los filtros HEPA no consumen mucha electricidad (oscilan entre los 30 y 70 w que equivalen a una bombilla).
- El único problema puede ser el nivel de ruido en filtros de un caudal elevado. Se puede mejorar si se sustituye un solo filtro por dos (debiendo calcularse que la suma de los dos caudales sean igual al caudal del filtro que sustituye).
- Cada modelo tiene distintas opciones. Algunos permiten trabajar en distintos modos (normal, automático o nocturno), o con distintas velocidades, que supondrán distintos caudales, distintos niveles de filtración y a su vez distintos niveles de ruido.
- Es desaconsejable que el equipo portátil de filtración tenga ionizador, fotocátalisis, plasma, etc. Si lo lleva es recomendable desconectar dichas funciones. Además encarecen el producto.
- Quién recomienda el uso de filtros HEPA:
 - Ministerio de sanidad y Ministerio de transición ecológica:
https://www.mscbs.gob.es/profesionales/saludPublica/ccayes/alertasActual/nCov/documentos/Recomendaciones_de_operacion_y_mantenimiento.pdf
 - Escuela de Salud Pública de Harvard:
https://drive.google.com/file/d/1_-5OPAmoiSB0oaa4vVUctYy4qVrR1r5q/view
 - Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)
https://www.csic.es/sites/default/files/guia_para_ventilacion_en_aulas_csic-mesura.pdf

Para saber más, ver el siguiente hilo de Twitter con video incluido de cómo funciona un filtro HEPA:

<https://twitter.com/PrevincinDocen1/status/1335213338716942341>

DESAYUNO EN UN CENTRO ESCOLAR Y VENTILACIÓN.

Como ya se indicaba en otro documento sobre ventilación anterior de fecha 25 de septiembre, el desayuno del alumnado en los centros educativos es otra cuestión que está relacionada con la ventilación de espacios ya que da lugar sin duda al momento más crítico que se vive en los colegios e institutos para tratar de evitar la propagación del SARS-CoV-2 en un centro educativo, pues supone que en principio, la totalidad del alumnado del centro se quita la mascarilla al mismo tiempo para realizar una actividad potencialmente peligrosa y que supone la emisión de gotículas y aerosoles al aire. Como ya se indicaba en dicho documento surgía la pregunta de si era mejor realizar dicha actividad en el aula o en el patio de recreo.

Ambas situaciones tienen sus pros y sus contras, y generan situaciones de riesgo diferentes que deberían ser evaluadas de manera correcta a la hora de tomar una decisión definitiva. Para ello, se deben tener en cuenta una serie de características como son el tamaño de las aulas, calidad del aire en el interior, buena o mala ventilación, número de alumnado por aula, número de alumnado total en cada patio al mismo tiempo, superficie de cada uno de los patios, posibilidad de escalonar el recreo, edad de los alumnos y alumnas, si el alumnado lleva o no mascarilla (grupos estables de convivencia)... Cualquier protocolo es un **documento genérico** con **recomendaciones generales**, pero **debe ser cada centro el que valore el riesgo, y recoja aquellas recomendaciones que crea que mejor se adaptan a las necesidades de su colegio o instituto.**

Como se indicaba en el documento de 25 de septiembre, las ventajas que tiene desayunar en clase son:

- Se garantiza el **control del desayuno** de una manera efectiva ya que es más fácil controlar a 20/25/30/35 alumnos y alumnas en la clase (según el nivel educativo y las ratios), que a varios cientos de ellos y ellas en un mismo patio.
- Se garantiza la **correcta desinfección** de la superficie donde va a comer el alumnado y la **correcta higienización** de manos (ambas situaciones de manera previa a desayunar).
- Se garantiza que **el alumnado no comparta ni comida ni bebida** entre ellos.
- Se garantiza que el **desayuno sea rápido** ante el aliciente de ir al patio una vez hayan acabado.

Las desventajas que tiene desayunar en la clase son:

- **Comer en espacios cerrados.** A este factor tan importante habría que añadir la ventilación (elemento fundamental para evitar la propagación del SARS-CoV-2 en estos espacios). Una inadecuada ventilación, ya sea de forma habitual, como cuando vengan días donde sea difícil mantener las ventanas abiertas durante toda

la jornada educativa agravaría todavía más el problema, por lo que debería ser un factor determinante a la hora de tomar la decisión.

- Con las ratios actuales no se garantiza la distancia de seguridad entre el alumnado, cuando además esta debería ser todavía mayor ya que es una actividad que se realiza sin mascarilla.
- Se desayuna en una fase donde la calidad del aire interior es la peor y también es mayor la posible concentración de aerosoles potencialmente infectivos, dado que se realiza durante el momento en que el aula ha estado ocupada una mayor cantidad de tiempo durante la primera mitad de la jornada escolar.

Las ventajas que tiene desayunar en el patio son:

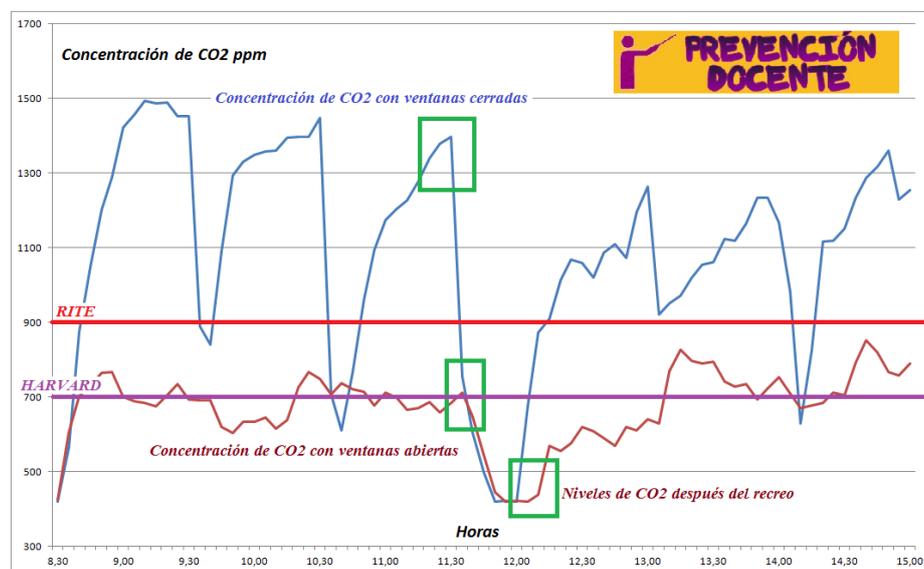
- Se garantiza que el proceso se realiza al aire libre.
- Se garantiza una mayor distancia teórica de seguridad entre alumnado (siempre que la amplitud de los patios y el número de alumnos y alumnas lo permita).

Las desventajas que tiene desayunar en el patio son:

- Aunque la distancia de seguridad entre el alumnado es teóricamente mayor, la realidad nos dice que los alumnos y alumnas en el patio de recreo tienden a no respetarla.
- Una vez que el alumnado sale de la clase no se puede garantizar la higiene de manos desde que se realiza de manera previa a la salida del aula, hasta que el alumnado vaya a desayunar en el patio (durante su desplazamiento por los pasillos puede tocar paredes u objetos mientras se desplaza, choques de manos entre ellos en el patio, y cualquier otra circunstancia que se nos pueda ocurrir).
- Por mucho profesorado de guardia que se ponga a vigilar en el recreo en cada patio, no se va a poder garantizar de manera permanente la necesaria distancia de seguridad entre el alumnado (que además va a estar sin mascarilla) mientras este desayuna. Las guardias de recreo van a ser una continua llamada de atención por la continua rotura de las distancias de seguridad. Mientras se le llama la atención a un alumno o alumna, en muchas partes del patio va a estar ocurriendo lo mismo, con el agravante de que ocurre mientras comen, pudiendo darse situaciones habituales en las que sin mantener distancias de seguridad haya alumnado frente a frente con otro, comiendo, hablando y sin mascarilla (posible contaminación directa por gotículas).
- Al superar en tanta cantidad el número de alumnos y alumnas presentes en el patio al profesorado de guardia, tampoco se va a poder garantizar que no haya intercambio de comida y bebida. Mientras el profesorado de guardia se desplaza de un punto a otro, siempre va a llegar tarde a cualquier situación de este tipo.
- Los desayunos se pueden eternizar al ver el alumnado una posible forma de estar sin mascarilla durante el tiempo en que realiza su desayuno, lo que supondría que haya alumnado que esté sin mascarilla prácticamente durante todo el recreo con la excusa de que está comiendo, cuando además no se va a poder garantizar la distancia de seguridad por la situación descrita anteriormente.

A la hora de determinar cuál es el mejor sistema para que el alumnado desayune, teniendo en cuenta que las distintas opciones tienen algunos aspectos claramente inseguros, se debería optar por aquella alternativa que fuese la que menos aspectos negativos graves recogiera, debiendo ser muy importante tener presente la actual evidencia científica que recomienda realizar el mayor número de actividades posibles en espacios abiertos como forma de reducir la propagación del SARS-CoV-2 mediante aerosoles. Para tomar una decisión al respecto se debería tener en consideración una serie de recomendaciones:

- En espacios cerrados es recomendable minimizar el tiempo de estancia a lo estrictamente necesario.
- El aire libre debe ser prioritario en cualquier proceso, especialmente en aquellos en los que se realice alguna actividad sin mascarilla.
- A la hora que se realiza el desayuno (dos horas después del comienzo de las clases en un colegio y tres en un instituto), es cuando la concentración de CO₂ (que determina la calidad del aire) es mayor y por lo tanto el aire del aula es de peor calidad y habrá una alta probabilidad de que haya una mayor concentración de aerosoles potencialmente infectivos suspendidos en el aire.
- Una inadecuada renovación del aire en el aula (altos niveles de CO₂ en el aula), aumentaría todavía más el riesgo de la transmisión.



- En el caso de que por cuestiones organizativas se haya optado por el desayuno en la clase (opción desaconsejada), al menos, se debe plantear realizar el mismo a la vuelta del recreo una vez ventilada el aula, ya que al no haber alumnado en el interior durante un buen periodo de tiempo el aire se ha podido renovar y por lo tanto la calidad interior (nivel de CO₂ y concentración de aerosoles), mejora ostensiblemente volviendo a valores parecidos a los del comienzo de las clases.
- En caso de que se opte por el desayuno en el patio, es recomendable que exista el mayor número de profesorado de guardia posible durante el recreo para tratar de garantizar la distancia de seguridad (especialmente cuando estén sin mascarilla desayunando), así como evitar que se comparta bocadillo y/o bebida...

- Para favorecer el desayuno en el patio se podría establecer un escalonado a la hora de salir al recreo (situación evidentemente más sencilla en Infantil y Primaria que en Secundaria y Bachillerato).
- Cuando la ventilación de las aulas sea claramente insuficiente, ya sea de manera general por un defecto de la propia edificación, como de manera puntual (frío que provoca que se tengan que cerrar las ventanas), y no se alcanza la renovación mínima de aire, no se debería bajar la opción de desayunar en el aula.
- En el caso de alumnado que forme parte de grupos estables de convivencia y no usen mascarilla en clase (alumnado de Infantil, primer curso de Primaria, Educación Especial), también está recomendado el desayuno en el exterior del aula con la finalidad de mejorar las condiciones de seguridad al realizarlo al aire libre, aunque quizás pueda estar algo más justificado el desayuno en el interior del aula (siempre y cuando se pueda garantizar la suficiente ventilación y la distancia de seguridad) ya que la ratio en estos niveles educativos es la menor de todas las etapas, no se suele utilizar mascarilla en ninguna de sus actividades, además se podría hacer de una manera más controlada el desayuno teniendo en cuenta las peculiares características de los alumnos y alumnas de estas edades, y también se evitarían problemas de contacto con superficies contaminadas en el recreo e interacción entre ellos. En el caso de elegir esta segunda opción sería fundamental el uso de filtros HEPA en estas aulas, y que estos estuvieran funcionando durante toda la jornada escolar.
- Para evitar la eternización del desayuno se pueden utilizar dentro del propio horario de recreo distintos toques de timbre para anunciar el comienzo y la finalización del mismo.
- En cualquiera de los casos, el alumnado sólo tendrá la mascarilla quitada el tiempo imprescindible del desayuno.
- Sería muy importante trabajar con el alumnado la concienciación de que el desayuno es una actividad de riesgo, y es ahí precisamente donde deben extremarse las medidas de seguridad.

Aunque la opción de desayunar en las aulas fue la opción recomendada en un primer momento en el “documento de apoyo al profesorado para evitar la propagación del coronavirus SARS-CoV-2 en un centro educativo” elaborado en el mes de julio, sin embargo, con la actual evidencia científica conocida tanto de expertos y organismos nacionales como internacionales desde el documento de ventilación de fecha 25 de septiembre queda totalmente desaconsejada dicha opción. A fecha de hoy no hay garantía de que las normas propuestas en cualquier protocolo educativo que se ha elaborado sean las correctas ya que nos enfrentamos a una situación totalmente nueva. En sanidad por ejemplo, existen protocolos eficaces que se han verificado que funcionan correctamente porque ya se han puesto en práctica, pero nosotros nos enfrentamos a situaciones no comprobadas hasta ahora. Por todo ello, el protocolo debe ser un documento vivo que se vaya adaptando teniendo en cuenta la experiencia que vayamos adquiriendo en función de las decisiones tomadas y sobre todo de las nuevas evidencias que vayan apareciendo. Por lo tanto, debe ser susceptible de modificación en cualquier momento.

MEDIDORES DE CO₂ Y CÓMO REALIZAR LAS MEDIDAS.

Cuando alguien se propone realizar mediciones en su centro, siempre surge la misma pregunta ¿qué tipo de medidor utilizo?. La respuesta es clara desde el punto de vista técnico, pero difícil desde el punto de vista de la realidad de un centro educativo.

¡¡ OJO, LO QUE SIGUE ES MI OPINIÓN PERSONAL, QUE LO MÁS SEGURO ES QUE NO COINCIDA CON LA OPINIÓN DE LOS EXPERTOS !!

- Si lo que queremos hacer es una medición de los niveles de CO₂ del centro para ver que aulas ventilan mejor o peor y así buscar una estrategia de ventilación, mi opinión es la de los expertos, un medidor de CO₂ de tecnología NDIR que utiliza un sensor de infrarrojo no dispersivo, básicamente porque es mucho más preciso a la hora de realizar las medidas. El problema el precio (entre 100 y 300 € según la guía del CSIC).
- Si lo que se quiere es utilizar el medidor de CO₂ como pauta real para ventilar un aula (abrir de par en par cuando se llegan a las 700 ppm), desde mi punto de vista, prefiero uno más barato (aunque con menos sensibilidad), pero que se puedan comprar más, y que lo haya en todas las aulas. Ventilar en función de los niveles de CO₂ es la mejor opción porque nos va a permitir pasar solo el frío estrictamente necesario (siguiendo una estrategia de ventilación adecuada).

Hay administraciones educativas que han optado por comprar dos o tres medidores para que sean compartidos por las distintas aulas del centro (se ha elegido esta misma opción incluso para los filtros HEPA). Eso supone que cuando se está utilizado en una clase, no puede ser utilizado por otra (es como cuando una familia se va a vivir al campo, tienen un solo coche, todos trabajan, y lo hacen en sitios muy alejados entre sí). Los medidores compartidos para realizar mediciones están bien, pero para ser utilizados como pauta real para realizar la ventilación de todas las aulas es un error (¿cómo se consigue eso?).

Una vez que tengo mi medidor la pregunta es ¿dónde y cómo realizar las mediciones?

De manera previa a la medición que se vaya a realizar, es conveniente verificar o en su caso calibrar el medidor de CO₂ (no es necesario calibrar el medidor siempre que se vaya a realizar una medición). Lo que hay que hacer es salir al exterior del centro y comprobar el valor que da el medidor (debe estar en valores cercanos a los 416/418 ppm). Este valor exterior depende de donde esté situado nuestro centro (no nos va a dar lo mismo en un colegio de un pueblo en mitad de la sierra, que en un colegio en una zona de la ciudad con tráfico intenso por poner casos extremos). Lo que sí es cierto, es que esos valores iniciales de CO₂ (que coinciden con los valores del aula antes de comenzar la jornada escolar si las ventanas han estado abiertas), si van a ser más o menos estables (menos estables en ambientes urbanos donde haya fuentes de emisión de CO₂ cercanos), en un mismo punto cada día, y me van a permitir saber en qué condiciones está mi medidor para comenzar las medidas (en caso de duda calibrarlo).

Una vez que tengo el medidor en condiciones de realizar las medidas y antes de efectuar las que me van a servir de referencia, mi recomendación es hacer mediciones previas para determinar el punto del aula más desfavorable (donde peor aire se respira y por lo tanto donde mayor es la concentración de CO₂). Normalmente este punto suele estar alejado de las ventanas y puertas de las aulas (los expertos recomiendan poner el medidor en un sitio centrado del aula alejado de corrientes de ventilación que interferirían en la medida real). Yo, por el principio de precaución siempre busco el punto más desfavorable, aunque quede dentro de una zona muerta de ventilación, ya que ese punto va a ser el más peligroso. Una vez localizado el lugar, se situará el medidor a una altura equivalente a la zona donde el alumnado respira y a una distancia de un metro de él para evitar que el alumno altere los datos mediante la exhalación de CO₂.

El medidor por lo tanto debe estar alejado de:

- Fuentes de CO₂ cercanas (como puede ser un alumno/a exhalando cerca).
- Zonas donde haya corrientes.



Una vez elegido el punto de medida, es conveniente colocar el medidor de CO₂ en dicho punto con tiempo suficiente (al menos 10 minutos), para asegurar el tiempo de respuesta del medidor. El mismo punto seleccionado para la medida en el caso de querer hacer un estudio de los niveles de CO₂, puede utilizarse para colocarlo si se quiere utilizar el medidor de CO₂ como pauta real de ventilación (apertura y cierre de ventanas).

Es importante realizar medidas mantenidas en el tiempo y no medidas puntuales y rápidas en aulas que pueden inducir a error. Para la realización de este estudio se ha optado por mediciones de toda la jornada escolar con toma de medidas cada cinco minutos (se han obtenido cada día 79 medidas por cada medidor). La estabilidad de las medidas es fundamental en el proceso de medición ya que cualquier modificación en las condiciones (número de alumnado, actividad que realiza, mejor o peor ventilación del aula...), modifica la medida en sí, pero además, si se hacen medidas en puntos distintos y de una manera rápida (pasar de un aula a otra realizando medidas rápidas), los medidores tienen un tiempo de respuesta que pueden dar lugar a estar midiendo cosas que realmente no son.

Es importante también disponer de una ficha de recogida de datos donde anotar las medidas. En los siguientes enlaces puedes encontrar una ficha (tanto en formato word como formato pdf) elaborada por el *Laboratorio de Investigación en Fluidodinámica y Tecnologías de la Combustión (LIFTEC)*:

- Formato Word: <https://nube.liftec.unizar-csic.es/index.php/s/bqTy0ZwWr2X4nwi>
- Formato pdf: <https://nube.liftec.unizar-csic.es/index.php/s/81VvTBfnDWXCxH>

Referencias bibliográficas.

- Ventilación como forma de evitar la propagación del coronavirus SARS-CoV-2 en un centro educativo. Javier Pérez Soriano @PrevencionDocen1.
https://drive.google.com/file/d/1_DH1Bx8PxOJ0rTGurYuHn-IAfwkYj9SB/view
- Estudio sobre ventilación realizado en un aula de Secundaria. Javier Pérez Soriano @PrevencionDocen1.
<https://drive.google.com/file/d/1yporM8aa2bKuwMgWOrJoBtHFlaTpHj22/view>
- Ventilación natural en las aulas. Guía práctica. Laboratorio de Investigación en Fluidodinámica y Tecnologías de la Combustión (LIFTEC).
<https://drive.google.com/file/d/1VG03H9UPqsTBBw3qNKNmZ2PtUbfSsc6f/view>
- Guía para ventilación en aulas. Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua, IDAEA-CSIC Mesura.
https://www.csic.es/sites/default/files/guia_para_ventilacion_en_aulas_csic-mesura.pdf
- Guía en 5 pasos para medir la tasa de renovación de aire en aulas. Escuela T. H. Chan de Salud Pública de Harvard.
https://drive.google.com/file/d/1_-5OPAmoiSB0aa4vVUctYy4qVrR1r5q/view
- Escuelas saludables. Estrategias de reducción de riesgos para la reapertura de las escuelas. Escuela T. H. Chan de Salud Pública de Harvard.
https://schools.forhealth.org/wp-content/uploads/sites/19/2020/07/HPH-15179_SchoolsForHealth_R6_ES-LA.pdf
- Documento de apoyo al profesorado para evitar la propagación del coronavirus SARS-CoV-2 en un centro educativo. Javier Pérez Soriano @PrevencionDocen1.
https://drive.google.com/file/d/1xcvUeiWPV_um91Sd7iNQ91p1xFdsujf9/view