

Determinación de la correcta renovación de aire en las aulas mediante medición de dióxido de carbono

Daniel Valderas Castilla

Diplomado en Enfermería. Servicio de Enfermería Escolar Colegio Apostol Santiago (Aranjuez).

V Premios de Investigación CODEM 2021. Segundo premio.

Cómo citar este artículo: Valderas Castilla, D. , Determinación de la correcta renovación del aire en las aulas mediante medición de dióxido de carbono. Conocimiento Enfermero 17 (2022): 49-65.

RESUMEN

La transmisión aérea del SARS-CoV-2 constituye una importante vía de transmisión, sobre todo en espacios cerrados [1-3]. La determinación de dióxido de carbono (CO₂) puede ayudar a conocer la renovación del aire.

En nuestro centro, realizamos un estudio para conocer el CO₂ en las aulas y definir una configuración de ventilación que asegure la renovación.

Siguiendo un protocolo de ventilación natural en 30 aulas ("testigo"), se registraron: CO₂, apertura de ventanas, actividad, humedad y temperatura.

Se mantuvo ventilación continua y cruzada, con una o dos ventanas abiertas de promedio y una longitud media de 61,50 cm. El CO₂ medio fue 616.08 ppm.

Hubo menor CO₂ (p<0,005) con aperturas de 50 cm. respecto a 0-10 cm. Aperturas mayores de 50 cm. no parecen aportar beneficio.

El mayor aumento de CO₂ se dio tras la primera media hora de clase.

Generalmente, los valores de CO₂ con la ventilación natural protocolizada en nuestro centro son seguros (<700ppm1).

La actividad física previa, el movimiento/canciones aumentan marcadamente el CO₂, por lo que se debe considerar un tratamiento especial.

La ventilación continua y cruzada con al menos una ventana y aproximadamente 50 cm. garantiza la renovación del aire en las aulas. Sin embargo, las características físicas de cada aula determinan una pauta específica.

Palabras clave: coronavirus; transmisión de enfermedad infecciosa; ventilación natural; dinámica atmosférica; aire en interiores.

Determining the correct renewal of aire in the classrooms by measuring carbon dioxide

ABSTRACT

The air transmission of SARS-CoV-2 is an important route of transmission, especially in enclosed spaces [1-3]. Carbon dioxide (CO₂) determination can help you to understand air renewal.

In our center, we carry out a study to know the CO₂ in the classrooms and define a ventilation configuration that ensures the renovation.

Following a natural ventilation protocol in 30 classrooms ("witness"), co₂, window opening, activity, humidity and temperature were recorded.

Continuous and cross ventilation was maintained, with one or two windows open and an average length of 61.50 cm. The average CO₂ was 616.08 ppm.

There was less CO₂ (p<0.005) with openings of 50 cm compared to 0-10 cm. Openings larger than 50 cm. does not seem to bring benefit.

The largest increase in CO₂ came after the first half hour of class.

Generally, CO₂ values with protocolized natural ventilation in our center are safe (<700ppm1).

Previous physical activity, movement/songs sharply increase CO₂, so critical moments with special treatment should be considered.

Continuous and cross ventilation with at least one window and approximately 50 cm. ensures air renewal in the classrooms. However, the physical characteristics of each classroom determine a specific pattern.

Keywords: coronavirus; infectious disease transmission; natural ventilation; atmospheric dynamics; indoor air.

Este artículo está disponible en: <http://www.conocimientoenfermero.es/Articulo?ref=2018>

1. Introducción

La evolución de la pandemia por SARS-Cov2 a nivel mundial está siendo duradera, y el carácter intermitente de sus picos de incidencia (comúnmente llamadas “olas”) hace necesario optimizar todos los recursos y medidas que hasta la fecha se conocen.

En el ámbito escolar, uno de los retos iniciales era asegurar el uso de mascarillas, distancia e higiene de manos (junio 2020), si bien con el paso de los meses, la evidencia científica ha verificado una mayor implicación en la transmisión a los aerosoles y, por tanto, pone de manifiesto la necesidad de desarrollar la actividad en espacios mejor ventilados.

La transmisión del SARS-CoV-2 por aerosoles ha sido reconocida por los ECDC [5] y la OMS añadía esta vía como mecanismo de contagio en octubre de 2020 [6]. Si bien parece que el contacto estrecho sigue siendo el principal exponente de contagio, varios autores definen que determinadas situaciones en espacios cerrados podrían facilitar el contagio [7].

Las dificultades de la ventilación en las aulas son principalmente:

- El frío. Los meses de invierno coinciden con el aumento en la tasa de incidencia.
- La contaminación acústica, que proviene del exterior o de pasillos interiores.
- El viento, que incomoda la percepción en las aulas y el orden en papeles, libros, etc.

A lo largo de los primeros meses de colegio (curso 2020-2021), se han identificado varios confusores en relación a la ventilación y transmisión por SARS-CoV2:

- La aparición en el mercado de pequeños aparatos (presentados como purificadores o filtros de aire), que en la inmensa mayoría de los casos son insuficientes para un área similar

al de un aula, o sus características no son útiles para renovar el aire. En ocasiones, estos aparatos, usados indiscriminadamente pueden tener efectos nocivos para la salud de los alumnos por el uso que algunos de ellos hacen del ozono, de la ionización o la combinación de ambas.

- Se genera una falsa sensación de seguridad que puede generar que se elimine o disminuya la ventilación natural (según se ha evidenciado en algunos centros y hemos conocido por las noticias o redes) o incluso se relaje el uso de mascarilla y distancia.
- La falta de conocimientos sobre una buena ventilación, genera errores frecuentes como: Ventilación en un único punto (no cruzada), ventilación sólo en los cambios de hora o con el aula vacía, ventilación con persianas bajas, etc.

En el documento de la Comunidad de Madrid “Impacto de los sistemas de ventilación en la transmisión del SARS-CoV2. Recomendaciones generales para los edificios de uso público” [2] afirma que lugares cerrados, con muchas personas, sin utilizar mascarillas y mal ventilados suponen un incremento del riesgo de transmisión de infecciones respiratorias.

A raíz de algunas publicaciones científicas han proporcionado pruebas iniciales de que el virus de la COVID19 se puede detectar en el aire, algunos canales de noticias han indicado que se ha producido transmisión aérea de este virus. No obstante, estos datos iniciales deben interpretarse con precaución.

Un reciente estudio, publicado en *New England Journal of Medicine*, [14] evaluó la persistencia del virus de la COVID-19. En él se generaron experimentalmente aerosoles, mediante un nebulizador (Collison) y se introdujeron en un tambor Goldberg, evidenciando el mantenimiento en el tiempo de estas partículas, si bien, sería pertinente comprobar si dicha persistencia se evidencia también en condiciones y espacios cotidianos.

Otros estudios [15,16], pendientes de publicación, informan de la ausencia de del virus en zonas de hospitalización de pacientes con esta enfermedad. En cambio, la OMS refiere otros estudios que determinen presencia de ARN de este virus en muestras tomadas del aire. Está por demostrar en qué momentos y por cuánto tiempo estas detecciones se corresponden con virus vivos con capacidad infectiva.

Mientras tanto, teniendo en cuenta que en el ámbito escolar la mayoría del tiempo la actividad se produce en espacios cerrados, que pueden presentar problemas para su correcta ventilación y que en los meses invernales incrementan la incidencia de la enfermedad y el frío, se hace necesario emplear herramientas activas para la prevención y aumentar el conocimiento sobre posibles estrategias para detener la posible transmisión en las aulas.

2. Justificación

La evolución de la pandemia, unida a la llegada del frío, pone de manifiesto la necesidad de enfatizar en la ventilación de las aulas, tratando de equilibrar una temperatura lo más confortable posible para los alumnos a un nivel de renovación del aire óptimo.

3. Objetivo

Conocer el nivel de CO₂ en las aulas para definir el tiempo y apertura necesarios de puertas y ventanas, que asegure la correcta renovación del aire.

Objetivos secundarios:

- Comprobar las diferencias en la ventilación del aula según las condiciones climáticas del exterior.
- Determinar si las diferentes actividades dentro del aula modifica la concentración de dióxido de carbono.

4. Material y método

Se realiza un estudio descriptivo prospectivo. Se determinará el nivel de CO₂ durante varias jornadas en varias aulas.

La acumulación de CO₂, siendo el mejor marcador disponible de la renovación del aire, permitirá clasificar la renovación del aire en las aulas en base a:

- Las condiciones climáticas del día de medición (temperatura, humedad y fuerza del viento).
- Las características del aula (orientación, volumen, número de puertas y ventanas).
- El nivel de apertura de puertas y ventanas (número de ventanas abiertas, longitud de apertura, cadencia, etc.)

Aún con el carácter descriptivo del proceso, la similitud de muchas aulas en nuestro centro, le otorgan capacidad de inferir los resultados a aulas similares.

Se seleccionan por conveniencia, unas aulas que representen a un grupo de aulas similares o que por sus características físicas sean únicas en el centro.

4.1 Aulas objeto de estudio

- Infantil primer ciclo: IN1A. IN2A.
 - Aulas similares: 4 (IN1B, IN2B).
 - Características físicas: 2 puertas, 3 ventanas, 36-42 m². Orientación norte.
- Infantil segundo ciclo: IN4C. IN4B.
 - Aulas similares: 3 (IN3D).
 - Características físicas: 1 puertas, 5 ventanas, 50-57 m². Orientación norte.
- Infantil segundo ciclo: IN4D. IN3C.
 - Aulas similares: 7 (IN3A, IN3B, IN3C, IN4A, IN4E).
 - Características físicas: 1 puertas, 5 ventanas, 61 m². Orientación sur.
- Infantil segundo ciclo: in5a.
 - Aulas similares: 5 (IN5B, IN5C, IN5D, IN5E).
 - Características físicas: 1 puertas, 5 ventanas, 50-54 m² (100m² IN5E). Orientación sur.
- Primaria: 1ºA.
 - Aulas similares: 3 (1ºB, 6ºE).
 - Características físicas: 1 puertas, 6 ventanas, 68 m². Orientación norte
- Primaria: 2ºD. 3ºA.
 - Aulas similares: 3 (3ºB).

Figura 2. Edificio Secundaria/Bachillerato. Planta 2.

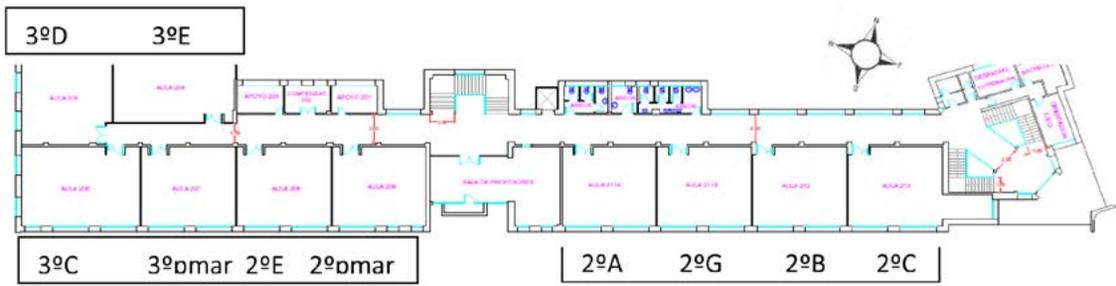


Figura 3. Edificio Secundaria/Bachillerato. Planta 3.

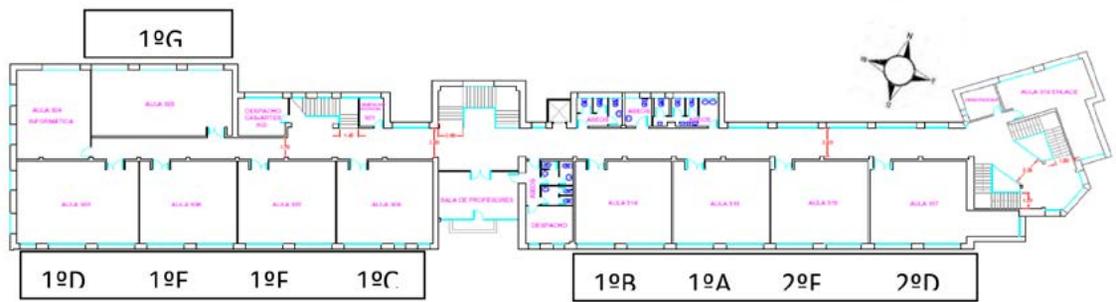


Figura 4. Edificio Secundaria/Bachillerato. Planta 4.

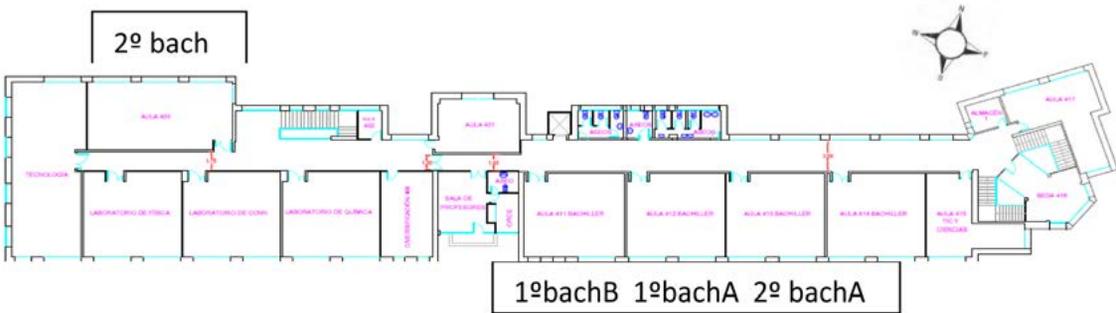


Figura 5. Edificio Primaria. Planta baja.

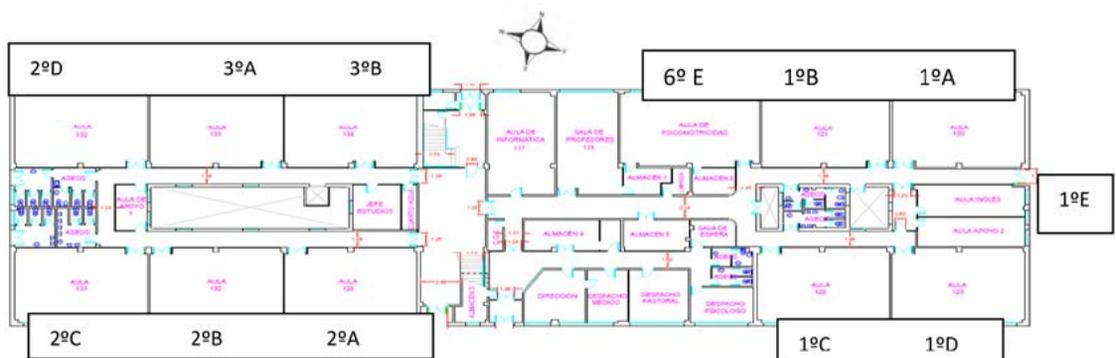


Figura 6. Edificio Primaria. Planta primera.

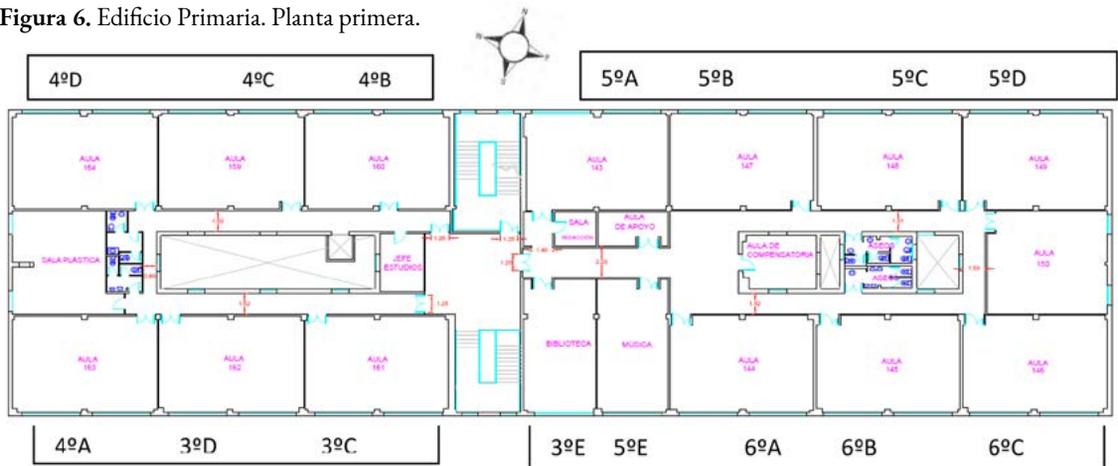


Figura 7. Edificio Infantil. Planta baja.

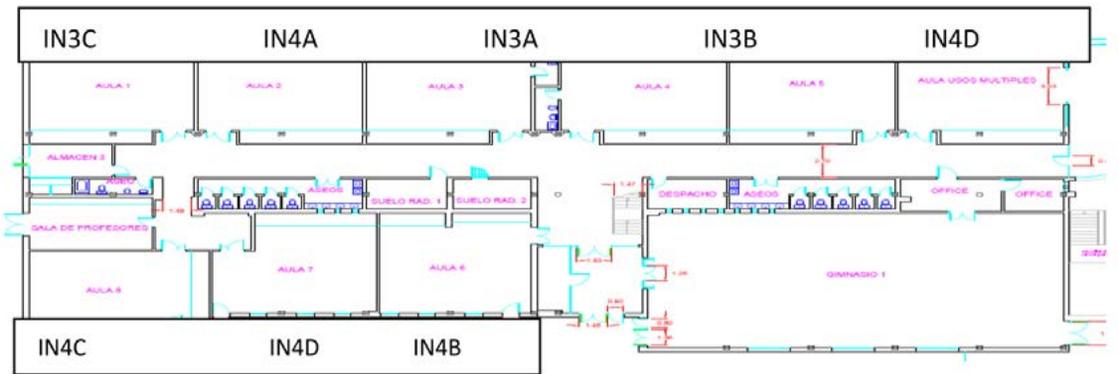


Figura 8. Edificio Infantil. Planta primera.

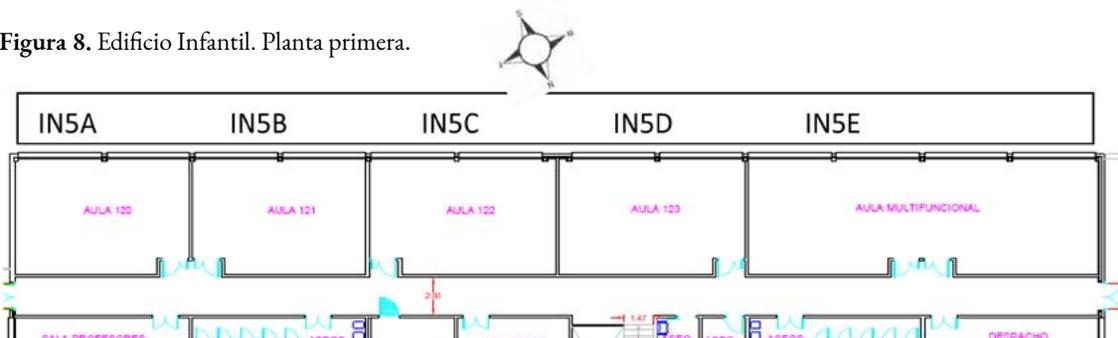
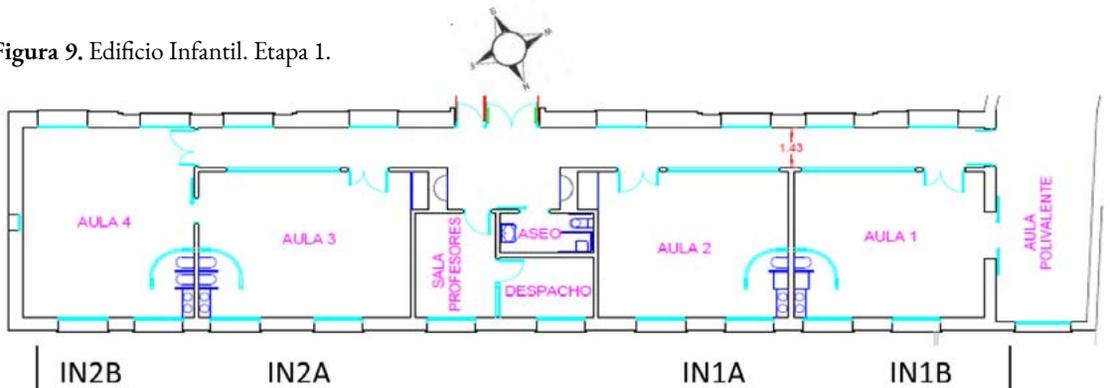


Figura 9. Edificio Infantil. Etapa 1.



4.3. Procedimiento

Las aulas seleccionadas 26 (n=30) representan al total de aulas del centro (76). Cada una de ellas tiene una ubicación, orientación o capacidad de ventilación diferentes. En tres de ellas se repitieron mediciones en condiciones climáticas diferentes, para comprobar la variación de los datos.

Durante la toma de datos, se registrarán la temperatura y humedad exteriores, así como la fuerza del viento en el día de medición. De esta manera, se dará mayor importancia a los datos obtenidos en días de “clima desfavorable”: Sin viento y sin gradiente entre interior y exterior. El objetivo es lograr una configuración de apertura y tiempo de ventilación que sea eficaz en esos días de mayor dificultad; y con la misma configuración los valores serían aún mejores en días más favorables climáticamente.

En general, se considerarán **valores óptimos de CO₂** todos aquellos < 700 ppm.

Se determinará en cada aula el nivel de apertura, el número de ventanas abiertas y la cadencia/tiempo de apertura necesarios para mantener valores óptimos de CO₂. A esta configuración (cm. apertura + número de ventanas + tiempo), se le llamará: **ventilación natural mínima**. Será distinta para los distintos grupos de aulas, determinados por cada aula “testigo”.

Definición de **ventilación natural mínima**: Condiciones de apertura de puertas y ventanas necesarias para obtener valores de CO₂ por debajo de 700 ppm en un aula determinada.

Se le aplicará un margen de confianza (+10% cm apertura + 10% número de ventanas + 10% tiempo), y se le llamará **ventilación natural segura**.

El día de medición se actuará como cualquier otro día, advirtiéndole que se habrá o cierran ventanas según la rutina habitual del aula y no de los valores observados en el aparato.

Los datos de temperatura, humedad y fuerza del viento serán los registrados para ese día y zona por la Agencia Estatal de Meteorología en www.aemet.es

Los aparatos (tres en total) seleccionados para recoger datos de CO₂, humedad y temperatura en el aula son los modelos PCE-CMM 5 de PCE-Instruments, calibrados y certificados según la norma ISO 9000 y siguientes.

Se colocan aproximadamente a un metro del suelo y en la zona peor ventilada del aula, entendiendo que los valores del resto del aula serán mejores.

Se coloca junto al aparato una hoja de recogida de datos en la que el profesorado registra mediciones observadas cada media hora.

Se registra también las actividades especiales realizadas dentro del aula:

- Educación física previa.
- Actividad/movimiento en el aula, canciones o gritos mantenidos.
- Almuerzo
- Recreo y/o aula vacía.
- Otro tipo de actividad.

Gracias a la gráfica que genera el aparato se pueden revisar al final de la mañana los valores llamativos y ajustar la recogida de datos.

Ver Anexos: Tabla de recogida de datos. Calendario de recogida de datos.

Los datos se almacenaron con el programa Microsoft Excel para Windows, con el que se generaron también gráficos con los resultados de las diferentes aulas. Se compararon las medias de todos los valores registrados (300 datos para cada variable) y se realizó análisis univariante para relacionar la variable dependiente (CO₂) con el resto de variables independientes, todo ello con el programa SPSS 25.0.

4.4. Variables

- **Variable dependiente:** Dióxido de Carbono en el espacio aéreo (CO₂, medido en partes por millón, ppm).
- **Variables independientes:**
 - Apertura continua de puertas y ventanas (SÍ/NO). En la mayoría de las aulas existen 2 ventanas abatibles superiores, de las cuales al menos una está siempre abierta.
 - Número de ventanas abiertas: De 0 a 4.
 - Longitud de apertura total entre todas las ventanas (cm.): 0, 10, 50, 100, >150.
 - Temperatura del aula (°C).
 - Temperatura exterior (°C).
 - Humedad del aula (%).
 - Humedad exterior (%).
 - Actividad en el aula.

4.5. Cronología

- 15/10/2020: Recopilación de la evidencia científica disponible sobre renovación de aire, aparatos purificadores y medidores de CO₂. Consulta a expertos.
- 01/11/2020: Formación y refuerzo en el protocolo de ventilación natural del centro. (Ver anexo 3: "Protocolo de ventilación previo a estudio").
- 10/11/2020: Selección de medidores de CO₂ fiables en el mercado. Consulta a expertos.
- 15/11/2020: Redacción del proyecto.
- 20/11/2020: Preparación del trabajo de campo. Formación de profesores (de aulas seleccionadas) sobre condiciones experimentales. Prácticas con aparatos medidores.
- 2/12/2020: Inicio de recogida datos (ver Anexo2: Calendario).

20/12/2021: Fin recogida de datos.

Enero 2021: Análisis estadístico.

5. Resultados

En los 11 días de estudio, se recogieron datos de 30 aulas. Que generaron 300 datos de cada variable.

5.1. Resultados generales de medidas climáticas

Se valoraron de manera preliminar las condiciones climatológicas en los días de medición, descartando que su variabilidad fuese un confusor del CO₂ medido (tabla 1).

La media de temperatura exterior resultó de 7.8°C (+/- 2,231) frente a 15,69°C interior. Se de-

Tabla 1. Medias de T^a y humedad int/ext. Estadísticos.

	T ^a media en el aula	T ^a exterior	Humedad media en el aula	Humedad exterior
N Válido	300	300	300	300
Perdidos	0	0	0	0
Media	15,69	7,80	53,46	73,77
Desviación estándar	1,727	2,231	9,531	8,677
Mínimo	11	4	36	57
Máximo	20	11	77	81

Gráfico 1. Condiciones meteorológicas durante los días de estudio.

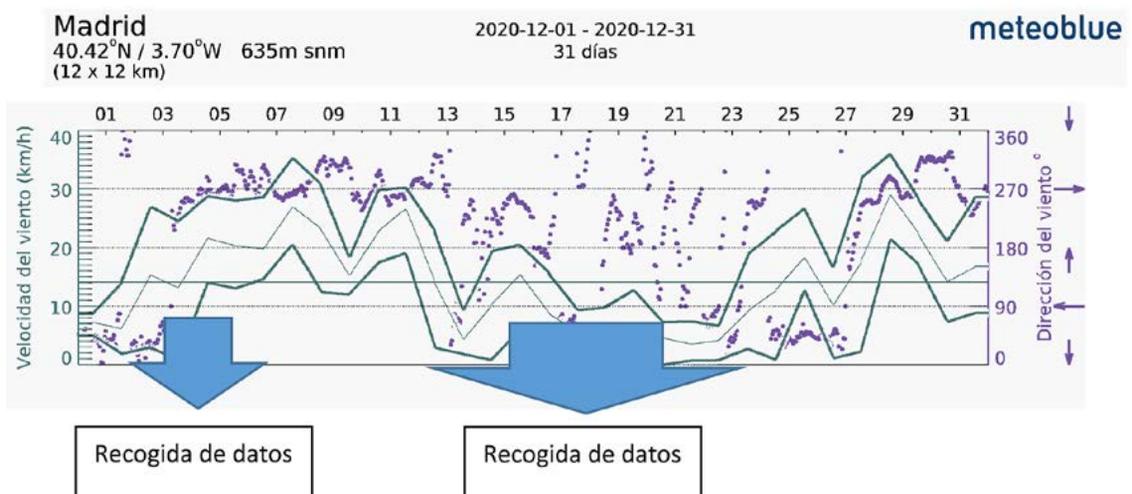


Tabla 2. Ventilación continua cruzada.

Ventilación cruzada continua		Frecuencia	Porcentaje
Válido	No	77	25,7
	Sí	223	74,3
	Total	300	100,0

Tabla 3. Número de ventanas abiertas y longitud de apertura.

		Número de ventanas abiertas	Apertura media de ventanas cm.	CO2 medido (ppm)
N	Válido	300	300	300
	Perdidos	0	0	0
Media		2,24	61,30	616,08
Desviación estándar		1,413	46,611	175,597
Mínimo		0	0	400
Máximo		4	150	1400

termina tras consulta con expertos que dicho gradiente no provocaría dinámica y, por tanto, las diferencias de temperatura registradas no afectan a las medidas de CO₂.

Por su parte la fuerza del viento en esos días no fue importante, oscilando de moderado, en los primeros días de medición, a suave o nulo en los últimos. No se observan diferencias entre ellos, si bien, en mediciones paralelas (fuera de estudio) sí que se aprecia mayor facilidad de renovación de aire cuando el viento es regular o fuerte (30 km/h), circunstancia a tener en cuenta en las rutinas de ventilación diarias.

5.2. Resumen de medidas de frecuencia de las variables independientes

- **Apertura continua de ventanas** (implica mantener abiertas al menos una ventana o ventanuco superior y una puerta o ventana opuesta):

Durante los días de medición el 74,3% de las aulas mantuvo ventilación cruzada continua. Que normalmente consistía en apertura de un ventanuco superior (20cms) y la puerta en la esquina opuesta.

- **Número de ventanas abiertas:**

La media de ventanas abiertas resultó de 2,24 (+/- 1.413) ventanas abiertas, siendo el mínimo 0 y el máximo 4.

- **Longitud de apertura:**

La apertura media en cm. fue de 61.30 cm., máximo 150 y mínimo 0. No se incluyen los 20 centímetros de la apertura continua en ventanuco posterior.

5.3. Media de dióxido de carbono en el aire (CO₂, ppm)

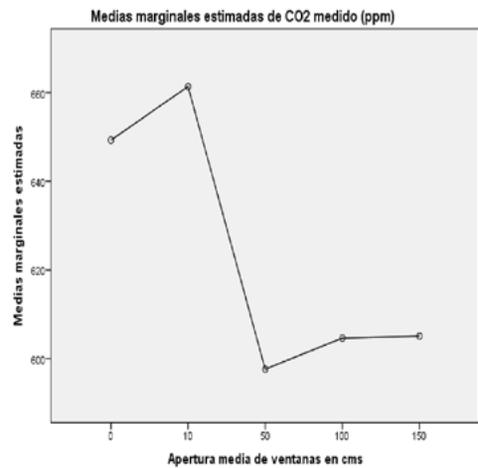
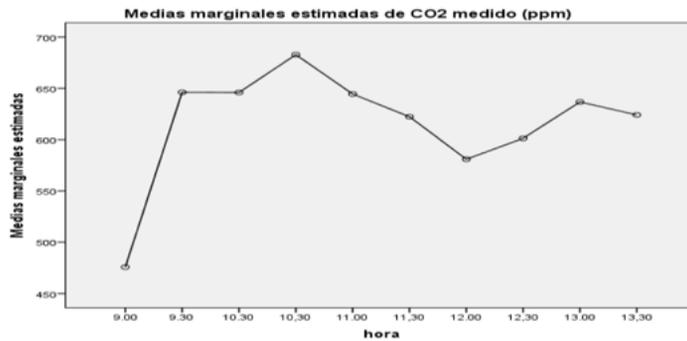
La media de mediciones de CO₂ fue 616.08 ppm (+/-175.59). El valor mínimo (determinado por la sensibilidad del aparato) fue 400 ppm y el máximo 1400. Con moda de 600 ppm y mediana en 595 ppm.

Agrupación de las medidas según el rango deseado (1):

- < 700 ppm (rango óptimo, bajo riesgo): 72.7 %
- 700-1000 ppm (rango de riesgo moderado): 18.6 %
- > 1000 ppm (rango de riesgo elevado): 3.7 %

Tabla 4. Media CO₂ según longitud de apertura.

CO ₂ medido (ppm) * Apertura media de ventanas en cm.			
Apertura media de ventanas en cm.	Media	N	Desviación estándar
0	649,32	38	208,339
10	661,39	44	165,691
50	597,64	111	157,869
100	604,64	73	178,398
150	605,09	34	191,980
Total	616,08	300	175,597

Gráfico 2. CO₂ según longitud de apertura.Gráfico 3. CO₂ según horas.

5.4. Relación entre CO₂ con el resto de variables

5.4.1. Comparación de medias CO₂-Longitud de apertura

Diferencia significativa ($p < 0,005$) entre aperturas de 0-10 cm. Respecto a aperturas mayores. Sin embargo, **aperturas mayores de 50 cm. NO GENERAN BENEFICIO** en la medida de CO₂.

5.4.2. Comparación CO₂ – Horas del día

El mayor aumento de CO₂ se dio tras media hora de permanencia de los alumnos en el aula (9:30h) y en las últimas horas de la jornada se observa una tendencia al alza (análisis univariante). Las horas centrales (recreo/aula vacía) los valores bajan (gráfico 3).

5.4.3. Comparación temperatura y humedad exterior con CO₂

No hubo diferencias significativas entre humedad y temperatura exterior, si bien, se encuentra tendencia a la significación ($p = 0,074$) en temperaturas más frías: Valores de CO₂ más altos ante temperatura más fría. Probablemente pueda relacionarse con la menor apertura en los días de frío.

5.4.4. Comparación de actividades con CO₂

Se observaron medidas más elevadas en torno a los momentos en que los alumnos cantaban, hablaban mucho o gritaban y tenían más movimiento en el aula según la actividad docente. También se registraban valores por encima de 700 ppm tras volver al aula después de la clase de educación física (tabla 5).

Tabla 5. CO2 según actividades.

Variable dependiente: CO2 medido (ppm)			
Actividades dentro del aula	Media	Desviación estándar	N
Ed. Física previa	900,00	282,843	2
Actividad/movimiento/canciones en el aula	888,00	172,355	13
Almuerzo	660,63	152,764	16
Recreo y/o aula vacía	570,19	139,397	27
Otra actividad	713,67	80,376	3
Total	616,08	175,597	300

Gráfico 4. CO2 según actividades.

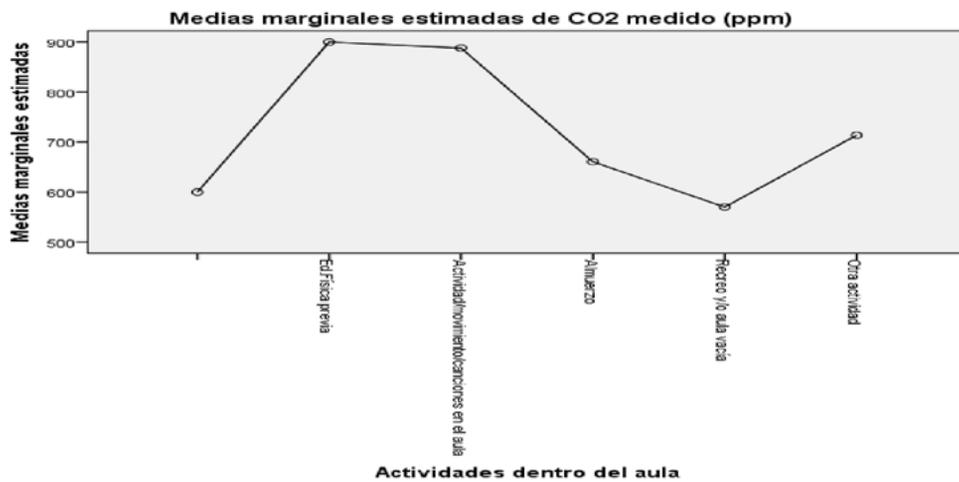
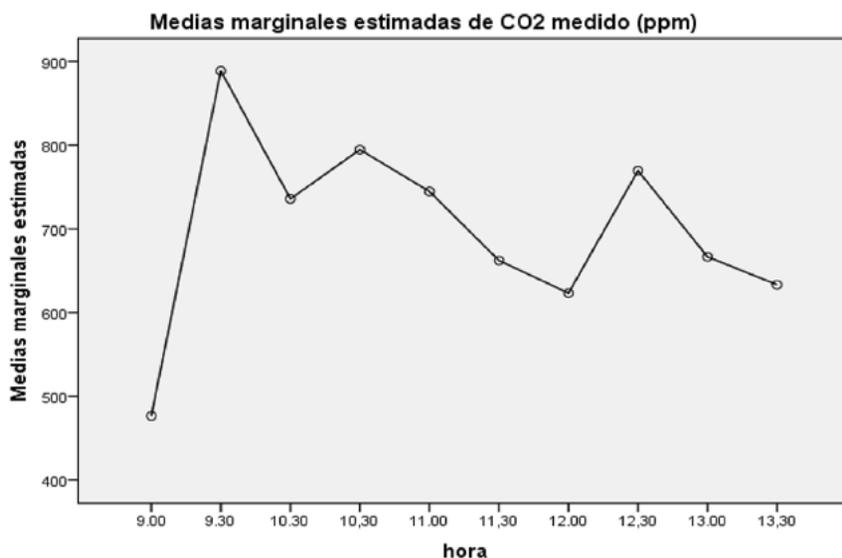


Gráfico 5. Representación promedio de los valores medidos (ajustados a temperaturas y humedad estándar).



Las covariables que aparecen en el modelo se evalúan en los valores siguientes: Temperatura exterior = 7,80, Humedad exterior = 73,77, Apertura media de ventanas en cms. = 61,30.

Gráfico 6. Representación promedio de mediciones en aulas testigo.



En la puerta de cada aula se colocó la gráfica correspondiente a sus características (gráfica de su aula testigo) y se señaló el diagnóstico y la configuración de ventilación natural mínima en ese aula para asegurar valores de CO₂ seguros.

6. Conclusiones y discusión

- **La ventilación continua y cruzada con al menos una ventana y aproximadamente 50 cm. asegura la renovación del aire en las aulas.**

Los valores medios de CO₂ con las condiciones de ventilación natural impuestas en nuestro centro son ÓPTIMOS: 616.08 ppm (+/-175.59).

De las 300 mediciones, el 72,2% de ellas se encontraban valores de CO₂ menores de 700. Paralelamente, se mantuvo ventilación continua durante el 74,3% de las mediciones. Se podrían relacionar valores más altos de CO₂ (>700ppm) con el cierre total de ventanas, ambos registros se sitúan cerca del 25%.

- **Dependiendo de las características de las aulas, el número de ventanas necesarias debe ser entre 1 y 3 (la media de ventanas abiertas resultó de 2,24 (+/- 1.413) ventanas abiertas, siendo el mínimo 0 y el máximo 4). Y su longitud aproximada 50 cm.**

Se encontraron diferencias estadísticamente

significativas ($p < 0,005$) entre las aperturas de 0-10 cm. respecto a las aperturas mayores. Sin embargo, aperturas mayores de 50 cm. **No parecen generar beneficio** en la medida de CO₂.

- **El mayor aumento de CO₂ se dio tras media hora de permanencia** de los alumnos en el aula (9:30h) y en las últimas horas se observa una tendencia al alza.
- **La actividad física previa, el movimiento o canciones en el aula se presentan como los eventos que más hacen aumentar el CO₂ en el aula, por lo que deben considerarse momentos críticos con tratamiento especial.**

De manera más débil, el momento del almuerzo también eleva discretamente las cifras.

Se observaron medidas más elevadas de CO₂ (800-900 ppm) en torno a los momentos en que los alumnos cantaban, hablaban mucho o gritaban y tenían más movimiento en el aula según la actividad docente. También se registraban valores por encima de 700 ppm tras volver al aula después de educación física.

6.1. Conclusiones específicas de cada aula

- **En 23 de las 30 mediciones los valores fueron óptimos (<700ppm) con las medidas de**

ventilación protocolarias. En 7 se registraron valores moderados (700-1000 ppm) de manera puntual, y sólo en 3 aulas hubo picos por encima de 1000 ppm. Dichos picos se considera que estén relacionados con actividades especiales o con condiciones meteorológicas particulares en los días de medición.

- En general, **la apertura de al menos 1 ventana de manera continua y 50cms** (no es necesaria más longitud) **asegura valores de renovación seguros**. No obstante, las características físicas de cada aula determinan una pauta específica de ventilación natural mínima.

7. Perspectivas futuras

Una vez analizados todos los datos, se modifica el protocolo general ajustando las nuevas recomendaciones según la evidencia.

Se genera un documento de “Recomendaciones específicas para cada aula” según lo observado en sus aulas testigo, para que los tutores puedan disponer de ellas en el aula para guiar la ventilación rutinaria.

Se continúan realizando mediciones periódicas, cada día en distintas aulas, para formar a profesores y alumnos en el manejo del protocolo y sus efectos en la renovación del aire.

Los resultados se comparten con familias, se ponen a disposición de otros centros y de la dirección general de área para su divulgación e interés en este y otros ámbitos.

8. Cuestiones éticas, conflicto de intereses

El autor declara que no hay conflicto de intereses ni cuestiones éticas relacionadas.

9. Agradecimientos

A los alumnos y profesores del colegio Apóstol Santiago, sin cuya colaboración y diligencia, la recogida de datos no habría sido posible. Gracias por dar ejemplo, por vuestra responsabilidad y búsqueda de excelencia. Gracias a la dirección del centro, por el apoyo y entrega en un curso tan complicado.

BIBLIOGRAFÍA

1. Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning Associations (REHVA). REHVA COVID-19 guidance document How to operate HVAC and other building service systems to prevent the spread of the coronavirus (SARS-CoV-2) disease (COVID-19) in workplaces. Version 4.0. Noviembre 2020. Disponible en: <https://www.rehva.eu/activities/covid-19-guidance/rehva-covid-19-guidance>
2. Viceconsejería de Salud Pública y Plan Covid-19. Impacto de los sistemas de ventilación en la transmisión del SARS-CoV-2. Recomendaciones generales para los edificios de uso público. Consejería de Sanidad. Versión 1ª: 29 de octubre de 2020. Disponible en: www.madrid.org
3. OMS. Brote de enfermedad por coronavirus (COVID-19): Orientaciones para el público. Octubre 2020. Disponible en: <https://www.who.int/es/emergencias/diseases/novel-coronavirus-2019/advice-for-public>
4. Consejería de Sanidad de Comunidad de Madrid. COVID-19 Prevención y consejos para la ciudadanía. Consultado en Noviembre 2020. Disponible en: <https://www.comunidad.madrid/servicios/salud/covid-19-prevencion-consejos-ciudadania>
5. European Centre for Disease Prevention and Control. Transmission of Covid-19. Update Junio-2020. Disponible en: <https://www.ecdc.europa.eu/en/covid-19/latest-evidence/transmission>
6. OMS. Vías de transmisión del virus de la COVID-19: repercusiones para las recomendaciones relativas a las precauciones en materia de prevención y control de las infecciones. Reseña científica. Marzo-2020 [consultado Noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/commentaries/detail/modes-of-transmission-of-virus-causing-covid-19-implications-for-ipc-precaution-recommendations>
7. Centro de Coordinación de Alertas y Emergencias Sanitarias. Información científica-técnica Enfermedad por coronavirus. COVID-19. Ministerio de Sanidad. Gobierno de España. Actualización, 15 de enero 2021. Disponible en: <https://www.mscbs.gob.es/profesionales/saludPublica/ccayes/alertasActual/nCov/documentos/ITCoronavirus.pdf>

8. Yuri N. Skiba. Introducción a la dinámica de fluidos Universidad Nacional Autónoma de México 2009 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO Ciudad Universitaria, 04510, México, D. F. 2009. ISBN: 978-607-2-00269
9. Alcázar, FJ. Temperatura, luz, atmósfera, viento. Geobotánica, Tema 20. Marzo-2012. Disponible en: <https://www.um.es/docencia/geobotanica/ficheros/tema20.pdf>
10. Registros climáticos. Agencia Estatal de Meteorología. [Consultado Diciembre-2020] Disponible en: <http://www.aemet.es/es/portada>
11. Cámara, E. Variables meteorológicas y salud. Biblioteca virtual de la Comunidad de Madrid. Abril-2006. Disponible en: www.madrid.org/publicamadrid
12. Pérez, RC. Estudio de la Física de los procesos atmosféricos que producen fenómenos meteorológicos e impactos ambientales climáticos. Editorial Académica Española. 2013. ISBN: 978-3-659-06704-4.
13. Plan de autoprotección. Colegio Apóstol Santiago. Aranjuez. Revisión 2014.
14. Van Doremalen N et al. Aerosol and Surface Stability of SARS-CoV-2 as compared with SARS-CoV-1. *New Engl J Med* 2020 doi: 10.1056/NEJMc2004973
15. Cheng V et al. Escalating infection control response to the rapidly evolving epidemiology of the Coronavirus disease 2019 (COVID-19) due to SARS-CoV-2 in Hong Kong. *Infect Control Hosp Epidemiol*. 2020 Mar 5 [Epub ahead of print].
16. Ong SW et al. Air, surface environmental, and personal protective equipment contamination by severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2) from a symptomatic patient. *JAMA*; 2020.
17. OMS. Orientaciones técnicas de la OMS para el control y la prevención de las infecciones en el contexto de la COVID-19. [Consultado Diciembre-2020] Disponible en: <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/technical-guidance/infection-prevention-and-control>

ANEXO 1. Tabla de recogida de datos.

Recogida datos estudio renovación del aire en las aulas											
Aula	Fecha			Viento			Tª int		Tª ext.		
Hora	9:00	9:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	
Apertura continua (sí/no)											
Nº ventanas abiertas											
Nivel de apertura (cm.)											
CO2 (ppm)											
Observaciones											

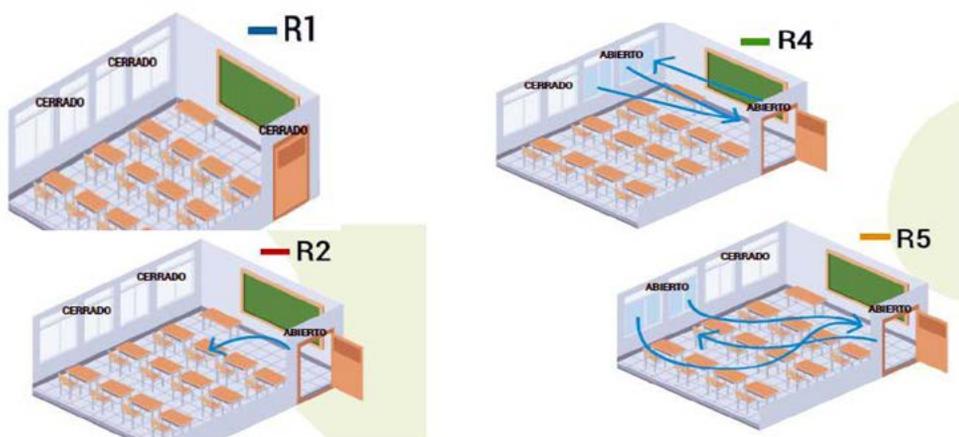
ANEXO 2. Calendario. Trabajo de campo.

FECHA	AULA	FECHA	AULA
2/12/2020	1ªA	14/12/2020	3ºESO A
2/12/2020	2ºC	14/12/2020	1ºBACHA
3/12/2020	IN1A	14/12/2020	4ºESOD
3/12/2020	IN4C	15/12/2020	2ºD
4/12/2020	1ºESO E	15/12/2020	1ºESOG
4/12/2020	1ºESOB	15/12/2020	3ºESOB
9/12/2020	1ºESOG	16/12/2020	1ºD
9/12/2020	4ºD	16/12/2020	6ºB
9/12/2020	2ºESOB	16/12/2020	3ºC
10/12/2020	3ºPMAR	17/12/2020	IN2A
10/12/2020	IN4D	17/12/2020	IN4B
10/12/2020	IN5A	17/12/2020	IN3C
11/12/2020	6ºD	22/12/2020	4ºE
11/12/2020	3ºE	22/12/2020	4ºD
11/12/2020	4ºESOD	22/12/2020	3ºE

ANEXO 3. Protocolo de ventilación natural (previo a estudio).

PROTOCOLO DE VENTILACIÓN ADECUADA EN LAS AULAS

- Permanecerá **siempre abierto** el ventanuco superior **más alejado** de la puerta.
- A la llegada al aula (primera hora) el aire se considera limpio, por lo que no haría falta abrir en los primeros minutos el resto de ventanas. Así aprovechamos la calefacción.
- **Se abrirán ventanas en el primer cambio de clase** durante al menos 10 minutos. Se repetirá esto durante al menos todos los cambios de clase (los ventanucos superiores continúan abiertos todo el tiempo). Si con estos ventanucos abiertos, en días de mucho frío hubiera mucho discomfort, se puede optar por abrir **como mínimo 2-5 minutos cada 15/20 minutos**.
- Se recomendará a las familias que los niños traigan **ropa cómoda de abrigo** (abrigos, bufandas, gorros o incluso mantas para las piernas), y que las tengan puestas, sobre todo en las primeras horas.
- A partir de las 11.00 la temperatura empieza a subir, y llega la hora del almuerzo: es un momento **crítico** del día: a las **11h (si no están abiertas aún) se abrirán puertas y ventanas (todas las posibles y al menos la más alejada de la puerta)**.
- Debemos buscar **ventilación cruzada**: Esto es, abrir ventanas y puertas opuestas, vale de poco abrir una ventana si la opuesta está cerrada. Y mejor si las ventanas están alejadas de la puerta. En las aulas cuya puerta **da a pasillos interiores**, debemos tener la precaución de verificar que hay abierta la siguiente puerta o ventana (Las ventanas del patio interior en primaria, las puertas y ventanas de las aulas opuestas en infantil, las puertas principales, las ventanas de sala mágica, de los pasillos de secundaria, etc.).
- Al igual que para el resto de medidas, se puede buscar la implicación de los alumnos: un encargado o delegado de velar por la ventilación de las aulas.
- De manera adicional **se debería moderar la actividad en clase, los gritos y hablar o cantar fuerte**. En estos casos habría que ventilar más estrictamente.
- **USO DE BAÑOS**: Las ventanas de los baños y las puertas principales deben estar siempre abiertas. O en su defecto, la extracción mecánica encendida, en muchos casos esto supone mantener las luces encendidas.
- **Uso de baños**: Se colocarán carteles para **usar la cisterna después de cerrar la tapa**, para evitar la difusión de aerosoles. Es importante por esto mismo, usar los baños de uno en uno.



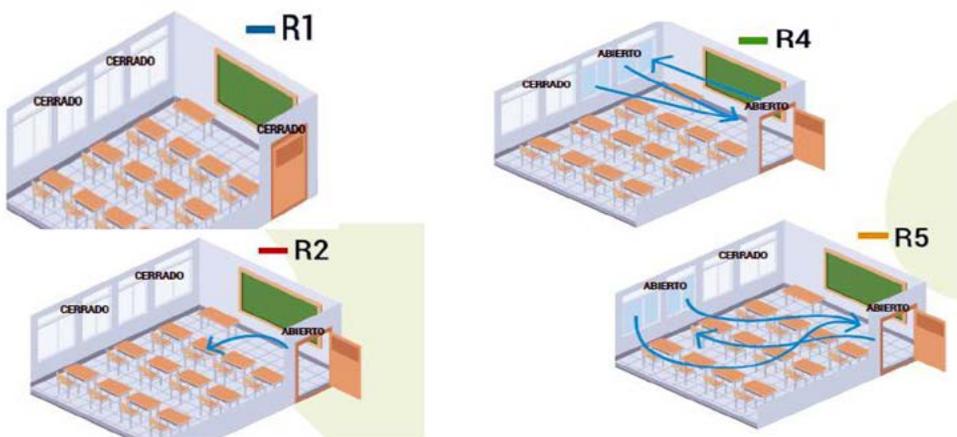
R1: En 20 minutos: CO₂=1900 ppm (muy peligroso)
 R2: En 20 minutos: CO₂=1600 ppm (muy peligroso)

R4: En 20 minutos: CO₂=1300 ppm (peligroso).
 R5: En 20 minutos: CO₂=600 ppm (apto)

ANEXO 4. Protocolo de ventilación natural (post-estudio).

PROTOCOLO DE VENTILACIÓN ADECUADA EN LAS AULAS

- Permanecerá **siempre abierto** el ventanuco superior **más alejado** de la puerta. En su defecto al menos 1 ventana aproximadamente 50 cm.
- A la llegada al aula (primera hora) el aire se considera limpio, por lo que no haría falta abrir en los primeros minutos el resto de ventanas. Así aprovechamos la calefacción. Pasados 30 minutos se abrirá según las recomendaciones de cada aula.
- **Se prioriza la apertura permanente** (al menos una ventana entre 20-50cms). Si por confort térmico o ruido se precisa el cierre de puerta o ventana no debe mantenerse más de 30 minutos.
- Se recomendará a las familias que los niños traigan **ropa cómoda de abrigo** (abrigos, bufandas, gorros o incluso mantas para las piernas), y que las tengan puestas, sobre todo en las primeras horas.
- Durante los momentos **críticos** del día (Tras **educación física**, durante **actividad/canciones** en el aula y el **almuerzo**).
- **Se abrirán puertas y ventanas** (todas las posibles y al menos la más alejada de la puerta).
- Debemos buscar **ventilación cruzada**: Esto es, abrir ventanas y puertas opuestas, vale de poco abrir una ventana si la opuesta está cerrada. Y mejor si las ventanas están alejadas de la puerta. En las aulas cuya puerta **da a pasillos interiores**, debemos tener la precaución de verificar que hay abierta la siguiente puerta o ventana (Las ventanas del patio interior en primaria, las puertas y ventanas de las aulas opuestas en infantil, las puertas principales, las ventanas de sala mágica, de los pasillos de secundaria, etc.).
- Al igual que para el resto de medidas, se puede buscar la implicación de los alumnos: un encargado o delegado de velar por la ventilación de las aulas.
- **Uso de baños:** Las ventanas de los baños y las puertas principales deben estar siempre abiertas. O en su defecto, la extracción mecánica encendida, en muchos casos esto supone mantener las luces encendidas.
- **Uso de baños:** Se colocarán carteles para **usar la cisterna después de cerrar la tapa**, para evitar la difusión de aerosoles. Es importante por esto mismo, usar los baños de uno en uno.



R1: En 20 minutos: CO₂=1900 ppm (muy peligroso)

R2: En 20 minutos: CO₂=1600 ppm (muy peligroso)

R4: En 20 minutos: CO₂=1300 ppm (peligroso).

R5: En 20 minutos: CO₂=600 ppm (apto)