

# LABORATORIO PARA REDUCIR AEROSOLES COVID-19 EN LAS AULAS MEDIANTE MEDIDAS DE CALIDAD DEL AIRE. RESULTADOS E IMPLEMENTACIÓN EN IES-ELIANA.

- IES L'Elia, Profesor de Secundaria Manuel Cardena.
- VÉOLO (VEO EL AIRE, COOP.V.), Profesora del máster de física avanzada de la Universitat de Valencia en la asignatura de innovación de física de partículas), María José Sales.
- Instituto de Física Corpuscular (IFIC-CSIC Universitat de Valencia), F. Albiol.

## Resumen

El SARS-CoV-2 puede transmitirse por **vía aérea** a través de aerosoles en algunas circunstancias como por ejemplo en entornos cerrados mal ventilados donde se reúnen muchas personas [1]. Crear y mantener *espacios interiores seguros* para minimizar el riesgo de contagio de la COVID-19 y asegurar el bienestar y confort de los ocupantes es uno de los principales retos al que nos enfrentamos en la actual fase de la pandemia. Existen modelos y guías que tratan de realizar un análisis de como renovar el aire, en este trabajo se propone, implementar y desarrollar un modelo basado en medidas de calidad del aire disponible para realizar estudios medioambientales que emplea la medida de CO<sub>2</sub> interior como indicador de la tasa de renovación de aire. Este tipo de laboratorios fomentan la adquisición de competencias CTEM, pueden estar disponibles en centros educativos con asignaturas de tecnología, y tienen un doble carácter, formativo y práctico.

El método propuesto es fundamentalmente empírico, las guías que existen pueden ser generales, o muy técnicas [3] y no adaptarse a las condiciones reales del aula, dado que la orientación de las mismas, las posibilidades de apertura y cierres de las ventanas pueden ser diferentes. Otras dificultades es que no se encuentran implementaciones reales de como llevar a cabo esta implementación este artículo explica como se ha realizado la misma.

## Introducción

El riesgo de transmisión del SARS-CoV-2 por el aire en espacios interiores depende de cuatro **factores**: nivel de ocupación, tiempo de permanencia, vocalización al hablar y calidad de la ventilación [2]. Minimizar el riesgo de contagio del coronavirus en ambientes interiores requiere poner el foco en estos cuatro parámetros.

La medida de la concentración de CO<sub>2</sub> en el aire de un espacio interior es una medida indirecta de la **calidad de la ventilación** del espacio. Las medidas han de realizarse en continuo para poder analizar posteriormente las series temporales y realizar estudios de ventilación bajo diferentes condiciones de ocupación, actividad y ventilación. Además esta ventilación dependerá enormemente de las condiciones de contorno, por lo que los métodos de medida deben permitir trasladarse a distintas aulas para estudiar varias condiciones de funcionamiento.

El dispositivo experimental adquirido en el IES L'Elia desde Noviembre 2020 es un equipo desarrollado por VÉOLO que ofrece medidas indicativas de la concentración de CO<sub>2</sub> en el aire [4]. El principio de medida del sensor es NDIR (Non Dispersive Infrared) con compensación de temperatura incorporada, rango de medida 400 – 5000 ppm y frecuencia de medida 30 segundos.

Las medidas en continuo son un problema técnico ajeno a los objetivos de la práctica, originalmente diseñada para realizar estudios de calidad del aire en ambientes exteriores. El equipo incorpora un sistema de adquisición que permite recibir los datos y posteriormente facilitar la interpretación. Adicionalmente estos equipos cuentan con sensor de temperatura y humedad, pero al estar en el interior del empaquetado del equipo este puede verse afectado por el calor, y por tanto no se oferta en las salidas de datos disponibles a los estudiantes. Dadas las condiciones únicas en 2021 de una ola de frío sin precedentes [referencia] y puesto que existe una alta correlación entre este sensor y la temperatura del aula, en este trabajo se mostrarán resultados, como una futura ampliación de este dispositivo a estudios de confort térmico y climático. Las medidas también se pueden visualizar en tiempo real mediante una app android o a través de una página web (Figura 1).

Esta parte del programa permite observar en tiempo real el funcionamiento de una experimentación por parte del alumno y alertar sobre la necesidad de aumentar la ventilación durante el proceso experimental, así como proporcionar persistencia de los datos para poder realizar estudios más completos incluso cuando los alumnos no están presentes pero sigue habiendo actividad (limpieza, ciclos de relajación del aula, recreos, etcétera). Estos datos aportarán ideas para identificar modelos.

Un ejemplo de las medidas en tiempo real, accesibles a través de cualquier dispositivo móvil registrado se ve en la figura 1. Adicionalmente estos datos se reenvían a un sistema de persistencia.



Figura 1. Medida de CO<sub>2</sub> en tiempo real con indicador de la calidad de la ventilación en el aula en azul.

El acceso a la plataforma educativa donde se hace un análisis de la adquisición se muestra en la Figura 2.



Figura 2. Plataforma educativa para consultar, graficar, analizar y descargar medidas de contaminación del aire.

## DESCRIPCION DE LA PLATAFORMA

El equipo utilizado incorpora un módulo de adquisición y comunicación basado en una PCB programada para realizar las funciones de datalogger y comunicación wifi/módem GPRS. Las medidas se envían a un servidor externo que aloja una plataforma de consulta y explotación de datos, Plataforma Véolo [5]. El equipo se entrega configurado con acceso a esta plataforma para que cada centro educativo pueda trabajar con sus medidas y dependiendo de las características del estudio con las medidas de otros centros.

De esta forma los problemas de mantenimiento por parte de los docentes, en general expertos en las disciplinas científicas pero no necesariamente en los aspectos tecnológicos que pueden llevar los distintos procedimientos de medida. En general uno de los aspectos más problemáticos por temas de mantenimiento es la persistencia de los datos. Estos dispositivos envían remotamente los datos y son utilizados de forma confidencial en cada centro. Para poder realizar este estudio se contó con la autorización expresa del centro.

La plataforma está formada por una base de datos y una interface de usuario que facilita la consulta, graficado y análisis de las medidas. La consulta de datos se realiza por equipo, fecha, hora y contaminante. Las medidas se presentan mediante gráficos de series temporales de concentración del contaminante seleccionado (ppm, ppb,  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) o mediante tabla de datos. El usuario puede descargar los datos en diferentes formatos: .csv, .xls, .jpg. Incluye una herramienta para calcular fácilmente el promedio de concentración en diferentes intervalo de tiempo (minutos, horas, días, semanas, año) según el objetivo del análisis. La plataforma incluye una colección de recursos formativos sobre calidad del aire, tanto en ambientes interiores y exteriores formada por documentos, imágenes, artículos, videos, etc.

Desde principios de 2019 hasta la actualidad más de 40 centros educativos han desarrollado proyectos sobre contaminación atmosférica y calidad del aire utilizando esta plataforma [6]. La situación de pandemia llevó a la ampliación de la plataforma para trabajar con parámetros de calidad ambiental interior, como es la concentración de  $\text{CO}_2$  en las aulas. Actualmente, ya se han

desplegado 12 equipos y la centralización permite que estos centros puedan realizar medidas, compartirlas y compararlas entre ellos.

## Resultados

EL instituto donde se realizó el estudio es el IES L´Eliana en el municipio de L´Eliana (Valencia). Las aulas se clasificaron en diferentes tipos: aula pequeña, mediana y grande. Durante los meses de noviembre y diciembre se tomaron medidas de CO<sub>2</sub> en el interior de diferentes aulas durante la jornada escolar. Para las mediciones se siguieron las **recomendaciones** de la *Guía para ventilación en aulas*, CSIC [3]. Existen otras recomendaciones e iniciativas que implementan parcial o totalmente estas ideas.

El **objetivo de las mediciones** en un aula es estudiar el efecto que diferentes configuraciones de apertura de puertas-ventanas tienen sobre la concentración de CO<sub>2</sub> interior para identificar la configuración más eficiente, es decir la configuración de apertura de puertas-ventanas que asegure una elevada calidad de la ventilación y mínima pérdida de confort térmico.

Disponer de estas mediciones puede permitir a un centro educativo **tomar decisiones informadas** sobre las mejores configuraciones de ventilación en sus aulas, ajustándolas a los factores anteriormente citados. Las herramientas empleadas (sensor, servidor y guía) son relativamente sencillas y permiten, con una formación básica, una gestión más eficiente del centro. Esto conlleva, para este caso particular, una minimización del riesgo de contagio que si se siguen indicaciones generales.

**Selección de 2 escenarios:** Se definen dos configuraciones de ventilación *Ventilación 30/5* vs *Ventilación continua*. Un aula con ventilación continua implica mantener abierta una ventana total o parcialmente durante toda la jornada. Un aula con ventilación 30/5 implica abrir las ventanas completamente cada 30 minutos y durante un periodo de 5 minutos. En ambos escenarios las puertas del aula se mantienen abiertas para asegurar una ventilación cruzada. Los resultados de la medición se muestran en la Figura 3.

- **Escenario Ventilación 30/5 (Figura 3 izquierda): día 02/12/20** – puerta abierta y ventanas cerradas 30 minutos-abiertas 5 minutos durante las tres primeras clases (8:10-9:05, 9:05-10:00 y 10:30-11:20), entre las 10:00 y las 10:30, patio. A partir de las 11:25 horas Ventilación continua. Ocupación: 20 personas 2º Bachiller + 1 docente
- **Escenario Ventilación continua (Figura 3 derecha): día 03/12/20** – puertas abiertas y ventanas con una hoja cerrada y otra abierta. Se observa la segunda hora en la que no están en el aula (educación física), la tercera hora con una ocupación menor del aula, la hora del patio (11:00-11:20) y una parte de la quinta hora en la que bajan al patio. Ocupación: 20 personas curso 2º ESO + 1 docente.

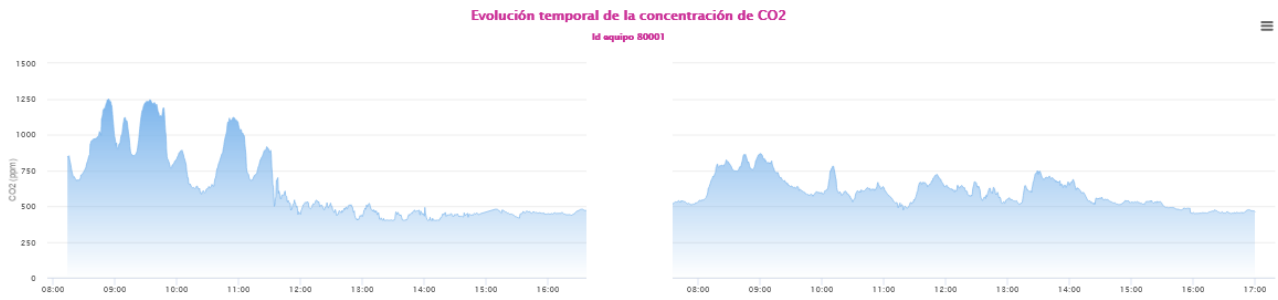


Figura 3. Evolución temporal de la concentración de CO<sub>2</sub> en un aula tamaño medio con 4 ventanas durante la jornada escolar (08:00-15:00 horas) los días 2 y 3 de diciembre de 2020. **Izquierda:** Escenario Ventilación 30/5 hasta las 11:30 horas después Ventilación continua. **Derecha:** Escenario Ventilación continua de 08:10 a 14:20 horas.

- Efecto de la Ventilación 30/5 en los niveles de CO<sub>2</sub>

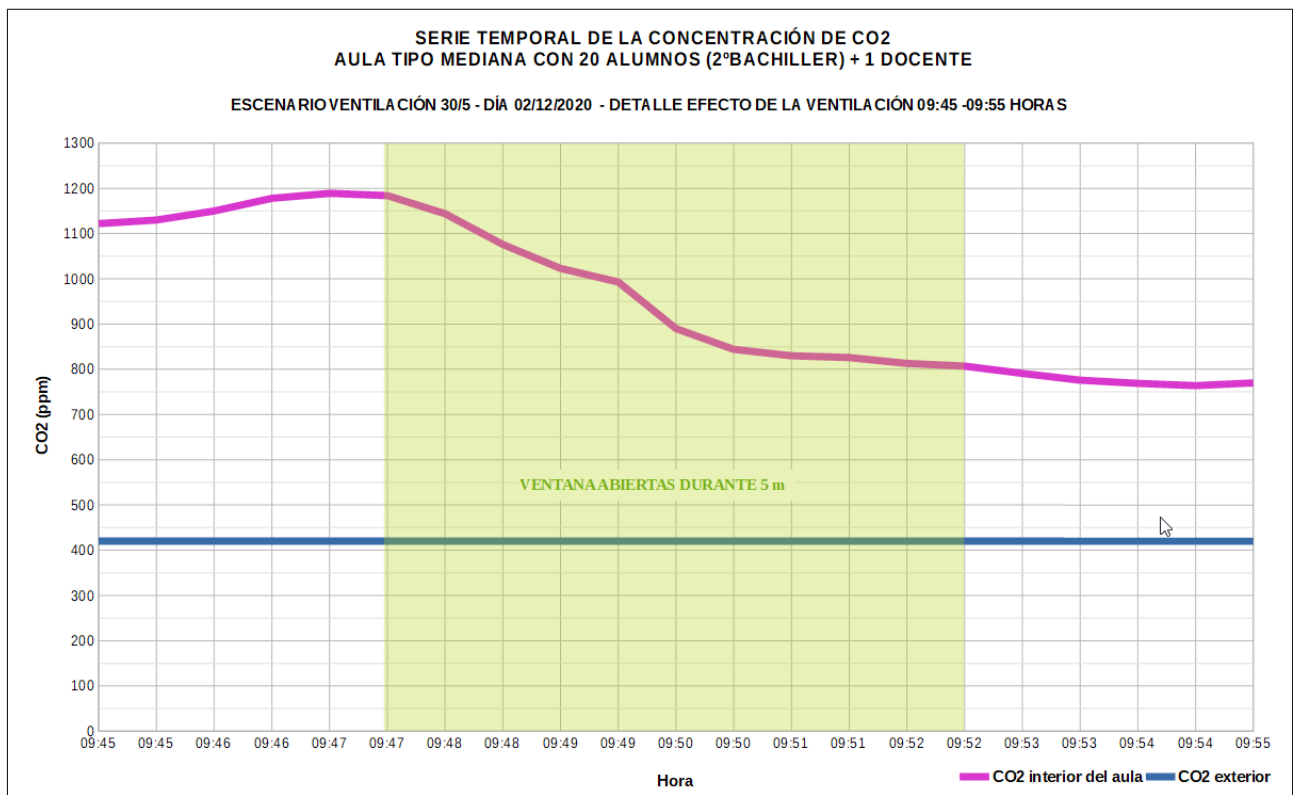
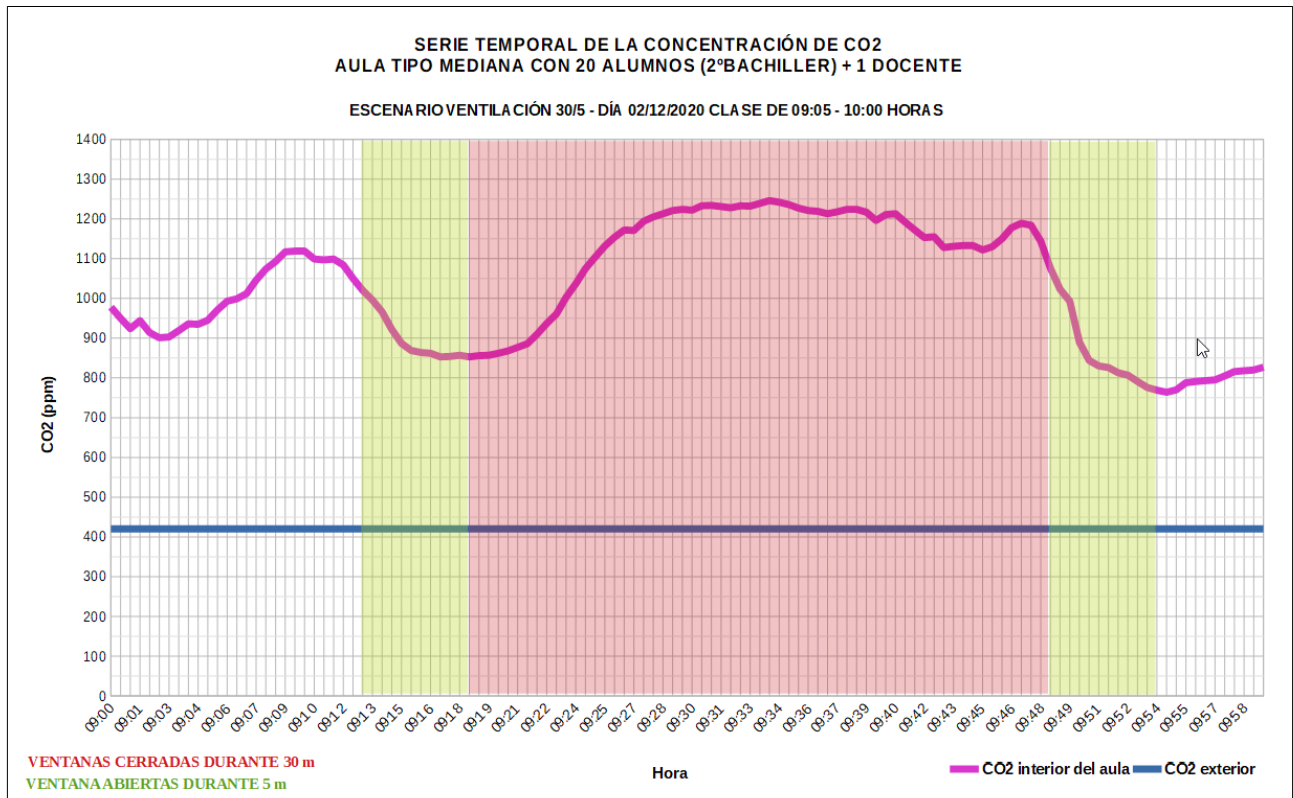


Figura 4. Evolución temporal de la concentración de CO<sub>2</sub> en el interior de un aula tipo medio con 20 adolescentes y 1 adulto, el día 02/12/20 de 08:00 a 10:00 horas (superior) con detalle de los 5 minutos de ventilación de 09:47 a 09:52 horas (inferior). Condiciones de ventilación: Ventilación 30/5.

## - Efecto de la Ventilación continua en los niveles de CO<sub>2</sub>

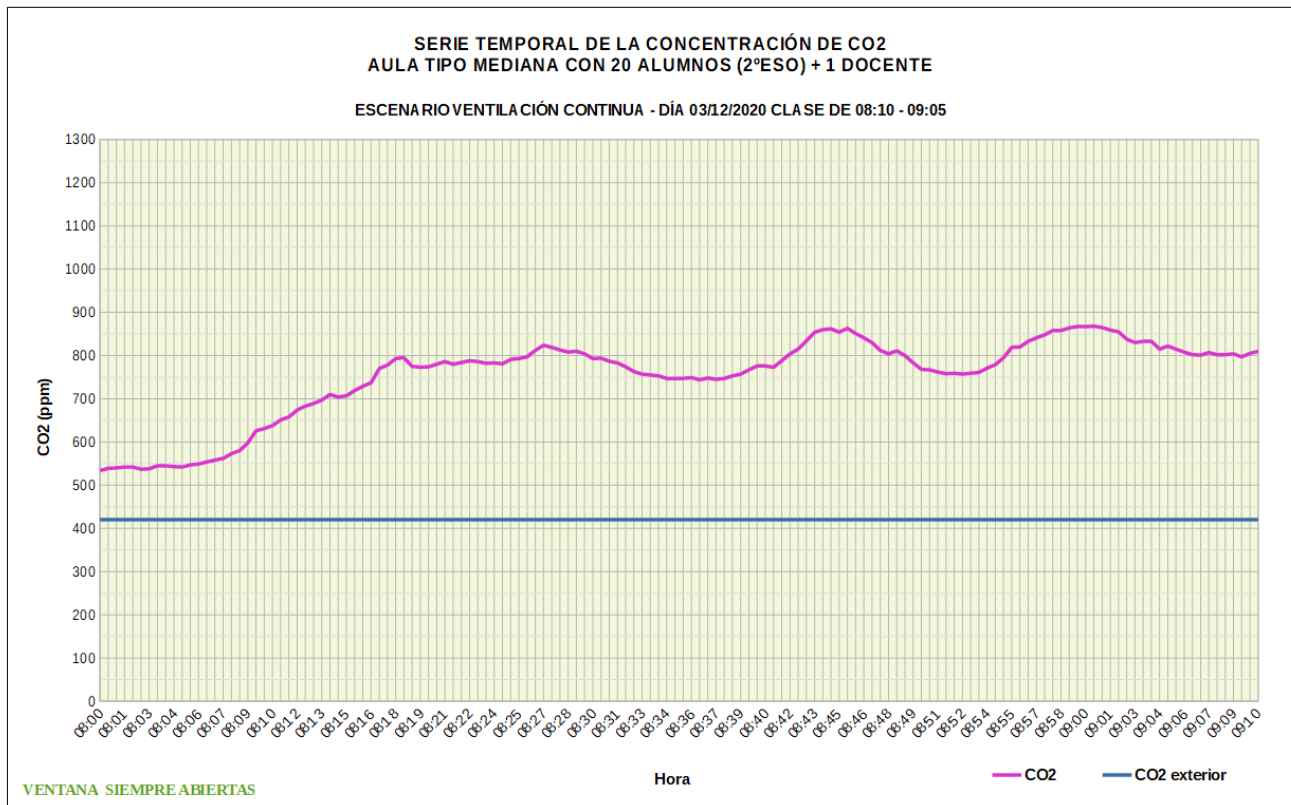


Figura 5. Evolución temporal de la concentración de CO<sub>2</sub> en el interior de un aula tipo medio con 20 adolescentes y 1 adulto, el día 03/12/20 de 08:00 a 09:10 horas. Condiciones de ventilación: Ventilación continua.

Los gráficos analizados muestran que la *Ventilación continua* permite mantener unos niveles de CO<sub>2</sub> que aseguran 5 renovaciones de aire del aula a la hora (Figura 6), mientras que la *Ventilación 30/5* sólo alcanza el nivel de CO<sub>2</sub> objetivo durante los 5 minutos que dura la apertura de ventanas y los 5 minutos posteriores. Durante los 30 minutos que permanecen cerradas las ventanas no se está renovando el aire del aula porque no hay aporte de aire del exterior. La ventilación se considera mejor en el escenario *Ventilación continua* y por tanto se deduce que el riesgo de contagio de la COVID-19 por aerosoles es menor. Mantener la seguridad en el interior de las aulas implica que sus ocupantes pierdan confort térmico y ésto plantea nuevos retos desde la perspectiva de la calidad ambiental interior, las instalaciones de ventilación y climatización y la edificación sostenible.

| <b>CO2 interior (estado estable)</b>                              | <b>709</b> | <b>ppm</b>  | <b>Min</b> | <b>Máx.</b> |
|---|------------|---|------------|-------------|
|   |            |   | <b>567</b> | <b>851</b>  |
| Rango razonable asumiendo un 20% de desviación del valor objetivo |            |   |            |             |
| <b>CO2 exterior</b>   | <b>440</b> | <b>ppm</b>  |            |             |
| <b>Caudal aire exterior objetivo</b>                              | 20.417     | l/m-persona (lpm)   |            |             |
|   | 1225       | m <sup>3</sup> /h   |            |             |
| <b>ACH</b>  | <b>5</b>   | <i>Se puede calcular según objetivo de ventilación (14 lps)</i> |            |             |
| Volumen del aula/oficina  | 245        | m <sup>3</sup>  |            |             |
| <b>ancho</b>  | 7,0        | m   |            |             |
| <b>largo</b>  | 14,0       | m   |            |             |
| <b>altura</b>   | 2,5        | m   |            |             |
| <b>Generación CO2</b>   | 5,4966     | l/m-persona (lpm)   |            |             |
| <b>n.º adultos en oficina</b>                                     | <b>0</b>   | <i>1,3 met 40-50 años promedio hombre-mujer</i>                 |            |             |
| met adultos   | 0,00445    | l/s   |            |             |
| Tasa adultos  | 0,267      | l/m-persona (lpm)   |            |             |
| <b>n.º adultos docentes</b>                                       | <b>1</b>   | <i>de pie y hablando, edad promedio de 30 a 40 años</i>         |            |             |
| met docentes  | 0,00361    | l/s   |            |             |
| Tasa docentes   | 0,2166     | l/m-persona (lpm)   |            |             |
| <b>n.º niños</b>  | <b>0</b>   | <i>6-11 años; sentados</i>                                      |            |             |
| met niños   | 0,0031     | l/s   |            |             |
| Tasa niños  | 0,186      | l/m-persona (lpm)   |            |             |
| <b>n.º adolescentes</b>   | <b>20</b>  |   |            |             |
| met adolescentes  | 0,0044     | l/s   |            |             |
| Tasa adolescentes   | 0,264      | l/m-persona (lpm)   |            |             |

Figura 6. Cálculo del nivel de CO<sub>2</sub> objetivo para una aula tipo medio con una ocupación de 20 adolescentes + 1 adulto en la que se establecen 5 renovaciones de aire a la hora (ACH=5).

## Conclusiones

Se ha podido contrastar las referencias publicadas en diversos medios [3], comprobando en su aplicación una buena correlación con los resultados obtenidos. Implementar estas metodologías supone en muchos casos un reto para muchos equipos docentes. Contar con recursos de medida y análisis de sencillo manejo simplifica el problema y ofrece la oportunidad de implicar al alumnado en la búsqueda de soluciones desde la ciencia y la tecnología.

La metodología propuesta en [3] que incluye la utilización de hielo seco, se ha podido comprobar, que no es fácil de implementar en un aula siendo extensiones interesantes de implementar para analizar la eficiencia de la ventilación pero sin la presencia del alumnado.

Los caudales de renovación del aire, métodos de aperturas de ventanas, ocupación, orientación de las aulas, condiciones meteorológicas del día de medición, etcétera, pueden variar los resultados, siendo recomendable seguir metodologías similares y guardar registro de las configuraciones utilizadas en cada caso.

En general se observa que los edificios siguen contando con pocos elementos que permitan la renovación controlada de grandes volúmenes de aire manteniendo niveles aceptables de pérdida calorífica, para esto existen soluciones de bajo coste como intercambiadores de calor que de forma pasiva pueden realizar estas tareas sin impactar en el consumo energético.

Los datos obtenidos conforman de forma excelente con aquellos publicados para la mejora de la calidad del aire, mejorando la confianza de los alumnos mediante el contraste de resultados.

## Agradecimientos

Agradecer a la dirección de IES L'ELIANA por facilitar la integración de equipos, las medidas en el centro y permitir la publicación de estos resultados. Al profesorado, PAS y alumnado por facilitar



las medidas, y en especial al alumnado de Cultura Científica 4ESO curso 19-20, por iniciar el camino de las medidas de CO<sub>2</sub> en el centro.

A la empresa VEO EL AIRE, COOP.V por facilitar el acceso a datos de sensores y otros componentes que no están en la línea base de dispositivo.

Agradecimiento al CSIC y al Ministerio por la publicación de guías que han permitido el uso de material, en este caso ya disponible de aulas de tecnología y culturas científicas a ayudar y entender como combatir el COVID19.

## Referencias

[1] *Transmisión del SARS-CoV-2: repercusiones sobre las precauciones en materia de prevención de infecciones*. OMS. Reseña científica. 9 de julio de 2020.

[2] Lidia Morawska et al., Environment International (2020).  
<https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105832>

[3] *Guía para ventilación en aulas CSIC (2020)*. María Cruz Minguillón, Xavier Querol, José Manuel Felisi, Tomás Garrido. <http://dx.doi.org/10.20350/digitalCSIC/12677>

[4] VEO INDOOR – Manual de usuario. <http://www.veolo.es/documents/>

[5] Plataforma Véolo. <https://www.veolo.es/tutores-ca/>

[6] Resultados proyectos utilizando Plataforma Véolo:

<https://veolof.wixsite.com/finalcurso>

<https://veolof.wixsite.com/finalcurso2aedicion>

## Fotografías

Foto 1. Exposición de resultados del proyecto “Ve el aire que respiro” en el hall del IES L´Eliaana (2019)

Foto 2. Imagen de la web del proyecto AIRE QUE RESPIREM. Projecte sobre la qualitat de l'aire a L'Eliaana. <http://airequerespirem.iesleliana.es/>

Foto 3. Alumnos IES L´Eliaana realizando una exposición sobre calidad el aire.

Foto 4. (Falta una foto actual de aula con alumnos midiendo; Manu)