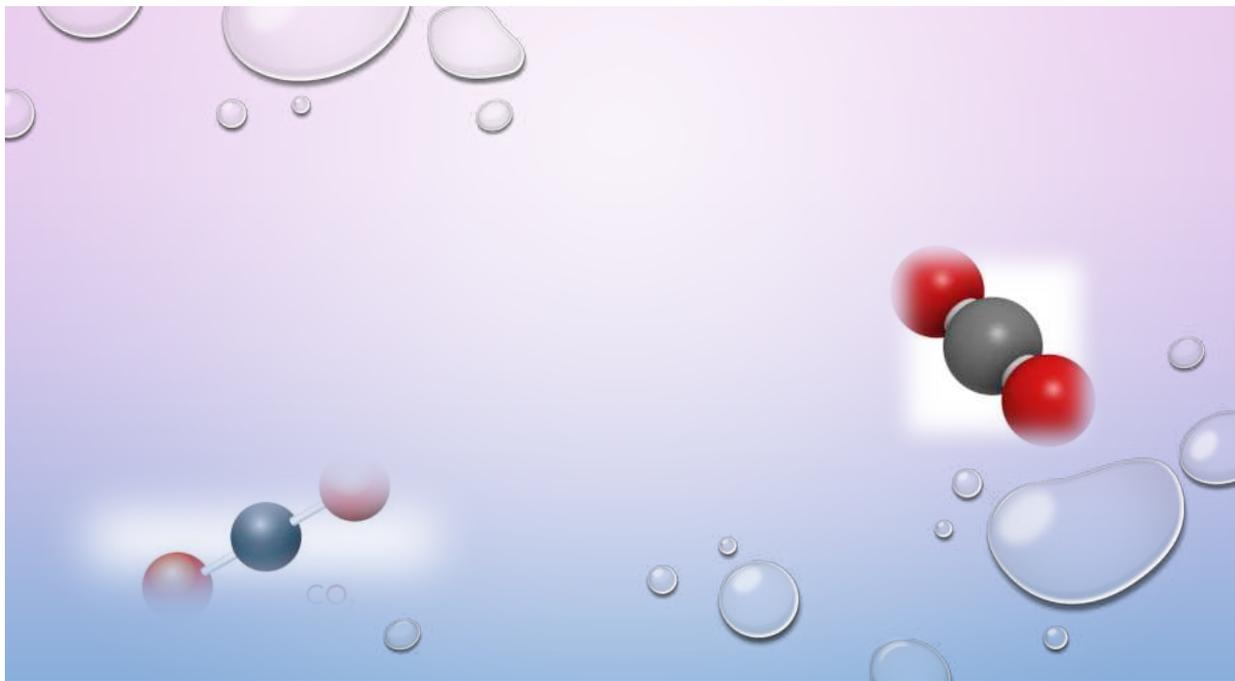


ESTUDIO DEL CO₂ EN EL IES FIDIANA

CURSO 2020-2021



Profesora: **Elena León Rodríguez**

Alumnado de INVESTIGACIÓN AVANZADA:

- **Ernesto Castillejo López**
- **Lucía Yanda Expósito Cazorla**
- **Antonieta Victoria Rodríguez Ríos**
- **Paula Torres Hermán**
- **Gloría Sánchez Fernández**

Córdoba a 1 de septiembre de 2021



ÍNDICE

1.- INTRODUCCIÓN.....	2
2.- ¿QUÉ DEBEMOS SABER?.....	2
3.- MATERIALES Y MÉTODOS.....	4
4.- EVOLUCIÓN DEL CO₂ A LO LARGO DE LA JORNADA ESCOLAR EN LAS DIFERENTES ESTANCIAS DEL CENTRO.....	4
4.1.- EVOLUCIÓN DEL CO₂ A LO LARGO DE LA JORNADA ESCOLAR EN LAS AULAS.....	4
• Nivel 1º ESO.....	5
• Nivel 2º ESO.....	8
• Nivel 3º ESO.....	10
• Nivel 4º ESO.....	12
• Nivel 1º BACH.....	14
• Nivel 2º BACH.....	17
• Nivel FPB.....	19
• Nivel CFGM.....	20
• Nivel CFGS.....	21
• Valores medios de CO ₂ por nivel.....	22
4.2.- VALORES MEDIOS DE CO₂ POR HORA DE CLASE.	23
4.3.- EVOLUCIÓN DE CO₂ EN AULAS ESPECÍFICAS.	24
4.4.- EVOLUCIÓN DE CO₂ EN OTRAS DEPENDENCIAS.	28
4.5.- CONCLUSIONES DEL ESTUDIO A LO LARGO DE TODA LA JORNADA ESCOLAR.....	31
5.- EVOLUCIÓN DEL CO₂ ESTUDIANDO LAS VARIABLES INDEPENDIENTEMENTE.	31
5.1.- EFECTO DEL NÚMERO DE PERSONAS QUE OCUPAN LA ESTANCIA.	32
5.2.- EFECTO DEL NÚMERO DE ORDENADORES.....	33
5.3.- EFECTO DE LA SUPERFICIE DE SALIDA DE AIRE A TRAVÉS DE LAS PUERTAS.....	34
5.4.- EFECTO DE LA SUPERFICIE DE ENTRADA DE AIRE A TRAVÉS DE LAS VENTANAS.	35
5.5.- EFECTO DEL VOLUMEN DE LA ESTANCIA.	36
5.6.- EFECTO DE LA PLANTA EN LA QUE SE UBICA LA ESTANCIA.	37
5.7.-CONTRIBUCIÓN DE LAS MATERIAS A LOS VALORES MEDIOS DE CO₂.	38
5.8.- CONCLUSIONES DEL ESTUDIO DE LAS VARIABLES INDEPENDIENTEMENTE.	44
6.- ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES	45
6.1.- CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS DEL PCA.	49
7.- BIBLIOGRAFÍA.	50
8.- AGRADECIMIENTOS.	50

1.- INTRODUCCIÓN.

La investigación es fundamental para el avance de la ciencia en todas las áreas (experimentales, sociales, humanidades, etc...), y por eso es tan importante introducirla desde la enseñanza secundaria para formar a los investigadores del mañana.

La investigación científica está presente en casi todo lo que hacemos a diario y nos ayuda a que nuestra calidad de vida mejore. Nos ayuda en los problemas sociales como los accidentes de tráfico, la construcción de carreteras y en los problemas individuales y de salud, como la curación de enfermedades. En este sentido es destacable la actuación e importancia de la investigación en tiempos de pandemia. El ejemplo más relevante y actual es que, gracias a la investigación científica y a la colaboración internacional, se ha podido desarrollar en tiempo record vacunas contra el Covid-19 y todo ello aplicando procesos biotecnológicos muy novedosos.

La competencia científica, que queremos desarrollar en nuestro alumnado, tiene como objetivo fundamental dar respuestas a nuestra sociedad y ayudarla a resolver los principales problemas a los que se enfrenta. Es de especial relevancia que el proceso que desarrollen los alumnos/as puedan extraer resultados de su investigación y aplicarlos a su realidad cercana.

Así pues, trasladamos esta concepción a nuestro centro y el alumnado de la asignatura de Investigación Avanzada de 2º de Bachillerato, bajo la dirección y supervisión de su profesora Elena León Rodríguez, ha puesto en marcha un estudio detallado de la acumulación de CO₂ en las aulas de nuestro centro. Este estudio ha seguido rigurosamente todas las etapas del método científico y sus conclusiones son derivadas de una reflexión minuciosa.

Estas conclusiones las ponemos a disposición la comunidad Educativa del IES Fidiana con la intención de que este aprendizaje adquirido sirva a toda esta comunidad. De esta manera se podrán establecer estrategias y tomar decisiones, a modo individual o a nivel de centro, para la mejora de la seguridad respecto de la transmisión del Virus Covid 19 durante el desempeño de nuestro trabajo, siempre dentro de nuestras posibilidades de actuación.

2.- ¿QUÉ DEBEMOS SABER?

El dióxido de carbono es un gas incoloro e inodoro que se origina en los procesos de combustión de sustancias que contienen carbono. En el caso de las personas este proceso se conoce como respiración celular y tiene como principal producto de desecho Dióxido de Carbono (CO₂) que es liberado al aire exterior a través de los pulmones. Cuando una estancia está ocupada, las concentraciones de CO₂ en el interior son más elevadas que en el exterior por el CO₂ exhalado por los ocupantes.

Generalmente en ambientes interiores, las partículas en suspensión (aerosoles), pueden contener el virus y por tanto acumularlos en su interior, facilitando la transmisión del mismo. La exposición a este aire puede, por tanto, provocar infecciones. Así pues, para reducir esta posibilidad de contagio es conveniente reducir la emisión de aerosoles y la exposición a los mismos.

Partimos de la base que el riesgo de contagio cero no existe y que siempre dependerá de la incidencia de los casos en nuestra ciudad, así como del riesgo que se quiera asumir y del rigor mostrado de manera individual en el uso de las mascarillas, el mantenimiento de la distancia de seguridad y de las medidas de higiene.

La ventilación se refiere a la renovación del aire, es decir, sustitución del aire interior, potencialmente contaminado, con aire exterior libre de virus. La utilización de un ventilador en un ambiente interior cerrado no equivale a ventilar en el sentido de renovación de aire.

La frecuencia con la que dicha renovación de aire ha de realizarse se denomina **ACH (Air Changes per Hour; renovaciones de aire por hora)**. Este valor se calcula aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{ACH} = \text{litros por persona y segundo} * \text{número personas} * 3600 \text{ segundos/hora} * 0.001 \text{ m}^3/\text{litro} / \text{volumen sala en m}^3$$

En esta fórmula se supone que un valor de 14 litros por persona y segundo es adecuado para reducir la posibilidad de contagio.

La ventilación necesaria para reducir el riesgo de contagio va a depender de:

- **El volumen de la sala**
- **El número y la edad de los ocupantes**
- **La actividad realizada**

Es por ello que su valor será diferente en cada aula y estará determinado por las condiciones específicas que se han dado en cada clase respecto al número de alumnos/as del grupo y/o materia, amplitud de clase ocupada durante el curso, etc.

La guía de Harvard recomienda 5-6 renovaciones de aire por hora para aulas de 100 m², con 25 estudiantes de 5-8 años, y establece esta clasificación:



Otro valor importante que es necesario conocer para realizar un estudio de CO₂ es la Concentración de CO₂ en estado estable.

Se trata de determinar la concentración de CO₂ objetivo en el aula ocupada. Depende de las **dimensiones del aula y su ocupación**, y se ha de **fixar el objetivo de renovación de aire**. Con ello, se calcula la concentración de CO₂ en el aula para condiciones estables (es decir cuando la concentración de CO₂ se mantiene relativamente constante)

$$C_{\text{estado estable}} = \frac{\text{Generación de CO}_2 + \text{Caudal aire exterior objetivo} * C_{\text{exterior CO}_2} * 1 * 10^{-6}}{\text{Caudal aire exterior objetivo} * 1 * 10^{-6}}$$

Conociendo esta concentración podemos comparar las medidas tomadas en el aula y determinar si la ventilación de dichas aulas es adecuada.

- Si la concentración de CO₂, determinada en el aula es relativamente constante, y similar a la concentración en el estado estable, sabríamos que **estamos cumpliendo el objetivo de ventilación establecido**.
- Si la concentración de CO₂ es superior a la concentración en estado estable, **no se alcanza el objetivo de renovación de aire y habría que revisar la ventilación**.
- Dadas las variaciones de concentraciones a lo largo del día, es **razonable asumir un 20% de desviación del valor objetivo** antes de tomar medidas drásticas.

3.- MATERIALES Y MÉTODOS.

La duración de este estudio ha sido de 3 meses (del 22 de febrero al 16 de abril de 2021)

La fase de toma de datos se realizó en cada clase desde las 8:30 hasta las 15:00 ininterrumpidamente con un intervalo de 5 minutos entre cada una de las medidas. A primera hora del día se instalaba el medidor de CO₂ acoplado a un programa de ordenador que nos tomaba fotos de las lecturas. Cada día se tomaban datos de tres estancias del centro. Se ha utilizado un medidor de tipo digital de interior y al aire libre con capacidad para medir CO/HCHO/TVOC y CO₂.

Además, se han tomado datos de otras variables para determinar la relación de estas con la cantidad de CO₂ determinada en las aulas. Las variables seleccionadas han sido: número de personas que las ocupan, volumen de la estancia, superficie de entrada de aire que tenían las ventanas abiertas, superficie de salida de aire de las puertas abiertas, número de ordenadores en el interior del aula, planta del instituto en la que estaba ubicada la estancia, actividad realizada (tipo de asignatura o trabajo propio de la función que se ejerce), hora de clase y el nivel o tipo de enseñanza de la que se trataba.

El alumnado introdujo todos los valores de la concentración de CO₂ y de las diferentes variables en estudio en una hoja Excel compartida a través de Google Drive. La cantidad de datos obtenidos fue bastante extensa, lo que resultó en una matriz de datos con 6705 registros.

Estos datos fueron tratados estadísticamente mediante el Software R, Versión 3.6.1., con la interfaz Rstudio Version 1.4.1717. Esto nos ha permitido estudiar la evolución del CO₂ a lo largo de la jornada escolar en cada aula de clase, en las diferentes aulas específicas (Aula de Plástica, Aula TIC, Biblioteca, Desdoble TIC, Polideportivo, Laboratorio de Biología y Geología y Laboratorio de Física y Química) y otras dependencias entre las que se han incluido: Dirección, Jefatura de estudios, Despacho de la secretaria, Secretaría administración, Sala de profesores_SUM y Conserjería.

A partir de los datos obtenidos se han realizado con el programa R representaciones de la variación de los valores medio de CO₂ a lo largo de la jornada escolar, gráficos de cajas y bigotes (boxplots), análisis de la varianza y la comparación de medias mediante el estadístico Tukey, que nos permite detectar diferencias significativas entre agrupamientos. Previo al análisis de la varianza y comparación de medias se comprobó que los datos seguían una distribución normal y las varianzas de los diferentes grupos eran iguales. Además, se ha realizado un Análisis de Componentes Principales (PCA: Principal Component Analysis) para determinar la interrelación entre todas las variables estudiadas y la contribución de cada de ellas a la acumulación de CO₂ en las diferentes estancias.

4.- EVOLUCIÓN DEL CO₂ A LO LARGO DE LA JORNADA ESCOLAR EN LAS DIFERENTES ESTANCIAS DEL CENTRO.

4.1.- EVOLUCIÓN DEL CO₂ A LO LARGO DE LA JORNADA ESCOLAR EN LAS AULAS.

En esta sección se han representado las gráficas lineales de la evolución del CO₂ en el tiempo a lo largo de la jornada escolar. Estas representaciones se han realizado por clase, por nivel y por tipo de dependencia.

En todos los casos se ha calculado el ACH en función de las condiciones específicas que se daban en cada hora de clase. El valor medio de ACH se presenta en la esquina superior izquierda de la gráfica.

Se ha calculado, igualmente para las condiciones específicas de cada aula, el valor medio de la concentración de CO₂ en estado estable y este se ha representado mediante una línea horizontal azul discontinua. Se ha tenido en cuenta tanto el valor objetivo como el 20 % de variación que se puede asumir debido a las grandes variaciones que se dan durante el día, este valor se ha representado como una línea horizontal continua de color azul.

Las aulas han permanecido siempre con las ventanas y una puerta abiertas. Esto se ha complementado con una pauta en la que se hacía sonar el timbre del IES para proceder a la apertura de la otra puerta de la clase. Esto se realizaba a las 9:15, 10:15, 11:15, 12:45, 13:45 y 14:45. Esta pauta de ventilación se han representado con líneas verticales rojas en las gráficas.

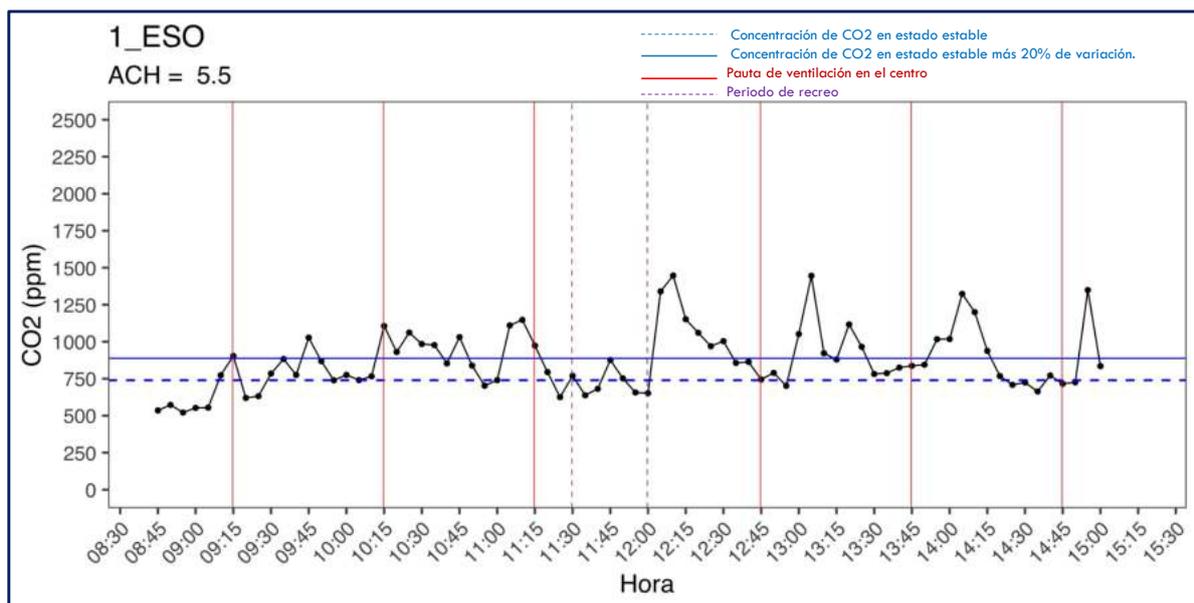
El recreo es el periodo de tiempo localizado entre las dos líneas verticales moradas y discontinuas.

En las gráficas boxplots podemos examinar la distribución y la dispersión de las observaciones de los datos. La mediana queda representada en la línea central de la caja. Este valor nos indica que la mitad de nuestras observaciones es menor o igual a este valor y la otra mitad es mayor o igual al valor de la mediana. En la caja se representan también las distancias entre el primer y el tercer cuartil (rango intercuartílico). Las líneas representan los rangos del 25 % de valores de la parte inferior y el 25 % de la parte superior, excluyendo los valores fuera de tipo. El punto indica el valor medio de la muestra de datos.

Para el cálculo de los valores medios de CO₂ se han omitido los intervalos de tiempo en los que las aulas han permanecido vacías, así como el periodo de recreo, en el cual las clases estaban igualmente desalojadas.

Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

- Nivel 1º ESO

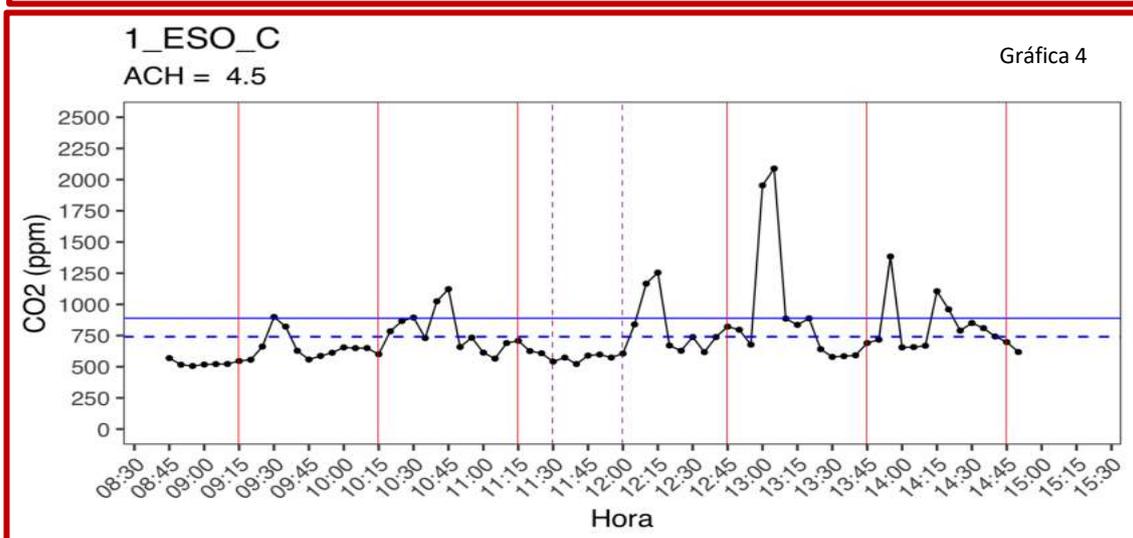
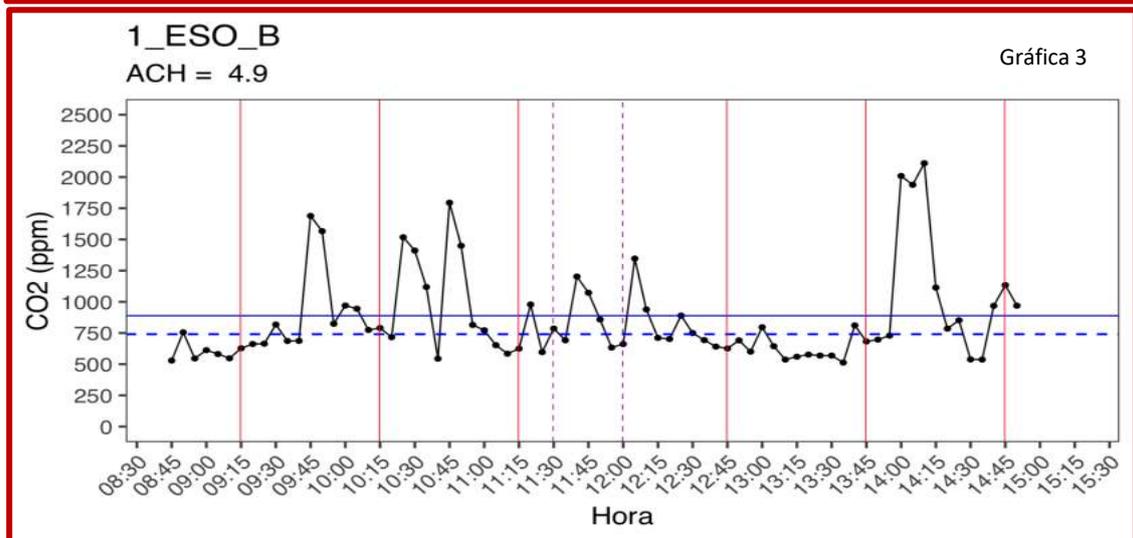
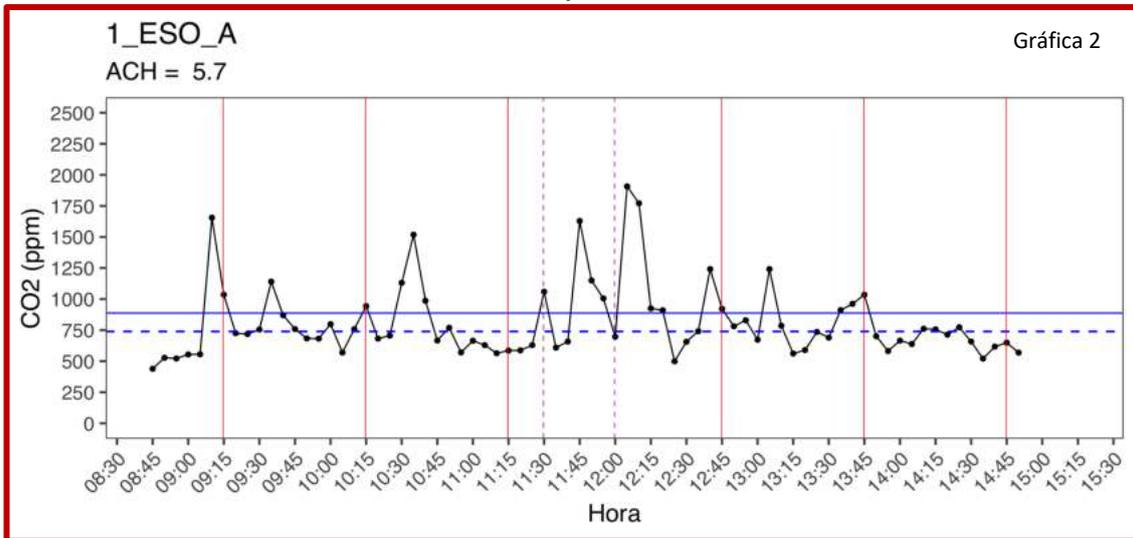


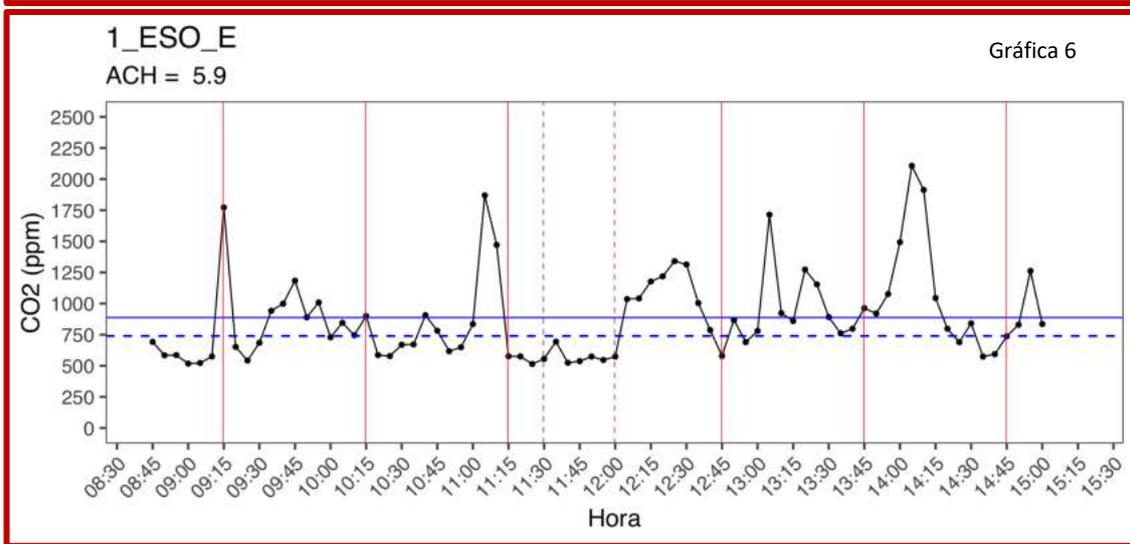
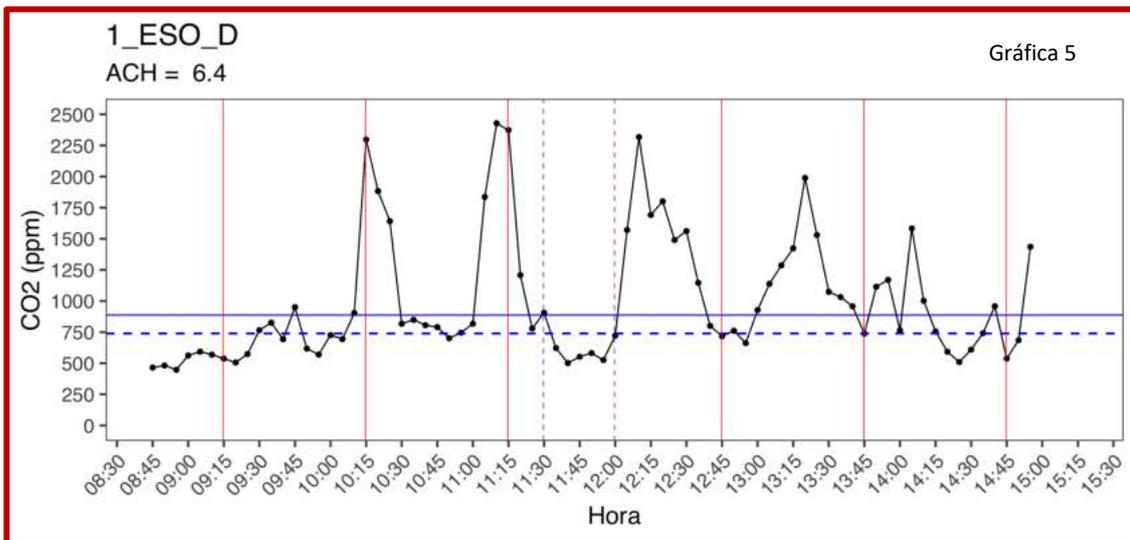
Gráfica 1: Evolución CO₂ a lo largo de la jornada en 1º ESO

Como se muestra en la Gráfica 1, en el nivel de 1º ESO las concentraciones de CO₂ se mantienen más bajas durante el recreo. En este nivel encontramos una media de 10 picos de CO₂ que se

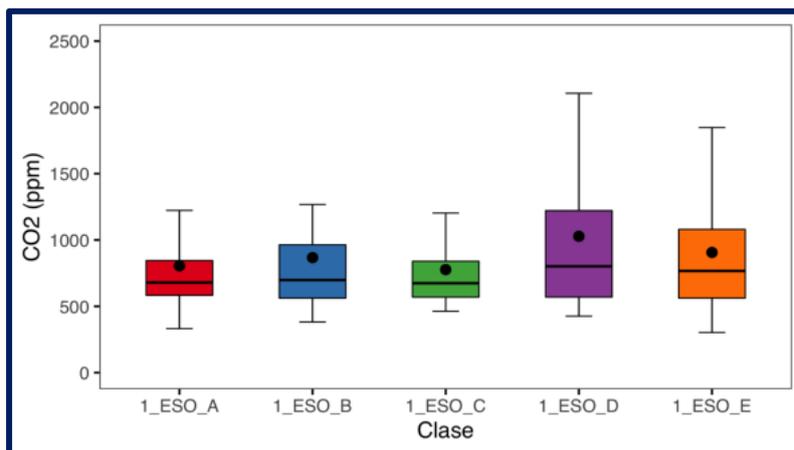
encuentran por encima de los valores deseables. Estos picos generalmente aparecen transcurrido cierto tiempo del comienzo de la clase y de las ventilaciones y renovaciones de aire llevada a cabo.

Gráficas por clases





Gráficas 2,3 4 5 y 6: Evolución del CO₂ en las clases de 1º ESO



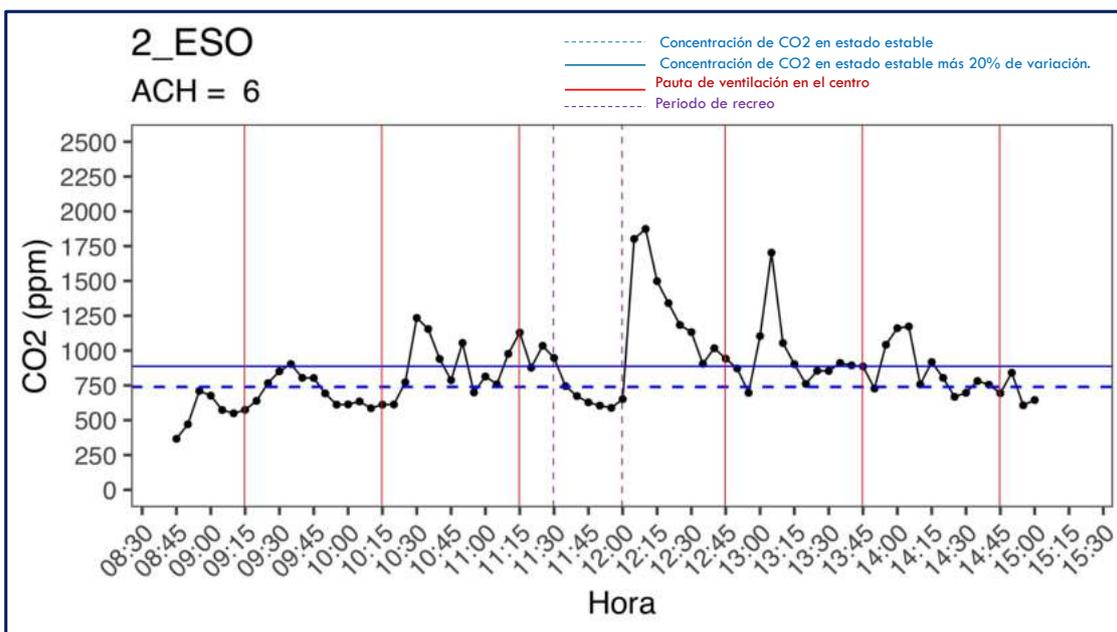
Clase	CO ₂	Grupos
1_ESO_D	1027.993	a
1_ESO_E	906.164	ab
1_ESO_B	867.400	ab
1_ESO_A	805.008	b
1_ESO_C	776.776	b

Tabla 1: Análisis de la varianza 1º ESO

Gráfica7: Boxplot del CO₂ clases 1º ESO

En relación con los valores medios de CO₂ de cada curso (Gráfica 7 y Tabla 1) estos son significativamente superiores en 1º ESO D y algo mayores en 1º ESO E, respecto al resto de clases de este nivel. Estas diferencias indican que estos grupos han expelido más CO₂, probablemente al prolongar más los tiempos de conversación durante los periodos de clase. En ambos grupos se han acumulado en el ambiente mayor cantidad de aerosoles potencialmente contaminantes.

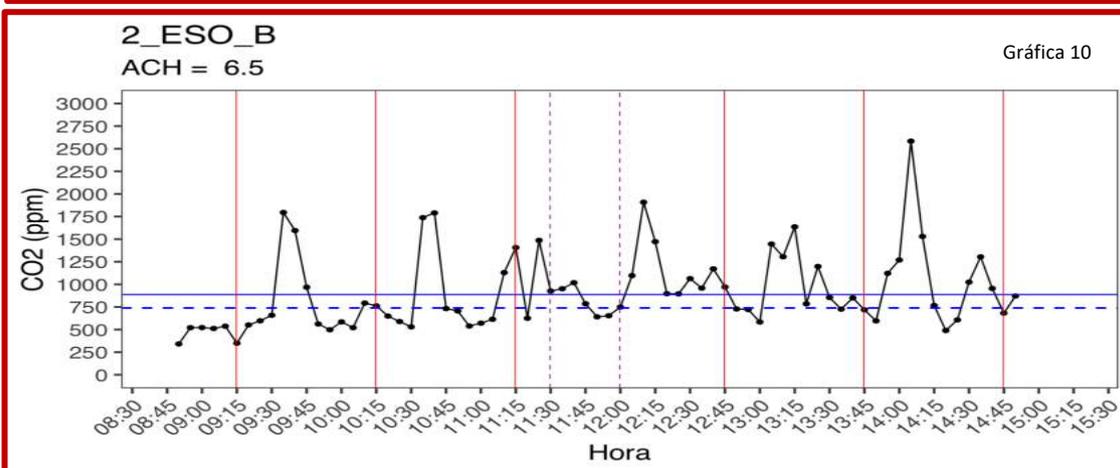
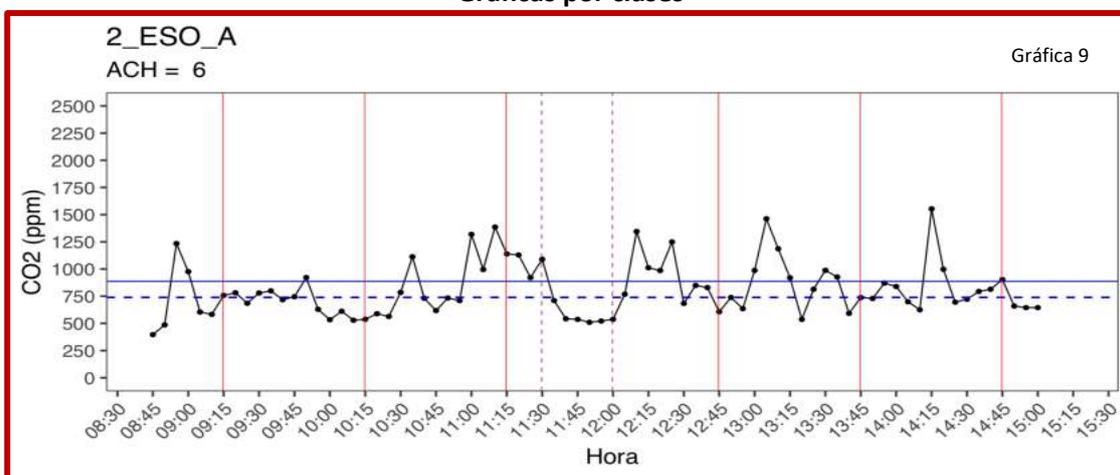
- Nivel 2º ESO

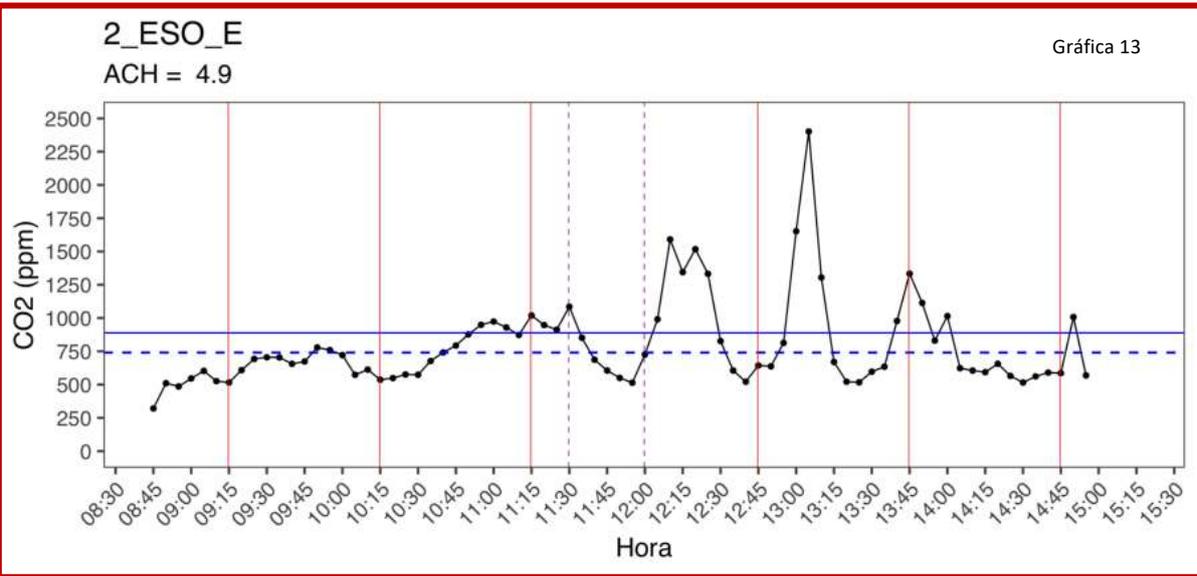
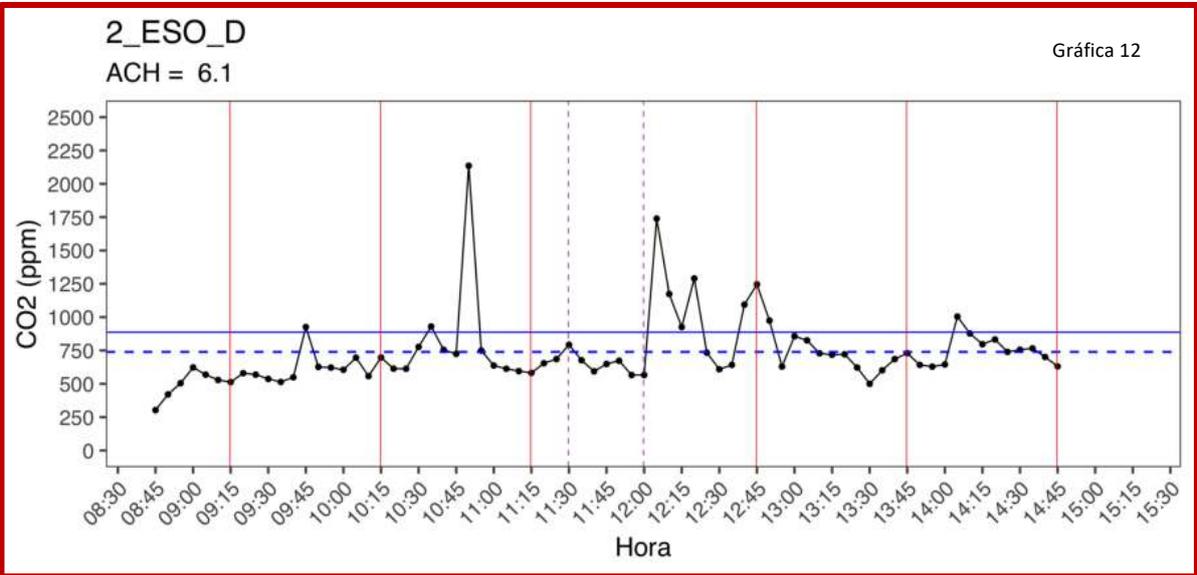
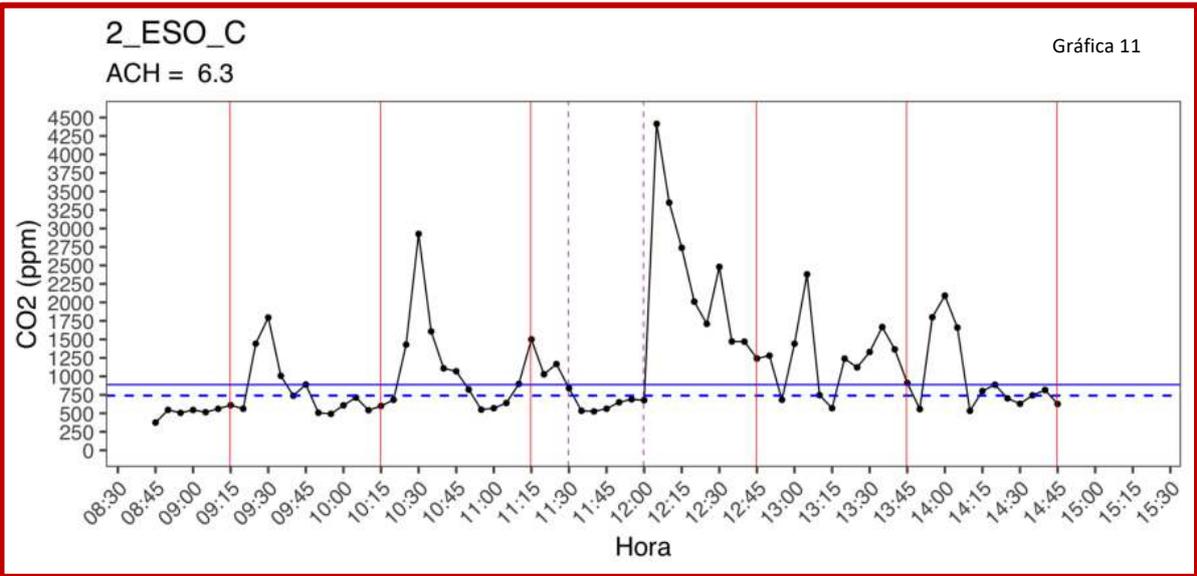


Gráfica 8: Evolución CO₂ a lo largo de la jornada en 2º ESO

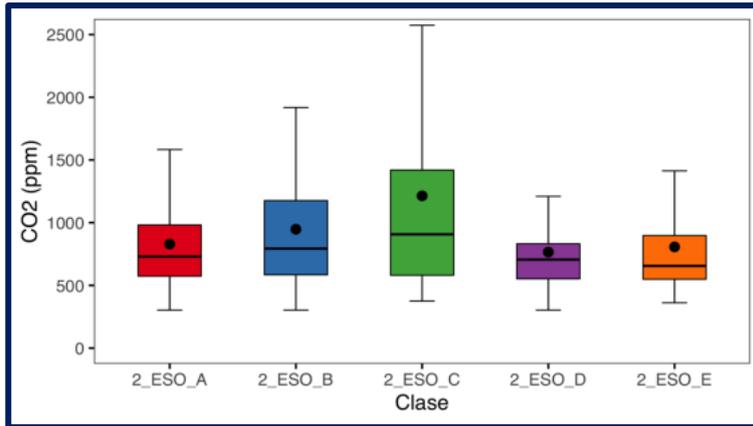
En la Gráfica 8 se observa que en 2º ESO se mantiene la misma tendencia que el nivel inferior respecto a la evolución de los valores de CO₂ a lo largo de la jornada escolar, ACH objetivo y concentración de CO₂ en estado estable.

Gráficas por clases





Gráficas 9,10,11,12 y 13: Evolución CO₂ en las clases de 2º ESO



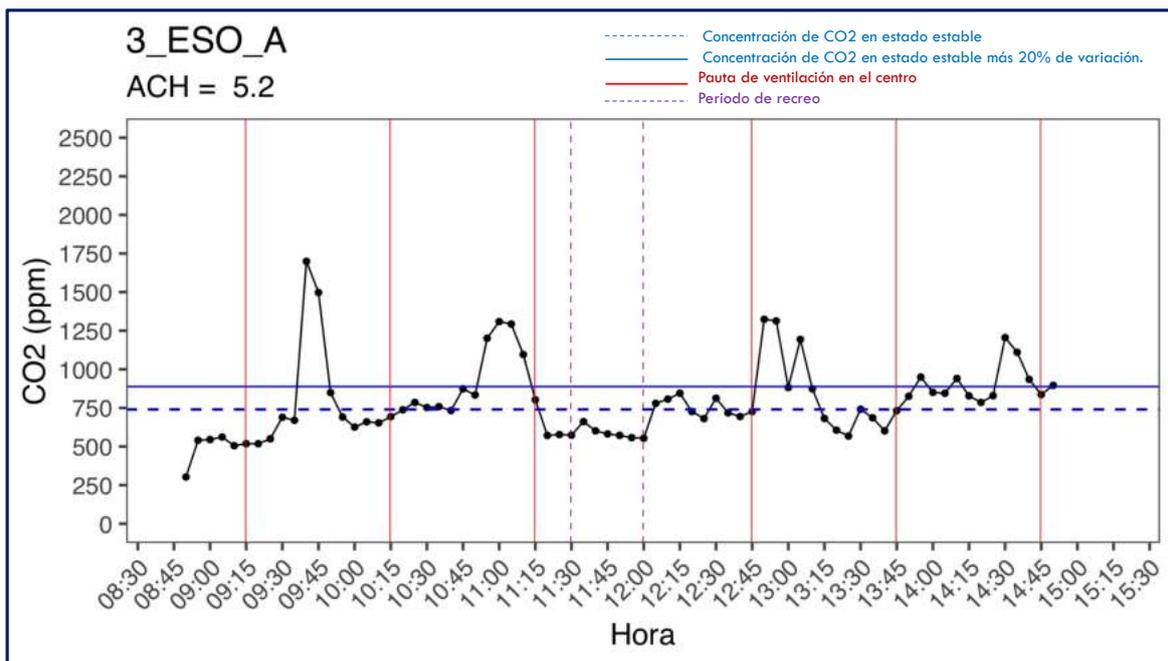
Clase	CO ₂	Grupos
2_ESO_C	1213.790	a
2_ESO_B	947.505	b
2_ESO_A	829.302	b
2_ESO_E	806.706	b
2_ESO_D	765.308	b

Tabla 2: Análisis de la varianza 2º ESO

Gráfica 14: Boxplot valores medios de CO₂ en las clases 2º ESO

A partir de los datos de la Gráfica 14 y la Tabla 2, se deduce que, en este nivel, el grupo 2º ESO C ha acumulado significativamente mayor cantidad de CO₂ en el aula, mientras que no hay diferencias significativas entre los otros cursos.

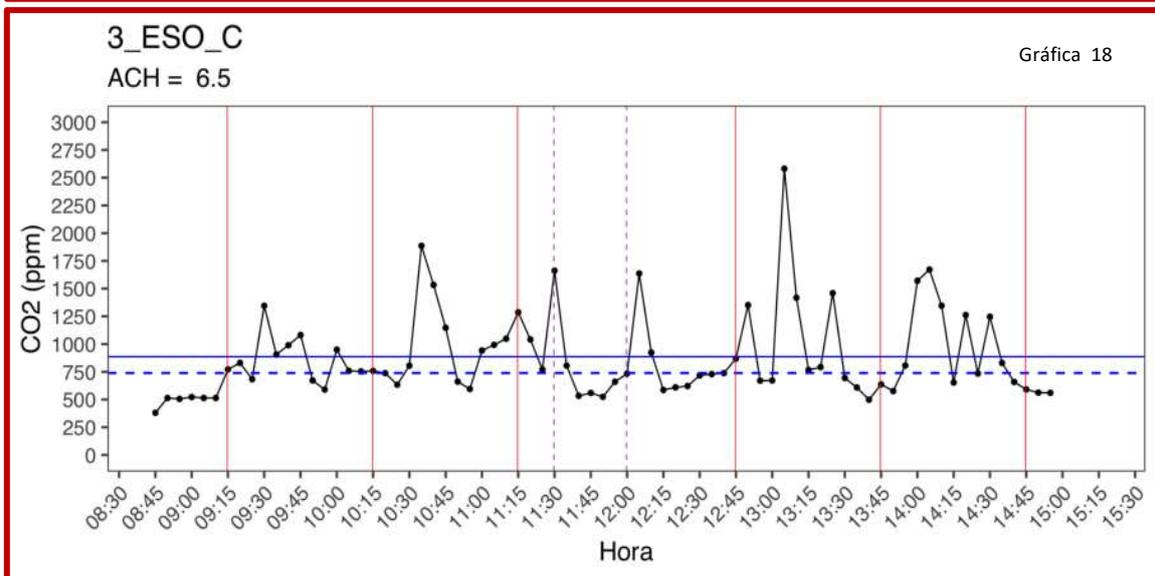
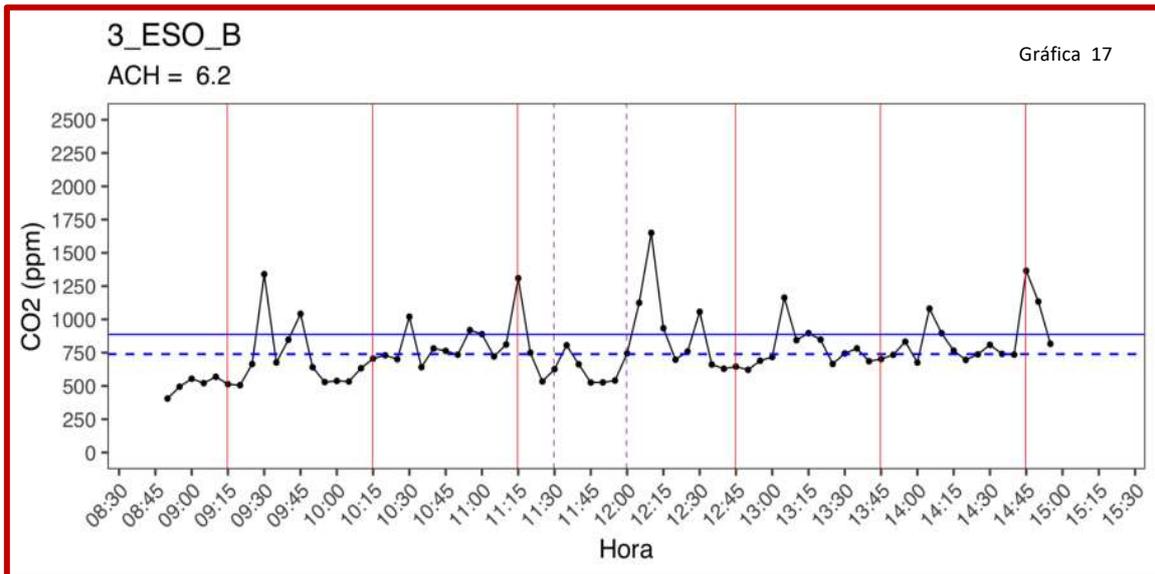
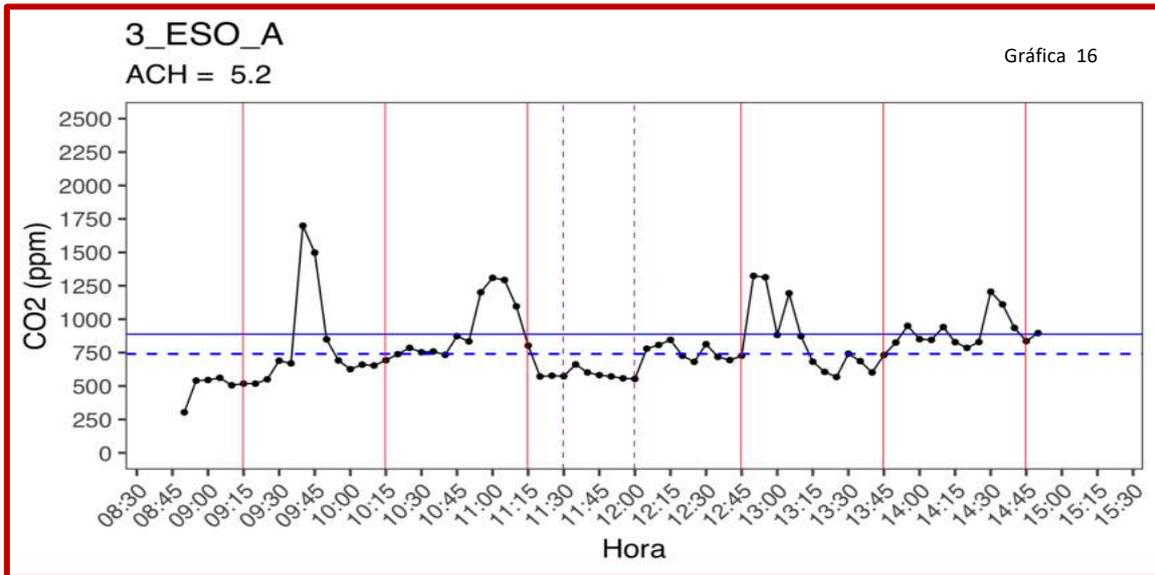
- Nivel 3º ESO



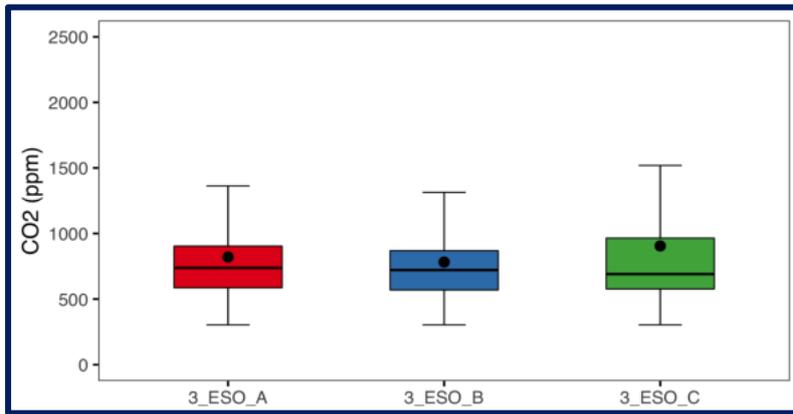
Gráfica 15: Evolución CO₂ a lo largo de la jornada en 3º ESO

En este nivel, al igual que en 1º y 2º de ESO la variación de CO₂ presenta fluctuaciones que se reparten a lo largo del día, aunque los picos más altos parecen concentrarse con más frecuencia a partir de las 11:30 horas (Gráfica 15).

Gráficas por clases



Gráficas 16, 17 y 18: Evolución CO₂ en las clases de 3º ESO



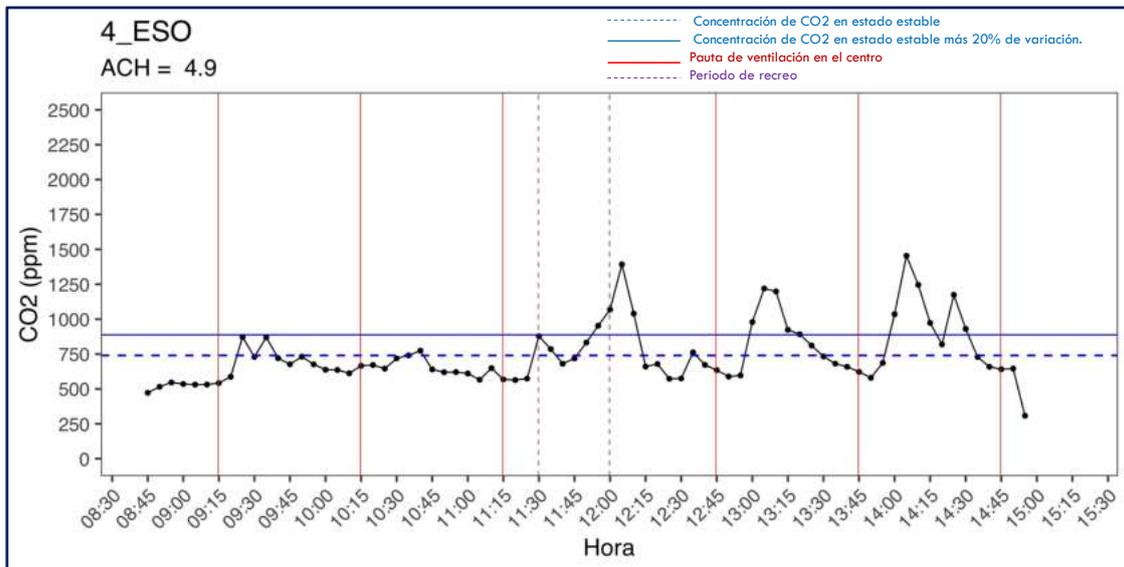
Clase	CO ₂	Grupos
3_ESO_C	905.314	a
3_ESO_A	820.992	ab
3_ESO_B	782.089	b

Tabla 3: Análisis de la varianza 3º ESO

Gráfica 19: Boxplot de valores medios de CO₂ en las clases 3º ESO

Respecto a la distribución de los datos y al análisis de la varianza y comparación de medias (Gráfica 19 y Tabla 3), los valores medios de CO₂ del grupo 3º ESO C se diferencian significativamente respecto de 3º ESO B, pero no de 3º ESO A.

- Nivel 4º ESO

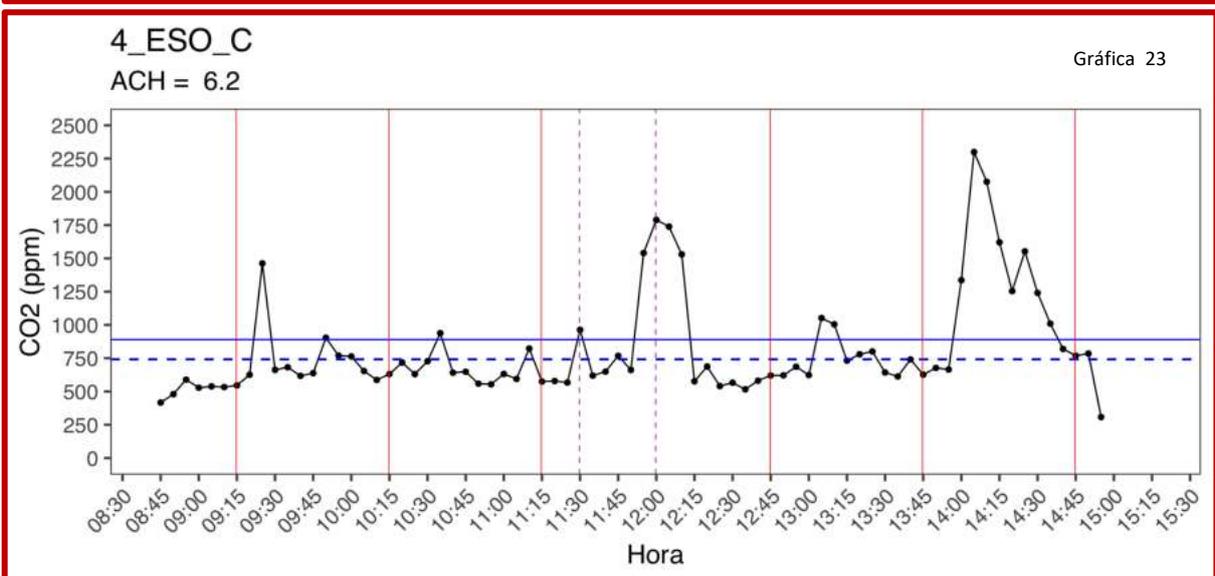
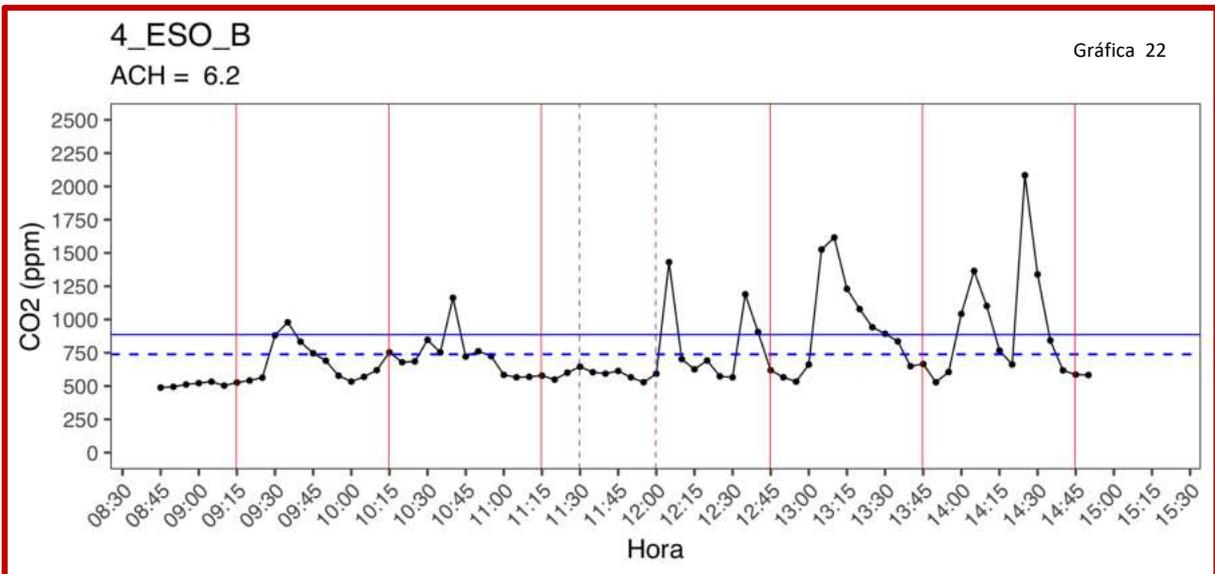
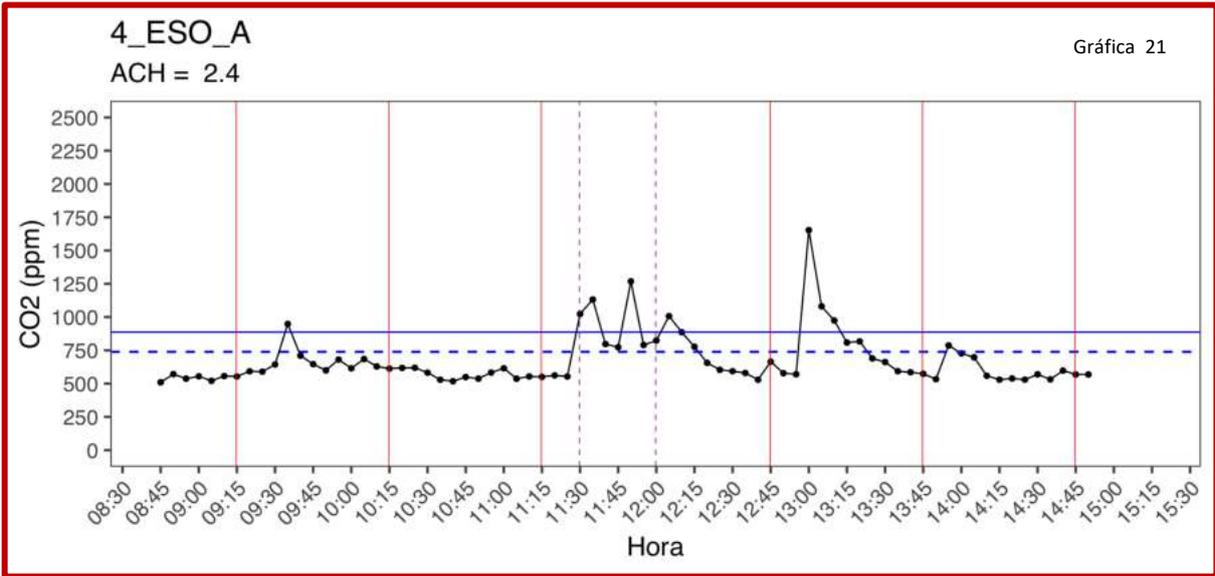


Gráfica 20: Evolución CO₂ a lo largo de la jornada en 4º ESO

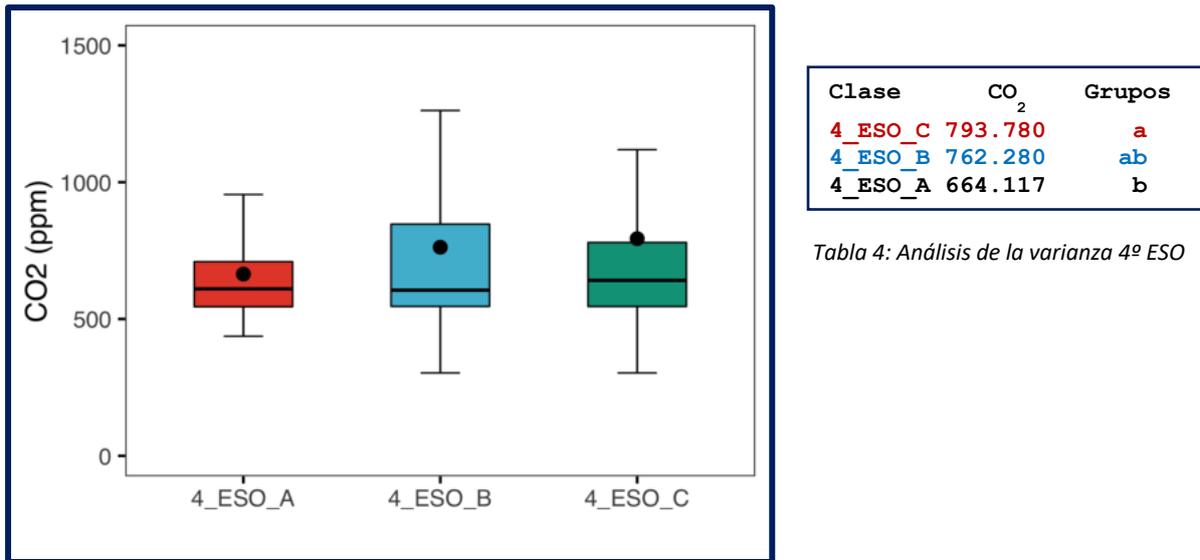
En 4º ESO se aprecia una disminución en el tiempo en el que se alcanzan concentraciones de CO₂ por encima de la concentración en estado estable (Gráfica 20). La media de picos altos de valores medios de CO₂ es de 4, es decir menos de la mitad de las obtenidas en los niveles anteriores.

El hecho de aparecer valores medios de CO₂ inferiores, nos sugiere que este alumnado de mayor edad emplea menos tiempo en conversar entre ellos en las clases y por ello acumulan menos cantidad de aerosoles. Es destacable el hecho de que los valores más elevados de CO₂ se alcanzan en la segunda parte de la jornada escolar después del recreo.

Gráficas por clases



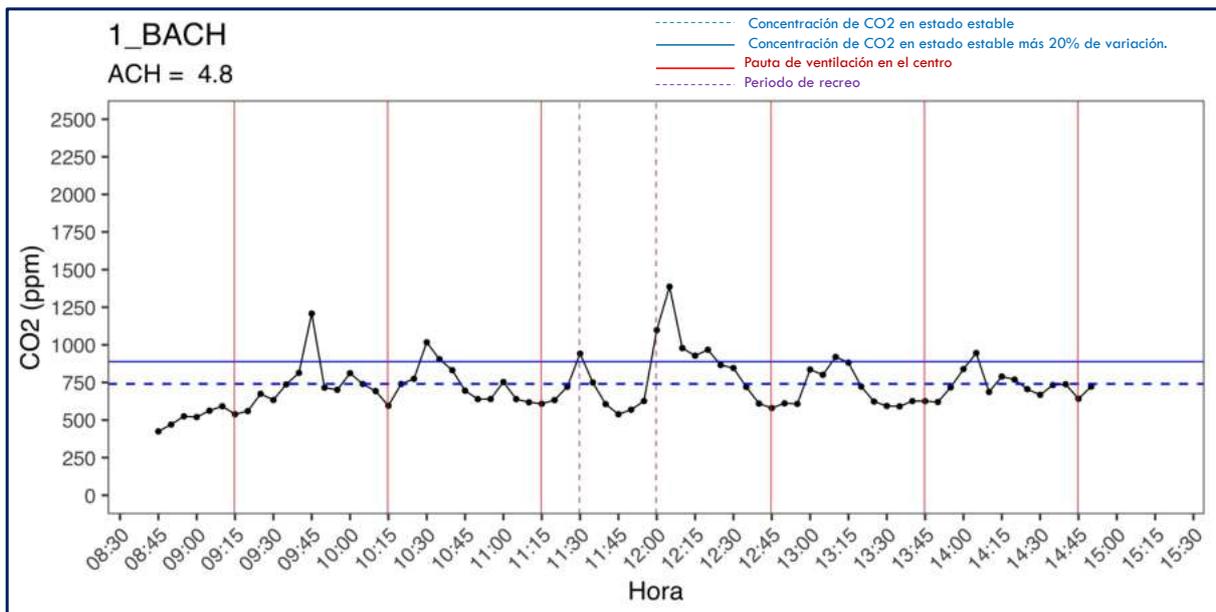
Gráficas 21, 22 y 23: Evolución CO₂ en las clases de 4º ESO



Gráfica 24: Boxplot con valores medios de CO₂ en las clases 4º ESO

En este nivel, tal y como se extrae de la Gráfica 24 y la Tabla 4, el curso 4º ESO C alcanzó niveles medios de CO₂ más elevados. Hay que mencionar que, en este caso, aunque el número de ocupantes no era muy elevado, se alojaban en unas de las clases pequeñas del centro.

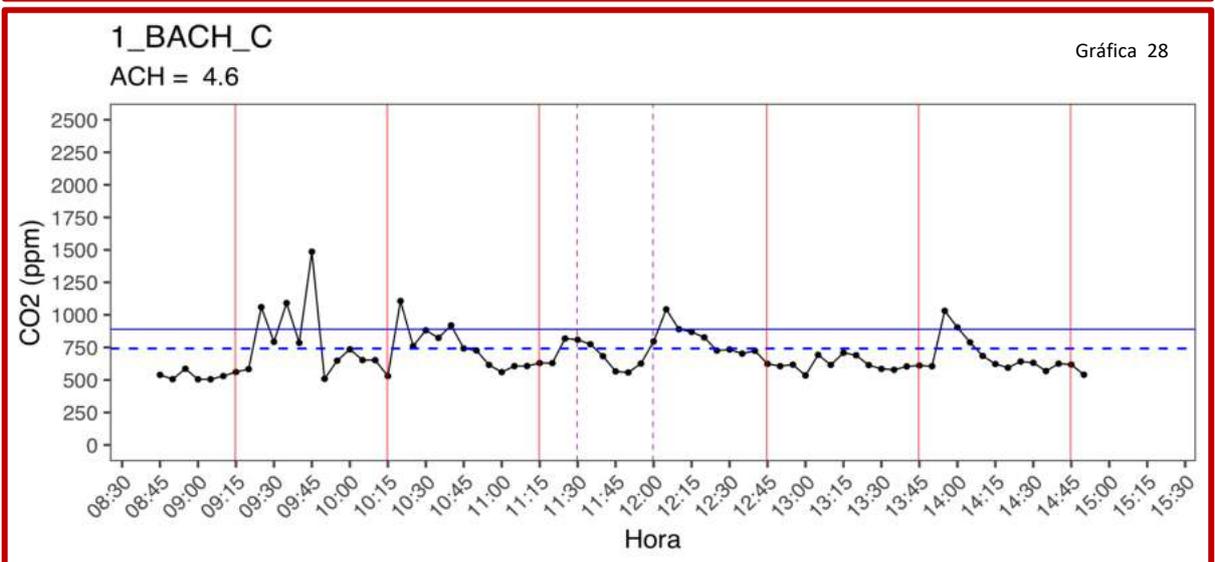
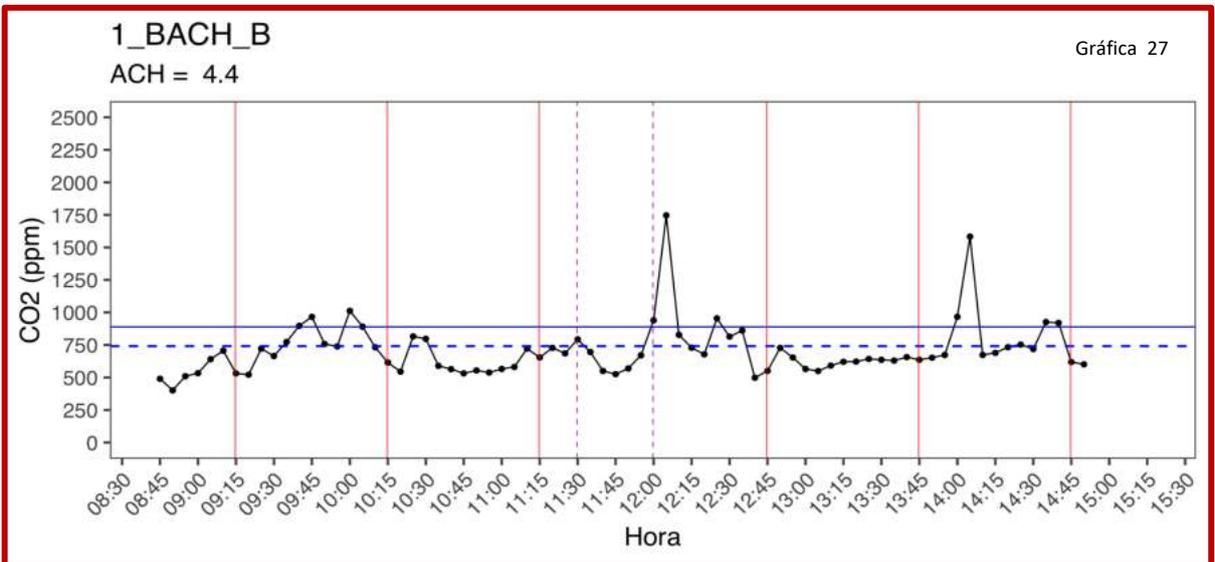
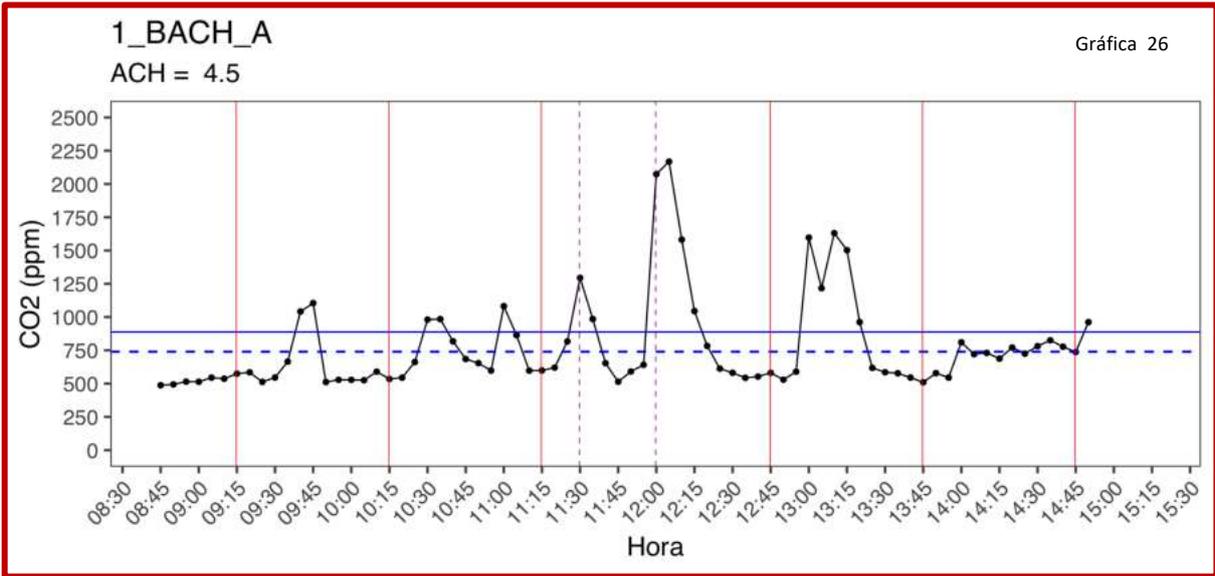
- Nivel 1º BACH

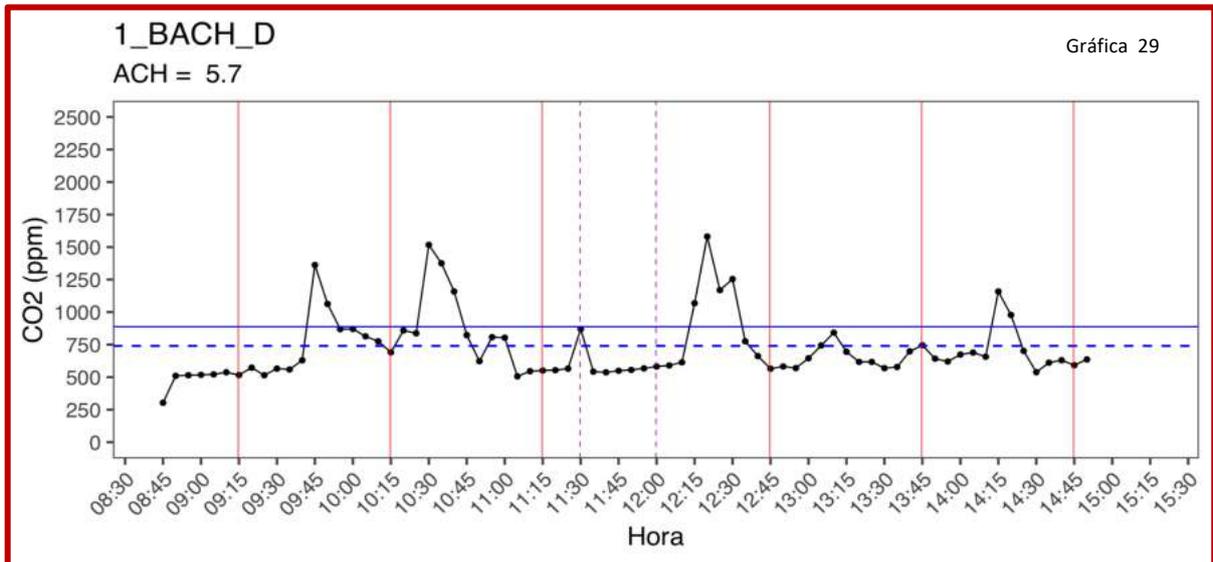


Gráfica 25: Evolución CO₂ a lo largo de la jornada en 1º BACH

En 1º BACH, al igual que 4º ESO, se aprecia una disminución en el tiempo en el que se alcanzan concentraciones de CO₂ por encima de la concentración en estado estable. Se diferencian muy pocos picos de concentración elevada de CO₂ (Gráfica 25).

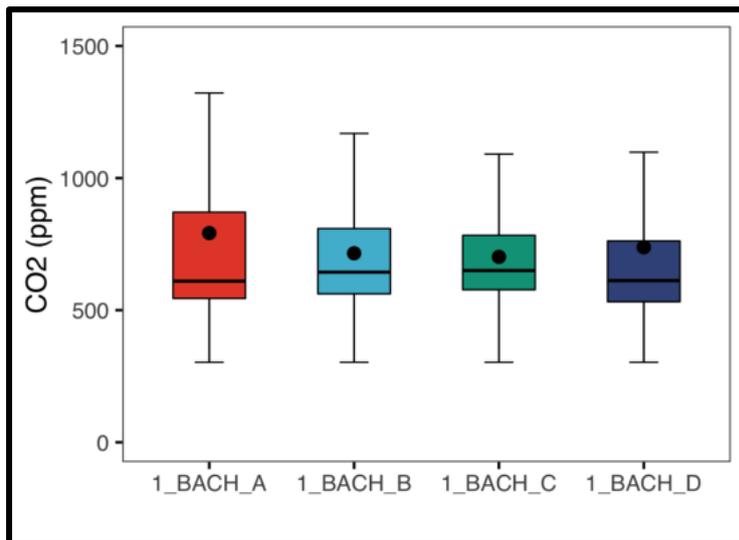
Gráficas por clases





Gráficas 26, 27, 28 y 29: Evolución CO₂ en las clases de 1º BACH.

En las Gráficas 26, 27, 28 y 29, se observa como en todos los cursos de Bachillerato la gráfica de evolución de CO₂ es fluctuante debido a la variación producida durante el día, pero la mayor parte del tiempo los valores medios de CO₂ se localizan por debajo de la línea azul continua (concentración de CO₂ en estado estable) la cual nos sirve como referencia para determinar si se deben tomar medidas en cuanto a la ventilación y renovación del aire interior.



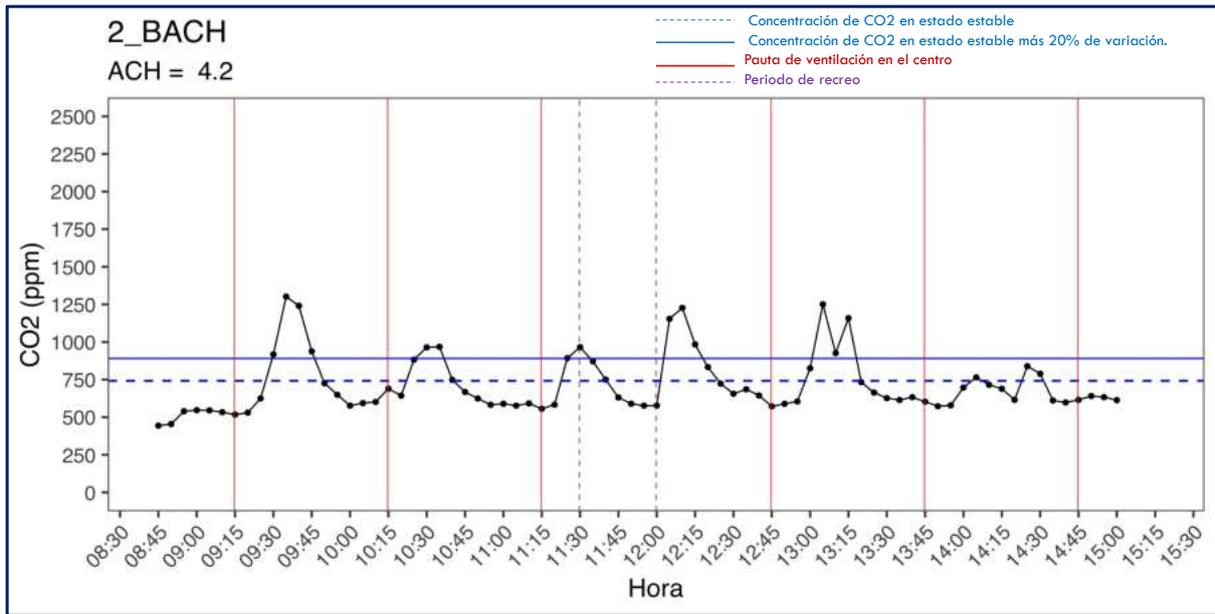
Gráfica 30: Boxplot con valores medios de CO₂ en las clases de 1º BACH

Clase	CO ₂	Grupos
1_BACH_A	791.973	a
1_BACH_D	738.175	a
1_BACH_B	715.459	a
1_BACH_C	701.732	a

Tabla 5: Análisis de la varianza 1º BACH

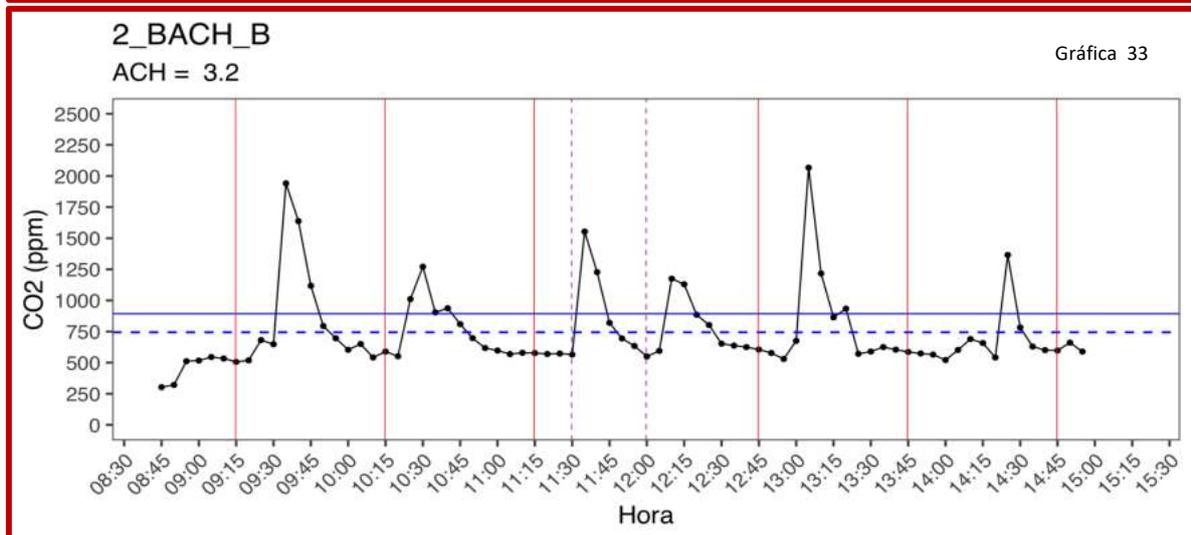
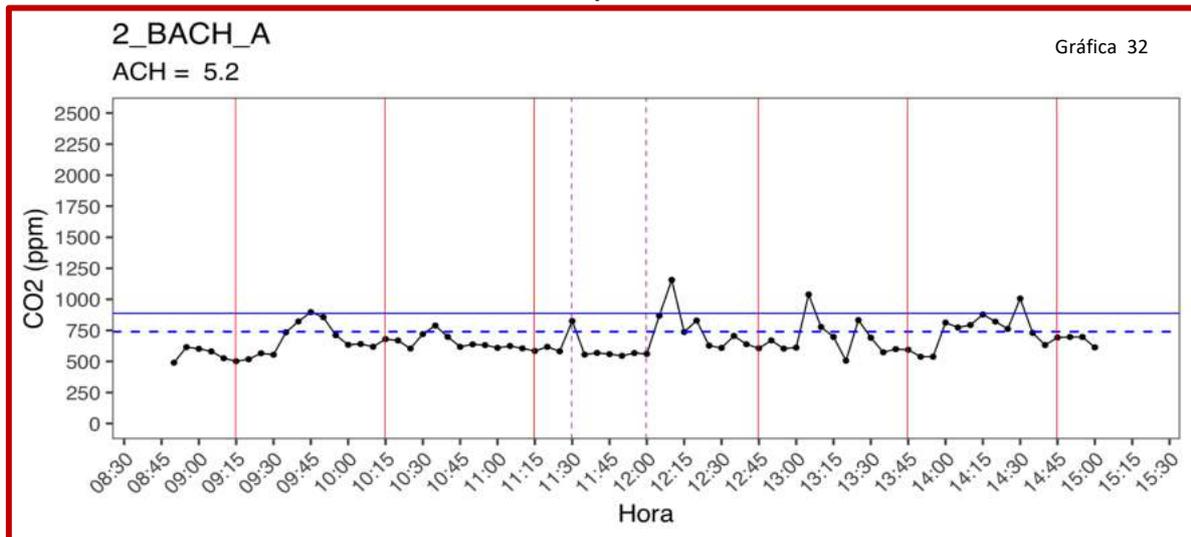
En los grupos de 1º BACH no se encontraron diferencias significativas en los valores medios de CO₂ por clase. Todas las medias fueron muy similares (Gráfica 30 y Tabla 5)

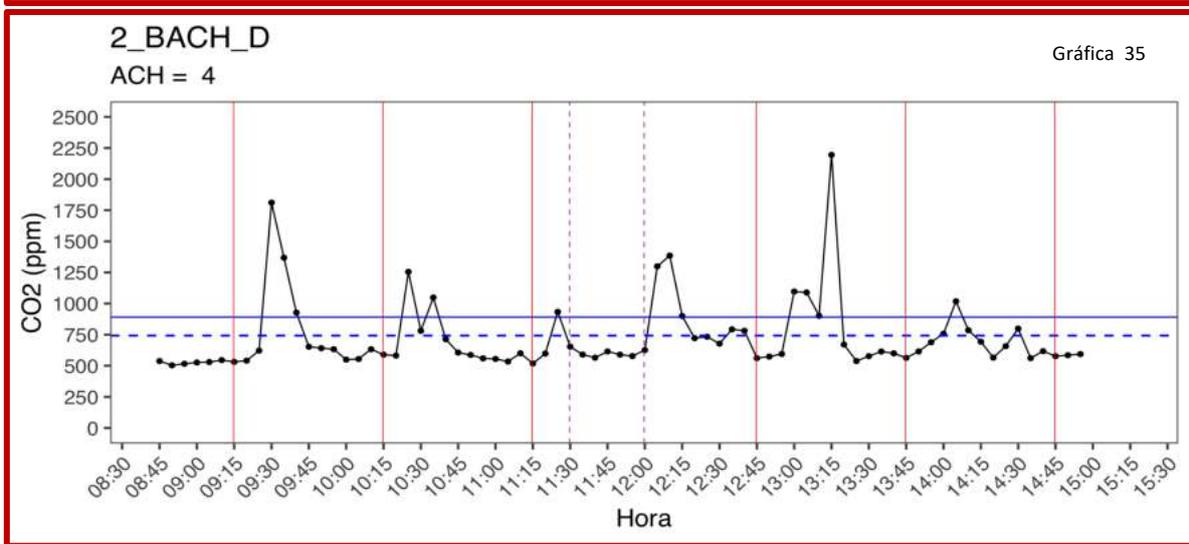
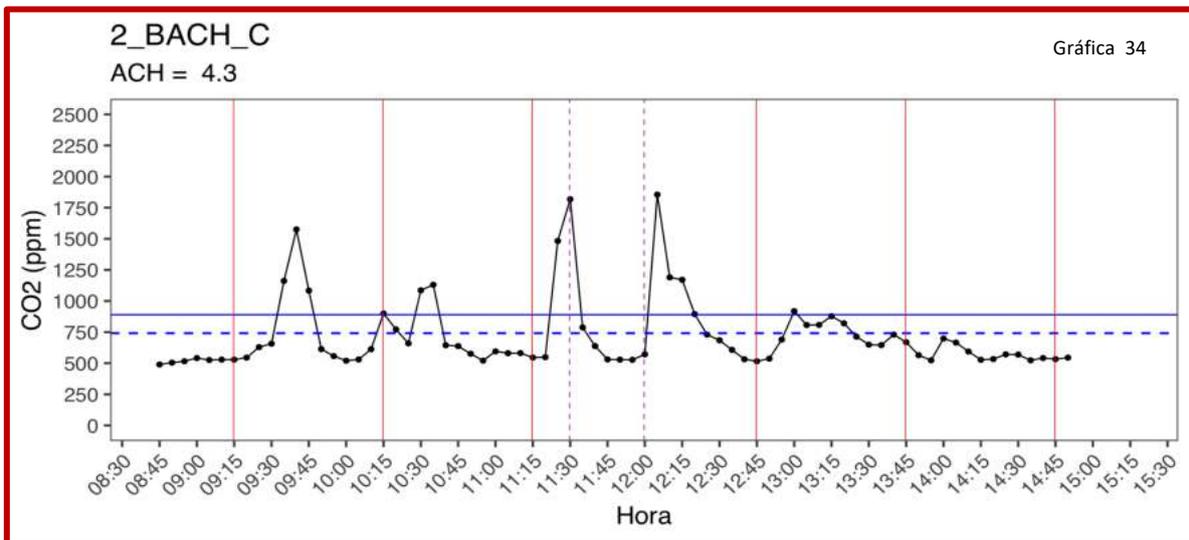
- Nivel 2º BACH



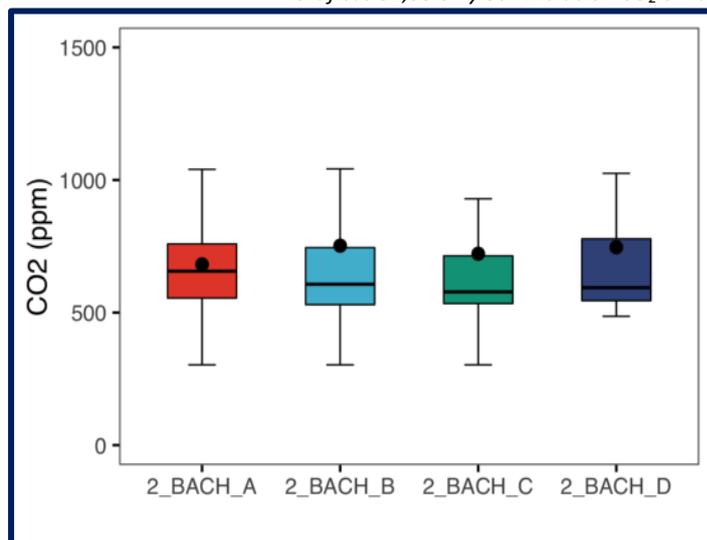
Gráfica 31: Evolución CO₂ a lo largo de la jornada en 2º BACH

Gráficas por clases





Gráficas 32,33 34 y 35: Evolución CO₂ en las clases de 2º BACH.



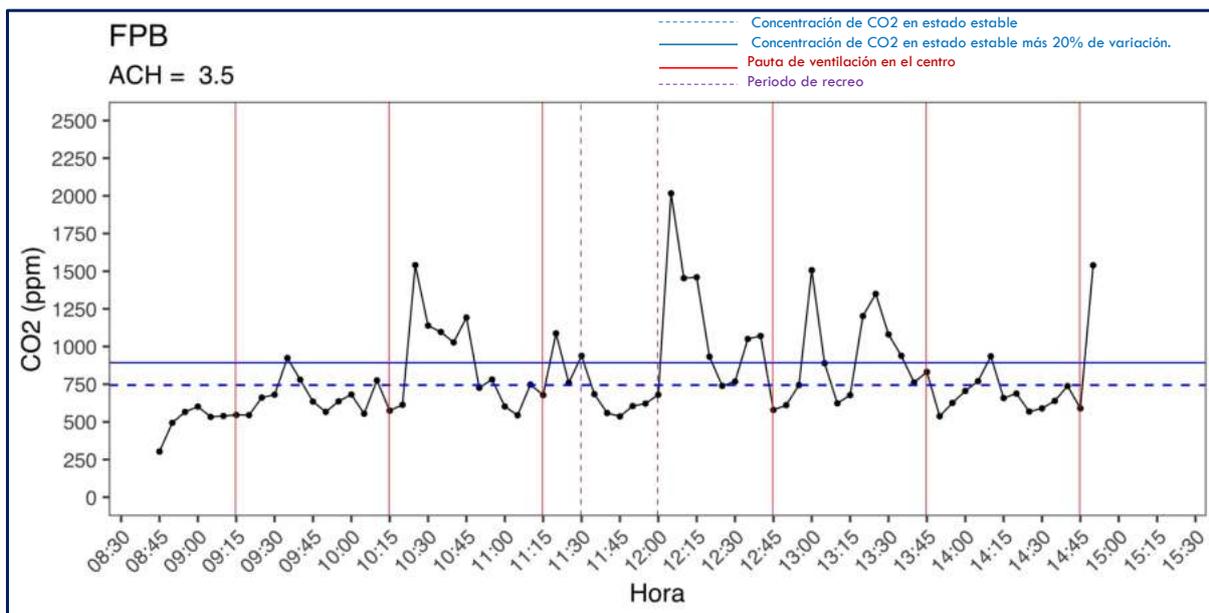
Clases	CO ₂	Grupos
2_BACH_B	752.400	a
2_BACH_D	746.541	a
2_BACH_C	721.979	a
2_BACH_A	681.714	a

Tabla 6: Análisis de la varianza 2º BACH

Gráfica 36: Boxplot con valores medios de CO₂ en las clases 2º BACH

Los grupos de 2º bachillerato mantuvieron valores de CO₂ por debajo de la concentración de referencia la mayor parte de la jornada escolar (Gráficas 32, 33, 34 y 35). Así pues, la acumulación de aerosoles en este nivel no fue muy elevada. Todos los grupos mostraron esta tendencia, no diferenciándose ningún grupo respecto al resto como se puede observar en la Gráfica 36 y en el análisis de comparación de medias (Tabla 6).

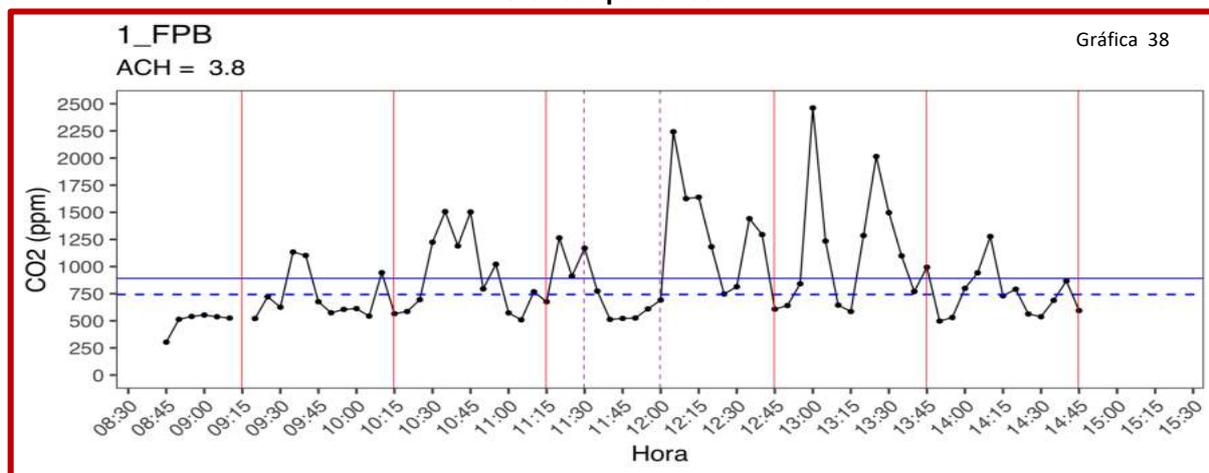
- Nivel FPB



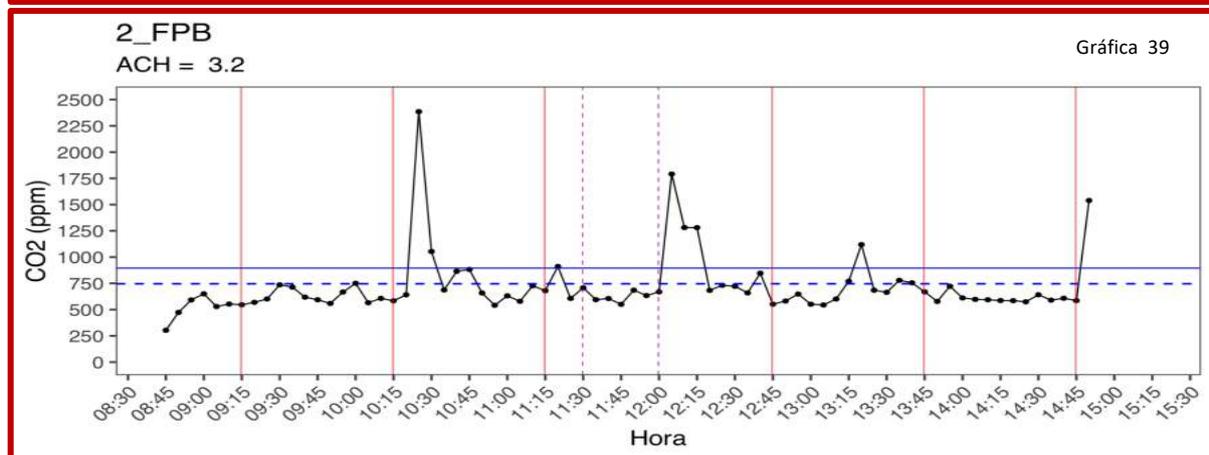
Gráfica 37: Evolución CO_2 a lo largo de la jornada en FPB

En el nivel de FPB se mantienen las tendencias observadas en los niveles anteriores: concentración de CO_2 fluctuantes, que intermitentemente alcanzan picos altos (Gráfica 37).

Gráficas por clases

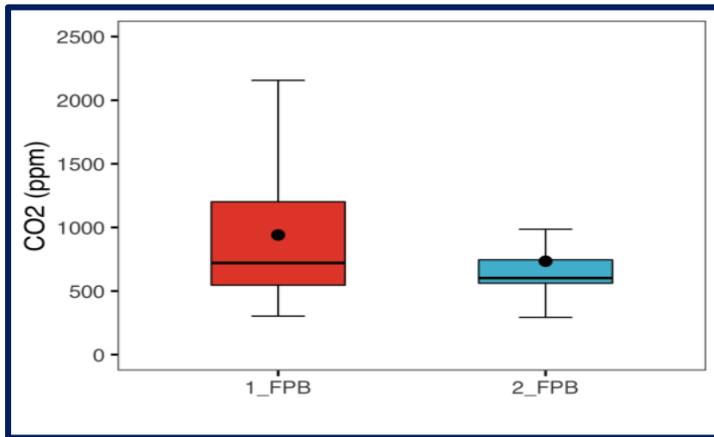


Gráfica 38



Gráfica 39

Gráficas 38 y 39: Evolución CO_2 en las clases de FPB.



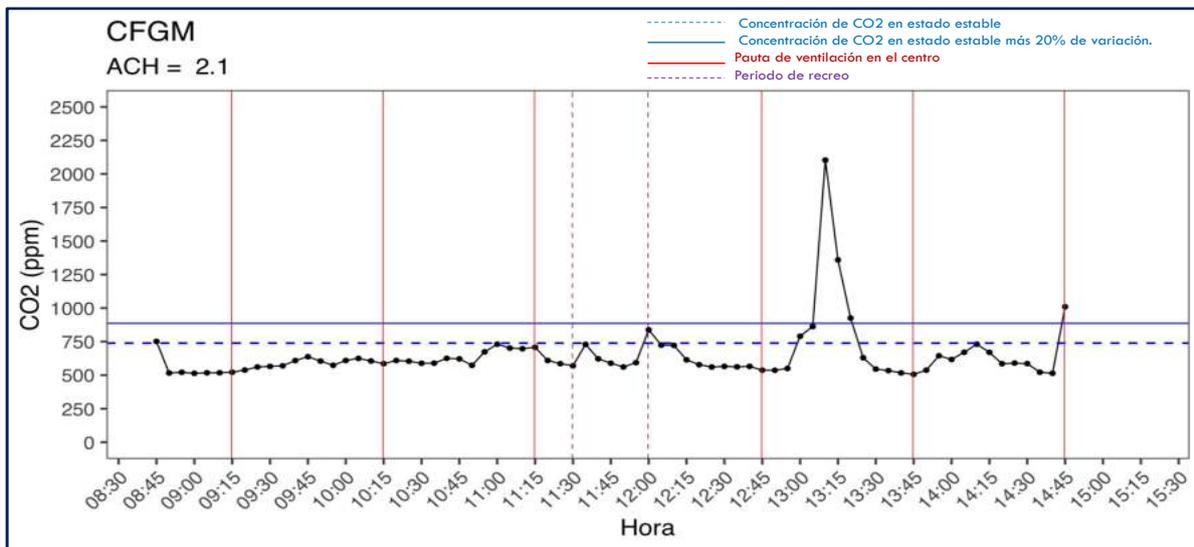
Clases	CO ₂	Grupos
1_FPB	940.901	a
2_FPB	734.488	b

Tabla 7: Análisis de la varianza FPB

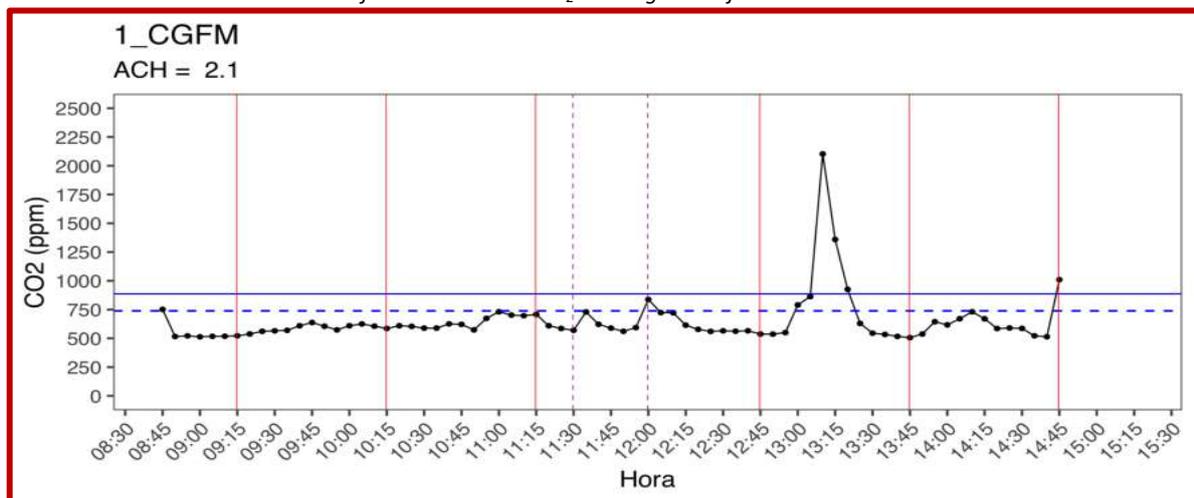
Gráfica 40: Boxplot con valores medios de CO₂ en las clases FPB

Al analizar las dos clases de FPB por separado, hay que destacar que la cantidad de CO₂ acumulada en el primer curso de Formación Profesional Básica fue significativamente superior al de 2º de FPB (Gráfica 40, Tabla 7).

- Nivel CFGM



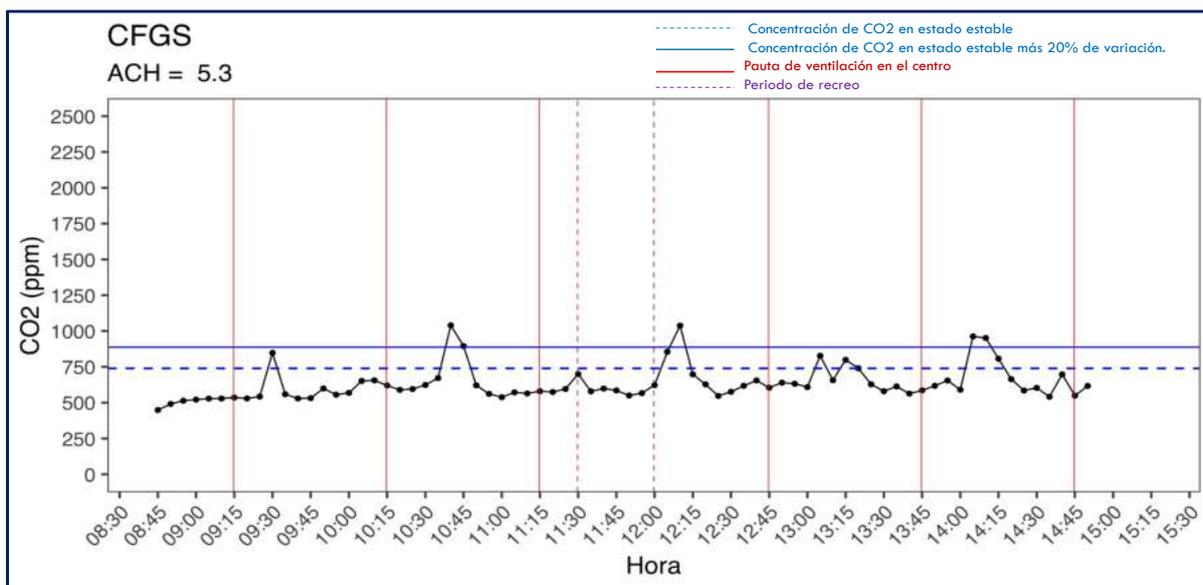
Gráfica 41: Evolución CO₂ a lo largo de la jornada en CFGM



Gráficas 42: Evolución CO₂ en la clase 1º CFGM.

En el CFGM de Informática es destacable que el 95 % del periodo escolar se mantiene valores de CO₂ bajos, y solo de forma puntual aparece algún valor elevado (Gráficas 41 y 42).

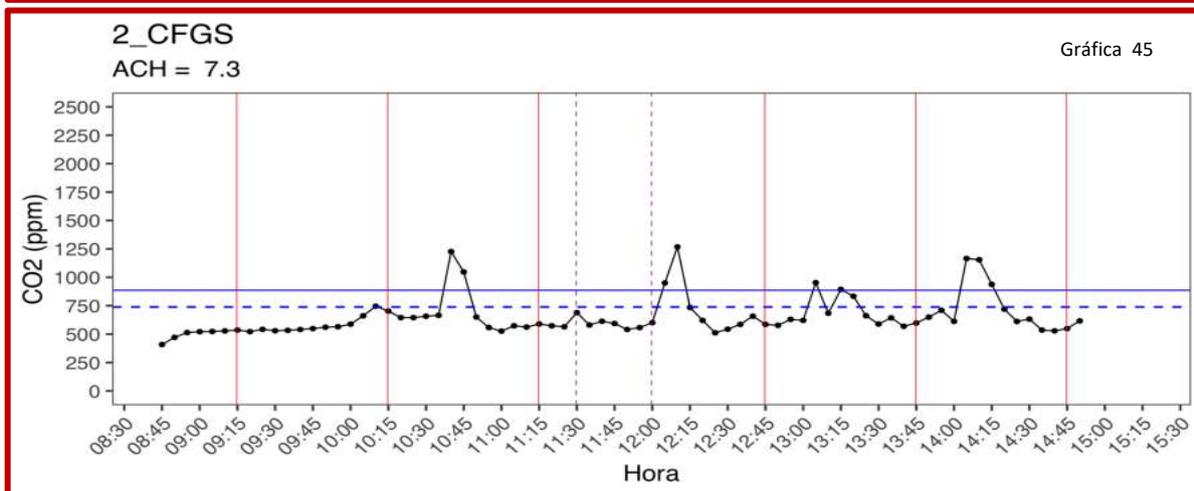
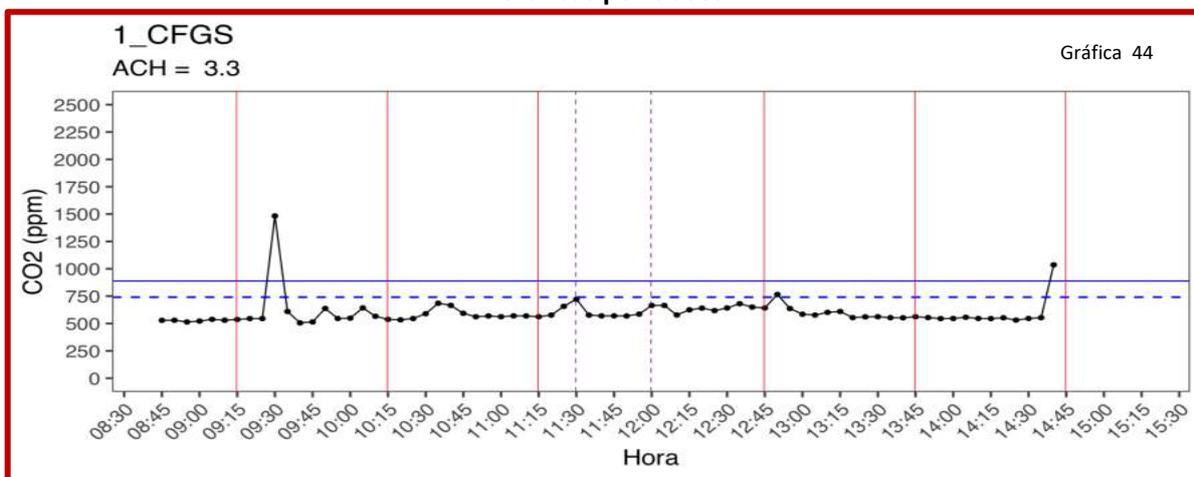
- Nivel CFGS



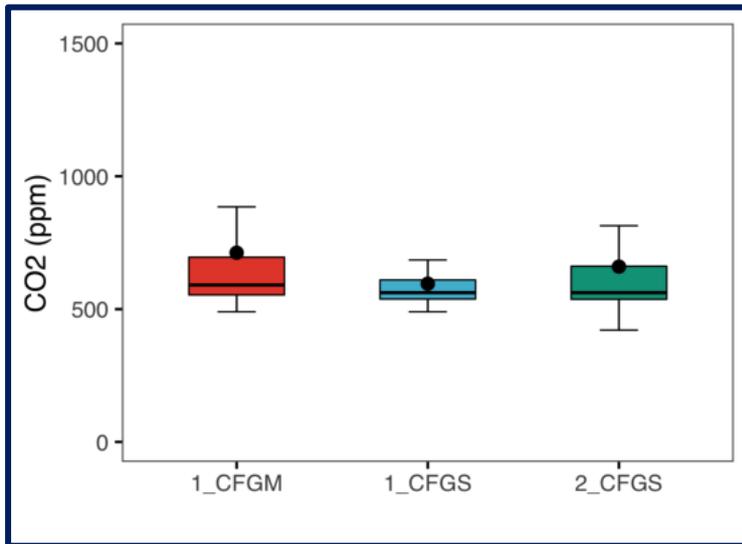
Gráfica 43: Evolución CO₂ a lo largo de la jornada en CFGS

En las clases del Ciclo Formativo de Grado Superior de Asistencia a la Dirección, las concentraciones de CO₂ se han mantenido dentro de los valores objetivo prácticamente toda la jornada escolar (Gráfica 43).

Gráficas por clases



Gráficas 44 y 45: Evolución CO₂ en las clases de CFGS.



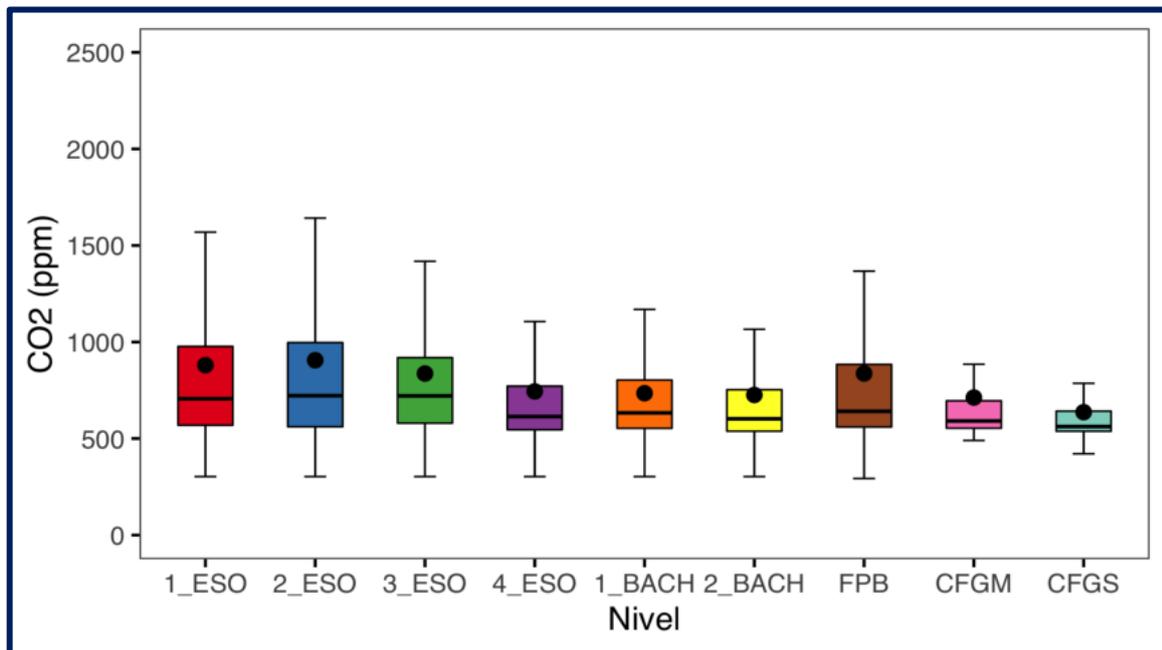
Clases	CO ₂	Grupos
1_CFGM	712.358	a
2_CFGS	659.970	ab
1_CFGS	595.701	b

Tabla 8: Análisis de la varianza CFGM y CFGS

Gráfica 46: Boxplot con valores medios de CO₂ en las clases CFGM y CFGS.

En el gráfico de distribución de valores y en el análisis de comparación de medias (Gráfica 46 y Tabla 8) podemos ver que el comportamiento, respecto a los niveles de CO₂, del segundo curso de CFGS es muy similar al 1º curso de CFGM. Sin embargo, la concentración de CO₂ alcanzada en 1º CFGS es significativamente inferior al 1º CFGM.

- Valores medios de CO₂ por nivel



Gráfica 47: Boxplot con valores medios de CO₂ en los diferentes niveles

Clase	CO ₂	Grupos
2_ESO	905.491	a
1_ESO	880.038	a
FPB	836.848	ab
3_ESO	836.625	ab
4_ESO	744.312	bc
1_BACH	734.640	bc
2_BACH	725.781	c
CFGM	712.358	c
CFGS	636.627	c

Tabla 8: Análisis de la varianza por niveles

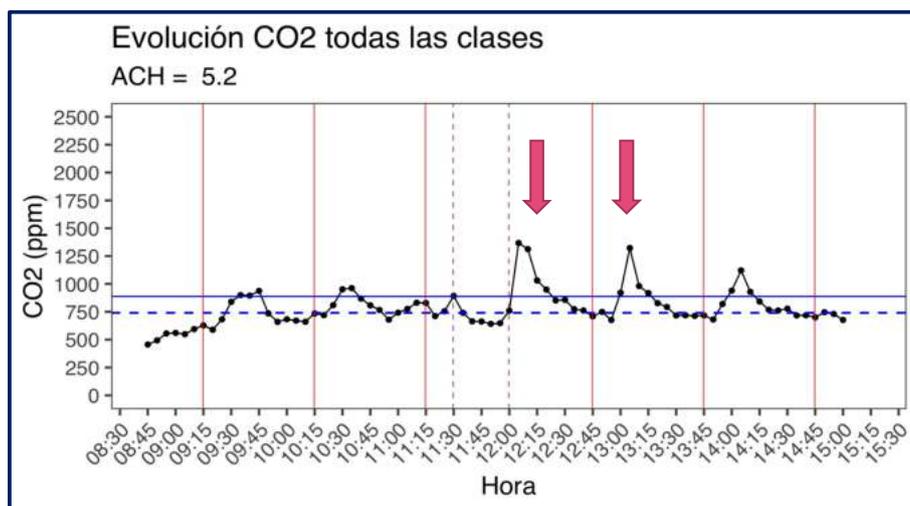
A partir de la Gráfica 47 y la Tabla 8, en donde se comparan los valores medios de CO₂ en cada uno de los niveles, podemos concluir que las mayores concentraciones de CO₂ se han producido en los niveles de 1º y 2º de ESO, manteniéndose muy próximos los niveles de FPB y 3º de ESO. Un tercer grupo lo forman 4º de ESO y 1º Bachillerato en donde la concentración de CO₂ fue menor, aunque solapando con el grupo anterior. Los niveles que presentaron valores significativamente inferiores fueron 2º Bachillerato, CFGM y CFGS. Se observa cómo la cantidad de CO₂ acumulada disminuye conforme aumentamos de nivel y aumenta la edad de los estudiantes.

VALORES MEDIOS DE ACH		
Nivel	ACH	Grupos
3_ESO	6.50513	a
2_ESO	6.47915	a
1_ESO	6.10935	b
CFGS	5.77077	c
4_ESO	5.67769	c
1_BACH	5.27792	d
2_BACH	4.64768	e
CFGM	4.51429	e
FPB	3.80270	f

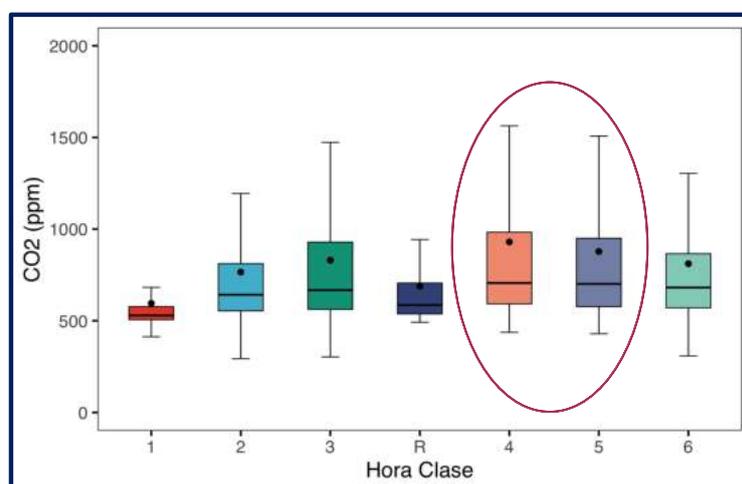
Tabla 9: Análisis de la varianza del ACH por niveles

Los valores medios de ACH objetivo por hora para cada una de las estancias son elevados como se puede ver en la Tabla 9, especialmente en los niveles de 1º, 2º y 3º ESO.

4.2.- VALORES MEDIOS DE CO₂ POR HORA DE CLASE.



Gráfica 48: Evolución CO₂ a lo largo de la jornada todas las clases del centro.



Gráfica 49: Boxplot con valores medios de CO₂ en las diferentes horas de clase

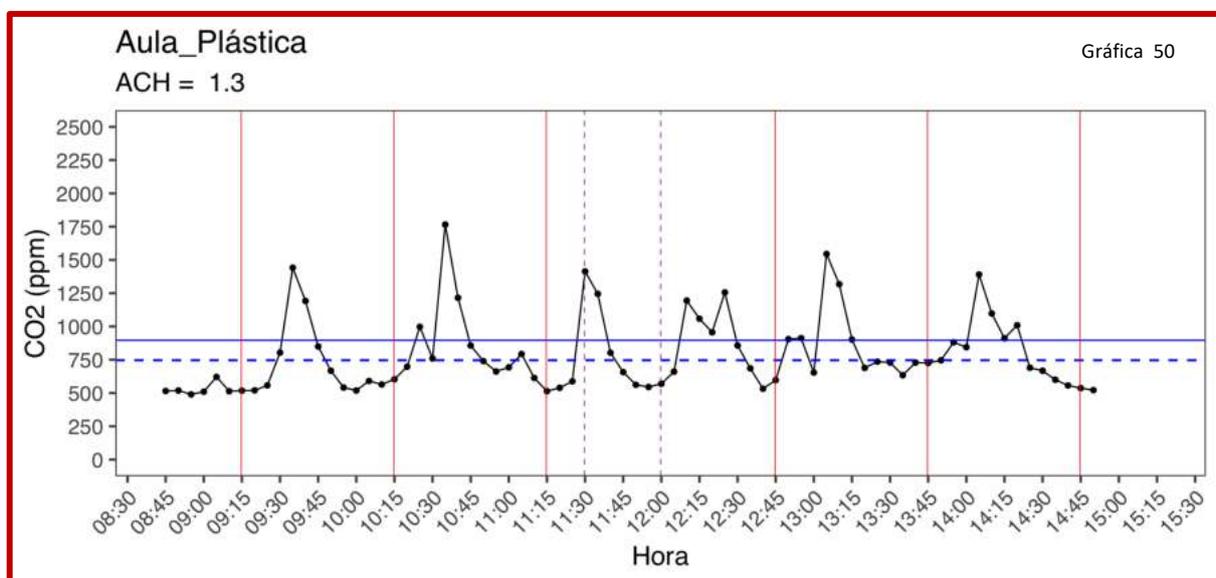
Hora_clase	CO ₂	Grupos
4	930.012	a
5	877.941	ab
3	830.161	bc
6	811.411	bc
2	765.516	cd
R	689.132	d
1	595.058	e

Tabla 10: Análisis de la varianza por hora de clase

En el estudio de la concentración de CO₂ en cada hora de clase es evidente como la cuarta y quinta hora son las que presentan mayor riesgo de acumular aerosoles que pueden transmitir el virus de Covid 19. Tercera y sexta hora presentan valores solapantes con la quinta hora, y también acumula CO₂ pero en niveles inferiores a la cuarta hora. Estas observaciones son corroboradas en la Gráfica 48 de evolución en el tiempo, en la Gráfica 49 de cajas y bigotes (Boxplot) y en el análisis de la comparación de las medias de CO₂ (Tabla 10) obtenidas en cada hora de clase.

4.3.- EVOLUCIÓN DE CO₂ EN AULAS ESPECÍFICAS.

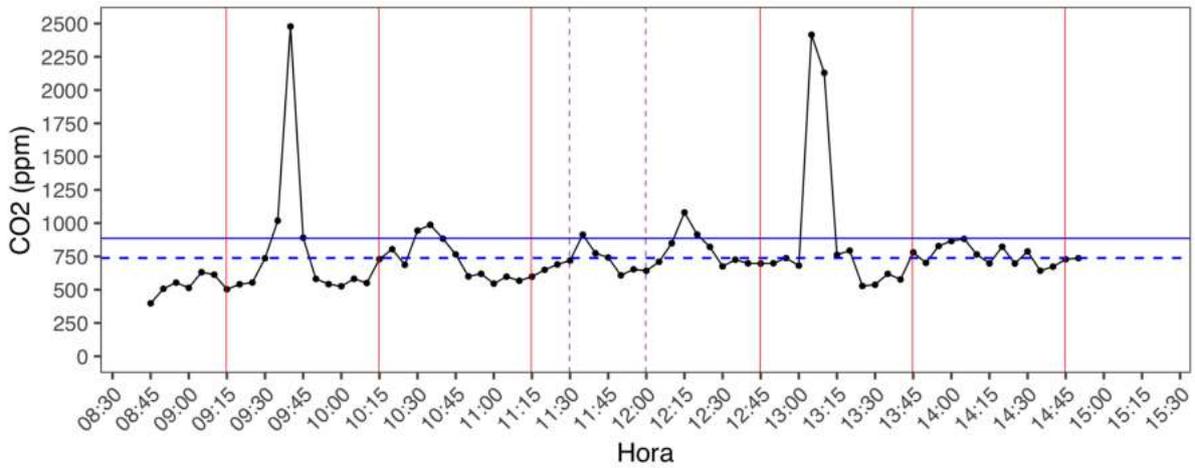
A continuación, se muestra la variación de CO₂ en este grupo de estancias de forma individual. En estas dependencias hay que reseñar que su ocupación es muy variable, pues en algunas de ellas se está dando clase en casi todas las horas y en otras la ocupación es más irregular e intermitente, es por ello hay que tener en cuenta estas consideraciones en la interpretación de los datos de estas estancias. Una media de concentración de CO₂ elevada en una estancia de poca ocupación implica riesgo para menos personas que una concentración de CO₂ alta en un aula que esté ocupada toda la jornada por una media de 20 personas por hora. Es decir, que el efecto de las concentraciones de CO₂ elevadas puede tener distinta repercusión.



Desdoble_TIC

ACH = 2.5

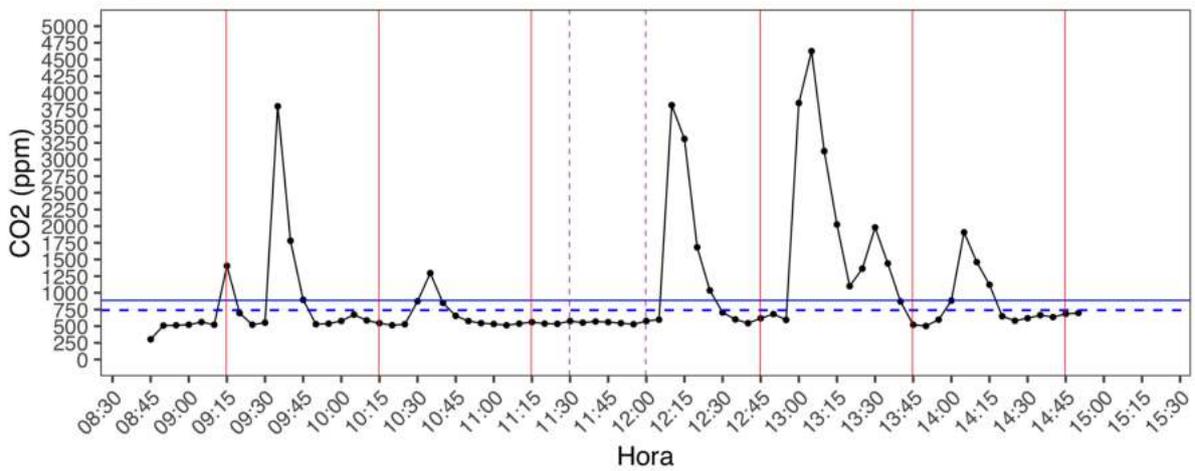
Gráfica 51



Aula_TIC

ACH = 4.4

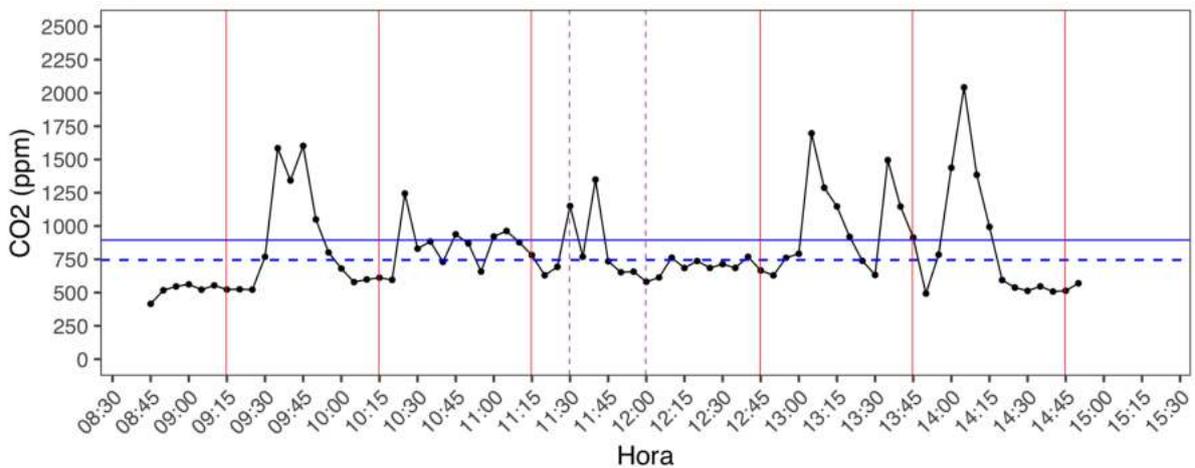
Gráfica 52



Biblioteca

ACH = 1.1

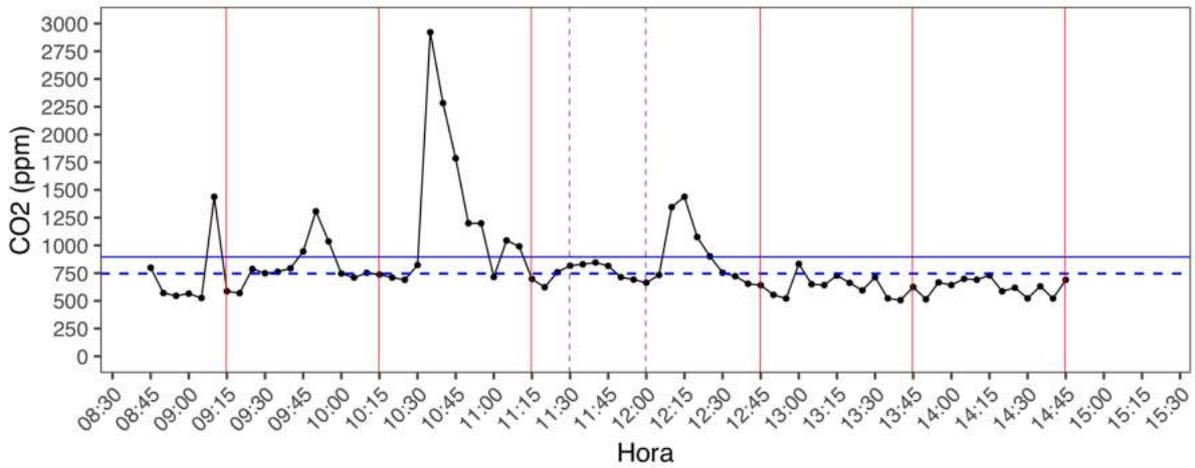
Gráfica 53



Laboratorio_BG

ACH = 1.7

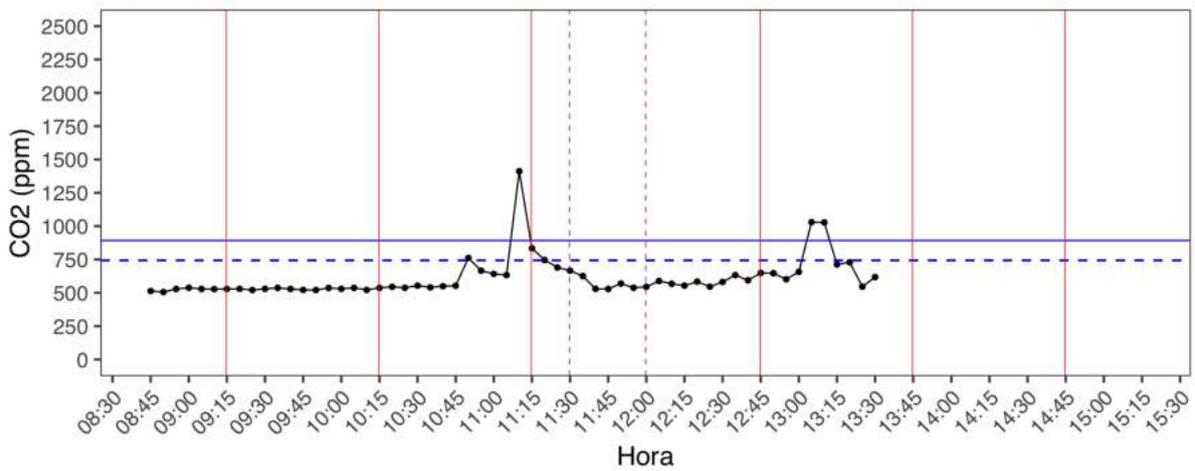
Gráfica 54



Laboratorio_FQ

ACH = 0.5

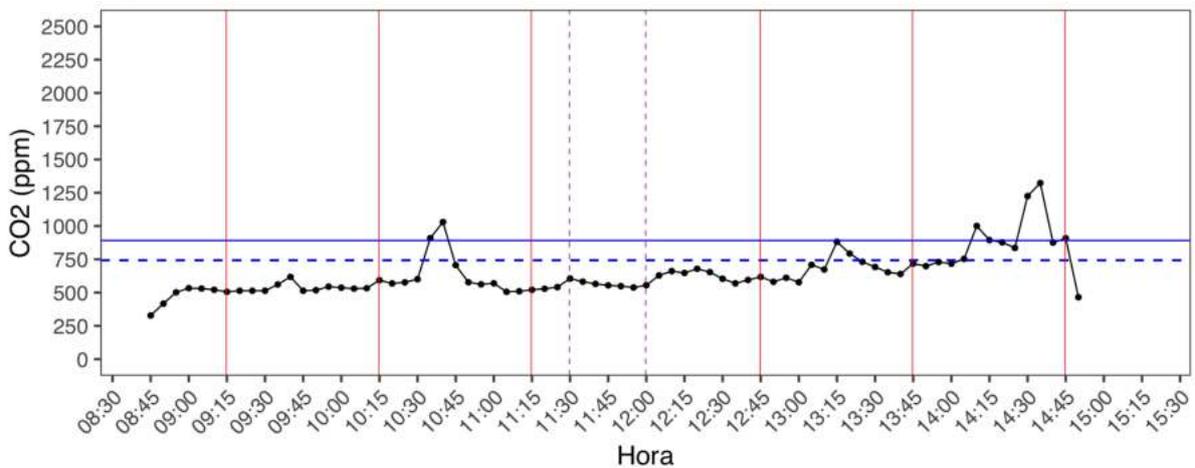
Gráfica 55

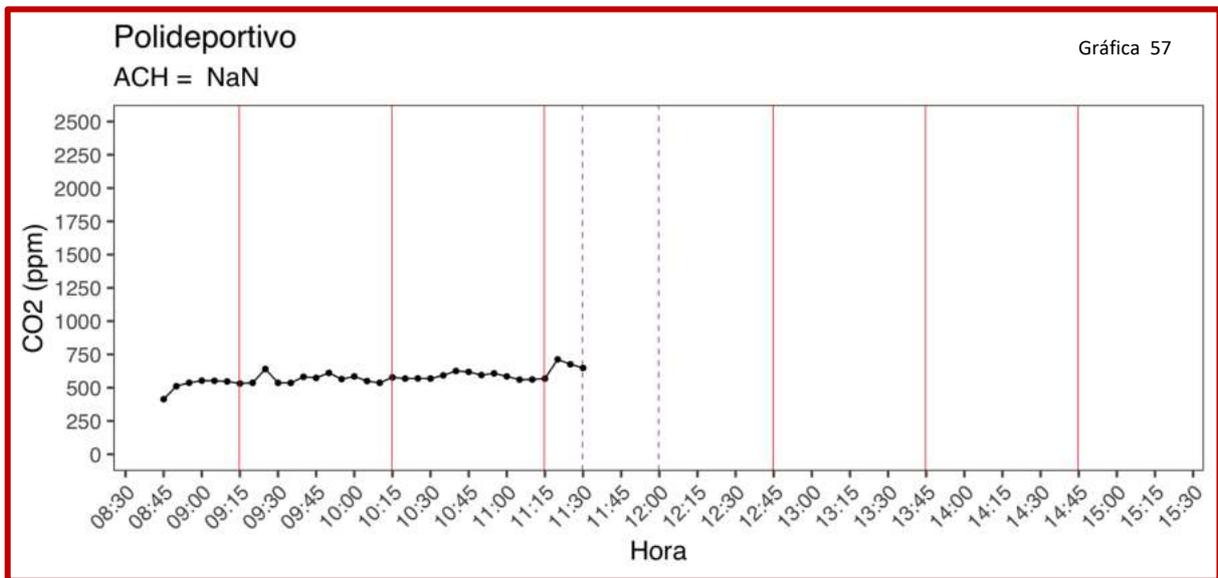


Taller_Tecnología

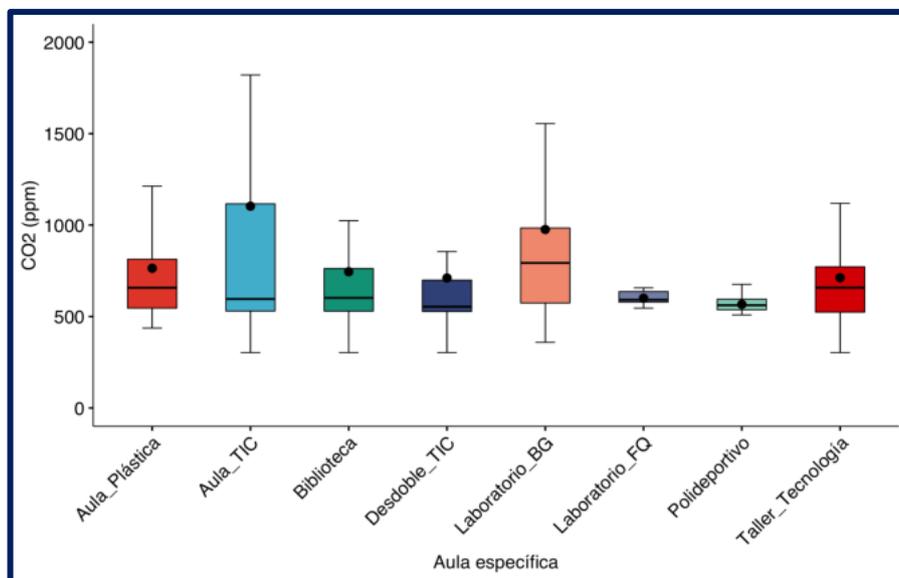
ACH = 1.4

Gráfica 56





Gráfica 50,51,52,53,54,55,56 y 57: Evolución CO₂ a lo largo de la jornada en aulas específicas



Gráfica 58: Boxplot con valores medios de CO₂ en aulas específicas

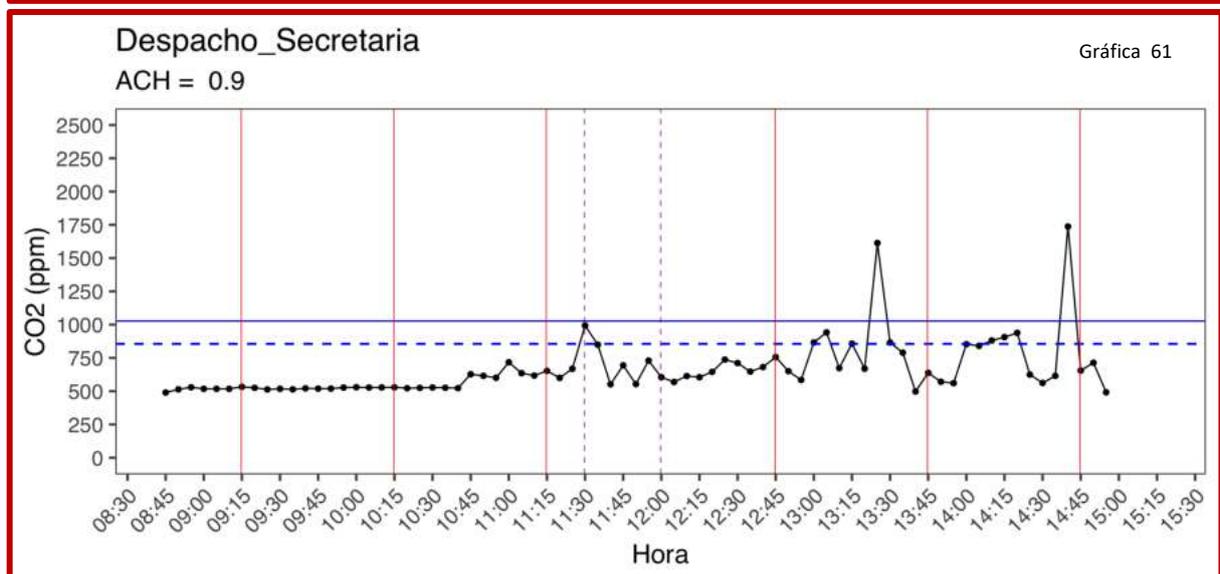
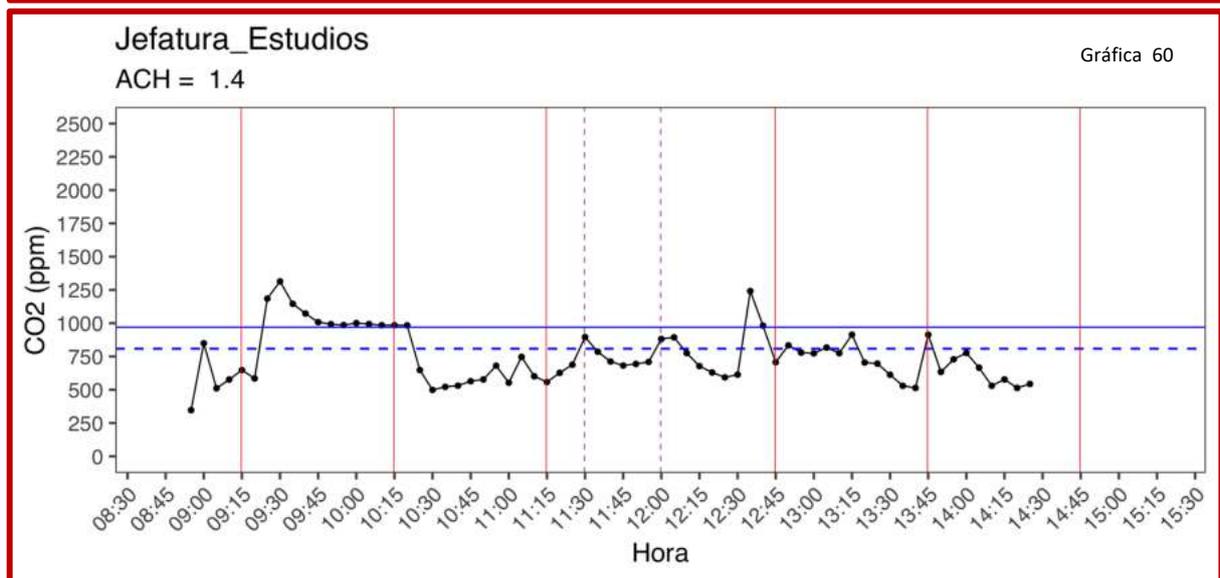
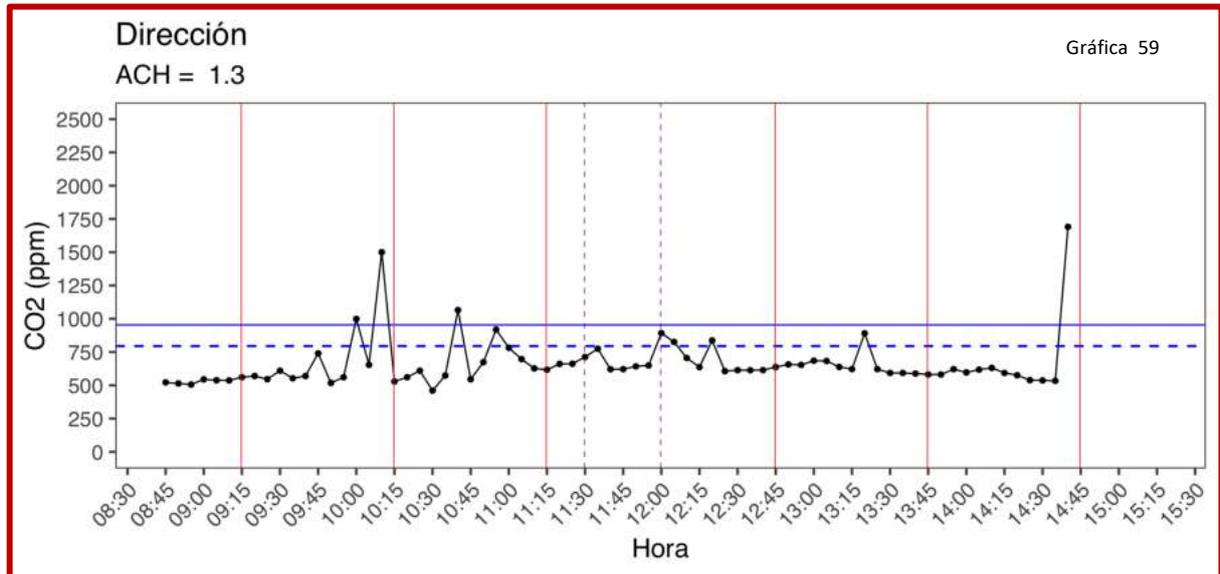
Aula especif.	CO ₂	Grupos
Aula_TIC	1103.378	a
Laboratorio_BG	976.032	ab
Aula_Plástica	764.078	bc
Biblioteca	745.025	bc
Taller_Tecnología	712.315	bc
Desdoble_TIC	710.773	bc
Laboratorio_FQ	600.417	bc
Polideportivo	566.578	c

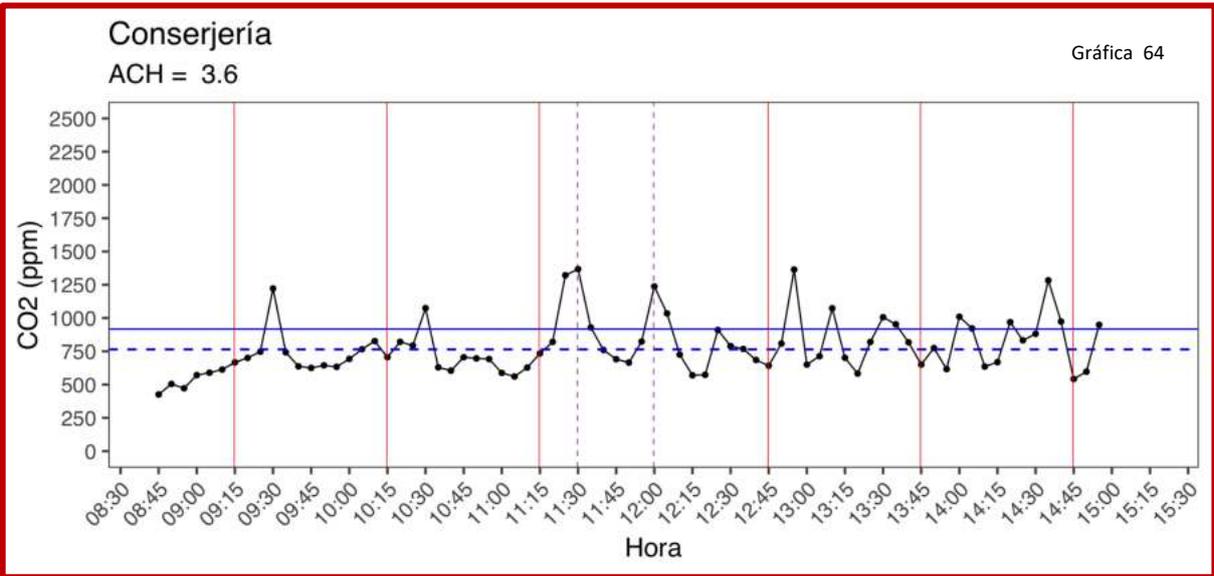
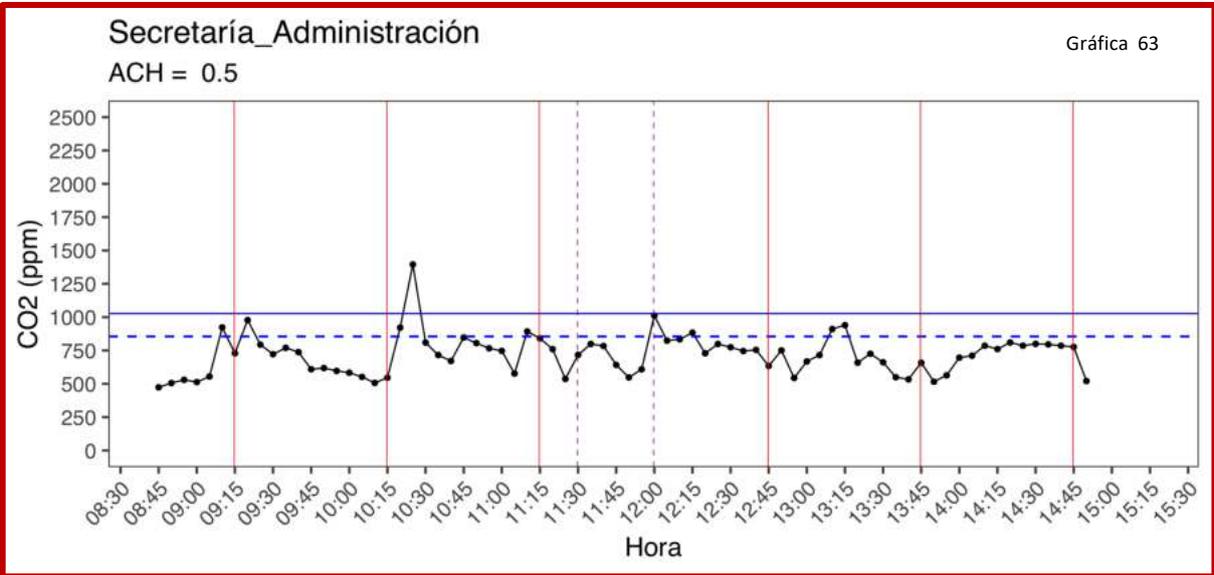
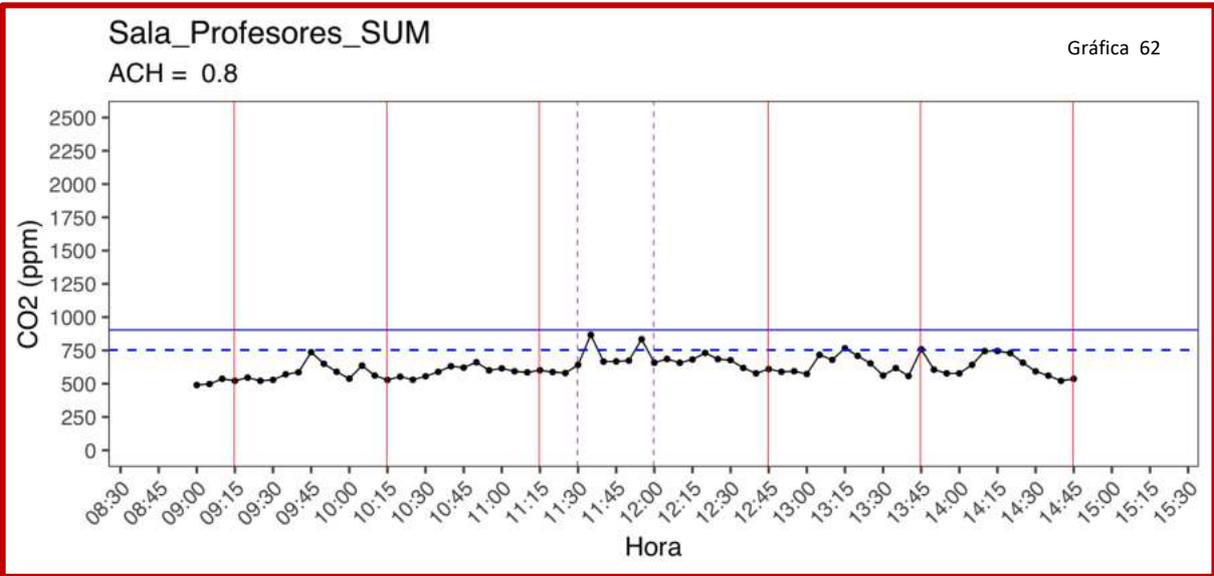
Tabla 11: Análisis de la varianza en aulas específicas

En el análisis de los gráficos y de la comparación de medias (Gráfica 58 y Tabla 11) se observa cómo el AULA TIC destaca significativamente respecto a las otras, le sigue el laboratorio de BG. Ambas estancias son las que han acumulado las mayores concentraciones de CO₂, mientras que el Polideportivo las concentraciones han sido significativamente inferiores.

4.4.- EVOLUCIÓN DE CO₂ EN OTRAS DEPENDENCIAS.

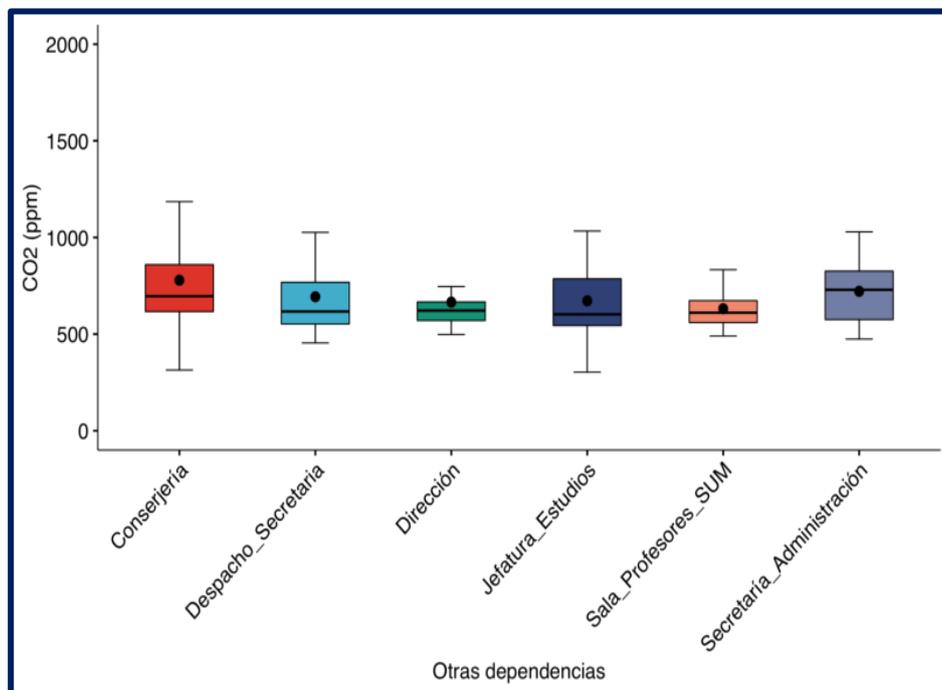
En este grupo de estancias es importante tener en cuenta que suelen presentar poca ocupación de personas y que son espacios muy pequeños (excepto la sala de profesores_SUM).





Gráficas 59,60,61,62,63 y 64: Evolución CO₂ a lo largo de la jornada en otras dependencias

En las Gráficas 59, 60, 61, 62, 63 y 64 se ve muy claro que en todas estas dependencias los niveles de CO₂ se han encontrado en el rango de valores de poco riesgo de contagio del Covid_19. Hay que destacar que en Conserjería, la fluctuación de la concentración de CO₂ ha sido más elevada y sí se han encontrado algunos picos altos de CO₂, pero el valor cuantitativo de estos picos ha sido inferior a los valores observados en las clases y las aulas específicas.



Gráfica 65: Boxplot con valores medios de CO₂ en otras dependencias

Dependencia	CO ₂	Grupos
Conserjería	778.616	a
Secretaría_Administración	721.290	ab
Despacho_Secretaria	692.981	bc
Jefatura_Estudios	672.110	bc
Dirección	665.302	bc
Sala_Profesores_SUM	631.277	c

Tabla 12: Análisis de la varianza en otras dependencias

Respecto a los datos extraídos de la Tabla 12 y la Gráfica 65, hay que destacar que la Conserjería presenta valores medio de CO₂ significativamente superiores al del resto de otras dependencias, particularmente respecto a la sala de profesores SUM.

A este respecto, la sala de profesores SUM mostró valores medios de CO₂ bajos y en ningún momento se sobrepasó el valor de la concentración de CO₂ en estado estable por lo que se deduce que es una estancia muy segura para evitar la transmisión del virus. Se trata de un espacio muy amplio y con una ocupación media de personas baja. Generalmente la ocupación de esta estancia es mayor durante los recreos, lo que coincide con los valores más elevados de CO₂ de las 11:30 a las 12:00. Aún así, estos valores no superan el valor objetivo de la concentración de CO₂.

4.5.- CONCLUSIONES DEL ESTUDIO A LO LARGO DE TODA LA JORNADA ESCOLAR.

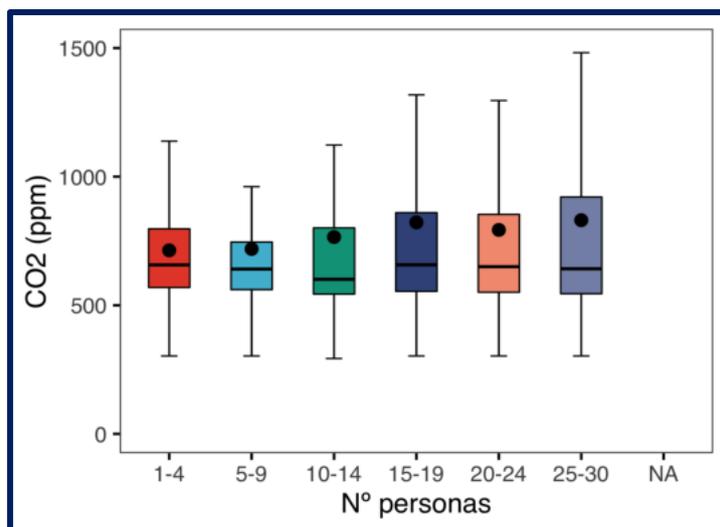
1. Los valores medios de ACH objetivo por hora para cada una de las estancias son elevados. Es probable que la pauta de ventilación establecida en el centro no haya alcanzado el número de renovaciones deseables, aún así, solo el 16 % del tiempo que dura la jornada escolar se alcanzan valores altos de las concentraciones de CO₂ exhalado y que se corresponden con mayor concentración de aerosoles en el ambiente.
2. Si ordenamos de mayor a menor los valores de CO₂ acumulado en las clases, encontramos la siguiente distribución: Los grupos de 1º ESO y 2º ESO difieren significativamente del resto de niveles por alcanzar los valores más altos. En una segunda categoría estarían los grupos de FPB y 3º ESO, en un tercer grupo estarían los niveles de 4º ESO y 1º BACH, y el último grupo, con los valores más bajos, incluye 2º B ACH, CFGM y CFGS. Se observa relación inversa entre edad del alumnado y acumulación de CO₂ en el aula.
3. En función de las condiciones específicas de este curso académico y las que han tenido lugar en las clases los días en las que se realizaron las mediciones (materia, número de ocupantes, volumen del espacio, hora del día.....) la media de renovaciones de aire necesarias objetivo sería mayor en los niveles de 1º, 2º y 3º ESO.
4. Las tres primeras horas de la jornada son menos propensas a acumular CO₂, siendo las horas posteriores al recreo las que presentan concentraciones más elevadas. La cuarta y quinta hora de clase acumulan los valores medios más altos. Aunque en la 6ª hora se alcanzan niveles por encima de la concentración de CO₂ en estado estable, estos valores son inferiores a los alcanzados las dos horas previas.
5. La distribución de los valores medios de CO₂ en las aulas específicas es más irregular y está relacionada con la frecuencia de ocupación. De estas, el Aula TIC destaca por sus altas concentraciones de CO₂ y el polideportivo por sus bajas concentraciones de CO₂.
6. En otras dependencias la mayor parte de la jornada escolar el CO₂ acumulado se ha mantenido bajo y dentro de la zona de poco riesgo de contagio del Covid. De este grupo de estancias, la sala de profesores SUM es la más segura pues nunca se ha sobrepasado el nivel de la concentración de CO₂ en estado estable. Por el contrario, conserjería es la que más CO₂ acumula.

Finalmente, teniendo en cuenta todas las consideraciones anteriores, sería conveniente establecer una nueva pauta de ventilación modificando el tiempo y la frecuencia o distribución de estas a lo largo de la Jornada.

5.- EVOLUCIÓN DEL CO₂ ESTUDIANDO LAS VARIABLES INDEPENDIENTEMENTE.

En cualquier investigación científica experimental se parte de unas variables controladas por el investigador/a y se establece la relación entre una variable dependiente y otra independiente que el mismo investigador/a pueden modificar o controlar. Sin embargo, en una investigación de campo, como es el estudio realizado, el fenómeno se estudia en su entorno natural y le investigador/a no puede ejercer ningún tipo de control sobre las diferentes variables. Se estudia el proceso tal y cómo se presenta y esto nos permite evaluar varias variables a la vez, pero no debemos dejar atrás que, al producirse en condiciones reales, estas interaccionan tienen efectos unas sobre las otras. Así pues, aunque este primer estudio se ha realizado independientemente para cada una de las variables, es seguro que los resultados obtenidos están relacionados con la presencia de una u otras variables, que aparentemente no se están analizando.

5.1.- EFECTO DEL NÚMERO DE PERSONAS QUE OCUPAN LA ESTANCIA.



Gráfica 66: Boxplot con valores medios de CO₂ en función del número de personas

N_Pers .	CO ₂	Grupos
25-30	830.842	a
15-19	822.319	a
20-24	793.029	ab
10-14	765.436	abc
5-9	719.024	bc
1-4	713.592	c

Tabla 13: Análisis de la varianza en función del número de personas

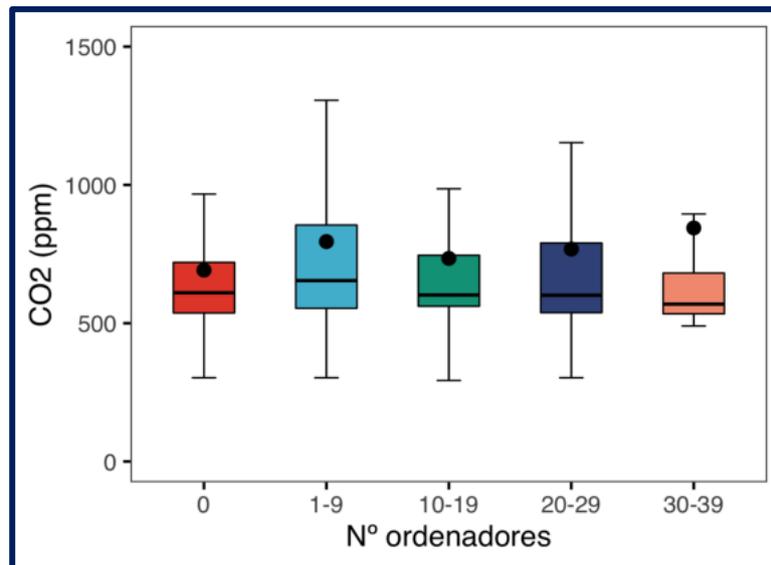
Como se deduce de la Gráfica 66 y del análisis de la varianza y de comparación de medias (Tabla 13), la cantidad de CO₂ acumulada en un espacio es significativamente mayor cuando el número de personas está entorno a 20 ó 30. No parece delimitarse muy clara la frontera a partir de la cual las concentraciones de CO₂ son significativamente elevadas, ya que el intervalo de 20-24 muestra concentraciones inferiores respecto al intervalo 15-19. Probablemente este efecto se deba a la interacción con el volumen de la estancia en la que se alojaban estas personas. Lo que, si queda claro, es que el intervalo de 1-4 es significativamente inferior a los intervalos de 15 en adelante.

En la tabla 14 se muestra la relación entre el número de personas las estancias del centro que han ocupado durante este curso académico.

Nº Personas	Clase /Estancia
1-4	Conserjería, Despacho_Secretaría, Dirección, Jefatura_Estudios, Secretaría_Administración
5-9	2_BACH_B, 2_BACH_D, Aula_Plástica, Biblioteca, Laboratorio_BG, Sala_Profesores_SUM, Taller_Tecnología
10-14	1_BACH_B, 1_BACH_C, 1_CFGS,, 2_BACH_B, 2_BACH_D, 2_ESO_B, 2_FPB, 4_ESO_C, Aula_Plástica, Biblioteca, Laboratorio_BG, Laboratorio_FQ, Taller_Tecnología
15-19	1_BACH_C, 1_ESO_B, 1_ESO_C, 1_FPB, 2_BACH_A, 2_BACH_B, 2_BACH_C, 2_BACH_D, 2_ESO_A, 2_ESO_E,, 3_ESO_B, 4_ESO_A, 4_ESO_C, Aula_TIC, Sala_Profesores_SUM
20-24	1_BACH_A, 1_BACH_B, 1_BACH_C, 1_BACH_D, 1_CFGM, 1_CFGS, 1_ESO_A, 1_ESO_B, 1_ESO_E, 2_BACH_A, 2_BACH_B, 2_ESO_B, 2_ESO_C, 2_ESO_D, 2_ESO_E, 3_ESO_A, 4_ESO_B, Aula_TIC, Taller_Tecnología
25-30	1_CFGM, 1_ESO_D, 2_CFGS, 2_ESO_A, 2_ESO_B, 2_ESO_C, 3_ESO_B, 3_ESO_C, 4_ESO_A, 4_ESO_B, Aula_TIC, Desdoble_TIC, Taller_Tecnología

Tabla 14: Clasificación de las estancias del centro por categorías número de personas

5.2.- EFECTO DEL NÚMERO DE ORDENADORES.



Gráfica 67: Boxplot con valores medios de CO₂ en función del número de ordenadores

N_Ordenadores	CO ₂	Grupos
30-39	844.497	a
1-9	795.250	a
20-29	768.248	a
10-19	734.488	a
0	691.970	a

Tabla 15: Análisis de la varianza en función del número de ordenadores

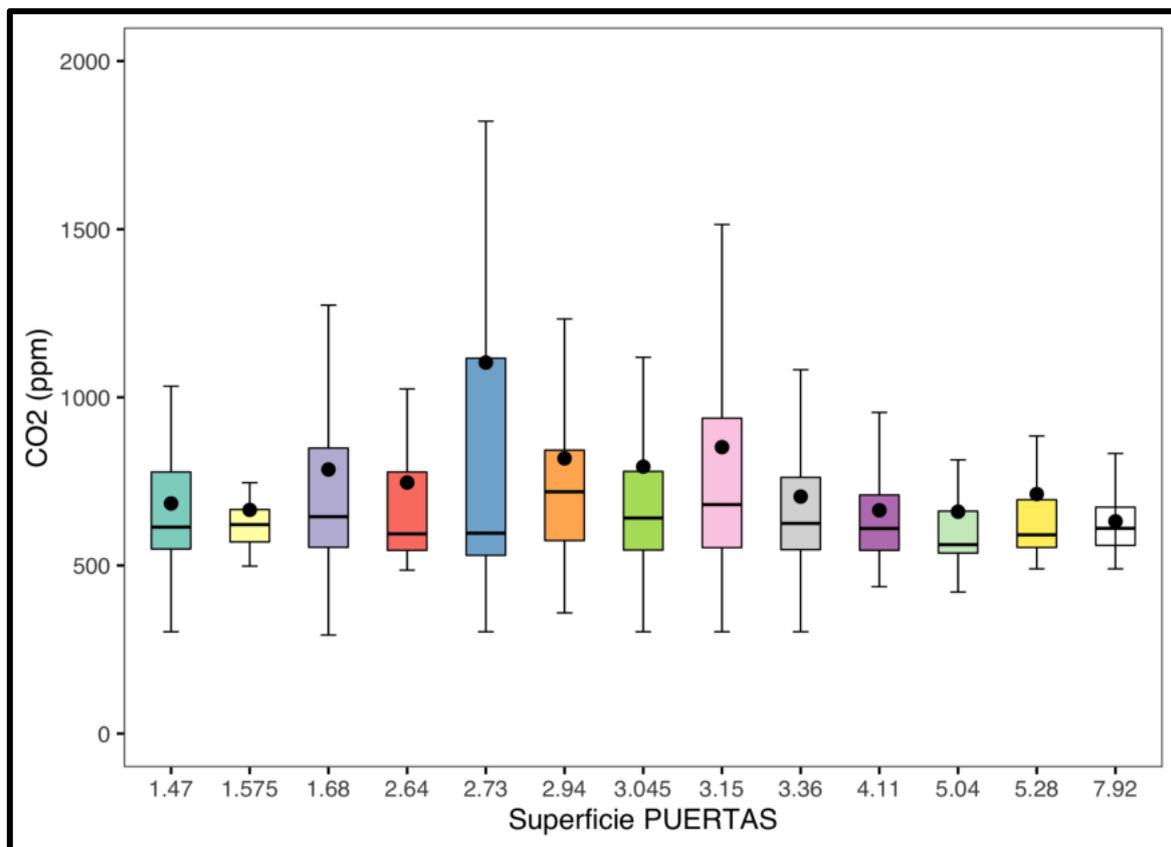
Aunque el rango de variación en los valores de CO₂ entre los 5 grupos establecidos es muy amplio (Gráfica 67), el análisis de la varianza y comparación de medias (Tabla 15) mostró que el número de ordenadores no influye en la concentración de CO₂ acumulado, y que los valores de CO₂ de estancias con 1 a 4 ordenadores no difieren significativamente de aquellas que contienen en su interior de 30 a 39 ordenadores. No existen diferencias significativas ni entre los diferentes intervalos establecidos ni entre la presencia o ausencia de ordenadores en el aula.

En la Tabla 16 se muestra la correspondencia entre el número de ordenadores y las estancias del centro.

Rango Ordenadores	Clase/Estancia	Nº Ordenadores
0	Laboratorio_FQ	0
	Taller_Tecnología	
1-9	1_ESO_A, 1_ESO_B, 1_ESO_C, 1_ESO_D, 1_ESO_E	1
	2_ESO_A, 2_ESO_B, 2_ESO_C, 2_ESO_D, 2_ESO_E	
	3_ESO_A, 3_ESO_B, 3_ESO_C	
	4_ESO_A, 4_ESO_B, 4_ESO_C	
	1_BACH_A, 1_BACH_B, 1_BACH_C, 1_BACH_D	
	2_BACH_A, 2_BACH_B, 2_BACH_C, 2_BACH_D	
	Laboratorio_BG	
	Biblioteca	
	Conserjería	
	Despacho_Secretaría Secretaría_Administración	
10-19	Dirección	2
	Jefatura_Estudios	4
	Aula_Plástica	7
	Sala_Profesores_SUM	11
20-29	2_FPB	24
	1_CFGM	20
	1_FPB	29
	2_CFGS	23
30-39	Desdoble_TIC	35
	1_CFGS	36

Tabla 16: Clasificación de las estancias del centro por categorías número de ordenadores.

5.3.- EFECTO DE LA SUPERFICIE DE SALIDA DE AIRE A TRAVÉS DE LAS PUERTAS.



Gráfica 68: Boxplot con valores medios de CO₂ en función de superficie de salida de aire puertas

Superf. (m ²)	CO ₂	Grupos
2.73	1103.378	a
3.15	851.832	b
2.94	818.410	bc
3.045	793.780	bcd
1.68	785.330	cd
2.64	746.541	cd
5.28	712.358	cd
3.36	704.724	cd
1.47	684.373	cd
1.575	665.302	cd
4.11	664.117	cd
5.04	659.970	cd
7.92	631.277	d

Tabla 17: Análisis de la varianza en función de superficie salida de aire puertas

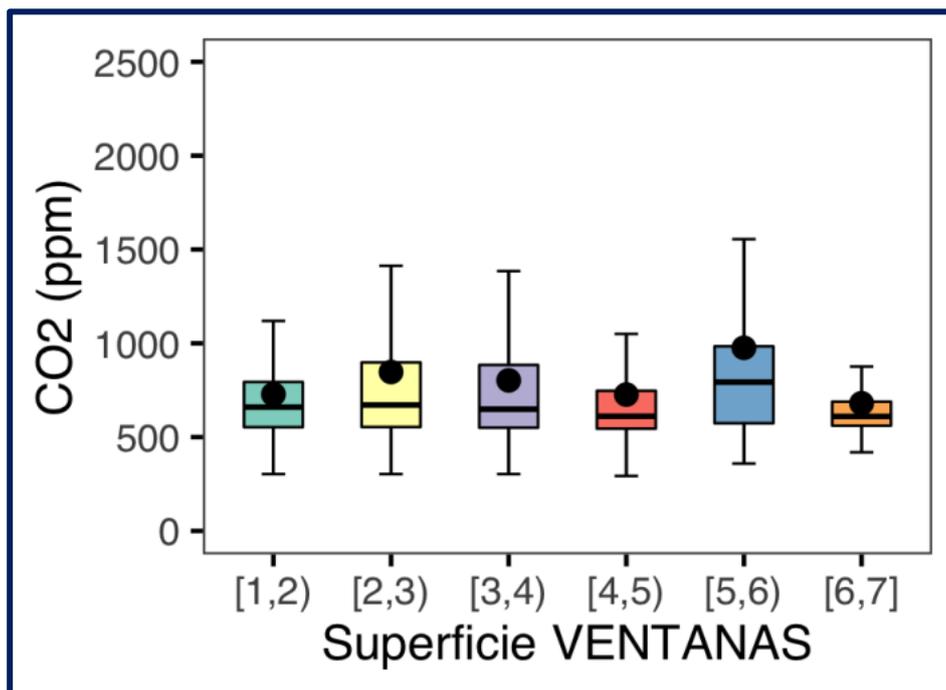
De los datos obtenidos en esta variable (Gráfica 68 y Tabla 17), vemos que el área de desalojo del aire a través de las puertas en la mayoría de las estancias se encuentra entre 2 y 4 m², sin embargo, la media de CO₂ acumulado no es significativamente diferente entre ellas, pues casi todas se encuentran en el mismo agrupamiento (cd) del análisis de comparación de medias (Tabla 17). Las concentraciones elevadas y que difieren significativamente del resto, solo se corresponde con dos estancias concretas que son el AULA TIC y 1^º ESO A. Estas concentraciones han podido deberse a unas condiciones puntuales y a la interacción con otra variable.

En la Tabla 18 se muestra la correspondencia entre la superficie de salida de aire de las puertas y las estancias del centro.

Superficie PUERTAS	Clase/ Estancia
1,47	Despacho_Secretaria Jefatura_Estudios
1,575	Dirección
1,68	1_BACH_D
2,64	1_FPBB, 2_FPBB, Aula_Plástica, Biblioteca, Conserjería,, 2_BACH_D
2,73	Aula_TIC
2,94	Laboratorio_BG, Laboratorio_FQ, Secretaría_Administración
3,045	4_ESO_C
3,15	1_ESO_A
3,36	1_ESO_B, 1_ESO_C, 1_ESO_D, 1_ESO_E, 2_BACH_B, 2_BACH_C, 2_ESO_A, 2_ESO_B, 2_ESO_C, 2_ESO_D, 2_ESO_E, 3_ESO_A, 3_ESO_B, 3_ESO_C, 4_ESO_B, Desdoble_TIC 1_BACH_A
4,11	1_BACH_B, 1_BACH_C, 1_CFGS, 2_BACH_A, Taller_Tecnología, 4_ESO_A
5,04	2_CFGS
5,28	1_CFGM
7,92	Sala_Profesores_SUM

Tabla 18: Clasificación de las estancias del centro por categorías superficie salida de aire puertas.

5.4.- EFECTO DE LA SUPERFICIE DE ENTRADA DE AIRE A TRAVÉS DE LAS VENTANAS.



Gráfica 69: Boxplot con valores medios de CO₂ en función de superficie de entrada de aire ventanas

Superf (m ²)	CO ₂	Grupos
[5, 6)	976.032	a
[2, 3)	847.094	ab
[3, 4)	802.391	b
[1, 2)	728.298	c
[4, 5)	726.758	c
[6, 7]	680.382	c

Tabla 19: Análisis de la varianza en función de superficie de entrada de aire ventanas

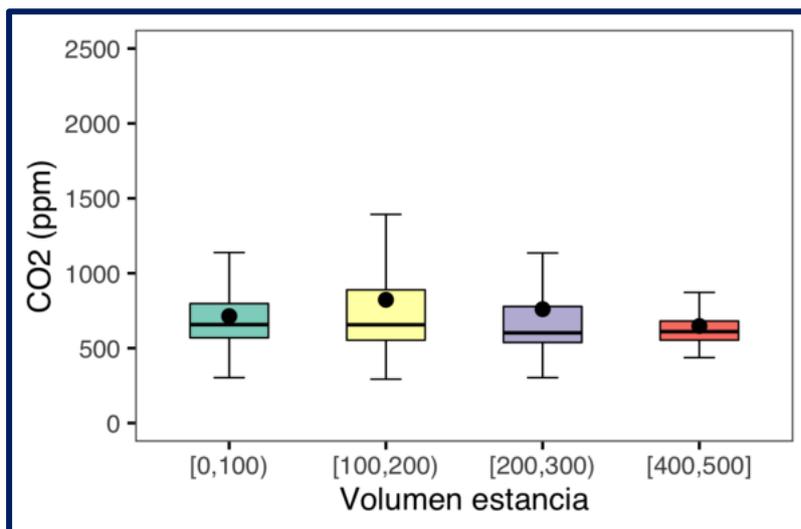
Las estancias que presentan un área de entrada de aire entre 4 y 7 m² son las que significativamente presentan menor concentración de CO₂ (Gráfica 69 y Tabla 19). Dentro de este agrupamiento se incluyen también las que tienen de 1 a 2 m², pero como podemos extraer de la Tabla 20, estas se corresponden con los espacios más pequeños. El aire que entraba, aunque la superficie sea pequeña, era suficiente para conseguir una buena renovación de aire interior para el número de ocupantes que presentaron. La mayor concentración se obtuvo en el laboratorio de Biología, pero como podemos ver en la gráfica de evolución a lo largo de la jornada escolar (Gráfica 54), solo estuvo ocupada tres horas de clase y se obtuvo un pico muy alto en una de ellas, eso es lo que ha hecho aumentar la media. Este dato parece ser que se debe a circunstancia puntual.

En la Tabla 20 se muestra la correspondencia entre la superficie de entrada de aire de las ventanas y las estancias del centro.

Superficie_ VENTANAS	Clase/Estancia
[1,2)	4_ESO_C, Despacho_Secretaria, Jefatura_Estudios, Secretaría_Administración
[2,3)	1_ESO_A, 1_ESO_B, 1_ESO_E, 2_BACH_D, 2_ESO_C,, 2_ESO_D, 2_ESO_E, 3_ESO_A, 3_ESO_B, 3_ESO_C, 4_ESO_A, Aula_TIC, Desdoble_TIC
[3,4)	1_BACH_A, 1_BACH_B, 1_BACH_C, 1_BACH_D, 1_CFGS, 1_ESO_C, 1_ESO_D, 1_FPB, 2_BACH_A, 2_ESO_A, 2_ESO_B, 4_ESO_B, Aula_Plástica
[4,5)	2_BACH_B, 2_BACH_C, 2_CFGS, 2_FPB, Conserjería, Laboratorio_FQ, Taller_Tecnología
[5,6)	Laboratorio_BG
[6,7]	1_CFGM Biblioteca Dirección Sala_Profesores_SUM

Tabla 20: Clasificación de las estancias del centro por categorías superficie de entrada de aire ventanas.

5.5.- EFECTO DEL VOLUMEN DE LA ESTANCIA.



Volumen	CO ₂	Grupos
[100,200)	822.748	a
[200,300)	759.964	b
[0,100)	713.592	bc
[400,500]	647.623	c

Tabla 21: Análisis de la varianza en función de superficie del volumen de la estancia

Gráfica 70: Boxplot con valores medios de CO₂ en función de superficie del volumen de la estancia

En la Tabla 22 se muestra la correspondencia entre el volumen de la estancia y las diferentes estancias del centro.

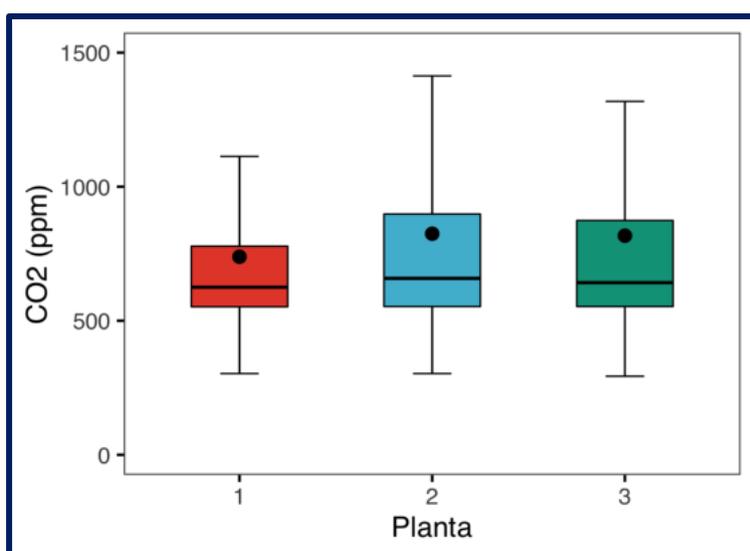
Volumen	Clase/Estancia
[0,100)	Conserjería Despacho_Secretaria Dirección Jefatura_Estudios Secretaría_Administración
[100,200)	1_ESO_A, 1_ESO_B, 1_ESO_C, 1_ESO_D, 1_ESO_E 2_ESO_A, 2_ESO_B, 2_ESO_C, 2_ESO_D, 2_ESO_E 3_ESO_A, 3_ESO_B, 3_ESO_C 4_ESO_C 1_BACH_A, 1_BACH_C, 1_BACH_D 2_BACH_A, 2_BACH_B, 2_BACH_C, 2_BACH_D 1_FPB, 2_FPB, 2_CFGS 4_ESO_C Desdoble_TIC, Laboratorio_BG, Laboratorio_FQ
[200,300)	1_BACH_B, 1_CFGM, 1_CFGS, 4_ESO_B, Aula_Plástica, Aula_TIC, Biblioteca, Taller_Tecnología
[400,500]	4_ESO_A Sala_Profesores_SUM

Tabla 22: Clasificación de las estancias del centro por categorías volumen de la estancia.

De estos datos (Gráfica 70, Tablas 21 y 22) podemos concluir que las estancias con más de 400 m³ acumulan muy poco CO₂ (4º ESO A y Sala de profesores _SUM). Muy cerca de este grupo están las estancias con menos de 100 m³, que igualmente acumulan poco CO₂. Estas se corresponden con el grupo de otras dependencias y que cómo hemos visto anteriormente, son también las más pequeñas y están ocupadas por un número bajo de personas.

Entre los espacios de 100 y 200 m³, se encuentran la mayor parte de las aulas de centro, laboratorios y Aula TIC, y estas son las que significativamente acumulan más CO₂.

5.6.- EFECTO DE LA PLANTA EN LA QUE SE UBICA LA ESTANCIA.



Planta	CO ₂	Grupos
2	824.569	a
3	817.240	a
1	738.673	b

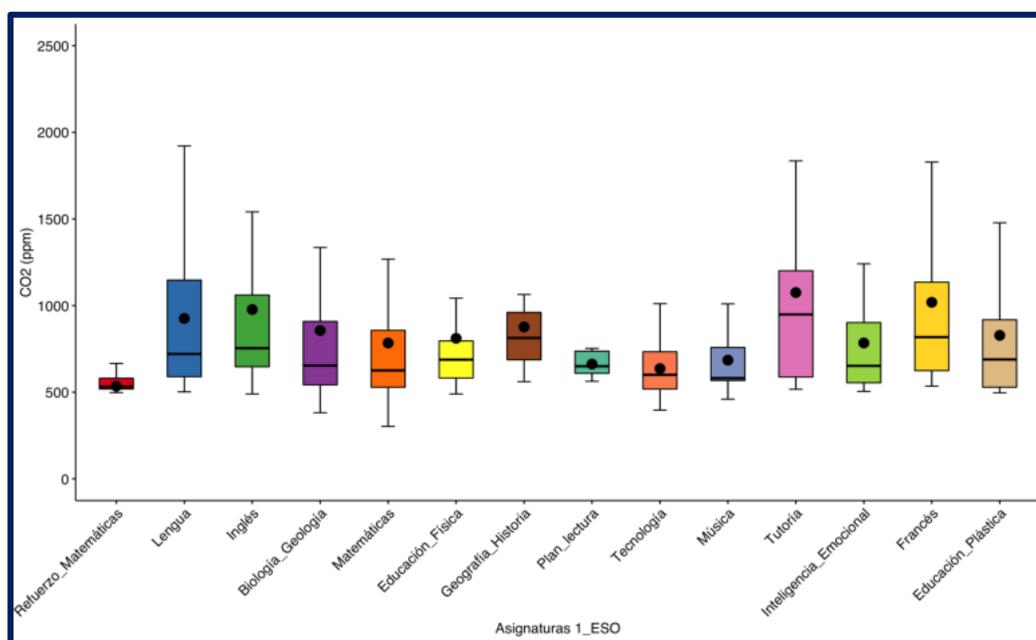
Tabla 23: Análisis de la varianza en función de la planta del edificio

Gráfica 71: Boxplot con valores medios de CO₂ en función de la planta del edificio

Las aulas localizadas en la primera planta difieren significativamente respecto a las ubicadas en la segunda o tercera, ya que concentran menor cantidad de CO₂ en la atmósfera interna de la clase (Gráfica 71 y Tabla 23). Generalmente la temperatura aumenta conforme ascendemos de planta en los edificios, lo que puede condicionar el CO₂ exhalado por las personas en la respiración

5.7.-CONTRIBUCIÓN DE LAS MATERIAS A LOS VALORES MEDIOS DE CO₂.

En esta sección se presentan los gráficos de cajas y bigotes (boxplots) de las diferentes materias que se impartieron los días que se procedió a tomar las medidas en las clases, por ello algunas asignaturas no aparecen en las gráficas. Por otro lado, la diversidad en la metodología de cada una de ellas, el planteamiento de la clase y/o la actividad concreta que se realizara ese día en clase, son circunstancias que condicionan los datos. Por ello, estos resultados hay que tomarlos con cierta precaución y ser siempre conscientes de que cualquier variación de este escenario que implique cambio en las materias impartidas, día de la semana de la toma de datos y horas, habrían producido un cambio en los resultados.

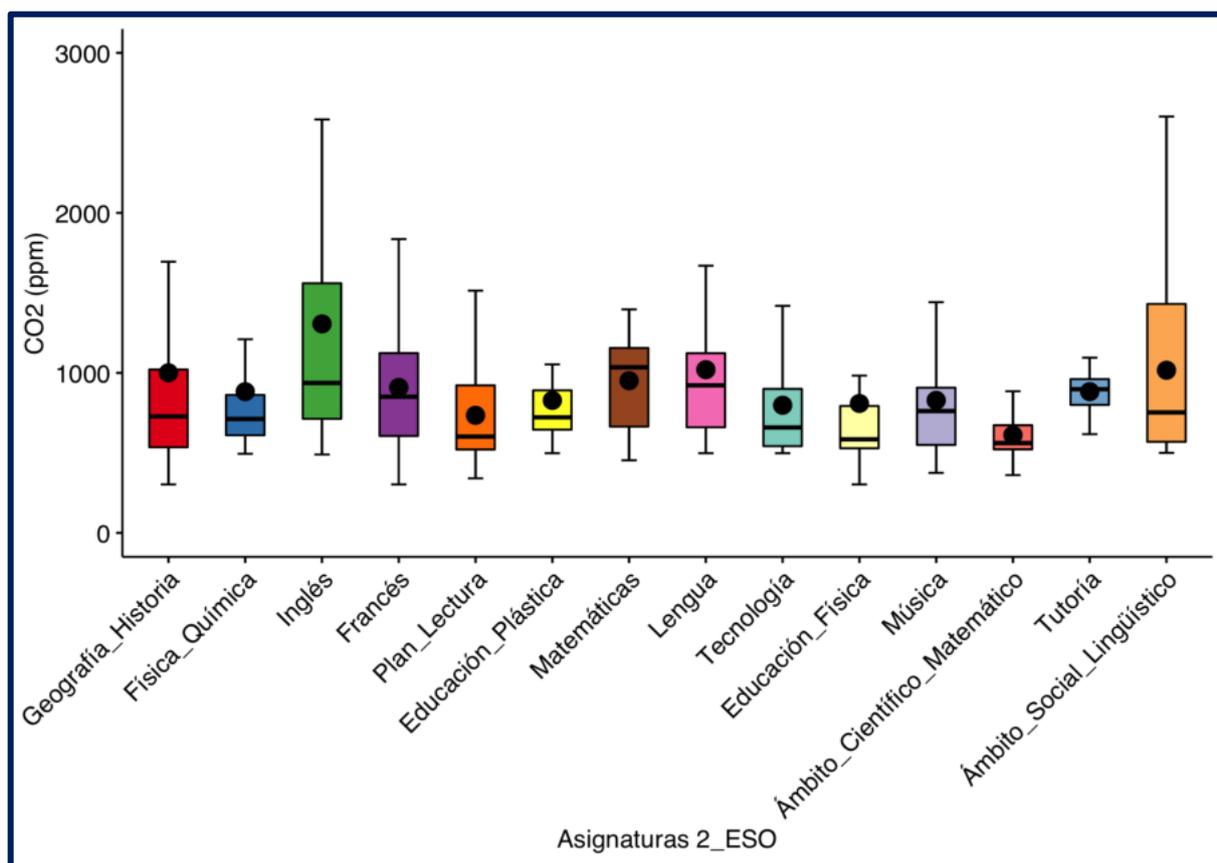


Gráfica 72: Boxplot con valores medios de CO₂ por asignatura en 1º ESO.

Asignatura.	CO ₂	Grupos
Tutoría	1075.052	a
Francés	1019.042	ab
Inglés	977.282	ab
Lengua	926.074	ab
Geografía_Historia	876.750	ab
Biología_Geología	856.060	ab
Educación_Plástica	828.000	ab
Educación_Física	811.152	ab
Inteligencia_Emocional	784.222	ab
Matemáticas	784.000	b
Música	685.062	b
Plan_lectura	662.400	b
Tecnología	636.364	b
Refuerzo_Matemáticas	534.500	b

Tabla 24: Análisis de la varianza por asignatura en 1º ESO.

En 1º ESO la hora de clase dedicada a la tutoría contribuye significativamente, proporcionando medias elevadas de CO₂, le sigue el grupo de materias como Francés, Inglés, Lengua, Geografía, Biología, Plástica, Educación Física e Inteligencia Emocional (Gráfica 72 y Tabla 24).

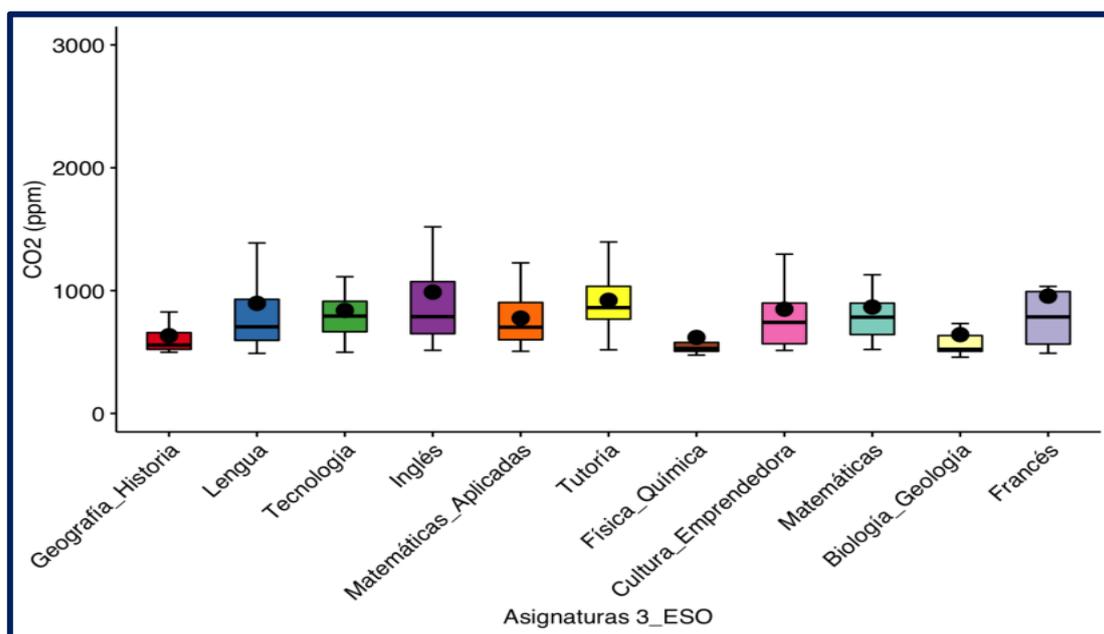


Gráfica 73: Boxplot con valores medios de CO₂ por asignatura en 2º ESO.

Asignatura	CO ₂	Grupos
Inglés	1306.421	a
Lengua	1020.214	ab
Ámbito_Social_Lingüístico	1016.500	ab
Geografía_Historia	1000.651	abc
Matemáticas	951.167	abc
Francés	908.941	bc
Física_Química	882.797	bc
Tutoría	882.760	bc
Música	828.559	bc
Educación_Plástica	828.000	bc
Educación_Física	808.854	bc
Tecnología	797.753	bc
Plan_Lectura	734.805	bc
Ámbito_Científico_Matemático	611.214	c

Tabla 25: Análisis de la varianza por asignatura en 2º ESO.

El nivel 2º ESO destaca con una media significativamente superior en inglés; el segundo lugar encontramos Lengua y Ámbito Social_Lingüístico. Mencionar el ámbito Científico Matemático por sus bajas concentraciones de CO₂ (Gráfica 73 y Tabla 25)

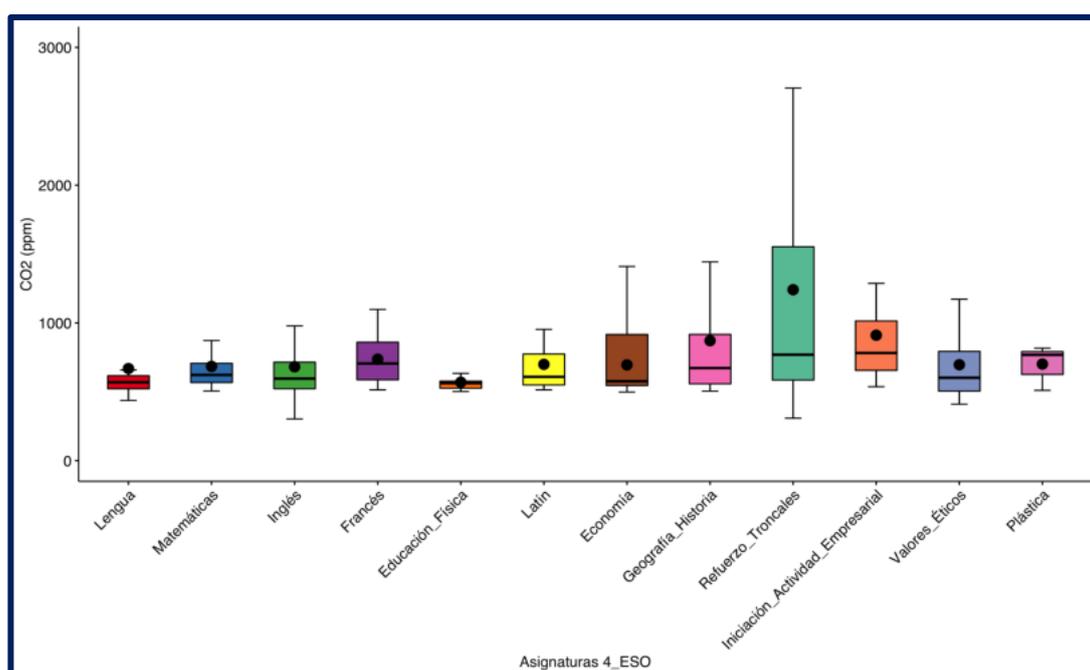


Gráfica 74: Boxplot con valores medios de CO₂ por asignatura en 3º ESO.

Asignatura	CO ₂	Grupos
Inglés	987.653	a
Francés	955.300	ab
Tutoría	921.150	ab
Lengua	896.507	ab
Matemáticas	866.400	ab
Cultura_Emprendedora	849.083	ab
Tecnología	838.696	ab
Matemáticas_Aplicadas	775.833	ab
Biología_Geología	641.381	b
Geografía_Historia	633.175	b
Física_Química	618.833	b

Tabla 26: Análisis de la varianza por asignatura en 3º ESO.

En 3º ESO de nuevo el Inglés destaca sobre el grupo de Francés, Tutoría, Lengua, Matemáticas, Cultura emprendedora, Tecnología y Matemáticas Aplicadas (Gráfica 74 y Tabla 26).

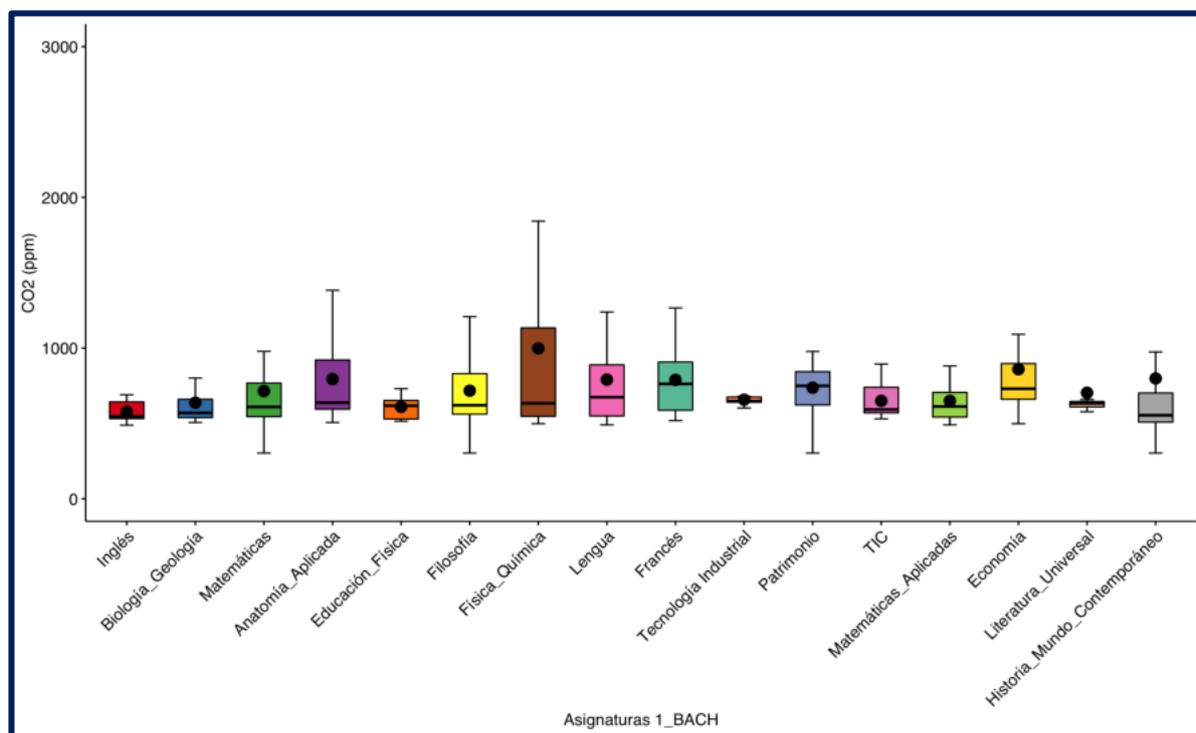


Gráfica 75: Boxplot con valores medios de CO₂ por asignatura en 4º ESO.

Asignatura	CO ₂	Grupos
Refuerzo_Troncales	1240.952	a
Iniciación_Actividad_Empresarial	910.667	ab
Geografía_Historia	870.979	b
Francés	736.167	b
Plástica	701.333	b
Latín	699.130	b
Valores Éticos	696.500	b
Economía	695.320	b
Matemáticas	684.306	b
Inglés	681.557	b
Lengua	668.696	b
Educación_Física	569.444	b

Tabla 27: Análisis de la varianza por asignatura en 4º ESO.

En 4º ESO las materias que acumularon más CO₂ fueron Refuerzo de Troncales e Iniciación a la Cultura Emprendedora (Gráfica 75 y Tabla 27)

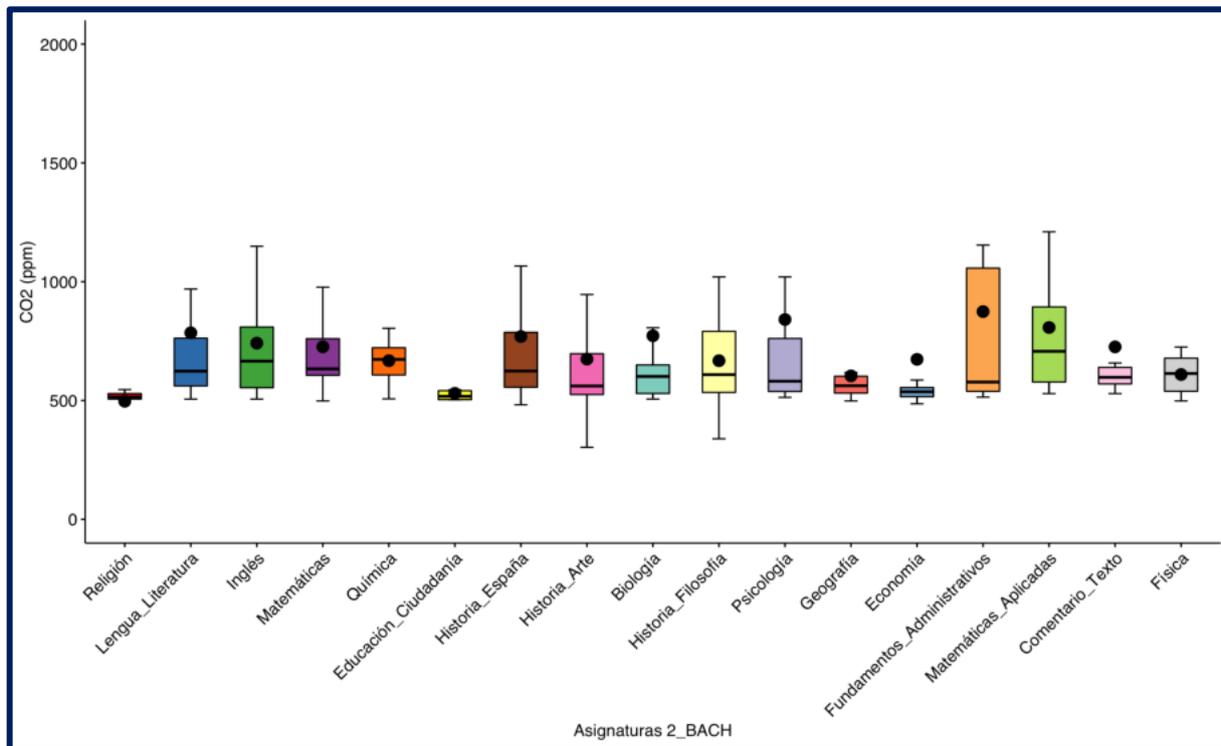


Gráfica 76: Boxplot con valores medios de CO₂ por asignatura en 1º BACH.

Asignatura	CO ₂	Grupos
Física_Química	997.500	a
Economía	859.441	ab
Historia_Mundo_Contemporáneo	798.261	ab
Anatomía_Aplicada	794.318	ab
Lengua	790.061	ab
Francés	788.375	ab
Patrimonio	736.857	ab
Filosofía	716.815	b
Matemáticas	714.375	b
Literatura_Universal	703.000	b
Tecnología Industrial	657.500	b
Matemáticas_Aplicadas	649.600	b
TIC	649.083	b
Biología_Geología	637.395	b
Educación_Física	609.581	b
Inglés	577.650	b

Tabla 28: Análisis de la varianza por asignatura en 1º BACH.

En 1º BACH se distancia significativamente Física y Química al tener concertación elevadas de CO₂, le sigue el grupo de Economía, Historia del Mundo Contemporáneo, Anatomía Aplicada, Lengua, Francés y Patrimonio. El resto de las materias medidas se encuentran en el grupo de materias con concentraciones menores (Gráfica 76 y Tabla 28).

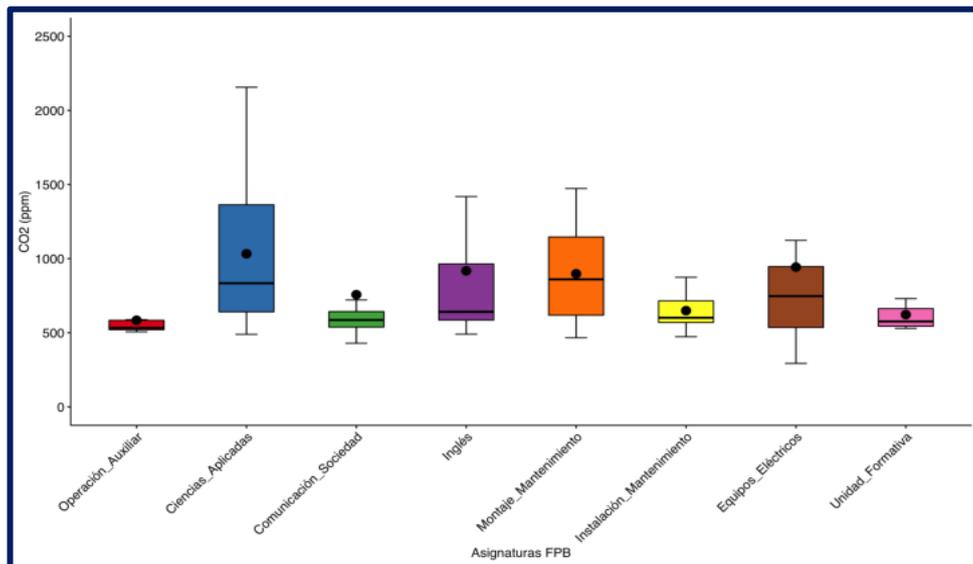


Gráfica 77: Boxplot con valores medios de CO₂ por asignatura en 2º BACH.

Asignatura	CO ₂	Grupos
Fundamentos_Administrativos	874.167	a
Psicología	840.907	a
Matemáticas_Aplicadas	807.250	a
Lengua_Literatura	784.833	a
Biología	772.435	a
Historia_España	769.243	a
Inglés	741.429	a
Matemáticas	725.980	a
Comentario_Texto	725.667	a
Historia_Arte	674.356	a
Economía	673.211	a
Química	667.478	a
Historia_Filosofía	667.415	a
Física	609.375	a
Geografía	603.586	a
Educación_Ciudadanía	530.000	a
Religión	496.667	a

Tabla 29: Análisis de la varianza por asignatura en 2º BACH.

En 2º de Bachillerato no hay diferencias significativas entre ninguna de las 17 materias que se han medido en el estudio (Gráfica 77 y Tabla 29).

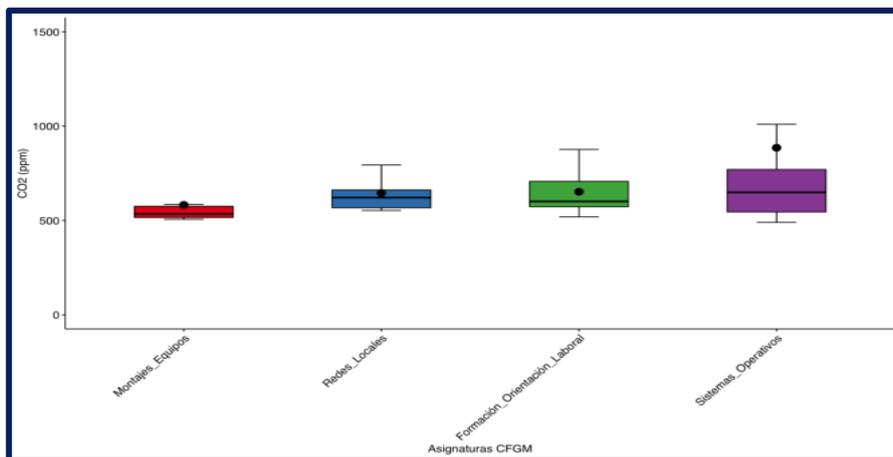


Gráfica 78: Boxplot con valores medios de CO₂ por asignatura en FPB.

Asignatura	CO ₂	Grupos
Ciencias_Aplicadas	1032.646	a
Equipos_Eléctricos	942.676	ab
Inglés	917.667	ab
Montaje_Mantenimiento	897.857	ab
Comunicación_Sociedad	756.975	ab
Instalación_Mantenimiento	648.870	b
Unidad_Formativa	622.250	b
Operación_Auxiliar	584.100	b

Tabla 30: Análisis de la varianza por asignatura en FPB.

En FPB las ciencias Aplicadas presentan concentraciones elevadas y significativamente diferentes al resto. Operaciones auxiliares, Unidad formativa e Instalación y Mantenimiento fueron las asignaturas que tuvieron menores concentraciones de CO₂ (Gráfica 78 y Tabla 30).

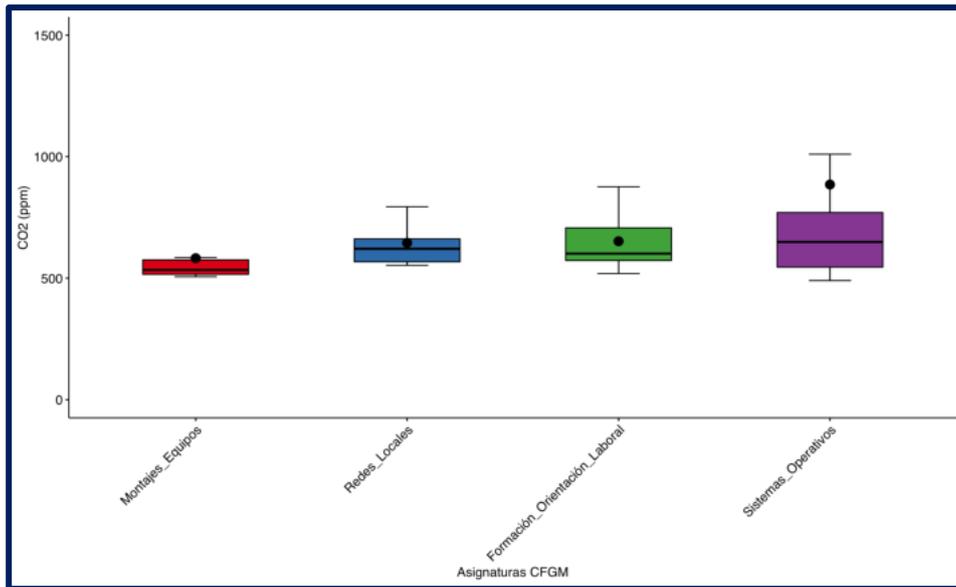


Gráfica 79: Boxplot con valores medios de CO₂ por asignatura en CFGM.

Asignatura	CO ₂	Grupos
Sistemas_Operativos	885.190	a
Formación_Orientación_Laboral	652.000	a
Redes_Locales	645.458	a
Montajes_Equipos	582.400	a

Tabla 31: Análisis de la varianza por asignatura en CFGM.

En CFGM no se encontraron diferencias significativas entre las diferentes materias (Gráfica 79 y Tabla 31).



Gráfica 80: Boxplot con valores medios de CO₂ por asignatura en CFGS.

Asignatura	CO ₂	Grupos
Sistemas_Operativos	885.190	a
Formación_Orientación_Laboral	652.000	a
Redes_Locales	645.458	a
Montajes_Equipos	582.400	a

Tabla 32: Análisis de la varianza por asignatura en CFGS.

En CFGS no se encontraron diferencias significativas en la concentración de CO₂ en las diferentes materias (Gráfica 80 y Tabla 32).

5.8.- CONCLUSIONES DEL ESTUDIO DE LAS VARIABLES INDEPENDIENTEMENTE.

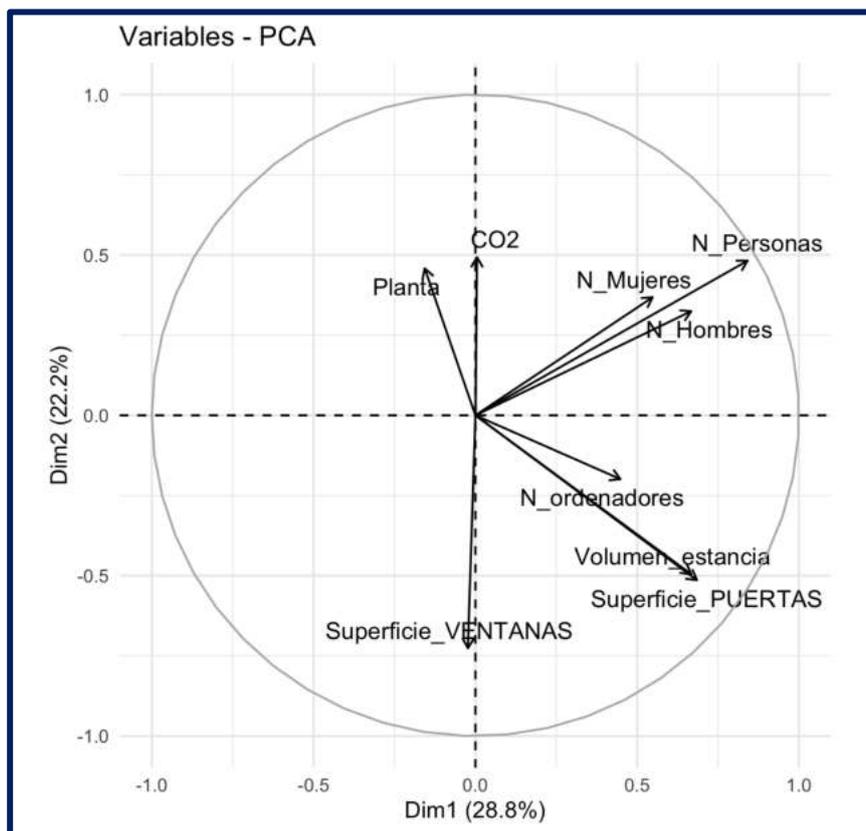
1. El número de personas que ocupan una estancia influye en las concentraciones acumuladas de CO₂. A partir de 20 personas ya se nota un efecto considerable en los valores medios de CO₂.
2. La presencia de ordenadores no tiene influencia en las concentraciones de CO₂ determinadas en las estancias donde los ordenadores estaban ubicados.
3. La superficie de salida del aire por las puertas en la mayoría de las estancias se encuentra entre 2 y 4 m², sin embargo, la media de CO₂ acumulado no es significativamente diferente entre ellas.
4. Las estancias de ocupación media que presentan un área de entrada de aire entre 4 y 7 m² son las que significativamente presentan menor concentración de CO₂. Al igual que ocurre con las dependencias con 1-2 m² de superficie de entrada de aire, pero de escasa ocupación
5. Las estancias con más de 400 m³ y las de 100 m³ de volumen, pero de escasa ocupación, acumulan poco CO₂.
6. Las aulas ubicadas en la segunda y tercera planta acumulan mayores concentraciones de CO₂. Este efecto podría deberse a la mayor temperatura alcanzada en esta zona del IES.
7. Las diferentes asignaturas de currículum contribuyen de forma diferente a la acumulación de CO₂. Esto deriva de la diversidad metodológica de cada una y de la actividad concreta que se realizara el día muestreado.

6.- ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES

La representación bidimensional de todas las variables por parejas, si el número de variables es muy alto, sería inviable. Además, como hemos visto anteriormente, solo representan una fracción de la información contenida en los datos.

El análisis de componentes principales es una estrategia adecuada cuando se examinan muchas variables y se quiere ver las relaciones que hay entre ellas. Se basa en un análisis en varias dimensiones donde las variables se proyectan sobre los ejes de dichas dimensiones, de forma que las variables que quedan sobre el mismo eje contribuyen positiva o negativamente dependiendo del sentido en el que estén en el eje.

En este gráfico se representan las variables cuantitativas estudiados en dos dimensiones, en cada una de las dimensiones se indica el % de varianza explicado por el primer componente (Dim1) y el segundo componente (Dim2). Las variables positivamente correlacionadas se agrupan y aparecerán juntas o muy cercanas. Las variables negativamente correlacionadas aparecerán al lado opuesto del origen o en cuadrantes diferentes. La longitud de las variables mide la calidad de la representación de la variable, cuanto más cerca está de la circunferencia de correlación representada, más calidad tiene su representación, es decir mayor variabilidad de esta variable está contenida en la representación.



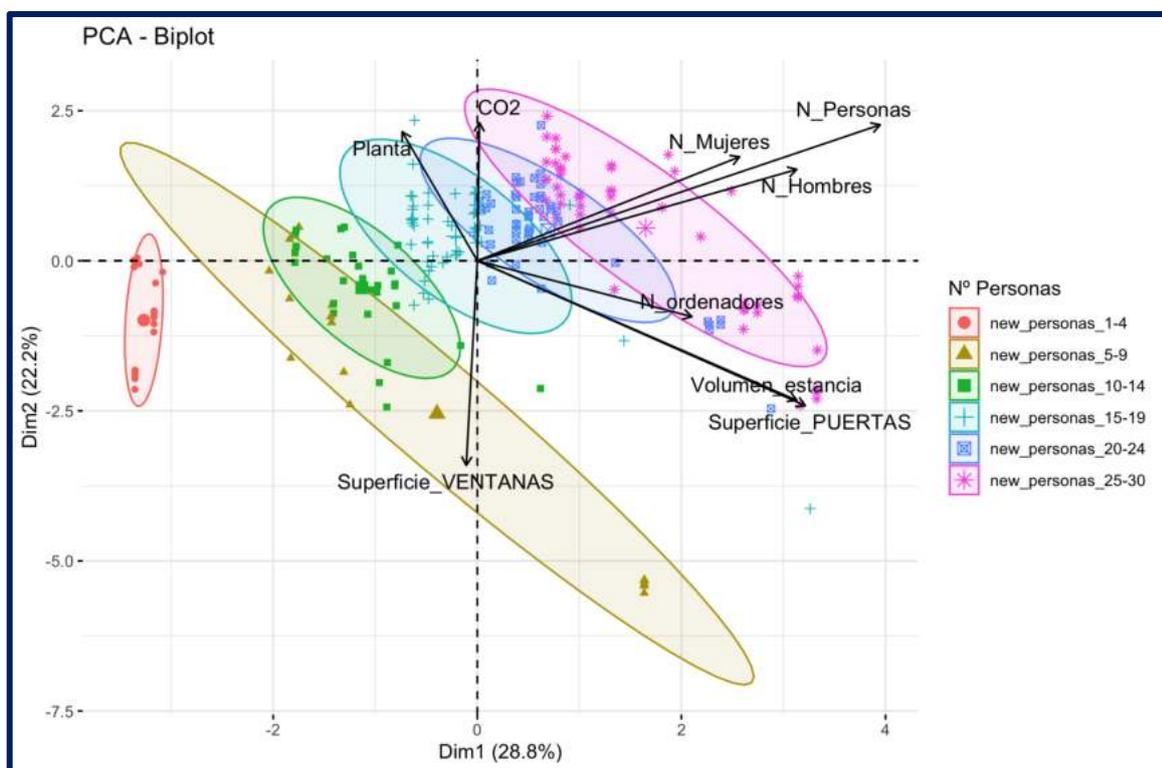
Gráfica 81: Representación vectorial de variables estudiadas y círculo de correlación

Variable	correlation	p. value
CO2	4.93113e-01	8.05729e-15
N_Personas	4.82139e-01	3.77859e-14
Planta	4.58091e-01	9.26255e-13
N_Mujeres	3.68007e-01	1.98767e-08
N_Hombres	3.24688e-01	9.05412e-07
N_ordenadores	-1.98915e-01	3.11228e-03
Volumen_estancia	-4.95231e-01	5.94198e-15
Superficie_PUERTAS	-5.13812e-01	3.74215e-16
Superficie_VENTANAS	-7.26050e-01	3.78560e-37

Tabla 33: Coeficientes de correlación de las variables analizadas.

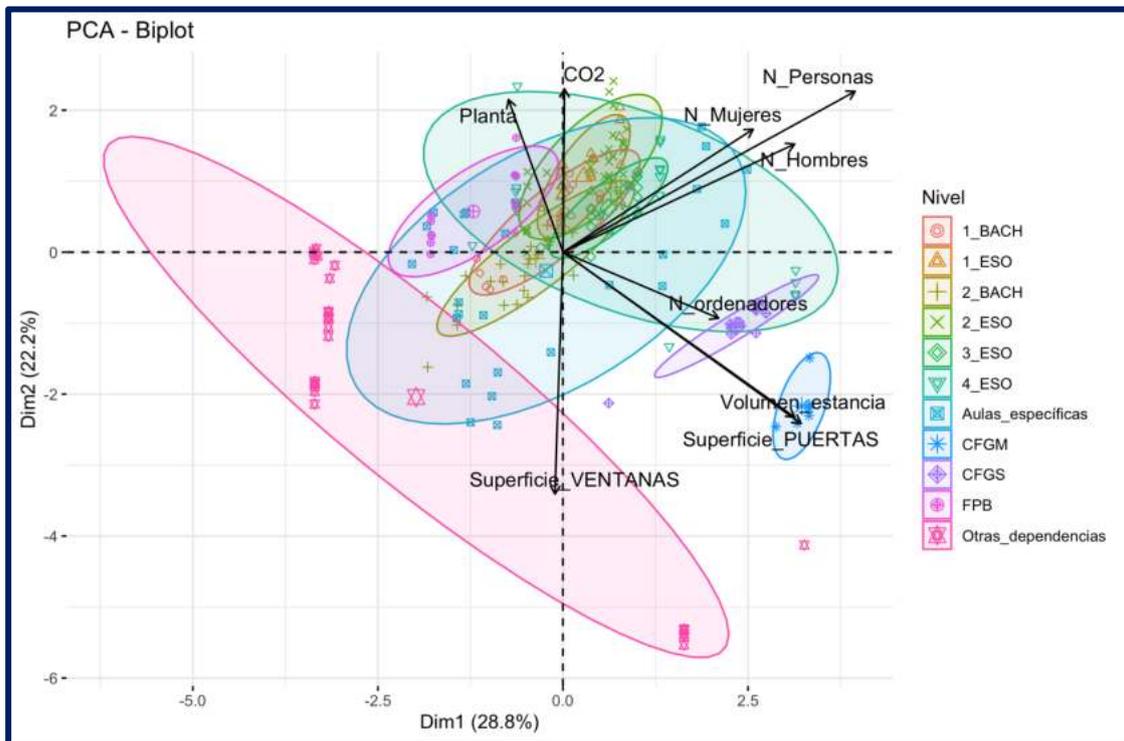
En la Gráfica 81 se observa que las variables CO₂ y planta están situadas sobre el eje de dimensión 1 en sentido positivo, mientras que la variable Superficie_Ventanas esta sobre ese mismo eje, pero en sentido contrario. Eso quiere decir que al incrementarse la planta se incrementa el CO₂, y al aumentar la superficie de ventanas disminuye el CO₂. Lo mismo ocurre con las variables volumen estancia y superficie PUERTAS, que también están orientadas en sentido contrario a planta y CO₂, y en sentido negativo, por lo que al incrementarse el volumen y la superficie de puertas disminuye el CO₂. Por el contrario, las variables Número de Personas, independientemente de que sean hombres o mujeres están en el lado positivo y cerca de la variable CO₂, por lo que al incrementarse el número de personas se incrementa el CO₂.

En nuestro PCA hemos estudiado varias variables cuantitativas que están representadas por los vectores, pero para poder interpretar mejor los datos podemos representar sobre esta misma gráfica las variables cualitativas y analizar cómo se agrupan los datos respecto de estas variables cualitativas, proporcionando importante información en relación con las cuantitativas.



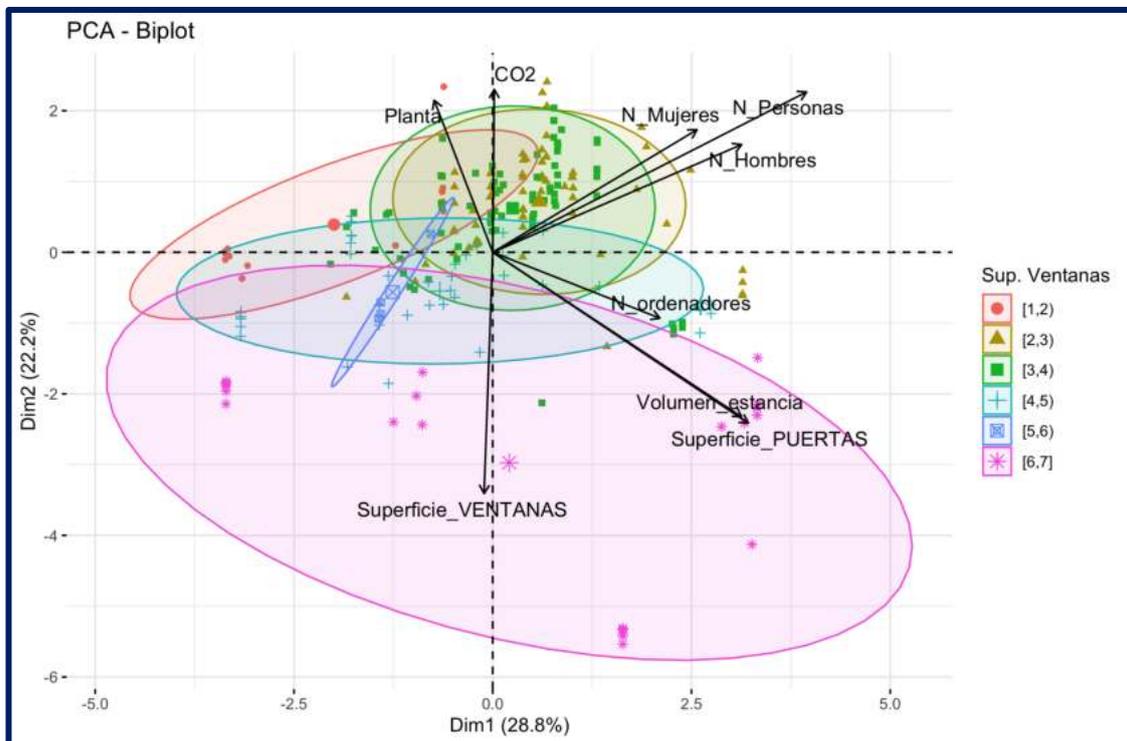
Gráfica 82: Gráfico Biplot representando agrupamiento por número de personas.

Respecto al agrupamiento de la variable número de personas representado en la Gráfica 82 se evidencia de forma muy clara cómo los grupos se alinean de forma paralela al vector número de personas. Las elipses de colores son los rangos establecidos en la variable cualitativa "new_personas" en la que los datos se agrupan dentro de intervalos que establecen un rango de números de personas. Así el grupo de 1-4 personas, marcado en color rojo, aparece distanciado y lejos del vector, lo que significa que contribuyen poco a la acumulación de CO₂ en la estancia, mientras los grupos con elevado número de personas contribuyen con elevadas cantidades de CO₂. Claramente se ilustra el efecto de esta variable, a mayor número de personas mayor CO₂ acumulado en el ambiente.



Gráfica 83: Gráfico Biplot representando agrupamiento por niveles

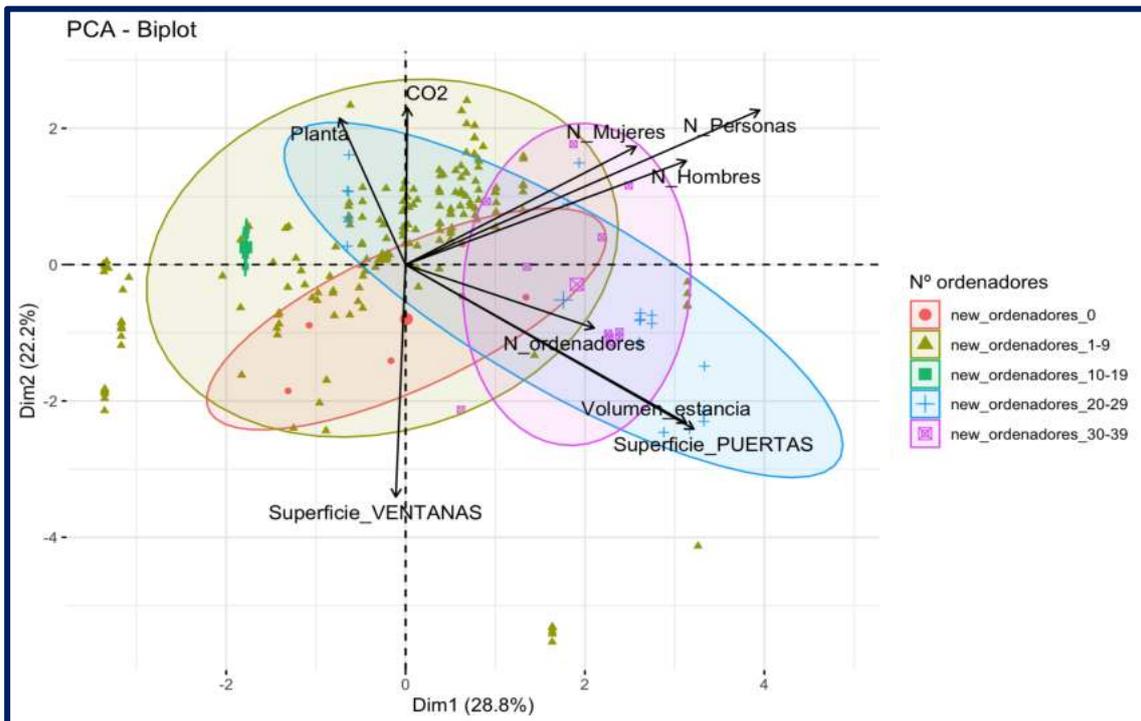
Con respecto a los agrupamientos por niveles (Gráfica 83), la distribución de los datos es más irregular, pero observamos cómo las elipses de 1º de ESO y 2º de ESO están muy juntas y pegadas al vector, lo que indica mayor CO₂ acumulado en estos niveles. Por el contrario, las elipses de los ciclos y otras dependencias aparecen más alejadas del vector.



Gráfica 84: Gráfico Biplot representando agrupamiento por superficie ventanas.

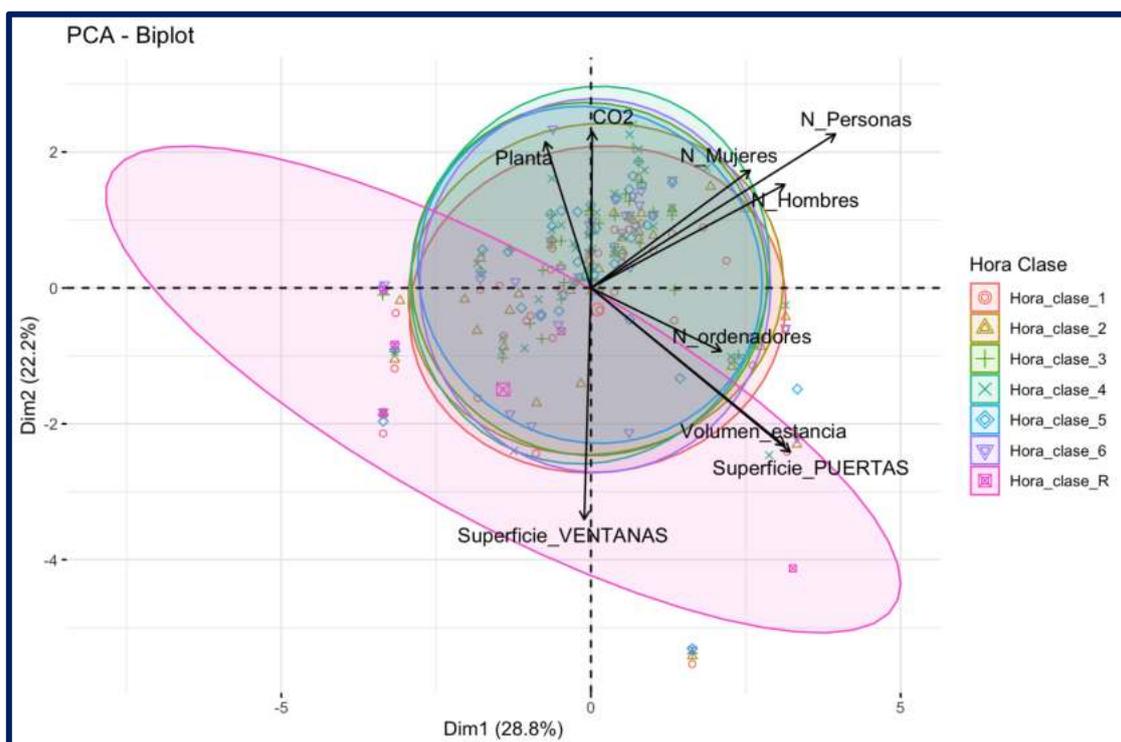
En la Gráfica 84 observamos que las estancias con mayor superficie de ventanas acumulan muy poco CO₂. Los espacios con 6-7 m² de área de entrada de aire están representados por una gran elipse rosa que ocupa un espacio extenso y se encuentra lejos del origen de coordenadas y muy lejos del

extremo del vector CO_2 . Se corrobora así que la correlación entre CO_2 y superficie de ventanas es negativa.



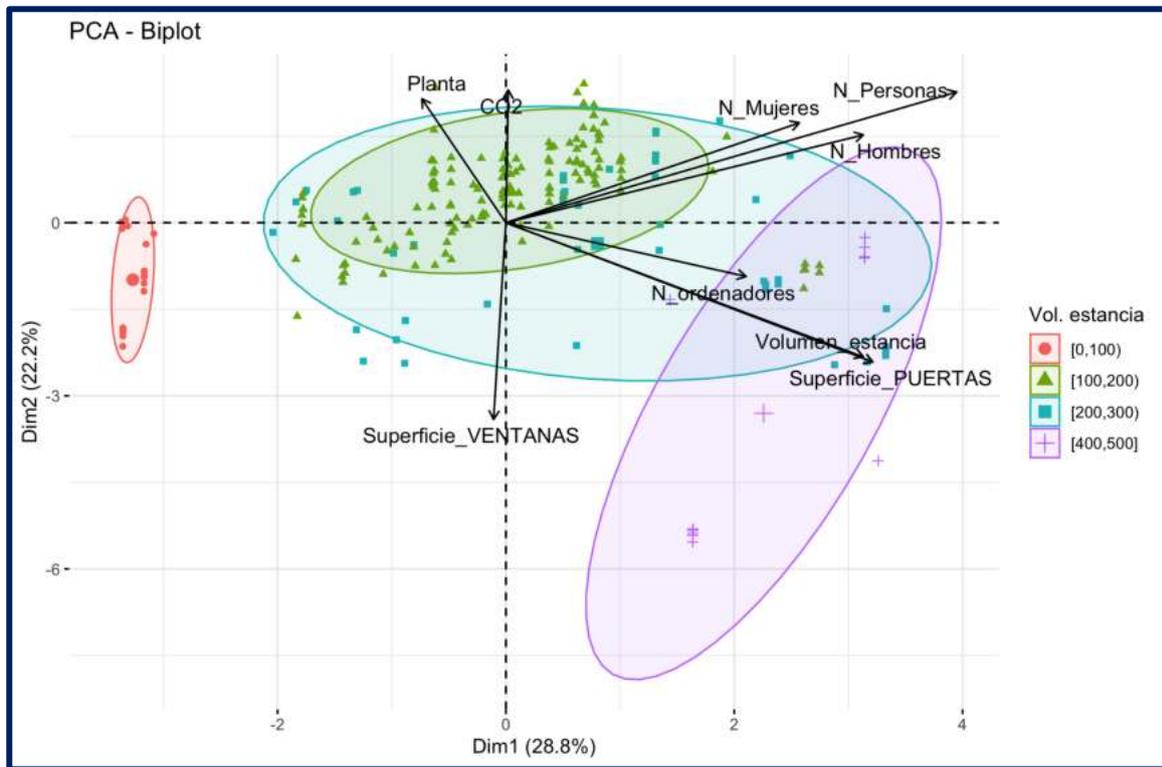
Gráfica 85: Gráfico Biplot con agrupamiento por número de ordenadores.

En la Gráfica 85 la distribución de las elipses no guarda ningún patrón significativo, por lo que la variable número de ordenadores no contribuye a la dependencia de la variable CO_2 . Tanto los datos como la distribución de las categorías de la variable cualitativa “new_ordenadores” se reparten por todos los cuadrantes. Fijándonos en el vector, este presenta poca longitud, indicativa de que su representación no contiene la mayor parte de la variabilidad.



Gráfica 86: Gráfico Biplot representando agrupamiento por hora de clase.

En la Gráfica 86 las elipses, correspondientes a la hora de clase de la jornada escolar, se superponen unas con otras. Solo podemos ver las elipses de las 4ª y 5ª hora de clase algo elevadas sobre el resto. Probablemente en otra dimensión el efecto detectado para estas horas de clase en los análisis previos se vea con más claridad. En esta dimensión la perspectiva de las elipses dificulta ver bien este efecto ya constatado. Destaca la elipse de recreo que aparece con una gran extensión y alejada del origen de coordenadas.



Gráfica 87: Gráfico Biplot representando agrupamiento por número de personas.

Respecto al volumen de la estancia (Gráfica 87), el agrupamiento de datos de la categoría de 400 a 500 m³ está muy próxima al extremo del vector Volumen de la estancia y muy alejada del vector CO₂. Conforme disminuye el volumen de la estancia, más nos aproximamos al vector CO₂, quedando diferenciado como un grupo independiente en rojo aquellas que presentan volúmenes por debajo de los 100 m³, las cuales ya vimos que están ocupadas por un bajo número de personas. Esta gráfica ilustra nuevamente la correlación negativa entre volumen de la estancia y concentración de CO₂.

6.1.- CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS DEL PCA.

1. El orden de dependencia, y por tanto de importancia, de las variables de correlación positiva que aumentan la concentración de CO₂ en el aire es el siguiente:
 - a. En primer lugar, Número de Personas
 - b. En segundo lugar, Localización en la Planta del Edificio.

La variable que más contribuye positivamente a la concentración de CO₂ es el número de personas. Es decir, la concentración de CO₂ en una estancia depende principalmente del número de ocupantes de esta. Los hombres contribuyen algo más al incremento de esta concentración. La variable número de personas es la primera que debería tenerse en cuenta, dentro de la autonomía posible del centro, para controlar la acumulación de aerosoles en las aulas, procurando que este no sea muy elevado. La segunda variable que influye es la planta, las estancias en las plantas bajas acumulan menos CO₂.

2. Las variables que afectan disminuyendo la concentración de CO₂ y que tienen correlación negativa con esta son, por orden de importancia, las siguientes:
 - a. En primer lugar, Superficie de Ventanas
 - b. En segundo lugar, Superficie de Puertas
 - c. En tercer lugar, Volumen de la estancia

Así pues, a mayor superficie de ventanas menor será la concentración de CO₂, los vectores son totalmente opuestos. La superficie de las puertas y volumen de la estancia influye también, aunque en menor medida, ya que los vectores forman un ángulo de 130º respecto al vector CO₂, pero se encuentra en un cuadrante opuesto en el círculo de correlación. Respecto a la variable número de ordenadores, esta forma un ángulo aún menor, pero la longitud de su vector es inferior a la de los anteriores y su número de correlación negativa muy bajo. Esto indicaría que su acción habría de interpretarse en interacción con otras variables como el volumen de la estancia, superficie de puertas y ventanas, etc., ya que no contribuye mucho a la concentración de CO₂.

3. El orden establecido en ambos casos establece un orden de priorización, tanto en positivo como en negativo, a la hora de toma de decisiones para el control de la transmisión del virus Covid 19, dentro de las posibilidades de actuación del centro.

7.- BIBLIOGRAFÍA.

- MINGUILLÓN, M. C, QUEROL, X, FELISI, J.M. y GARRIDO, T. **“Guía para ventilación en las aulas”**. Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua, IDAEA.CSIC. Ministerio de Ciencia e Innovación y Mesura. Versión 3. 6 nov 2020.
- BERENQUER , M.J y BERNAL F.”NTP 549: **“El dióxido de carbono en la evaluación de la calidad del aire interior”** Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo. Ministerio de trabajo y asuntos sociales.
- R Core Team (2019). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

8.- AGRADECIMIENTOS.

- Al alumnado de Investigación Avanzada de 2º de Bachillerato por su constancia y dedicación en el proceso de toma de datos, así cómo en la cumplimentación de una extensísima hoja Excel a pesar de encontrarse en el tramo final del curso. Además, por su interés mostrado durante todo el curso en la aplicación del método científico y la investigación.
- A toda la comunidad del IES Fidiana (profesorado, equipo directivo, personal de administración y servicio, etc.) por facilitar el desarrollo de este estudio y proporcionar un marco de trabajo muy satisfactorio, incluso cuando hemos interrumpido las clases o hemos generado alguna incomodidad. Agradecer también el soporte técnico proporcionado como medidores CO₂ y ordenadores.
- A la Junta de Andalucía y a la Consejería de Educación, por proporcionar un contexto favorable para el desarrollo de investigaciones I+D+i en la Enseñanza Secundaria y el Bachillerato al conceder el Proyecto de Innovación Educativa FIDICIENCIA.