

ESTUDIO COMPARATIVO DEL CO₂ EN LAS DEPENDENCIAS DEL IES FIDIANA PARA CONTROLAR LA TRANSMISIÓN DEL VIRUS CAOVID 19

- Profesora: **Elena León Rodríguez**
- Alumnado de **INVESTIGACIÓN AVANZADA**
 - **Ernesto Castillejo López**
 - **Lucía Yanda Expósito Cazorla**
 - **Antonieta Victoria Rodríguez Ríos**
 - **Gloría Sánchez Fernández**
 - **Paula Torres Hermán**

Ponentes

- **María Juárez Rubio**
- **Miguel Ángel Peno Montes**
- **Alejandro Belmonte Pérez**

CURSO 2020-2021

ÍNDICE

- 1.- INTRODUCCIÓN**
- 2.-OBJETIVOS**
- 3.-FUNDAMENTOS TEÓRICOS**
- 4.-MATERIALES Y MÉTODOS**
- 5.-RESULTADOS**
- 6.-CONCLUSIONES**
- 7.-AGRADECIMIENTOS**
- 8.-BIBLIOGRAFÍA**

1.-INTRODUCCIÓN

- **La ventilación** es una de las estrategias más efectivas que podemos seguir para combatir las enfermedades transmitidas por aerosoles como “la COVID 19”.
- La exposición a este aire puede, por tanto, **provocar infecciones, y favorecer la transmisión descontrolada del virus.**
- Los centros educativos, por sus características, **son particularmente susceptibles de participar en este proceso de contagio-transmisión del virus.** Un método para determinar la presencia de aerosoles en las aulas es la **estimación de las concentraciones de CO₂ acumuladas** en el interior de estas.

PREMISAS DE PARTIDA

- El dióxido de carbono es un gas incoloro e inodoro que se origina en los procesos de combustión de sustancias que contienen carbono. 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 acumularlo en su interior.** La exposición a este aire puede provocar en 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.
- Nuestra hipótesis de trabajo es **corroborar la eficacia de las medidas ventilación implementadas durante el curso escolar 20_21 en el IES Fidiana para controlar la formación de aerosoles,** considerando las particularidades propias de la organización interna de este centro y de variables adicionales no contempladas en estudios previos.

2.-OBJETIVO

El objetivo de esta investigación es **evaluar de la concentración de CO_2 en las aulas y estancias del IES Fidiana para determinar los puntos o momentos críticos**, en los que se alcancen concentraciones de CO_2 que pongan en riesgo elevado a la comunidad educativa, para determinar la efectividad de la ventilación llevada a cabo en nuestro centro y la evaluación de medidas complementarias si fueran necesarias.

3.- MARCO TEÓRICO

¿QUÉ PARÁMETROS
DEBEMOS CONOCER?

- EL ACH
- LA CONCENTRACIÓN DE CO_2 EN ESTADO ESTABLE

¿QUÉ ES EL ACH?

- **La ventilación se refiere a la renovación de 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:

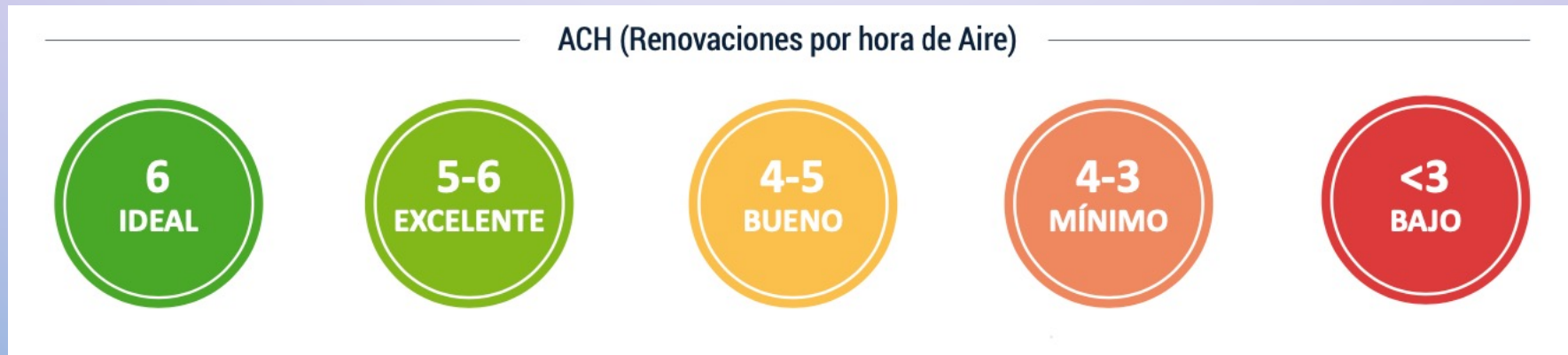
$$\text{ACH} = \text{litros por persona y segundo} * \text{número personas} * 3600 \text{ segundos/hora} * 0.001 \text{ m}^3/\text{litro} / \text{volumen sala en m}^3$$

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

- *Si un espacio tiene 1 ACH (1 renovación de aire por hora) significa que en una hora entra en la sala un volumen de aire exterior igual al volumen de la sala, y, debido a la mezcla continua del aire, esto resulta en que el 63% del aire interior ha sido reemplazado por aire exterior. Con 2 renovaciones se reemplaza el 86% y con 3 renovaciones el 95%.*

¿QUÉ ES EL ACH?

- La ventilación necesaria para reducir el riesgo de contagio depende de :
 - **Volumen de la sala**
 - **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 durante el curso 20-21.**
- 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:



¿QUÉ ES LA CONCENTRACIÓN DE CO₂ EN ESTADO ESTABLE?

- Se trata de determinar la concentración de CO₂ objetivo con el aula ocupada. Depende 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.

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

- 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 , una vez es relativamente constante, **es 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 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.

4.- MATERIALES Y MÉTODOS

- El estudio ha durado un periodo de 3 meses (del 22 de febrero al 16 de abril de 2021)
- Los datos se han tomado en cada estancia ininterrumpidamente desde las 8:35 hasta las 15:00 horas, con un intervalo de 5 minutos entre cada medida. Lo que ha supuesto un total de 6705 mediciones de CO₂.
- Se ha utilizado un medidor de CO₂ **digital de interior y al aire libre con capacidad para medir CO/HCHO/TVOC y de CO2.**
- Las variables estudiadas han sido:
 - **Número de personas.**
 - **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.**
 - **El nivel o tipo de enseñanza.**

CONDICIONES EXPERIMENTALES

- Estos datos fueron tratados estadísticamente mediante el software R, versión 3.6.1 con la interfaz Rstudio Versión 1.4.1717.
- 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 boxplots.**
 - **Análisis de la varianza y la comparación de medias mediante el estadístico tukey, que nos permite detectar diferencias significativas entre agrupamientos.**
 - **Análisis de Componentes Principales PCA.**

5.-RESULTADOS



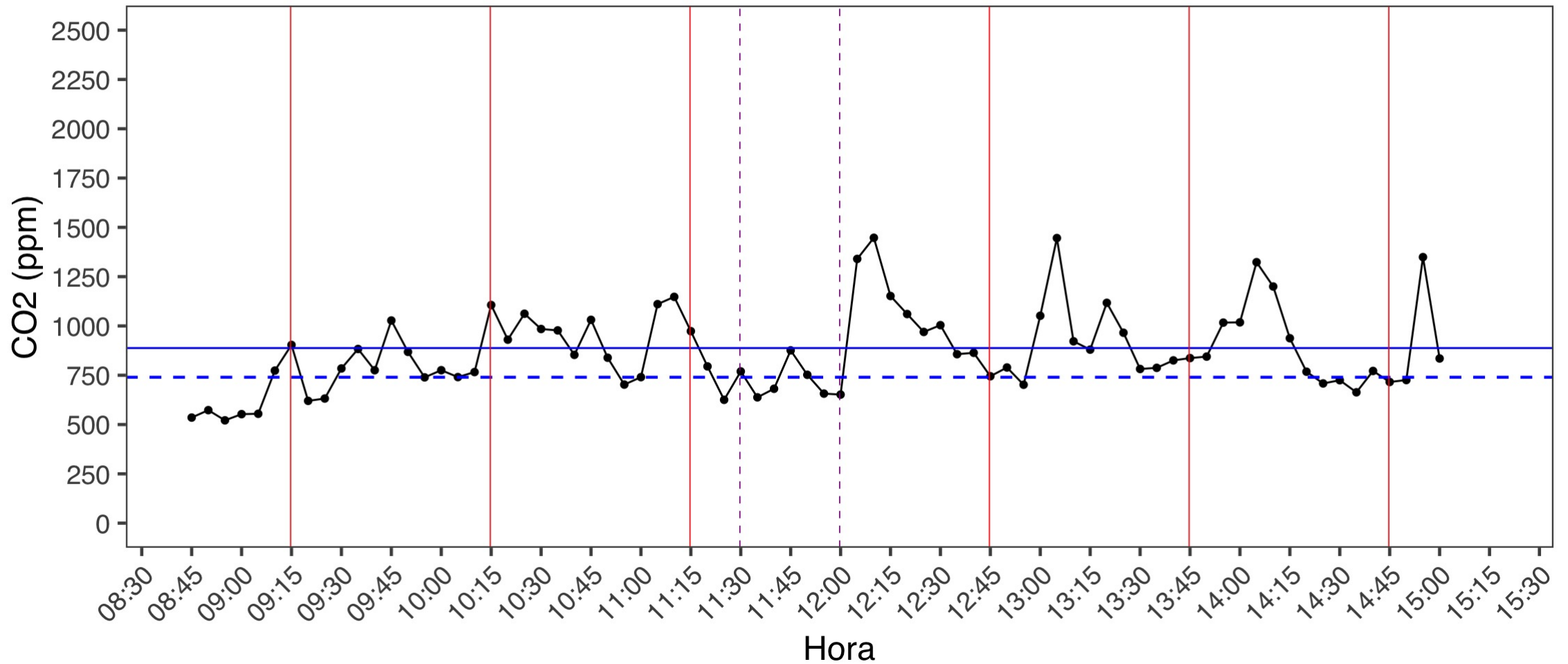


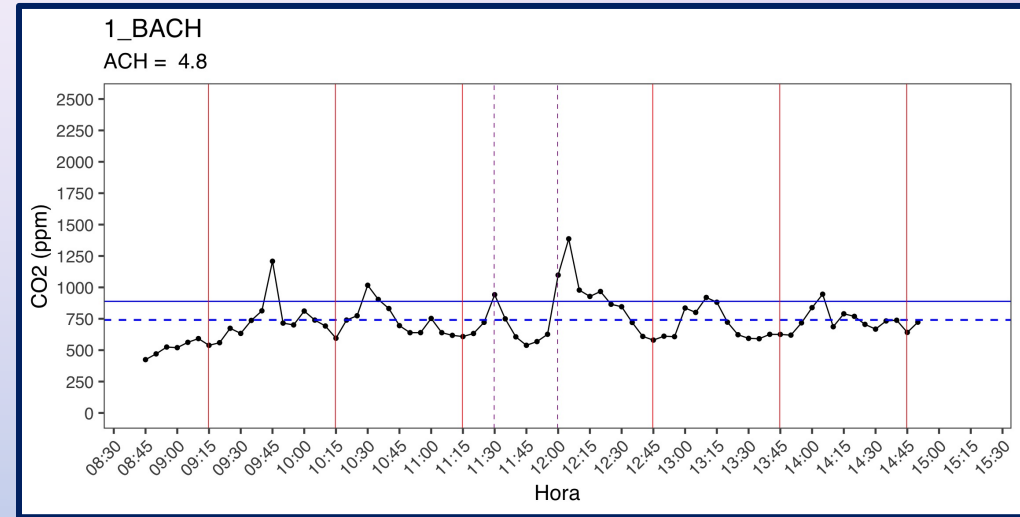
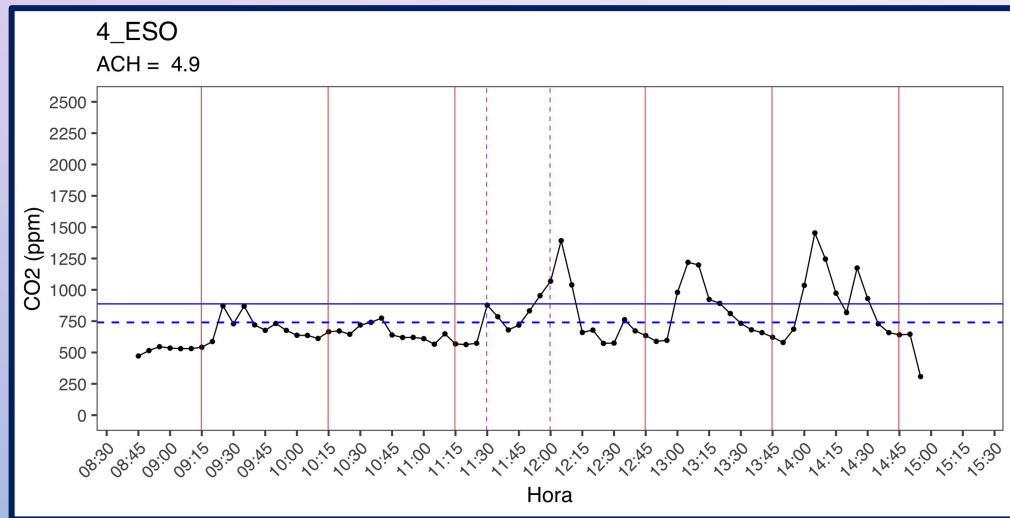
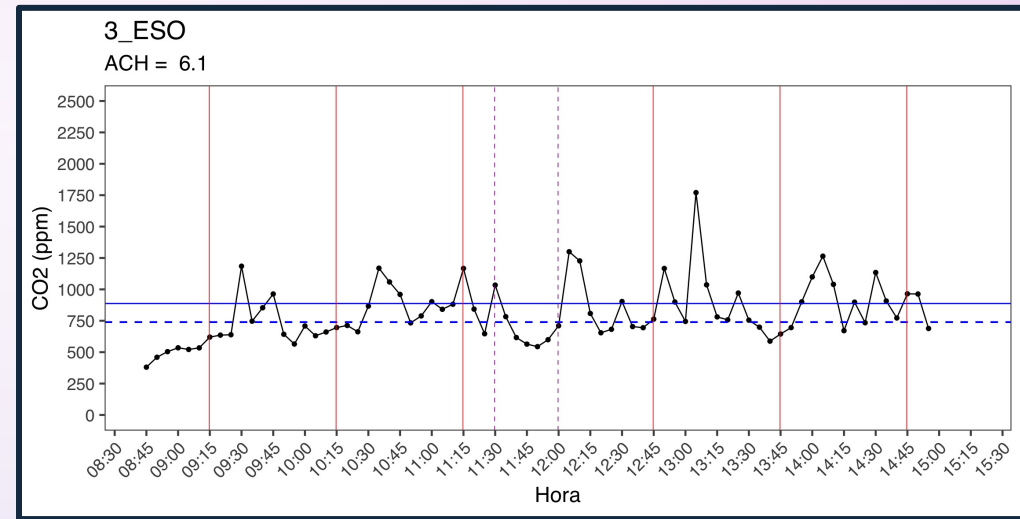
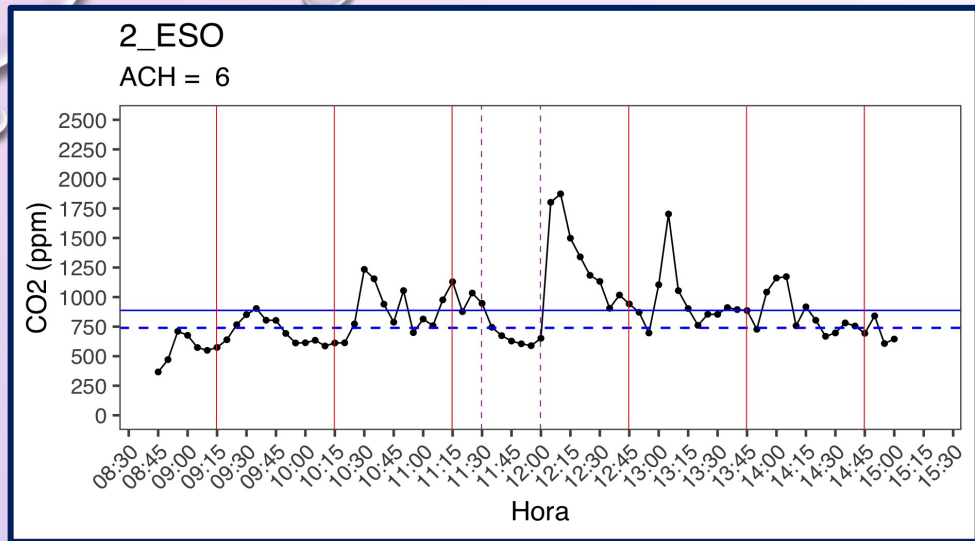
**EVOLUCIÓN DEL CO₂ A LO LARGO DE
LA JORNADA ESCOLAR EN LAS
DIFERENTES ESTANCIAS DEL CENTRO**

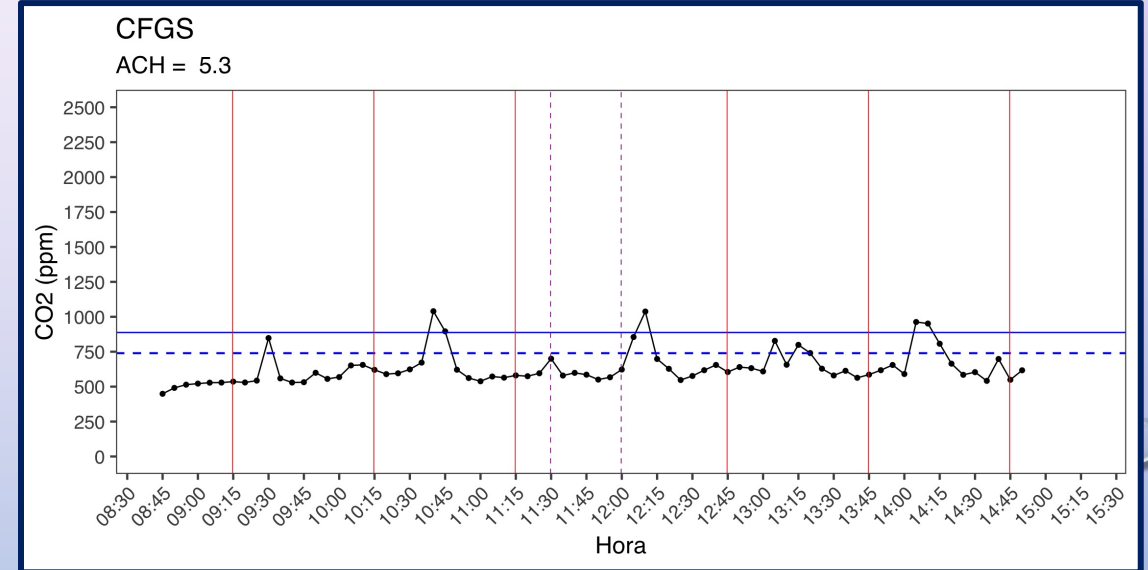
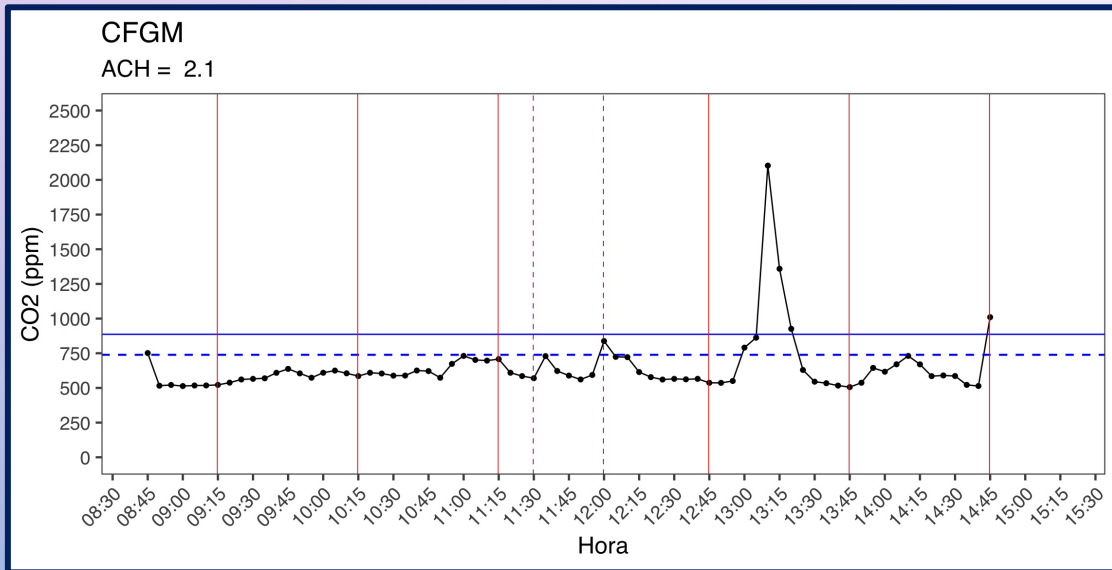
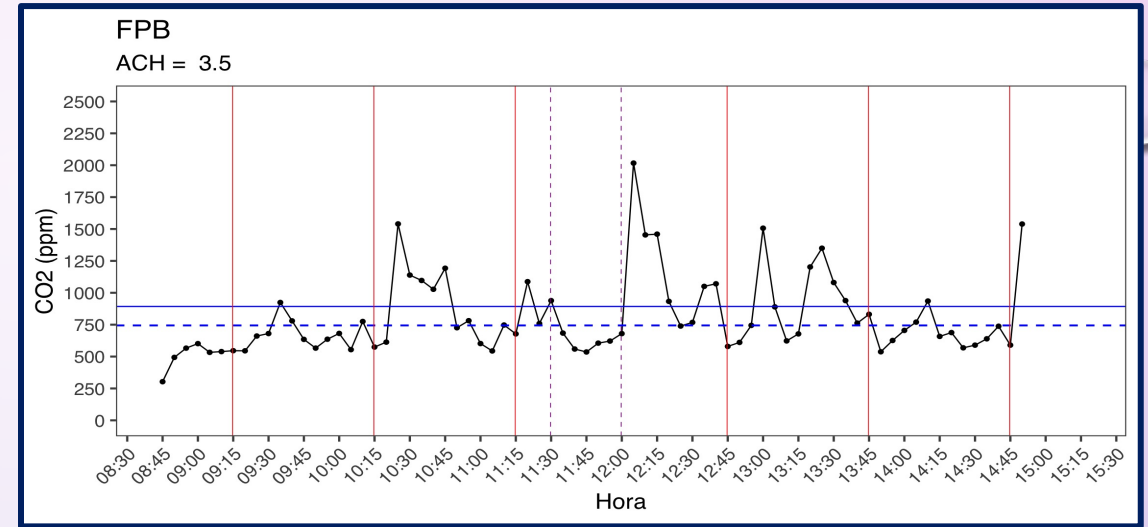
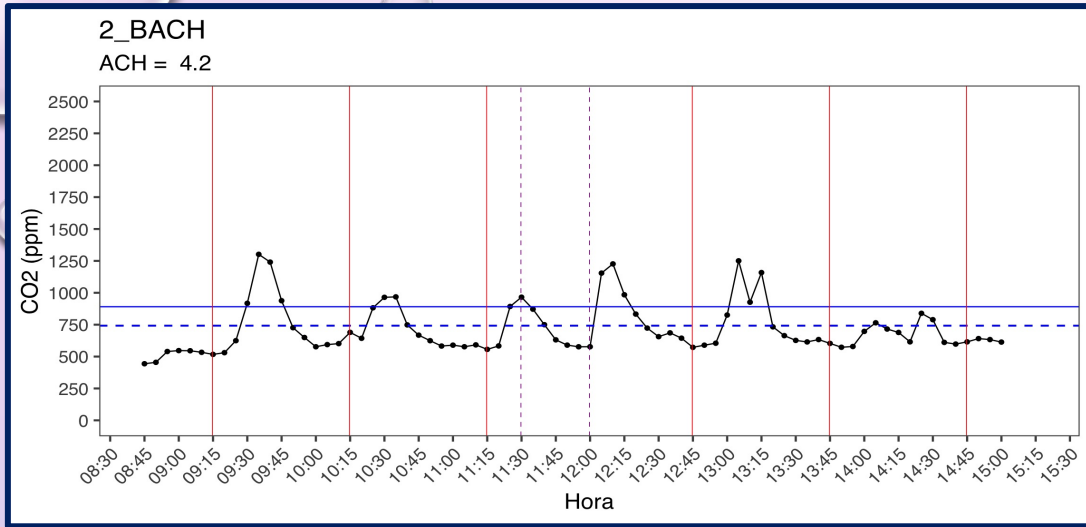
1_ESO

ACH = 5.5

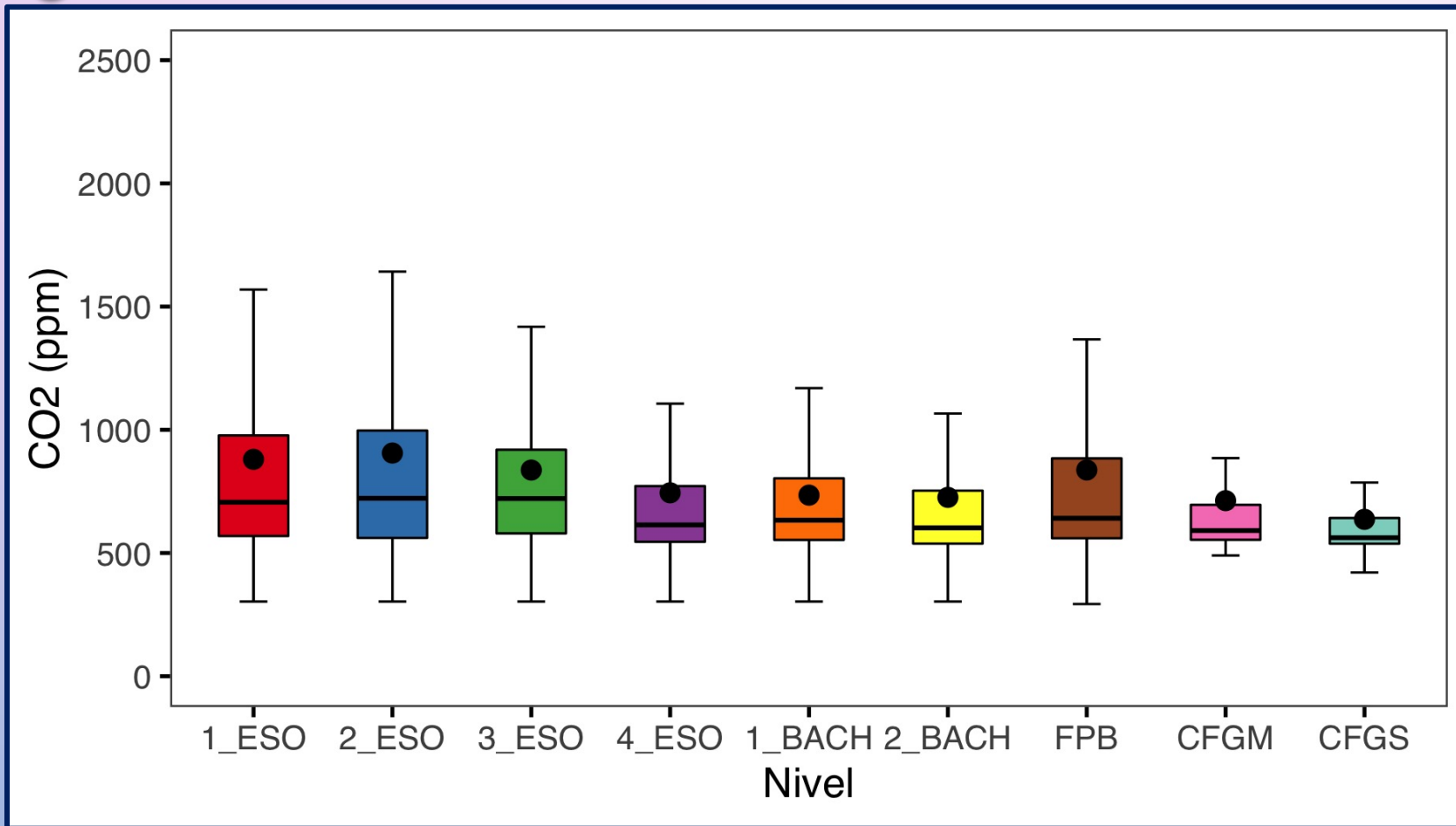
- Concentración de CO2 en estado estable
- Concentración de CO2 en estado estable más 20% de variación.
- Pauta de ventilación en el centro
- Periodo de recreo







VALORES MEDIOS DE CO₂ POR NIVEL

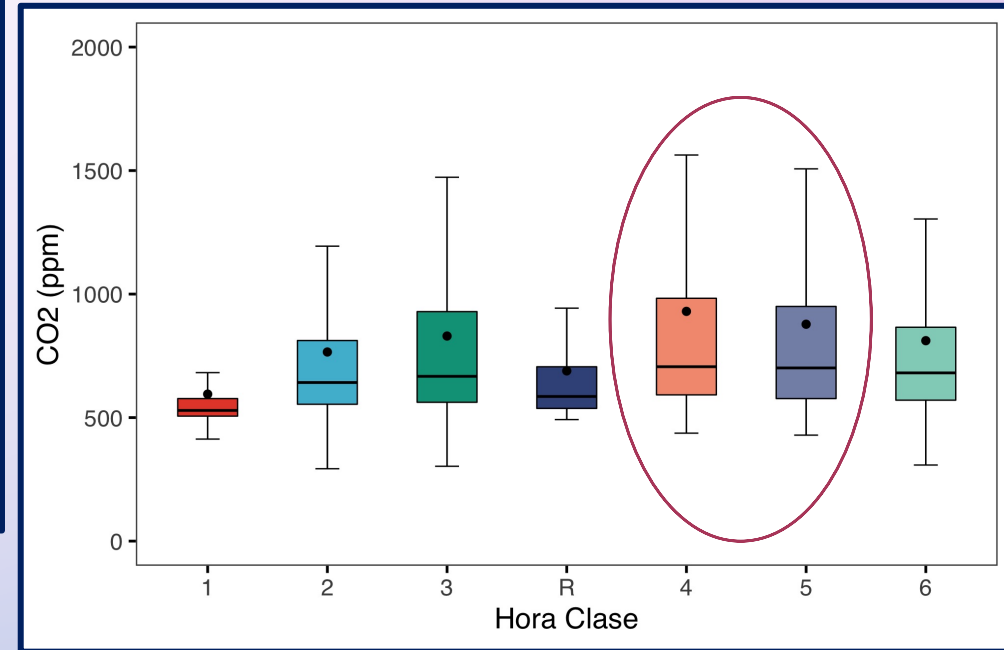
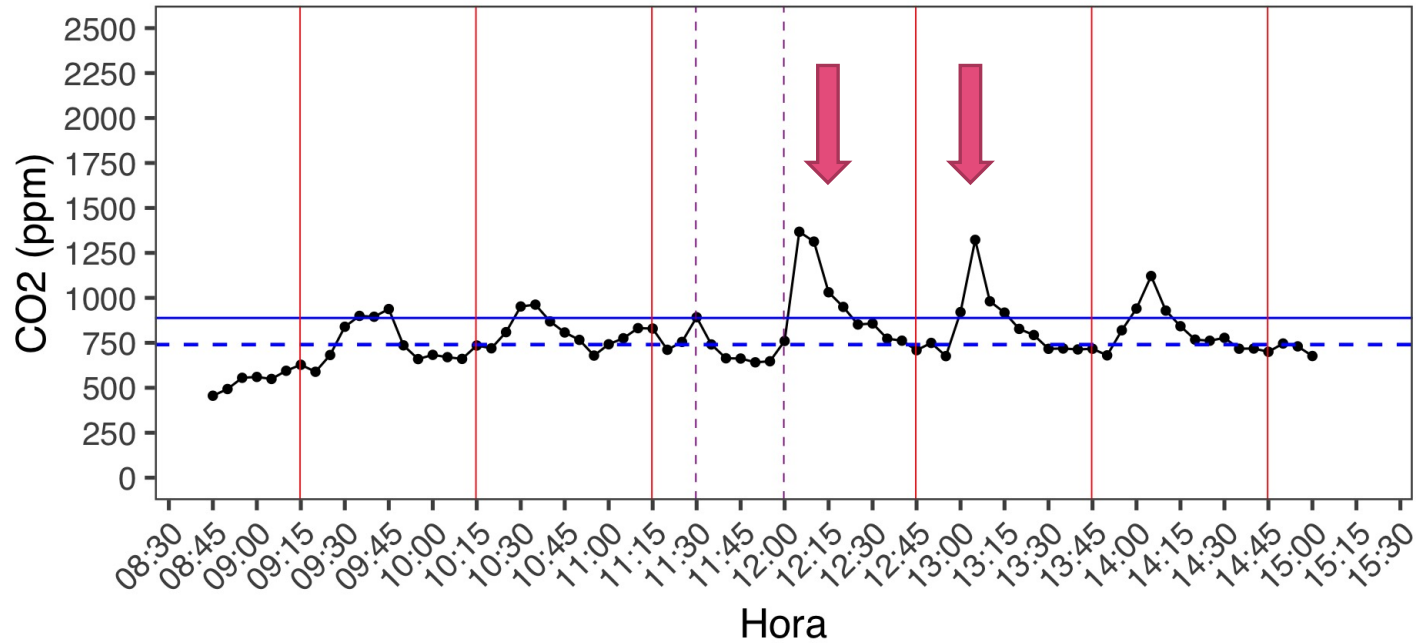


VALORES MEDIOS DE CO ₂		
Clase	CO ₂	Grupos
2_ESO	905.491	a
1_ESO	880.038	a
FPB	836.848	ab
3_ESO	836.625	ab
4_ESO	744.312	bc
1_BACH	734.640	bc
2_BACH	725.781	c
CFGM	712.358	c
CFGS	636.627	c

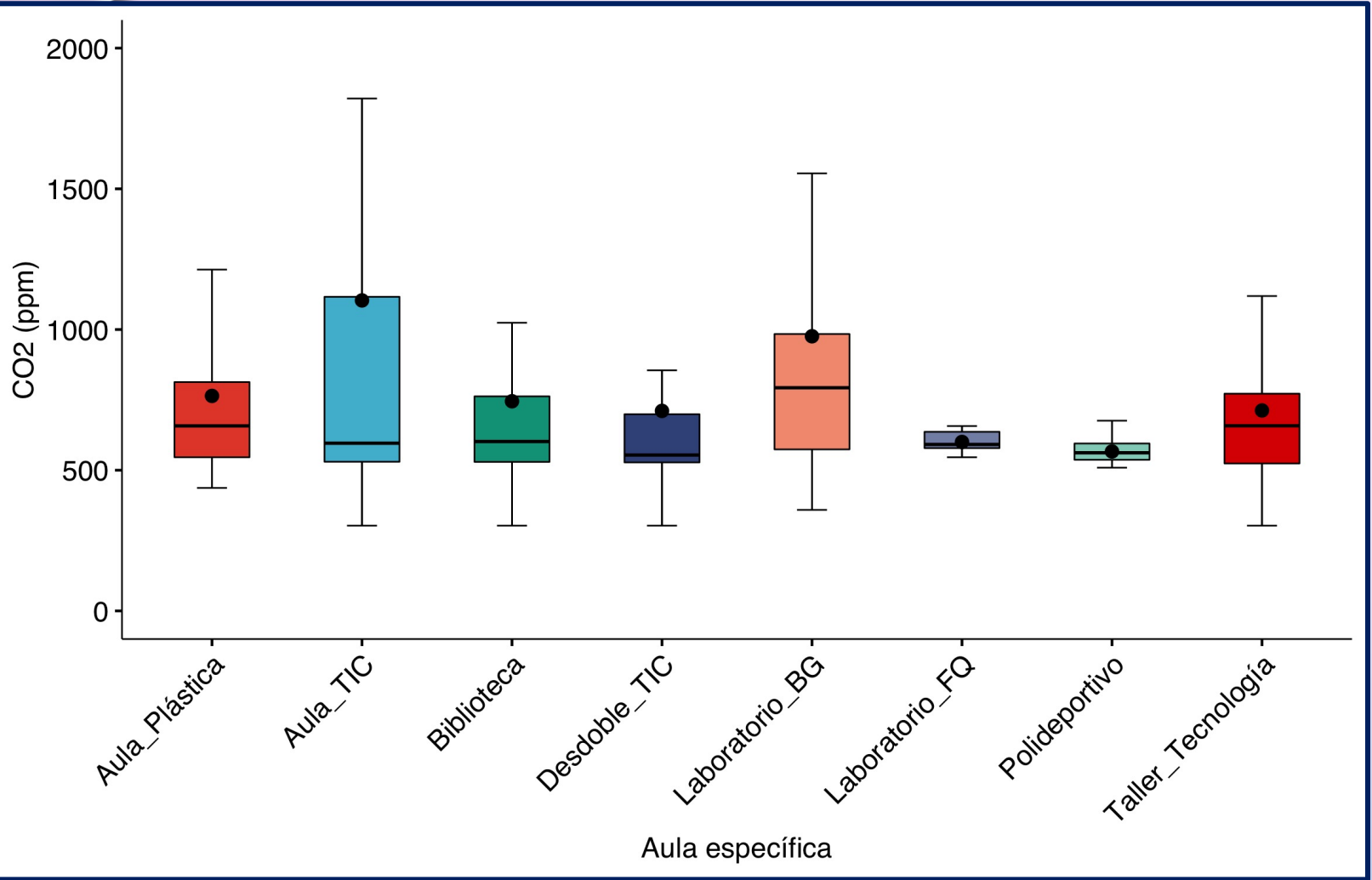
VALORES MEDIOS DE CO₂ POR HORA DE CLASE

Evolución CO₂ todas las clases

ACH = 5.2

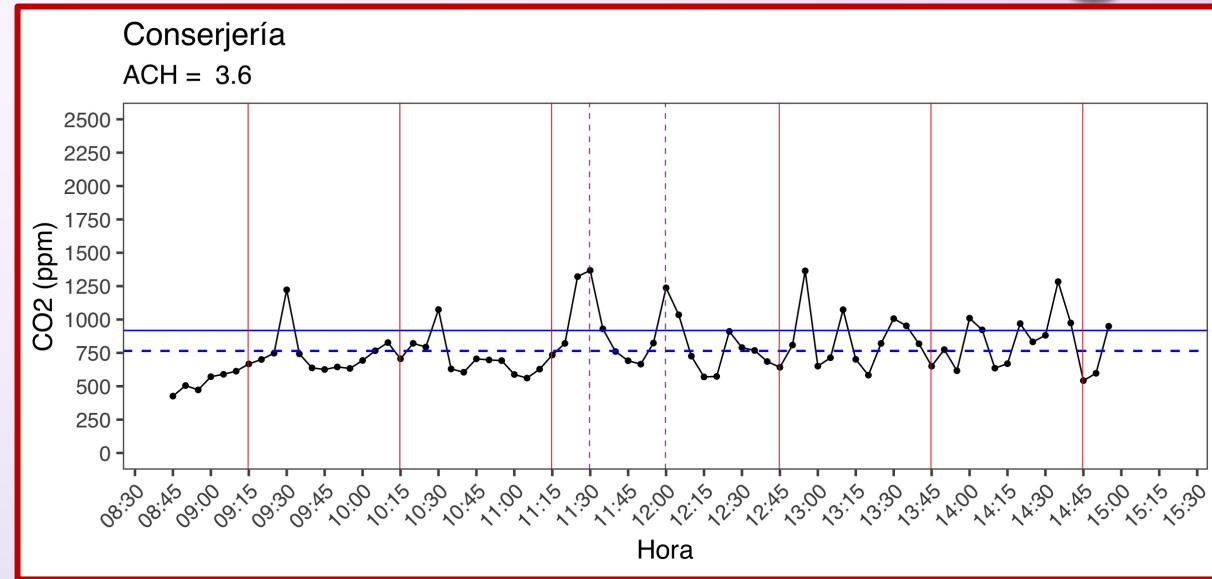
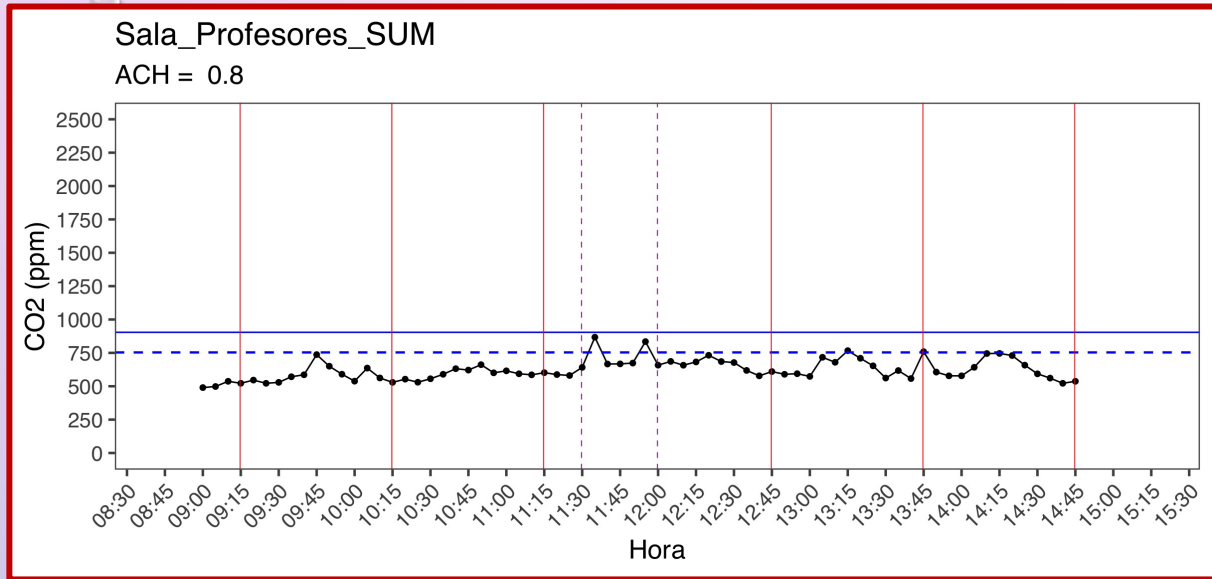


Hora_clase	CO ₂	Grupos
4	930.012	a
5	877.941	ab
3	830.161	bc
6	811.411	bc
2	765.516	cd
R	689.132	d
1	595.058	e



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

EVOLUCIÓN DE CO₂ EN OTRAS DEPENDENCIAS

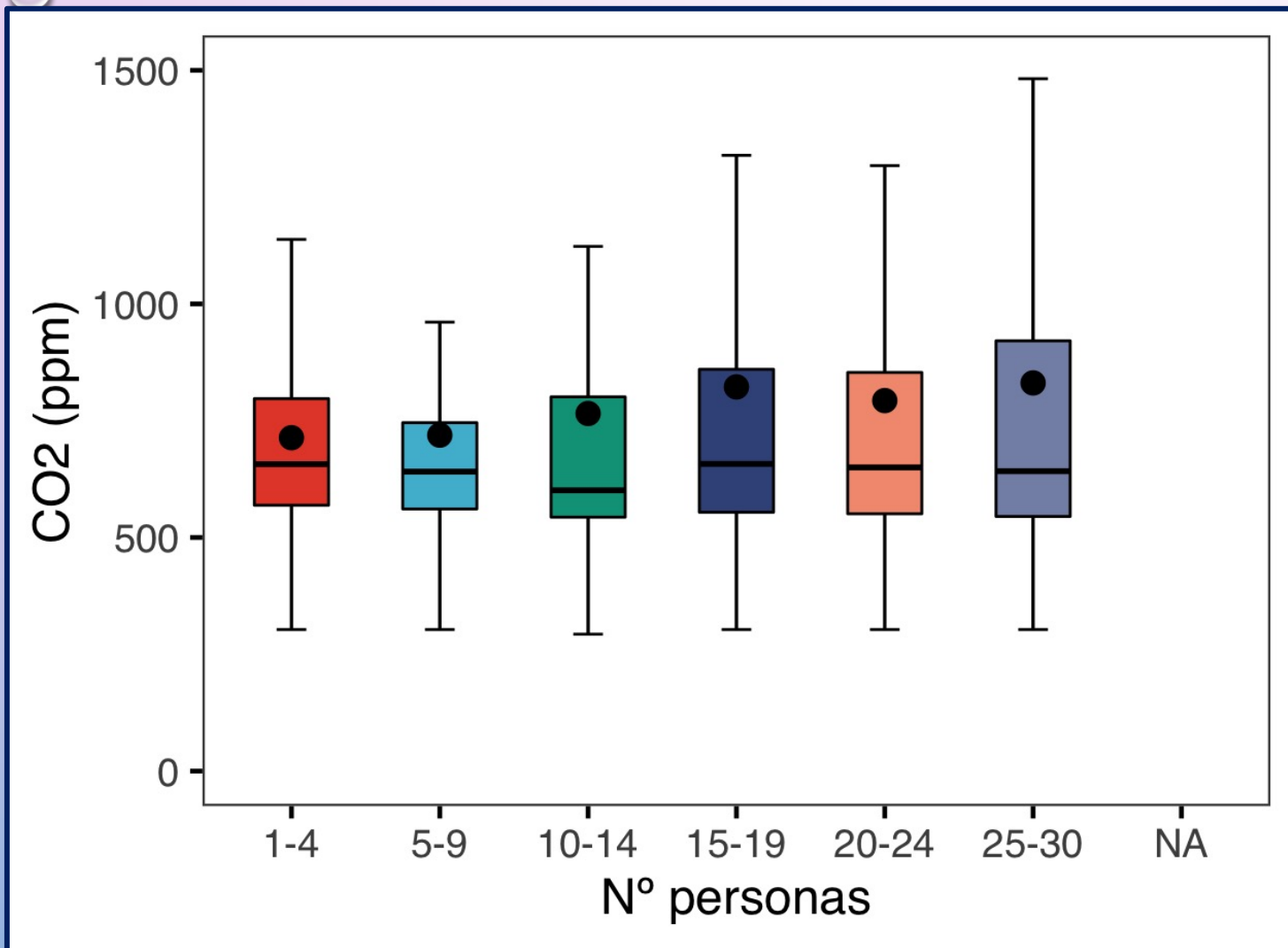


Dependencia	CO ₂	Grupos
Conserjería	778.616	a
Secretaría_Administración	721.290	ab
Despacho_Secretaria	692.981	bc
Jefatura_Estudios	672.110	bc
Dirección	665.302	bc
Sala_Profesores_SUM	631.277	c



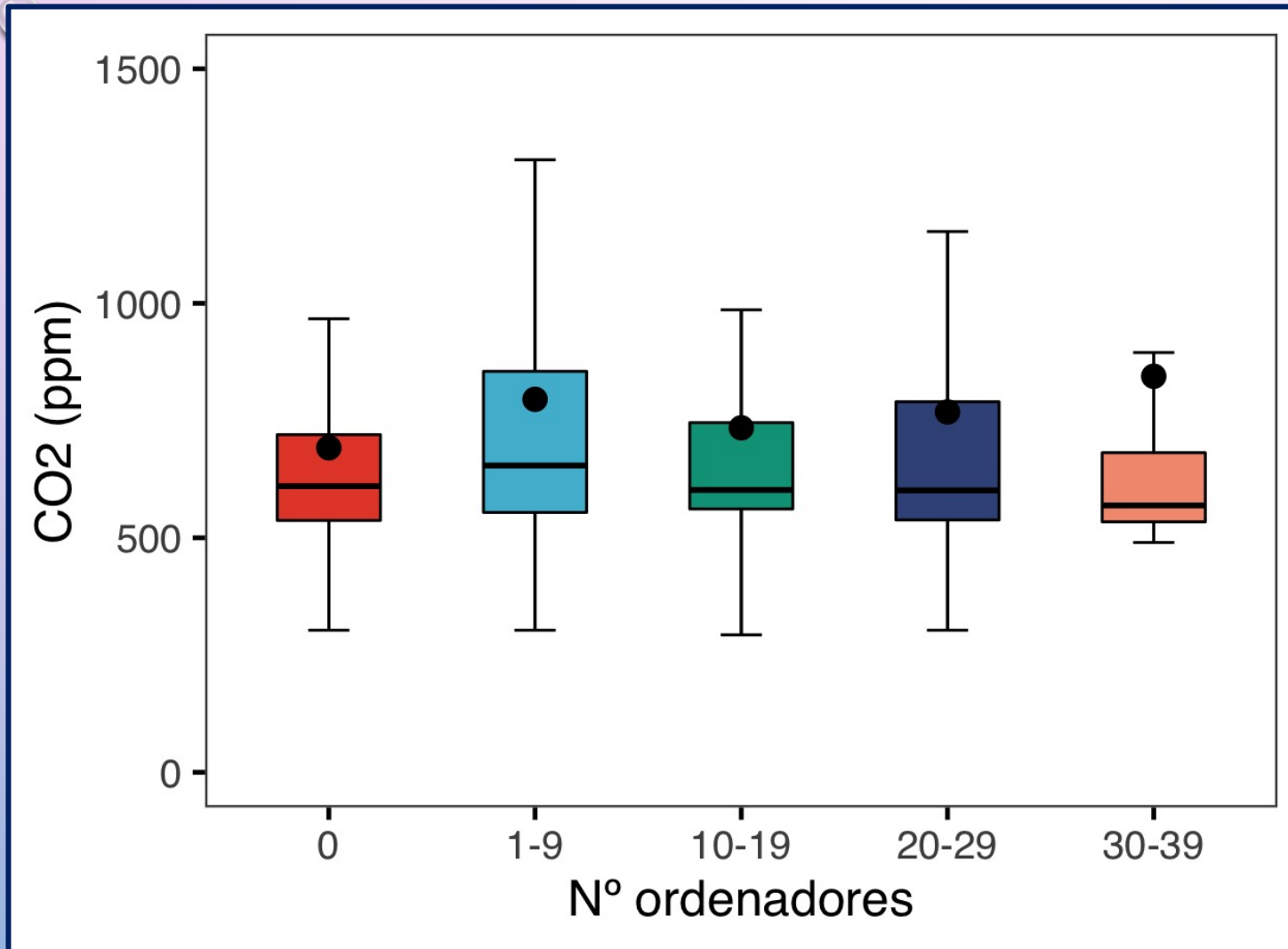
**EVOLUCIÓN DEL CO₂
ESTUDIANDO LAS VARIABLES
INDEPENDIENTEMENTE**

VALORES MEDIOS DE CO₂ EN FUNCIÓN DEL NÚMERO DE PERSONAS



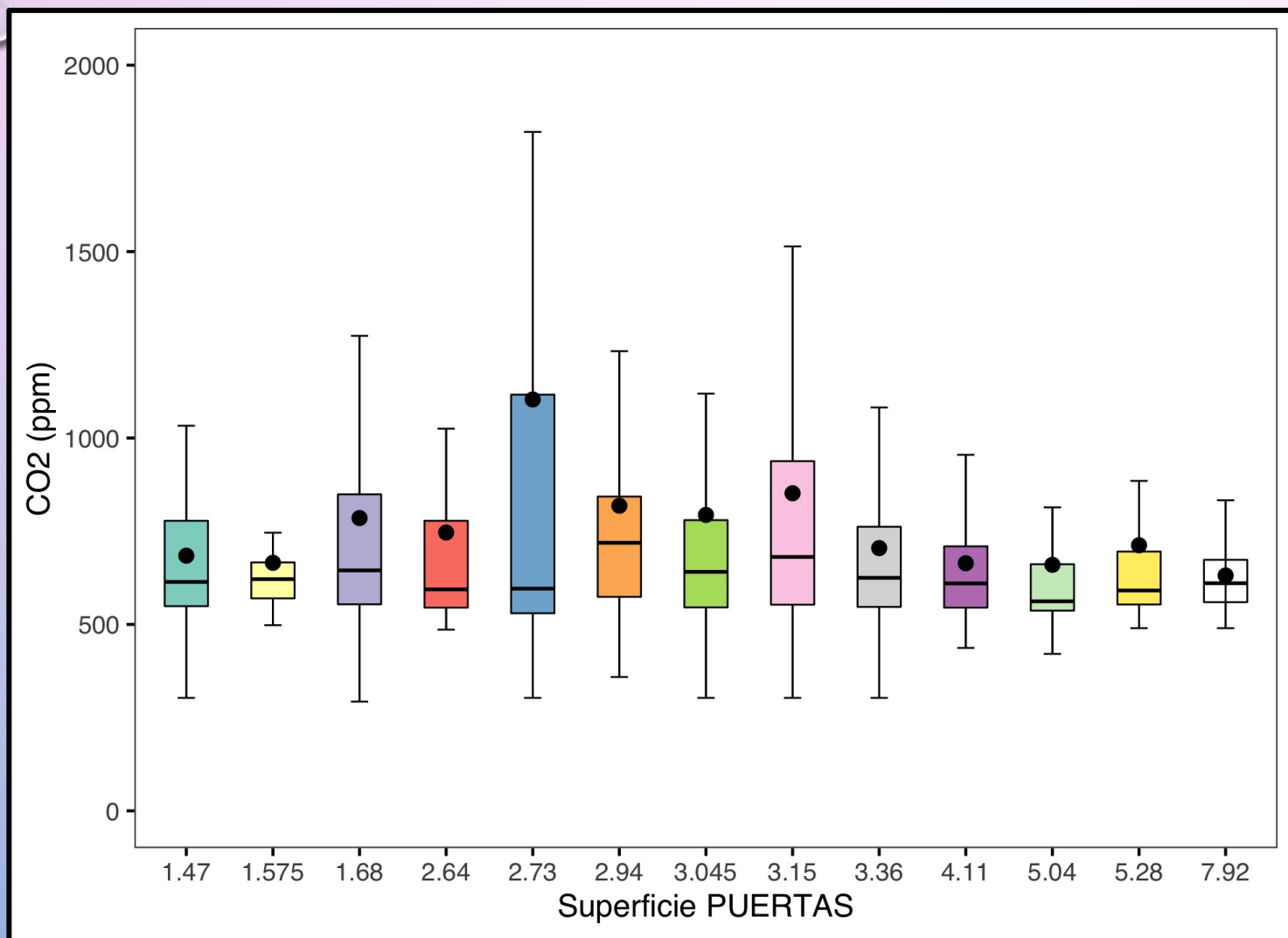
N_Pers.	CO ₂	Grupos
25-30	830.842	a
15-19	822.319	a
20-24	793.029	ab
10-14	765.436	abc
5-9	719.024	bc
1-4	713.592	c

VALORES MEDIOS DE CO₂ EN FUNCIÓN DEL NÚMERO DE ORDENADORES



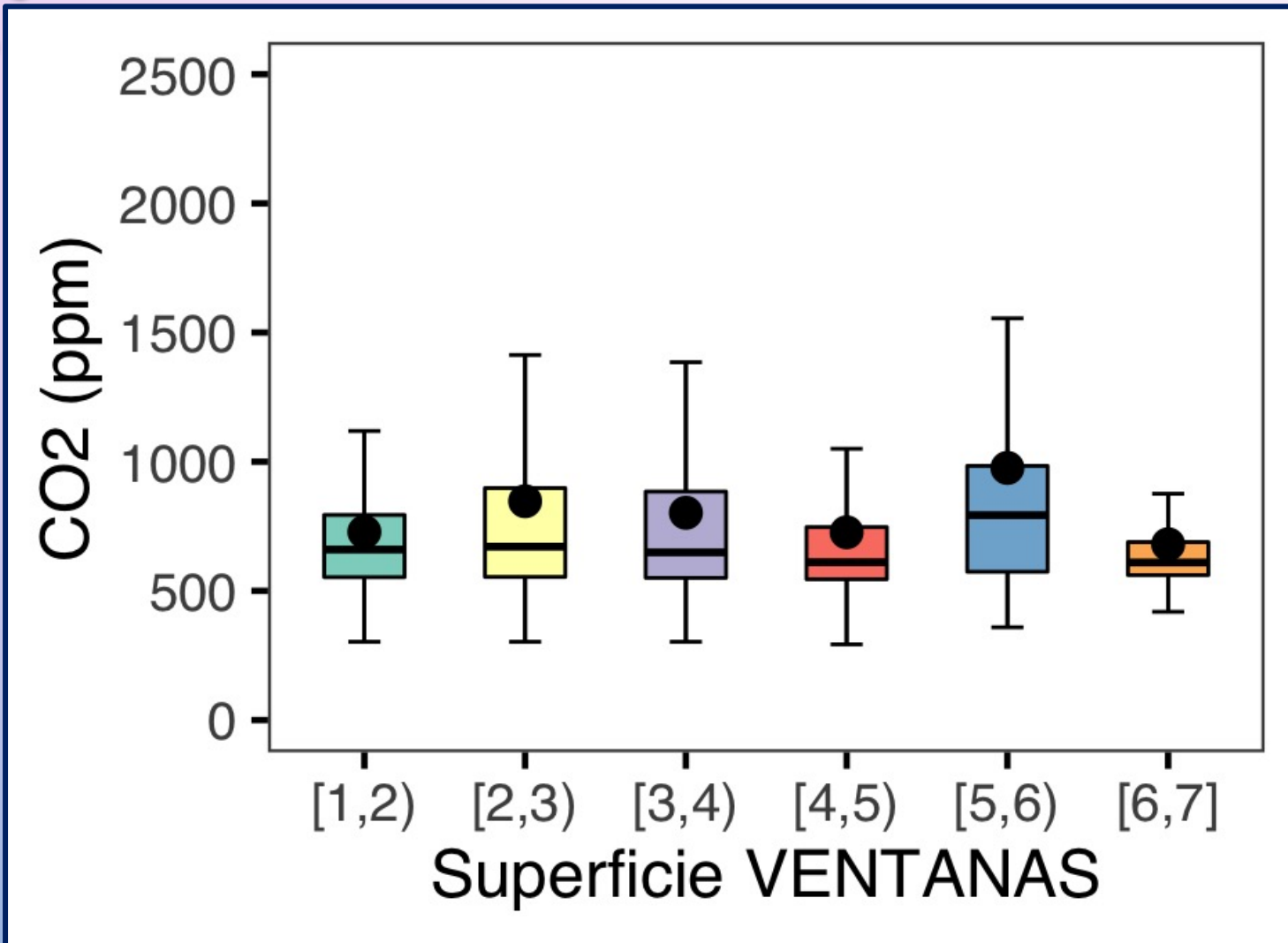
N_Ordenadores	CO ₂	Grupos
30-39	844.497	a
1-9	795.250	a
20-29	768.248	a
10-19	734.488	a
0	691.970	a

VALORES MEDIOS DE CO₂ EN FUNCIÓN DE SUPERFICIE SALIDA AIRE PUERTAS



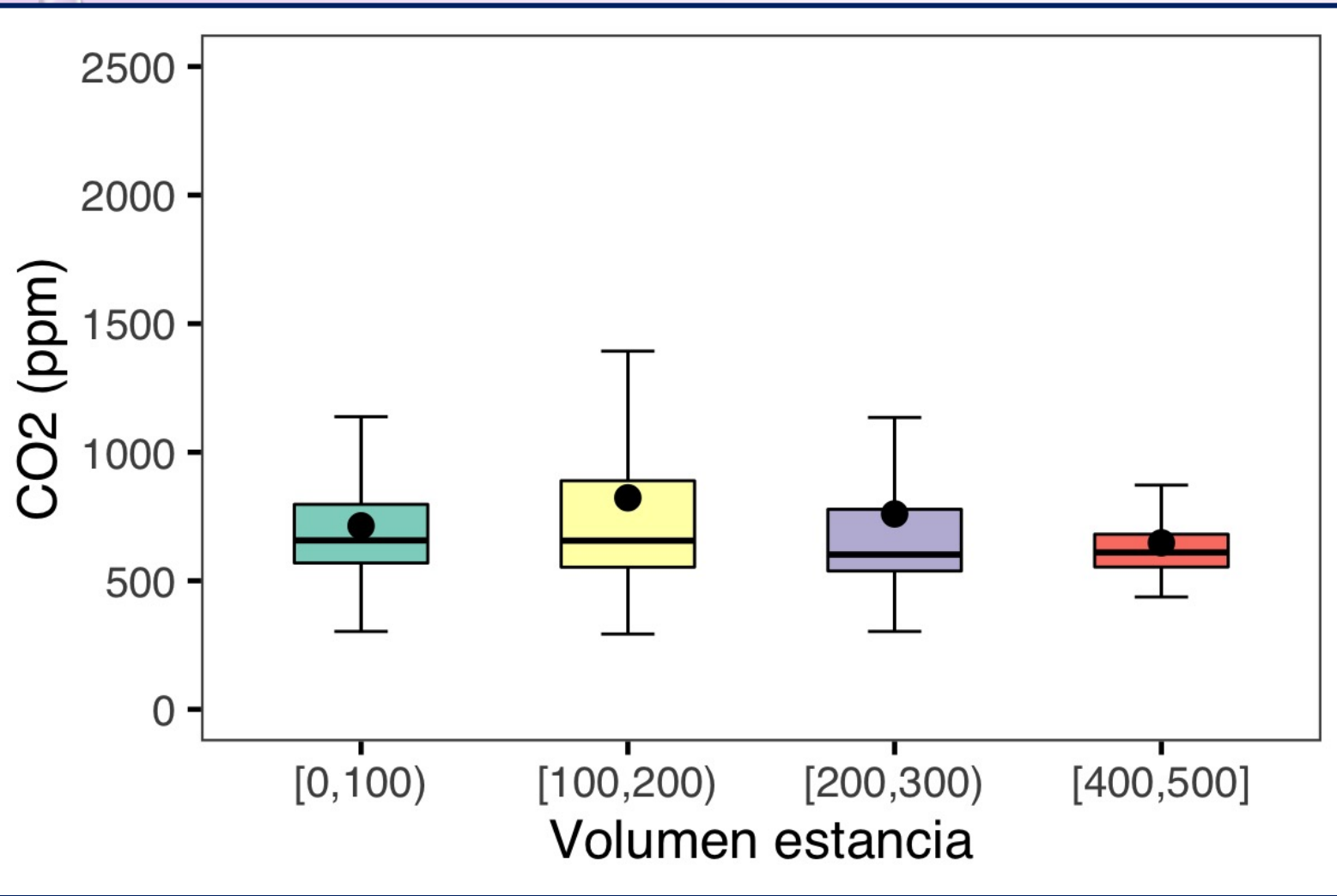
Superf. (m ²)	CO ₂	Grupos
2.73	1103.378	a
3.15	851.832	b
2.94	818.410	bc
3.045	793.780	bcd
1.68	785.330	cd
2.64	746.541	cd
5.28	712.358	cd
3.36	704.724	cd
1.47	684.373	cd
1.575	665.302	cd
4.11	664.117	cd
5.04	659.970	cd
7.92	631.277	d

VALORES MEDIOS DE CO₂ EN EN FUNCIÓN DE SUPERFICIE ENTRADA DE AIRE VENTANAS



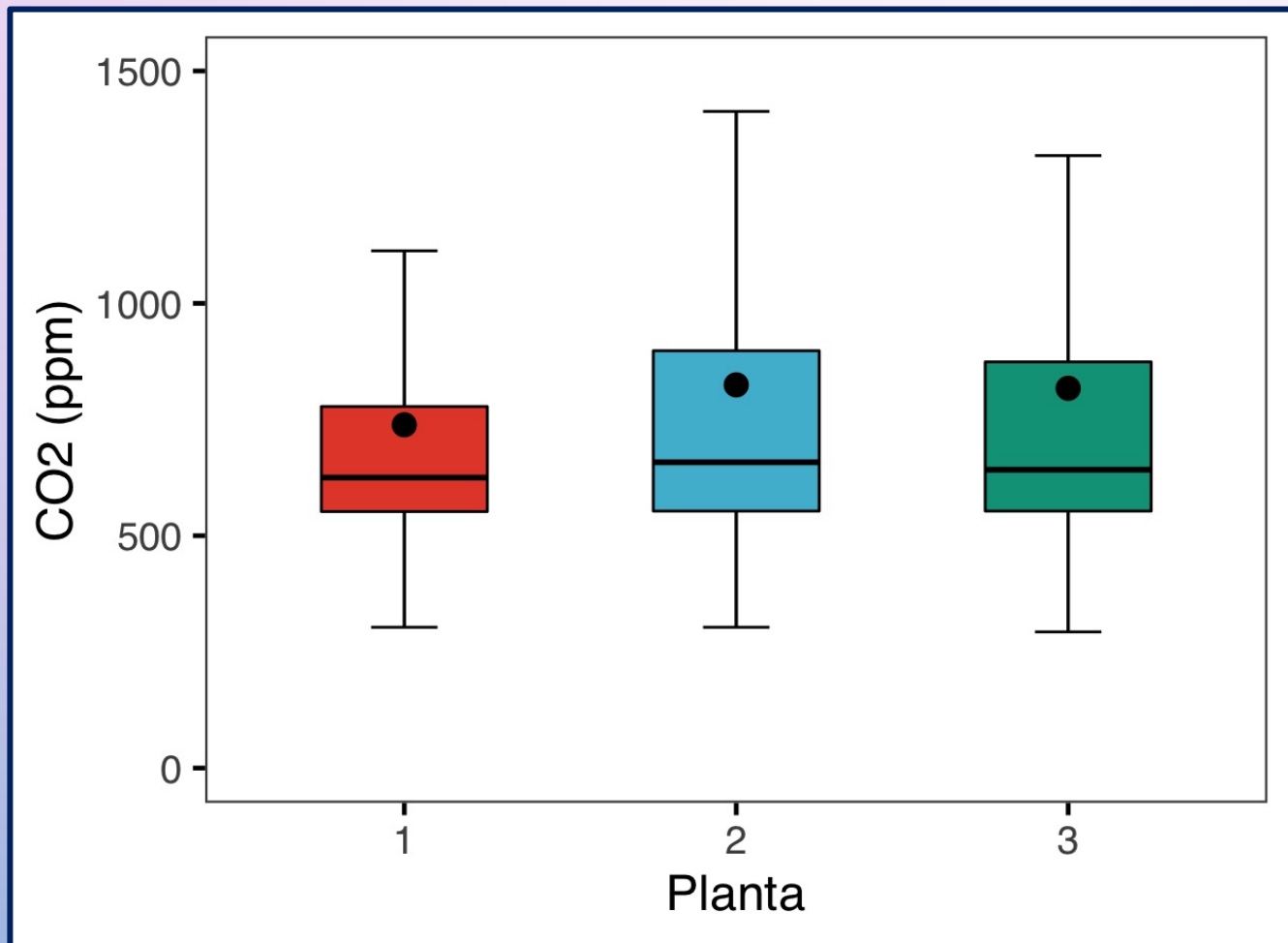
Superf (m ²)	CO ₂	Grupos
[5, 6)	976.032	a
[2, 3)	847.094	ab
[3, 4)	802.391	b
[1, 2)	728.298	c
[4, 5)	726.758	c
[6, 7]	680.382	c

VALORES MEDIOS DE CO₂ EN FUNCIÓN DE 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

VALORES MEDIOS DE CO₂ EN FUNCIÓN 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

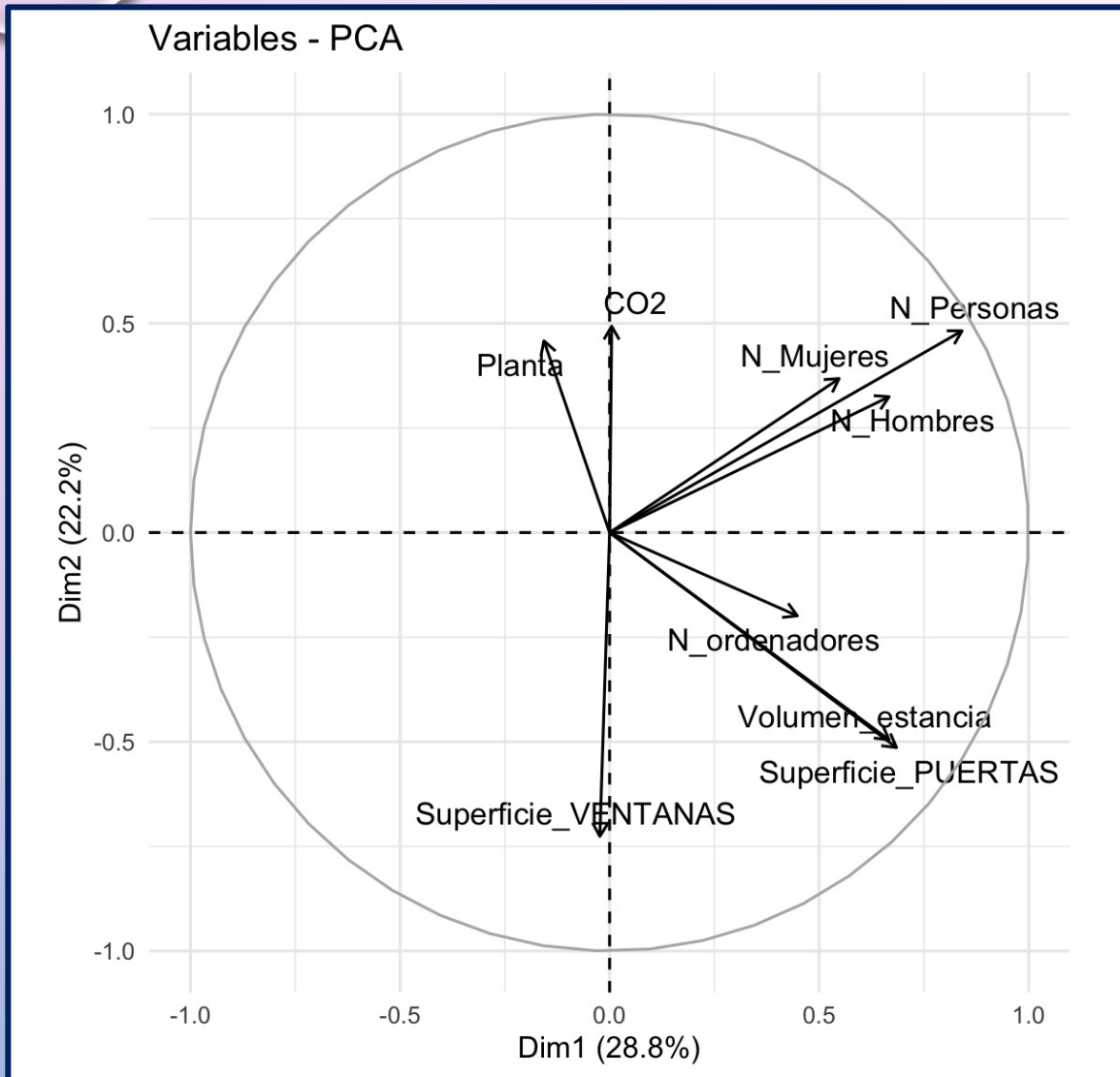


ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES

PCA

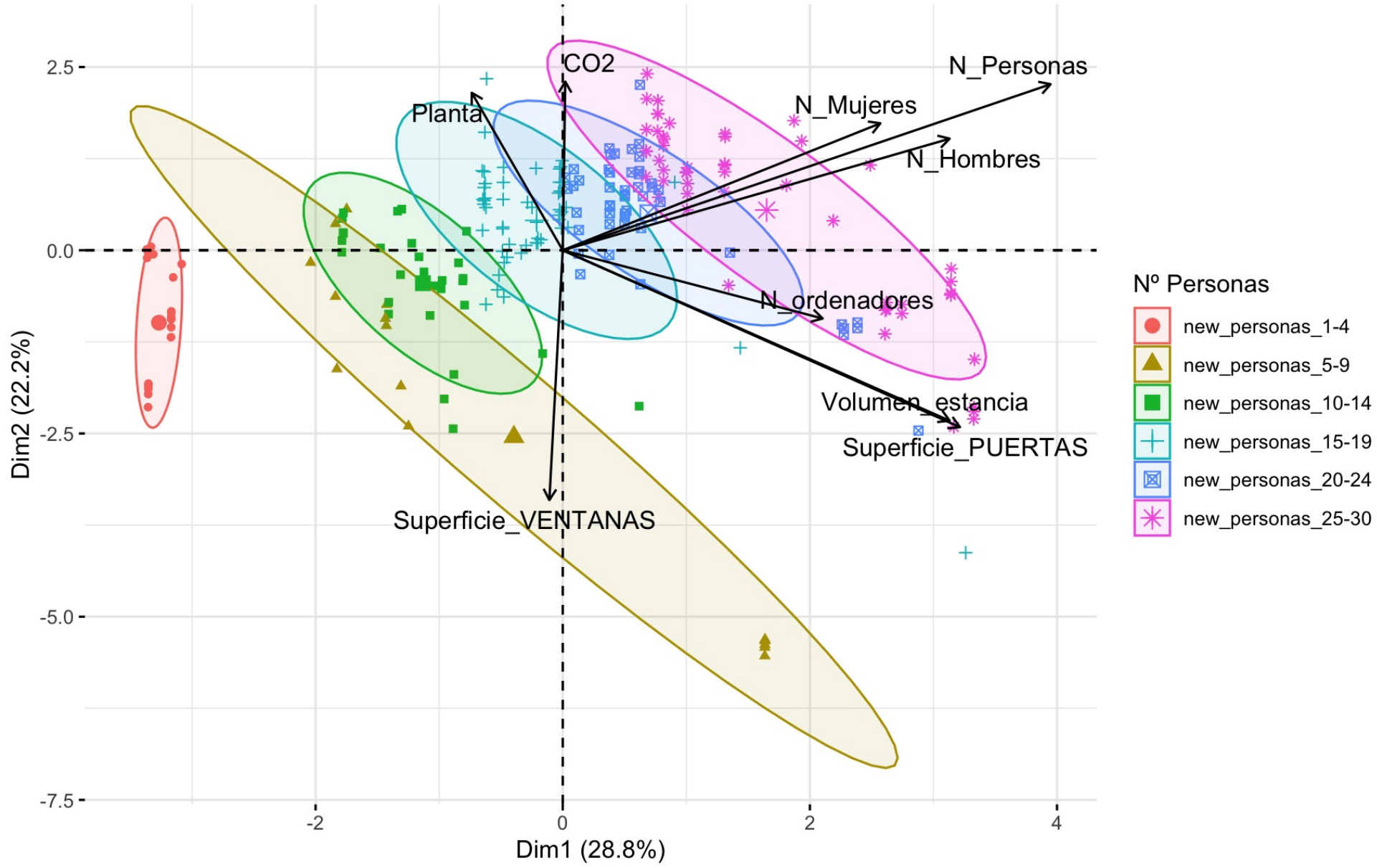
Estudio de la interrelación de las
variables estudiadas



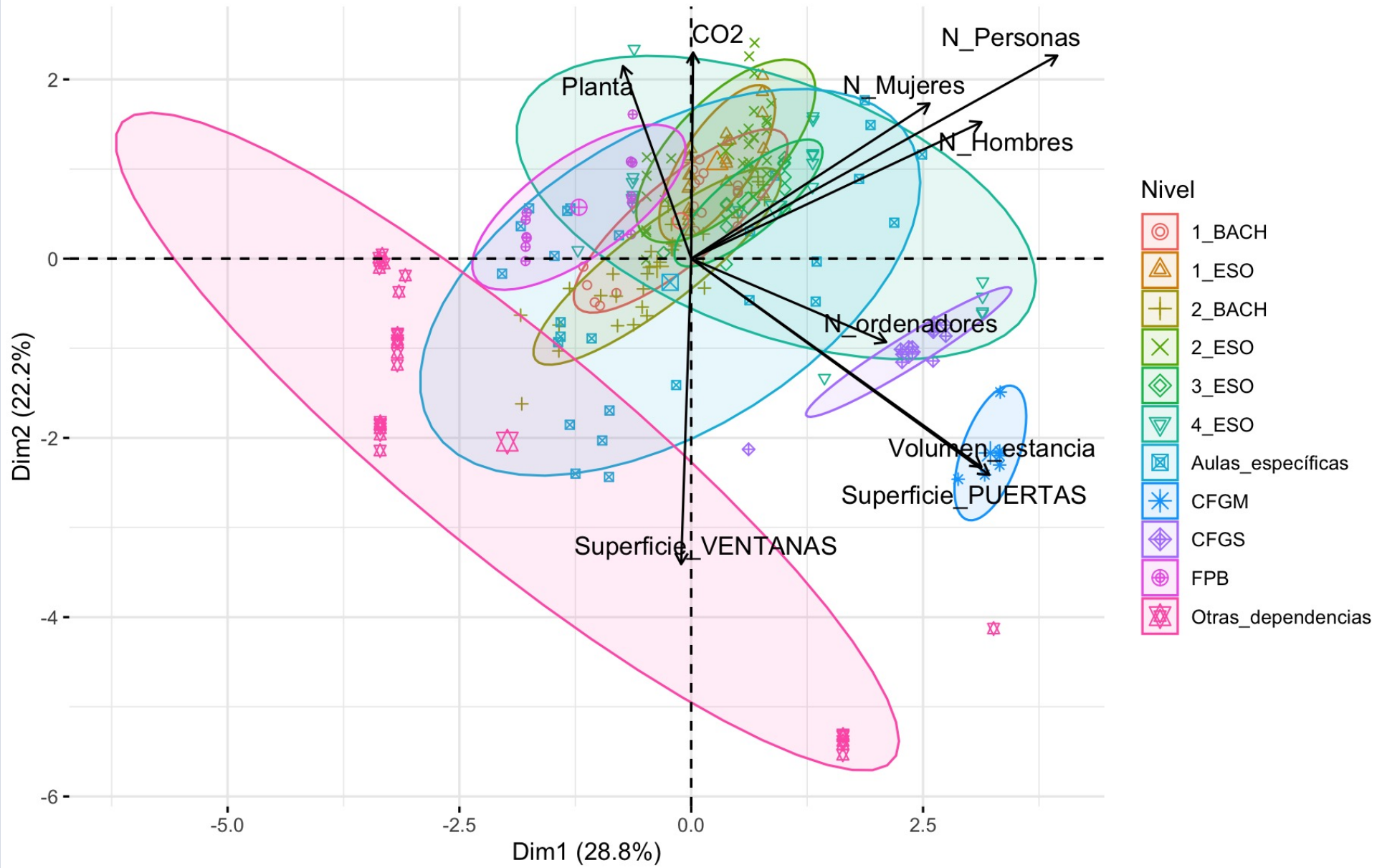


Variable	correlation	p.value
CO2	4.93113e-01	8.05729e-15
N_Personas	4.82139e-01	3.77859e-14
Planta	4.58091e-01	9.26255e-13
N_Mujeres	3.68007e-01	1.98767e-08
N_Hombres	3.24688e-01	9.05412e-07
N_ordenadores	-1.98915e-01	3.11228e-03
Volumen_estancia	-4.95231e-01	5.94198e-15
Superficie_PUERTAS	-5.13812e-01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

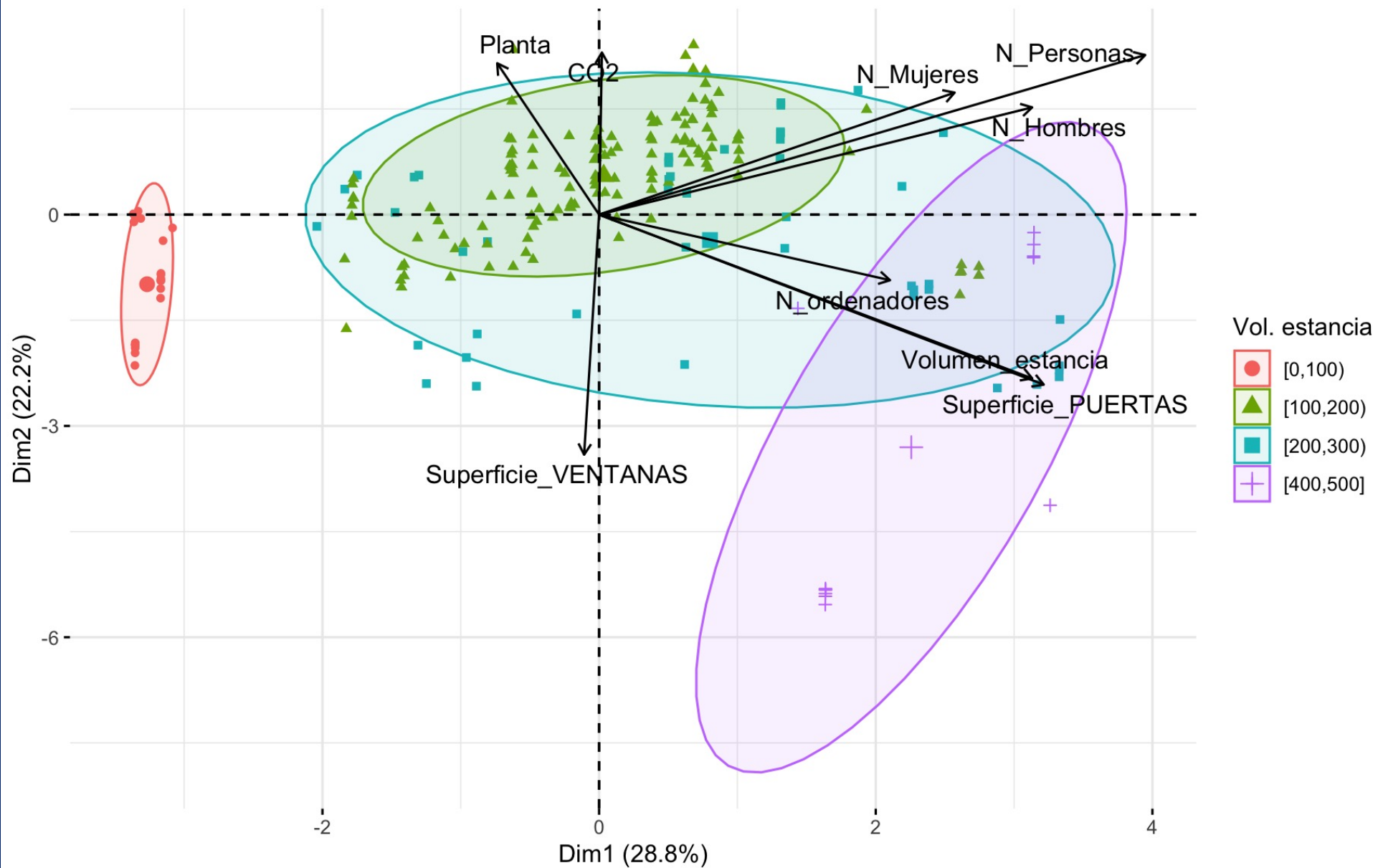
PCA - Biplot



PCA - Biplot



PCA - Biplot



CONCLUSIONES

1.- Los valores medios de ACH objetivo por hora para cada una de las estancias de nuestro centro son elevados. Un aspecto importante es la hora de la jornada educativa, las tres primeras horas de la jornada son menos propensas a acumular CO_2 , siendo las horas posteriores al recreo las que presentan concentraciones más elevadas. En cualquier caso, solo en el 25 % del tiempo que dura la jornada escolar se alcanzan valores altos de las concentraciones de CO_2 exhalado y que se corresponden con mayor concentración de aerosoles en el ambiente, por lo que las pautas ventilación establecidas en el centro necesitaría de ajustes adicionales teniendo en cuenta las particularidades concretas de cada estancia y hora de la jornada educativa.

2.- Si ordenamos de mayor a menor los valores de CO_2 acumulado en las clases, se observa relación inversa entre la edad del alumnado y la acumulación de CO_2 en el aula, ya que los grupos de 1º ESO y 2º ESO mostraron los valores más altos de CO_2 mientras que 2o B ACH, CFGM y CFGS los valores más bajos, y por tanto la media de renovaciones de aire necesarias objetivo sería mayor en los niveles de 1º, 2º y 3º ESO. La presencia de ordenadores no tiene influencia en las concentraciones de CO_2 determinadas en las estancias donde los ordenadores estaban ubicados.

3.- La distribución de los valores medios de CO_2 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 CO_2 y el polideportivo por sus bajas concentraciones de CO_2 . En otras dependencias la mayor parte de la jornada escolar el CO_2 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 CO_2 en estado estable. Por el contrario, conserjería es la que más CO_2 acumula.

4.- La variable que más contribuye positivamente a la concentración de CO_2 es el número de personas. Es decir, la concentración de CO_2 en una estancia depende principalmente del número de ocupantes de esta. La variable número de personas es la primera que debería tenerse en cuenta 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 CO_2 . Por el contrario, las variables que afectan disminuyendo la concentración de CO_2 y que tienen correlación negativa con esta son las siguientes por orden de importancia: superficie de ventanas, superficie de puertas y volumen de la estancia. 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.

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.
- BERENGUER, 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/>.
- JOSEPH ALLEN, JACK SPENGLER, EMILY JONES, JOSE CEDENO-LAURENT. *Harvard Healthy Buildings program* URL <http://www.ForHealth.org>

MUCHAS GRACIAS