

Projecte d'investigació

Estudi de la ventilació i la sonoritat de les aules del centre

Assignatura:

Ciències Aplicades a l'Activitat Professional de 4t de l'ESO

Alumnat que ha participat: Pablo Cimbalo. Ainhoa Romero. Lea Serra. Matea Serra. Liam Brooker. José Ramón Escrivá. Mohamed Mezouar. Lucia Morant. Juan José Parrilla. Borja Valle.

Professor que coordina el treball: Salvador Lorente i Carbonell

Índex

- 1. Antecedents del projecte**
(pàgina 3)
- 2. Desenvolupament del projecte**
(pàgina 5)
- 3. Procediment i pla de treball**
(pàgina 7)
- 4. Dades obtingudes i anàlisi**
(pàgina 10)
- 5. Conclusions**
(pàgina 15)
- 6. Camp de validesa de l'estudi**
(pàgina 17)
- 7. Referències**
(pàgina 18)

1. Antecedents del projecte

Actualment la humanitat té un problema gran per a la salut, el COVID-19.

La causa del COVID-19 és una família de virus que donen lloc a infeccions, a les persones, que originen problemes greus de salut, fins i tot donen lloc a la mort. Aquesta malaltia es transmet amb facilitat, la qual cosa origina que siga considerada una pandèmia. Aquest coronavirus es pot propagar a través de micropartícules, gotetes xicotetes en suspensió, anomenades aerosols, que es produeixen quan una persona respira. Les partícules de virus poden estar en suspensió fins arribar altres éssers vius que les respiren, donant lloc al contagi. Al nostre IES Joan Fuster hem adoptat unes mesures per impedir i controlar la propagació del corona virus, com per exemple l'ús obligatori de mascaretes, l'entrada i eixida escalonada de l'alumnat, l'assignació d'aules adequades a grups en funció del nombre d'alumnat, la distància mínima de les taules i la ventilació de les aules. Aquestes mesures són indicades per la Generalitat d'Educació i aplicades per la direcció del nostre centre.

Una d'aquestes mesures és la ventilació adequada de les aules durant les classes. Aquesta mesura és important, per evitar el contagi, ja que quan una persona que està infectada al parlar o respirar està constantment emetent aerosols que contenen virus potencialment infectius; la major concentració d'aquests aerosols està just davant de la persona i disminueix a mesura que augmenta la distància, per això és tan important mantenir la distància física i l'ús de mascaretes adequades. En llocs tancats, sense ventilació, els aerosols s'acumulen i poden causar contagi a distàncies majors a dos metres de la persona infectada.

El especialista afirmen que cal ventilar de forma efectiva els espais per disminuir el risc de contagi a través de la inhalació dels aerosols que es van acumulant en l'ambient. Amb aquesta finalitat, al nostre centre, es mantenen obertes les portes i finestres de les aules durant les classes.

D'altra banda, l'obertura de finestres i portes implica un altre tipus de problemes, com la climatització de les aules i l'augment del nivell de sorolls externs. Així, per exemple, durant l'hivern l'alumnat tenia fred a les aules i la calefacció dels espais era deficient. Per la qual cosa, intentaven aplicar mesures per fer compatibles la ventilació amb la climatització de les aules, obrint finestres a l'inici i final de la classe, controlant el període d'obertura i tancament de finestres. Fins i tot, l'alumnat portava robes d'abric durant les classes, cosa que dificulta la seua comoditat.

Però, com avaluar el nivell de ventilació en les aules del centre?

La ventilació d'una aula és un tema molt tècnic i és difícil de mesurar, però la mesura de la concentració de CO₂ és un indicador molt útil per avaluar la ventilació dels espais habitats.

El diòxid de carboni (CO₂) és un gas que s'emet en l'exhalació al respirar. A l'exterior, la seua concentració és propera als 440 ppm (parts per milió) i és aproximadament constant, el que serveix com a referència. Quan un espai està ocupat per persones, el CO₂ es va acumulant i augmenta la seua concentració. Per això, la variació de la concentració del diòxid de carboni ens indica la eficàcia de renovació de l'aire de l'aula. Els investigadors recomanen que el nivell de CO₂, en un espai, no supere els 800 ppm, concentració que indica que l'espai està prou saturat de diòxid de carboni i és molt favorable a la propagació del virus.

Primera pregunta clau:

Per avaluar la eficàcia de les mesures de ventilació aplicades al nostre centre ens preguntem:

Com varia la concentració del diòxid de carboni durant les classes?

L'estudi d'aquesta variació ens permet valorar si les classes estan adequadament ventilades i investigar quins factors afavoreixen l'adequada ventilació.

Segona pregunta clau:

D'altra banda, al obrir portes i finestres per ventilar, s'incrementa la intensitat de so extern durant les classes. Per això, ens preguntem:

Les mesures de ventilació impliquen un augment considerable del so de les aules?

A fi de respondre, de forma argumentada, a les dos preguntes claus iniciem aquest projecte d'investigació.

3. Desenvolupament del projecte

El nostre grup vol investigar el nivell de ventilació en les aules a fi d'avaluar la possibilitat de transmissió del COVID-19 per via àrea, i les seues possibles conseqüències en la sonoritat de les classes.

S'ha comprovat que en ambients interiors les partícules en suspensió anomenades aerosols són susceptibles de transmetre el virus. Per això, cal investigar el nivell de renovació d'aire en les aules. Considerem que els factors que determinen la possibilitat de contagi a les aules són:

- 1.- Emissió de gasos per respiració de les persones a l'aula. Aquesta quantitat esta relacionada amb el nombre de persones, activitat desenvolupada i dimensions de les aules.
- 2.- Exposició a l'aire saturat. Aquest factor depèn de l'ús de mascaretes (actualment obligat), la distància interpersonal i del grau de ventilació de l'aula.

Objectius:

Els nostres objectius són dobles:

- 1) **Primer objectiu:** Comprovar que la ventilació de l'aire en les aules es adequada durant el desenvolupament de les classes.

Entenem per ventilació la renovació, és a dir, la substitució de l'aire interior per l'aire exterior, lliure de virus. Per això, el nostre centre imposa l'obertura de finestres i portes durant les classes. El nostre grup de treball vol investigar la eficàcia d'aquestes mesures.

Les darreres investigacions recomanen una ventilació eficaç per reduir la possibilitat de contagi de coronavirus. Tanmateix indiquen les següents variables per mesurar-la:

- a) La renovació d'aire per hora (APH). Aquest factor indica el volum d'aire exterior que s'introdueix en l'aula en funció del seu volum per hora. En les aules es mescla l'aire interior amb l'exterior procedent de les finestres i portes obertes.

El nivell de renovació indica la eficàcia en la mescla d'aire interior i exterior. La documentació consultada recomana un nivell de 5 o superior com indicador de una eficaç ventilació que disminueix el risc de contagi.

b) L'evolució del nivell de CO₂ durant el desenvolupament de les classes. L'aire exterior té una concentració aproximada de 440 ppm (parts per milió) a l'espai interior (aules) aquest nivell augmenta a conseqüència dels gasos expulsats per les persones que l'habiten. L'evolució del nivell de CO₂ durant les classes indica si la renovació de l'aire és eficaç.

2) **Segon objectiu.** Comprovar que el nivell de sonoritat durant el desenvolupament de les classes és adequat.

El nostre grup de treball considera que l'apertura de portes i finestres pot donar lloc a un augment de sorolls, durant les classes, la qual cosa interfereix en el seu desenvolupament. Per això, mesurem l'evolució de la intensitat del so a les aules, amb un sonòmetre d'una aplicació per a mòbils. L'anàlisi de les mesures ens permet avaluar l'adequació de la intensitat del so respecte les recomanacions realitzades per organismes oficials. Però, no podem comparar-les amb mesures d'intensitat de so amb portes i finestres tancades de les aules, per no ser possibles realitzar-les en l'actual protocol del COVID-19.

La nostra investigació es concreta en dues hipòtesis a comprovar,

Primera hipòtesi de treball:

La ventilació de les nostres aules és adequada per impedir la transmissió del COVID-19 durant el desenvolupament de les classes.

Segona hipòtesi de treball

L'obertura de portes i finestres implica una intensitat de so inadequada per al correcte desenvolupament de les classes.

4. Procediment i pla de treball

A fi de comprovar les hipòtesis de treball hem planificat les següents activitats.

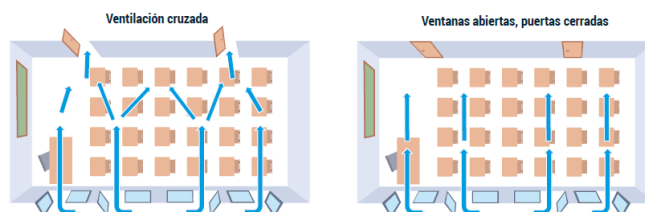
1. Analitzar i establir les variables que considerem adequades mesurar per comprovar les nostres hipòtesis.
El nostre anàlisi inicial de les possibles variables que influeixen en l'evolució de la concentració del diòxid de carboni és:

Variable	Tipus d'influència prevista
Temps	Quan més temps, està l'alumnat a l'aula, major concentració de diòxid de carboni.
Nombre de persones	Quan més persones, ocupen l'aula, major serà l'augment de concentració del diòxid de carboni.
Superfícies obertes a l'exterior	A major superfícies obertes, millor serà la renovació de l'aire i, per tant, menor augment de la concentració de diòxid de carboni durant la classe.
Volum de l'aula	Quan major siga el volum d'aula menor serà l'augment de la concentració del diòxid de carboni.

A més, cal considerar que una major obertura de portes i finestres implicarà un major soroll en les aules.

Com a conseqüència d'aquest anàlisi, considerem que cal mesurar:

- a. Les característiques de l'aula; dimensions, elements de ventilació, temperatura, humitat i nombre de l'alumnat.
- b. El tipus de ventilació a l'aula. Considerar les superfícies utilitzades per renovar l'aire de l'aula i la seua localització (finestres, portes). Per comprovar si la ventilació és creuada o no creuada.




- c. Evolució del nivell de CO₂ durant la classe.
- d. Mesurar la intensitat de so: mínima, mitjana i màxima durant les classes.


2. Dissenyar un full general per recollir les dades a mesurar. Aquest full és el de la figura 1. Per dissenyar aquest full hem considerat quatre blocs d'informació:

- Identificació de la sessió de recollida.
- Característiques de l'aula de recollida: dimensions, elements de ventilació, alumnat i localització, nivell d'intensitat de so.
- Valoració del tipus de ventilació de l'aula.
- Mesures de la concentració de CO₂ durant el desenvolupament de la classe.

Figura 1. Full de recollida de dades amb les variables que considerem rellevants.



Projecte: Com és la ventilació de les nostres aules?
Nivell: 4 ESO
Recollida de dades



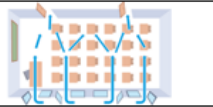
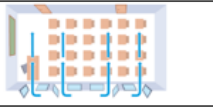
A) Identificació de la sessió

Nom de l'alumnat que recull dades	
Grup de recollida	
Professorat responsable aula	
Aula de recollida	
Data-Hora de recollida	

B) Característiques de l'aula

Ubicació aula	Finestres cara Est o Oest		
	Planta:		
Dimensions aula	Llarga:	Ampla:	altura: 3 m
Volum de l'aula	$V = L \cdot A \cdot a = \dots \text{m}^3$		
Elements de ventilació:	Finestres a l'aula: Superfície finestres obertes: $\dots \times 1,12 \text{ m} = \dots \text{m}^2$ Portes a l'aula: Superfície portes obertes: $\dots (0,8 \times 2,10) \text{ m}^2 = \dots \text{m}^2$		
Temperatura aula			
Humitat aula			
Nivell de sonoritat	Mínima: \dots dB. Mitjana: \dots dB. Màxima: \dots dB		

c) Tipus de ventilació i ubicació de l'aparell de mesura

Nombre alumnat:	Nombre professorat:	Nombre total:
Ventilació creuada	Ventilació oberta	
 		
Renovació de l'aire per hores (ACH) $= \frac{10,4 \cdot (\text{nombre total persones})}{\text{volum aula} (\text{m}^3)} = 50,4 \times \dots = \dots$		
Generació CO ₂ : $\text{ne total persones} \times 0,3 \text{ L/min} = \dots \times 0,3 = \dots \text{ L/min}$		

d) Mesura de l'evolució del CO₂

Nivell exterior: \dots inicial \dots final, mitjana \dots ppm. Aparell de mesura: 1 o 2

Temps /min	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
Nivell CO ₂ / ppm										

3. Planificar un procediment de recollida de dades.

Un grup d'alumnes amb el material necessari fa mesures en diferents aules i diferents dies. La planificació de les mesures a realitzar és:

Data	Hora de recollida	Primer grup	Segon grup
11-05-2021	11,27-12,15	Pablo-Lucía E-14 (1) [†]	Matea -Juanjo E-15 (2)
14-05-2021	11,27-12,15	Ramón – Mohamed E-15 (3)	Matea – Borja E-11 (4)
17-05-2021	8,15 – 9,05	Juanjo – Lucía B2 (5)	Ramón – Lea E20 (6)
21-05-2021	11,27-12,15	Matea – Lucía E-11 (7)	Ramón – Mohamed E-20 (8)
24-05-2021	11,27-12,15	Liam – Matea E-2 (9)	Ainhoa-Juanjo E-5 (10)
25-05-2021	11,27-12,15	Lucía – Pablo E-8 (11)	Matea -Juanjo E-1 (12)
28-05-2021	11,27-12,15	Ramón – Mohamed E-8 (13)	Matea -Juanjo E-11 (14)
28-05-2021	8,15 – 9,05	Lea -Juanjo E-4 (15)	Matea -Ramón E-1 (16)

[†] El número indica la fitxa de registre de l'annex de dades experimentals

En aquest disseny s'ha previst que el nombre d'aules del primer pis (8 aules) siga el mateix que el nombre d'aules del segon pis (8 aules). A més, hem repetit mesures en la mateixa aula a fi de contrastar-les.

4. Material utilitzat en les mesures realitzades.

- Cinta mètrica per mesurar les dimensions de l'aula.
- Aplicació mòbil de sonòmetre, per mesurar la intensitat de so durant el procés de mesura (Manager app).

- Aparells de mesura del CO₂. PCE-CMM8 CO₂ Analyser
 Disposem de dos aparells identificats amb els nombre 1 i 2
 Hem comprovat que un aparell té problemes de mesura, incloent valors elevats per la qual cosa cal equilibrar de forma continua.



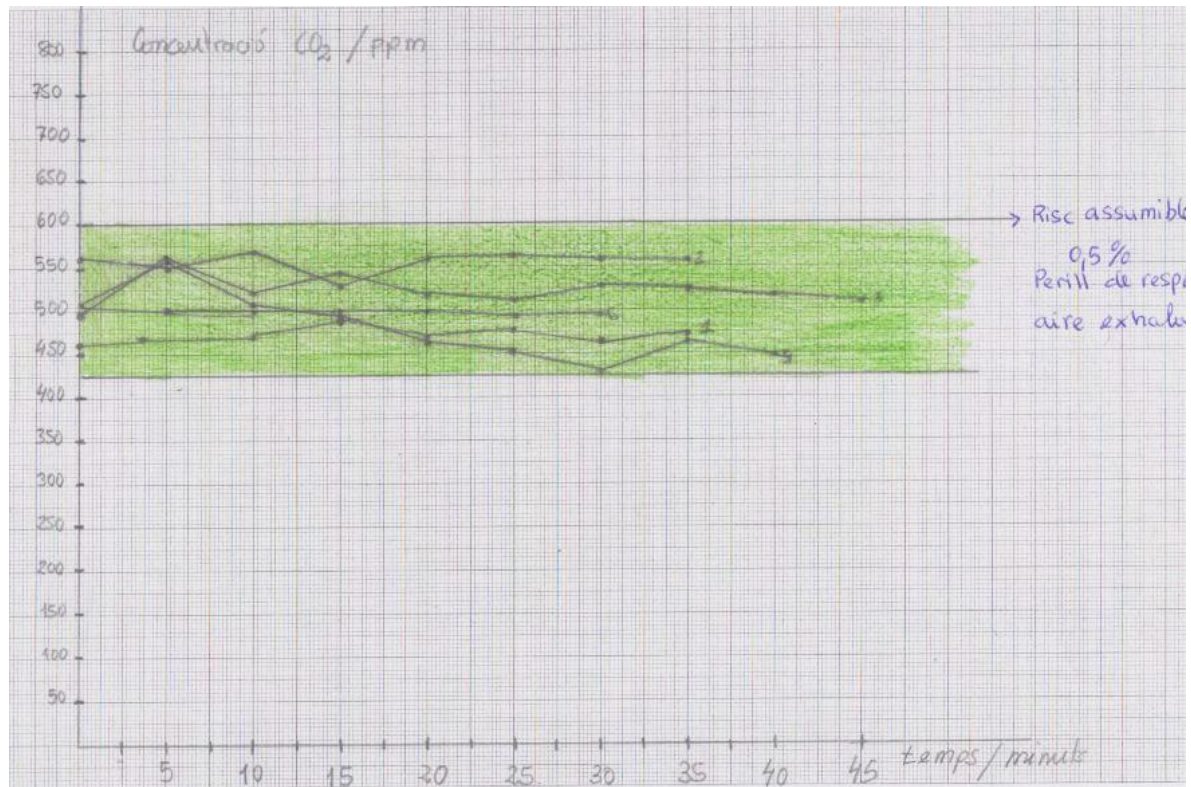
5. Dades obtingudes i anàlisi

Les dades obtingudes són a l'annex 1. Per poder analitzar-les en funció de les nostres hipòtesis hem considerat dos blocs.

Primer bloc d'anàlisi. Dades referents a l'evolució de la concentració del CO₂ durant les classes.

Per valorar l'interval de concentracions de diòxid de carboni durant les classes hem representat les concentracions en ppm en funció del temps i hem remarcat la franja de valors entre els màxims i mínims, figura 2.

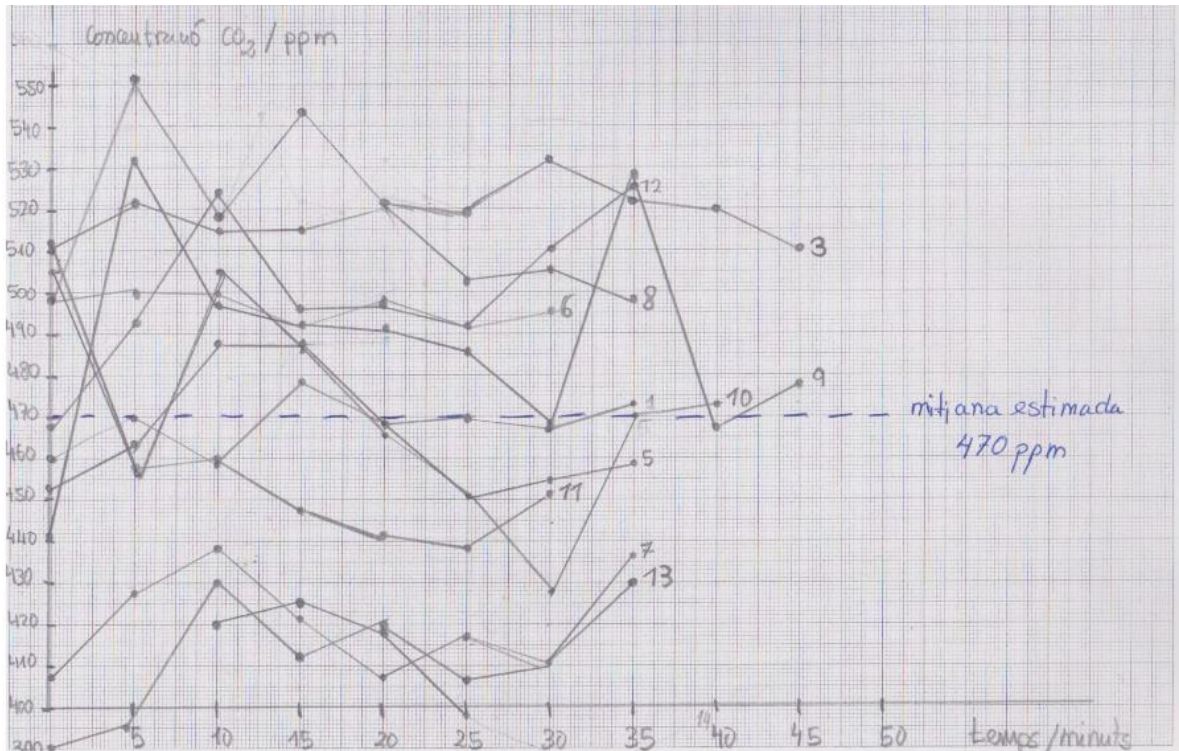
Figura 2. Representació general de la concentració de CO₂ en funció del temps, on remarquen la franja de valors.



Anàlisi. Les concentracions de diòxid de carboni, durant les classes, estan compreses entre un valor mínim de 425 ppm i un valor màxim inferior de 600 ppm (franja remarcada al gràfic). Aquests valors impliquen un risc assumible inferior al 0,5 % de contagi per COVID-19 (segons els estudis consultats, una concentració de 600 ppm de CO₂ implica un risc del 0,5 %)

D'altra banda, per valorar l'evolució de la concentració del diòxid de carboni durant les classes, hem representat els seus valors dins de la franja de variació durant els temps de mesura, figura 3.

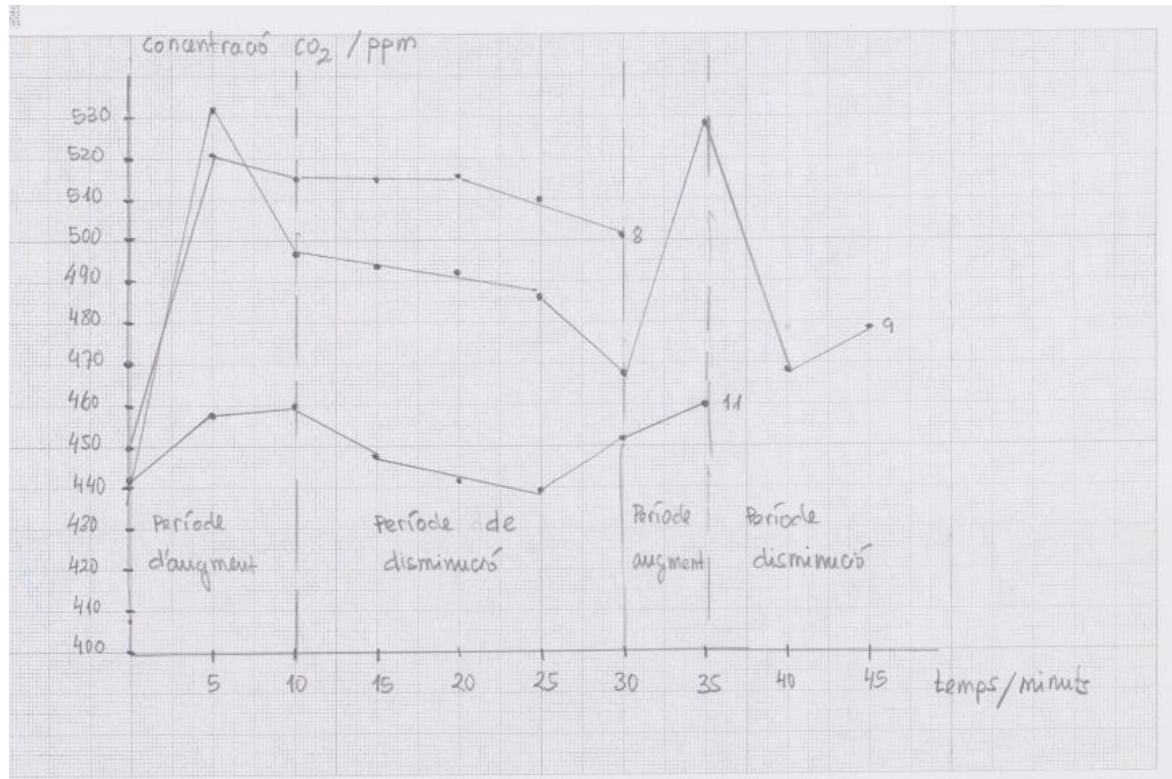
Figura 3. Representació de l'evolució dels valors de concentració en funció del temps de mesura.



Anàlisi. L'evolució de la concentració del CO₂ durant les classes no és uniforme, donant lloc a variacions màximes d'aproximadament 100 ppm (un 20% de la mitjana). La concentració mitjana estimada de CO₂ és de 470 ppm, valor baix que indica l'eficaç renovació de l'aire de les aules i l'escàs perill de contagi per saturació de l'aire.

A fi d'establir un patró en el procés de renovació de l'aire de les aules, hem triat l'evolució de les dades de tres grups (per considera-les més representatives) i les hem representat, figura 4.

Figura 4. Evolució de la concentració del CO₂ en tres grups representatius.



Anàlisi. Les variacions de les concentracions del CO₂ tenen patró general. Un primer període d'augment, d'aproximadament 10 minuts, seguit d'un període de disminució lenta de la concentració, de doble duració. Aquest procés d'augment ràpid i disminució lenta de la concentració del CO₂ es repeteix al llarg de la classe amb intervals de temps menors al llarg de la classe.

Segon bloc d'anàlisi. Dades referents a l'evolució de la intensitat del so durant les classe.

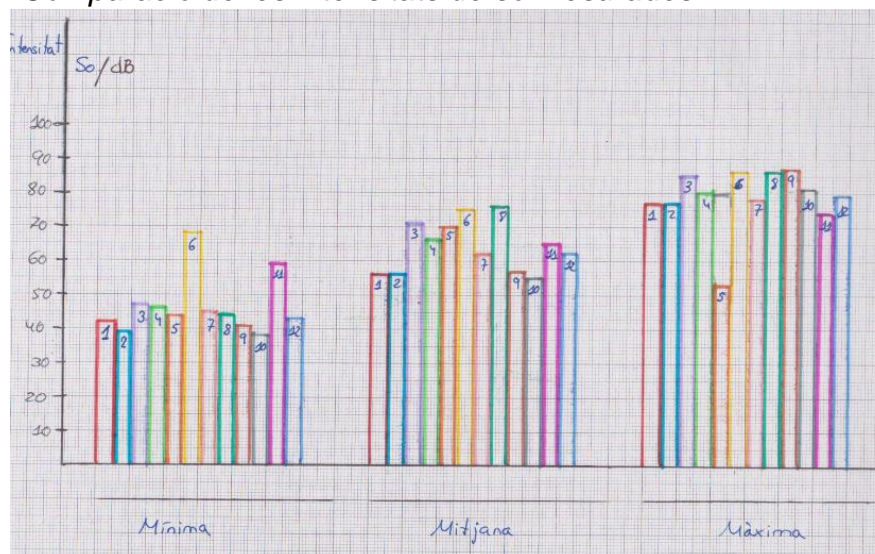
La següent taula (figura 5) recull les dades d'intensitat mesurades, mitjançant una aplicació d'un sonòmetre instal·lat al mòbil. Aquestes dades estan estructurades en valors d'intensitat mínima, mitjana i màxima d'intensitat de so.

Figura 5. Dades de la intensitat de so durant les classes.

REFERÈNCI A	DATA	HORA	AULA	NOMBRE ALUMNAT	INTENSITAT SO/DB		
					MÍNIMA	MITJANA	MÀXIMA
1	11-5-21	11-12	E-14	19	42	56	77
2	11-5-21	11-37 a 12-15	E-15	22	39	56	77
3	14-5-21	11-27 a 12-15	E-13	21	47	71	85
4	14-5-21	11-27 a 12-15	E-11	18	41	60	78
5	17-5-21	8-15 a 9-05	B2	21	44	70	83
6	18-5-21	11-27 a 12-15	E-20	14	68	75	86
7	21-5-21	11-27 a 12-15	E-11	18	45	62	78
8	21-5-21	11-27 a 12-15	E-20	14	45	76	86
9	24-5-21	8-10 a 9-05	E-5	20	41	57	87
10	24-5-21	8-10 a 9-05	E-2	18	38	55	81
11	25-5-21	11-27 a 12-15	E-9	21	59	65	74
12	25-5-21	11-21 a 12-15	E-1	21	43	62	79
13	28-5-21	11-37 a 12-15	E-11	18	46	66	80
INTENSITAT DE SO					46	64	81

Per poder comparar-les hem representat les dades mitjançant un diagrama de barres, diferenciant les intensitats mínimes, mitjanes i màxima (figura 6).

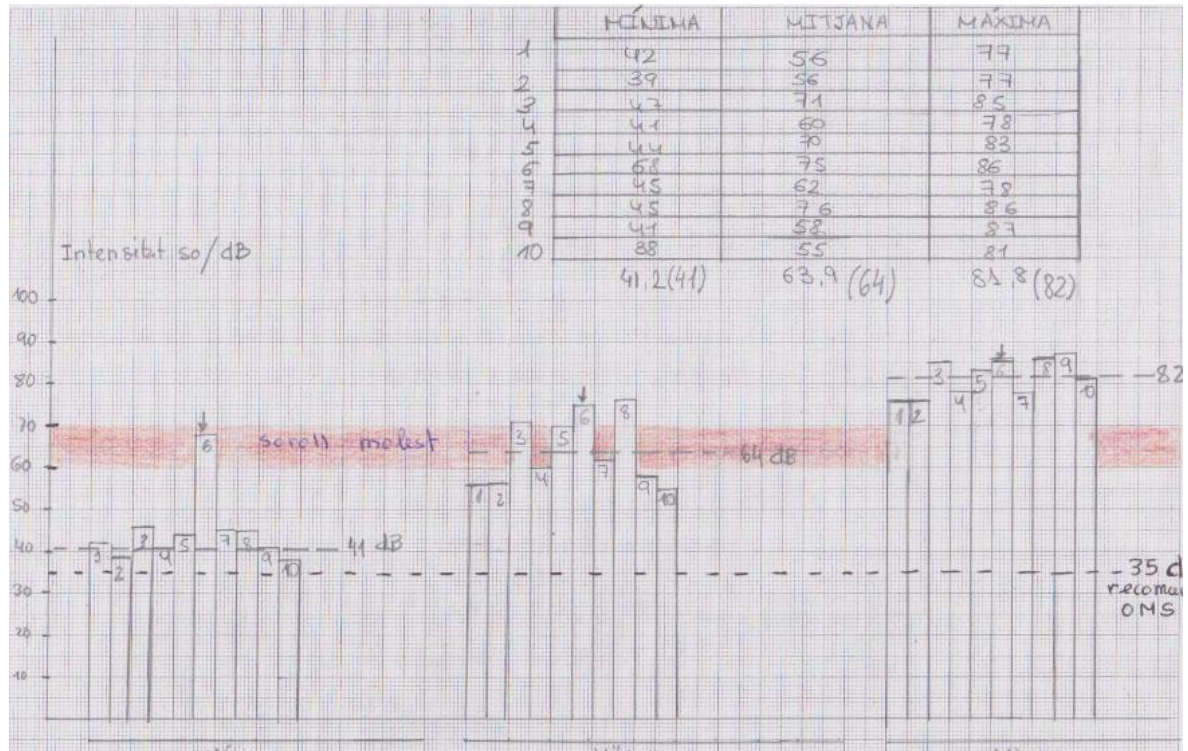
Figura 6. Comparació de les intensitats de so mesurades.



Anàlisi. En general les mesures indiquen que als diferents grups hi ha un patró general d'intensitat de so, si exceptuen la mesura 6.

A fi de valorar el patró general d'intensitats del so hem consultat les recomanacions de l'Organització Mundial de la Salut (OMS), que afirma que una intensitat de 35 dB és l'adequada per treballar a les aules. Tanmateix, les diferents taules consultades afirmen quan la intensitat de so que està entre 60 dB i 70 dB es considerada com un soroll molest per qualsevol activitat. Per poder analitzar les dades en funció de les recomanacions de l'OMS i la franja de so molest, representem les dades indicant el valor d'intensitat adequat i la franja de soroll molest (figura 7).

Figura 7. Representació dels valors d'intensitat amb les recomanacions de l'OMS.



Anàlisi. Cap mesura és inferior als 35 dB, intensitat indicada com adequada en les aules. Durant les classes els valors mitjans d'intensitat, en alguns grups, arriben a la franja de soroll molest (60 dB - 70 dB). Els valors de màxima intensitat en tots el grups superen els 70 dB, soroll molest.

6. Conclusions

Després de formular les hipòtesis, obtindré les dades i analitzar-les, podem establir les següents conclusions.

Respecte a la primera hipòtesi

La ventilació de les nostres aules és adequada per impedir la transmissió del COVID-19 durant el desenvolupament de les classes.

Conclusió

La hipòtesi de treball és correcta donat que hem comprovat que el nivell de CO₂ durant les classes està comprès entre valors mínims de 425 ppm i màxims inferiors a 600 ppm. Aquests valors indiquen que el risc màxim de contagi del COVID-19 per aerosols és inferior al 5 %.

D'altra banda, el factor de mitjana de renovació de l'aire per hores (ACH) que indica:

La renovación de aire se puede denominar por sus siglas en inglés **ACH**, Air Changes per Hour. 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%.

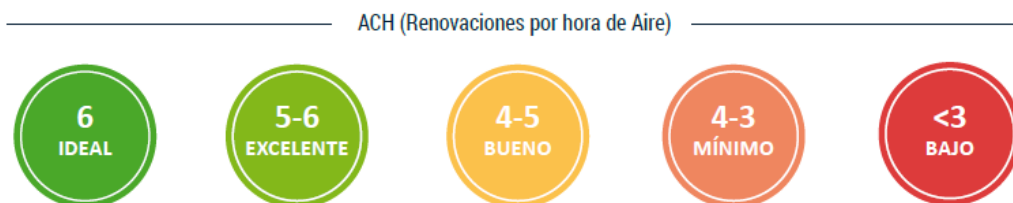
I calculada per la fórmula:

Otra forma de medir la ventilación son los litros de aire por persona y segundo que entran del exterior. Un valor adecuado para reducir riesgo de contagio es **14 litros por persona y segundo**.

La relación entre ambos parámetros es:

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

Té una mitjana de 7, la qual cosa indica l'òptima ventilació de les aules al nostre centre.



Tant sols hem calculat un grup amb un factor de 4, els altres grups tenen un factor major de 5.

Respecte a la segona hipòtesi

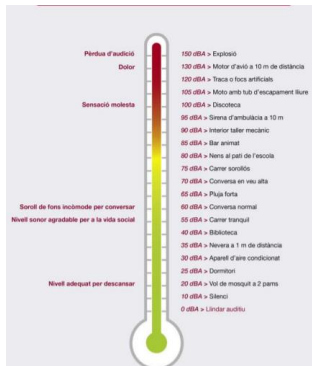
L'obertura de portes i finestres implica una intensitat de so inadequada per al correcte desenvolupament de les classes.

Conclusió

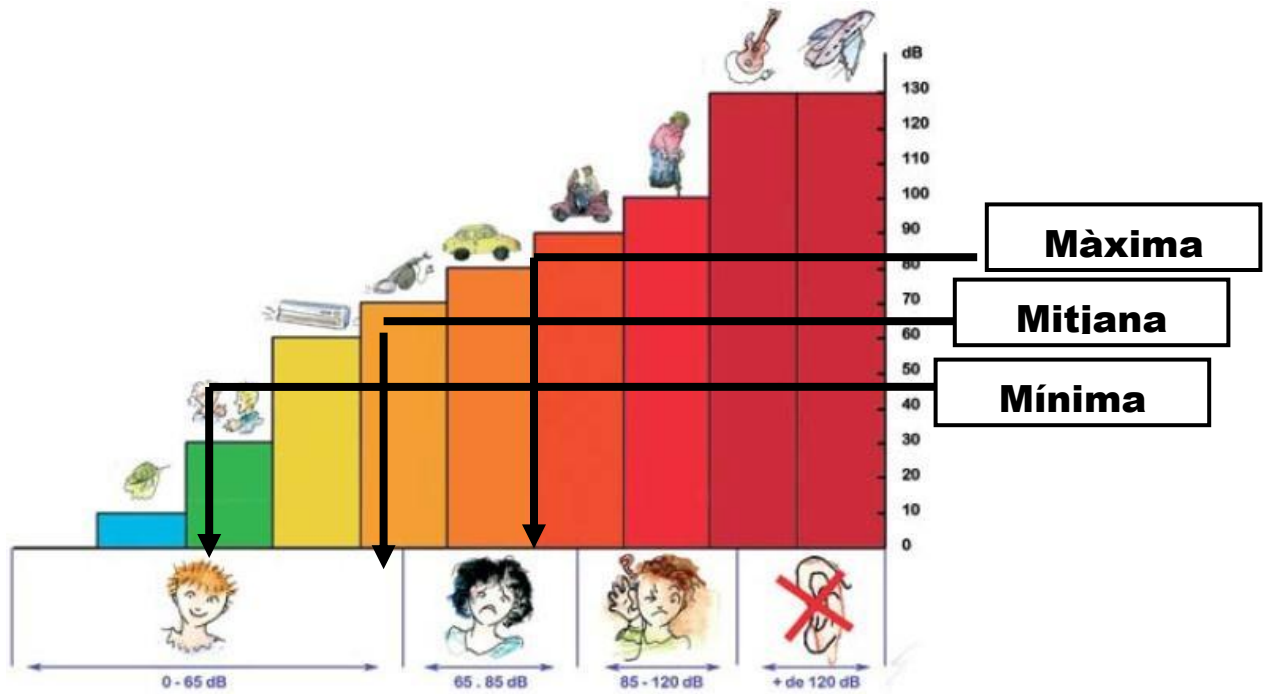
La hipòtesi de treball és correcta donat que tots els grups superen el 35 dB considerada com la intensitat de so adequada a les aules per l'OMS.

A més, les mitjanes calculades són:

Intensitat mínima	Intensitat mitjana	Intensitat màxima
46 dB	64 dB	81 dB



La qual cosa significa que la intensitat mínima està dins d'un conversa normal i és adequada per a una activitat social. Però la intensitat mitjana indica un nivell de soroll que és incòmode per conversar i la intensitat màxima està pròxima a la sensació molesta, la qual cosa impedeix desenvolupar les classes amb el nivell d'atenció adequat.



7. Camp de validesa de l'estudi

Per tal de valorar aquest treball, cal considerar:

- a) Les mesures s'han realitzat en un període de temps (maig) on la temperatura mitjana és superior als 20°C, la qual cosa afavoreix la ventilació (obertura permanent de portes i finestres) i incrementa el soroll de fons.
- b) No he pogut realitzar mesures de contrast per calcular els temps de saturació amb l'alumnat present i les finestres tancades, per respectar els protocols contra la propagació del COVID-19 del nostre centre. No obstant això, el professor Joan Cervera ha realitzat diferents mesures en una aula de 185 m³ amb 13 alumnes i el professor, comprovant que amb portes i finestres (6 m²) obertes l'aula no supera mai els 600 ppm de CO₂. Per saturar l'aula (superar els 600 ppm, límit màxim per fer la prova) cal tancar totes les finestres i portes i esperar 15 minuts. Una vegada saturada l'aula, aquesta tarda uns 10 minuts a recuperar la concentració inicial després d'obrir portes i finestres.
- c) Hem detectat problemes de lectura en un aparell, que indicava valors molts alts. Per la qual cosa, hem rebutjat aquestes lectures i hem calibrat l'aparell diferents vegades. Tot i això, les lectures dels dos aparells no eren sempre coincidents.

Considerem que aquesta investigació cal repetir-la durant un període de temps on les condicions climàtiques siguin més adverses (gener-febrer) a fi de contrastar les nostres conclusions.

Per acabar, cal agrair a l'AMPA del nostre centre per proporcionar els dos aparells de mesura de la concentració de CO₂, sense els quals no es possible aquesta investigació.

Data del final del projecte
Bellreguard, 4 de juny de 2021

8. Referències

TIC

https://www.pce-instruments.com/espanol/instrumento-medida/medidor/medidor-de-co2-pce-instruments-medidor-de-co2-pce-cmm-8-det_5949776.htm

https://www.pce-instruments.com/espanol/instrumento-medida/medidor/medidor-de-co2-pce-instruments-medidor-de-co2-pce-cmm-8-det_5949776.htm

<https://www.lavanguardia.com/ciencia/20210202/6183278/medir-co2-aulas-permite-ajustar-ventilacion-pasar-frio.html>

<https://agora.xtec.cat/inscaterinaalbert/eso/eso-4/estudi-sobre-la-concentracio-del-co2-a-les-aules-del-nostre-institut/>

<https://elpais.com/educacion/2020-11-24/el-experimento-cientifico-de-la-clase-de-tecnologia-que-se-convirtio-en-un-protocolo-de-ventilacion.html>

<https://portal.edu.gva.es/iesvsosbaynat/wp-content/uploads/sites/862/2021/02/Estudi-qualitat-aire.pdf>

<https://www.educaciontrespuntocero.com/tecnologia/comprueba-nivel-de-co2-a-ula-medidores/>