

PROYECTO PILOTO

**EVALUACIÓN DE LA VENTILACIÓN EN LOS EDIFICIOS
DEL CAMPUS DE CIUDAD REAL**

Ciudad Real, 24 de mayo de 2021

Elaborado por:

Dra. Florentina Villanueva. Investigadora Programa INCRECYT del Parque Científico y Tecnológico de Castilla La Mancha.

INDICE DE CONTENIDOS

1. OBJETO DEL SERVICIO	3
2. INTRODUCCIÓN	4
2.1 Tasa de ventilación y concentración de CO ₂	4
3. MEDIDOR DE CO ₂	5
4. METODOLOGÍA.....	7
4.1. Ubicación de los medidores de CO ₂ y registro de datos	8
4.2 Determinación de la concentración de CO ₂ en estado estable.....	9
5. RESULTADOS	10
5.1 Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos	10
5.2 Escuela de Ingeniería Minera e Industrial de Almadén.....	19
5.3. Aulario Polivalente	31
5.4 Facultad de Derecho	50
5.5 Edificio Politécnico	57
5.6 Facultad de Enfermería	72
5.7 Facultad de Medicina	78
5.8 Escuela Superior de Informática	87
5.9 Facultad de Letras	93
5.10 Facultad de Educación.....	100
5.11 Facultad de Ciencias y Tecnologías Químicas	113
5.12 Rectorado	116
6. CONCLUSIONES	118
7. REFERENCIAS Y DOCUMENTOS DE INTERÉS	120

1. OBJETO DEL SERVICIO

El presente estudio tiene como objetivo evaluar la ventilación en aulas de 13 edificios del campus de Ciudad Real clasificadas por la UCLM en tres categorías Tipo A, Tipo B y Tipo C según el sistema de ventilación empleado:

TIPO A (ventilación 100 % forzada): Sistema de climatización por climatizador o rooftop con ventilación y renovación de aire ajustada al 100% mediante free-cooling. Las zonas o salas climatizadas mediante este sistema no requieren ventilación natural por apertura de ventanas o puertas. Aporte de aire exterior de al menos 12,5 litros por segundo y por persona (12,5 l/s/p) según el RITE (RD 1027/ 2007)

TIPO B (ventilación mixta): Sistema de climatización mediante fancoils o unidades “splits” y climatizador con ventilación por aire primario. Las zonas o salas climatizadas mediante este sistema, requieren de aporte extra de aire exterior mediante la apertura de ventanas y puertas, creando flujo de aire durante mínimo 30 minutos: a primera hora, dos veces durante la jornada y a última hora (recomendaciones establecidas por la UCLM)

TIPO C (ventilación natural): Sistema de climatización mediante fancoils, splits o radiadores, sin aporte de ventilación forzada por aire primario exterior. Las zonas o salas climatizadas mediante este sistema, requieren de aporte natural de aire exterior mediante la apertura continua de ventanas y puertas.

Entre los edificios a evaluar hay edificios con un solo sistema de ventilación y otros que presentan aulas de los tres tipos de ventilación. La evaluación de la ventilación en las aulas se ha realizado de forma indirecta midiendo la concentración de CO₂. Para ello, se han empleado medidores de CO₂ instalados de forma temporal en las aulas y siguiéndose la evolución con el tiempo de la concentración de CO₂ durante el periodo de ocupación del aula. Estas aulas se han evaluado tanto en el periodo de exámenes como durante las clases, es decir, desde el 20 de enero hasta el 3 de mayo de 2021. El número total de aulas evaluadas ha sido de 128.

Los objetivos específicos de este estudio piloto en el campus de Ciudad Real son los siguientes:

- 1- Determinar la evolución del CO₂ con el tiempo en cada aula en función de la ocupación y relacionarlo con el sistema de ventilación y las acciones realizadas con las ventanas y las puertas del aula. En las aulas de Tipo A se evaluará si el aporte de aire exterior es suficiente para mantener los niveles de CO₂ exhalados (por los alumnos y el docente) por debajo de lo recomendado en función de las renovaciones de aire por hora (ACH, *air changes per hour*) establecidas. Para ello se seguirá el procedimiento descrito en la Guía de ventilación de las aulas publicada por el CSIC. Además, se podrá evaluar el correcto funcionamiento del sistema de ventilación.
- 2- Calcular la concentración de CO₂ en estado estable teniendo en cuenta los ACH objetivo que se calcularán en función del volumen del aula, la ocupación y los ACH recomendados en la guía de ventilación del CSIC.
- 3- Dar recomendaciones y establecer un nuevo protocolo de ventilación en aquellas aulas de Tipo B o Tipo C en las que sea necesario.
- 4- Elaborar el informe final y conclusiones.

2. INTRODUCCIÓN

En el plan de mediciones empleado se ha tenido en cuenta las recomendaciones recogidas en los siguientes documentos:

- Evaluación del riesgo de la transmisión de SARS-CoV-2 mediante aerosoles. Medidas de prevención y recomendaciones. Ministerio de Sanidad
- Guía para la ventilación en las aulas. CSIC-IDAEA, Ministerio de Ciencia e Innovación y Mesura.

Las medidas correspondientes a la ventilación de los espacios interiores son un complemento a las medidas de prevención como son el uso obligatorio de mascarilla, distancia social e higiene de manos. El riesgo de contagio cero no existe. Todas las medidas aplicadas en conjunto reducen el riesgo, pero no lo eliminan completamente. El riesgo depende, además, de la incidencia de casos en el entorno.

2.1 Tasa de ventilación y concentración de CO₂

La concentración de virus en un espacio cerrado aumenta por la exhalación de una persona enferma que se encuentre en el interior al respirar, hablar, estornudar o toser. El aire exterior está libre de virus, por ello debe renovarse el aire interior que puede estar contaminado con aire exterior, es decir, se deben ventilar los espacios cerrados. La ventilación se refiere a renovación de aire, es decir, sustitución del aire interior, potencialmente contaminado, con aire exterior, libre de virus.

La renovación de aire se puede denominar por sus siglas en inglés ACH (*Air Changes per Hour*). Una renovación por hora (1 ACH) 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 de aire, esto resulta en que el 63% del aire interior ha sido reemplazado por el aire exterior. Con 2 renovaciones (2 ACH) se reemplaza el 86% y con 3 renovaciones (ACH) el 95%.

La ventilación necesaria para reducir el riesgo de contagio depende del volumen de la sala, el número y la edad de los ocupantes, la actividad realizada, la incidencia de casos en la región y el riesgo que se quiera asumir. Las medidas principales para conseguir una ventilación adecuada persiguen alcanzar un número de 5-6 renovaciones por hora (CSIC, 2020).

La renovación del aire puede realizarse eficazmente mediante una instalación mecánica de ventilación o apoyándose en sistemas menos eficientes como la ventilación natural por puertas y ventanas. También mediante la utilización de purificadores de aire con filtros HEPA. La purificación del aire consiste en la eliminación de las partículas en suspensión, susceptibles de contener virus siendo el método más sencillo y eficaz la filtración. Otra forma de medir la ventilación son los litros de aire por persona y segundo que entran del exterior. Un valor adecuado para reducir el riesgo de contagio es 14 litros por persona y segundo (14 L/s/p). Estos valores se pueden ajustar según el riesgo que se quiera o se pueda asumir. Cuanto mejor sea la ventilación, menor es el riesgo de contagio.

Para determinar la ventilación de un espacio se pueden utilizar las medidas de CO₂. En el aire exterior, las concentraciones de CO₂ son aproximadamente 420 ppm (partes por millón, es decir, de cada millón de moléculas de aire, 420 son de CO₂). En ambientes interiores ocupados, las concentraciones de CO₂ son elevadas debido al CO₂ exhalado por las personas. Estas concentraciones se pueden utilizar para calcular la renovación de aire en un espacio y condiciones dadas. Es importante tener en cuenta que se puede establecer un umbral de 800-1000 ppm de concentración de CO₂ que

no debería superarse como garantía de una buena ventilación. Esta concentración de CO₂ está muy lejos de ser perjudicial para la salud humana y sólo debe interpretarse como indicador para la necesidad de ventilación (RD 1027/2007). Este umbral de CO₂ es un indicador de calidad del aire y aunque depende de otros parámetros debería tenerse en cuenta de cara al futuro ya que se ha demostrado que elevadas concentraciones de CO₂ producen aletargamiento y bajo rendimiento. Sin embargo, debido a la transmisión por aerosoles del SARS-CoV-2 y según la comunidad científica, para garantizar una correcta ventilación, los niveles de CO₂ no deberían superar el umbral de 700 ppm (Aireamos, 2021). Cuando se superan las 700 ppm se deben adoptar medidas hasta reducir la concentración (Marr et al., 2020). Dicho de otra manera, se aconseja que el incremento del CO₂ en el interior con respecto al exterior no sea superior a 300 ppm, es decir, si en el exterior hay 400 ppm de CO₂, en el interior no deben superarse las 700 ppm.

Una concentración de 700 ppm significa que el 0.7% del aire que inhalamos ya ha sido respirado por otras personas. Si la concentración es de 800 ppm la cantidad de aire ya respirado crece al 0,98 %. En consecuencia, el riesgo de contagio sería del orden de un 36% superior respecto a un ambiente con 700 ppm. Si bien no parece un nivel alarmante, estos números ya justificarían la adopción de medidas correctoras, teniendo en cuenta además la capacidad de persistencia en el aire del virus (Aireamos, 2021).

3. MEDIDOR DE CO₂

Los medidores de CO₂ empleados en este estudio para evaluar la ventilación son de la marca Aranet4 modelo Pro.

Las características del medidor son las siguientes:

- Tecnología NDIR (Infrarrojo no dispersivo)
- Intervalo de medición 1 minuto
- Medida simultánea de temperatura y humedad relativa
- Precisión de la medición: CO₂ (0-2000 ppm ± 50 ppm); Temperatura: ± 0,4°C; Humedad relativa: ± 3 %.
- Portátiles (sin cables)
- Elevada autonomía

Este medidor se ha seleccionado en base a los estudios de evaluación del funcionamiento de medidores de bajo coste que ha realizado el grupo de sensores de CO₂ de la plataforma AIREAMOS. Estos resultados están recogidos en la guía de medidores de CO₂ disponibles en España (Villanueva et al., 2021)

En la figura 3.1 se muestran los 20 medidores de CO₂ de la marca Aranet4 modelo Pro empleados en el estudio junto con la estación base de descarga de datos mediante wifi y el medidor Delta Ohm empleado como referencia.



Figura 3.1. Medidores de CO₂ Aranet4 Pro junto con la estación base de Aranet y el medidor de referencia Delta Ohm.

En la figura 3.2 se muestra la evolución del CO₂ en el estudio comparativo de los 20 medidores Aranet4 junto con el medidor de referencia Delta Ohm.

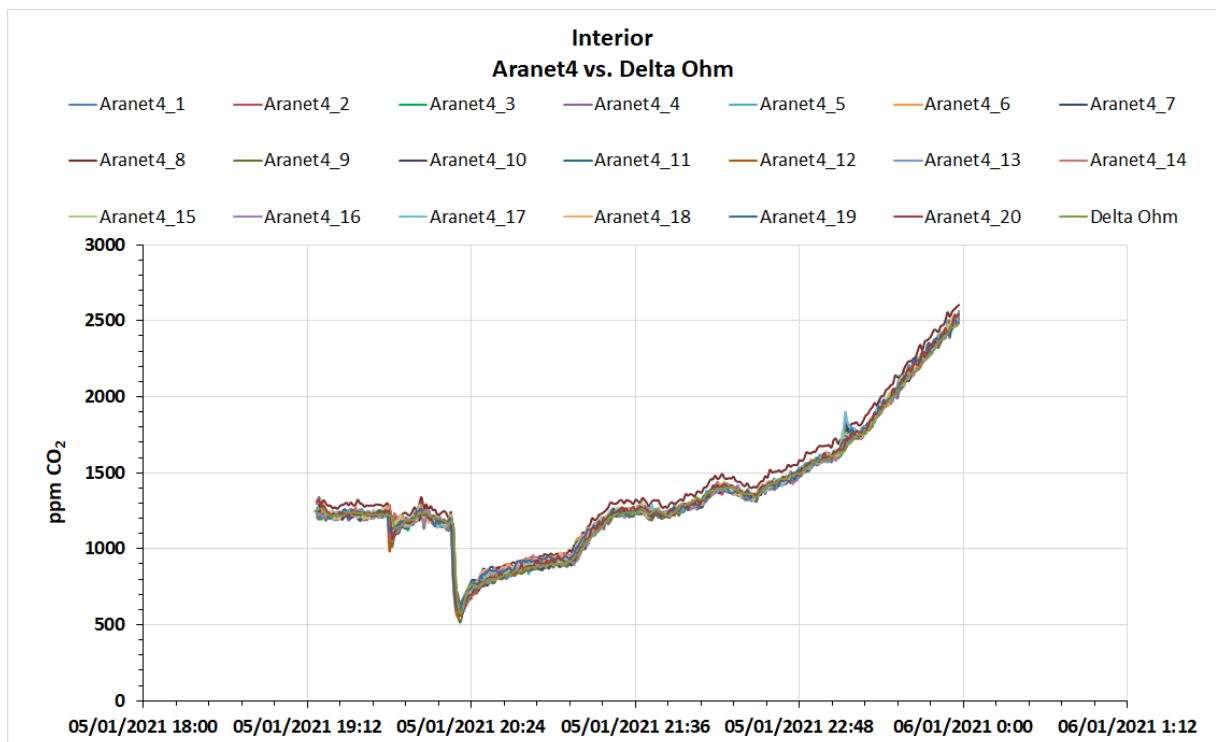


Figura 3.2. Evolución de la concentración de CO₂ con los 20 Aranet4 y el medidor de referencia Delta Ohm

4. METODOLOGÍA

Inicialmente se solicitó información al Vicerrectorado de Economía sobre el número de aulas a evaluar en cada uno de los edificios del campus de Ciudad Real así como los planos con las cotas y la ocupación máxima de cada una. El número de aulas a evaluar inicialmente eran 190, sin embargo, se realizó una selección teniendo en cuenta la orientación dentro de un mismo edificio, la planta, el número de ocupación y el volumen del aula quedando un total de 165 aulas. Finalmente, el número de aulas empleadas habitualmente en el campus en los 13 edificios han sido de 128 entre las que se encuentran aulas que inicialmente no estaban seleccionadas pero que eran de uso habitual. El resto de aulas que no se han evaluado son aulas que no se utilizan habitualmente. El estudio se inició en el periodo de exámenes en distintos edificios como Agrónomos, Aulario, Letras, Enfermería, Informática, Industriales y Educación. Estas aulas posteriormente fueron evaluadas también durante el periodo lectivo. El aula prevista inicialmente para muestrear en el IREC no se ha realizado debido a que no se utiliza de manera habitual, tampoco durante el tiempo que ha durado este estudio se ha usado por lo que finalmente no se ha incluido en el estudio.

La Tabla 4.1 muestra un resumen de los edificios estudiados en el campus de Ciudad Real junto con el número de aulas evaluadas en cada edificio y el tipo de ventilación.

CODIGO	EDIFICIOS	Nº aulas muestreadas	CLASIFICACIÓN
301	Fermín Caballero (Informática)	5	TIPO B y C
301B	Informática- Modulo B	4	TIPO B
302	Facultad de Químicas	3	TIPO A
303	Juan de Mariana-Aulario Polivalente	23	TIPO A, aula semisotano TIPO B
305	José Castillejo-Enfermería	5	TIPO C
306	Lorenzo Luzuriaga-Magisterio	17	TIPO A, B, C
309	Agrónomos	13	TIPO A,B,C
311	Edificio Storr Almadén	7	TIPO C
311D	Aulario Almadén	3	TIPO C
312	Facultad de Letras	10	TIPO A
313A	Rectorado Paraninfo	1	TIPO A
320	Facultad de Derecho	10	TIPO A Y B (seminarios)
342	Facultad de Medicina	13	TIPO B
319	Edificio Politécnico	14	TIPO B y C
TOTAL	13 edificios	128 aulas	

Tabla 4.1. Edificios evaluados en el campus de Ciudad Real junto con el número de aulas y el tipo de ventilación.

La figura 4.1 muestra el porcentaje de aulas evaluadas en cada edificio con respecto al total de aulas evaluadas en los 13 edificios del campus de Ciudad Real. Como puede observarse el mayor número de aulas muestreadas se ha realizado en el aulario Polivalente, seguido de la Facultad de Educación y el Edificio Politécnico.

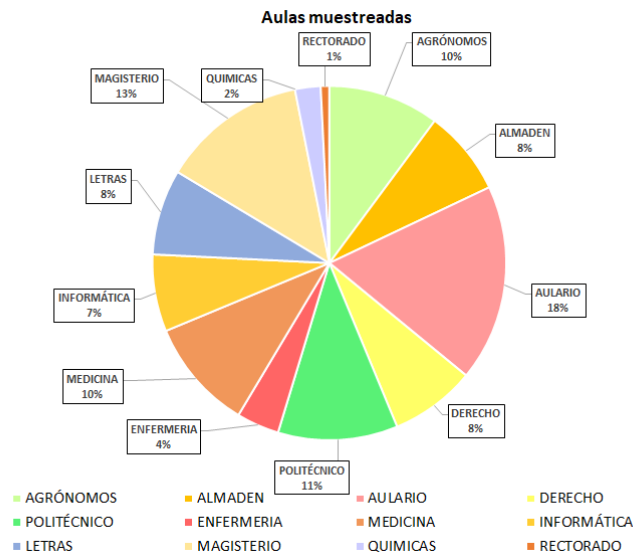


Figura 4.1. Porcentaje de aulas evaluadas en cada edificio respecto al total

4.1. Ubicación de los medidores de CO₂ y registro de datos


Según la norma UNE EN ISO 16000-26 para estancias de hasta 50 m² es suficiente tener un punto de muestreo que debería estar a 1,5 m de altura y a una distancia de, al menos, 1-2 m de las paredes. Para estancias más grandes, se debería disponer de más puntos de muestreo para asegurar que se determinan todos los gradientes de concentración. Esto es importante para determinar la distribución de la ventilación por toda la estancia.

Los medidores de CO₂ se colocaron en una mesa en el centro de las aulas, alejados por tanto de la pared, de las puertas y ventanas y de las personas para no alterar la concentración medida (en el aire exhalado se han medido alrededor de 40000 ppm de CO₂). Dependiendo de las dimensiones del aula se han distribuido de uno a 6 medidores para comprobar que la ventilación estaba distribuida por toda el aula y no quedaba alguna zona exenta de ventilación o en la que se pudiera acumular el CO₂.


El periodo de muestreo ha sido el de ocupación del aula bien en horario de mañana o en horario de tarde. En el caso de la época de exámenes, el periodo de muestreo ha sido la duración del examen.

Por otra parte, se solicitó información a cada centro sobre el horario de exámenes y de clases. También se solicitó información sobre el número de alumnos matriculados en las asignaturas de forma que se pudiera medir el CO₂ en horario de máxima ocupación del aula.

El día del muestreo se entregó una hoja de registro de datos a los profesores en la que se indicaba el día del muestreo, el aula, el tipo de ventilación del aula, la posición del medidor de CO₂ y la situación inicial de puertas y ventanas. Se pidió a los profesores su participación para rellenar la hoja de registro con el número de alumnos por hora, así como de cualquier cambio realizado en las ventanas y puertas durante las clases, anotando siempre la hora a la que se realizaba el cambio. Estas anotaciones son muy importantes para poder reflejarlas en el gráfico de evolución de CO₂ con el tiempo y que se muestran en los resultados ya que nos permiten obtener las conclusiones de la ventilación del aula objeto de estudio. En la figura 4.2 se muestra la hoja de registro de datos empleada en cada aula.



REGISTRO DE DATOS



EDIFICIO/ FACULTAD	
AULA	
MEDIDOR DE CO ₂	
FECHA	
TIPO DE VENTILACIÓN	
Estado Inicial de Puertas y Ventanas	

Indicar en la siguiente tabla:

1- Primera columna: El número de alumnos por hora.
2- Segunda y Tercera columna: El periodo de descanso (si lo hay) en el que no hay alumnos en clase, si se abren o cierran puertas y la hora exacta a la que se abren o se cierran. Anotar también si se abren las ventanas, cuantas ventanas se abren, cuanto se abren y la hora a la que se abren. Lo mismo si se cierran las ventanas

HORA/NUMERO ALUMNOS	HORA (hh:mm)	ACCIÓN (Qué se hace)
Ejemplo: 10:00-11:00/40	Ejemplo: 10:00 10:15	Se abren 4 ventanas en posición abatidas (o se abren 4 ventanas unos 50 cm) Se cierran todas las ventanas

Figura 4.2. Hoja de registro de datos empleada en el estudio piloto

4.2 Determinación de la concentración de CO₂ en estado estable

En las aulas con ventilación Tipo A (ventilación forzada) se ha calculado la concentración de CO₂ en estado estable siguiendo el procedimiento descrito en la guía de ventilación del CSIC (CSIC, 2020). La ecuación empleada ha sido la siguiente:

$$C_{estado\ estable} = \frac{Generación\ de\ CO_2 + Caudal\ aire\ exterior\ objetivo \times C_{exterior\ CO_2} \times 1 \cdot 10^{-6}}{Caudal\ aire\ exterior\ objetivo \times 1 \cdot 10^{-6}} \quad (1)$$

Donde:

Generación de CO₂: número de ocupantes x tasa de exhalación de CO₂ por ocupante. Para ello se ha tenido en cuenta la edad de los estudiantes (entre 18 y 25 años) y se ha considerado el promedio entre hombre y mujeres. También se ha considerado la generación de CO₂ del docente. La tasa de generación de CO₂ por persona depende de la edad, el sexo, el peso y la actividad metabólica. Para determinar la tasa de generación de CO₂ para cada caso se han consultado las tablas de *Persily and de Jonge, (2017)*. De manera general, en este estudio se han tenido en cuenta las siguientes tasas de generación de CO₂:

- Estudiantes de 18-25 años, sentados: 0.004525 litros/segundo = 0.272 litros/minuto (lpm) por estudiante
- Docentes (de pie y hablando, edad promedio de 40 a 60 años): 0.0055 litros/segundo = 0.33 litros/minuto (lpm)

Caudal aire exterior objetivo = ACH x Volumen aula. Donde los ACH se han calculado teniendo en cuenta los 12,5 l/p/s establecidos en el RITE para un IDA2 (RD 1027/2007). No obstante el caudal exterior recomendado para los sistemas de ventilación forzada en época de pandemia en todos los

documentos de ventilación incluidos la guía del CSIS es de 14 l/p/s lo que haría que la concentración de CO₂ en estado estable fuera algo menor.

Ejemplo de cálculo:

$$\text{ACH} = 14 \text{ litros/persona/segundo} * 23 \text{ personas} * 3600 \text{ segundos/hora} * 0.001 \text{ m}^3/\text{litro} / 196 \text{ m}^3 = 5.9$$

C_{exterior de CO₂}: es la concentración medida en el aire exterior

El cálculo de la concentración de CO₂ en estado estable será la concentración de CO₂ que se alcanzará en el aula teniendo en cuenta la ocupación, volumen del aula y caudal de aire exterior suministrado. Servirá para evaluar principalmente aquellas aulas que presentan ventilación de Tipo A y determinar si se está suministrando el suficiente caudal de aire exterior.

5. RESULTADOS

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en cada una de las aulas evaluadas en los distintos edificios del campus de Ciudad Real. Dentro de un mismo edificio existen aulas con distinto tipo de ventilación indicándose en el gráfico correspondiente toda la información del aula especificada en el apartado 4. Al inicio de cada sección, correspondiente a cada edificio, se ha incluido una tabla resumen con toda la información de cada aula evaluada indicándose también la concentración de CO₂ en estado estable. En las aulas de Tipo A se ha considerado un suministro de aire exterior de 12,5 l/s/p de acuerdo al RITE (RD 1027/2007). Es importante destacar que con un caudal de 12,5 l/s/p la concentración de CO₂ en estado estable en muchas aulas estaría ligeramente por encima del valor recomendado actualmente para reducir el riesgo de contagio de 700 ppm. Los valores de las tablas deben tomarse como un valor indicativo o de referencia en base al aporte de aire exterior del sistema de ventilación forzada para poder compararlo con los valores reales obtenidos de las medidas de CO₂. En las aulas con sistemas de ventilación Tipo B (ventilación forzada + natural) y Tipo C la concentración de CO₂ en estado estable se ha calculado teniendo en cuenta al menos un ACH 5 o 6.

5.1 Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos

En la Tabla 5.1 se muestra un resumen del estudio realizado en las aulas del edificio de Agrónomos. Todas las aulas presentan ventilación Tipo A y por tanto no sería necesario abrir las ventanas para ventilar. En la primera columna se indica el número de aula y en la segunda la fecha en la que se realizó el muestreo, así como si se realizó durante un examen o durante las clases. Se ha incluido también el número de personas presentes en el aula durante el muestreo y el aforo máximo de aula.

Como puede observarse en la tabla, los valores promedio de CO₂ medidos están por debajo de la concentración de CO₂ en estado estable calculada y por debajo del límite de 700 ppm. En el aula 2.2 Anexo se llega a un máximo de 945 ppm (ver figura 5.1.12). La temperatura promedio en este edificio osciló entre 21,6 °C el 2 de febrero y 25,9 °C el 4 de marzo.

Aula	Fecha	Actividad- Nº alumnos ¹	Volumen (m ³)	Tipo de ventilación	CO ₂ (ppm)			Temperatura (°C)			Humedad Relativa (%)			CO ₂ Estado Estable (ppm)
					Promedio	Máximo	Mínimo	Promedio	Máximo	Mínimo	Promedio	Máximo	Mínimo	12,5 l/s/p
1.03+1.04	28/01/21	Examen 40/63	530,40	Tipo A	568	694	436	24,7	26,2	21,3	39,6	46	36	783
1.05	18/02/21	Clase 3/15	130,9	Tipo A	585	649	514	22,4	23,8	17,3	34,4	45	30	787
1.06	16/02/21	Clase 4/13	133,39	Tipo A	509	562	428	21,8	23,8	15,1	31,5	38	30	787
1.07	22/01/21	Examen 10/35	341,12	Tipo A	513	669	433	24	25,4	17,4	34	56	30	784
1.08	22/01/21	Examen 5/35	335,98	Tipo A	492	552	438	21,8	22,7	18,5	38,5	52	34	784
1.09	22/01/21	Examen 7/35	336,01	Tipo A	502	539	466	24,2	24,7	23,2	34,3	37	32	784
1.2 Anexo	04/02/21	Examen 18/24	257,46	Tipo A	591	701	531	25,3	26	21,9	35,4	46	34	785
	22/01/21	Examen 37/24	257,46	Tipo A	631	695	491	23	23,3	22,4	35,9	37	35	785
1.3 Anexo	03/02/21	Clase 12/45	371,66	Tipo A	504	605	430	25,3	26,6	17,2	35,4	60	32	784
2.1 Anexo	04/03/21	Clase 9/24	247,8	Tipo A	497	570	426	25,9	26,5	23,8	29	31	28	788
2.2 Anexo	03/02/21	Clase 24/40	371,66	Tipo A	752	945	531	21,6	26,4	17,3	46	58	37	784
	25/01/21	Examen 19/40	371,66	Tipo A	546	677	446	21,8	24,3	17	47,6	60	41	784

¹ Se indica la ocupación del aula durante el muestreo con respecto a la ocupación máxima o aforo máximo del aula.

Tabla 5.1. Tabla resumen de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos

Las figuras 5.1.1 a 5.1.12 muestran la evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo durante el periodo de muestreo en las aulas de estudio. Las figuras 5.1.13 a 5.1.15 muestran los resultados obtenidos en tres Laboratorios de Agrónomos que no estaban contemplados en el estudio pero que a petición de los profesores se midió la concentración de CO₂. En los laboratorios la ventilación es Tipo C, es decir, solo se puede ventilar mediante la apertura de ventanas y puertas.

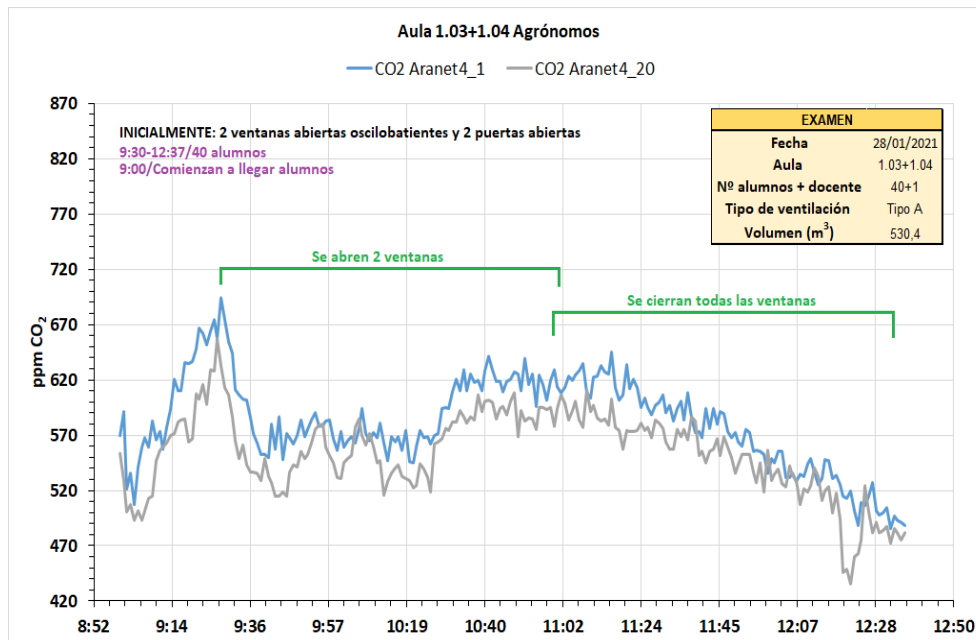


Figura 5.1.1. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 1.03+1.04 de Agrónomos

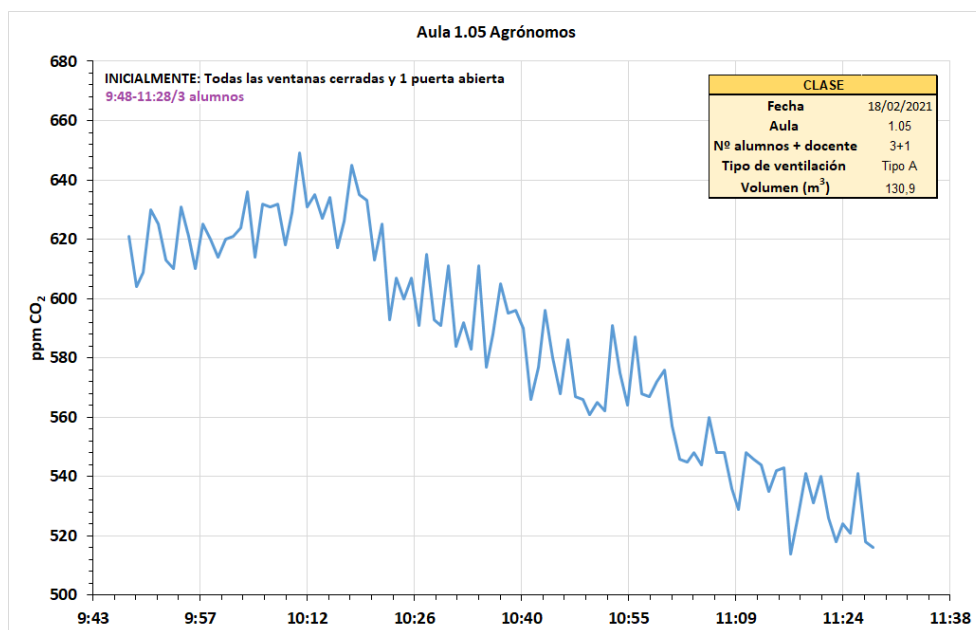


Figura 5.1.2. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 1.05 de Agrónomos

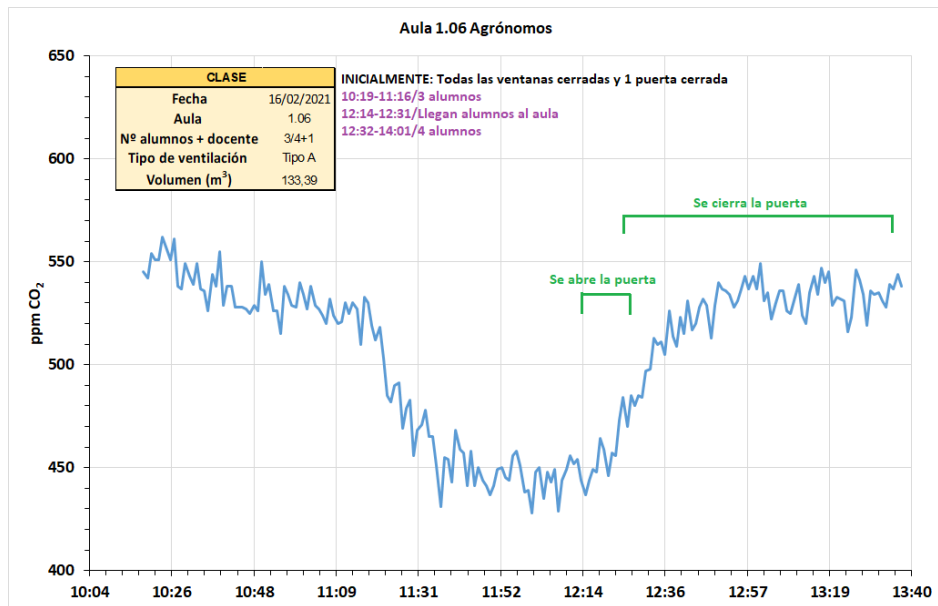


Figura 5.1.3. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 1.06 de Agrónomos

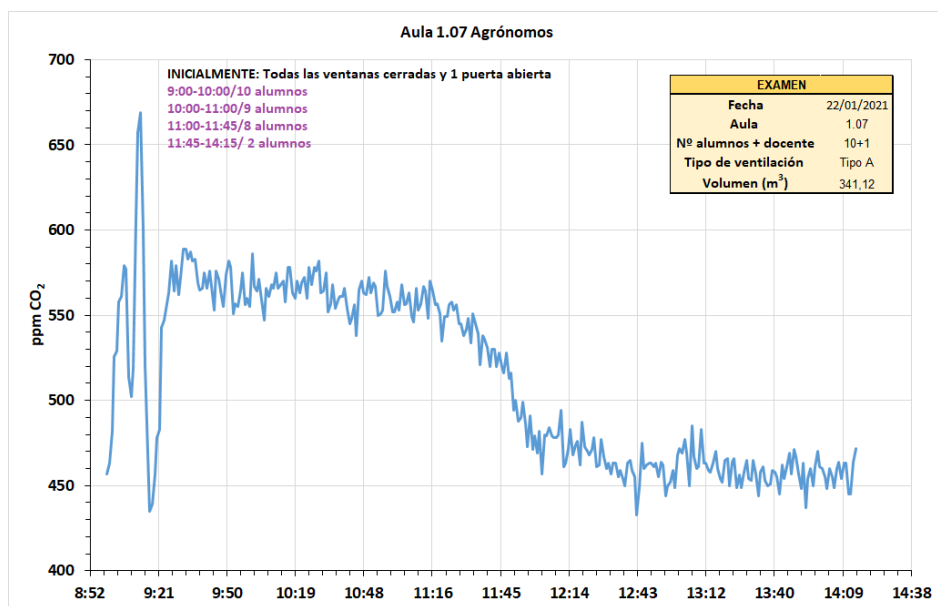


Figura 5.1.4. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 1.07 de Agrónomos

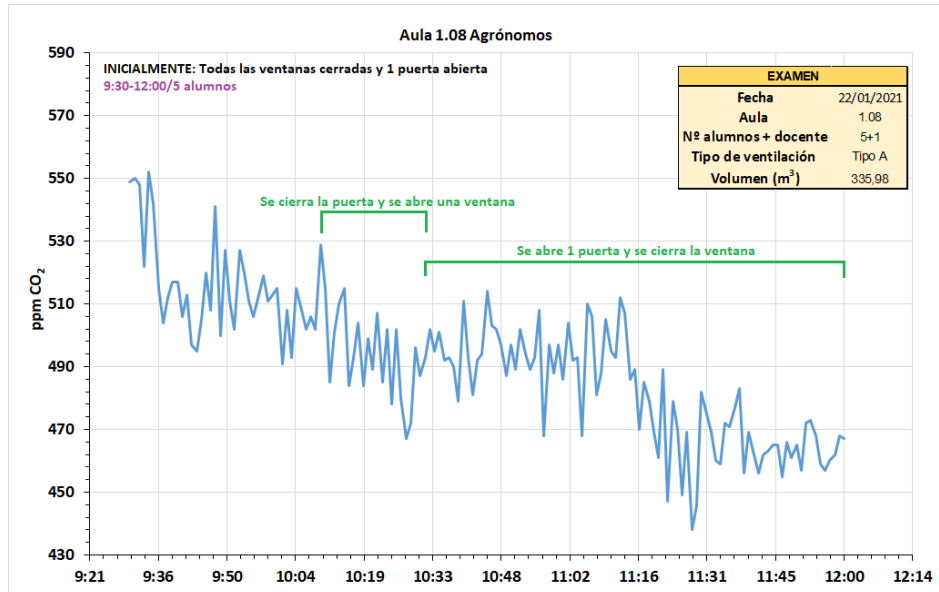


Figura 5.1.5. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 1.08 de Agrónomos

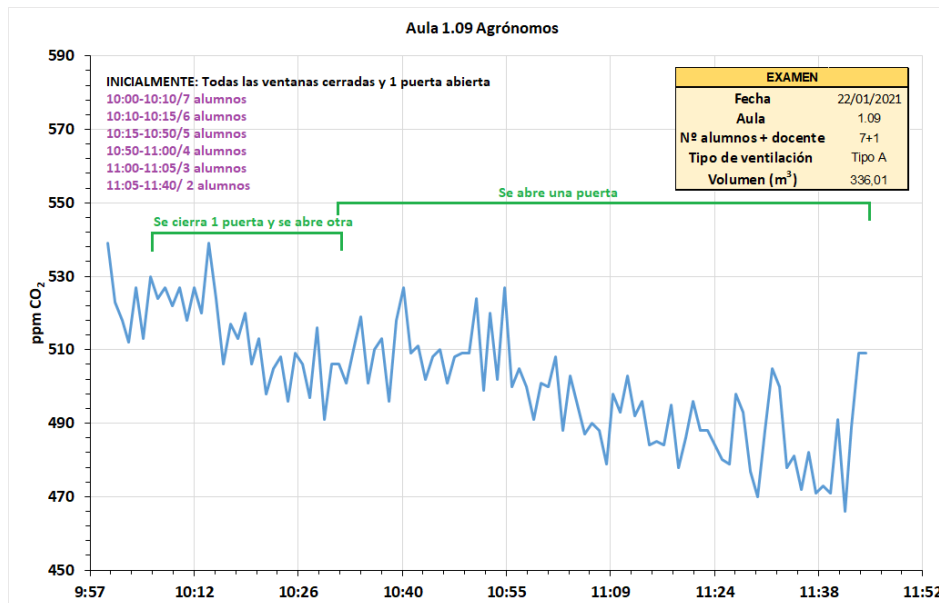


Figura 5.1.6. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 1.09 de Agrónomos

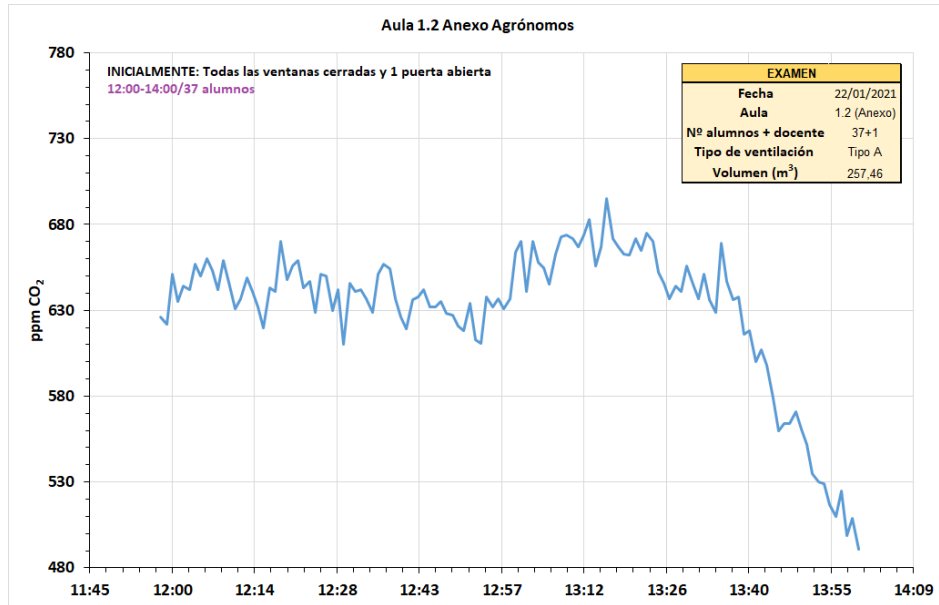


Figura 5.1.7. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 1.2 Anexo durante un examen.

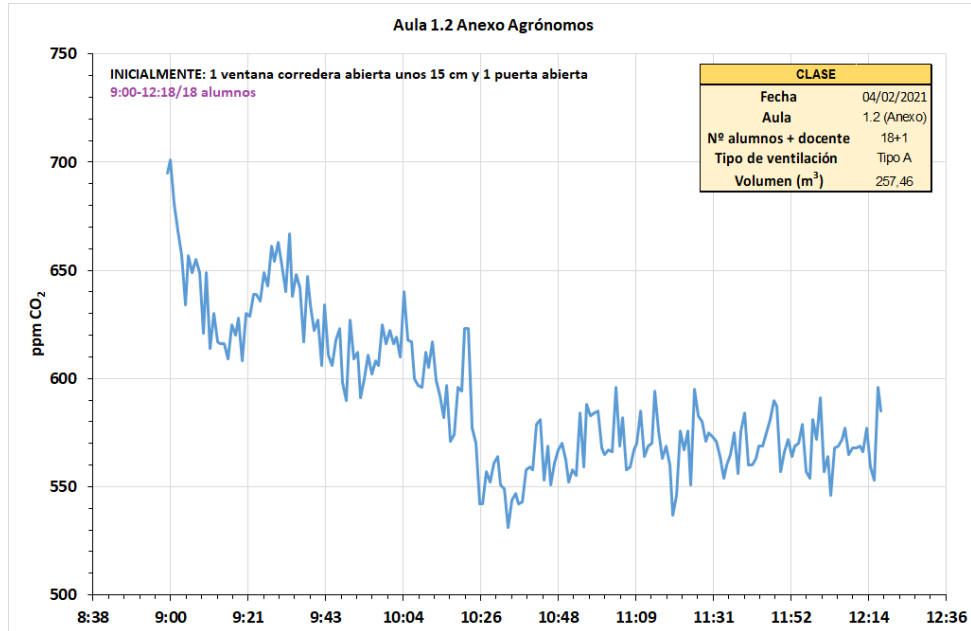


Figura 5.1.8. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 1.2 Anexo durante las clases.

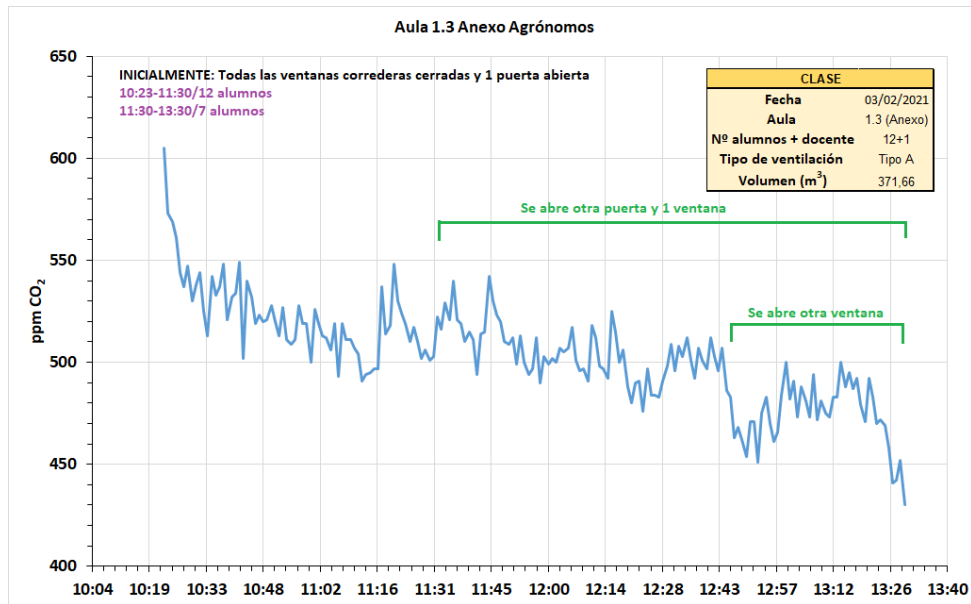


Figura 5.1.9. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 1.3 Anexo.

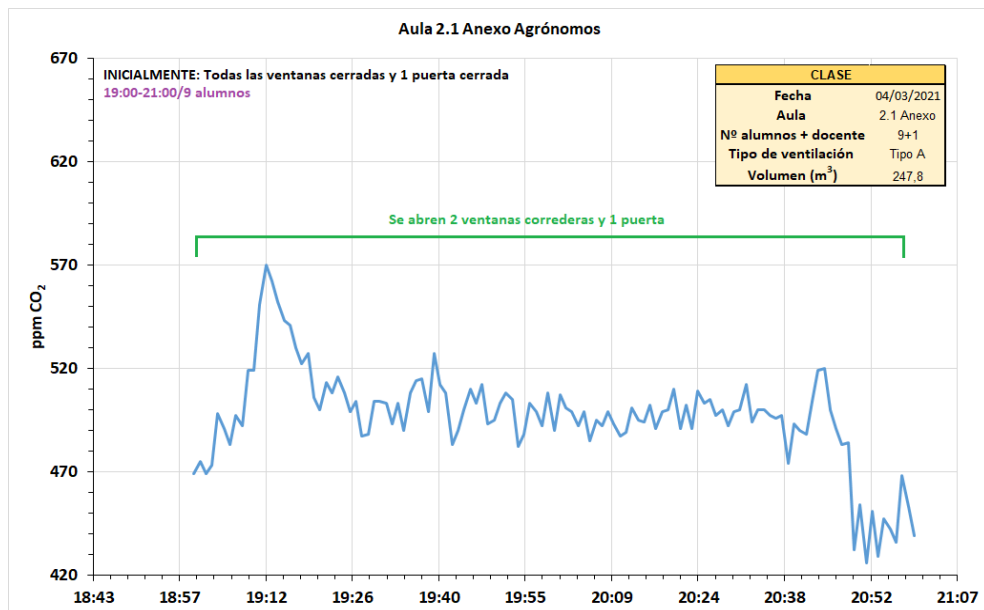


Figura 5.1.10. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 2.1 Anexo

La figura 5.1.12 muestra los resultados obtenidos en el aula 2.2 Anexo durante las clases. Aunque al inicio las ventanas y puertas estaban cerradas, al comenzar la clase, se abrieron 2 ventanas correderas y 1 puerta. Debido al tamaño del aula se colocaron dos medidores, uno en la parte delantera (Aranet4_18) y otro en el medio (Aranet4_17). Puede observarse la distribución desigual de la ventilación en este aula por la diferente concentración de CO₂ registrada en los dos puntos de muestreo. Este aula es de tipo A con ventilación forzada por lo que si se estuvieran suministrando los 12,5 l/s/p no se debería haber superado los 784 ppm según la concentración de CO₂ en estado estable calculada con el aforo máximo. Es importante destacar que la puerta del aula se encontraba cerrada.

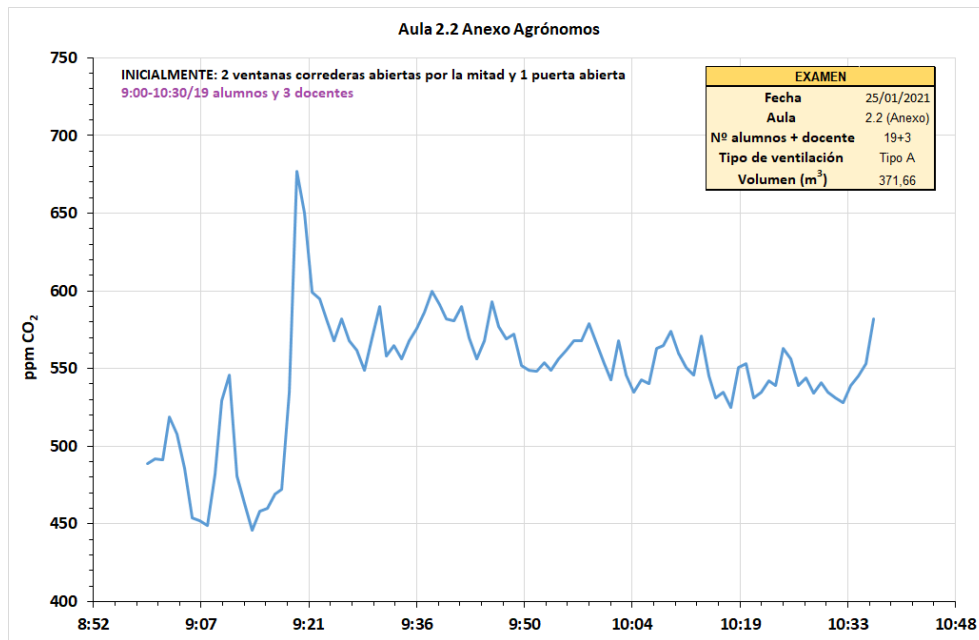


Figura 5.1.11. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 2.2 Anexo de Agrónomos durante un examen.

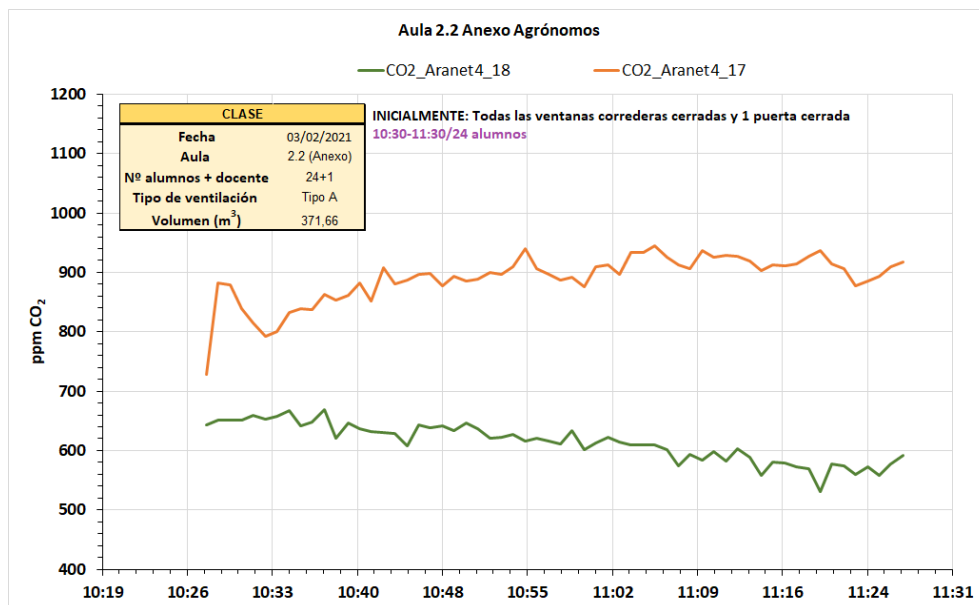


Figura 5.1.12. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 2.2 Anexo de Agrónomos durante las clases

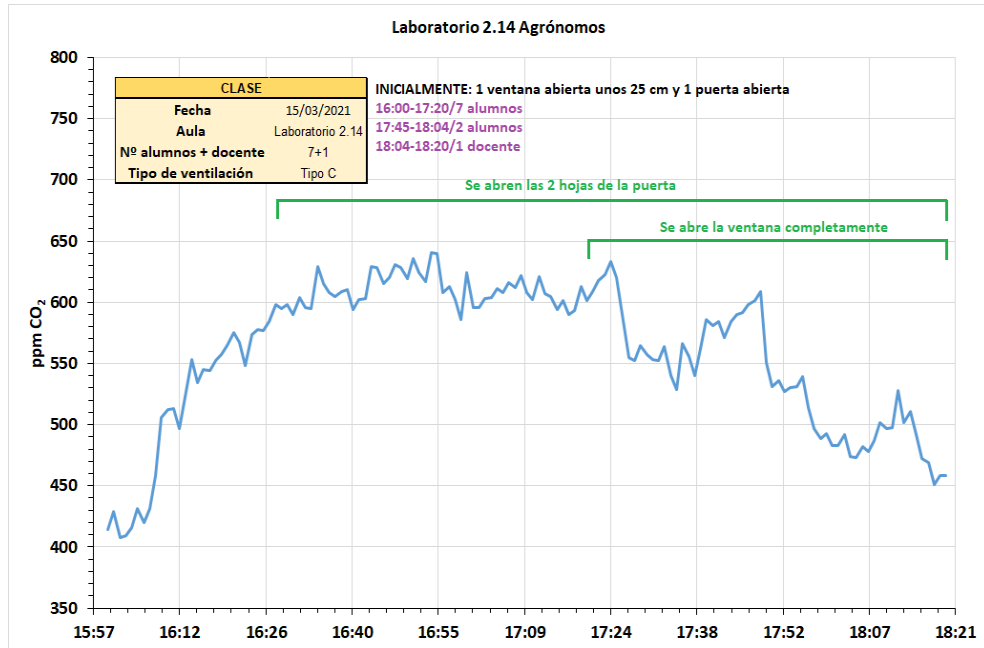


Figura 5.1.13. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el Laboratorio 2.14

En la figura 5.1.14 se muestra uno de los Laboratorios muestreados a petición de los profesores. Puede observarse que a partir de las 19.00 la renovación de aire no es suficiente a pesar de continuar con una ventana abierta y una puerta abierta. Esto indica que se deben abrir más ventanas para favorecer la ventilación cruzada.

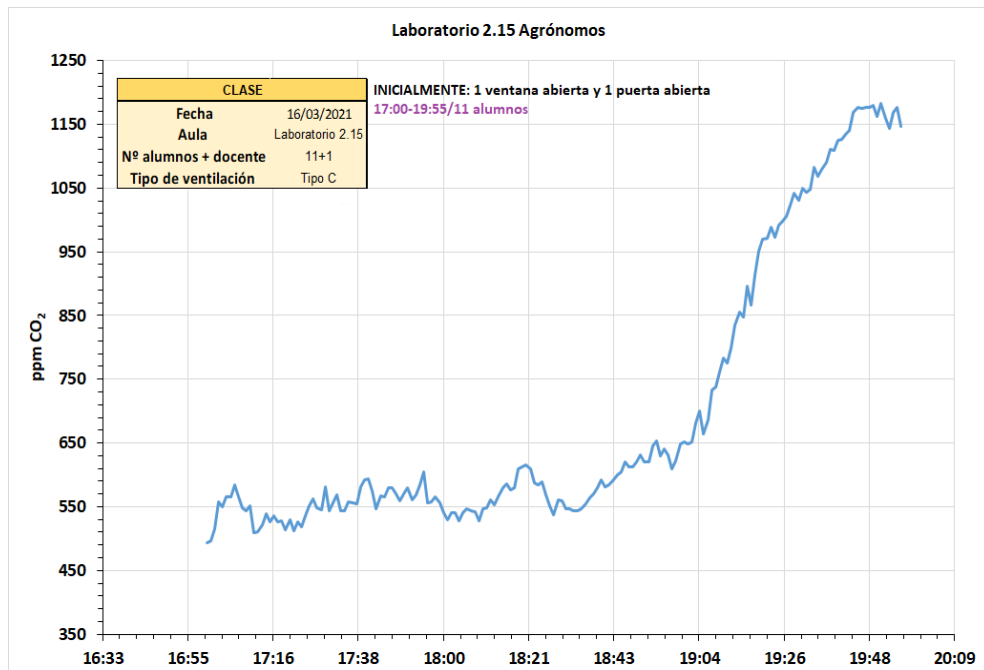


Figura 5.1.14. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el Laboratorio 2.15

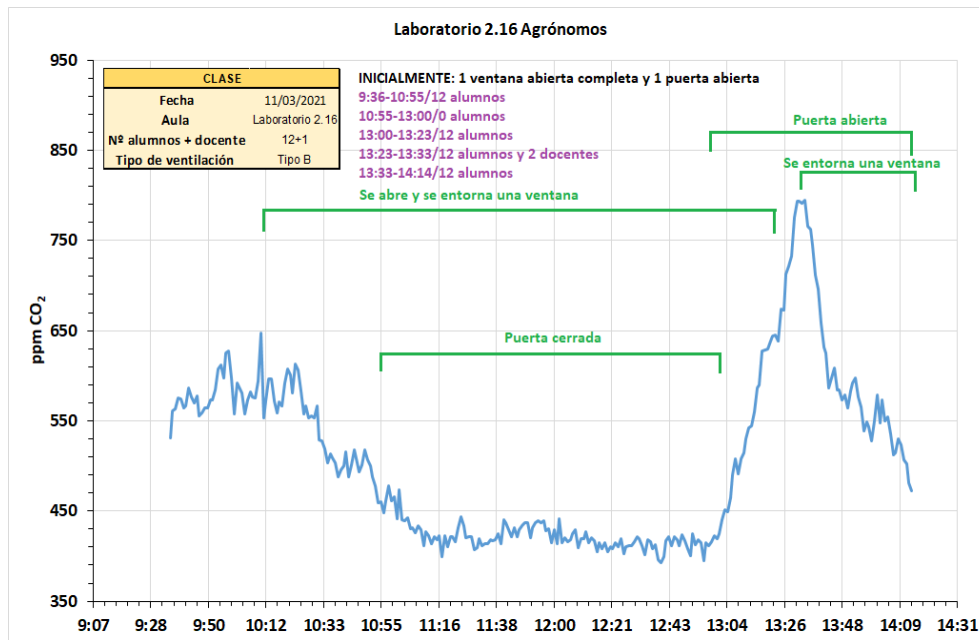


Figura 5.1.15. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el Laboratorio 2.16

5.2 Escuela de Ingeniería Minera e Industrial de Almadén

En Almadén se han muestreado 7 aulas del edificio Storr y 3 del aulario. Algunas de estas aulas se han muestreado varias veces en horario de mañana y de tarde. La ventilación de las aulas es de Tipo C por lo que la única manera de ventilar es mediante la apertura de ventanas y puertas.

Las Tablas 5.2 y 5.3 muestran un resumen de las aulas con las características y los resultados obtenidos en la monitorización del CO₂ en el edificio Storr y en el aulario, respectivamente. Como se comentó en la metodología, la concentración de CO₂ en estado estable se ha calculado teniendo en cuenta al menos un ACH 5 que es lo recomendado según la guía de ventilación del CSIC.

Es importante destacar que en ninguna de las aulas se ha llegado al aforo máximo permitido, estando en la mayoría de los casos a menos del 50% de ocupación.

Por lo general, la ventanas y las puertas han estado abiertas y las renovaciones de aire han sido adecuadas excepto en dos aulas, la 1.09 y la 2.09 del edificio Storr en las que se han superado los valores recomendados de CO₂ (700 ppm) en horario de mañana (véase la Tabla 5.2 y figuras 5.2.1 y 5.2.7). Las dos aulas estaban a menos del 25 % del aforo máximo.

Aula	Fecha	Actividad- Nº alumnos ¹	Volumen (m ³)	Tipo de ventilación	CO ₂ (ppm)			Temperatura (°C)			Humedad Relativa (%)			CO ₂ Estado Estable (ppm)
					Promedio	Máximo	Mínimo	Promedio	Máximo	Mínimo	Promedio	Máximo	Mínimo	ACH=5
1.09	07/04/21 mañana	Clase 4/20	219,85	Tipo C	648	899	430	21,4	25,9	19	29,7	40	24	500
	07/04/21 tarde	Clase 3/20	219,85	Tipo C	530	598	450	26,6	27,3	25,9	22,5	54	21	485
1.10	07/04/21 mañana	Clase 3/32	301,19	Tipo C	439	462	406	22,4	22,9	22,1	25,7	28	24	467
	07/04/21 tarde	Clase 7/32	301,19	Tipo C	438	477	395	24,2	24,5	23,9	21	23	20	511
	13/04/21 mañana	Clase 2/32	301,19	Tipo C	424	443	396	21,6	22,1	21,3	44,6	46	42	456
	13/04/21 tarde	Clase 13/32	301,19	Tipo C	480	556	410	22,7	23,2	22	40,6	45	38	575
2.09	13/04/21 Mañana	Clase 8/22	216,88	Tipo C	1057	1768	410	23,2	23,7	22	43,7	46	41	561
	13/04/21 tarde	Clase 4/22	216,88	Tipo C	432	550	396	23,2	23,6	23	39	43	36	501
2.10	07/04/21	Clase 2/13	152,77	Tipo C	441	456	423	24,6	25,1	23,9	30,5	31	30	492
2.11	13/04/21	Clase 12/22	213,68	Tipo C	529	600	439	21,9	22,6	21,5	45,1	47	40	624
3.03	13/04/21	Clase 10/20	217,02	Tipo C	497	584	427	20,3	21,8	19,4	49,6	54	46	591
3.06	07/04/21 mañana	Clase 11/60	520,2	Tipo C	488	541	436	20,6	21,5	19,2	32,7	41	29	497
	07/04/21 tarde	Clase 23/60	520,2	Tipo C	462	509	426	25,9	26,7	25,5	19,2	24	27	573

¹ Se indica la ocupación del aula durante el muestreo con respecto a la ocupación máxima o aforo permitido del aula.

Tabla 5.2. Tabla resumen del Edificio Storr de Almadén.

Aula	Fecha	Nº alumnos ¹	Volumen (m ³)	Tipo de ventilación	CO ₂ (ppm)			Temperatura (°C)			Humedad (%)			CO ₂ Estado Estable (ppm)
					Promedio	Máximo	Mínimo	Promedio	Máximo	Mínimo	Promedio	Máximo	Mínimo	ACH=5
2.10	07/04/21 mañana	Clase 4/24	245,01	Tipo C	453	501	425	20,9	21,4	19,2	32,2	40	28	491
	07/04/21 tarde	Clase 8/24	245,01	Tipo C	507	590	431	23	23,5	21,4	24,6	26	24	545
2.11	07/04/21 mañana	Clase 9/20	225,9	Tipo C	497	709	427	21,9	22,5	19,6	29,9	40	25	570
	07/04/21 tarde	Clase 10/20	225,9	Tipo C	506	551	402	22,7	23,1	21,9	24,2	25	23	584
Aula Magna	13/04/21	Clase 10/33	300,78	Tipo C	463	493	431	22,2	22,7	21,3	45,3	59	43	543

¹ Se indica la ocupación del aula durante el muestreo con respecto a la ocupación máxima o aforo permitido del aula.

Tabla 5.3. Tabla resumen del Aulario de Almadén

La figura 5.2.1 muestra la evolución del CO₂ con el tiempo en el aula 1.09 del edificio Storr. Las ventanas y la puerta estuvieron cerradas desde el comienzo de la clase y aunque hay pocas personas (5 en total), la falta de renovación de aire hace que a los 45 min del comienzo de la clase se supere la concentración de 700 ppm de CO₂.

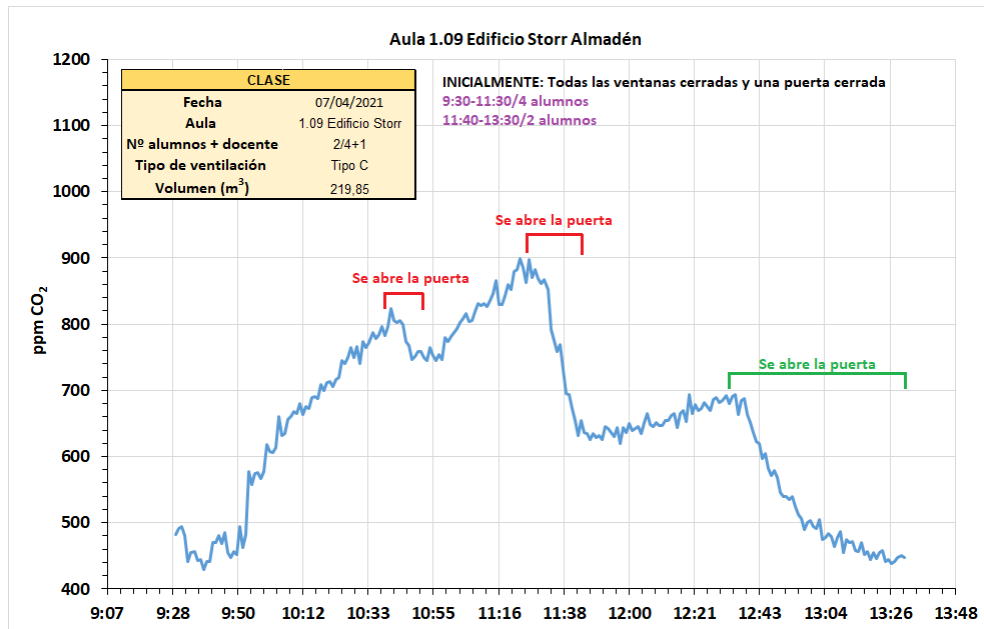


Figura 5.2.1. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 1.09 en horario de mañana del edificio Storr de Almadén

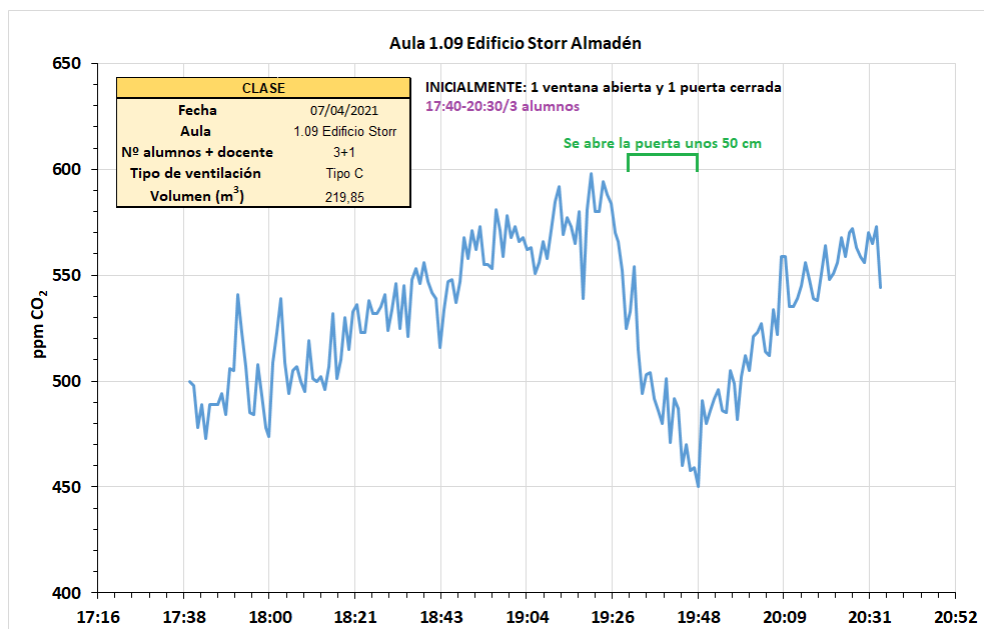


Figura 5.2.2. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 1.09 en horario de tarde del edificio Storr de Almadén

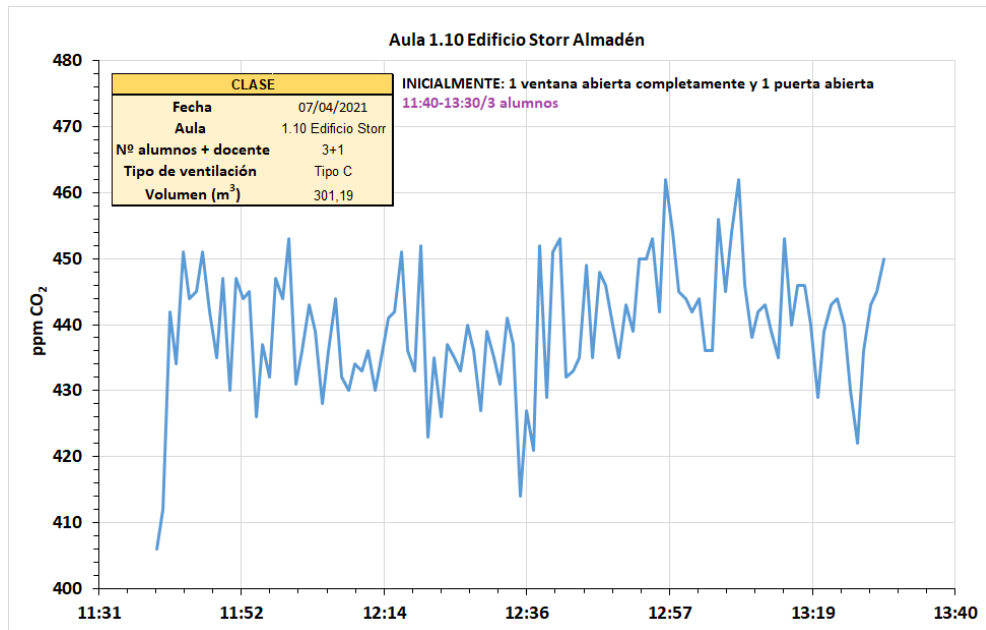


Figura 5.2.3. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 1.10 en horario de mañana del edificio Storr de Almadén

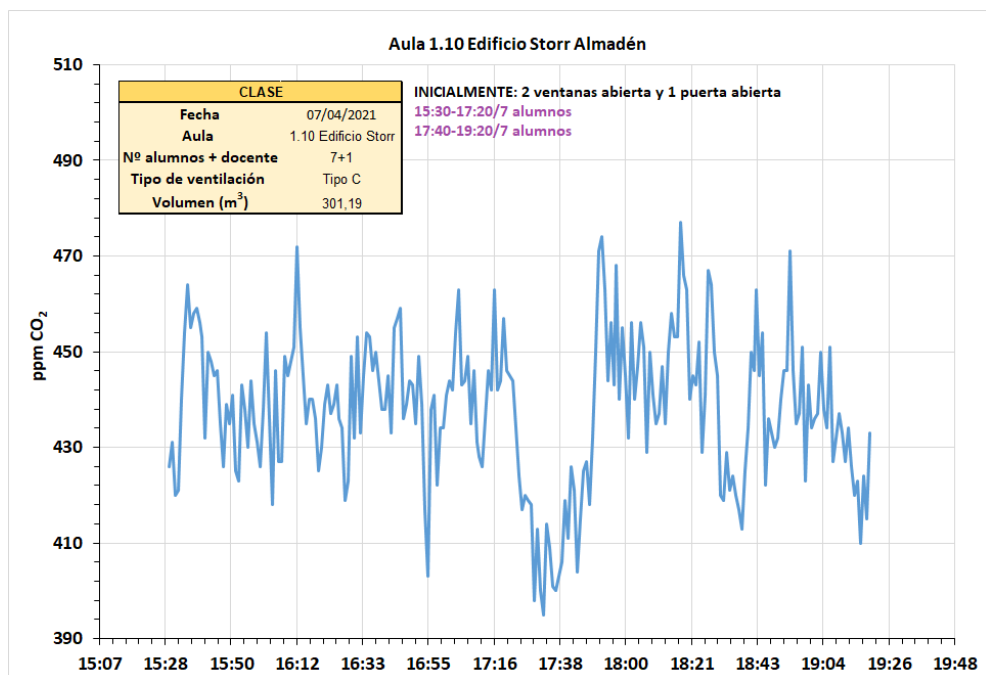


Figura 5.2.4. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 1.10 en horario de tarde del edificio Storr de Almadén

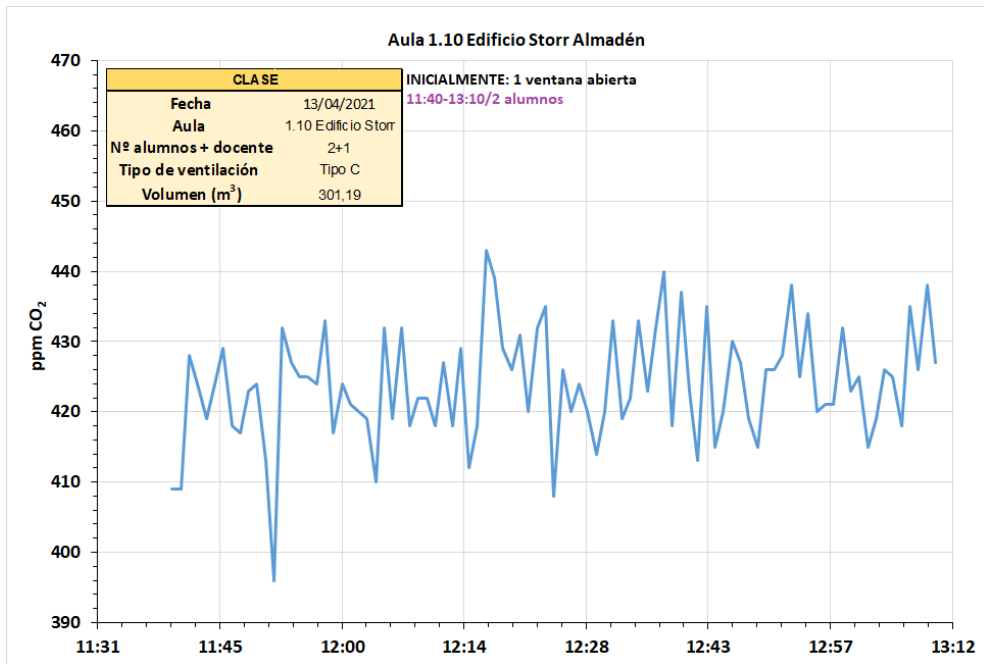


Figura 5.2.5. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 1.10 en horario de mañana del edificio Storr de Almadén

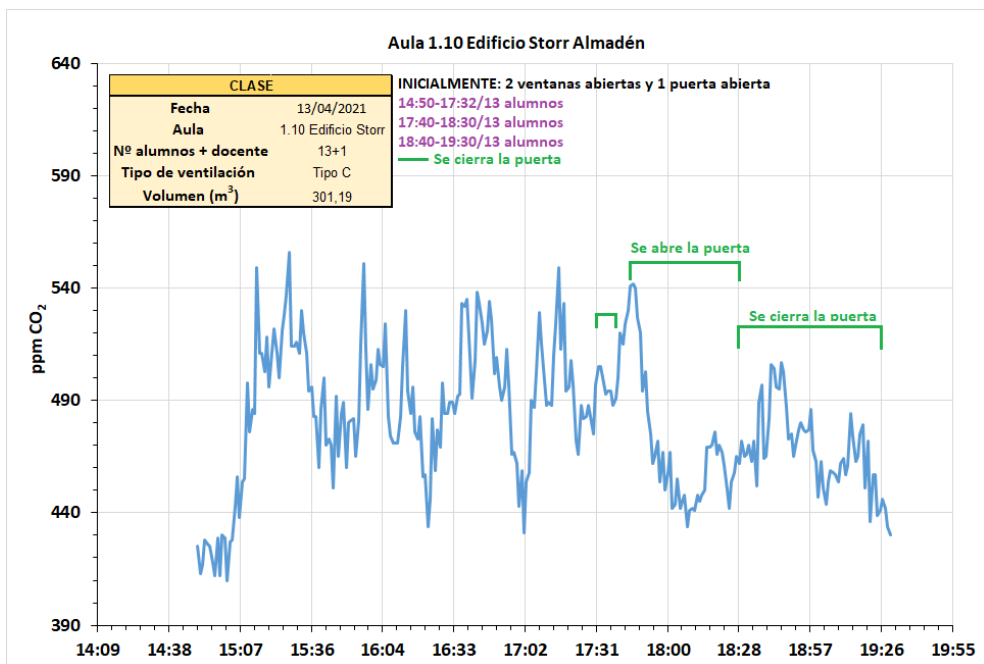


Figura 5.2.6. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 1.10 en horario de tarde del edificio Storr de Almadén

La figura 5.2.7 muestra la evolución de CO₂ con el tiempo en el aula 2.09 del edificio Storr. Las ventanas y la puerta estuvieron cerradas desde el comienzo de la clase y aunque hay pocas personas (9 en total) en tan solo 15 min desde el inicio de la clase ya se supera la concentración de 700 ppm de CO₂ recomendada. Es importante destacar que las recomendaciones para aulas con ventilación natural es que la ventilación sea cruzada, continua y distribuida por lo que no se pueden cerrar las ventanas ni las puertas en ningún momento. Además, como puede observarse en la figura, la concentración de CO₂ máxima decae rápidamente al abrir una ventana y la puerta. En la figura se ha señalado el momento de apertura de ventana y puerta según las indicaciones dadas en la hoja de registro que no coinciden con el máximo de concentración, sin embargo, es de esperar que el momento en el que se abrió la ventana y la puerta sea el momento en el que decae el CO₂.

Con un medidor de CO₂ en el aula de manera continua se pueden ajustar los centímetros de ventana que se pueden abrir para estar siempre por debajo de 700 ppm. Las puertas deben estar siempre abiertas para que haya ventilación cruzada. Es importante que estas recomendaciones lleguen a todos los profesores.

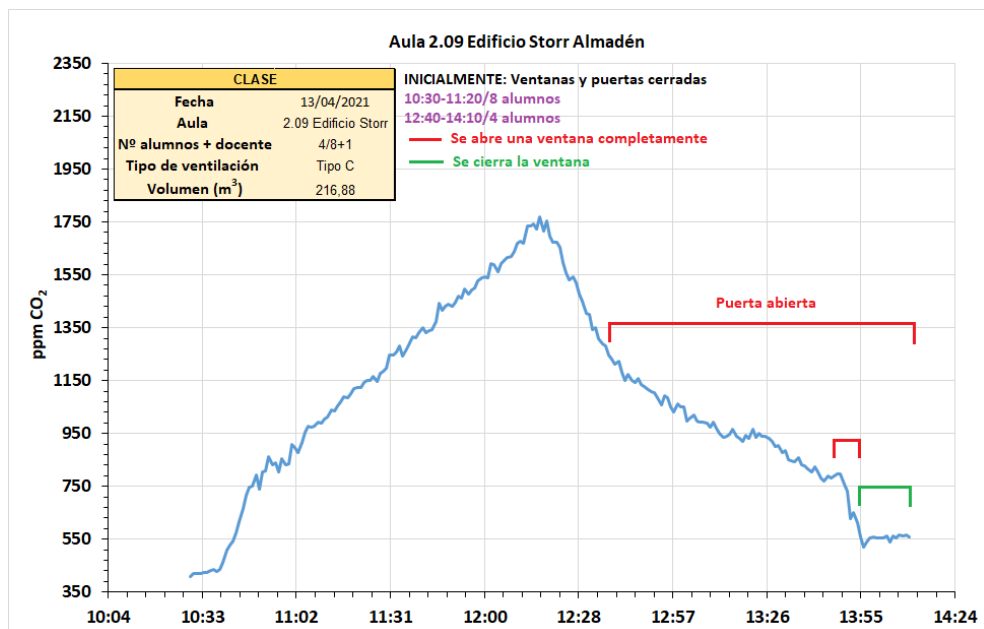


Figura 5.2.7. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 2.09 en horario de mañana del edificio Storr de Almadén

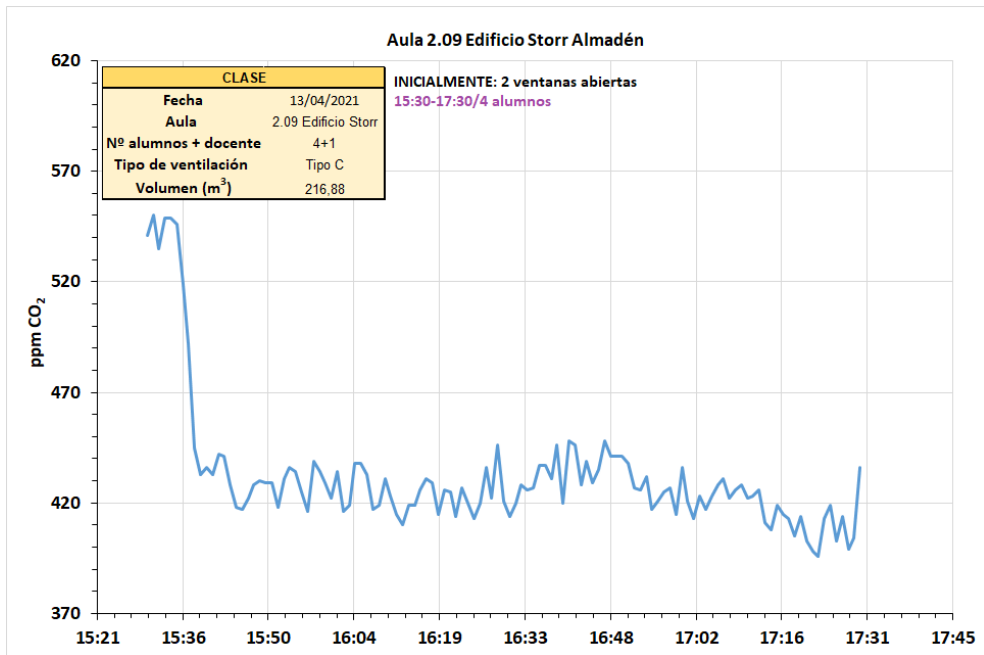


Figura 5.2.8. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 2.09 en horario de tarde del edificio Storr de Almadén

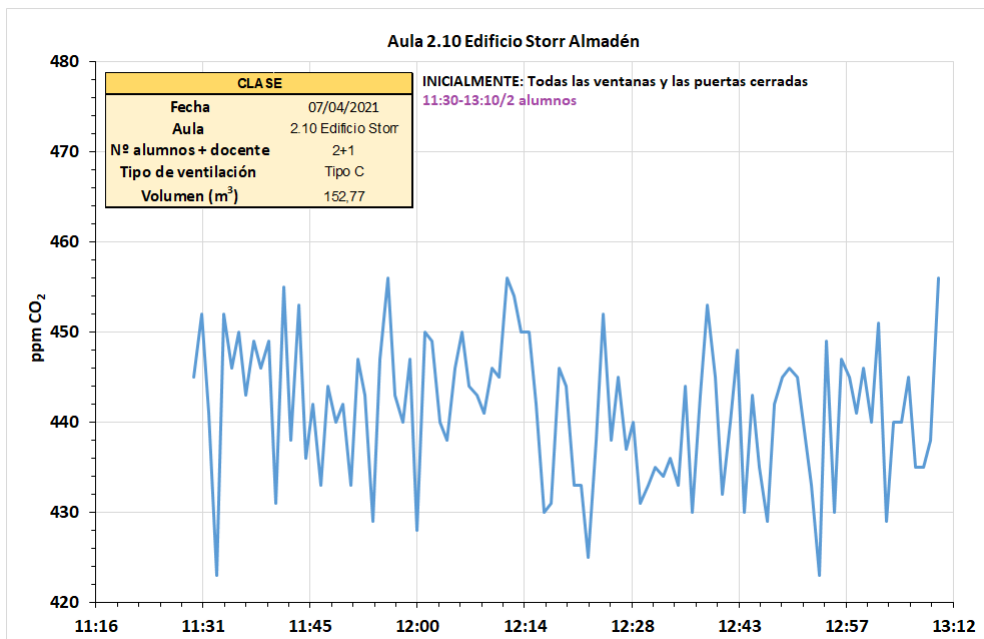


Figura 5.2.9. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 2.10 en horario de mañana del edificio Storr de Almadén

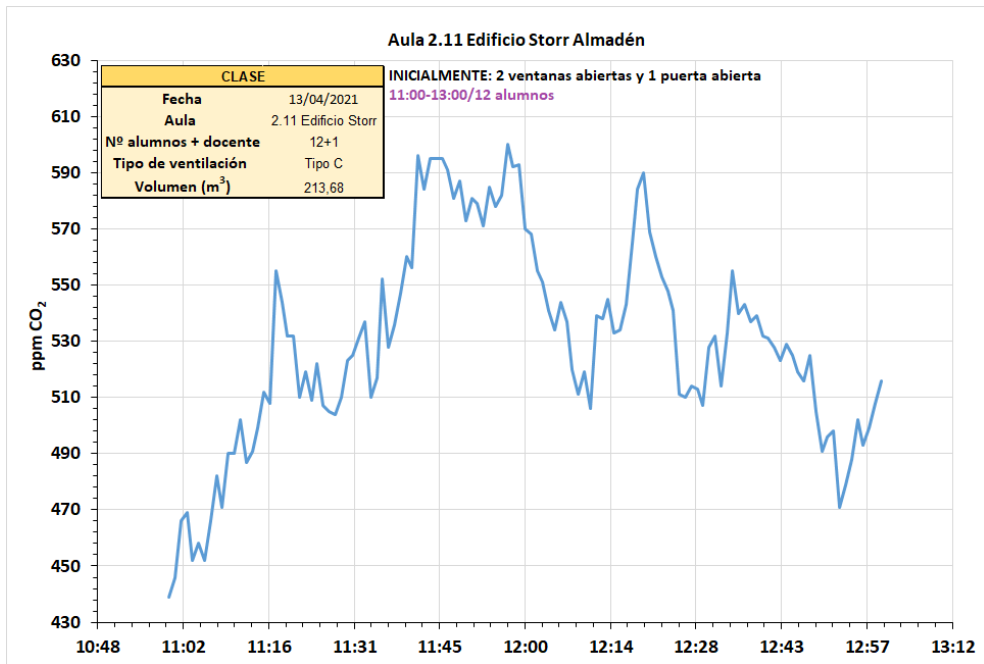


Figura 5.2.10. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 2.11 en horario de mañana del edificio Storr de Almadén

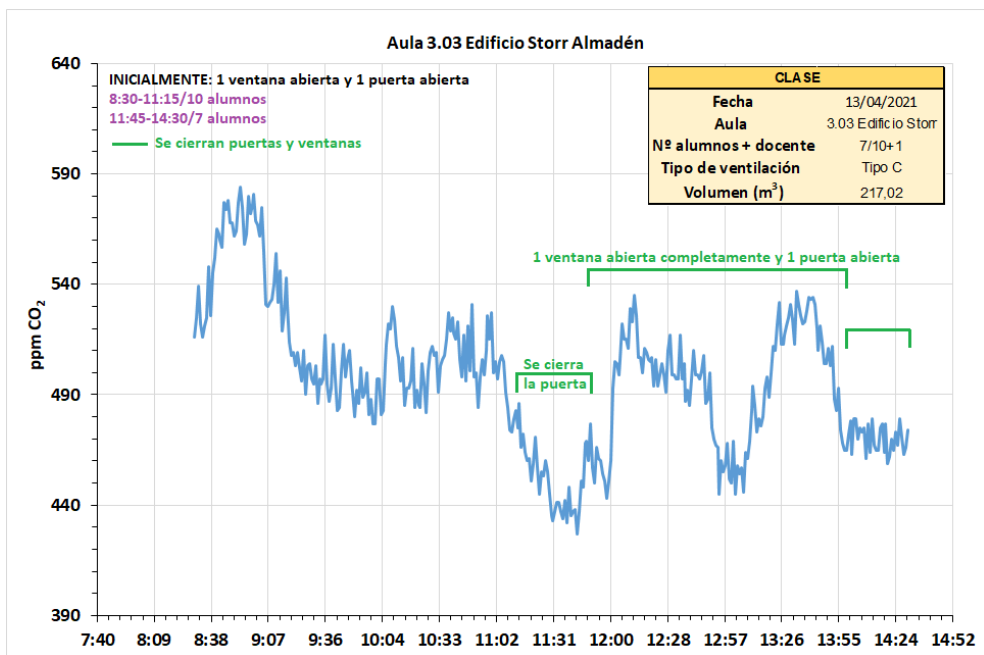


Figura 5.2.11. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 3.03 del edificio Storr de Almadén

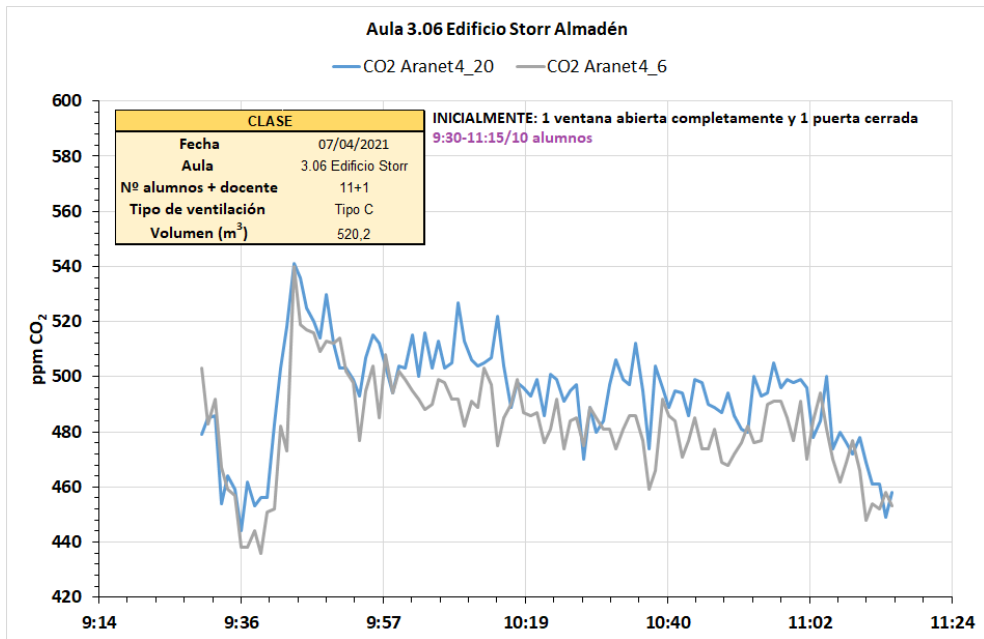


Figura 5.2.12. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 3.06 en horario de mañana del edificio Storr de Almadén

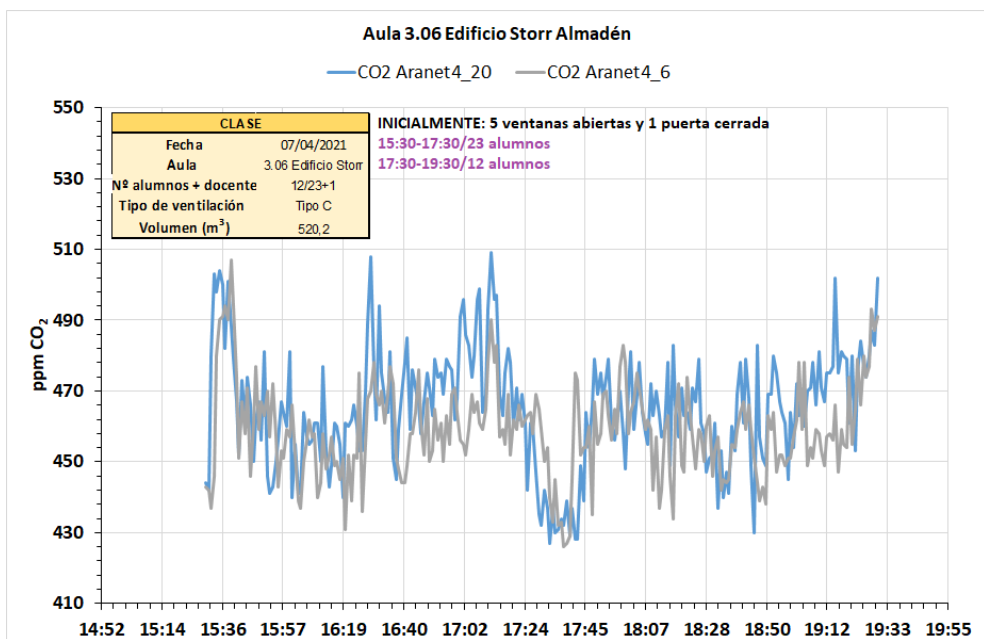


Figura 5.2.13. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 3.06 en horario de tarde del edificio Storr de Almadén

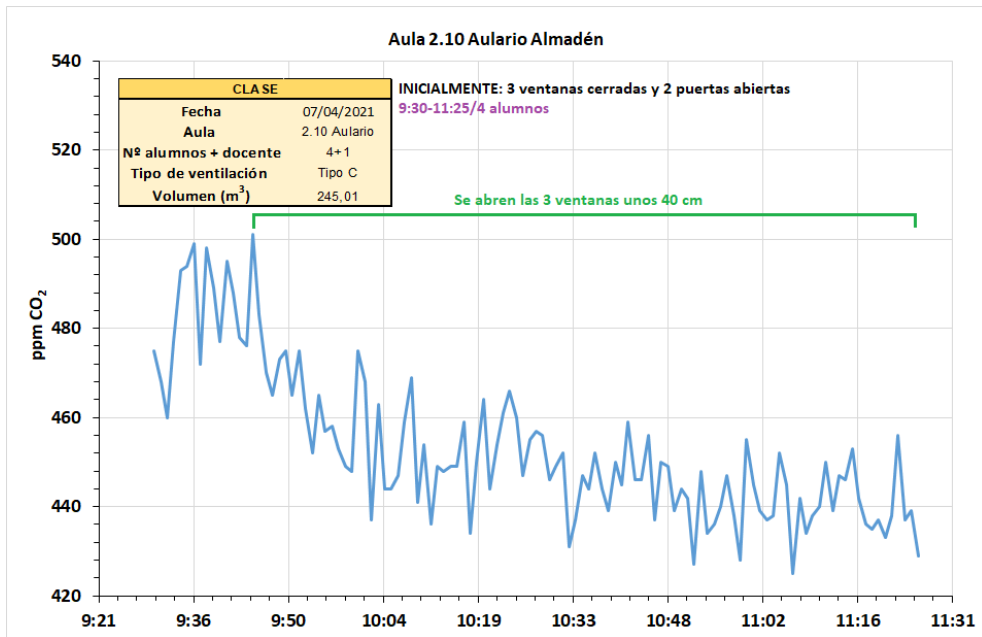


Figura 5.2.14. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 2.10 en horario de mañana en el aulario de Almadén

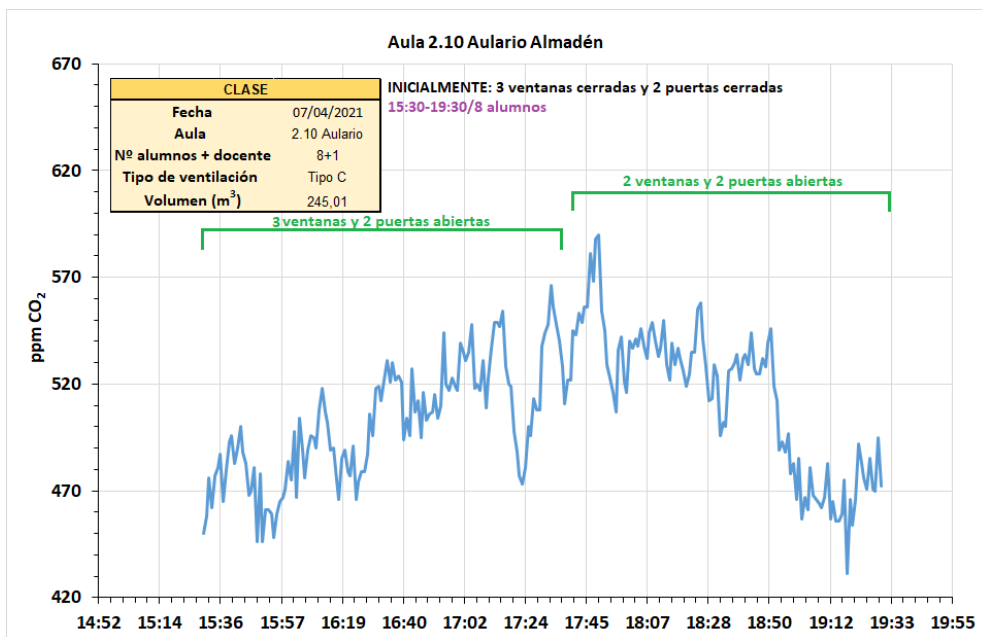


Figura 5.2.15. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 2.10 en horario de tarde en el aulario de Almadén

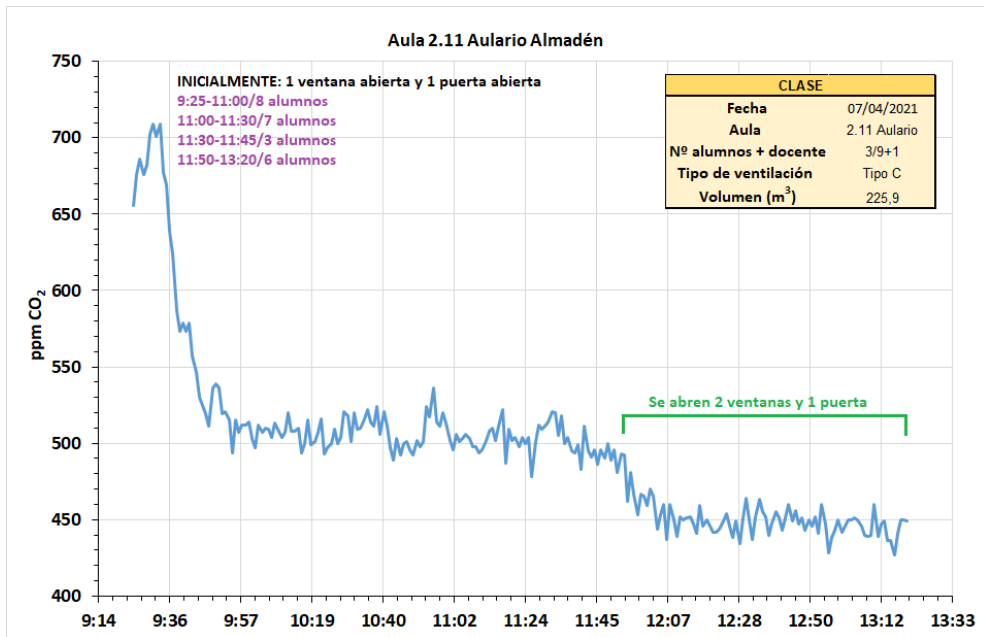


Figura 5.2.16. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 2.11 en horario de mañana en el aulario de Almadén

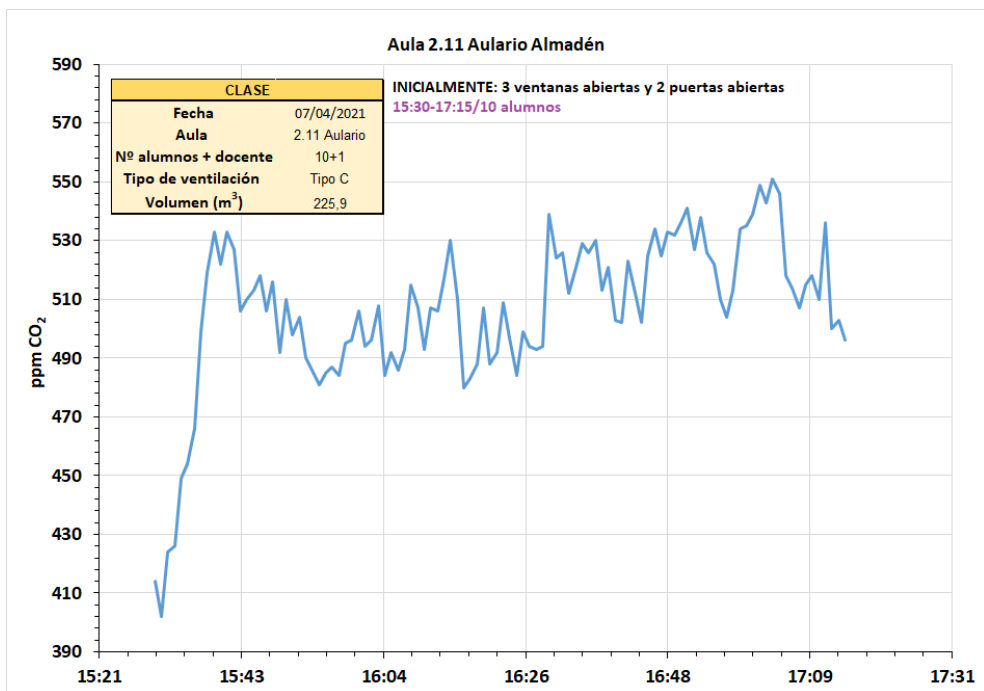


Figura 5.2.17. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 2.11 en horario de tarde en el aulario de Almadén

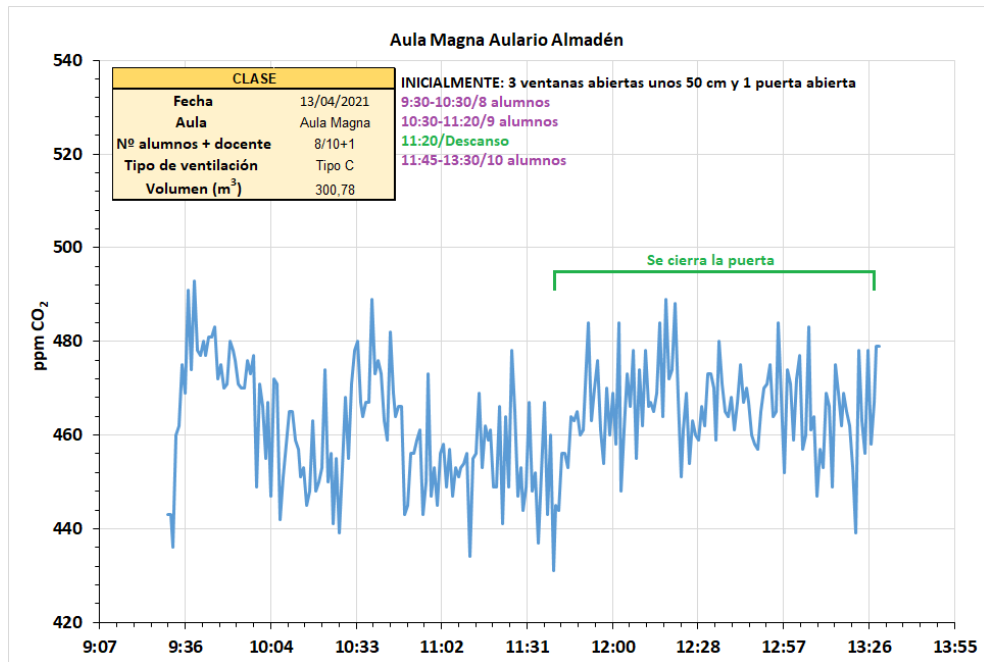


Figura 5.2.18. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula Magna del aulario

5.3. Aulario Polivalente

La Tabla 5.4 muestra un resumen de las características de las aulas muestreadas en el Aulario Polivalente junto con los resultados obtenidos. Todas las aulas tienen ventilación Tipo A y por tanto no necesitan la apertura de puertas y ventanas para la renovación del aire, solamente el aula -1.01 situada en el sótano es de Tipo B. En la mayoría de las aulas muchas de las ventanas han estado abiertas en posición oscilante o basculante así como las puertas. Ninguna de las aulas se ha monitorizado con su máxima ocupación.

El valor promedio de CO₂ ha estado por debajo de 700 ppm y por tanto, por debajo también de la concentración de CO₂ en estado estable calculada teniendo en cuenta un ACH objetivo en el que se ha considerado 12,5 l/s/p de suministro de aire exterior del sistema de ventilación. La concentración máxima de CO₂ ha superado los 700 ppm en varias aulas manteniéndose durante bastante tiempo. Esto ha permitido localizar deficiencias en el sistema de ventilación que se comentarán en detalle más adelante.

La temperatura promedio en las aulas del aulario han oscilado entre los 16,6 °C en época de exámenes en enero y 23 °C.

El aula del sótano se ha monitorizado varias veces debido a la preocupación mostrada por los profesores. Se trata de un aula rectangular con 9 ventanas en la parte alta de la pared que han estado abiertas en posición basculante durante todos los periodos de muestreo. Las puertas también han estado abiertas pero debido a que dan al sótano y no hay ventanas en el pasillo, a priori la ventilación cruzada puede resultar más difícil.

Aula	Fecha	Actividad Nº alumnos ¹	Volumen (m ³)	Tipo de ventilación	CO ₂ (ppm)			Temperatura (°C)			Humedad Relativa (%)			CO ₂ Estado Estable (ppm)
					Promedio	Máximo	Mínimo	Promedio	Máximo	Mínimo	Promedio	Máximo	Mínimo	12,5 l/p/s
-1.01	01/02/21 Mañana	Clase 47/96	712,40	Tipo B	619	722	486	19,6	20,5	17,8	52,6	62	47	640*
	21/01/21 Mañana	Examen 33/96			545	758	462	18,4	19,8	17,5	49,1	63	44	576*
	26/01/21 Mañana	Examen 46/96			635	639	631	19,7	19,9	19,4	57	57,6	56,4	636*
	21/01/21 Tarde	Examen 43/96			605	704	468	20,2	21,1	19,4	46	48	44	622*
	03/05/2021 Tarde	Examen 64/96			602	693	410	22,3	23,7	21,8	39,1	43	33	724*
0.01	11/02/21	Clase 33/42	435,60	Tipo A	624	831	489	22,5	23,8	18,7	48	61	44	784
0.02	05/02/21	Clase 32/42	435,6	Tipo A	636	780	517	23,1	24,4	18,3	37,8	49	35	784
0.03	08/02/21	Clase 51/71	1116,41	Tipo A	716	959	553	19,3	19,9	16,8	44,8	58	43	783
0.04	27/01/21	Examen 25/42	430,61	Tipo A	626	769	470	21,6	22	20,8	57	64	54	784
0.05	25.01.2021	Examen 18/42	430,61	Tipo A	463	522	420	19,6	21,9	17,6	54,6	58	52	784

¹ Se indica la ocupación del aula durante el muestreo con respecto a la ocupación máxima o aforo permitido del aula.

*ACH = 5

Tabla 5.4. Tabla resumen del Aulario Polivalente

Aula	Fecha	Actividad Nº alumnos ¹	Volumen (m ³)	Tipo de ventilación	CO ₂ (ppm)			Temperatura (°C)			Humedad (%)			CO ₂ Estado Estable (ppm)
					Promedio	Máximo	Mínimo	Promedio	Máximo	Mínimo	Promedio	Máximo	Mínimo	12,5 l/ps
0.06	11/02/21	Clase 36/42	430,61	Tipo A	563	791	460	20,7	22,1	19,4	20,9	58	48	784
0.07	25/01/21	Examen 32/42	430,61	Tipo A	609	723	460	18	18,2	17,9	55,3	56	54	784
0.10	01/02/21	Clase 40/42	437,51	Tipo A	596	692	498	19,6	20,7	14,2	51,3	69	45	784
0.11	01/02/21 Mañana	Clase 24/42	436,85	Tipo A	611	722	486	18,9	20	14,9	54,8	66	48	784
	26/01/21 Mañana	Examen 31/42			576	665	442	21,6	22,3	20,1	52,5	57	51	784
1.01	04/02/21	Clase 28/28	320,36	Tipo A	577	693	437	22,8	23,9	19,2	40,5	49	38	785
1.02	08/02/21	Clase 14/28	320,36	Tipo A	502	563	474	20,1	20,7	18	41,3	46	40	785
1.03	01/02/21	Clase 37/54	813,80	Tipo A	538	586	470	20,3	21,1	16,3	49,2	67	46	783
	20/01/21	Examen 20/54			503	552	477	16,1	16,6	15	47,4	54	47	783
1.04	28/01/21	Examen 23/28	320,36	Tipo A	608	654	464	21,3	22,1	17,5	46	54	44	785
1.05	11/02/21	Clase 19/28	320,36	Tipo A	516	581	470	22,2	22,8	19,4	46,2	54	44	785
1.06	26/01/21	Examen 10/28	320,36	Tipo A	487	533	462	22	22,4	21,1	51,6	59	51	785
1.10	05/02/21	Clase 20/28	320,36	Tipo A	531	678	448	23,1	23,8	20,4	37,6	45	36	785
2.01	20/01/21	Examen 10/24	302,05	Tipo A	485	519	452	18,2	18,7	17,9	44,1	45	43	785

¹ Se indica la ocupación del aula durante el muestreo con respecto a la ocupación máxima o aforo permitido del aula.

Tabla 5.5. Tabla resumen del Aulario Polivalente (continuación).

Aula	Fecha	Actividad Nº alumnos ¹	Volumen (m ³)	Tipo de ventilación	CO ₂ (ppm)			Temperatura (°C)			Humedad (%)			CO ₂ Estado Estable (ppm)
					Promedio	Máximo	Mínimo	Promedio	Promedio	Máximo	Mínimo	Promedio	Mínima	12,5 l/ps
2.02	25/01/21	Examen 22/28	302,05	Tipo A	547	699	441	19,3	19,3	17	57,66	65	57	785
2.03	05/02/21	Clase 13/28	302,05	Tipo A	504	571	430	21,3	22	20,3	40,3	43	39	785
2.05	20/01/21 Mañana	Examen 10/54	878,98	Tipo A	486	567	458	17,2	17,9	14,6	44,7	56	43	783
	01/02/21 Mañana	Clase 19/54			541	728	484	20,4	21,7	17,3	50,2	62	46	793
2.06	26/01/21	Examen 10/12	149,3	Tipo A	509	628	475	20,1	21,1	19,9	56,3	58	55	788
2.09	09/02/21	Clase 5/8	99,99	Tipo A	600	851	492	21,8	22,5	19,3	42,9	47	41	790

¹ Se indica la ocupación del aula durante el muestreo con respecto a la ocupación máxima o aforo permitido del aula.

Tabla 5.5. Tabla resumen del Aulario (continuación).

Las figuras 5.3.1 a 5.3.5 muestran la evolución del CO₂ con el tiempo en las monitorizaciones del aula -1.01 (sótano y Tipo B) tanto en horario de mañana como de tarde. El valor de CO₂ ha estado siempre por debajo de 700 ppm con las 9 ventanas oscilantes abiertas y las puertas abiertas pero el aforo no ha llegado en ninguna ocasión al máximo, solo el muestreo del 3 de mayo (figura 5.3.5) tuvo como máximo 62 alumnos más 2 docente de un total de 96 puestos. Sería importante monitorizar de nuevo este aula en caso de llegar al aforo máximo ya que los valores de CO₂ han estado cerca de 700 ppm en muchas ocasiones con la mitad del aforo. En caso de alcanzar un valor alto de CO₂ se recomienda abrir la puerta exterior del sótano para permitir la ventilación cruzada en caso de que la aportación de aire exterior del sistema de ventilación no sea suficiente.

En todos los muestreos del aula -1.01 se han puesto 2 medidores distribuidos por el aula. En todos los casos la ventilación ha sido uniforme excepto el día 21 de enero (figura 5.3.1). Sin embargo, en las hojas de registro de datos no se indica a qué puede ser debido la subida de CO₂ en una parte del aula ya que a esa hora según se indica había 1 alumno y un profesor. Es probable que estuvieran demasiado cerca del medidor.

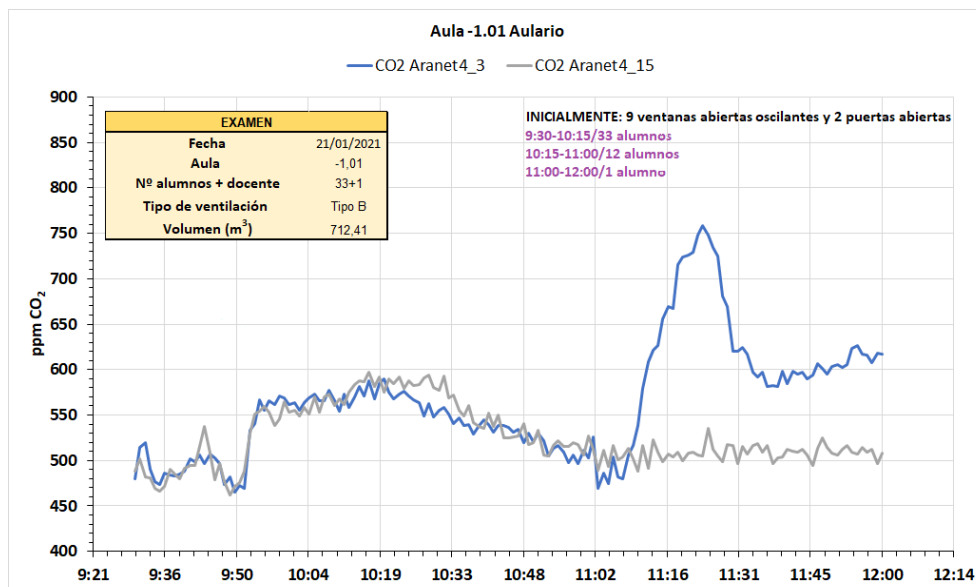


Figura 5.3.1. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula -1.01 del Aulario en horario de mañana (21/01/2021).

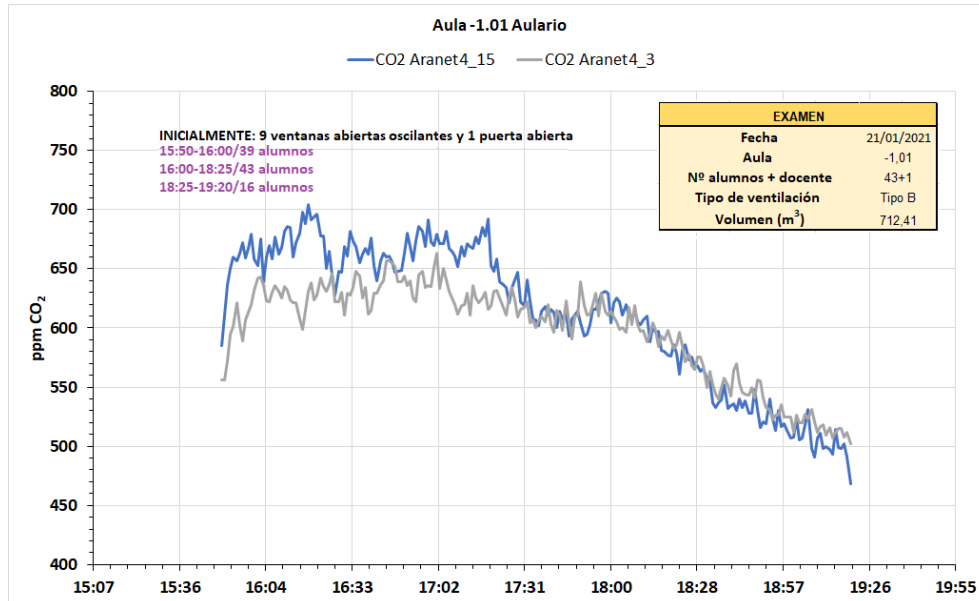


Figura 5.3.2. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula -1.01 del Aulario en horario de tarde (21/01/2021).

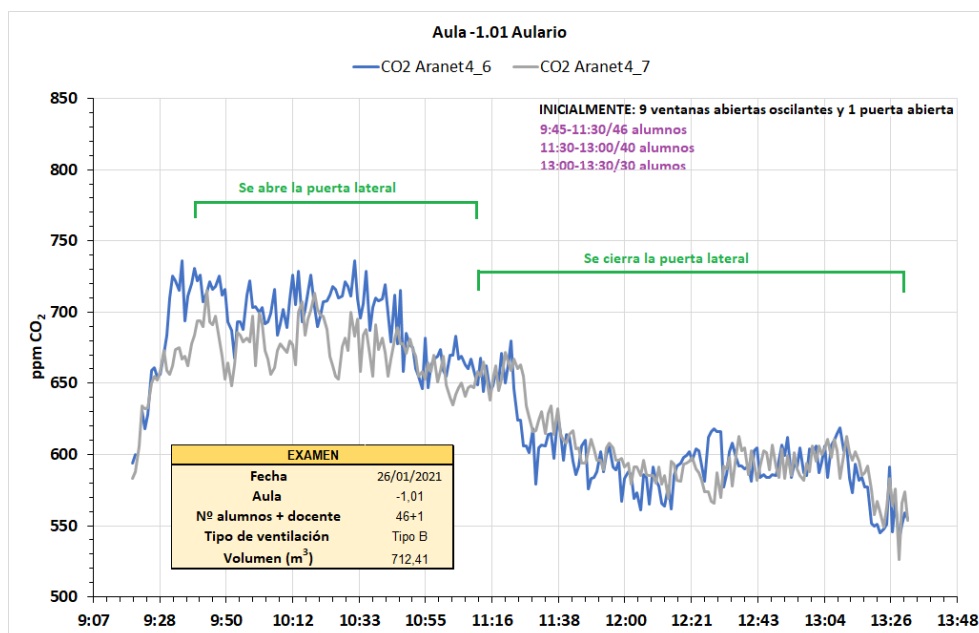


Figura 5.3.3. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula -1.01 del Aulario en horario de mañana (26/01/2021).

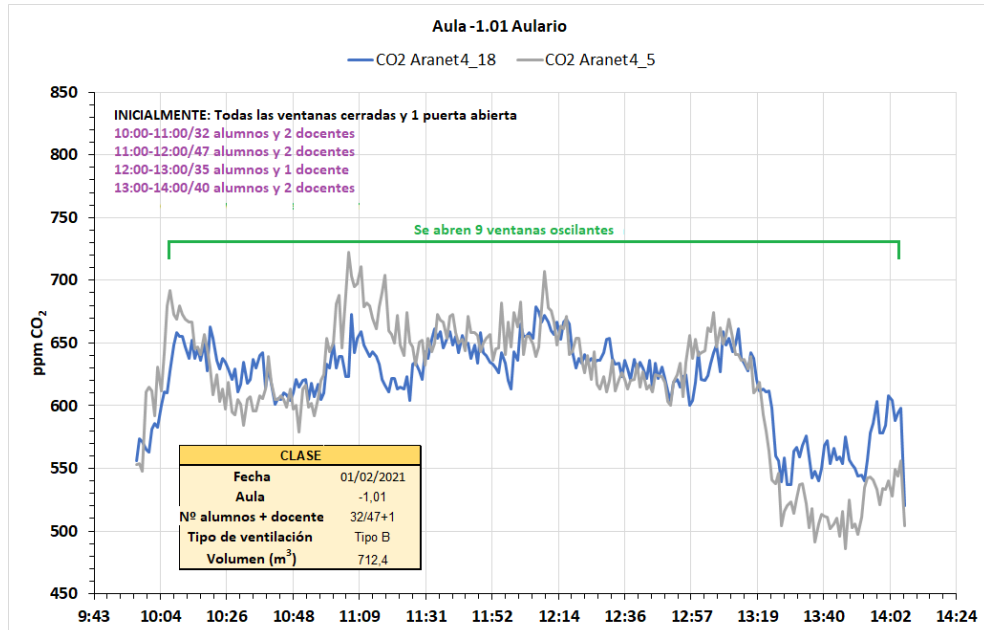


Figura 5.3.4. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula -1.01 del Aulario en horario de mañana (01/02/2021).

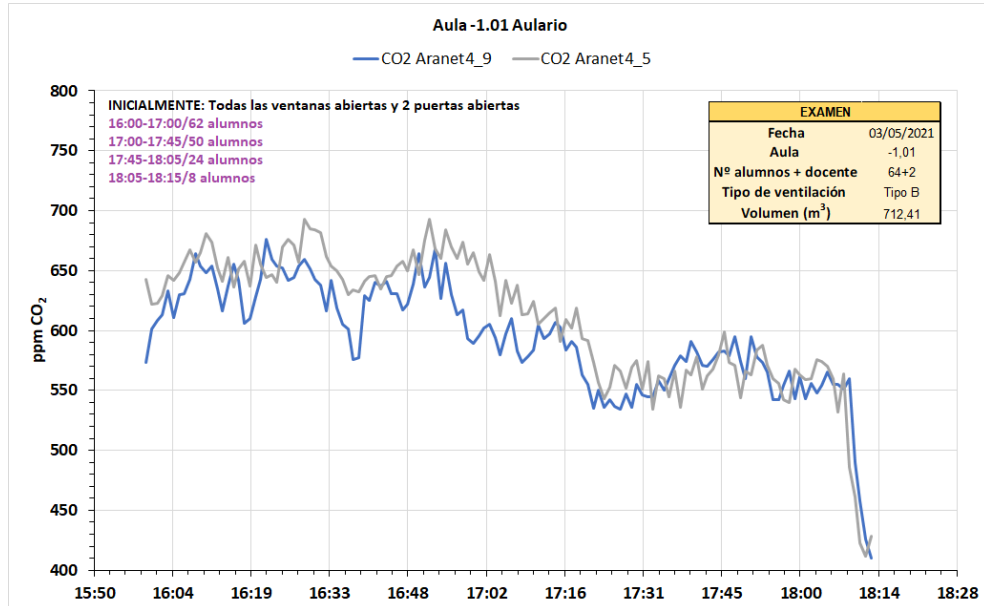


Figura 5.3.5. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula -1.01 del Aulario en horario de tarde.

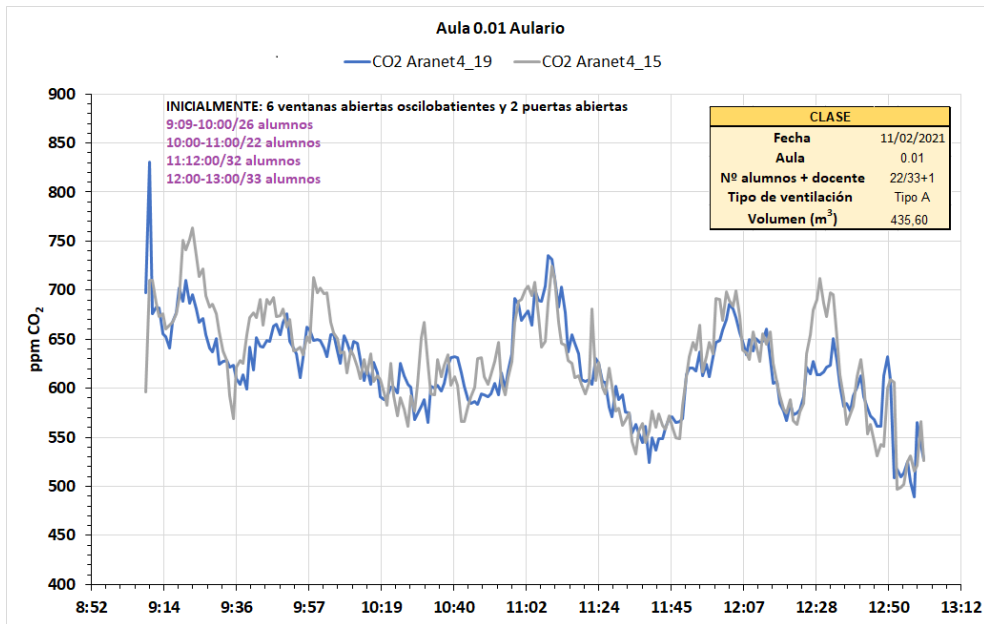


Figura 5.3.6. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 0.01 del Aulario.

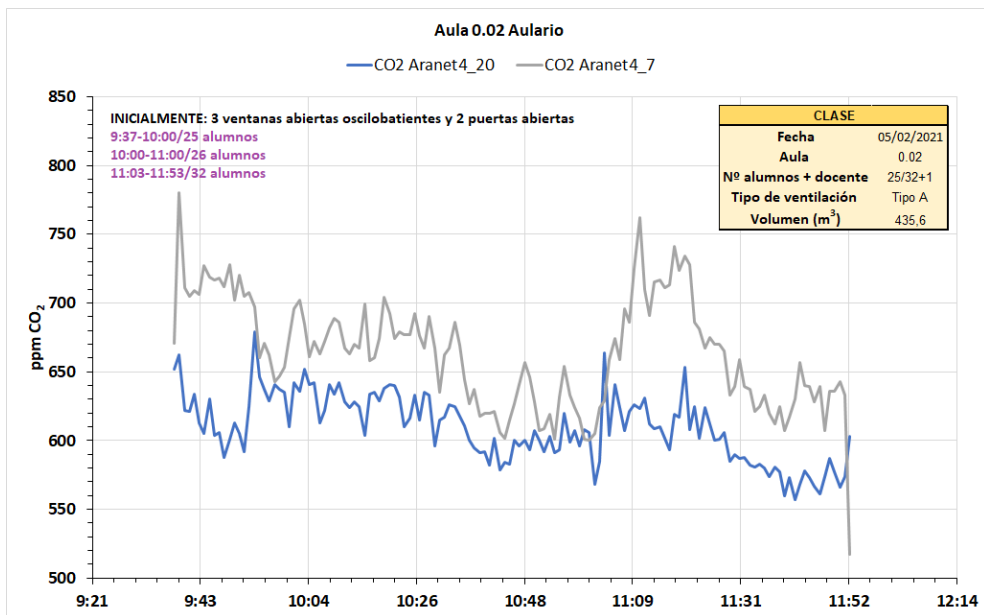


Figura 5.3.7. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 0.02 del Aulario.

Como se ha comentado, por lo general en las aulas Tipo A se han medido con las ventanas y puertas abiertas pero ha habido aulas en las que estaban cerradas como el aula 0.03 (figura 5.3.8). El día del muestreo había 50 alumnos, pero la capacidad del aula es de 70. Como se observa, la concentración de CO₂ al principio estaba entre 850 y 950 ppm. La concentración de CO₂ en estado estable calculada es de 785 ppm por lo que si el sistema de ventilación estuviera funcionando correctamente este valor no se debería haber superado. A las 11.20 h se abrieron las dos puertas del aula produciéndose un descenso en la concentración de CO₂. Esto podría indicarnos que la extracción del aire no es suficiente con las puertas cerradas y que por tanto, es mejor que alguna puerta permanezca siempre abierta

aunque la ventilación sea Tipo A. Es muy importante que los alumnos no hablen en el pasillo para disminuir el ruido y que el profesor no tenga que cerrar la puerta.

Esta incidencia se comunicó a la OGI que revisó el sistema de ventilación. Se cambiaron las correas de los ventiladores que estaban reduciendo el caudal en un 60 %.

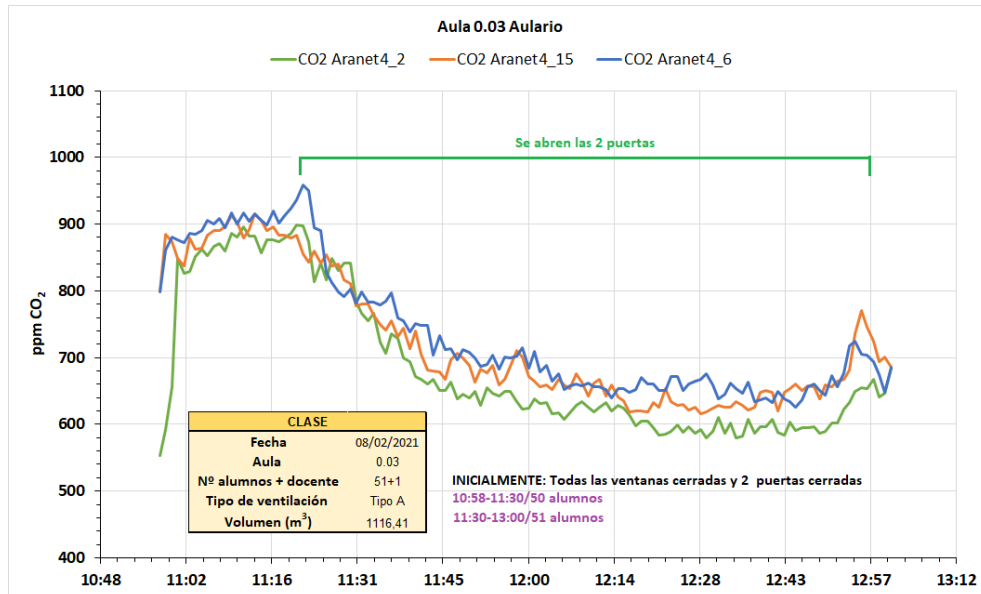


Figura 5.3.8. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 0.03 del Aulario.

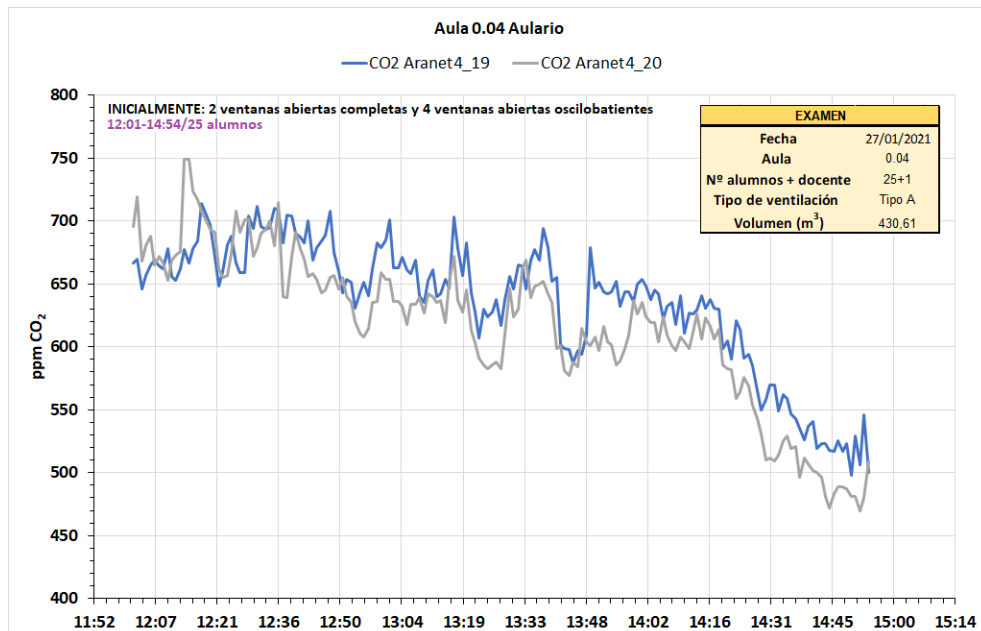


Figura 5.3.9. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 0.04 del Aulario.

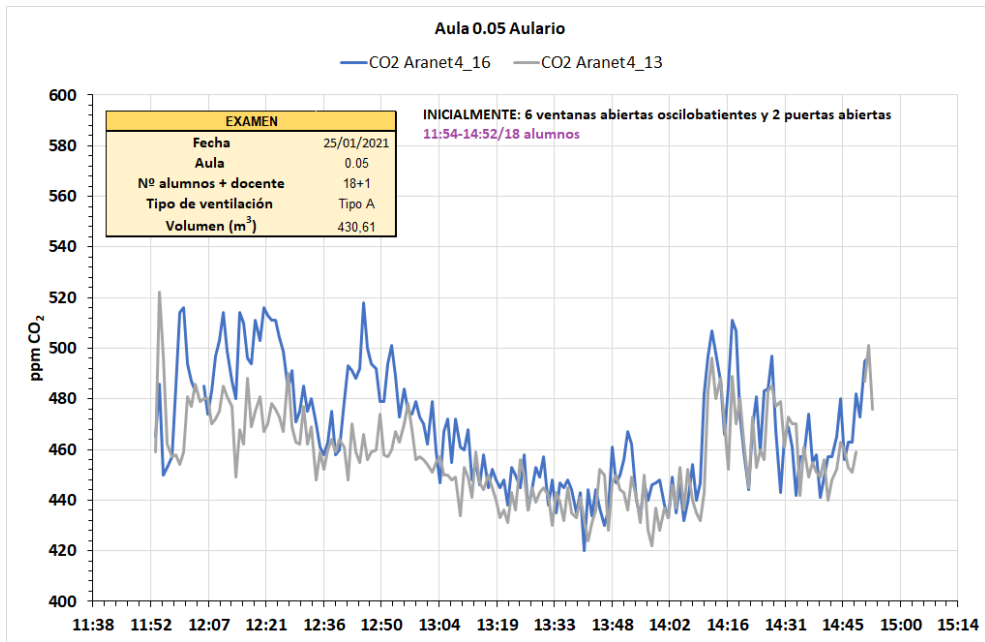


Figura 5.3.10. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 0.05 del Aulario.

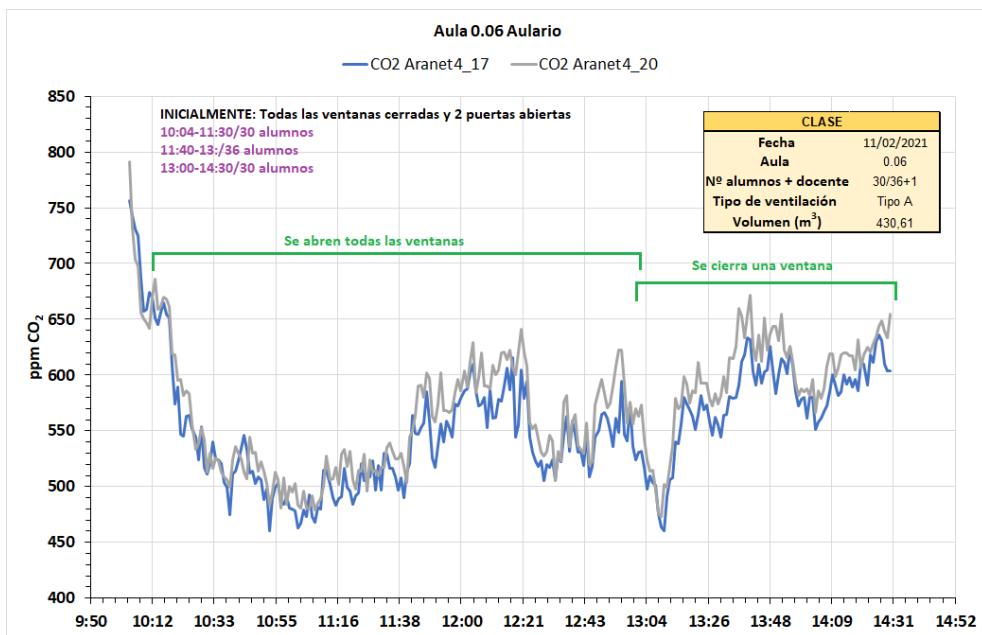


Figura 5.3.11. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 0.06 del Aulario.

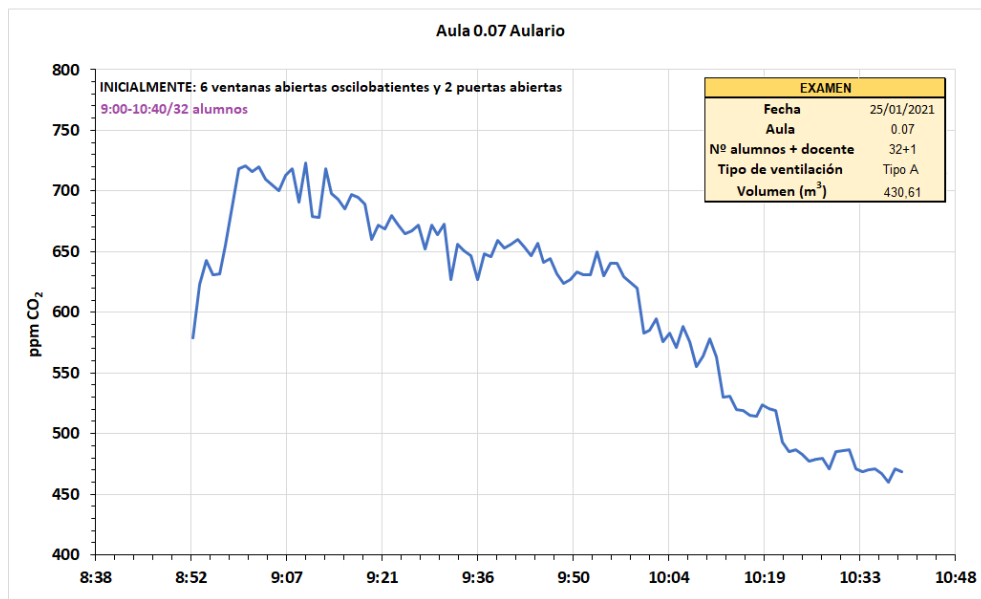


Figura 5.3.12. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 0.07 del Aulario.

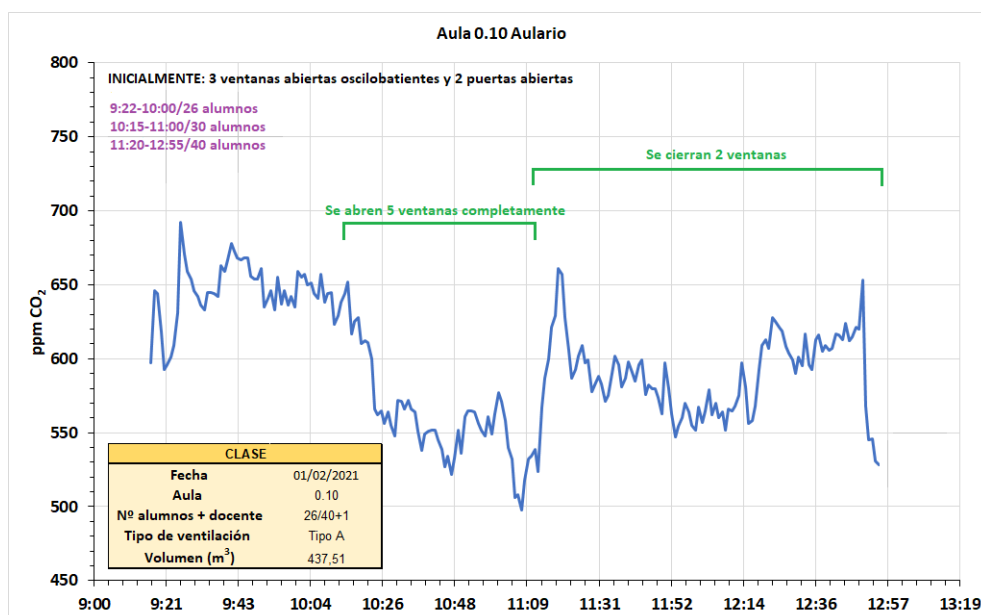


Figura 5.3.13. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 0.10 del Aulario.

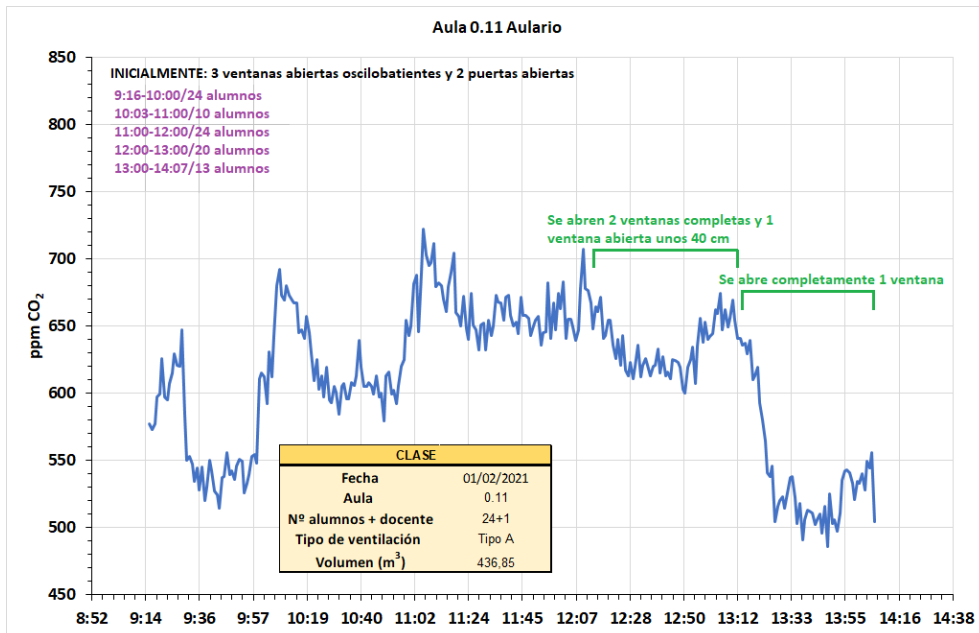


Figura 5.3.14. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 0.11 del Aulario.

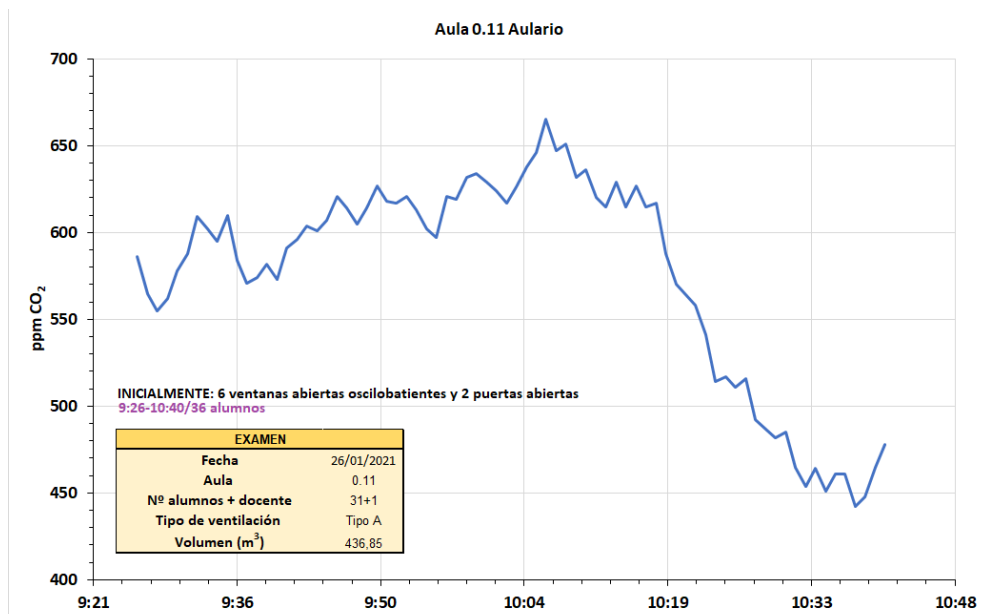


Figura 5.3.15. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 0.11 del Aulario.

La figura 5.3.16 muestra la evolución de la concentración de CO₂ en el aula 1.01 con un volumen de 320 m³ donde se distribuyeron 4 medidores de CO₂ por el aula. La ocupación fue de 28 alumnos más un docente (aforo completo). Como se observa en la figura, la ventilación parece estar uniformemente distribuida por toda el aula excepto en la parte delante (línea azul) donde hay diferencias de hasta 100 ppm en algunas ocasiones con respecto al medidor (Aranet_14: línea verde) situado en la parte posterior del aula.

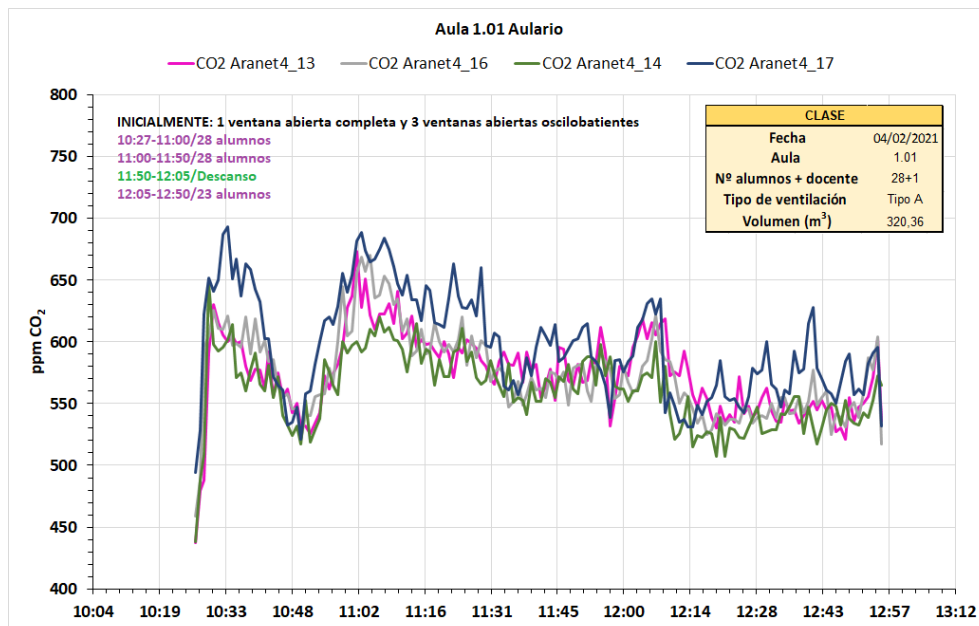


Figura 5.3.16. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 1.01 del Aulario.

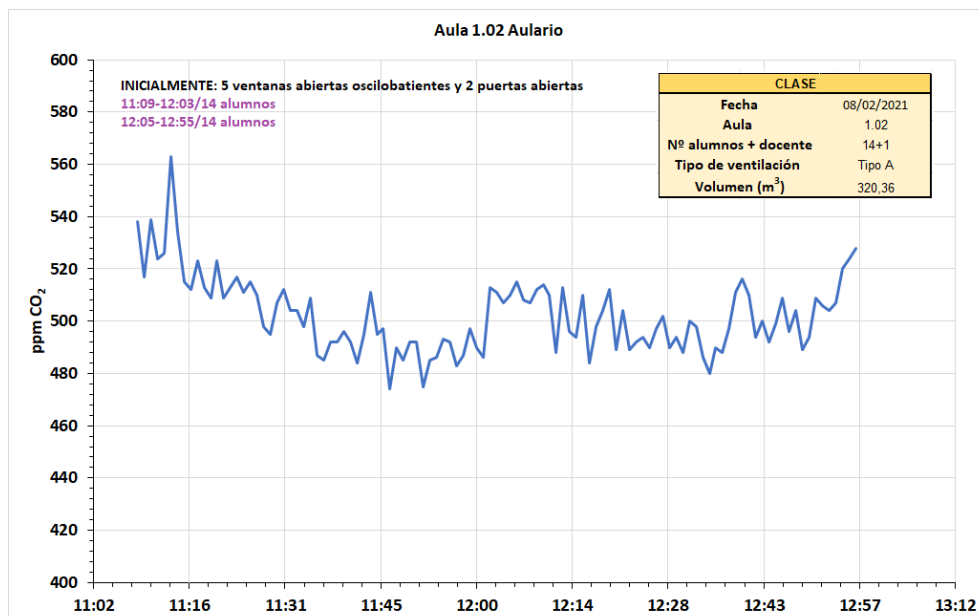


Figura 5.3.17. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 1.02 del Aulario.

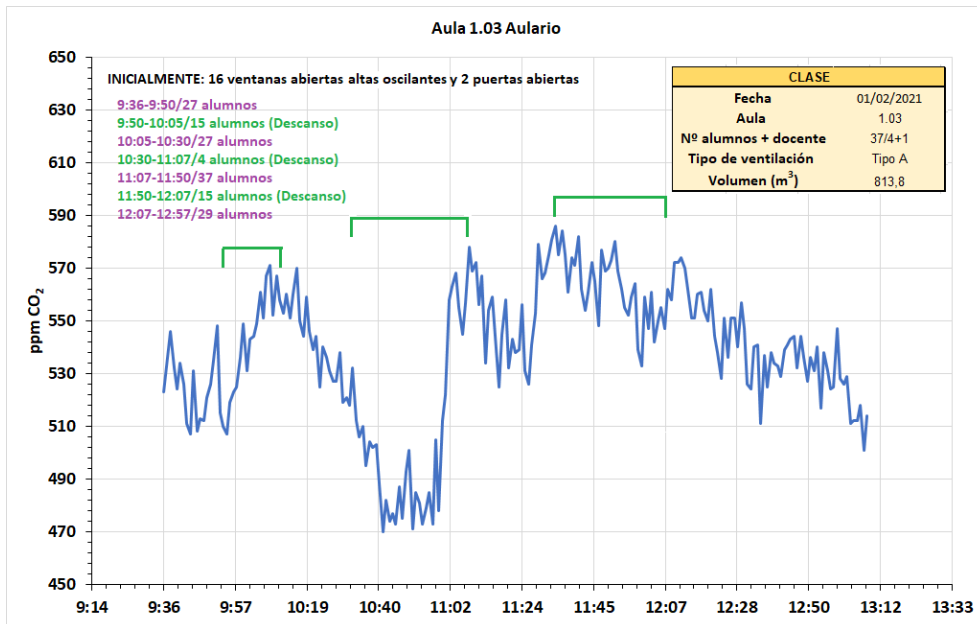


Figura 5.3.18. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 1.03 del Aulario.

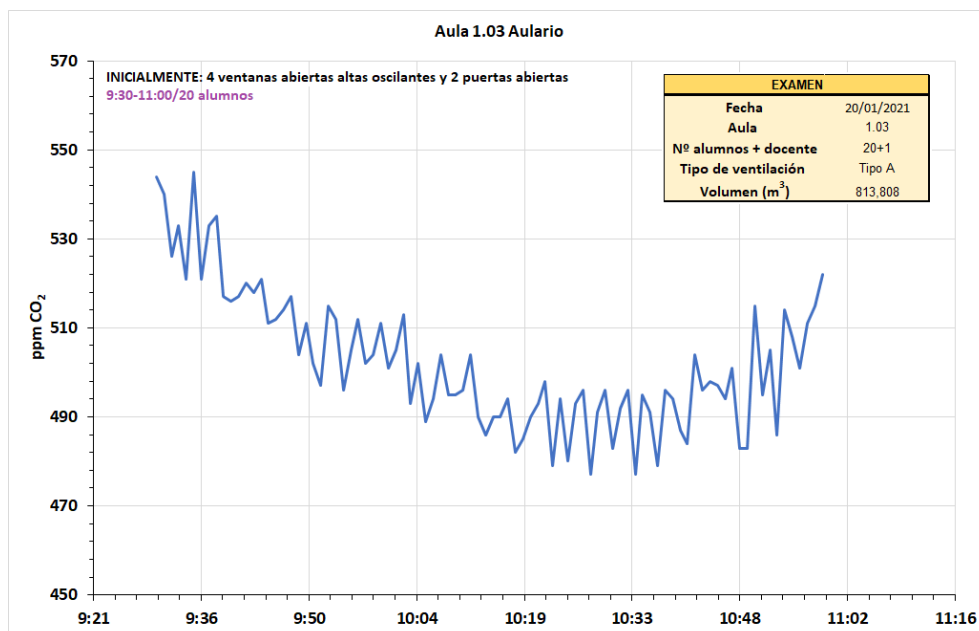


Figura 5.3.19. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 1.03 del Aulario.

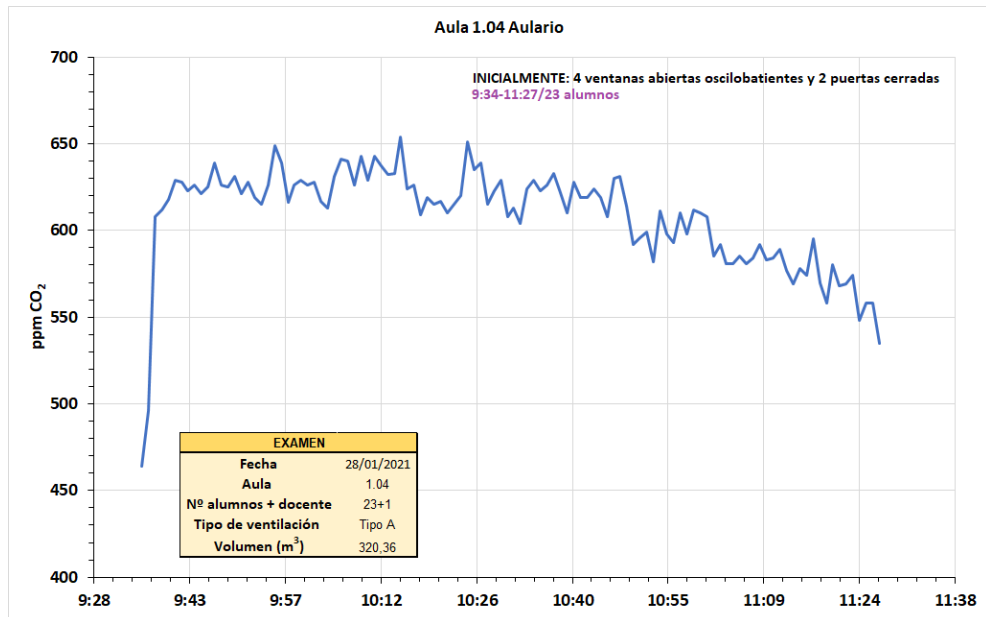


Figura 5.3.20. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 1.04 del Aulario.

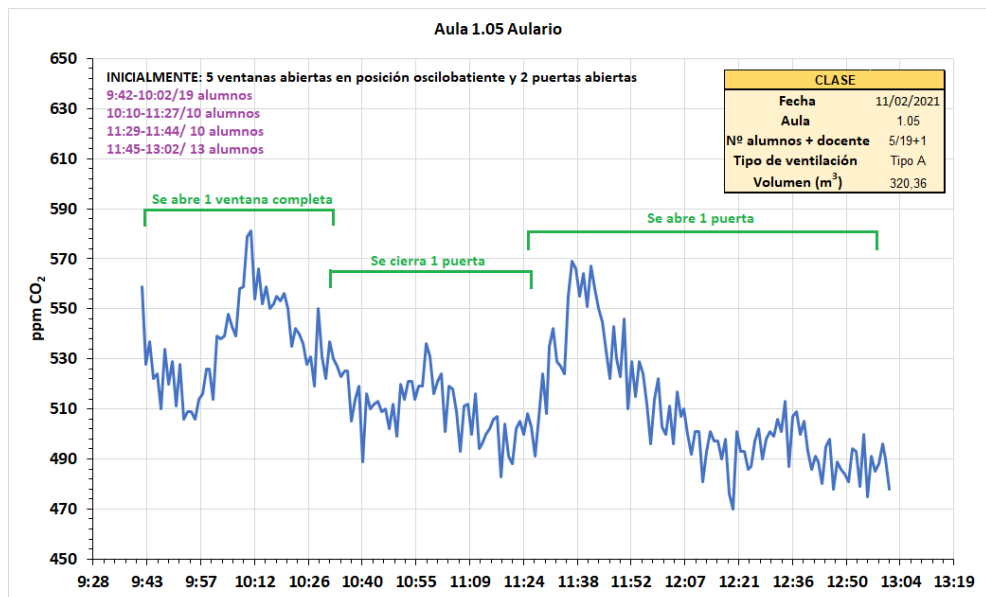


Figura 5.3.21. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 1.05 del Aulario.

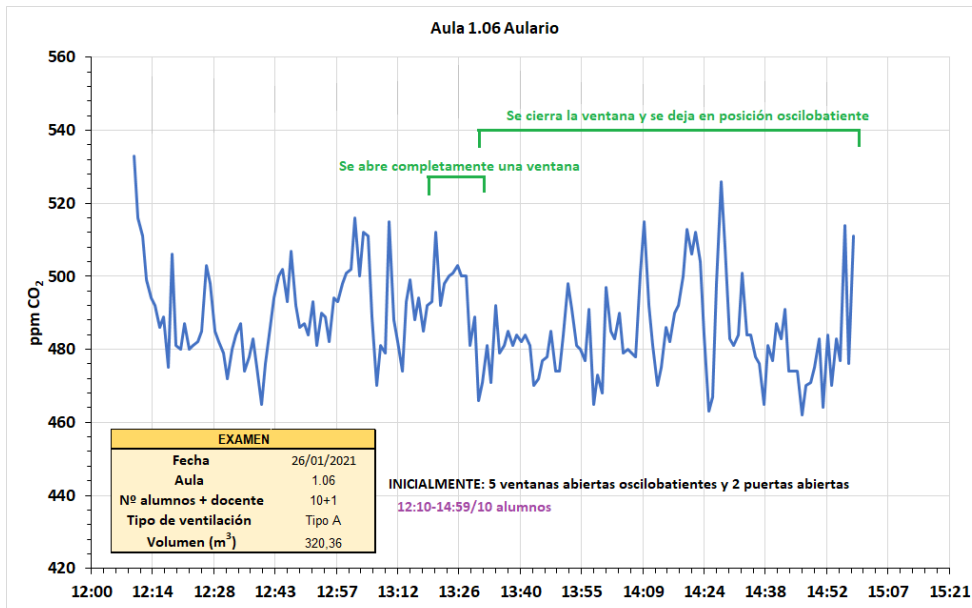


Figura 5.3.22. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 1.06 del Aulario.

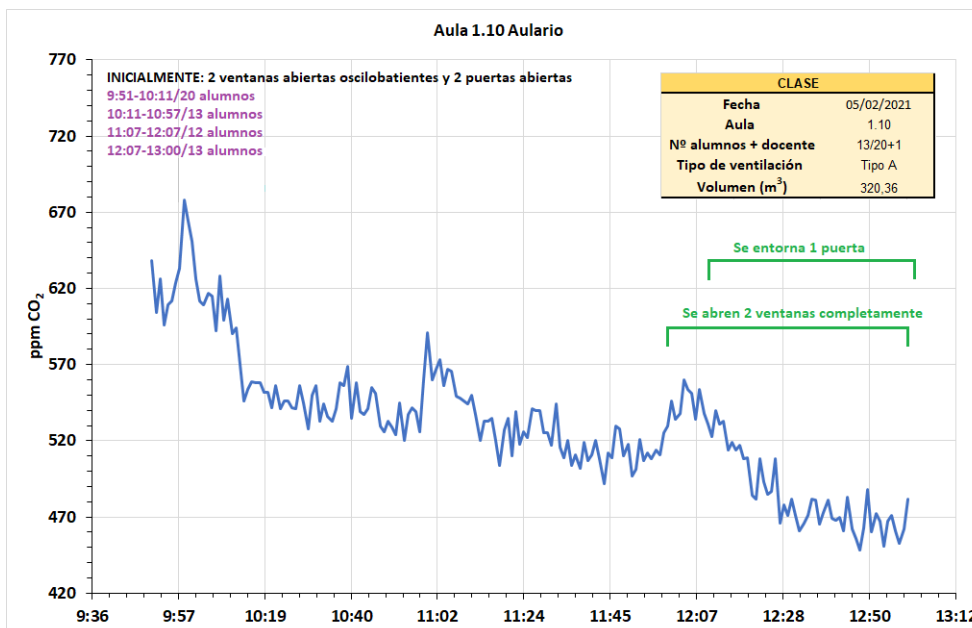


Figura 5.3.23. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 1.10 del Aulario.

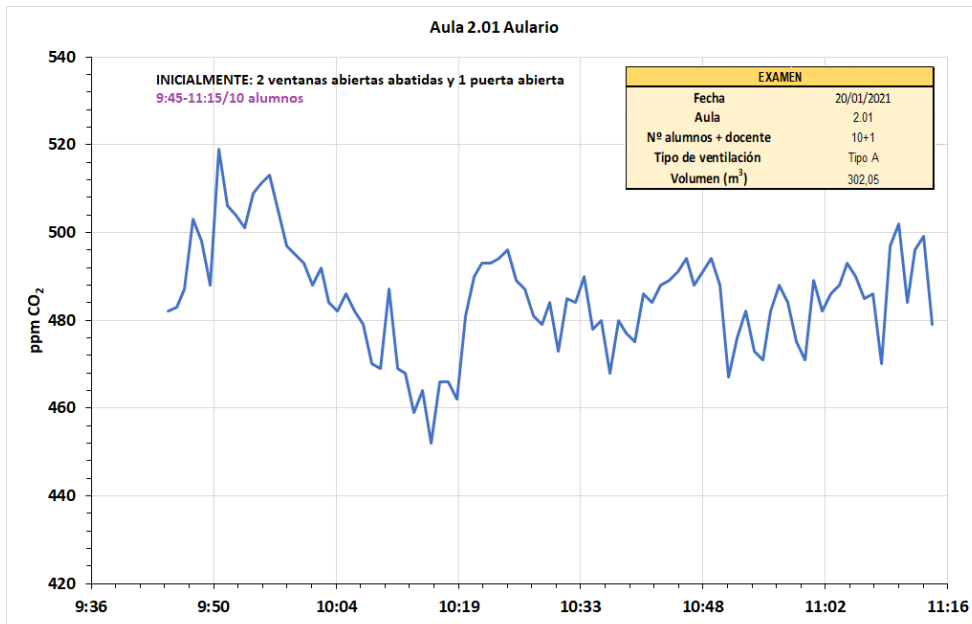


Figura 5.3.24. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 2.01 del Aulario.

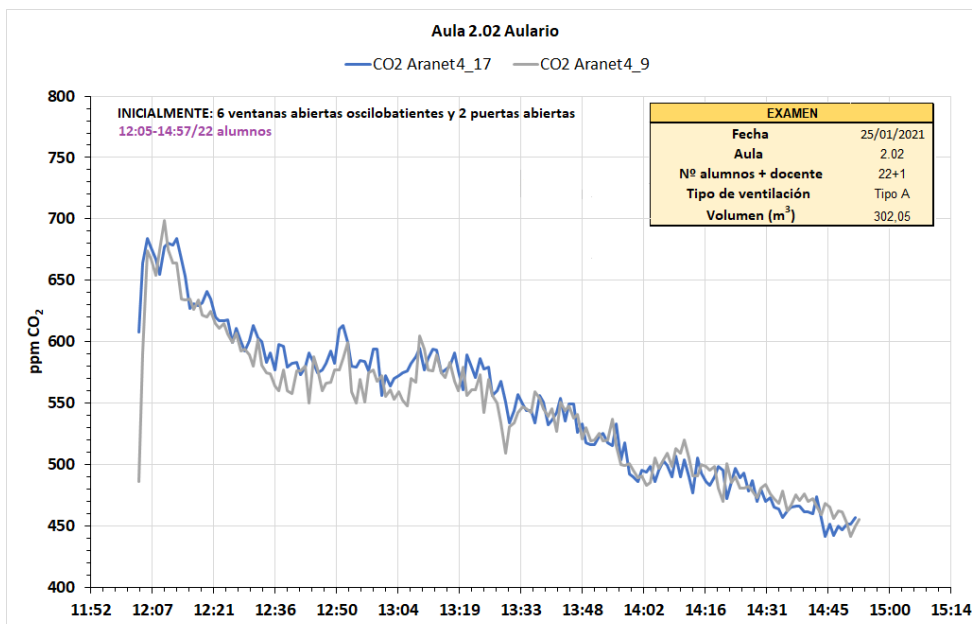


Figura 5.3.25. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 2.02 del Aulario.

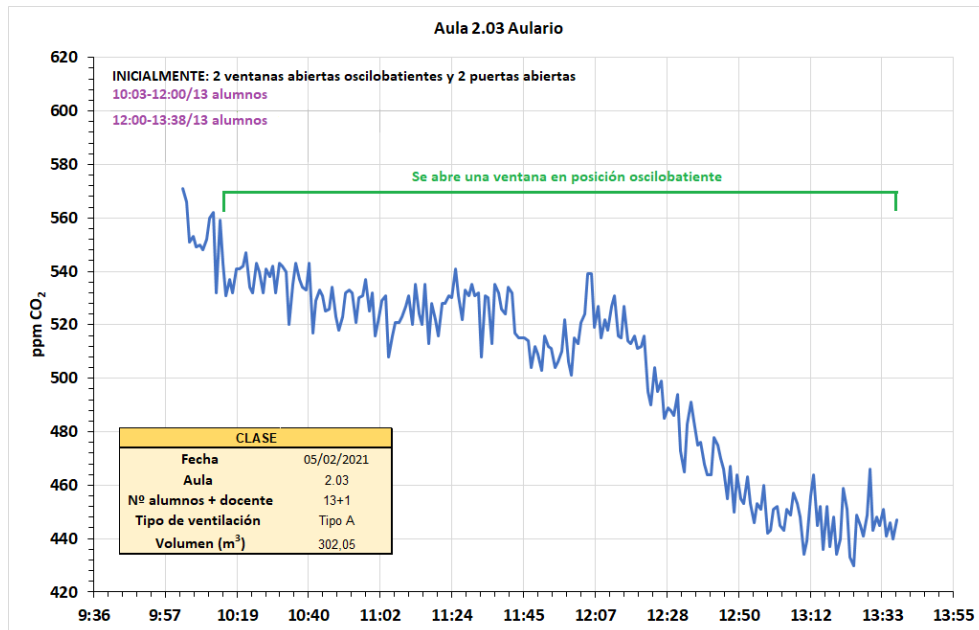


Figura 5.3.26. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 2.03 del Aulario.

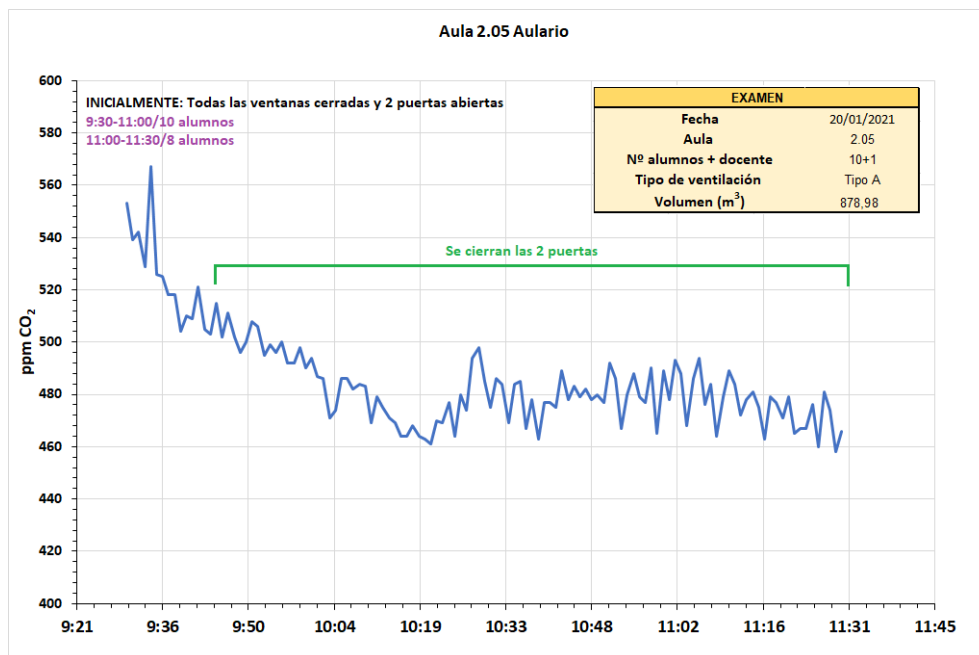


Figura 5.3.27. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 2.05 del Aulario durante un examen

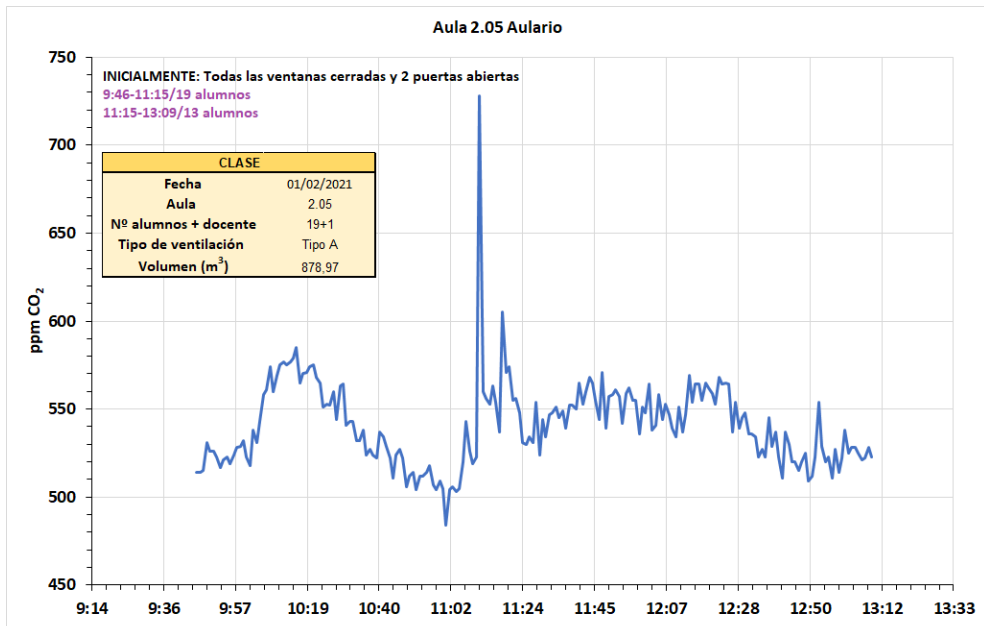


Figura 5.3.28. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 2.05 del Aulario durante las clases.

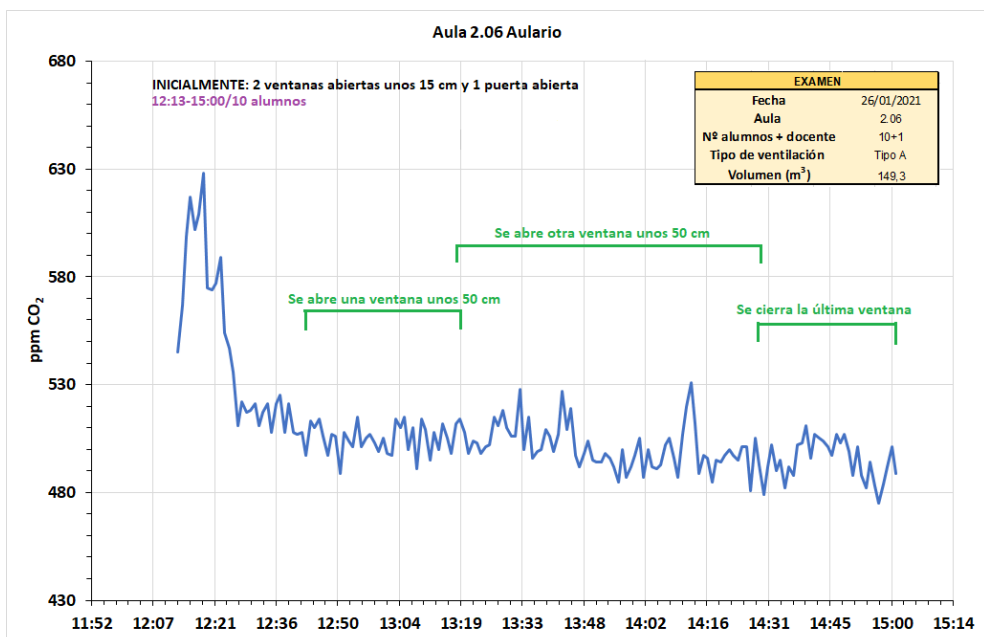


Figura 5.3.29. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 2.06 del Aulario.

La figura 5.3.30 muestra la evolución de la concentración CO_2 en el aula 2.09 con las ventanas cerradas y la puerta cerrada desde el comienzo de la clase. Puede observarse como se alcanza un pico en la concentración de CO_2 en torno a las 12.00 lo que indica que el sistema de ventilación y/o extracción no está funcionando correctamente. El muestreo fue un día después del muestreo en el aula 0.03 donde ocurrió una situación similar y se alcanzó un pico de CO_2 al tener puertas y ventanas cerradas. Por este motivo, es aconsejable en las aulas con sistemas de ventilación Tipo A dejar siempre las puertas abiertas para favorecer la extracción de CO_2 .

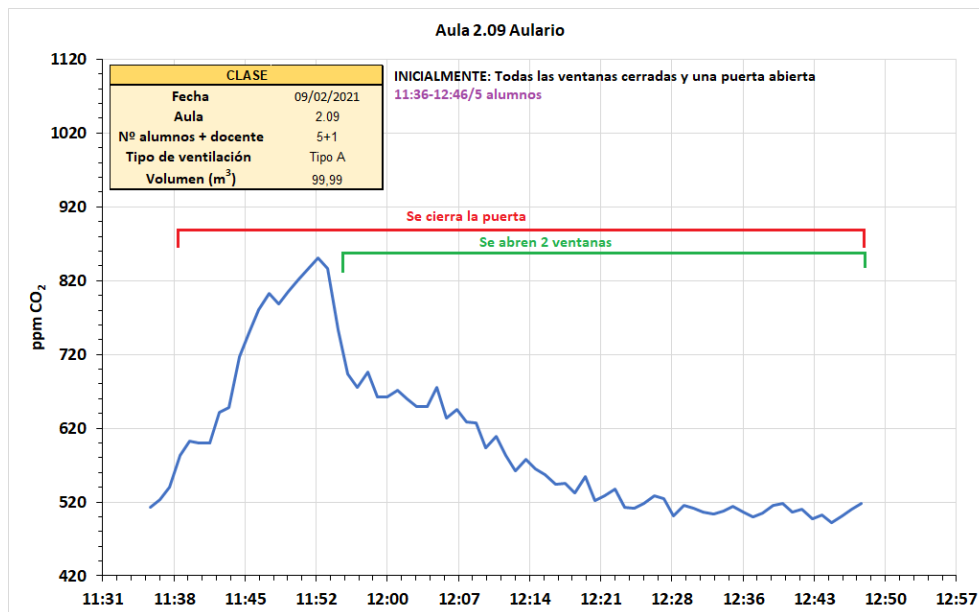


Figura 5.3.30. Evolución de la concentración de CO_2 con el tiempo en el aula 2.09 del Aulario

5.4 Facultad de Derecho

En la Facultad de Derecho se han monitorizado 10 aulas y el Paraninfo. La Tabla 5.5 muestra un resumen de las características de las aulas muestreadas con los resultados obtenidos. Todas las aulas tienen ventilación Tipo A y por tanto no necesitan la apertura de puertas y ventanas para la renovación del aire. En todas las aulas siempre ha habido ventanas correderas abiertas con distinta apertura (completamente abiertas, por la mitad o unos centímetros). Solo el aula 0.06 se ha monitorizado con la máxima ocupación, con 51 estudiantes de los 52 puestos disponibles, estando la concentración máxima de CO_2 por debajo de 700 ppm pero con las ventanas y la puerta abiertas.

El valor promedio de CO_2 ha estado por debajo de 700 ppm en todas las aulas y por tanto, por debajo también de la concentración de CO_2 en estado estable calculada, teniendo en cuenta un ACH objetivo en el que se ha considerado 12,5 l/s/p de aire exterior suministrado por el sistema de ventilación. La concentración máxima de CO_2 se registró en el aula 0.07 llegando a 800 ppm, valor similar a la concentración de CO_2 en estado estable calculada de 788 ppm.

La temperatura promedio en las aulas ha estado entre los 17,2 °C y 22,8 °C

Aula	Fecha	Actividad- Nº alumnos ¹	Volumen (m ³)	Tipo de ventilación	CO ₂ (ppm)			Temperatura (°C)			Humedad Relativa (%)			CO ₂ Estado Estable (ppm)
					Promedio	Máximo	Mínimo	Promedio	Máximo	Mínimo	Promedio	Máximo	Mínimo	12,5 l/s/p
0.01	15/02/21	Clase 37/56	546,06	Tipo A	502	716	443	21,6	23	19,2	37,1	44	35	783
0.03	16/02/21	Clase 35/56	541,24	Tipo A	470	534	425	20,6	22,7	11,9	37,6	60	30	783
0.05	15/02/21	Clase 26/56	546,06	Tipo A	474	575	412	21,9	23,1	15,8	36,1	47	34	783
0.06	15/02/21	Clase 51/52	543,65	Tipo A	497	579	429	22,8	24,2	17,9	35,5	47	34	783
0.07	16/02/21	Clase 23/35	348,66	Tipo A	681	800	470	19,5	21,2	15,1	41	53	39	784
0.09	16/02/21	Clase 12/34	273,18	Tipo A	543	616	487	17,2	17,9	16,5	43,5	44	42	784
1.02	15/02/21	Clase 45/72	863,38	Tipo A	469	550	398	19,9	23,4	17,5	37,6	44	36	783
1.03	15/02/21	Clase 54/72	866,57	Tipo A	523	648	451	22,5	24,2	16,9	25,6	46	33	783
1.04	09/03/21 Tarde	Clase 20/32	368,71	Tipo A	488	525	427	17,4	20	16,5	29,8	44	38	784
1.05	09/03/21 Tarde	Clase 20/32	373,15	Tipo A	488	530	424	22,1	23,1	20,8	30,5	33	28	784
Parainfo	23/03/21	Clase 94/148	4375,61	Tipo A	527	618	480	21,6	23,6	15	26,5	48	24	783

¹ Se indica la ocupación del aula durante el muestreo con respecto a la ocupación máxima o aforo permitido del aula.

Tabla 5.5. Tabla resumen de Derecho

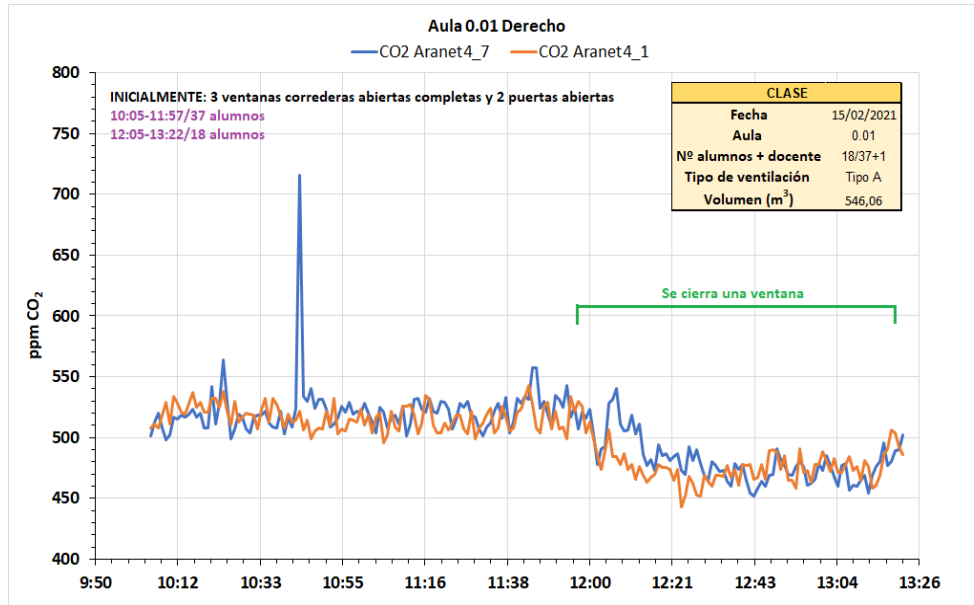


Figura 5.4.1. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 0.01 de Derecho.

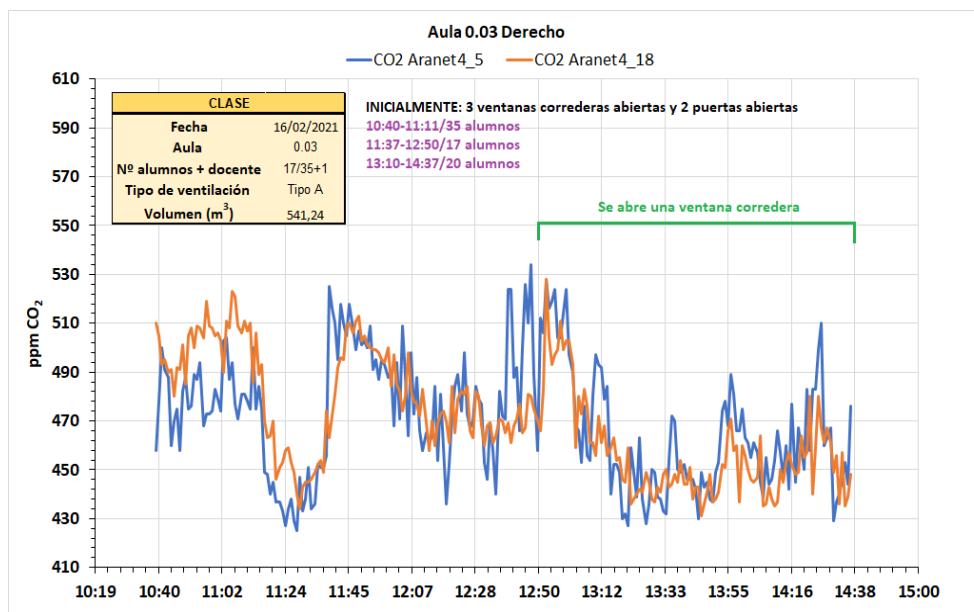


Figura 5.4.2. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 0.03 de Derecho.

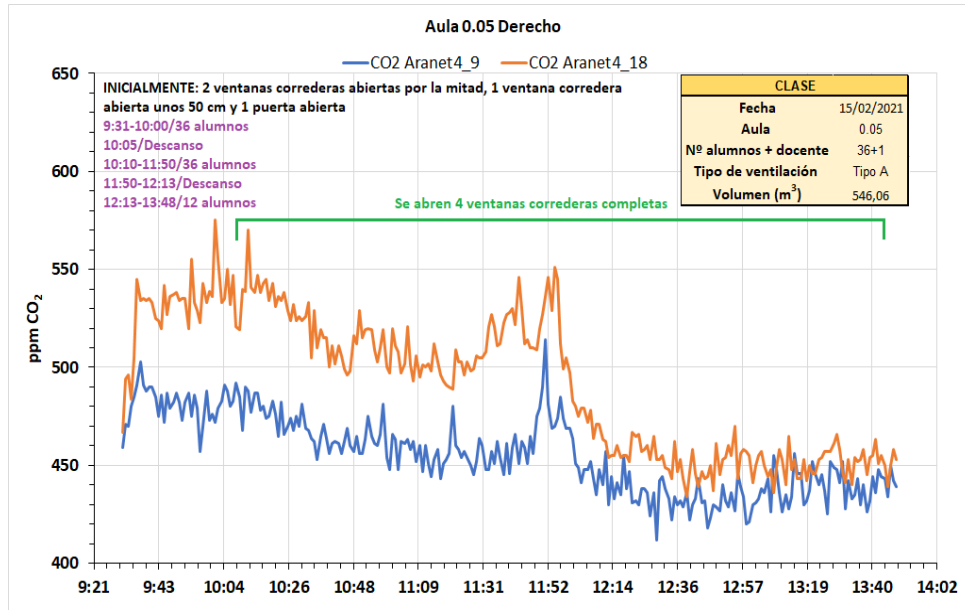


Figura 5.4.3. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 0.05 de Derecho.

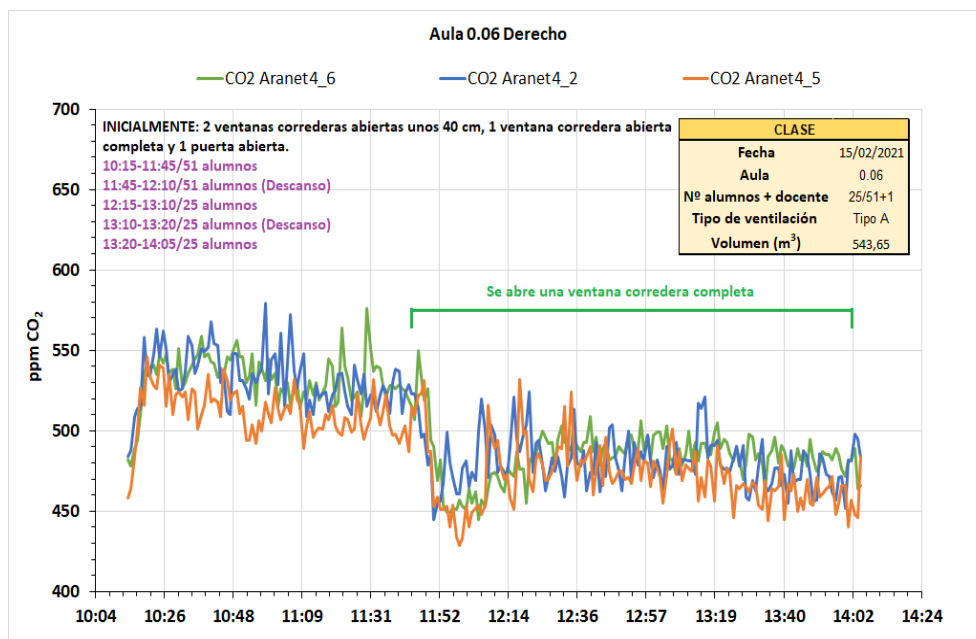


Figura 5.4.4. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 0.06 de Derecho.

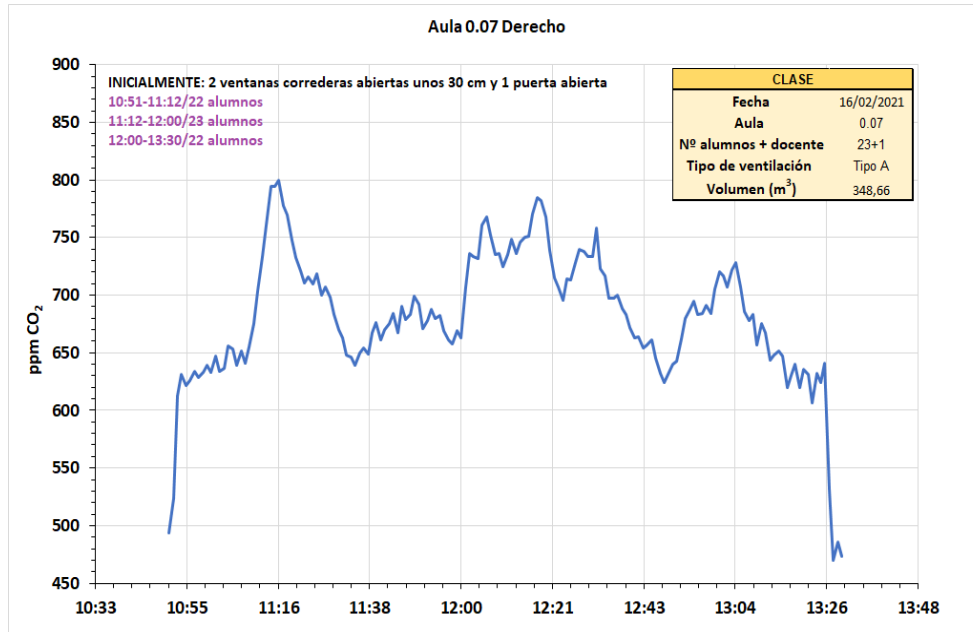


Figura 5.4.5. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 0.07 de Derecho.

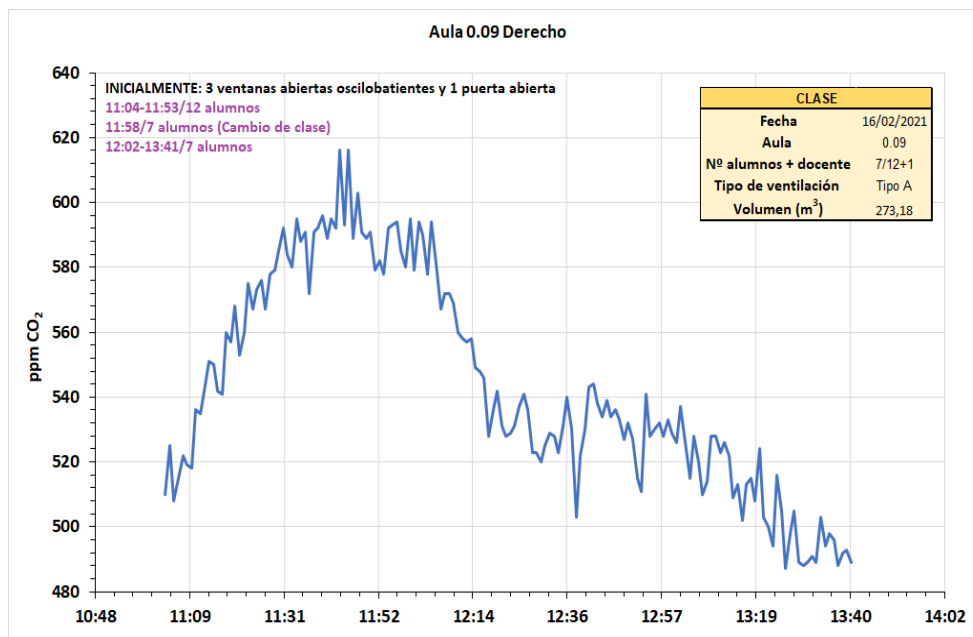


Figura 5.4.6. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 0.09 de Derecho.

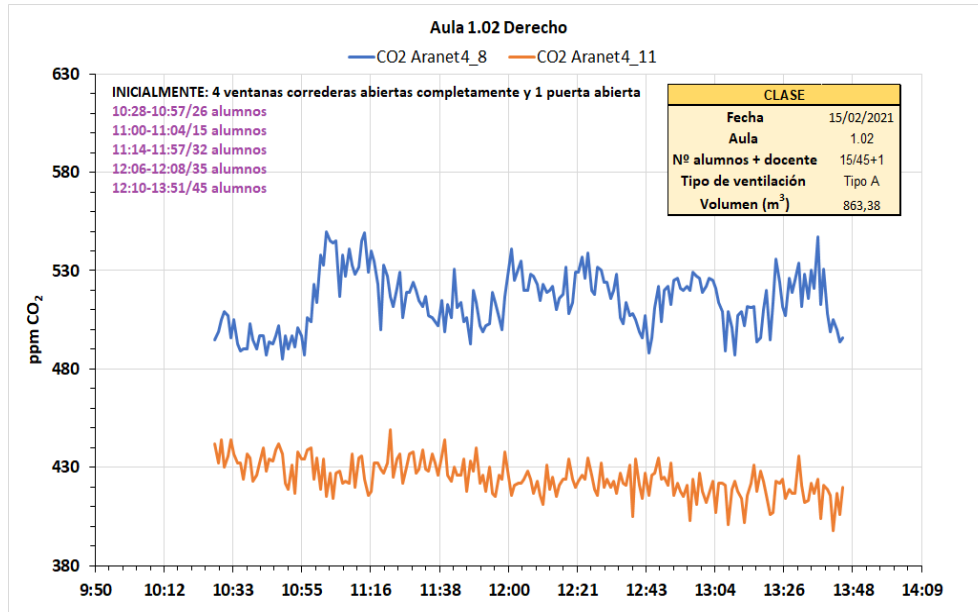


Figura 5.4.7. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 1.02 de Derecho.

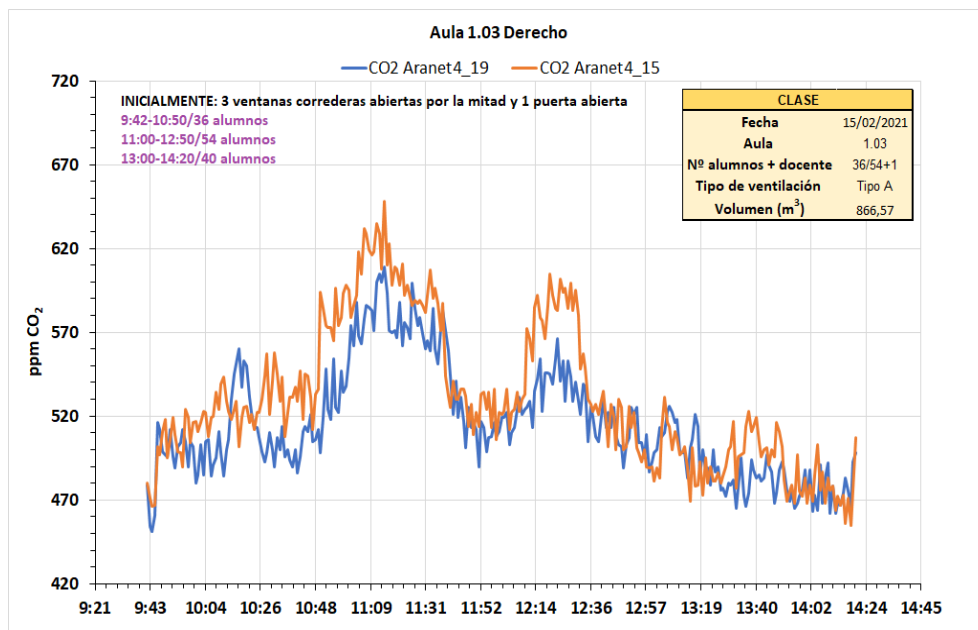


Figura 5.4.8. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 1.03 de Derecho.

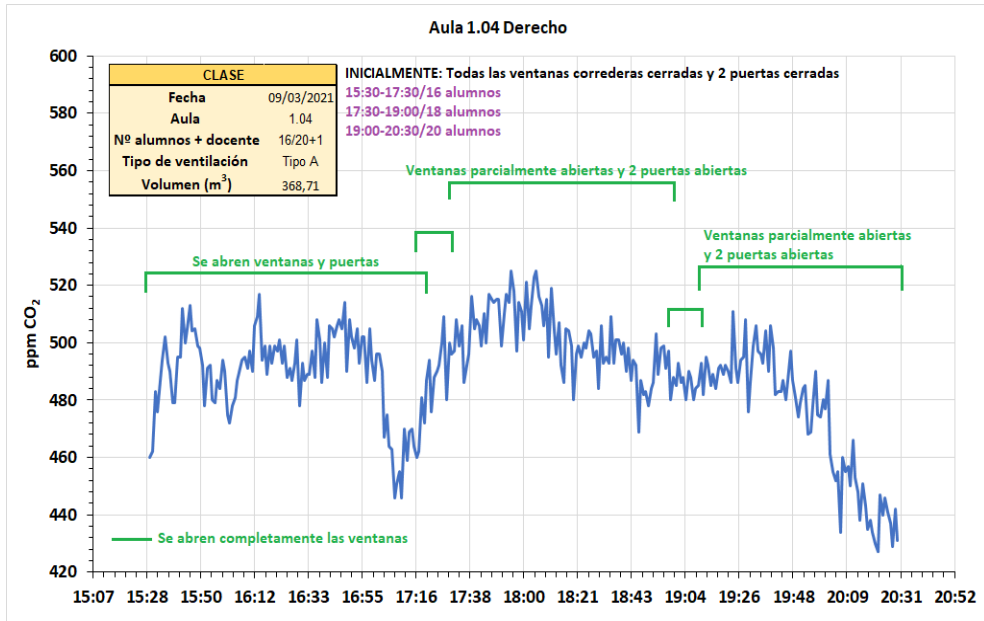


Figura 5.4.9. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 1.04 de Derecho.

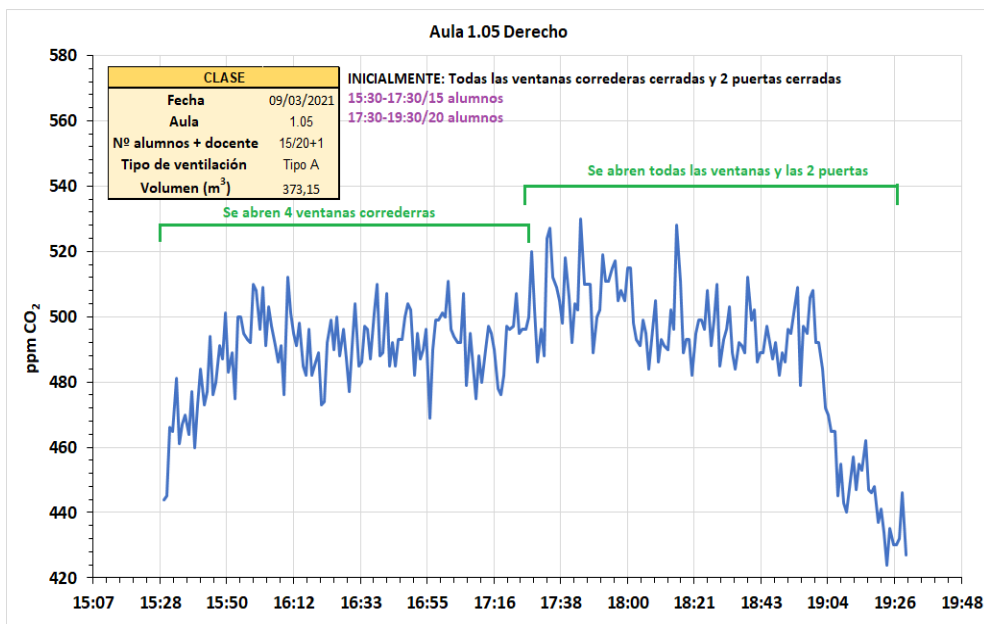


Figura 5.4.10. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 1.05 de Derecho.

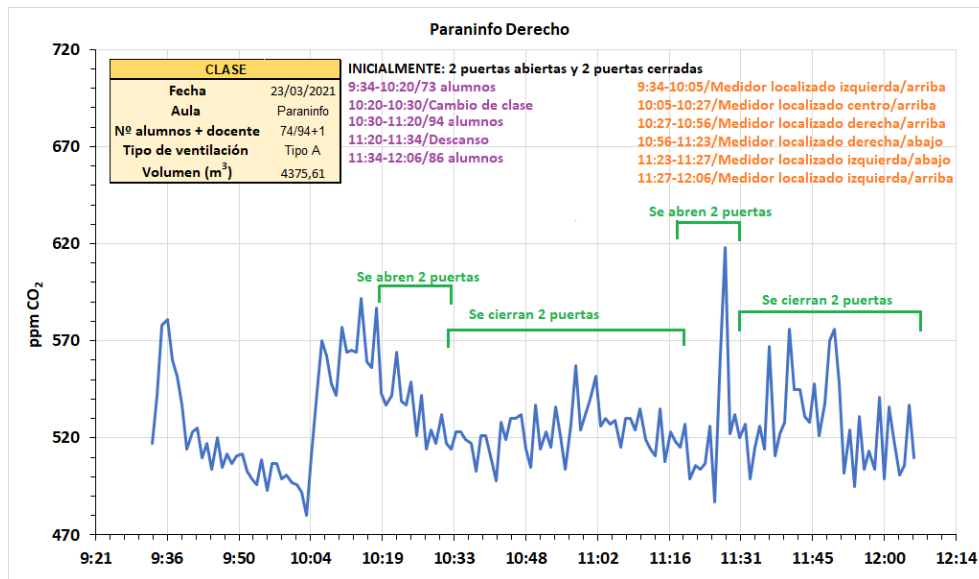


Figura 5.4.11. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el Paraninfo de Derecho.

5.5 Edificio Politécnico

En el edificio Politécnico se han monitorizado 15 aulas. La Tabla 5.6 muestra un resumen de las características de las aulas muestreadas con los resultados obtenidos. Todas las aulas tienen ventilación Tipo B, es decir, ventilación forzada que necesita complementarse con ventilación natural (sistema de ventilación mixto), excepto las aulas del sótano que son de Tipo C (ventilación natural). En todas las aulas siempre ha habido ventanas y puertas abiertas. En ningún aula se ha llegado a la máxima ocupación.

El valor promedio de CO₂ ha estado por debajo de 700 ppm en todas las aulas y por tanto, por debajo también de la concentración de CO₂ en estado estable calculada teniendo en cuenta un ACH objetivo de 5. Sin embargo, dadas las dimensiones de las aulas, la ocupación y el sistema de ventilación tipo B o C se podía haber ajustado la apertura de ventanas para llegar a un compromiso entre ventilación y confort térmico especialmente en el periodo de exámenes en enero. Así por ejemplo, en las aulas situadas en el sótano y con sistema de ventilación Tipo C el promedio de temperatura osciló entre 14.6 °C y 17.3 °C durante los exámenes realizados el 21 de enero de 2021. Más adelante se comentan algunos ejemplos concretos en los que puede observarse los niveles de CO₂ y la temperatura del aula a lo largo del periodo de muestreo.

En general, la temperatura promedio en las aulas con ventilación Tipo B estuvo en el rango de 17.4 °C a 22 °C

Aula	Fecha	Actividad- Nº alumnos ¹	Volumen (m ³)	Tipo de ventilación	CO ₂ (ppm)			Temperatura (°C)			Humedad Relativa (%)			CO ₂ Estado Estable (ppm)
					Promedio	Máximo	Mínimo	Promedio	Máximo	Mínimo	Promedio	Máximo	Mínimo	ACH=5
-1.05	21/01/21	Examen 14/40	517,17	Tipo C	460	832	420	14,6	20,2	13,2	60,2	70	42	517
	23/02/21	Clase 23/40			482	556	439	17,3	21,2	16,5	50,7	54	41	484
-1.16	21/01/21	Examen 9/51	528,28	Tipo C	482	556	439	17,3	21,2	16,5	50,7	54	41	484
	03/02/21	Clase 37/51			597	715	474	19,5	22,5	17,3	47,3	55	40	657
-1.17	03/02/21	Clase 44/57	592,30	Tipo C	592	650	466	18,6	19,4	15,2	47,5	57	45	670
	21/01/21	Examen 30/57			499	549	418	16,3	19,1	16	54,2	60	45	593
0.02+0.03	16/02/21	Clase 46/68	683,36	Tipo B	478	586	401	18,3	20,4	14,1	29,6	45	32	646
	21/01/21	Examen 33/68			473	622	426	17,4	21,1	14,7	52,8	60	41	584
0.04+0.05+0.06	21/01/21	Examen 36/68	664,46	Tipo B	482	556	430	18,3	20,8	13,5	51,3	62	42	603
0.07	16/02/21	Clase 13/20	225,48	Tipo B	488	540	439	22	24,6	14,2	33,3	44	29	628
Aula Dibujo	21/01/21	Examen 36/65	712,39	Tipo B	495	580	439	19,5	19,9	18,9	47,1	49	46	591
1.01	09/02/21	Clase 12/16	193,02	Tipo B	562	607	506	20,8	21,4	19,4	40,6	49	40	646
1.02	11/02/21	Clase 11/34	192,74	Tipo B	523	613	435	21,8	23,5	19,6	49,2	59	46	629

¹¹ Se indica la ocupación del aula durante el muestreo con respecto a la ocupación máxima o aforo permitido del aula.

Tabla 5.6. Tabla resumen del edificio Politécnico.

Aula	Fecha	Actividad- Nº alumnos ¹	Volumen (m ³)	Tipo de ventilación	CO ₂ (ppm)			Temperatura (°C)			Humedad (%)			CO ₂ Estado Estable (ppm)
					Promedio	Máximo	Mínimo	Promedio	Máximo	Mínimo	Promedio	Máximo	Mínimo	ACH=5
1.03	09/02/21	Clase 20/34	192,73	Tipo B	494	596	409	19,8	21,4	18,8	39,1	40	37	678
1.06+1.07	17/02/21	Clase 20/44	451,58	Tipo B	479	558	432	20,5	21,4	18,8	39,1	40	37	574
Aula Magna	21/01/21	Examen 25/51	588,73	Tipo B	492	536	433	22	22,7	18,2	41,2	50	39	566
1.17	21/01/21	Examen 41/78	822,17	Tipo B	503	556	445	21,3	22,2	18,4	42,5	52	41	588
1.21	09/02/21	Clase 11/35	357,08	Tipo B	470	524	411	19,3	21,5	17,4	44,9	49	41	533
10.1	17/02/21	Clase 8/51	374,91	Tipo B	460	503	438	19,7	20,2	18,2	40,3	45	40	501

¹¹ Se indica la ocupación del aula durante el muestreo con respecto a la ocupación máxima o aforo permitido del aula.

Tabla 5.6. Tabla resumen del edificio Politécnico (continuación).

El pico de CO₂ observado la figura 5.5.1 es debido a que alguna persona estuvo respirando cerca del medidor.

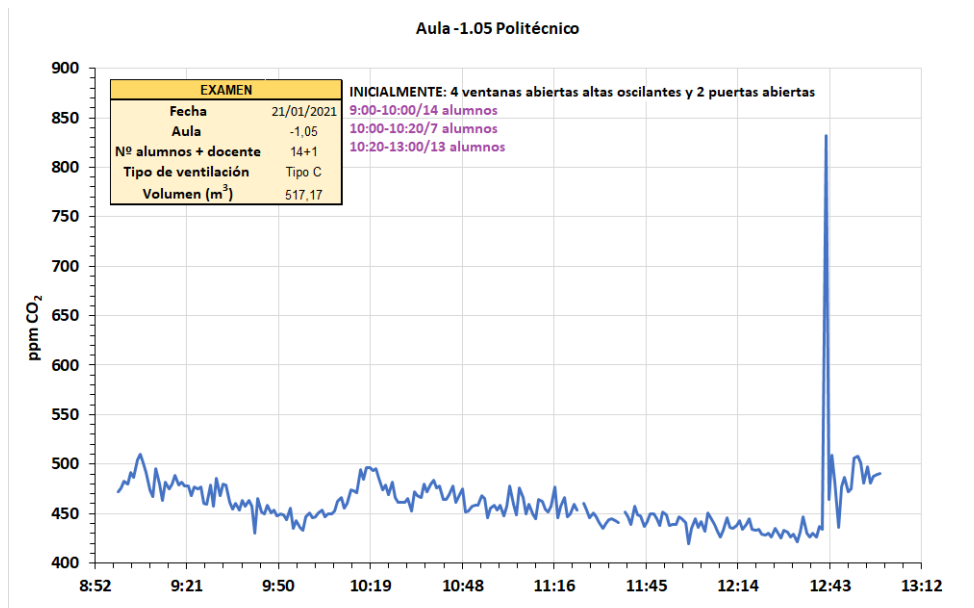


Figura 5.5.1. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula -1.05 durante un examen.

Durante las clases, en el aula -1.05 del sótano se colocaron dos medidores de CO₂, uno en el centro (denominado Aranet4_19) y otro en la parte trasera (Aranet4_15) del aula. En la figura 5.5.2 se muestra la evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en este aula y puede observarse una distribución desigual de la ventilación registrándose una mayor concentración de CO₂ en la parte central que en la parte trasera del aula.

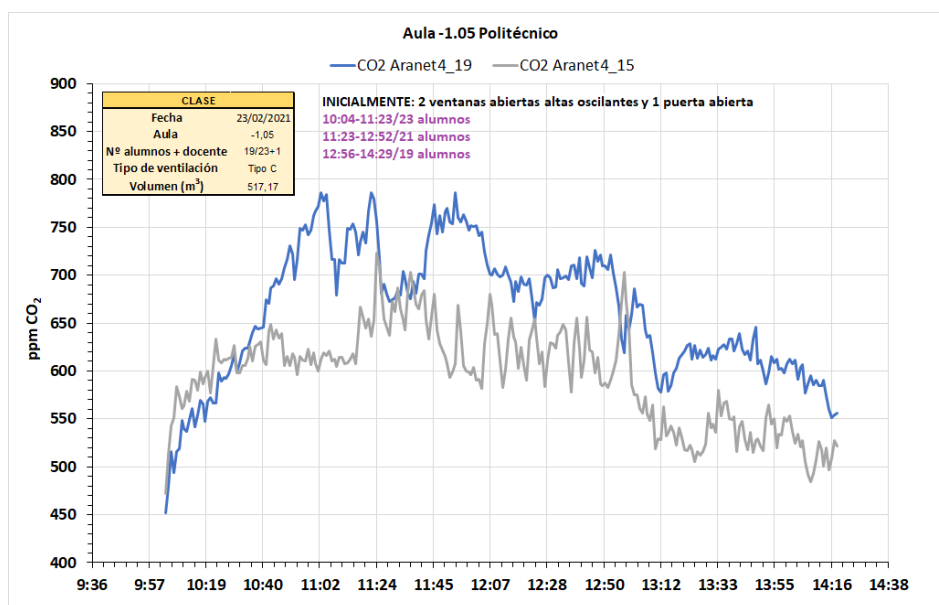


Figura 5.5.2. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula -1.05 durante las clases

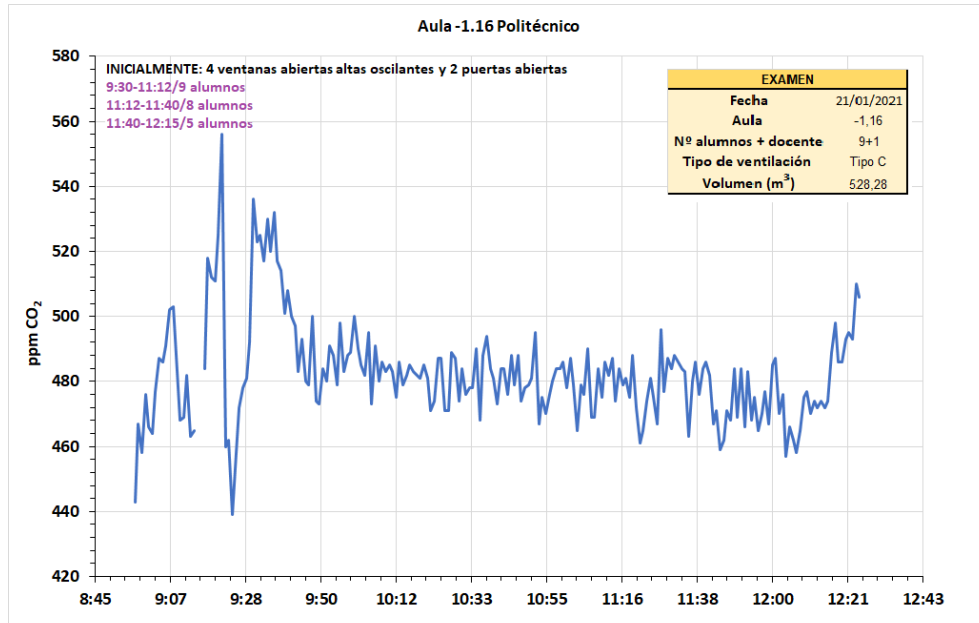


Figura 5.5.3. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula -1.16 del Politécnico el 21/01/21.

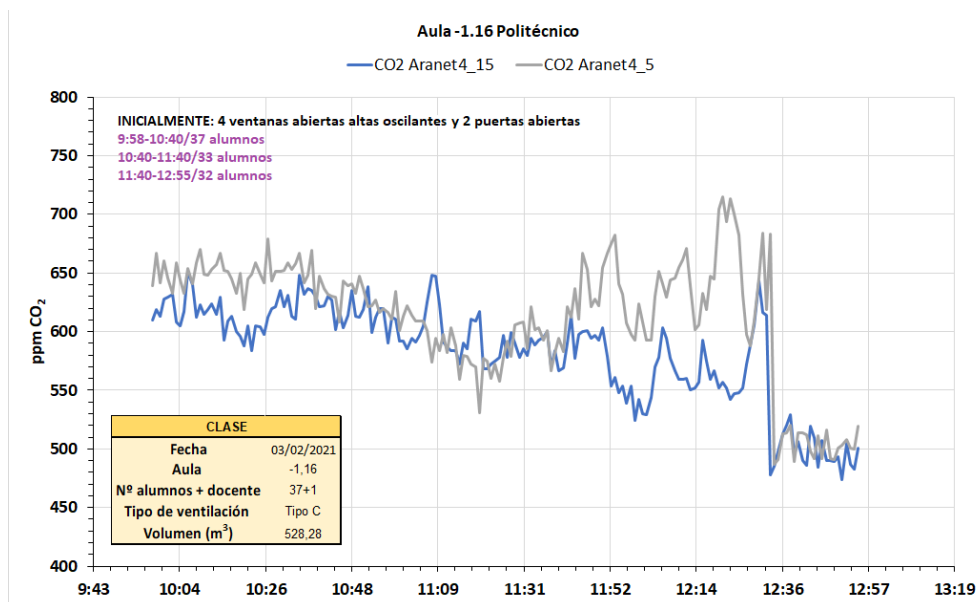


Figura 5.5.4. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula -1.16 del Politécnico el 03/02/21.

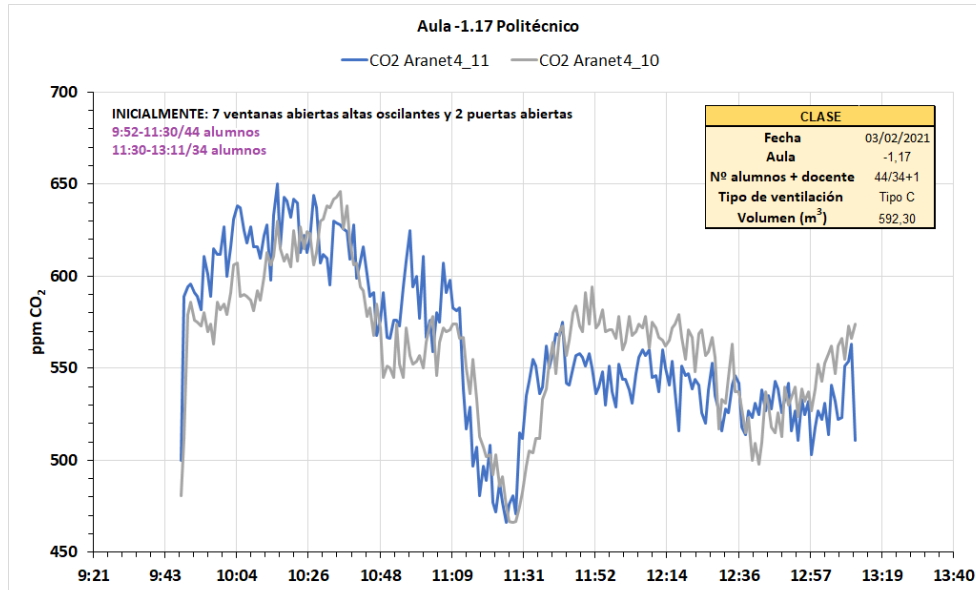


Figura 5.5.5. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula -1.17 durante las clases.

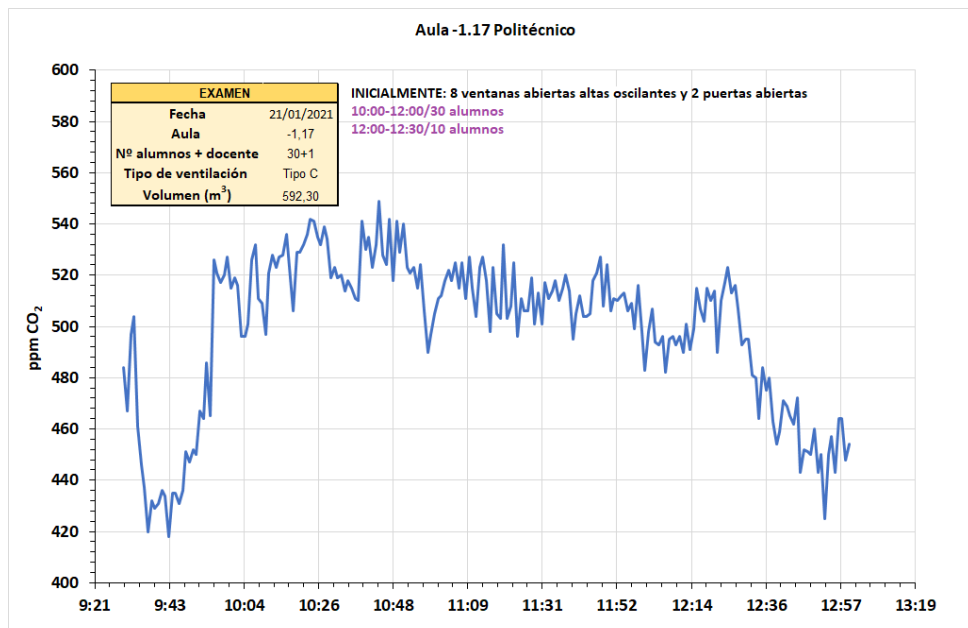


Figura 5.5.6. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula -1.17 durante un examen.

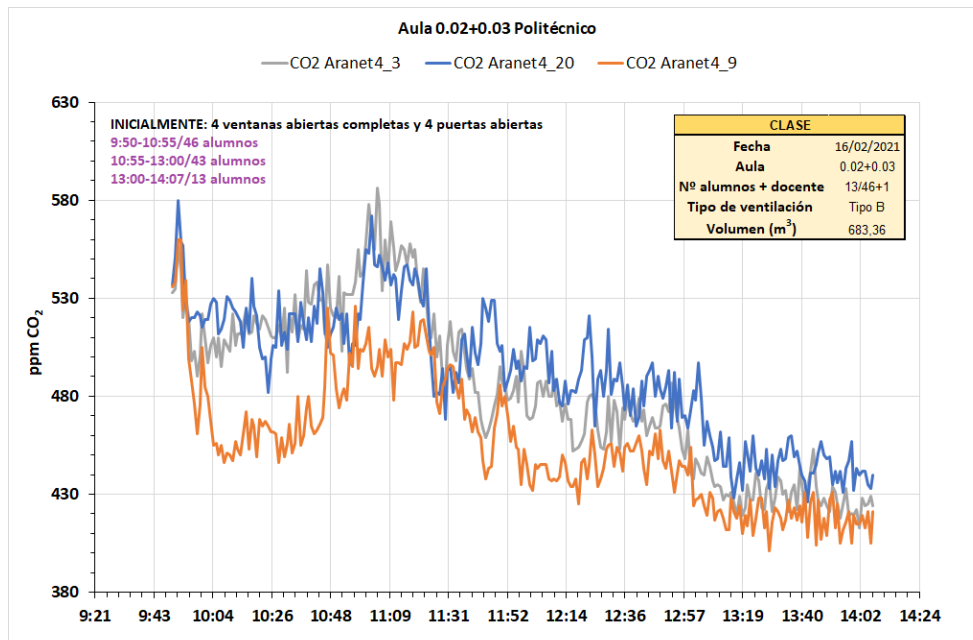
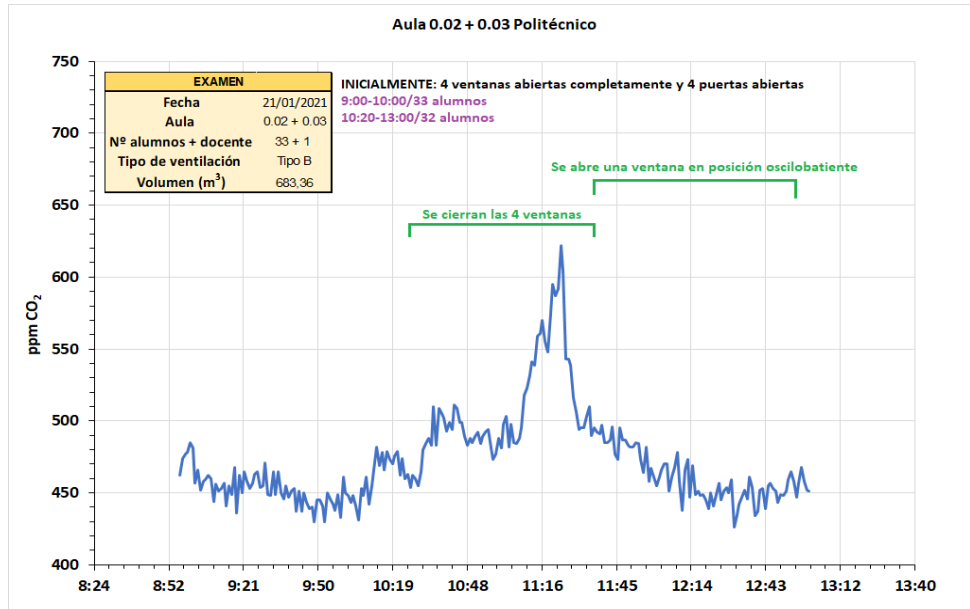


Figura 5.5.7. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 0.02+0.03 del Politécnico.

La figura 5.5.8 muestra la concentración de CO₂ con el tiempo durante el examen realizado el 21 de enero con 33 alumnos más 1 docente (aforo 68 personas). Se observa que la concentración de CO₂ está en torno a 450 ppm y la temperatura es de unos 15 °C. A las 10:25 se cerraron las 4 ventanas que estaban abiertas lo que hizo que la concentración de CO₂ aumentara hasta algo más de 600 ppm que continua siendo una buena ventilación pero haciendo que la temperatura suba de 15 a 19°C y ganando, por tanto, en confort térmico. Esta temperatura se mantuvo con una única ventana abierta en posición oscilante y estando la concentración de CO₂ por debajo de 500 ppm. Esto demuestra que no es necesario tener todas ventanas abiertas con el sistema de ventilación tipo B. De hecho, en este aula donde la ocupación está al 50 % probablemente no hubiera sido necesario abrir ninguna ventana, lo que hubiera permitido aumentar la temperatura del aula que no pasó de los 19 °C.

A)



B)

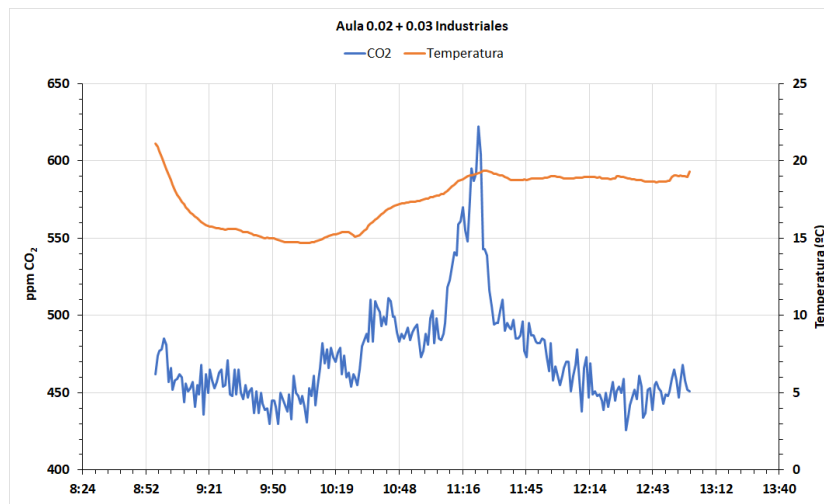


Figura 5.5.8. A) Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 0.02+0.03 del Politécnico, B) Evolución de CO₂ y de la temperatura durante el periodo de muestreo.

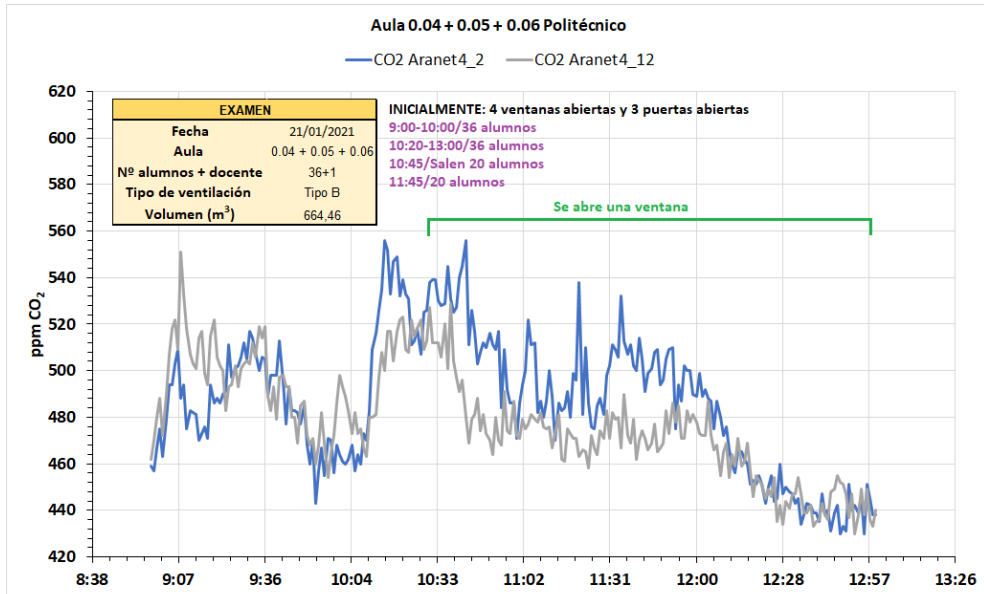


Figura 5.5.9. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 0.04+0.05+0.06 del Politécnico.

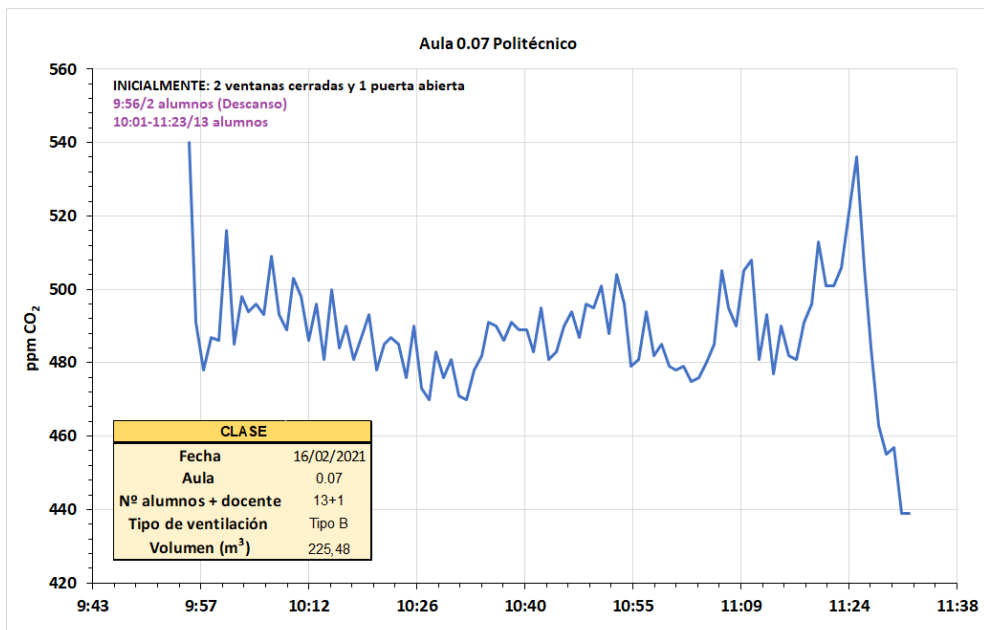


Figura 5.5.10. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 0.07 del Politécnico.

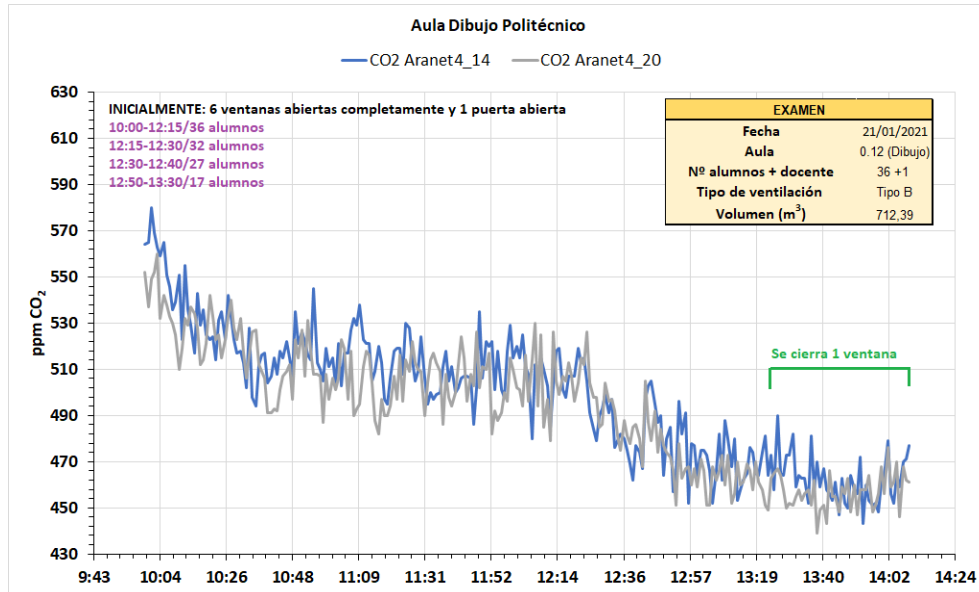


Figura 5.5.11. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula de dibujo del Politécnico.

En la figura 5.5.12 se muestra la evolución del CO₂ con el tiempo en el aula 1.01 con capacidad máxima para 16 estudiantes. Durante el muestreo hubo de 10 a 13 personas en el aula por lo que al no estar a su máxima capacidad y tener una ventilación tipo B incluso con las ventanas cerradas la concentración de CO₂ se mantuvo por debajo de 700 ppm.

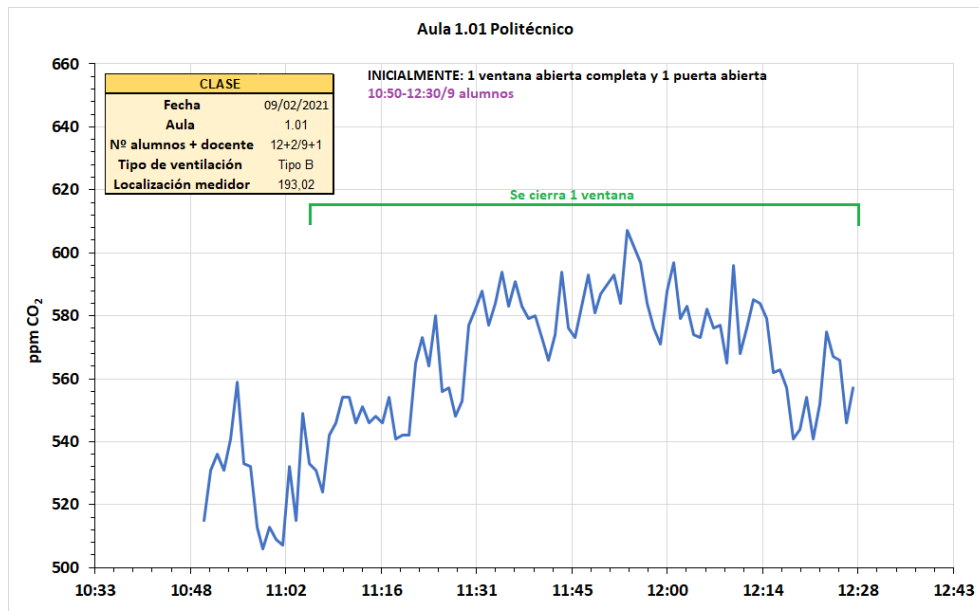


Figura 5.5.12. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 1.01 del Politécnico.

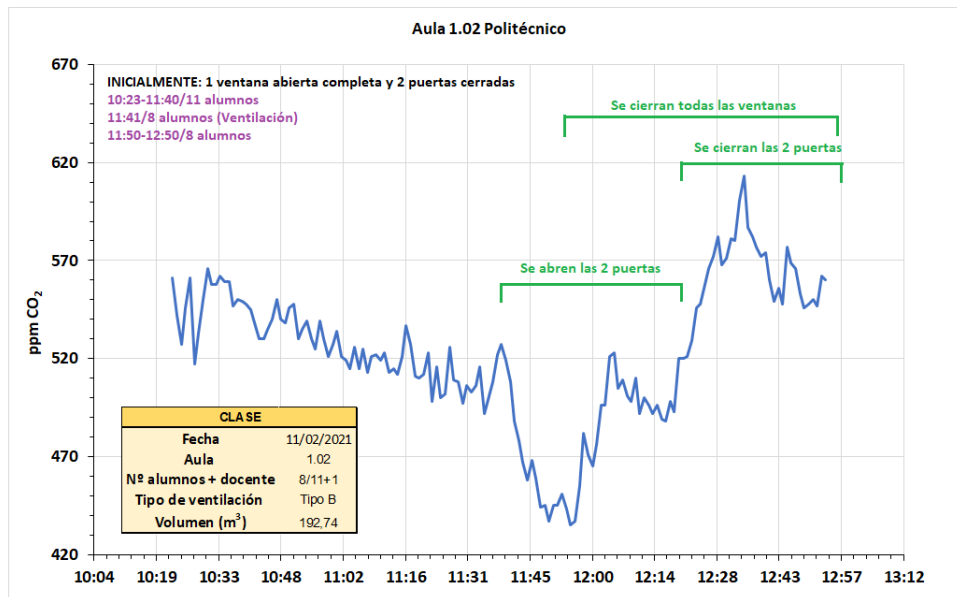
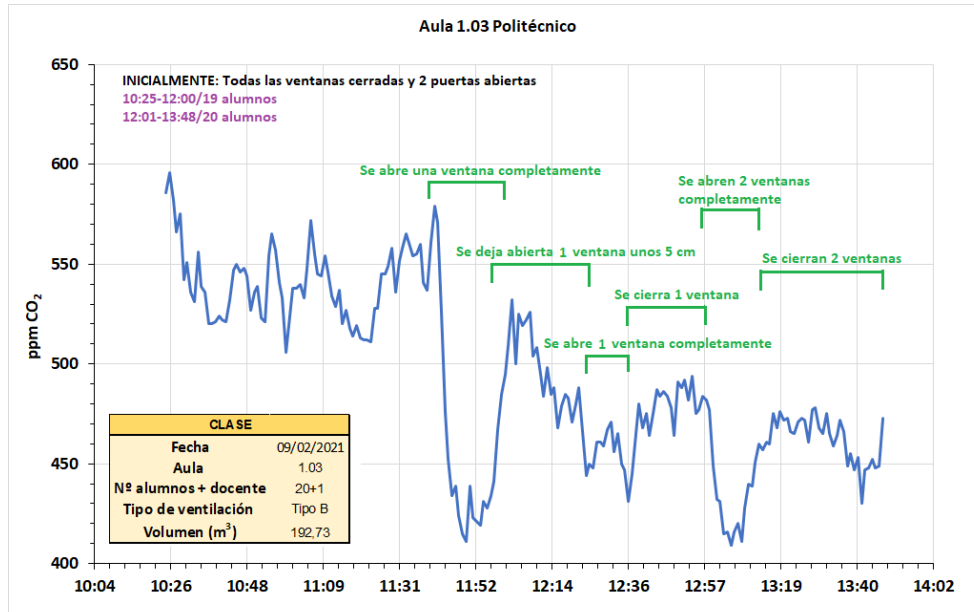


Figura 5.5.13. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 1.02 del Politécnico.

La figura 5.5.14 muestra la evolución del CO₂ en el aula 1.03 durante las clases del 9 de febrero de 2021 con 20 alumnos y 1 docente, siendo el número de puestos 33. Al inicio cuando todas las ventanas estaban cerradas y las dos puertas abiertas la concentración de CO₂ estuvo por debajo de 600 ppm. A partir de las 11:30 empiezan a abrirse y cerrarse ventanas sin ningún motivo puesto que la ventilación era buena, esto indica que el profesor o los profesores no estaban observando el medidor de CO₂. De haberlo hecho no hubiera sido necesario realizar tantos cambios. De hecho, la temperatura antes de abrir las ventanas estaba en torno a 21 °C (ver figura 5.5.14 B) y al empezar a abrir y cerrar ventanas se observa una oscilación en la temperatura que sube y baja, entre 17,5°C y 20 °C según se abren o se cierran ventanas. En este aula y con el grafico de evolución del CO₂ se pone de manifiesto la utilidad de emplear un medidor de CO₂ no solo para controlar la ventilación sino para mejorar el confort término y reducir el coste energético.

A)



B)

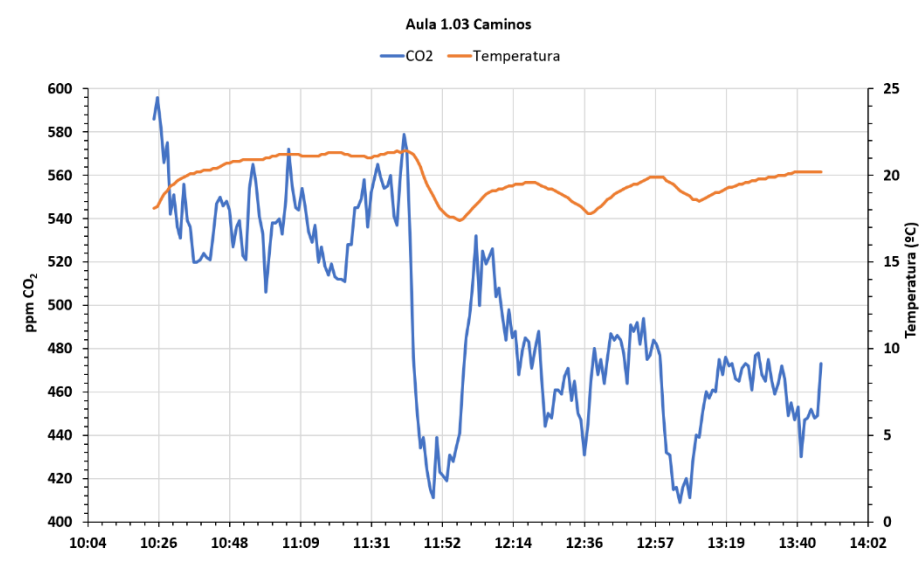


Figura 5.5.14. A) Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 1.03 del Politécnico B) Evolución de CO₂ y de temperatura con el tiempo en el aula 1.03.

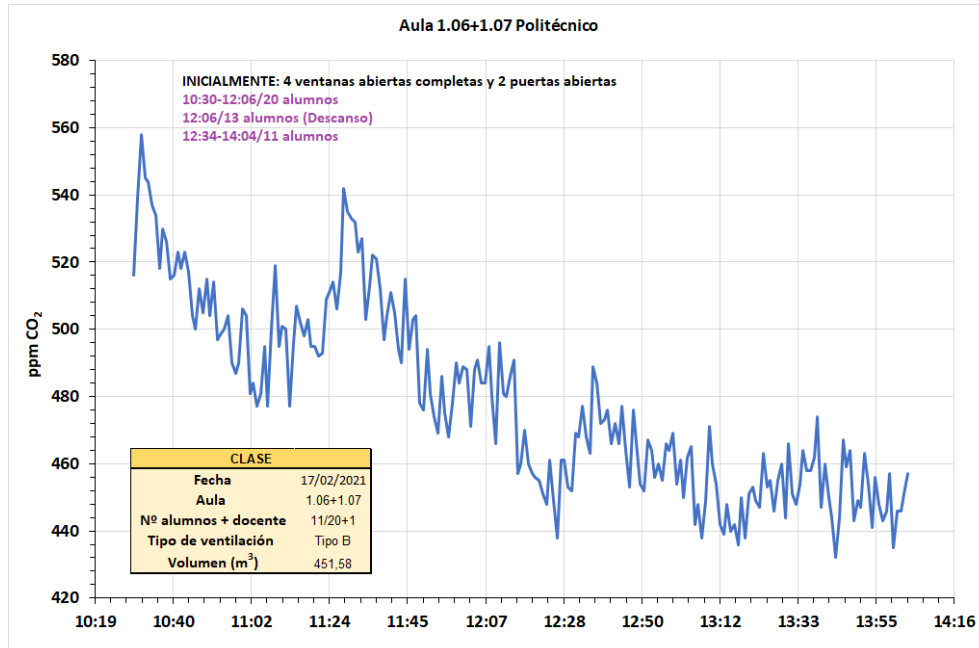


Figura 5.5.15. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 106+1.07 del Politécnico.

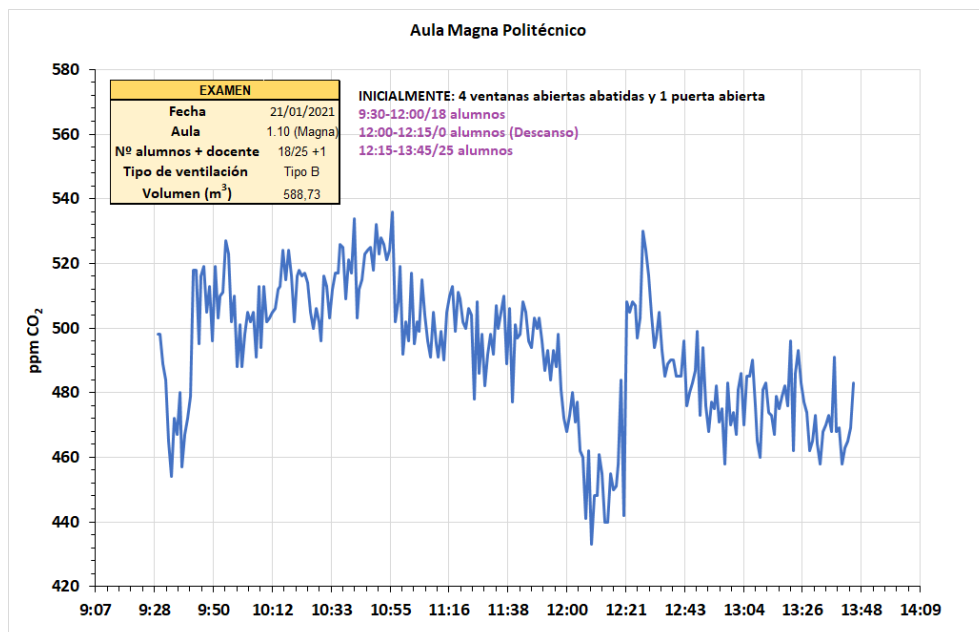


Figura 5.5.16. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula Magna del Politécnico.

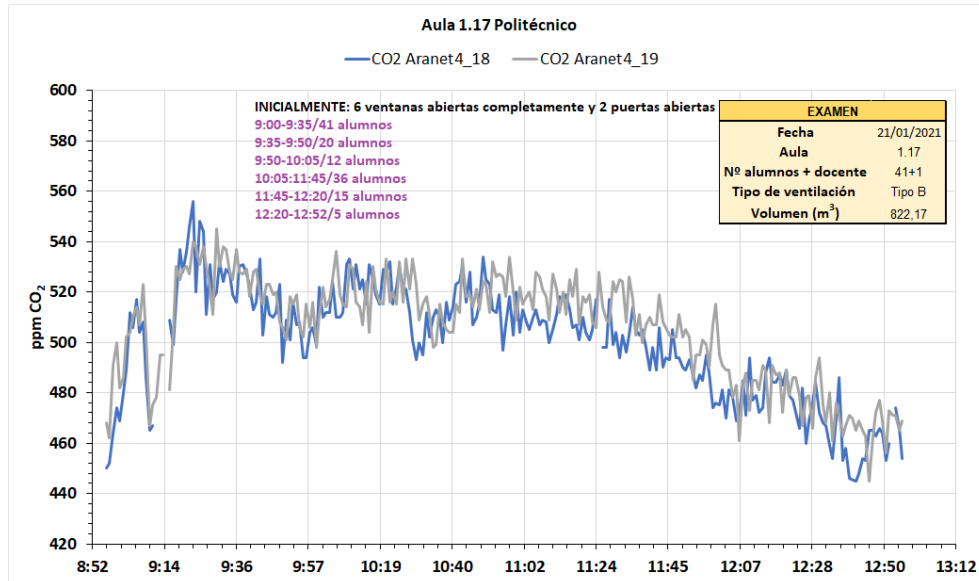
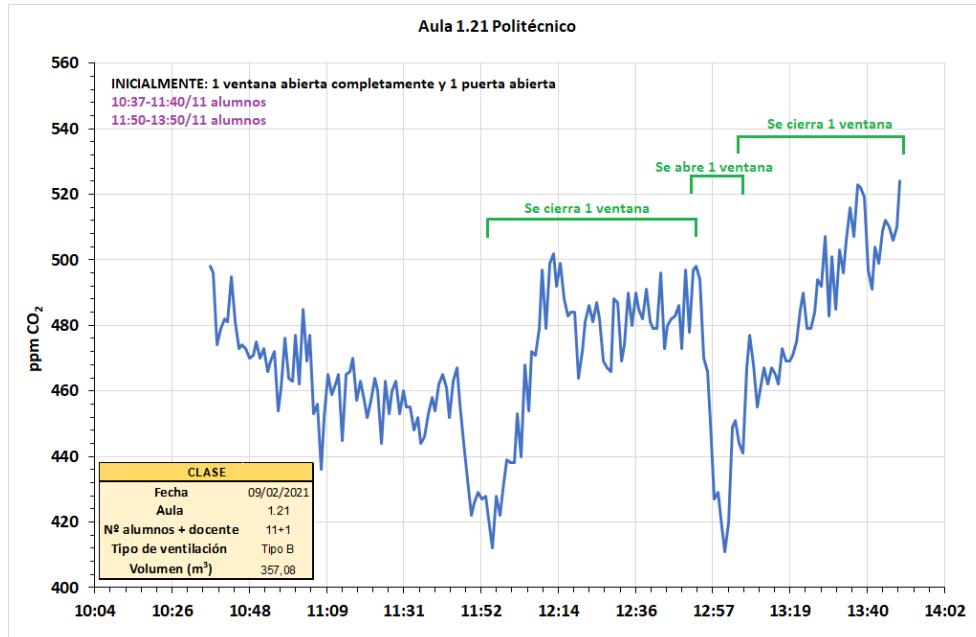


Figura 5.5.17. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 1.07 del Politécnico.

La figura 5.5.18 A) muestra la evolución de CO₂ con el tiempo en el aula 1.21 y en la B) se ha incluido la evolución de la temperatura. El muestreo se realizó el 9 de febrero con 11 alumnos siendo la ocupación máxima de 35. Se observa que al cerrar la ventana, la concentración de CO₂ se mantiene por debajo de 550 ppm en todo momento pero la temperatura del aula sube de 17.5 °C a 21.5 °C ganando por tanto 4°C de temperatura (ver figura 5.5.18.B). Por tanto, se observa que en un aula de Tipo B al 50% de su aforo máximo la ventilación es muy buena incluso con las ventanas cerradas permitiendo así una mejora del confort término y probablemente una reducción del coste energético.

A)



B)

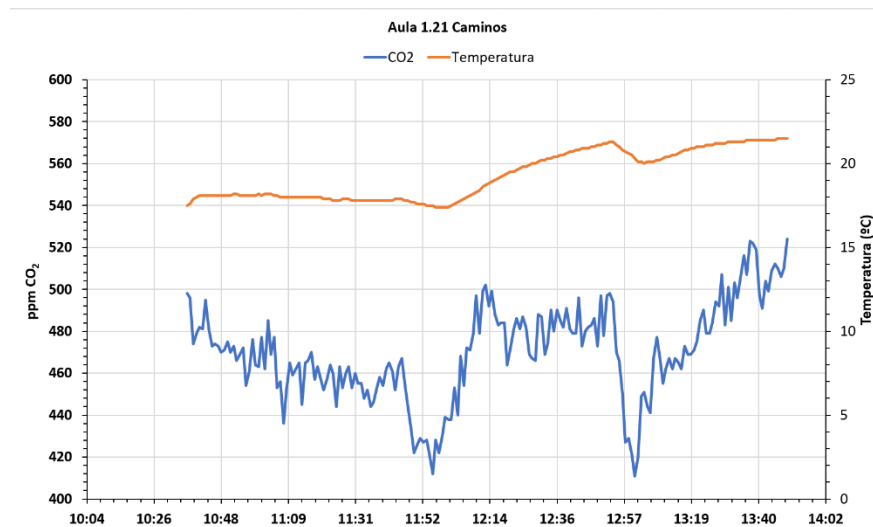


Figura 5.5.18. A) Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 1.21 del Politécnico y B) evolución de CO₂ y temperatura con el tiempo.

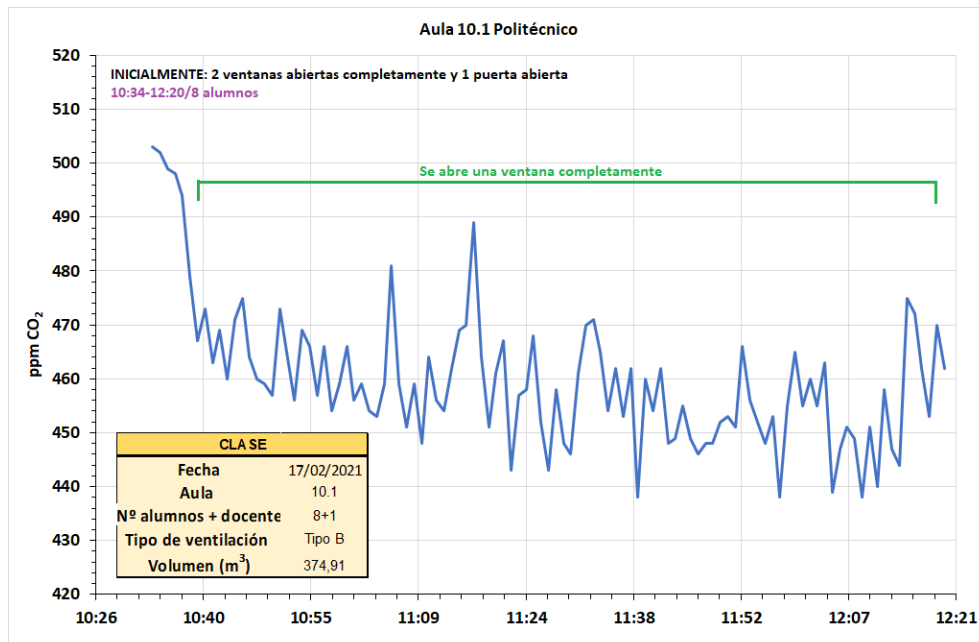


Figura 5.5.19. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 10.1 del Politécnico.

5.6 Facultad de Enfermería

En la Facultad de Enfermería se han monitorizado 5 aulas. La Tabla 5.7 muestra un resumen de las características de las aulas muestreadas con los resultados obtenidos. Todas las aulas tienen ventilación Tipo C, es decir, ventilación natural por lo que la concentración de CO₂ en estado estable se ha calculado teniendo en cuenta al menos un ACH 5 o 6 para que la concentración de CO₂ estuviera por debajo del límite establecido de 700 ppm. Los valores promedio de concentración de CO₂ han estado entre 479 y 633 ppm siendo los valores máximos alcanzados en dos aulas de 817 y 955, concretamente en el aula 2 y seminario 3, respectivamente. No obstante, fueron picos de corta duración. Por tanto, las renovaciones de aire estuvieron entre 5 y 9 no superando el valor promedio de CO₂ la concentración de CO₂ en estado estable calculada.

En todas las aulas siempre ha habido ventanas y puertas abiertas. La ocupación de las aulas ha sido elevada y en algunas aulas incluso por encima del aforo máximo, según consta en nuestros documentos.

La temperatura promedio en las aulas con ventilación Tipo C estuvo en el rango de 16 °C a 21 °C.

En general se observa muy buena ventilación, aunque en determinadas fechas como en la época de exámenes (21/01/21), la temperatura de algunas aulas fue baja entre 16 y 18 °C.

Las figuras 5.6.1 a 5.6.7 muestran la evolución de CO₂ con el tiempo en las aulas estudiadas en la Facultad de Enfermería.

Aula	Fecha	Actividad- Nº alumnos ¹	Volumen (m ³)	Tipo de ventilación	CO ₂ (ppm)			Temperatura (°C)			Humedad Relativa (%)			CO ₂ Estado Estable (ppm)
					Promedio	Máximo	Mínimo	Promedio	Máximo	Mínimo	Promedio	Máximo	Mínimo	ACH=5
Aula 1	21/01/21	Examen 39/30	350,64	Tipo C	479	523	439	16,1	18	15,2	53,9	58	48	688*
Aula 2	01/02/21	Clase 45/45	324,40	Tipo C	620	817	452	20,6	22,1	19,5	49,5	65,5	46	679***
	21/01/21	Examen 30/45	324,40	Tipo C	516	559	462	17,6	18,3	17,2	50,1	52	48	683
Aliseda	01/02/21	Clase 38/52	478	Tipo C	541	624	427	19,8	21,2	18,5	49,1	55	45	644
	21/01/21	Examen 45/52	478	Tipo C	520	568	474	20,2	20,5	19,4	45	47,5	44,5	691
Seminario 2	03/03/21	Clase 24/20	190,66	Tipo C	583	661	454	20,2	20,9	19	45	46	44	691**
Seminario 3	03/02/21	Clase 25/16	203,44	Tipo C	633	955	546	21	21,6	17,7	44,1	55	42	684**

¹¹ Se indica la ocupación del aula durante el muestreo con respecto a la ocupación máxima o aforo permitido del aula.

* ACH=7

** ACH = 8

*** ACH = 9

Tabla 5.7. Tabla resumen de la Facultad de Enfermería

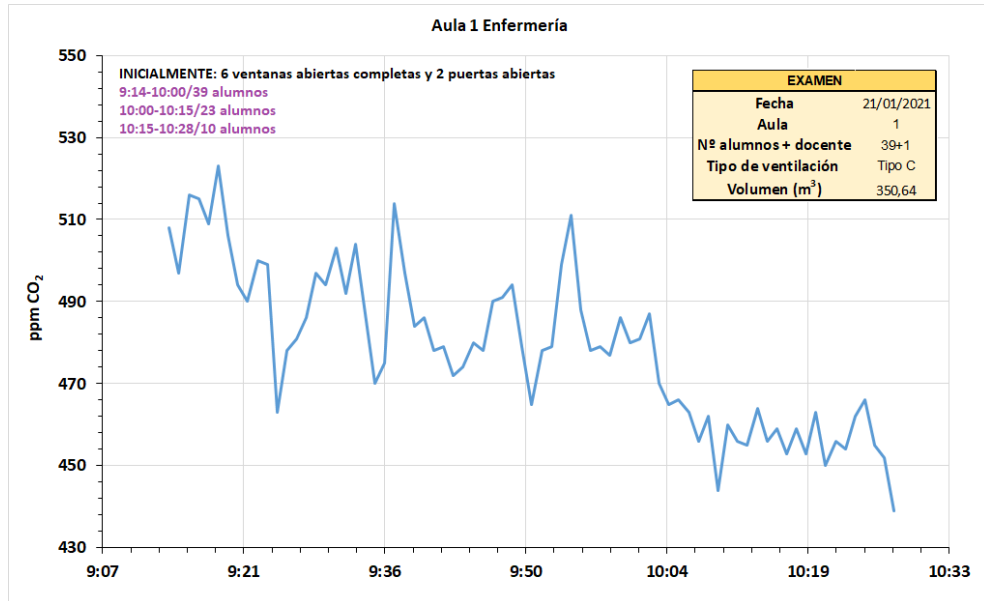


Figura 5.6.1. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 1 de Enfermería.

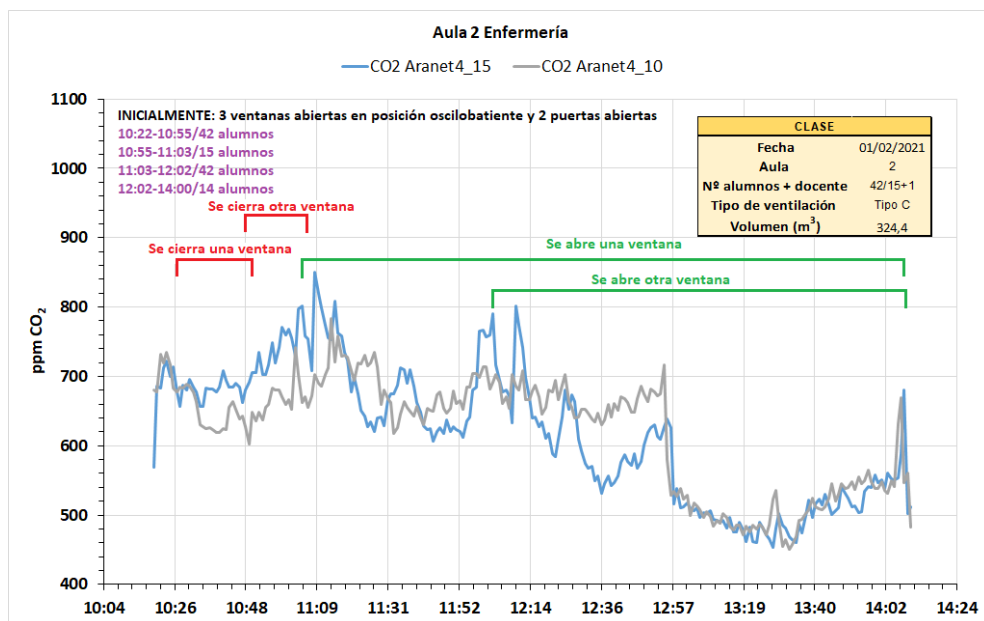


Figura 5.6.2. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 2 durante las clases.

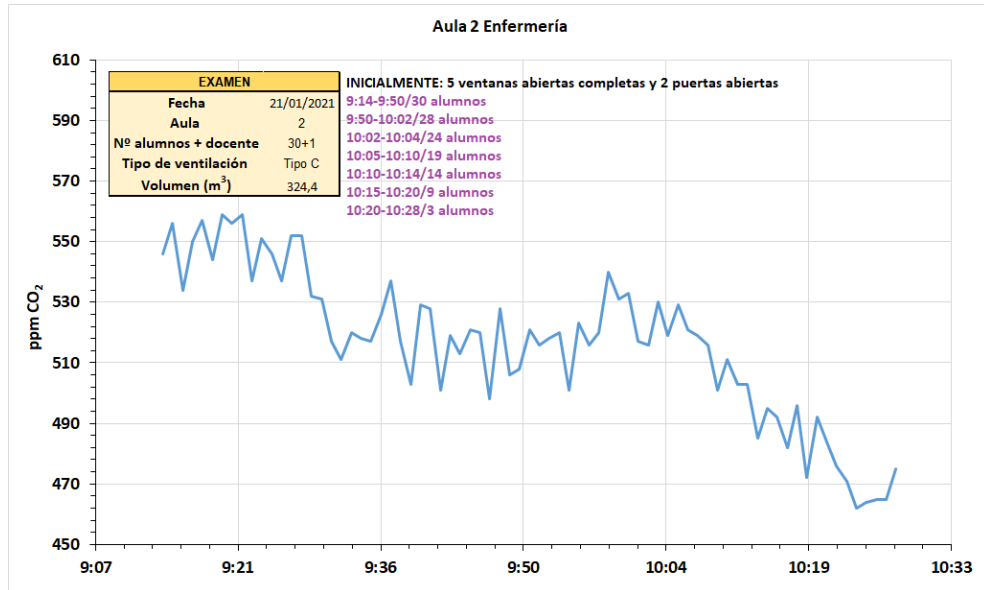


Figura 5.6.3. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 2 durante un examen.

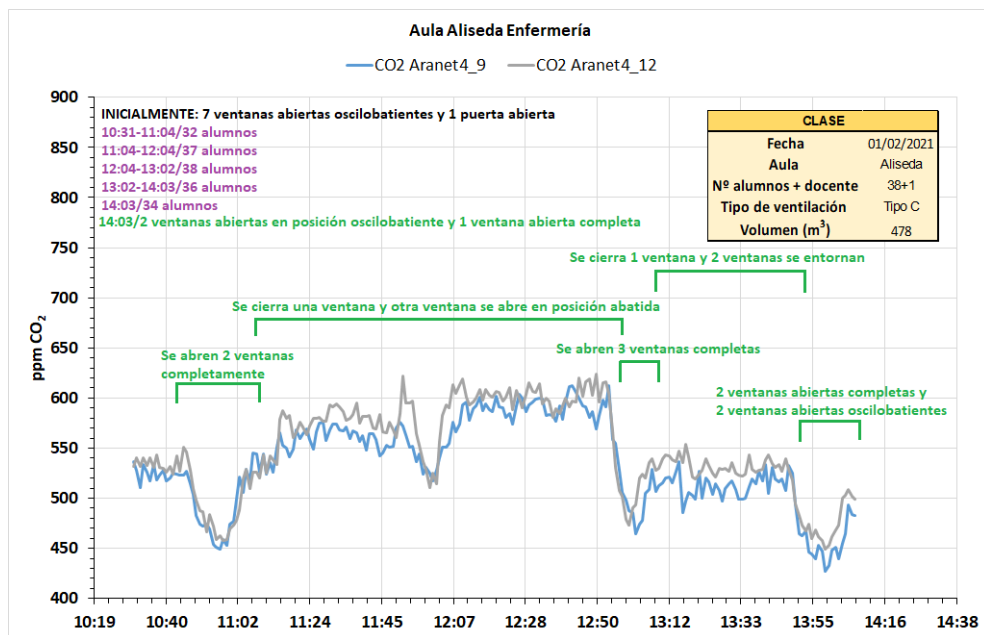


Figura 5.6.4. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula Aliseda durante las clases

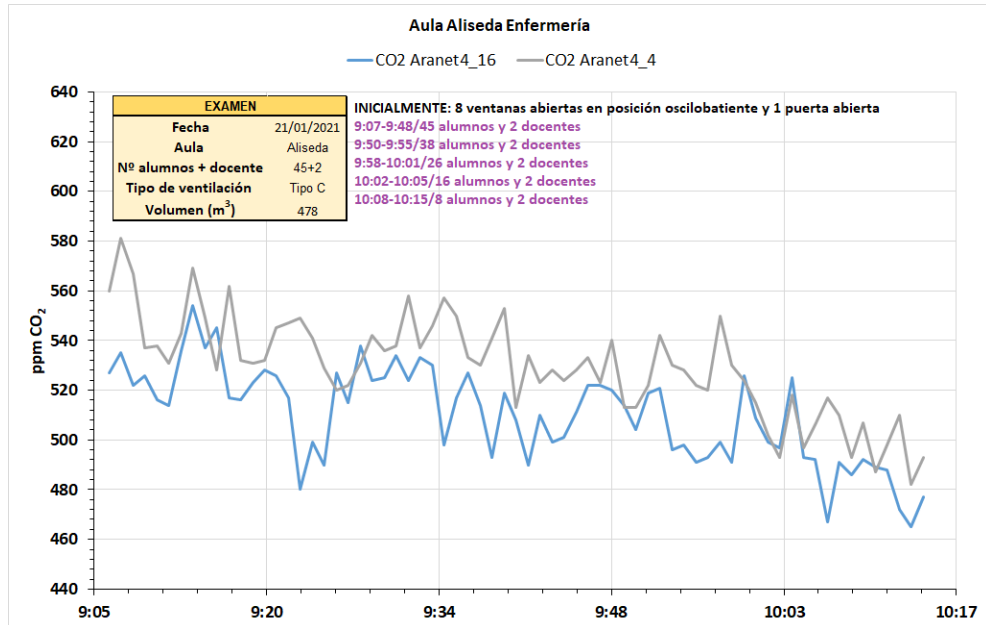


Figura 5.6.5. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula Aliseda durante un examen.

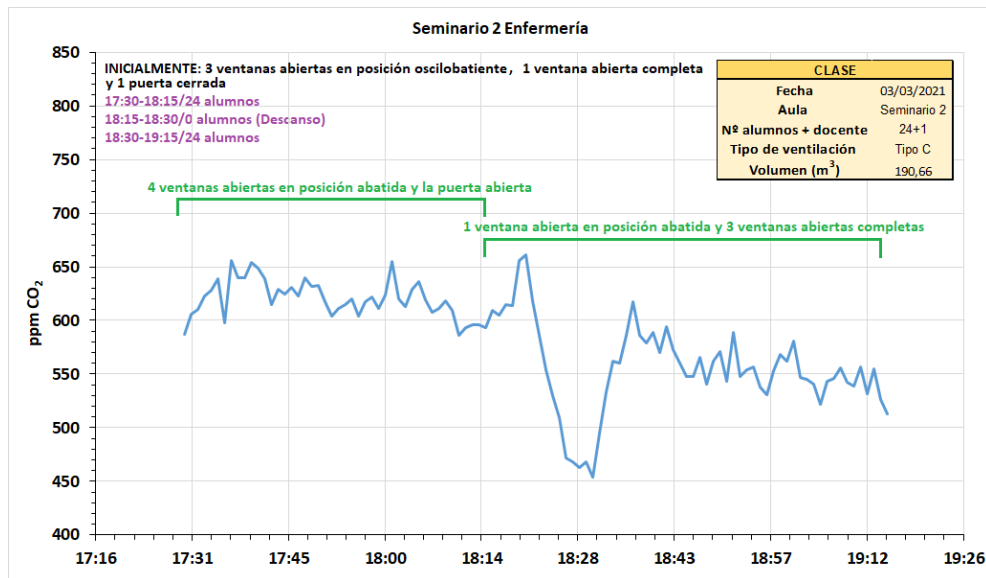


Figura 5.6.6. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el seminario 2 de Enfermería.

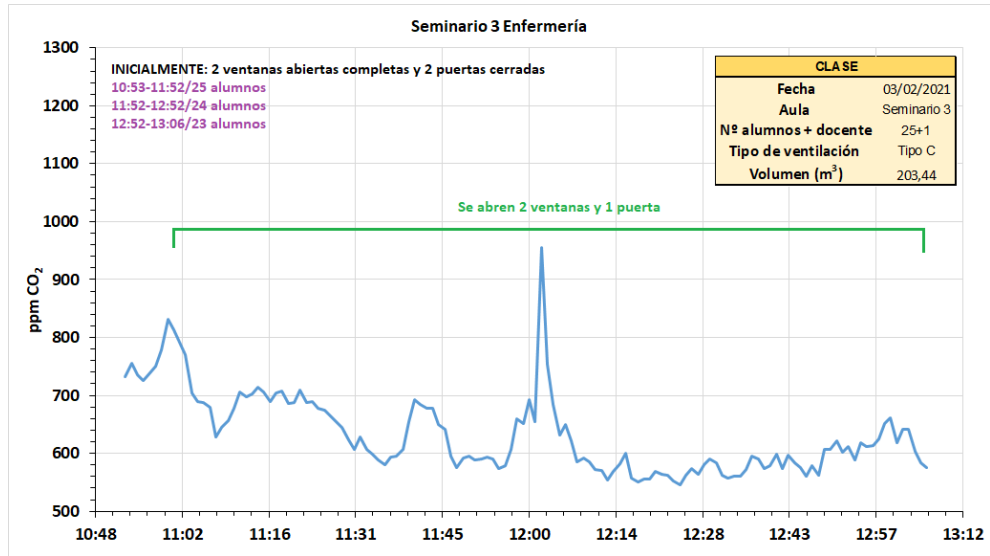


Figura 5.6.7. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el seminario 3 de Enfermería.

5.7 Facultad de Medicina

En la Facultad de Medicina se han monitorizado 13 aulas. La Tabla 5.8 muestra un resumen de las características de las aulas muestreadas con los resultados obtenidos. Todas las aulas tienen ventilación Tipo B, es decir, ventilación forzada pero se necesita complementar la ventilación con ventilación natural según las pautas indicadas por la UCLM. La concentración de CO₂ en estado estable se ha calculado teniendo en cuenta un ACH objetivo de al menos 5 para que la concentración de CO₂ estuviera por debajo del límite establecido de 700 ppm. Los valores promedio de concentración de CO₂ han oscilado entre 511 y 706 ppm siendo los valores máximos alcanzados de 958 y 800 en el aula 0.07 y 1.08, respectivamente. Ambos casos se comentarán en detalle más adelante.

En algunas aulas las ventanas han estado cerradas desde el inicio y las puertas abiertas o cerradas lo que ha hecho que aumenten los niveles de CO₂ cuando la ocupación ha sido cercana al aforo máximo como el aula 0.07 y 1.08. En otras aulas como la 1.20 o 0.11, a pesar de estar las ventanas cerradas, no se ha superado el valor recomendado de CO₂ bien porque había un número bajo de alumnos (1.20) o bien porque la ventilación de ese aula parece ser mejor (0.11). El aula de exámenes 0.14 parece tener una buena ventilación incluso con las ventanas cerradas y la puerta abierta estando al 72 % de su capacidad (43 alumnos siendo el aforo máximo 60).

La temperatura promedio en las aulas estuvo en el rango de 17.3 °C a 23.6 °C.

En general se observa muy buena ventilación, y temperaturas promedio adecuadas. El hecho de que la Facultad de Medicina contara con un medidor de CO₂ desde octubre ha hecho que se tenga una mejor optimización de cuando abrir y cerrar ventanas y un mayor control de la ventilación de sus aulas. No obstante, del análisis de los resultados en la Facultad de Medicina y en base a las figuras 5.7.1 a 5.6.14 se recomienda que en las aulas con sistemas de ventilación Tipo B permanezca alguna ventana abierta de manera continua junto con la puerta abierta para ayudar a renovar el aire junto con el sistema de ventilación mecánica, especialmente cuando la ocupación del aula es elevada. Se recomienda ver en detalle las figuras 5.7.2, 5.7.3, 5.7.4, 5.7.8 y 5.7.12 correspondientes a las aulas Cafetería, 0.07, 0.07 (segundo muestreo), 1.08 y 1.30, respectivamente

Aula	Fecha	Actividad- Nº alumnos ¹	Volumen (m ³)	Tipo de ventilación	CO ₂ (ppm)			Temperatura (°C)			Humedad Relativa (%)			CO ₂ Estado Estable (ppm)
					Promedio	Máximo	Mínimo	Promedio	Máximo	Mínimo	Promedio	Máximo	Mínimo	ACH=5
Salón grados	19/01/21	Examen 29/24	338,21	Tipo B	603	729	470	19	20,9	12,3	30,9	44	28	713
Cafetería	19/01/21	Examen 45/52	576,13	Tipo B	628	635	621	17,7	19,1	10,6	32,2	43	29	682
0.07	19/01/21	Examen 33/60	615,47	Tipo B	558	898	462	17,3	18,9	13,1	33,5	44	28	602
	05/02/21	Examen 41/60	615,47	Tipo B	706	958	533	21,9	23,5	19,7	39,5	46	37	652
0.11	27/01/21	Examen 11/16	223,89	Tipo B	511	650	429	19,5	21,9	18,2	61,4	65	54	600
0.14	19/01/21	Examen 43/60	576,13	Tipo B	587	711	473	18,7	21,4	11,1	31,5	44	27	655
1.06	02/02/21	Clase 7/16	200,23	Tipo B	468	507	427	20	21,9	18,3	47,3	52	42	556
1.08	09/02/21	Clase 8/16	200,23	Tipo B	651	800	479	23,6	26	20	37,4	43	35	572
1.19	02/02/21	Clase 10/15	227,36	Tipo B	486	546	408	20,5	21,2	17,1	45,9	54	44	583
1.20	02/02/21	Clase 7/26	303,14	Tipo B	484	608	420	19,5	20,6	18,2	48,4	54	47	510
1.21	02/02/21	Clase 11/16	213,18	Tipo B	483	554	414	18,7	21,6	16,8	50	53	45	609
1.30	27/01/21	Clase 10/16	213,18	Tipo B	614	886	494	20	21,2	19,3	60,5	63	58	594
1.32	04/02/21	Clase 10/16	195,19	Tipo B	473	592	411	19,4	20,7	18,1	46,5	48	44	610
2.06	02/02/21	Clase 10/12	200,23	Tipo B	514	592	438	20	21,6	16,8	48,2	56	42	605

¹ Se indica la ocupación del aula durante el muestreo con respecto a la ocupación máxima o aforo permitido del aula.

Tabla 5.8. Tabla resumen de la Facultad de Medicina

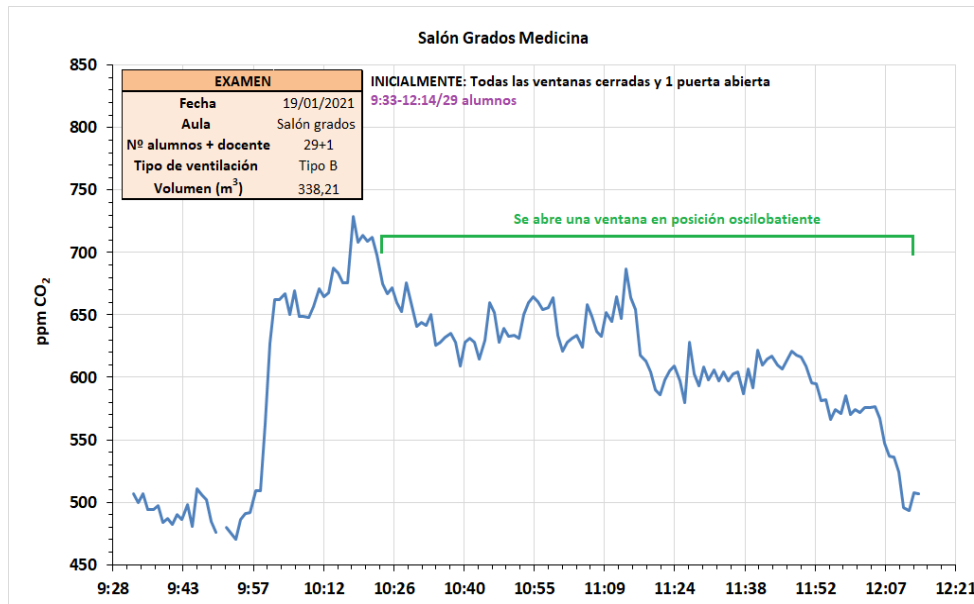


Figura 5.7.1. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el Salón de Grados de Medicina.

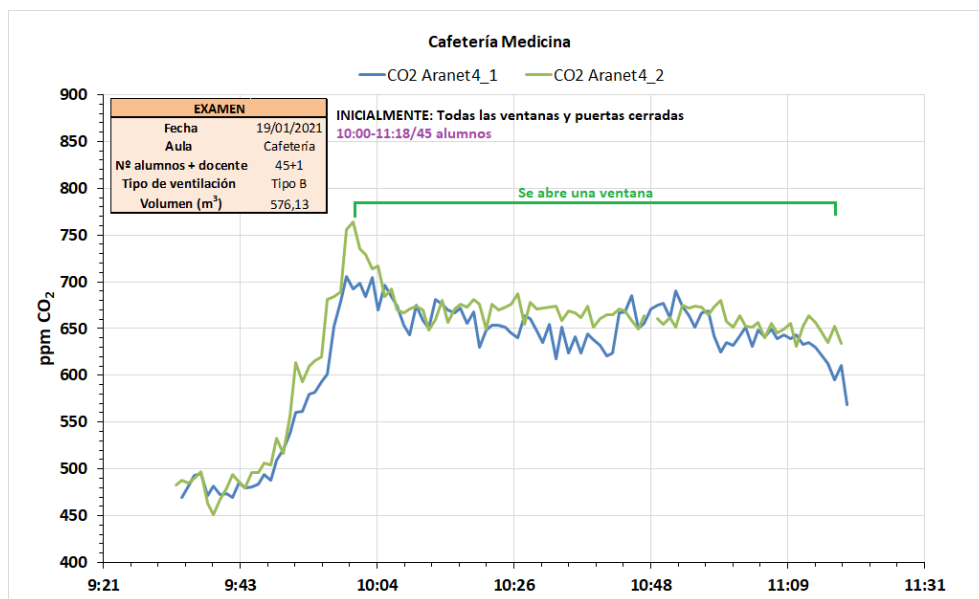


Figura 5.7.2. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en la cafetería de Medicina.

Las figuras 5.7.3 y 5.7.4 muestran la evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 0.07 en diferentes días y empleando 3 y 6 medidores de CO₂ distribuidos por la clase, respectivamente. Se observa una distribución desigual de la ventilación al haber zonas donde se concentra el CO₂. En ambas figuras se observa que al abrir una ventana en posición oscilante es suficiente para disminuir la concentración de CO₂ hasta niveles por debajo de las 700 ppm. De ahí que deba dejarse siempre una ventana abierta en posición oscilante (preferiblemente la de la esquina donde se unen las dos paredes

con ventanas) y la puerta abierta para favorecer una ventilación continua, cruzada y distribuida que ayudará al sistema de ventilación del edificio a renovar más rápidamente el aire.

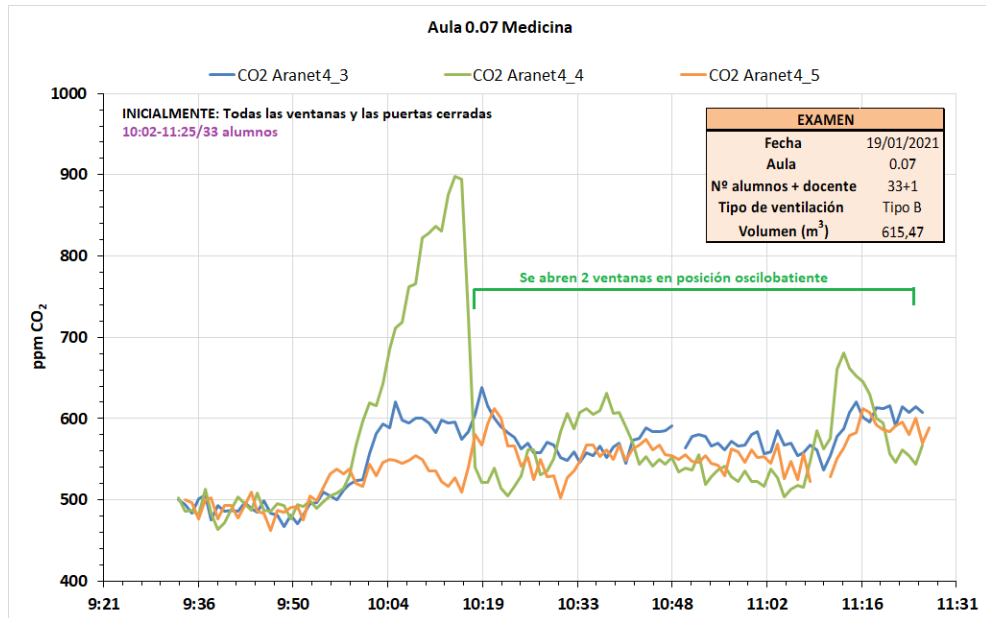


Figura 5.7.3. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 0.07 durante un examen (19 de enero de 2021).

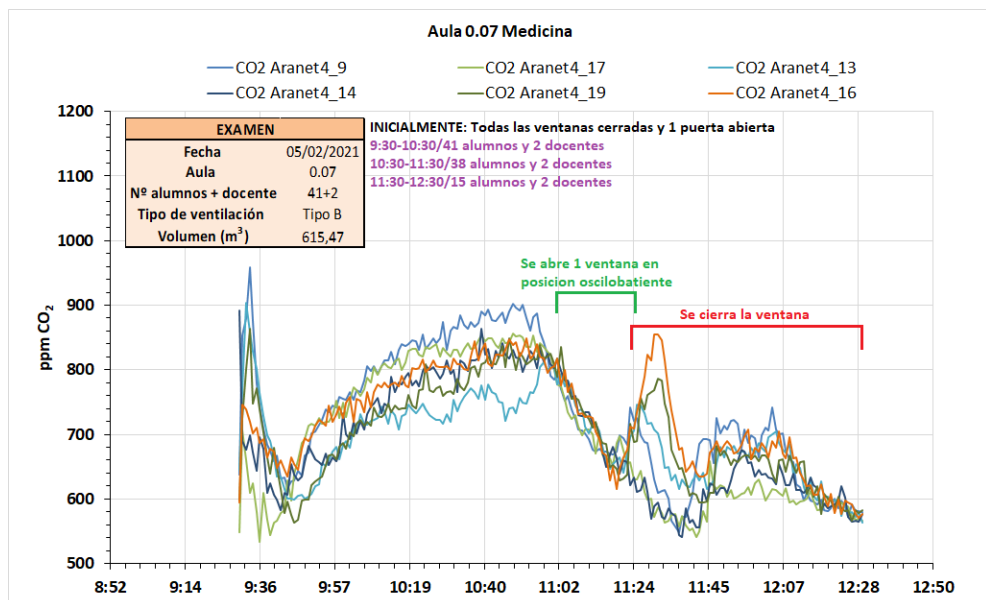


Figura 5.7.4. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 0.07 durante un examen (5 de febrero de 2021).

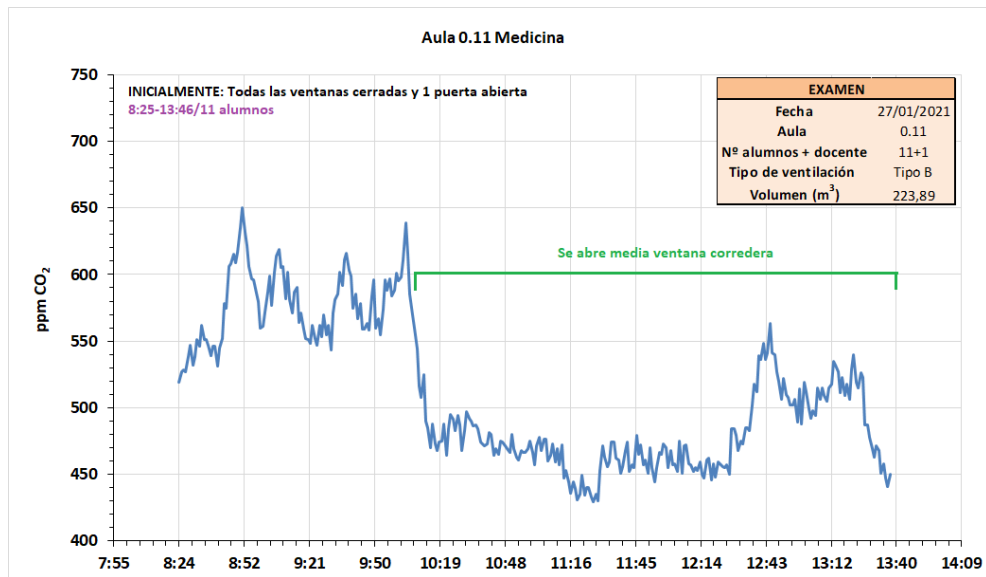


Figura 5.7.5. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 0.11 de Medicina.

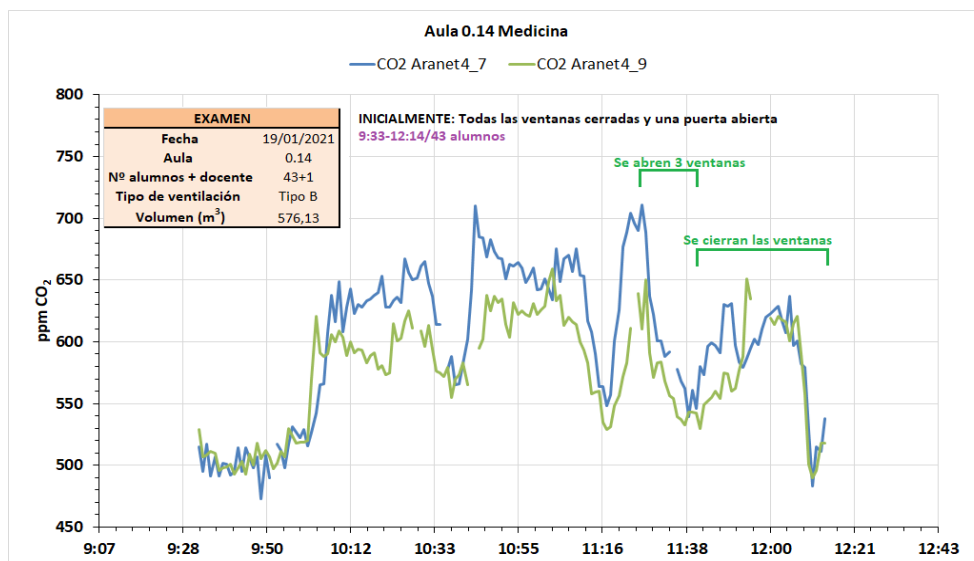


Figura 5.7.6. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 0.14 de Medicina.

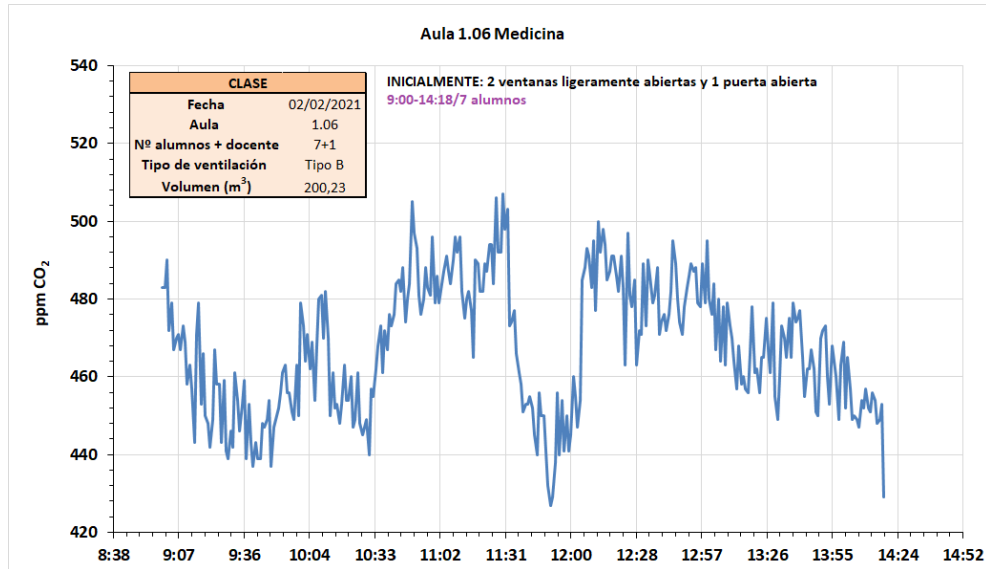


Figura 5.7.7. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 1.06 de Medicina.

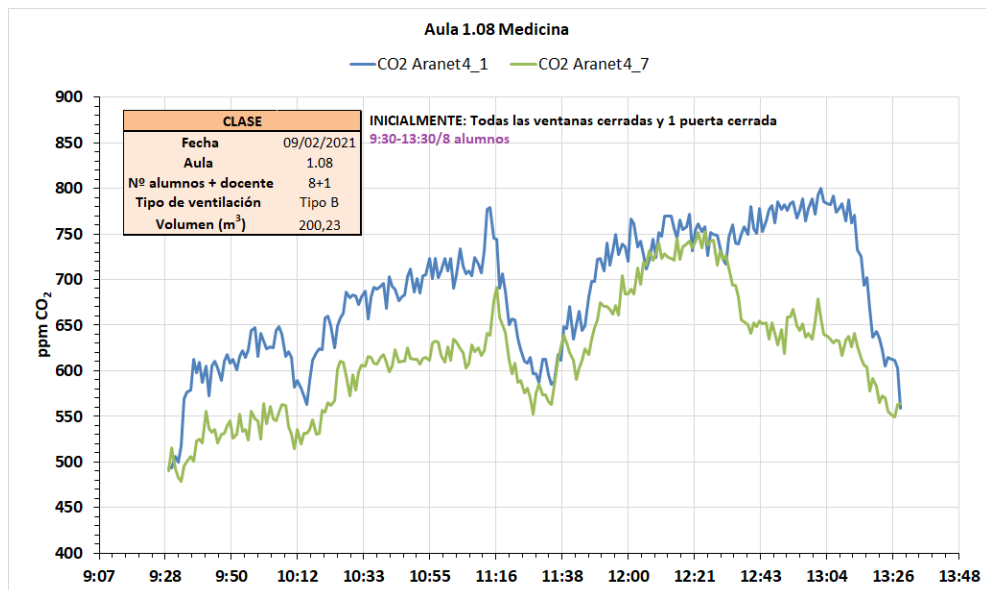


Figura 5.7.8. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 1.08 de Medicina.

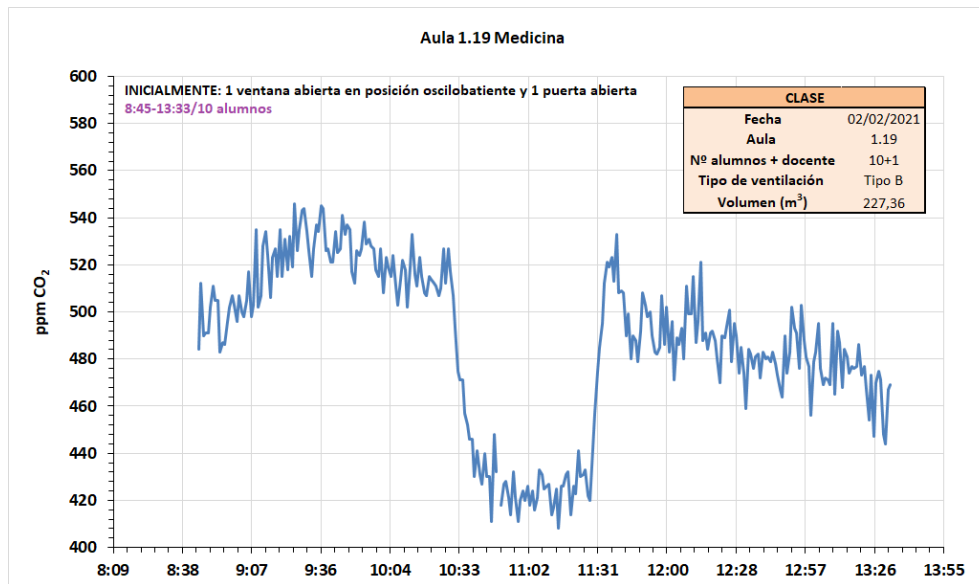


Figura 5.7.9. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 1.19 de Medicina.

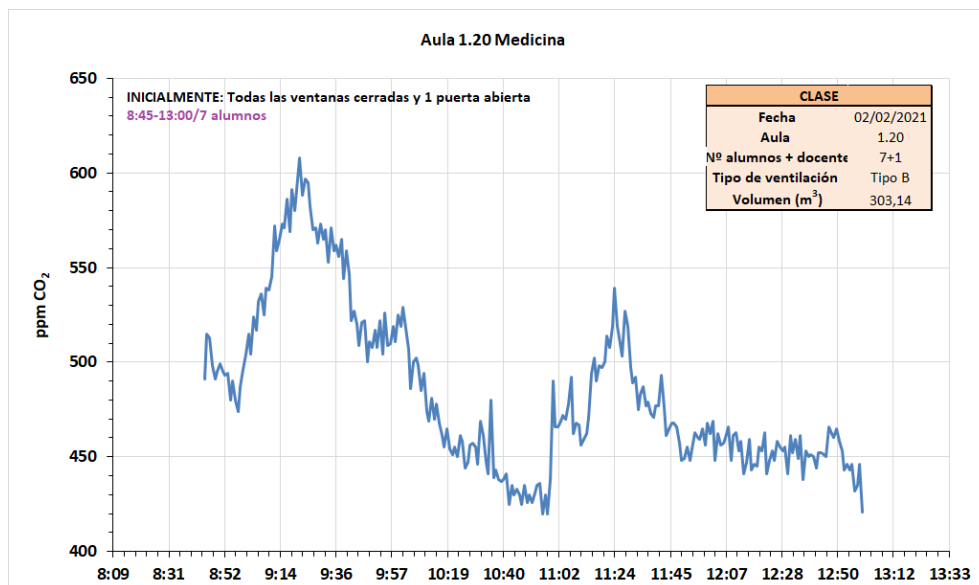


Figura 5.7.10. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 1.20 de Medicina.

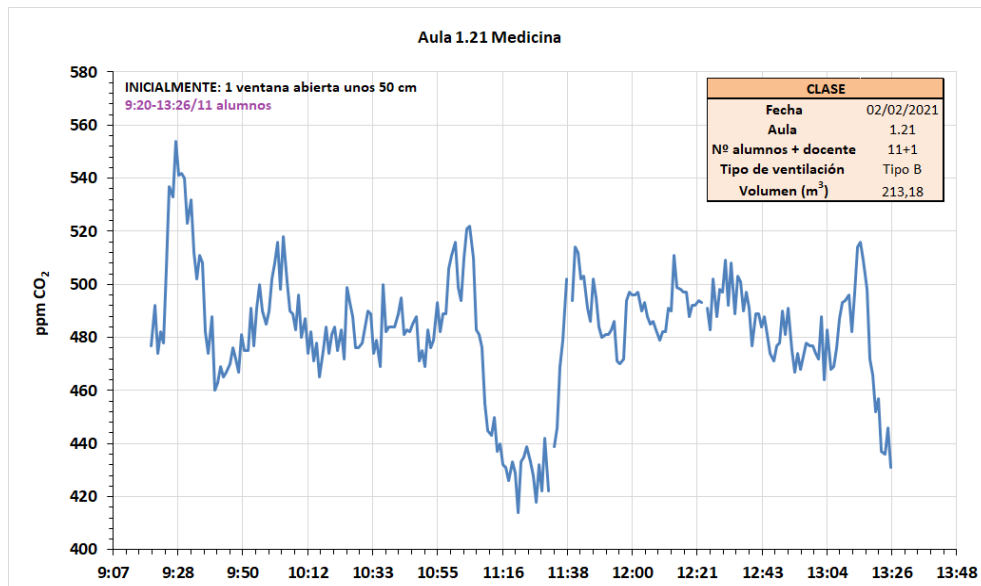


Figura 5.7.11. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 1.21 de Medicina.

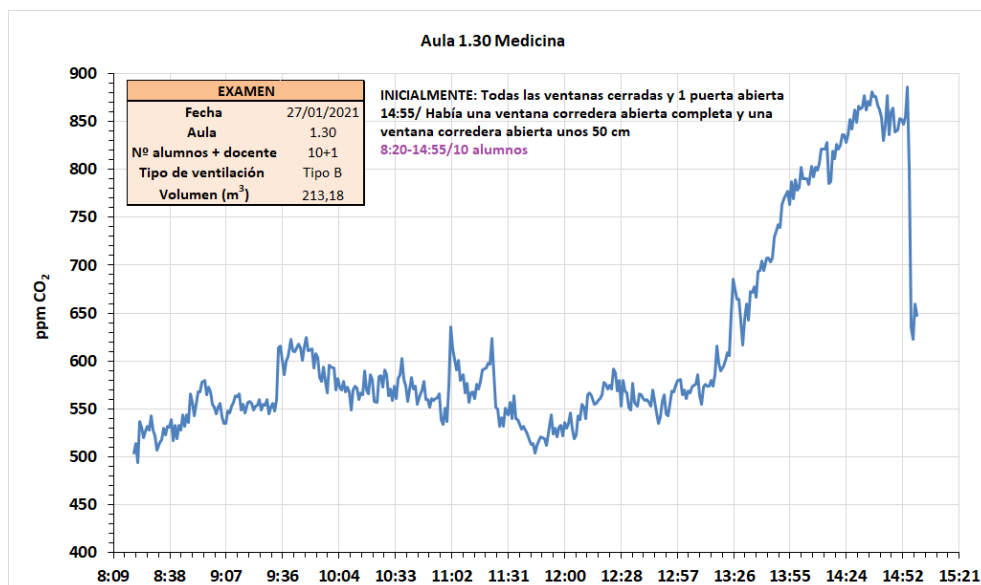


Figura 5.7.12. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 1.30 de Medicina.

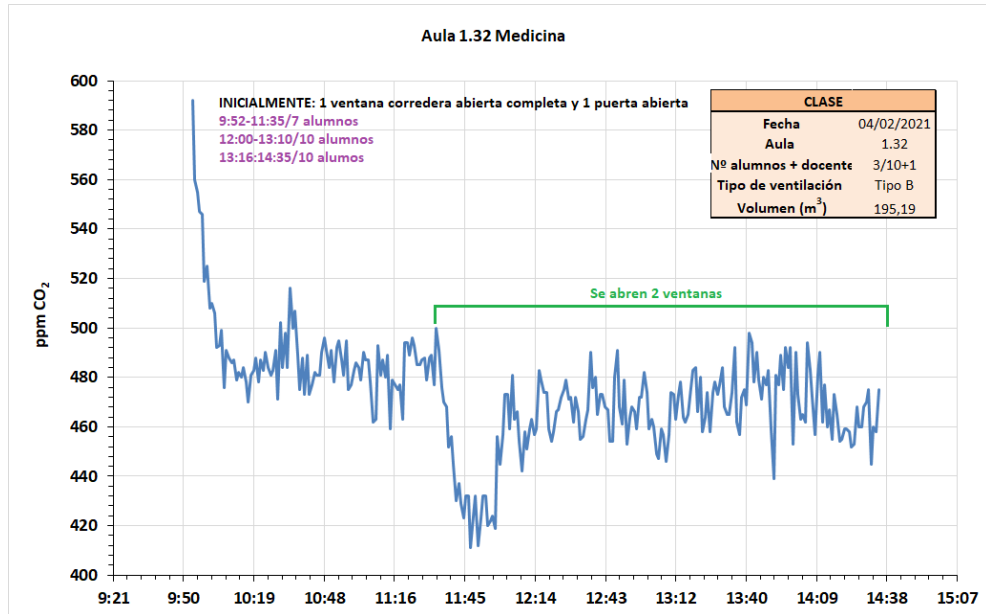


Figura 5.7.13. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 1.32 de Medicina.

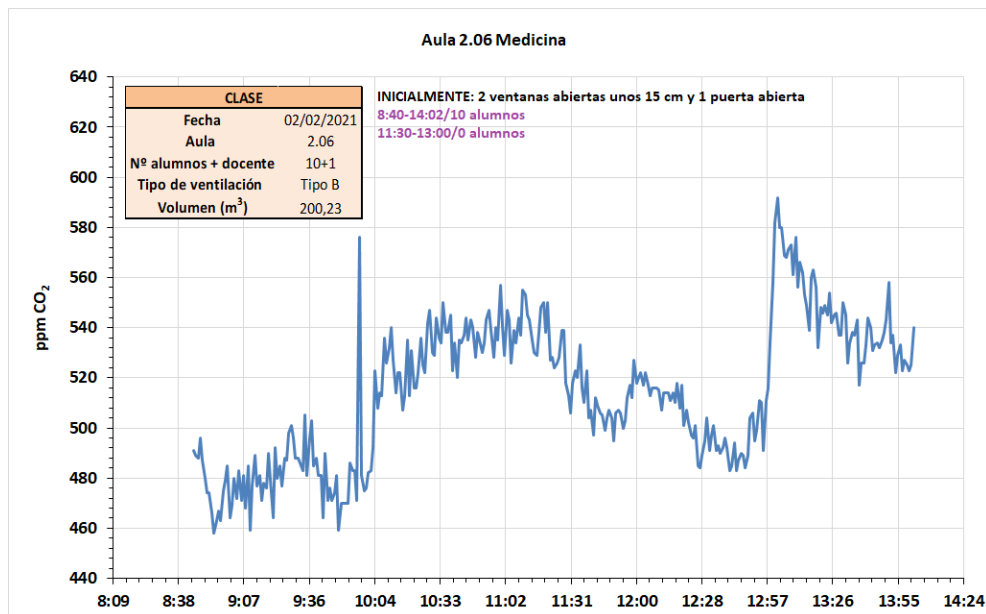


Figura 5.7.14. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 2.06 de Medicina.

5.8 Escuela Superior de Informática

En la Escuela Superior de Informática se han evaluado cuatro aulas del Modulo B con sistema de ventilación Tipo B (ventilación mixta) y cinco laboratorios docentes del Edificio Fermin Caballero con sistema de ventilación clasificado como Tipo C (ventilación natural). La Tabla 5.9 muestra un resumen de las características de las aulas muestreadas con los resultados obtenidos. La concentración de CO₂ en estado estable se ha calculado teniendo en cuenta un ACH objetivo de 5 a 7 dependo del volumen y aforo de las aulas con el objetivo de que la concentración de CO₂ estuviera por debajo del límite establecido de 700 ppm. Los valores promedio de concentración de CO₂ han estado entre 451 y 644 ppm, es decir, por debajo del nivel recomendado lo que significa que se han obtenido las renovaciones de aire objetivo (ACH 5-7) en todas las aulas. Las concentraciones máximas registradas de CO₂ han estado en el rango de 503 y 771ppm.

Las aulas evaluadas durante el periodo de exámenes en enero en el Modulo B tuvieron muy buena ventilación pero con pérdida de confort térmico estando la temperatura promedio de las aulas entre 13.4 y 18.5 °C. Del análisis de las figuras 5.8.1 a 5.8.4 se observa que el sistema de ventilación Tipo B podría no ser suficiente para renovar el aire si las ventanas estuvieran cerradas ya que se han observado picos de concentración de CO₂ al cerrar completamente las ventanas y con un aforo al 50%. No obstante, con más medidas de CO₂ se podría determinar el número de ventanas a abrir y los centímetros de apertura necesarios que junto con el sistema de ventilación dieran las renovaciones de aire requeridas con el objetivo de tener una buena ventilación y además no pasar demasiado frío en la época de invierno.

Los laboratorios docentes del Edificio Fermin Caballero se evaluaron entre febrero y marzo estando en este caso la temperatura promedio entre 16 y 22.3 °C

Aula	Fecha	Actividad- Nº alumnos ¹	Volumen (m ³)	Tipo de ventilación	CO ₂ (ppm)			Temperatura (°C)			Humedad Relativa (%)			CO ₂ Estado Estable (ppm)
					Promedio	Máximo	Mínimo	Promedio	Máximo	Mínimo	Promedio	Máximo	Mínimo	ACH=5
1.1 Modulo B	20/01/21	Examen 15/30	260,91	Tipo B	545	598	492	15,2	15,8	13,2	49	61	46	624
1.2 Modulo B	20/01/21	Examen 35/35	325,15	Tipo B	644	771	533	13,4	15,9	12,2	54,5	59	47	680**
2.1 Modulo B	25/01/21	Examen 12/30	261,77	Tipo B	577	728	461	18,5	20,6	15,8	50,1	59	44	674
2.2 Modulo B	21/01/21	Examen 19/35	325,08	Tipo B	499	588	442	16,9	17,8	16,4	58,2	60	55	554
LD1	09/03/21	Examen 20/16	225,76	Tipo C	487	633	416	20,9	22	19,2	33,4	38	30	677*
LD2+3	16/02/21	Clase 18/34	314,50	Tipo C	538	632	471	16	16,9	15,3	47,4	57	46	621
LD4+5	09/02/21	Clase 16/47	390,05	Tipo C	530	618	459	20,6	21,2	18,5	41,2	45	40	548
LD6	23/02/21	Clase 6/26	254,50	Tipo C	451	503	429	19,1	19,5	17	35,7	41	35	514
LD10	04/02/21	Clase 19/15	210,88	Tipo C	571	736	456	22,3	23,8	18,4	42,2	52	40	682*

¹¹ Se indica la ocupación del aula durante el muestreo con respecto a la ocupación máxima o aforo permitido del aula.

* ACH = 6

** ACH = 7

Tabla 5.9. Tabla resumen de la Escuela Superior de Informática

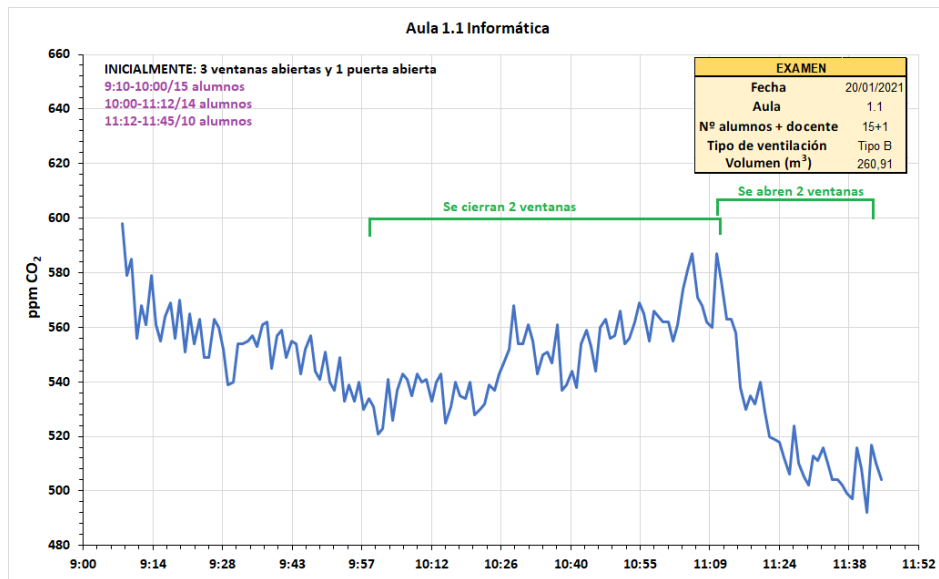


Figura 5.8.1. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 1.1 de Informática.

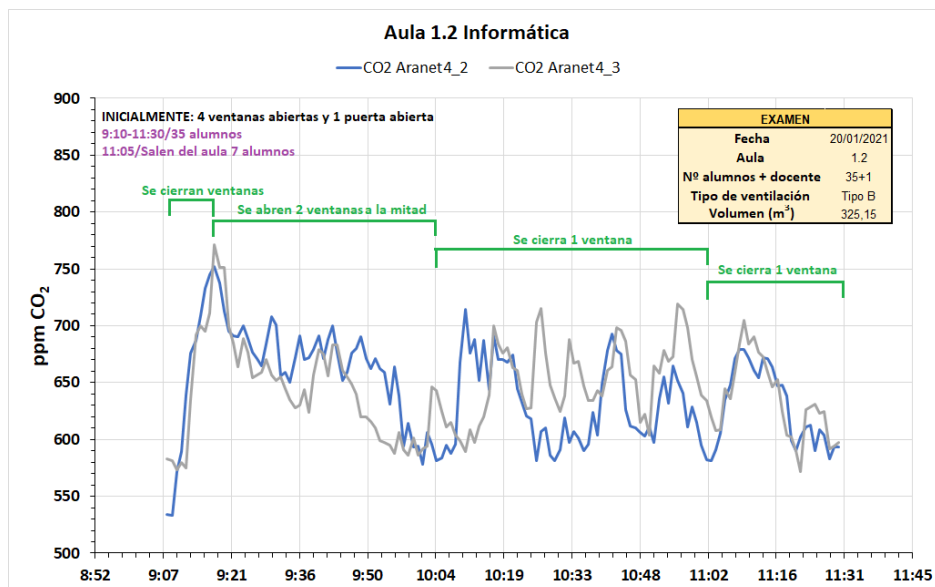


Figura 5.8.2. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 1.2 de Informática.

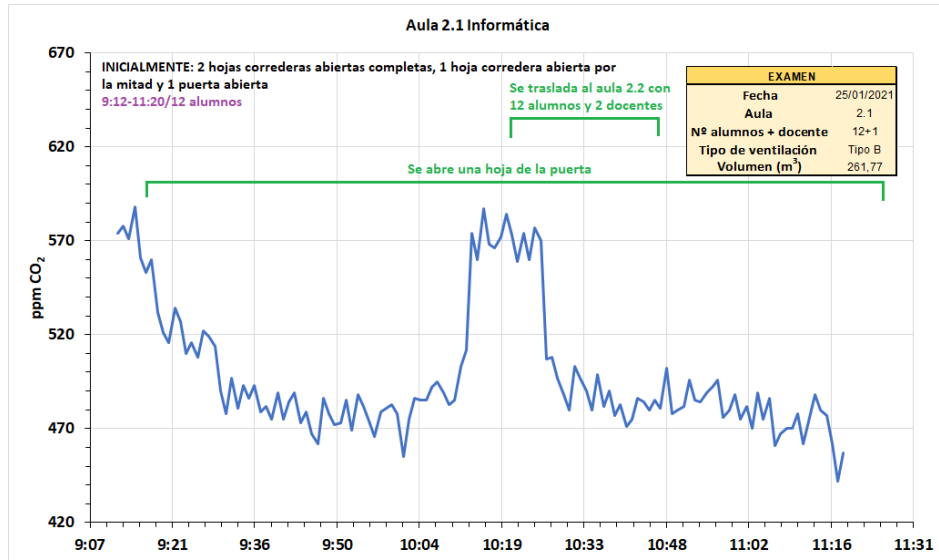


Figura 5.8.3. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 2.1 de Informática.

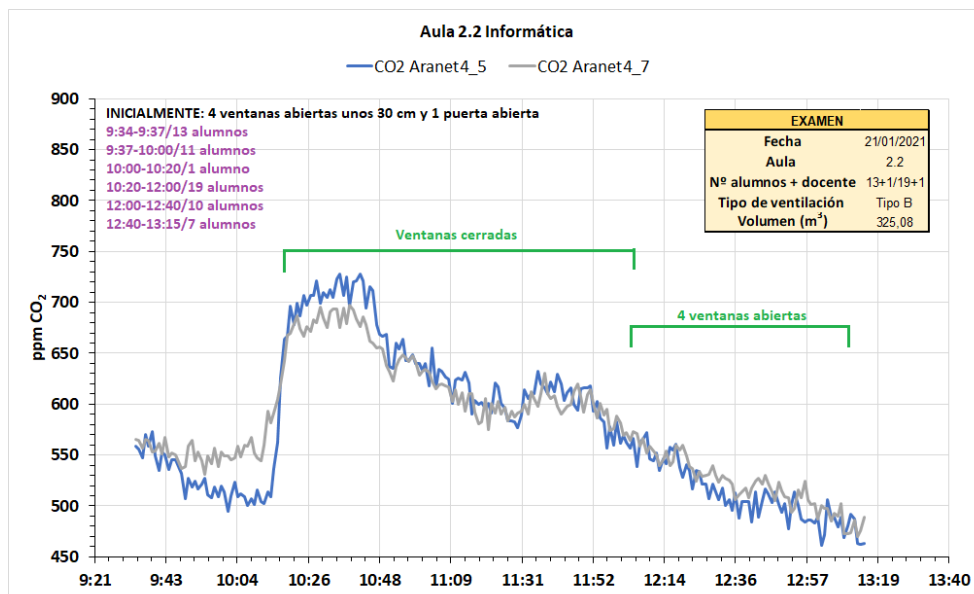


Figura 5.8.4. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 2.2 de Informática.

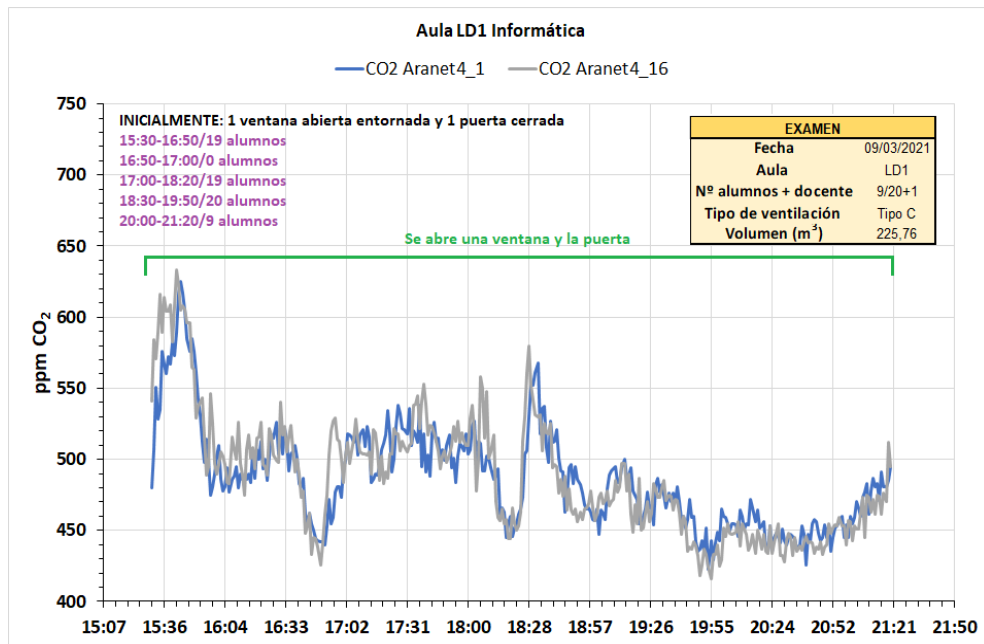


Figura 5.8.5. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula LD1 de Informática.

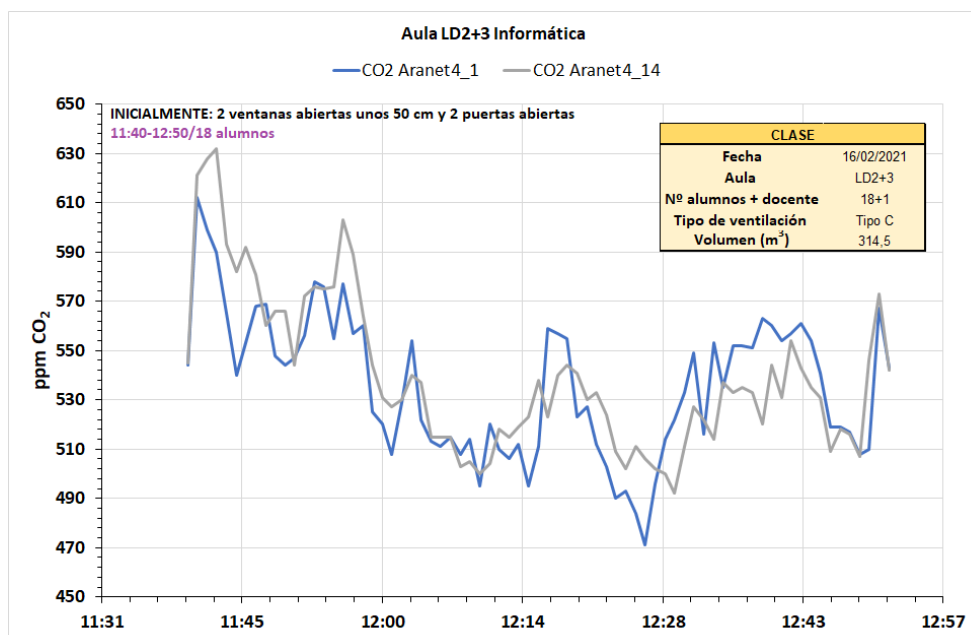


Figura 5.8.6. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula LD2+3 de Informática.

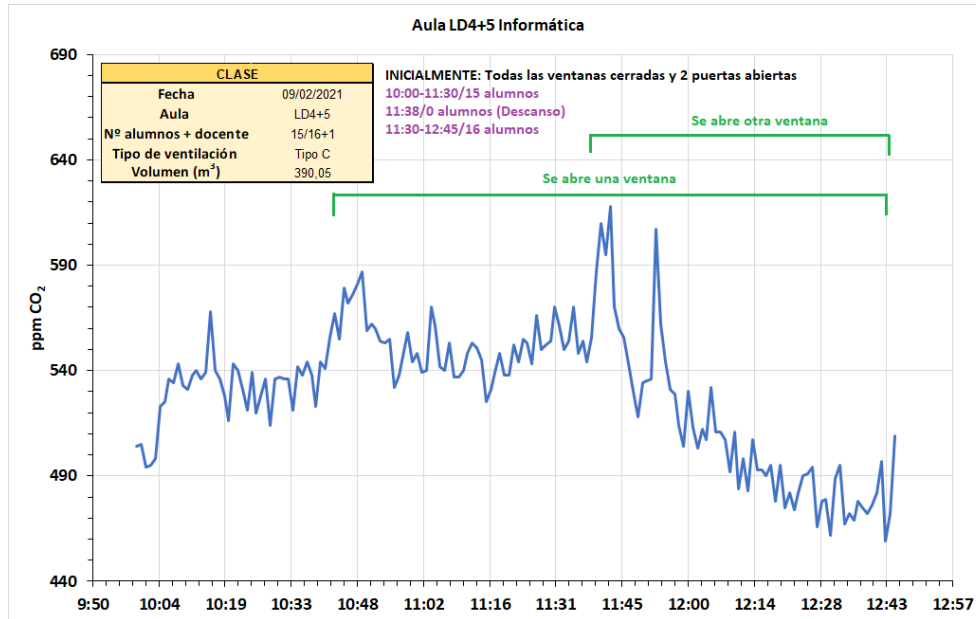


Figura 5.8.7. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula LD4+5 de Informática.

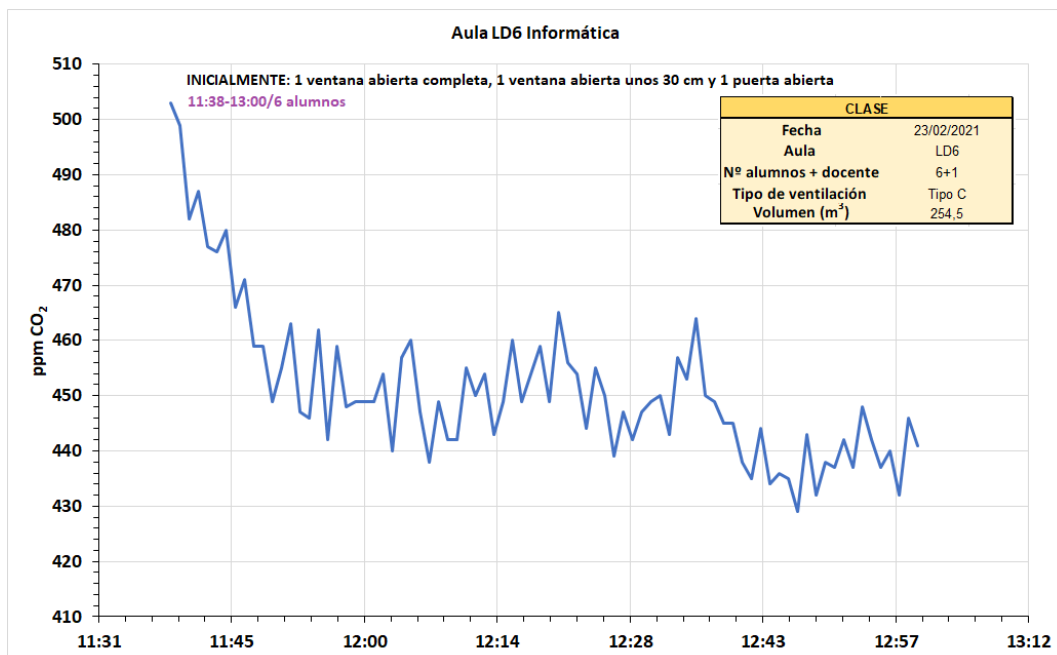


Figura 5.8.8. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula LD6 de Informática.

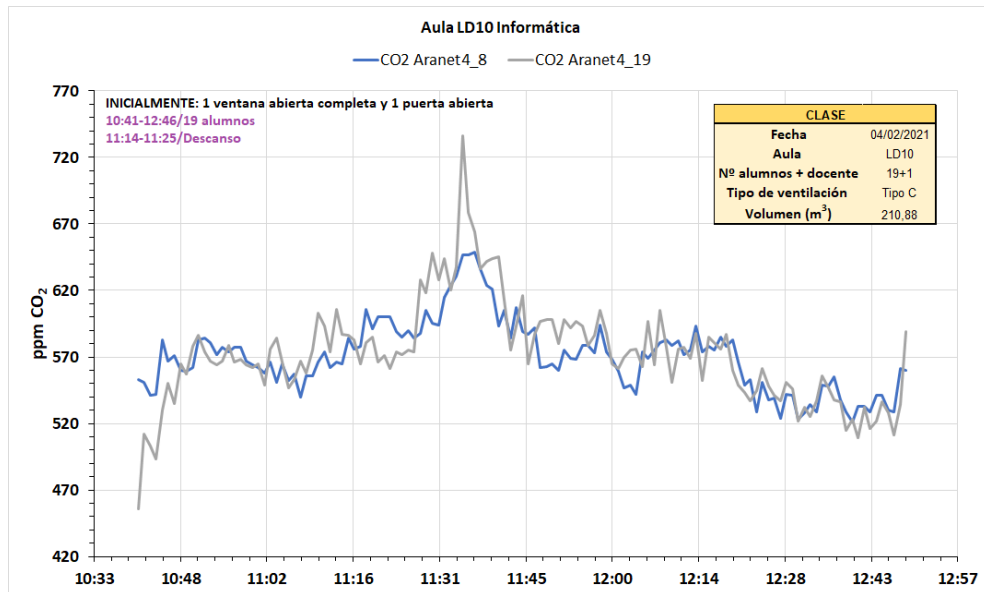


Figura 5.8.9. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula LD10 de Informática.

5.9 Facultad de Letras

En la Facultad de Letras se han evaluado 10 aulas con sistema de ventilación Tipo A (ventilación forzada). La Tabla 5.10 muestra un resumen de las características de las aulas muestreadas con los resultados obtenidos. La concentración de CO₂ en estado estable se ha calculado teniendo en cuenta un ACH objetivo basado en 12,5 l/s/p, sin embargo, por las medidas de concentración de CO₂, el aporte de aire exterior ha sido mayor en relación a la ocupación y volumen de las aulas. Los valores promedio de concentración de CO₂ han estado entre 492 y 651 ppm mientras que los valores máximos alcanzados fueron 740 ppm y 813 ppm en las aulas F03 bis y F06, respectivamente. En ambas aulas la ocupación estaba en torno al 60 %. En el aula F06 (Figura 5.9.8) bastó abrir la puerta para que disminuyera la concentración de CO₂, posteriormente también se abrieron las ventanas lo que hizo decaer el valor de CO₂ a unos 550 ppm. Para observar el efecto que tiene la puerta del aula sobre las renovaciones de aire y por tanto sobre la concentración de CO₂ se recomienda ver la figura 5.9.9 (Aula F07). A pesar de tener ventilación Tipo A y estar las ventanas abiertas en posición oscilante, la concentración de CO₂ aumenta al cerrar la puerta y disminuye al abrirla. Con la puerta abierta se favorece la ventilación cruzada y continua. El aumento de la concentración de CO₂ al cerrar las puertas del aula ya se ha observado en otros edificios como el aulaio.

En la mayoría de las aulas las ventanas estuvieron abiertas. La temperatura promedio de las aulas estuvo entre 17.2 y 23.4 °C.

Las figuras 5.9.1 a 5.9.10 muestran la evolución de CO₂ con el tiempo en el edificio de la Facultad de Letras

Aula	Fecha	Actividad- Nº alumnos ¹	Volumen (m ³)	Tipo de ventilación	CO ₂ (ppm)			Temperatura (°C)			Humedad Relativa (%)			CO ₂ Estado Estable (ppm)
					Promedio	Máximo	Mínimo	Promedio	Máximo	Mínimo	Promedio	Máximo	Mínimo	12,5 l/s/p
F00	22/01/21	Examen 2/24	239,02	Tipo A	492	516	476	20,7	20,9	20,7	40,7	41	40	785
F01	12/02/21	Clase 18/24	249,55	Tipo A	611	678	544	22,3	22,7	21,5	42,3	48	39	785
F02	12/02/21	Clase 8/10	139,63	Tipo A	651	687	527	20,7	21,1	20	45,6	48	44	789
F03	25/01/21	Examen 25/30	318,21	Tipo A	604	687	502	19,7	19,9	19,2	19,9	55	49	784
F03 bis	20/01/21	Examen 17/29	300,77	Tipo A	561	740	458	20,6	21,9	20,2	40,3	46	40	785
F04	28/01/21	Examen 8/10	138,81	Tipo A	568	619	539	17,6	19,6	17,3	56,8	61	51	789
F05	20/01/21	Examen 17/50	489,74	Tipo A	550	689	470	17,2	17,8	16,4	46,7	51	45	783
F06	12/02/21	Clase 17/30	315,06	Tipo A	577	813	426	18,7	20,6	17,6	49	55	47	784
F07	22/01/21	Examen 24/29	301,48	Tipo A	605	709	529	17,8	18,1	17,4	49,8	52	47	785
F200	12/02/21	Clase 22/42	545,38	Tipo A	556	612	503	23,4	24	21,4	38,5	51	34	784

¹ Se indica la ocupación del aula durante el muestreo con respecto a la ocupación máxima o aforo permitido del aula.

Tabla 5.10. Tabla resumen de la Facultad de Letras

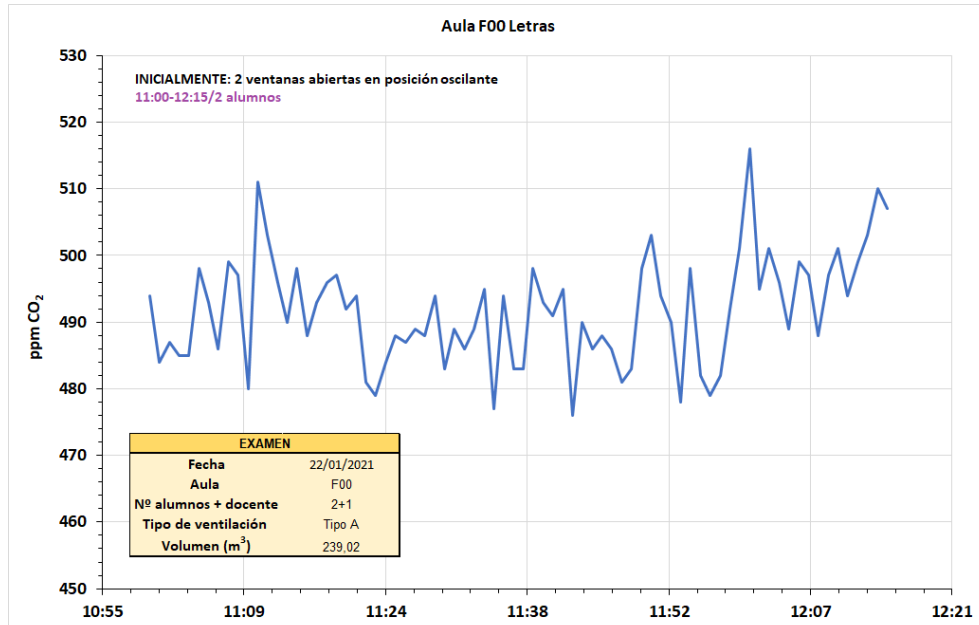


Figura 5.9.1. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula F00 de Letras.

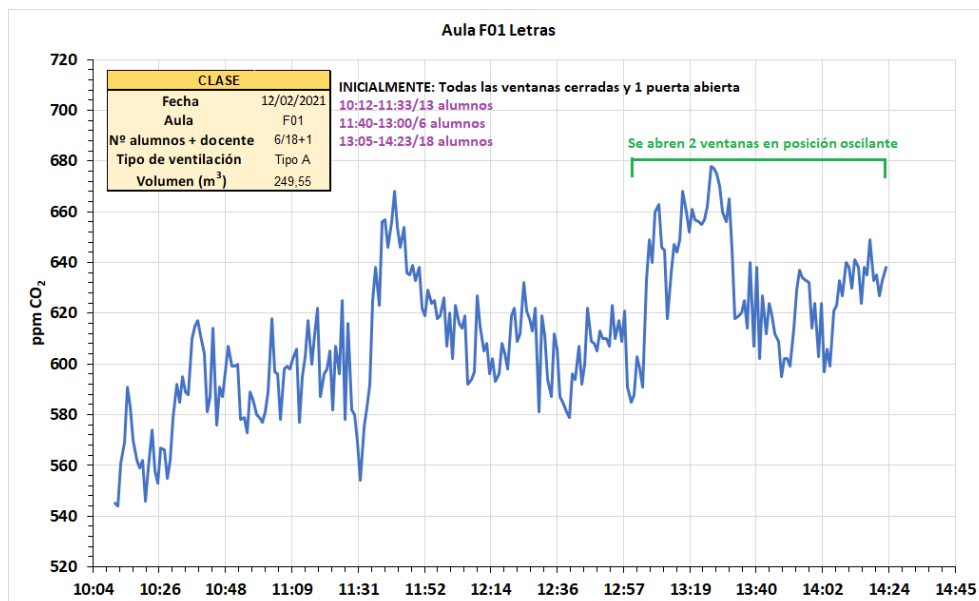


Figura 5.9.2. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula F01 de Letras.

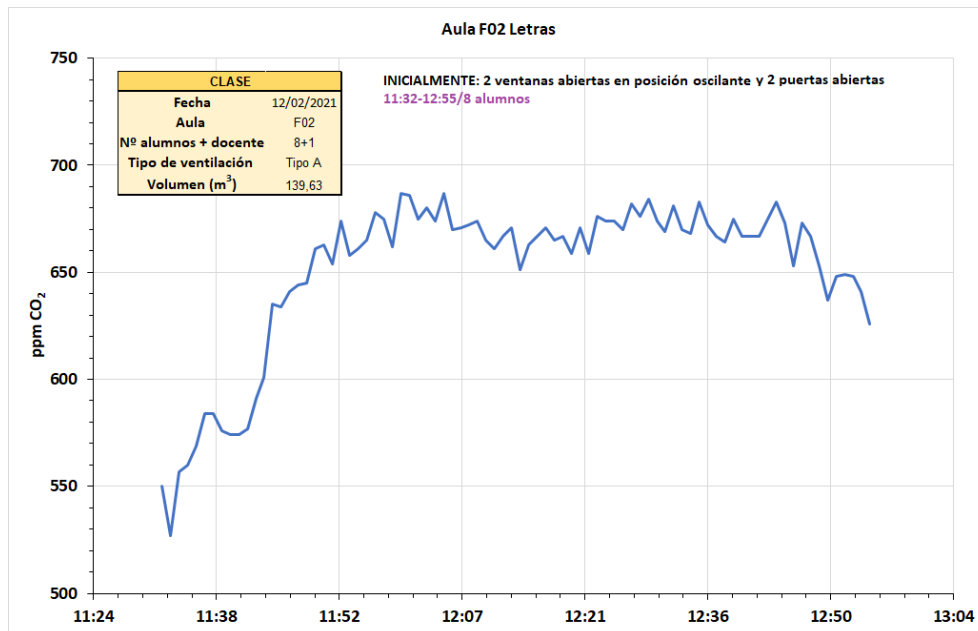


Figura 5.9.3. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula F02 de Letras.

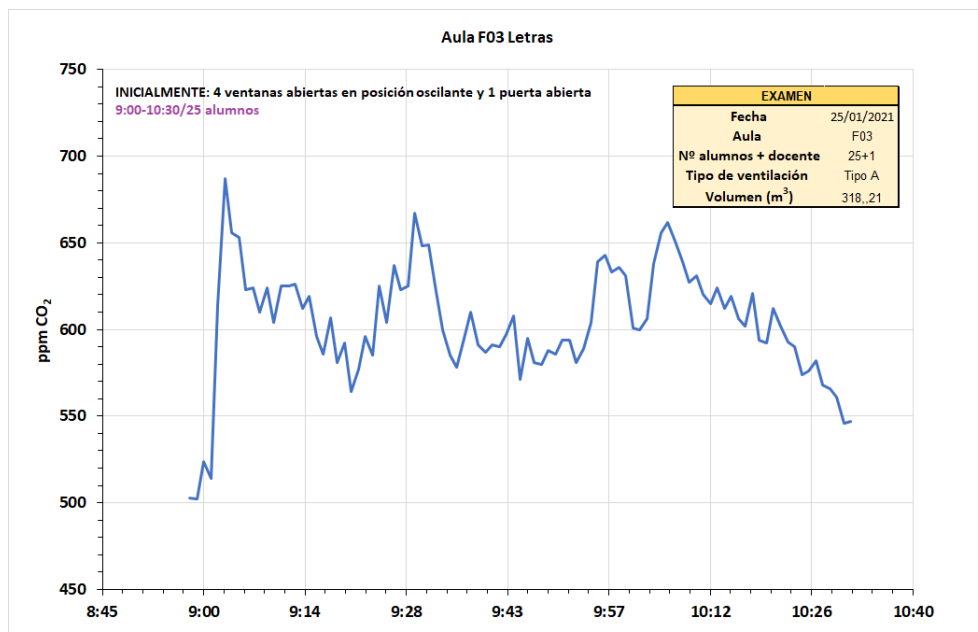


Figura 5.9.4. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula F03 de Letras.

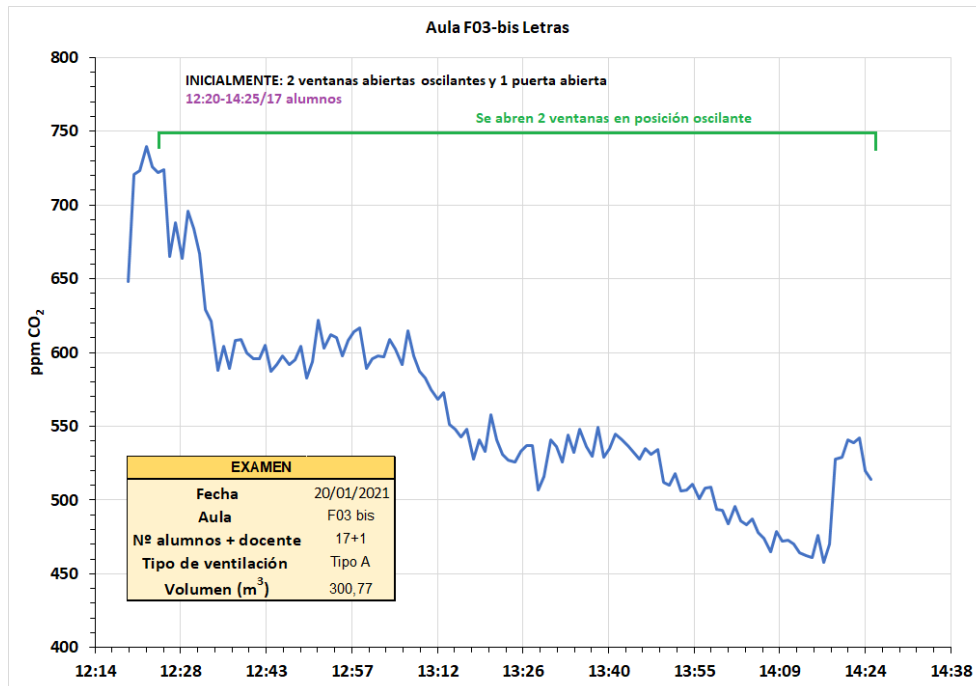


Figura 5.9.5. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula F03 bis de Letras.

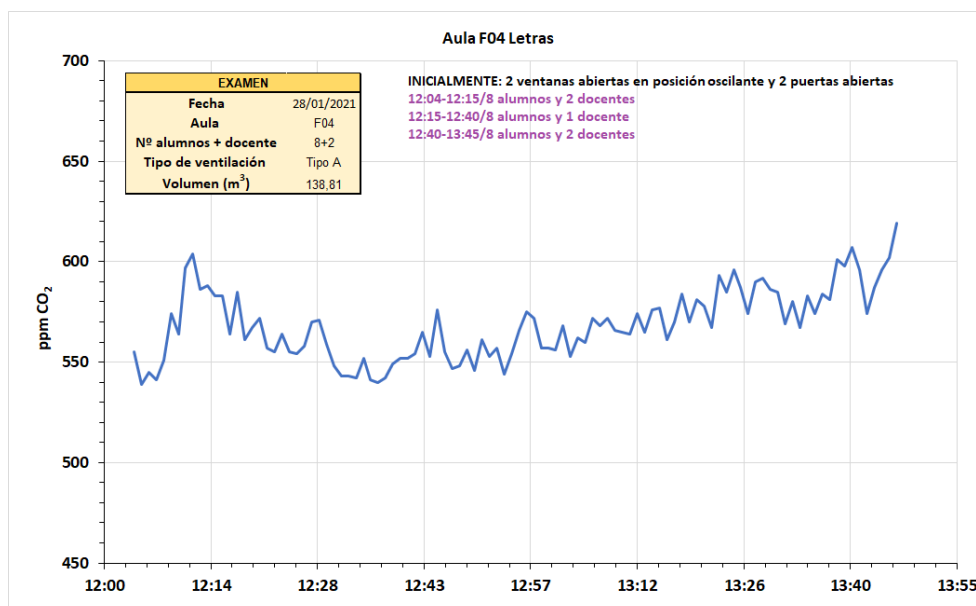


Figura 5.9.6. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula F04 de Letras.

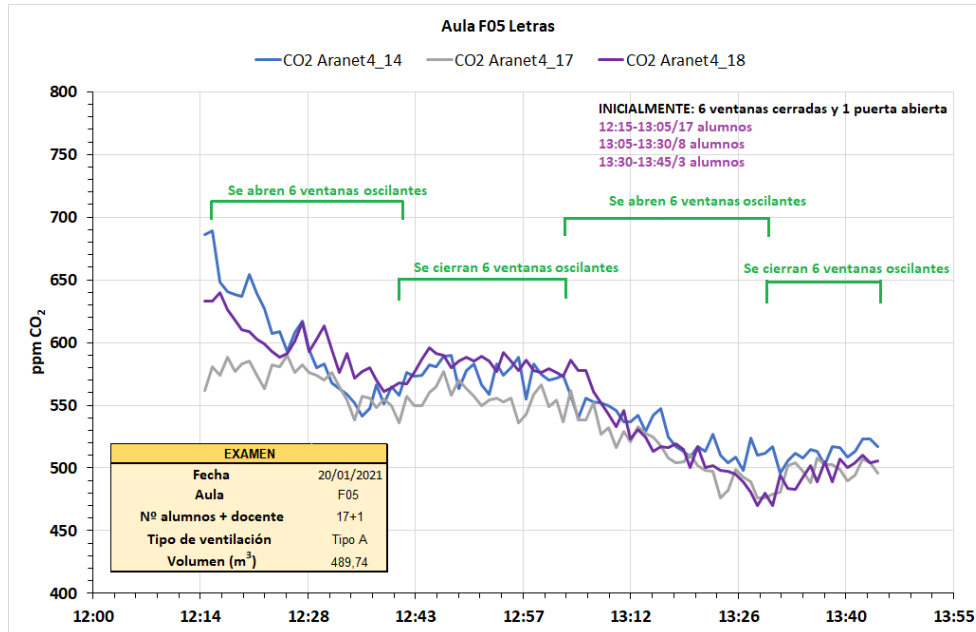


Figura 5.9.7. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula F05 de Letras.

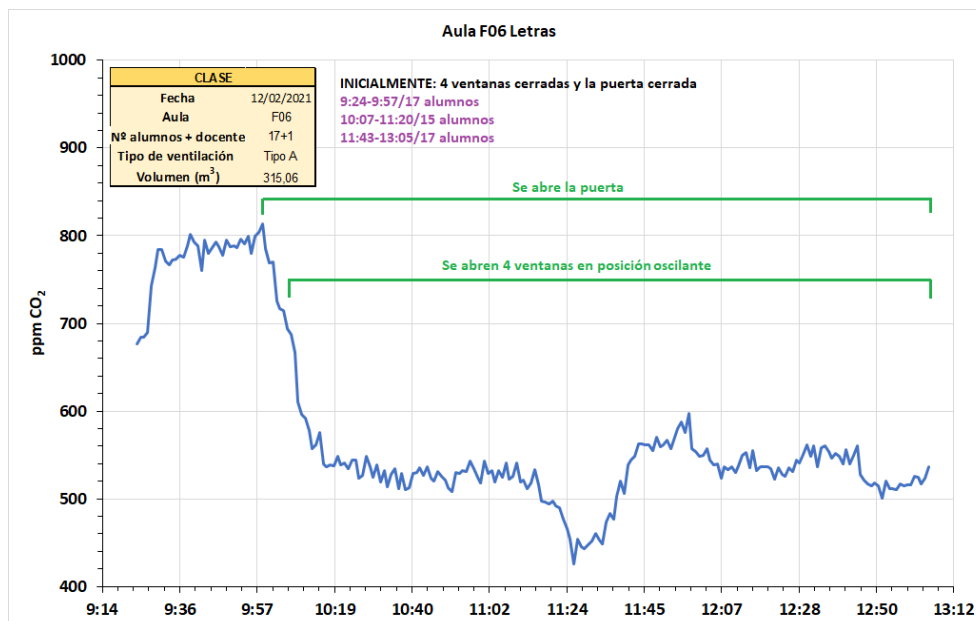


Figura 5.9.8. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula F06 de Letras.

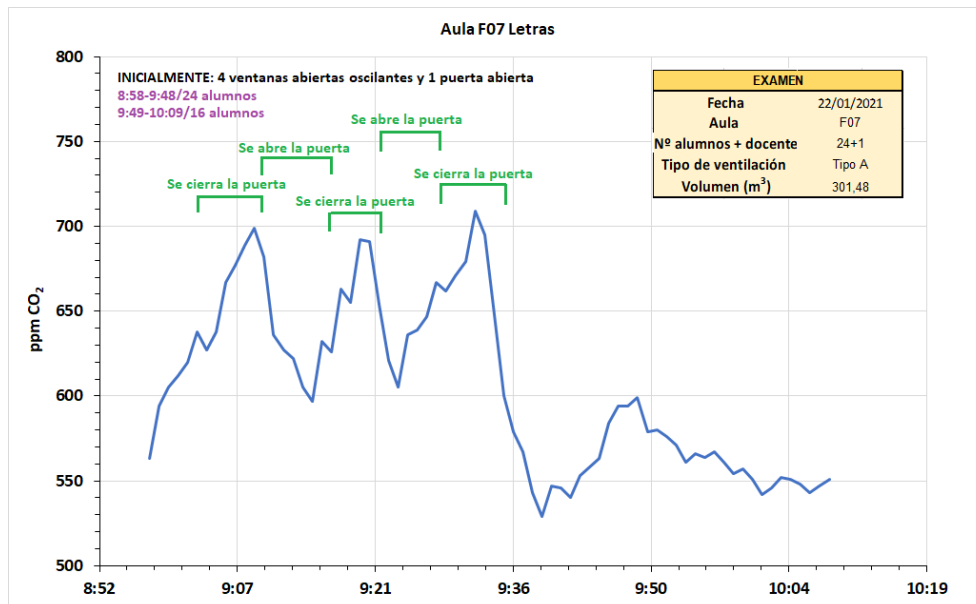


Figura 5.9.9. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula F07 de Letras.

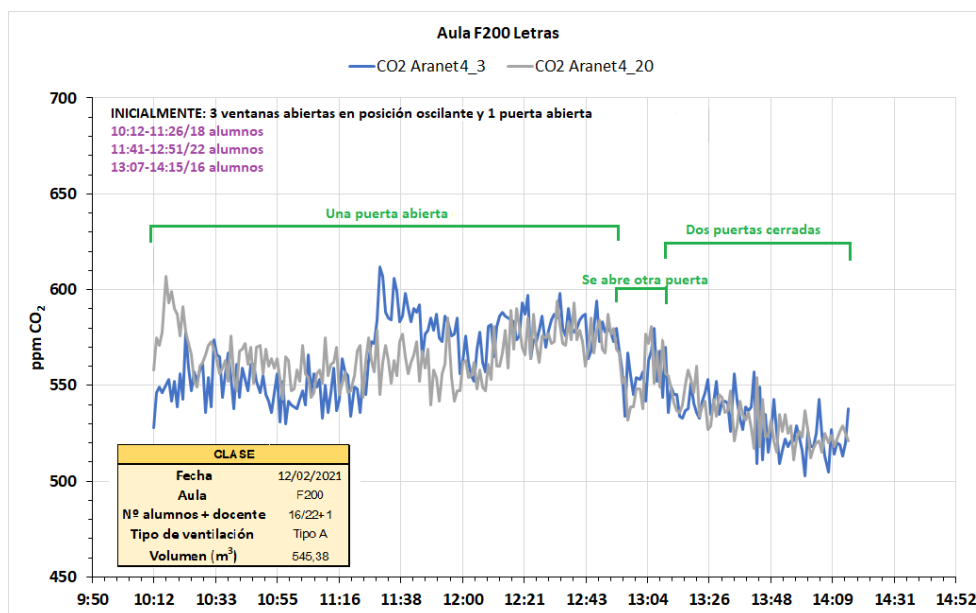


Figura 5.9.10. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula F200 de Letras.

5.10 Facultad de Educación

En la Facultad de Educación se han monitorizado 17 aulas. La Tabla 5.11 muestra un resumen de las características de las aulas muestreadas con los resultados obtenidos. En la Facultad hay aulas con ventilación Tipo A, Tipo B y Tipo C. En este edificio es donde nos hemos encontrado con los niveles más altos de CO₂ debido a diversos motivos entre los que destacan el desconocimiento del funcionamiento del sistema de ventilación y las obras realizadas en el edificio durante las cuales dejó de funcionar el sistema de ventilación forzada. La falta de comunicación entre los responsables de las obras, los conserjes y los profesores llevó a suponer que estaba funcionando el sistema de ventilación Tipo A o B cuando en realidad estaba apagado. Las medidas de CO₂ han servido para detectar estas carencias en el sistema de ventilación y de esta manera ponerlo en conocimiento de la OGI para poder actuar de manera inmediata.

Los valores promedio de concentración de CO₂ han estado entre 509 y 919 ppm encontrándose 9 aulas con concentraciones de CO₂ promedio por encima de lo recomendado. Los valores máximos alcanzados estuvieron entre 570 y 1375 ppm. La temperatura promedio de las aulas ha estado entre 17,3 y 23,8 °C.

A continuación, se detalla la evolución del CO₂ con el tiempo en cada una de las aulas donde se explicarán las incidencias ocurridas (ver figuras 5.10.1 a 5.10.18).

Aula	Fecha	Actividad- Nº alumnos ¹	Volumen (m ³)	Tipo de ventilación	CO ₂ (ppm)			Temperatura (°C)			Humedad Relativa (%)			CO ₂ Estado Estable (ppm)
					Promedio	Máximo	Mínimo	Promedio	Máximo	Mínimo	Promedio	Máximo	Mínimo	12,5 l/p-s
Gimnasio	22/01/21	Examen 71/79	995,16	Tipo B	645	848	445	23,8	26,3	17,1	26,4	60	30	683*
Salón de Actos	22/01/21 Mañana	Examen 40/51	494,07	Tipo A	873	1097	547	21,4	22,8	20,2	39	42	34	783
	10/02/21 Mañana	Clase 34/51	494,07	Tipo A	711	836	435	18,3	18,8	17,5	49,9	52	46	783
0.01	22/02/21	Clase 22/28	259,49	Tipo A	860	1176	673	19	20,7	13,4	38,7	49	35	785
0.07	04/03/21	Clase 18/36	259,48	Tipo A	525	745	423	21,3	22,4	19,3	33,1	35	31	784
1.01	22/01/21	Examen 21/30	315,49	Tipo B	623	685	458	21,3	21,8	20,2	40,8	43	38	689*
1.02	22/01/21	Examen 35/55	485,18	Tipo B	509	570	440	17,3	18	16,9	46	48	44	664*
1.04+1.05	18/02/21	Clase 40/54	505,39	Tipo A	628	767	499	22,9	24,4	20,3	30,3	34	25	735
1.06	22/02/21	Clase 20/29	329,22	Tipo A	893	973	645	20,7	22	18,1	34,9	41	33	785
1.07 edificio antiguo	22/02/21	Clase 9/21	224	Tipo C	577	634	512	22,6	24,5	16,7	30,9	47	27	689*
1.09 edificio antiguo	22/01/21	Examen 31/28	278,21	Tipo C	854	968	484	20,5	21,3	18,2	43,2	45	41	705*
2.01	08/02/21	Clase 17/28	305,61	Tipo B	919	1225	420	18,5	19,6	16,3	46,1	47	44	679*
2.02	10/02/21	Clase 37/41	440,40	Tipo B	591	919	450	18,7	19,8	17,5	47,8	52	46	680*

¹ Se indica la ocupación del aula durante el muestreo con respecto a la ocupación máxima o aforo permitido del aula.

*ACH = 5 o 6

**ACH = 7

Tabla 5.11. Tabla resumen de la Facultad de Educación.

Aula	Fecha	Actividad- Nº alumnos ¹	Volumen (m ³)	Tipo de ventilación	CO ₂ (ppm)			Temperatura (°C)			Humedad (%)			CO ₂ Estado Estable (ppm)
					Promedio	Máximo	Mínimo	Promedio	Máximo	Mínimo	Promedio	Máximo	Mínimo	12,5 l/p-s
2.03	10/02/21	Clase 4/11	201,62	Tipo C	551	655	472	19,2	19,7	18,6	46,5	48	46	617*
2.05	10/02/21	Clase 18/26	288,87	Tipo A	578	659	499	20,9	21,3	19,9	42,6	52	38	785
2.06	02/03/21	Clase 18/26	252,96	Tipo A	749	917	551	21,1	22,8	16,7	42,1	47	40	785
2.07	10/02/21	Clase 22/24	242,02	Tipo A	915	1375	676	20,6	21,9	17,4	45,9	54	44	785
2.08	08/02/21	Clase 37/36	368,25	Tipo A	585	625	555	20,8	21	20,4	39,7	42	38	784

¹¹ Se indica la ocupación del aula durante el muestreo con respecto a la ocupación máxima o aforo permitido del aula.

Tabla 5.11. Tabla resumen de la Facultad de Educación (continuación).

La figura 5.10.1 muestra la evolución de CO₂ con el tiempo en el gimnasio donde la ocupación al inicio del examen estaba al 67 % (53/79). El sistema de ventilación es Tipo B y durante la primera hora se alcanzan las 800 ppm. De 12:00 a 13:25 la ocupación es del 90 % pero al estar además 4 ventanas abiertas la concentración de CO₂ estuvo en torno a 600 ppm. La apertura de las ventanas hizo que la temperatura decayera de 25°C a unos 22°C, sin embargo, se ganó en ventilación manteniendo una buena temperatura. Como se ha comentado anteriormente el sistema de ventilación Tipo B necesita la apertura continua de alguna ventana y de las puertas cuando el aforo es elevado. Para saber cuántas ventanas se deben abrir y cuantos centímetros se deben abrir y así optimizar esta apertura de ventanas y la temperatura, sería necesario continuar midiendo el CO₂.

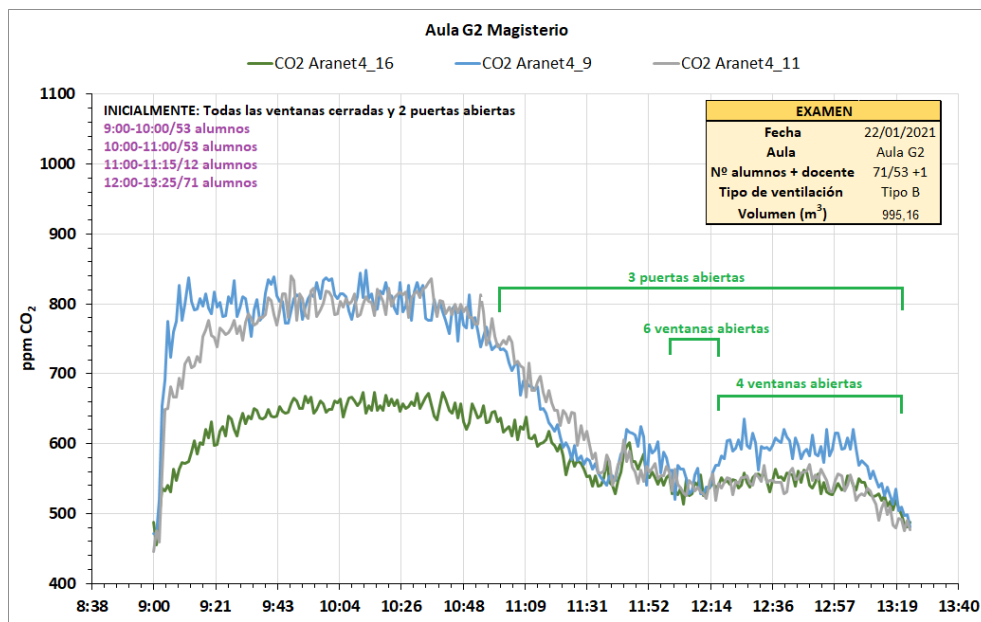


Figura 5.10.1. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula G2 (gimnasio) de Magisterio.

La figura 5.10.2 muestra la evolución de la concentración de CO₂ durante un examen en el Salón de Actos clasificado como Tipo A (ventilación 100% forzada). Se observa como la concentración de CO₂ aumenta con el tiempo lo que significa que el sistema de ventilación no estaba funcionando correctamente. En la hoja de registro de datos se notifica que a las 11:40 se apaga la calefacción ya que hace calor en el aula, observándose un descenso progresivo de la temperatura del aula desde 23 °C hasta 20 °C. Esta incidencia fue notificada a la OGI que comunicó que en este aula el sistema de climatización funcionaba de manera simultánea al de ventilación y por tanto, si se apaga la calefacción también se apaga la ventilación forzada. Por tanto, estas mediciones permitieron por un lado regular la temperatura de la calefacción y por otro, explicar al personal responsable del edificio el funcionamiento del sistema de climatización y ventilación del aula.

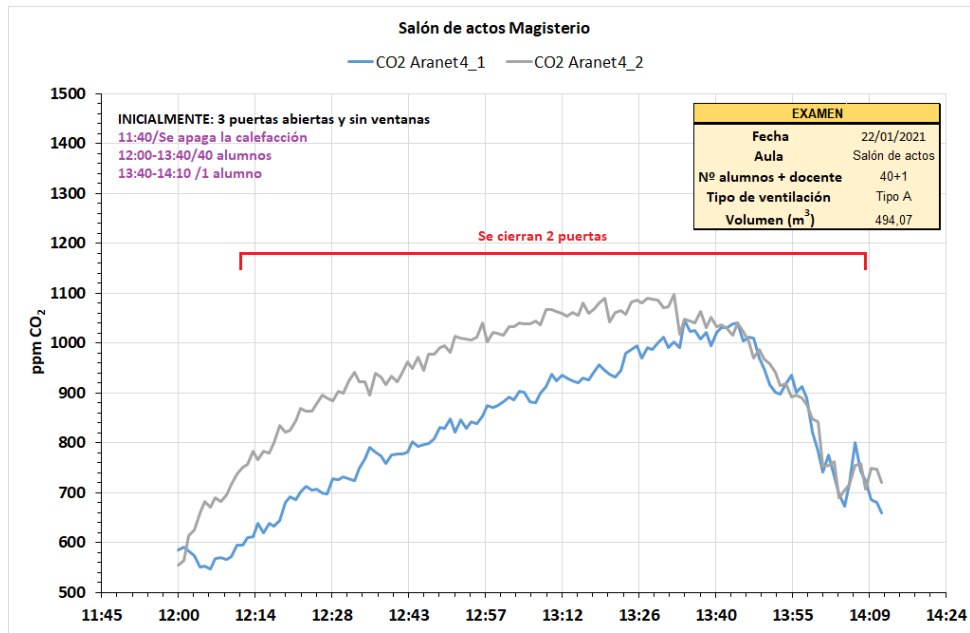


Figura 5.10.2. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el salón de actos durante un examen

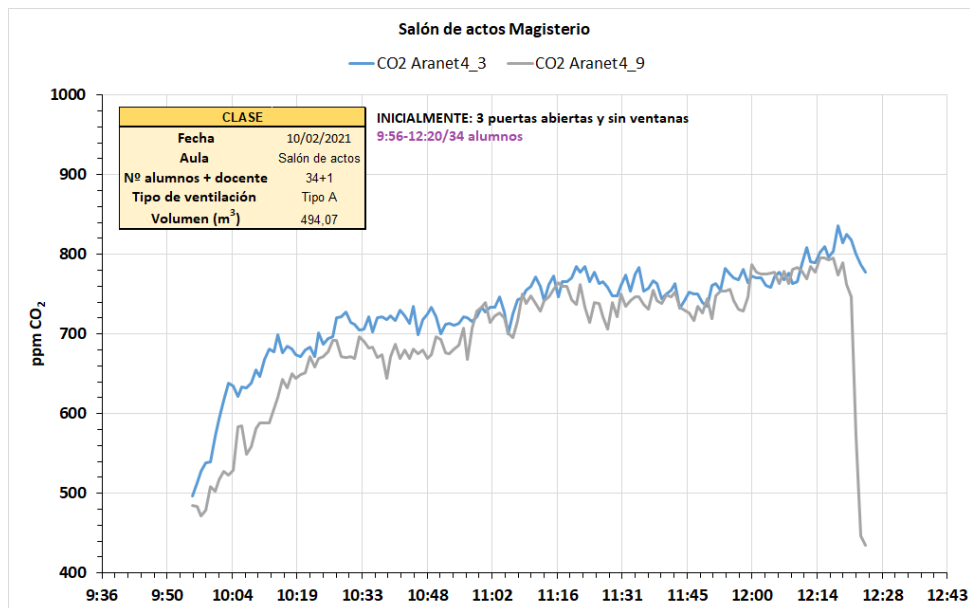


Figura 5.10.3. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el salón de actos durante las clases.

La figura 5.10.4 muestra la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 0.01. Al inicio todas las ventanas están cerradas y la puerta abierta. Se observa como al comenzar la clase, la concentración de CO₂ va aumentando progresivamente, lo que indica que el sistema de ventilación del edificio (Tipo A) no está funcionando correctamente. En el momento en el que se abren dos ventanas, la ventilación se distribuye por el aula disminuyendo los niveles de CO₂. A partir de este momento, la ventilación es cruzada y distribuida. Al cerrar las ventanas vuelve a subir la concentración de CO₂.

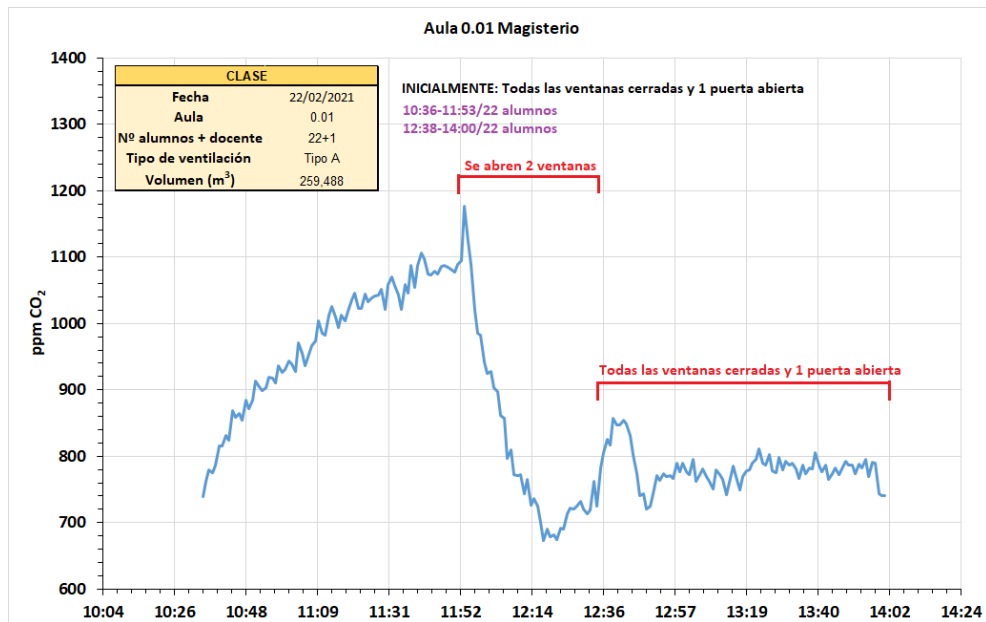


Figura 5.10.4. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 0.01 de Magisterio.

Las figuras 5.10.5 a 5.10.8 correspondientes a las aulas 0.07, 1.01, 1.02, 1.04+1.05 con sistemas de ventilación Tipo A o B muestran valores de CO₂ por debajo de lo recomendado, sin embargo, en estas aulas siempre ha habido alguna ventana abierta y la puerta abierta.

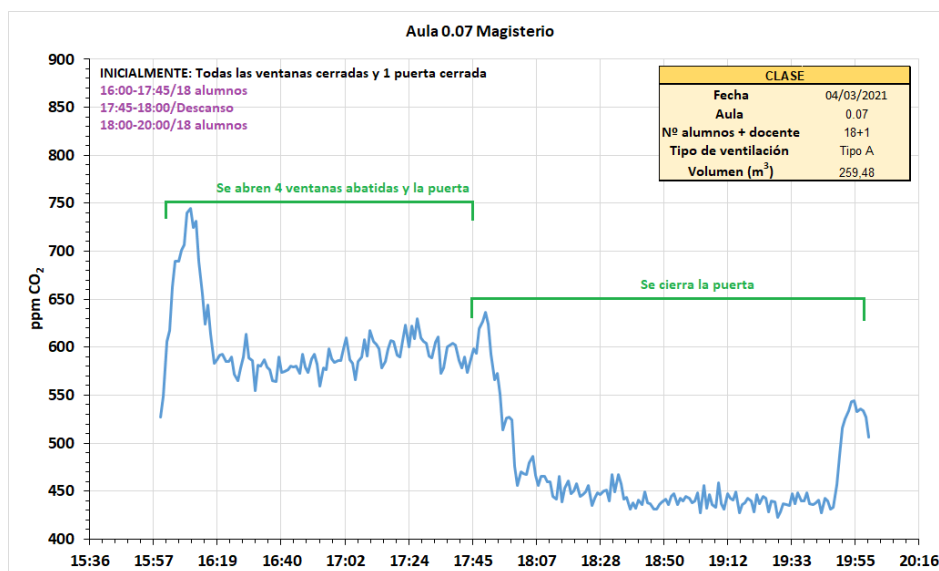


Figura 5.10.5. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 0.07 de Magisterio.

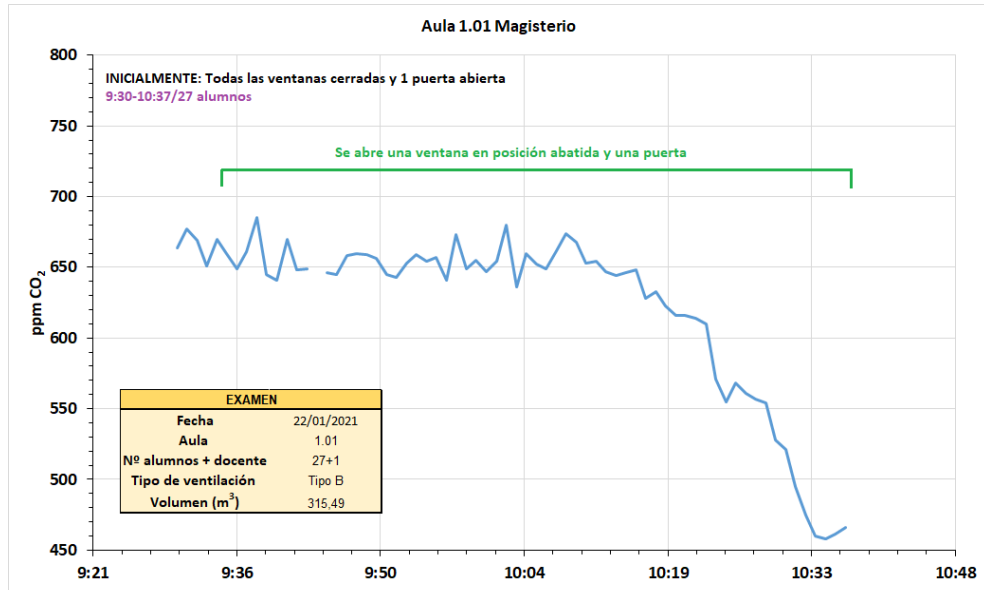


Figura 5.10.6. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 1.01 de Magisterio.

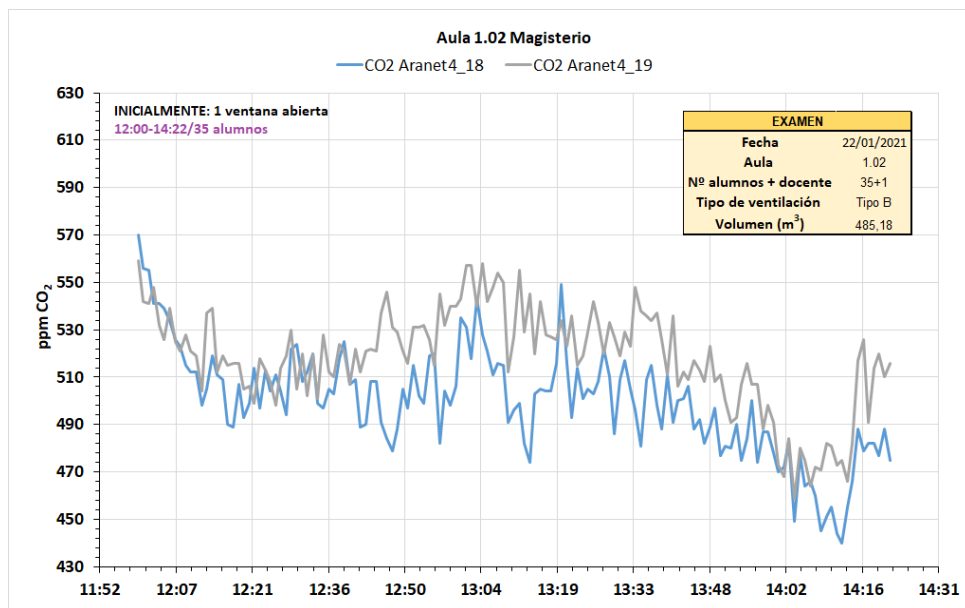


Figura 5.10.7. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 1.02 de Magisterio.

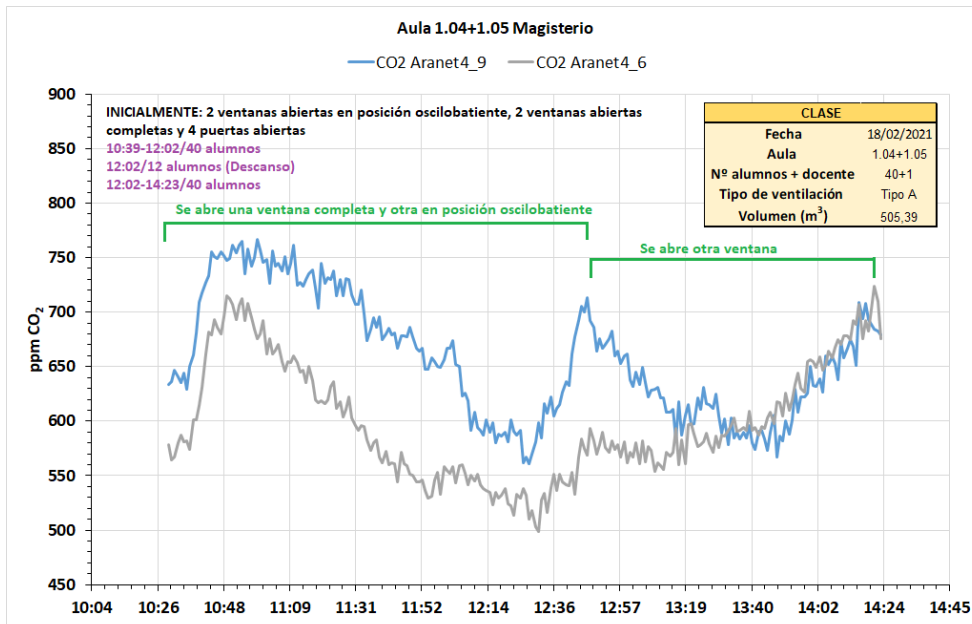


Figura 5.10.8. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 1.04+1.05 de Magisterio.

La figura 5.10.9 muestra la evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 1.06 clasificada como Tipo A según el sistema de ventilación. En este caso, al igual que sucede en el aula 0.01, todas las ventanas están cerradas al inicio de la clase, sin embargo, al ser la ventilación de Tipo A la concentración de CO₂ no debería superar las 788 ppm según la concentración de CO₂ en estado estable calculada en base a un suministro de 12,5 l/s/p. Por tanto, en este aula tampoco está funcionando correctamente el sistema de ventilación. Dado que este problema lo hemos observado en otras aulas, más adelante se indica el problema ocurrido con el sistema de ventilación.

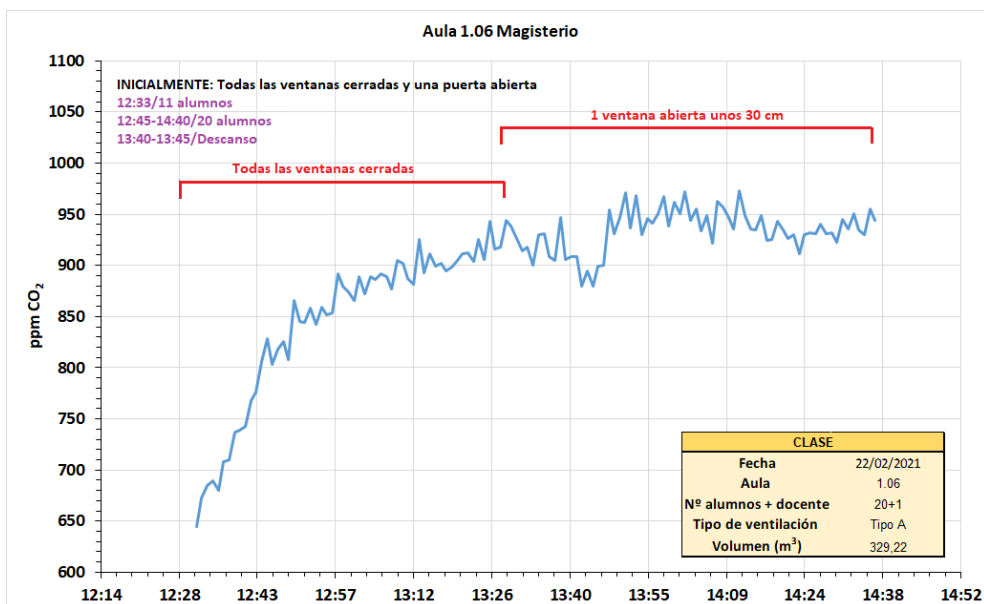


Figura 5.10.9. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 1.06 de Magisterio.

Las figuras 5.10.10 y 5.10.11 corresponden a las aulas 1.07 y 1.09, respectivamente, localizadas en el edificio antiguo de la Facultad de Educación y clasificadas como Tipo C. En este caso, las ventanas y las puertas deben estar siempre abiertas para favorecer la ventilación continua, cruzada y distribuida. Sin embargo, el aula 1.09 registra altos niveles de CO₂ debido a que las renovaciones de aire no son suficientes para compensar las exhalaciones de las personas en el interior del aula, que según la hoja de registro estaba por encima del aforo máximo permitido (31 personas de 28 puestos). Por tanto, una ventana pequeña abierta y la puerta abierta es insuficiente para mantener el CO₂ por debajo del valor recomendado cuando el aforo del aula es máximo.

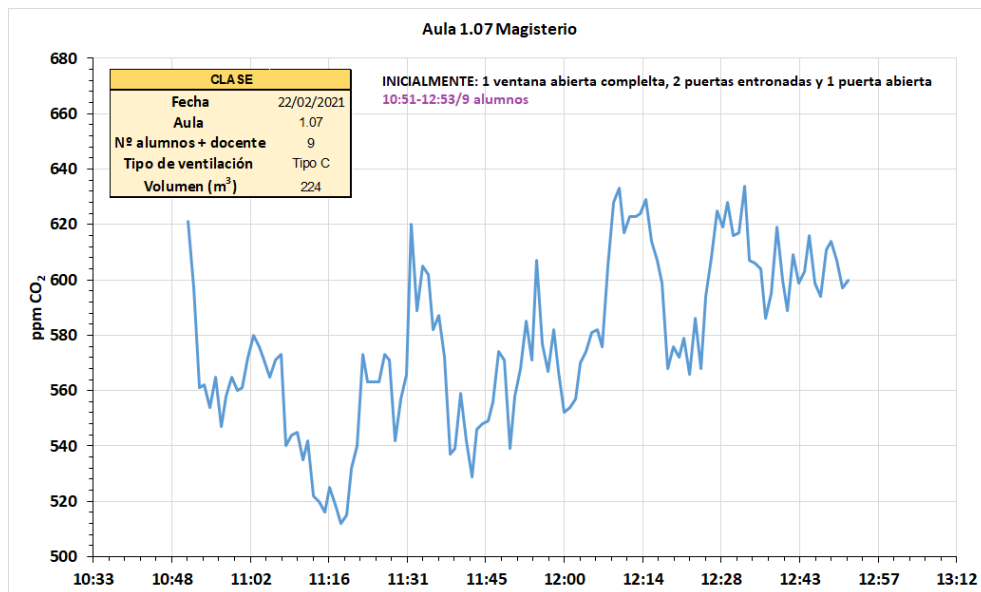


Figura 5.10.10. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 1.07 de Magisterio.

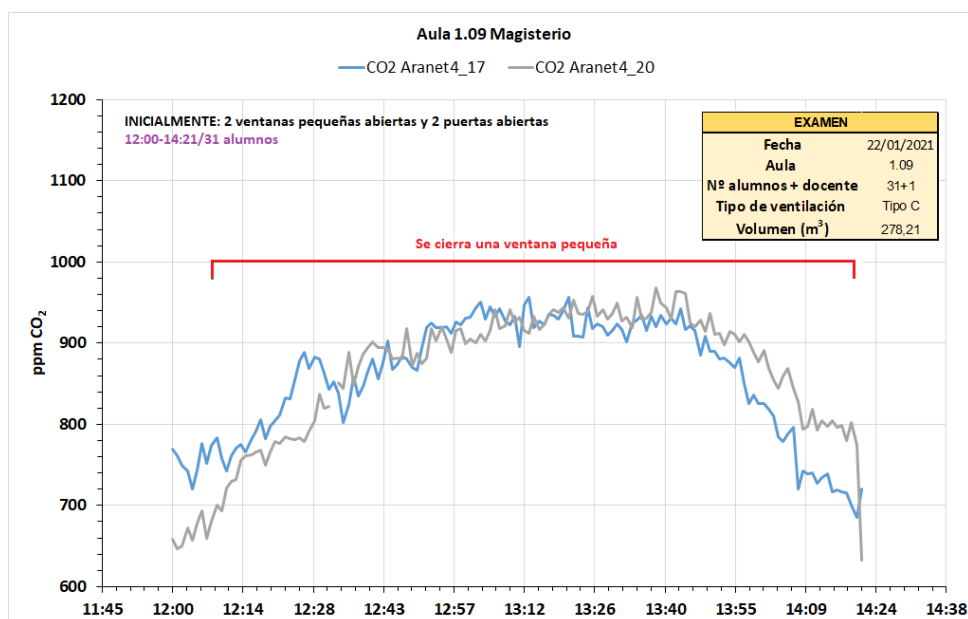


Figura 5.10.11. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 1.09 de Magisterio.

Las figuras 5.10.12 y 5.10.13 muestran la evolución del CO₂ en las aulas 2.01 y 2.02 clasificadas según el sistema de ventilación como Tipo B. En ambas figuras se observa que al cerrar las ventanas la concentración de CO₂ aumenta por encima de 700 ppm y en el caso del aula 2.01 llega a 1200 ppm. Por tanto, se deduce que el sistema de ventilación tampoco está funcionando correctamente en estas aulas.

Debido a los problemas observados con la renovación de aire en muchas de las aulas de la Facultad de Educación clasificadas como tipo B (ventilación mixta) y tipo A (ventilación forzada 100%) se comunicó a la OGI los resultados obtenidos en los muestreos de CO₂. Según se nos informó desde la OGI, se estaba instalando un nuevo sistema de ventilación en la Facultad de Educación y desde el día 12 de enero de 2021 los sistemas de ventilación clasificados como Tipo A pasaban a ser de Tipo C y por tanto, estas aulas debían ventilarse abriendo las ventanas y puertas hasta la finalización de la instalación del nuevo sistema de ventilación. Tras comunicar la incidencia a la OGI, el día 12 de febrero se pusieron en contacto con los responsables del edificio para explicarles de nuevo el funcionamiento del sistema de ventilación. Por ese motivo, el día de las mediciones la concentración de CO₂ fue elevada ya que el sistema de ventilación estaba apagado. No obstante, es importante destacar que algunas aulas como la 1.06 (figura 5.10.9) fueron muestreadas posteriormente a la comunicación de esta incidencia y seguían dando valores altos de CO₂ debido probablemente a que el sistema de ventilación continuaba apagado y no se ventiló de manera natural.

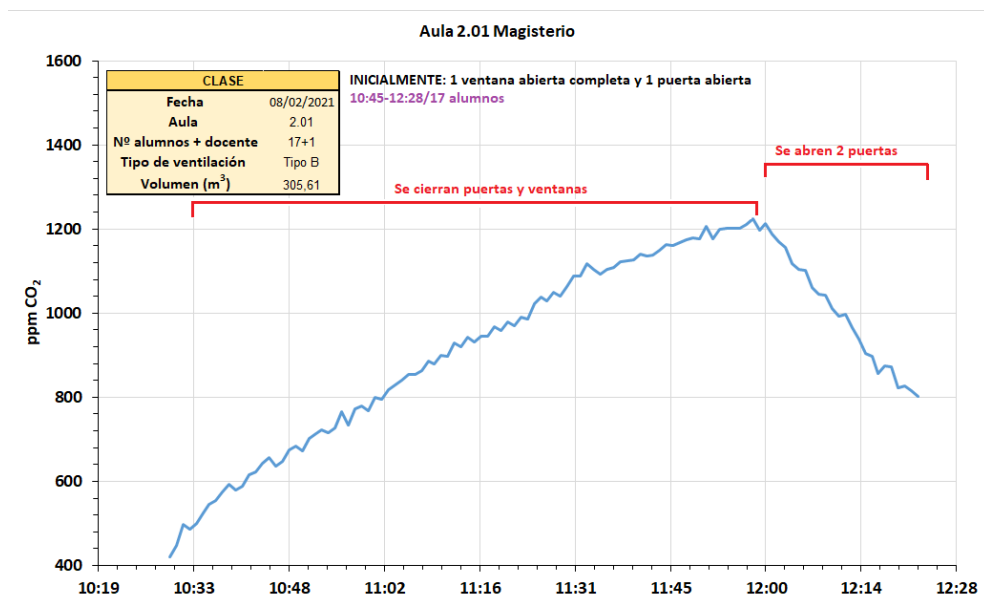


Figura 5.10.12. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 2.01 de Magisterio.

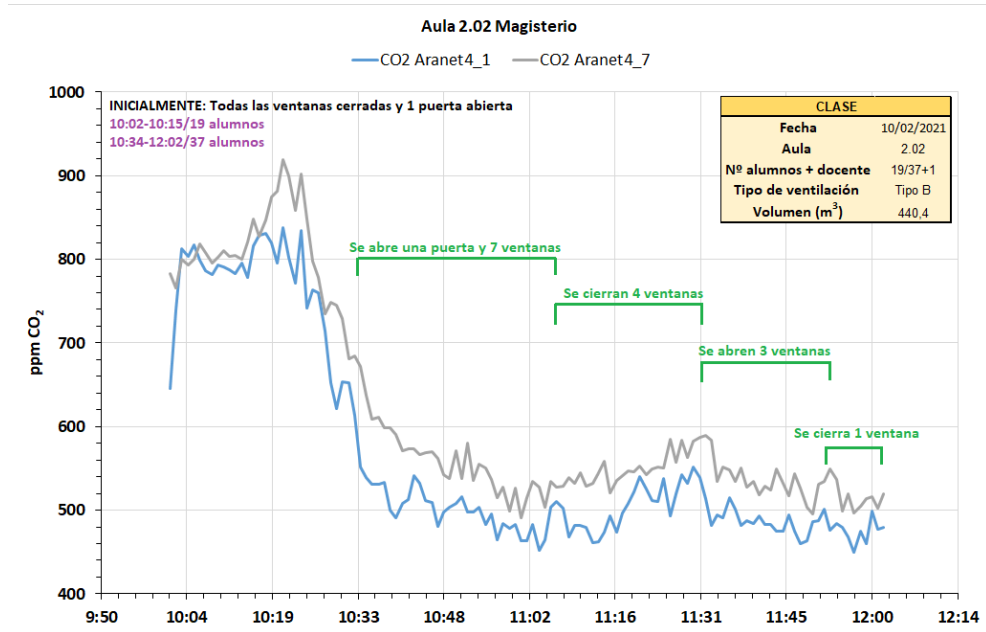


Figura 5.10.13. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 2.02 de Magisterio.

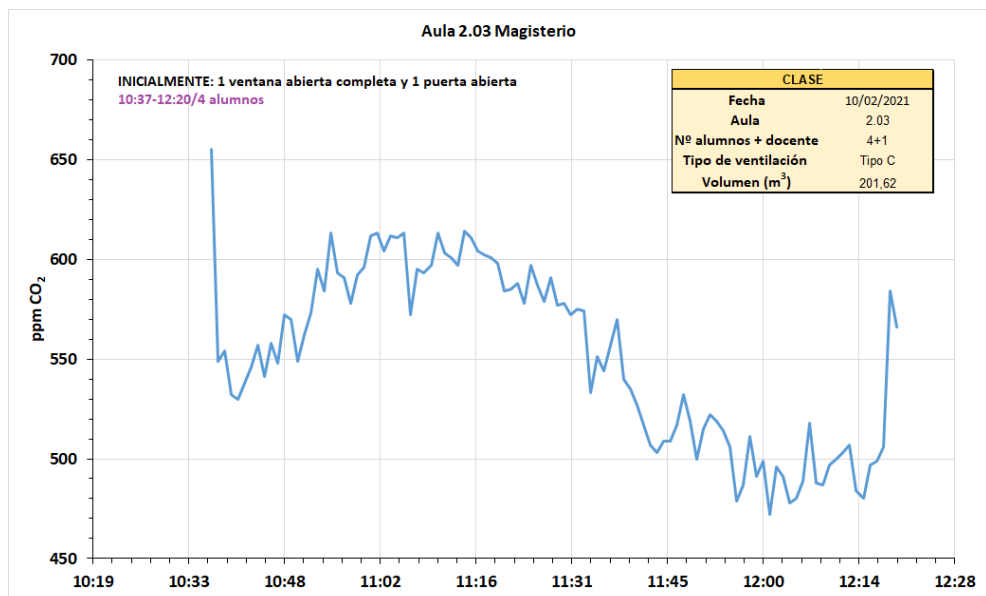


Figura 5.10.14. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 2.03 de Magisterio.

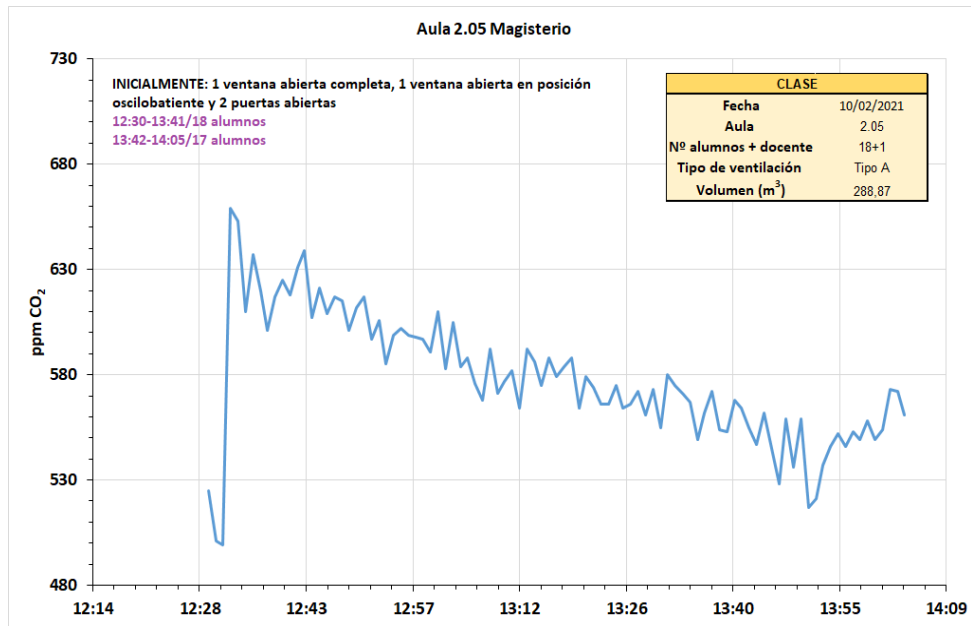


Figura 5.10.15. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 2.05 de Magisterio.

La figura 5.10.16 muestra la evolución de la concentración de CO₂ en el aula 2.06 clasificada como Tipo A (fecha del muestreo 2 de marzo de 2021). A pesar de haberse dado instrucciones hace un mes a los responsables del edificio del funcionamiento del sistema de ventilación este aula registra valores elevados de CO₂, por encima del valor de 700 ppm recomendado y por tanto insuficiente renovación de aire. Por tanto, o bien el sistema estaba apagado o bien el sistema dejó de funcionar.

A raíz de estos problemas la OGI comunicó que se instalaría un piloto con luz verde para que mostrase al profesorado cuando el sistema de ventilación estaba funcionando.

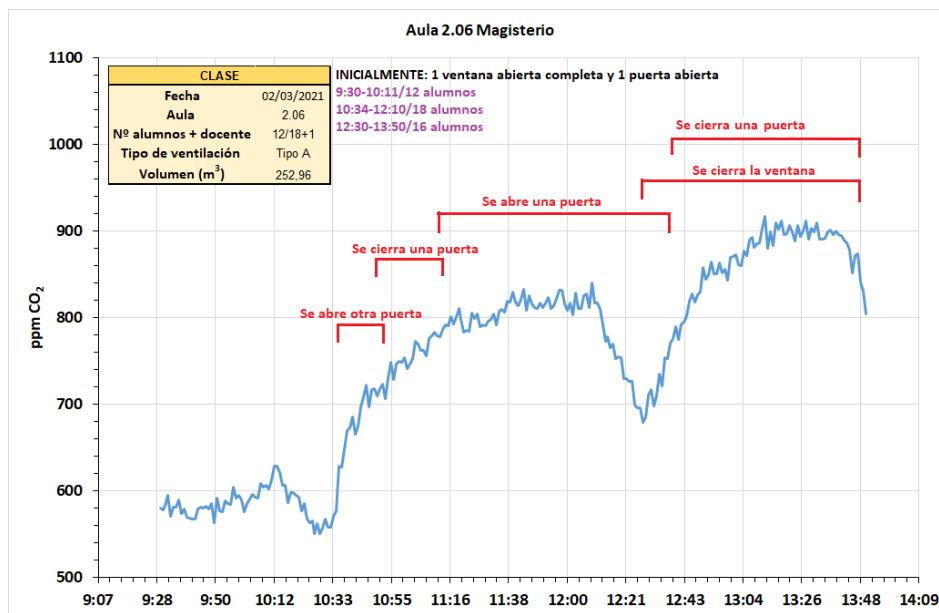


Figura 5.10.16. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 2.06 de Magisterio.

El aula 2.07 (ver figura 5.10.17) también registró elevadas concentraciones de CO₂, no obstante el muestreo tuvo lugar en los días previos a que se dieran instrucciones a los responsables del edificio del funcionamiento del sistema de ventilación.

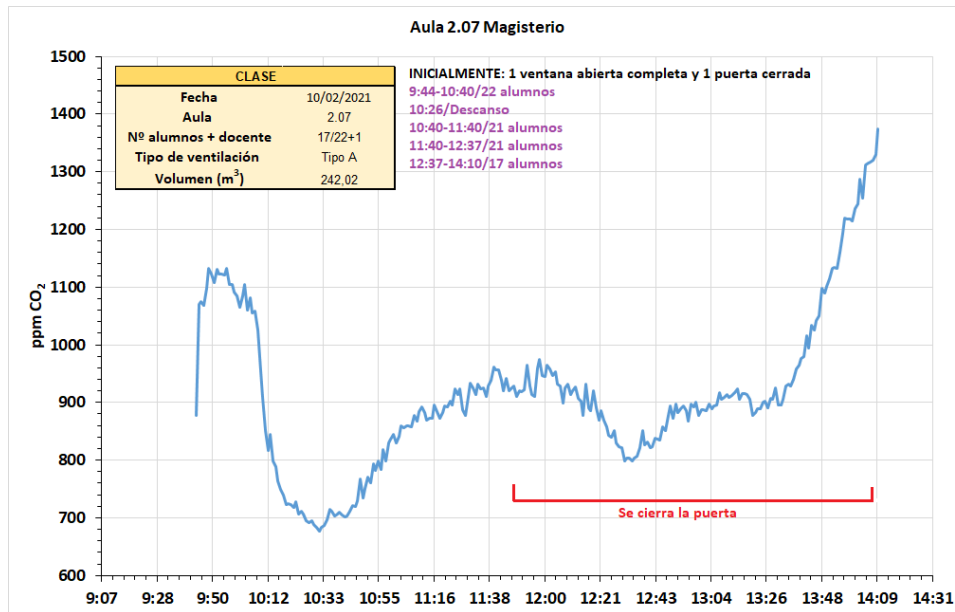


Figura 5.10.17. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 2.07 de Magisterio.

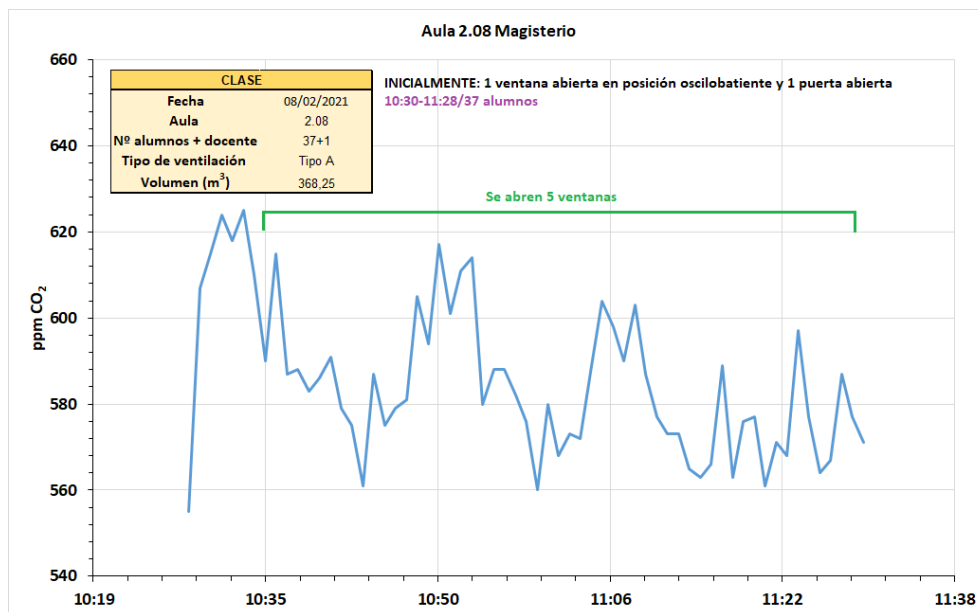


Figura 5.10.18. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el aula 2.08 de Magisterio.

5.11 Facultad de Ciencias y Tecnologías Químicas

En la Facultad de Ciencias y Tecnologías Químicas se han evaluado 3 aulas de uso habitual con sistema de ventilación Tipo A (ventilación forzada). La Tabla 5.12 muestra un resumen de las características de las aulas muestreadas con los resultados obtenidos. El aforo ha estado muy por debajo del aforo máximo. Tanto en el salón de actos como en la parte superior de la biblioteca (biblioteca bajo cubierta) no hay ventanas. Únicamente en la biblioteca que sí hay ventanas, éstas han estado abiertas durante el muestreo. En todos los casos la ventilación ha sido muy buena. Los valores promedio de concentración de CO₂ han estado entre 466 y 591 ppm mientras que el valor máximo alcanzado ha sido de 646 ppm. En el caso del salón de actos sería interesante volver a medir cuando la ocupación sea cercana al aforo máximo. La temperatura promedio estuvo entre 22,1 y 23,3 °C.

Las figuras 5.11.1 a 5.11.3 muestran la evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en los espacios de la Facultad.

Aula	Fecha	Actividad- Nº alumnos ¹	Volumen (m ³)	Tipo de ventilación	CO ₂ (ppm)			Temperatura (°C)			Humedad Relativa (%)			CO ₂ Estado Estable (ppm)
					Promedio	Máximo	Mínimo	Promedio	Máximo	Mínimo	Promedio	Máximo	Mínimo	12,5 l/p-s
Salón de Actos	11/02/21	Clase 8/24	368,67	Tipo A	591	626	506	22,7	23,4	20,6	45,9	50	44	785
Biblioteca	08/02/21	Clase 31/44	309,46	Tipo A	501	646	454	22,1	22,7	16,9	36,5	48	35	786
Biblioteca bajo cubierta	04/02/21	Clase 8/20	391,28	Tipo A	466	496	446	23,3	23,6	22,6	40,9	46	39	784

¹¹ Se indica la ocupación del aula durante el muestreo con respecto a la ocupación máxima o aforo permitido del aula.

Tabla 5.12. Tabla resumen de la Facultad de Ciencias y Tecnologías Químicas.

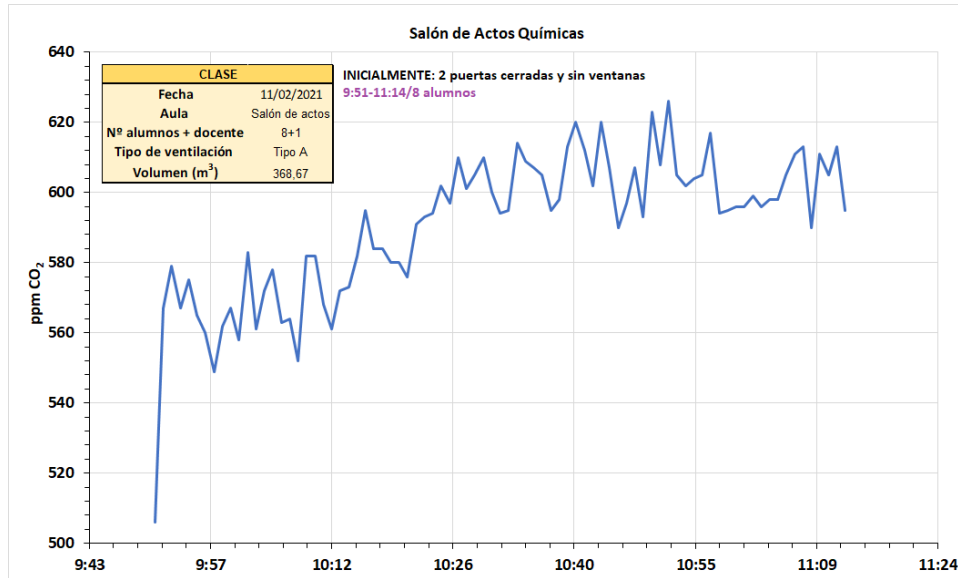


Figura 5.11.1. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el salón de actos de Químicas.

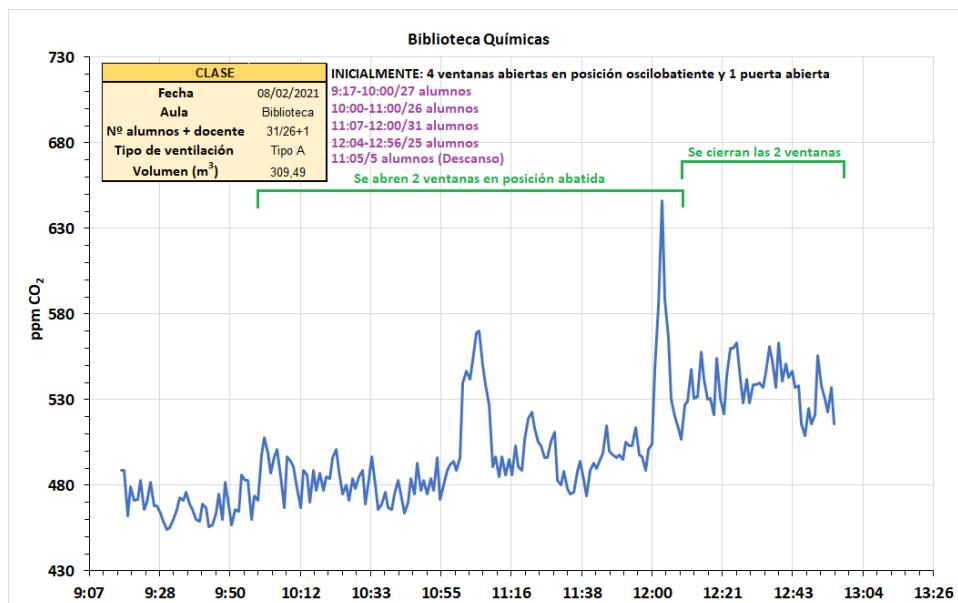


Figura 5.11.2. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en la biblioteca de Químicas.

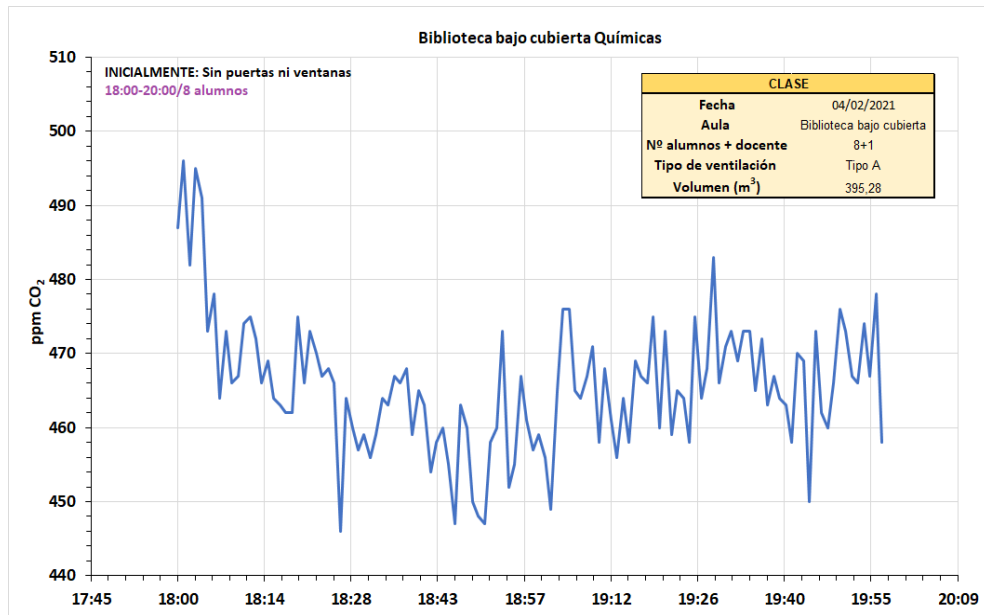


Figura 5.11.3. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en la biblioteca bajo cubierta de Químicas.

5.12 Rectorado

En el Rectorado únicamente se ha evaluado el Paraninfo con sistema de ventilación Tipo A (ventilación forzada con 12,5 l/s/p). La Tabla 5.13 muestra un resumen de las características del Paraninfo con los resultados obtenidos. Durante el muestreo el aforo estuvo al 73 %. La concentración promedio CO₂ fue de 524 ppm y la máxima de 687 ppm. La temperatura promedio fue de 23,6 °C. En la figura 5.12.1 se muestra la evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el Paraninfo donde se usaron 2 medidores de CO₂.

Aula	Fecha	Actividad- Nº alumnos ¹	Volumen (m ³)	Tipo de ventilación	CO ₂ (ppm)			Temperatura (°C)			Humedad Relativa(%)			CO ₂ Estado Estable (ppm)
					Promedio	Máximo	Mínimo	Promedio	Máximo	Mínimo	Promedio	Máximo	Mínimo	12,5 l/p-s
Paraninfo	24/02/21	Clase 48/66	2754,85	Tipo A	524	687	459	23,6	24,8	19,7	32,8	39	30	783

¹ Se indica la ocupación del aula durante el muestreo con respecto a la ocupación máxima o aforo permitido del aula.

Tabla 5.13. Tabla resumen del Rectorado.

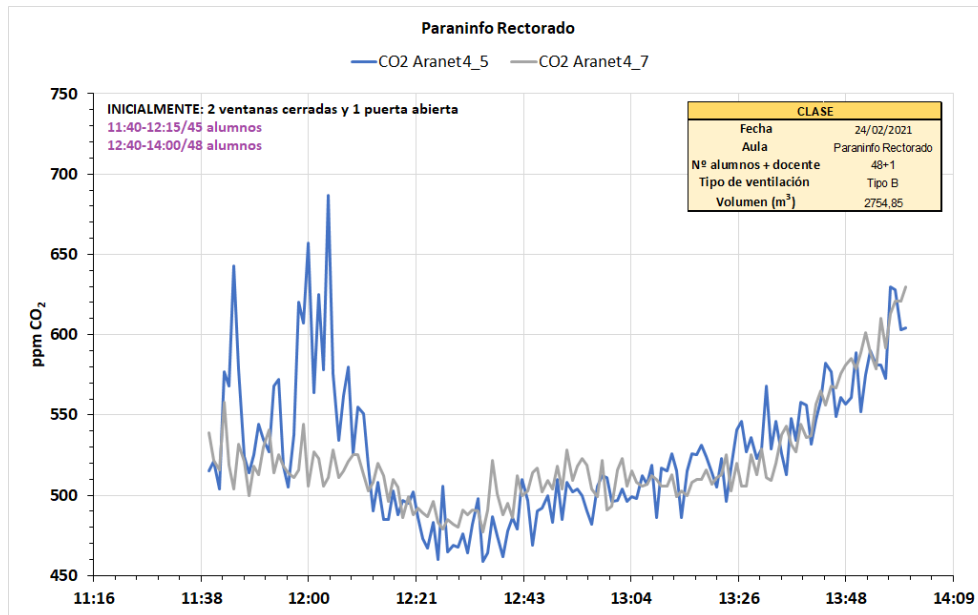


Figura 5.12.1. Evolución de la concentración de CO₂ con el tiempo en el paraninfo del Rectorado

6. CONCLUSIONES

En general, la ventilación en las aulas evaluadas en los 13 edificios del campus de Ciudad Real ha sido buena excepto en casos puntuales donde se ha actuado con rapidez para resolver las incidencias. En el caso de la Facultad de Educación debido por un lado a las obras en el sistema de ventilación y al desconocimiento del funcionamiento del mismo se han observado valores elevados de CO₂ en muchas de las aulas. Sin embargo, estas mediciones del CO₂ han permitido actuar de manera inmediata para solucionar la falta de ventilación.

A continuación, se especifican las conclusiones obtenidas del estudio realizado en base a los distintos tipos de sistemas de ventilación:

- Aulas con sistema de ventilación Tipo A (ventilación 100 % mecánica): En este tipo de aulas se ha obtenido por lo general muy buena ventilación. En la mayoría de las aulas evaluadas las ventanas han estado siempre abiertas incluso en invierno, no aprovechándose las ventajas de este tipo de sistema de ventilación, lo que seguramente se haya traducido en un aumento del consumo energético. Por lo que se ha observado en la mayoría de los casos, este tipo de ventilación no genera la suficiente confianza, por lo que se dan las siguientes recomendaciones.
 - Colocar papelillos en las rejillas de impulsión o un sistema con un piloto encendido (como el indicado en la Facultad de Educación) para saber cuándo está funcionando el sistema de ventilación.
 - Continuar con las mediciones de CO₂ para detectar carencias en el sistema de ventilación
 - Se recomienda mantener las puertas de las aulas siempre abiertas para favorecer la extracción del CO₂. En algunas aulas se ha observado que al cerrar las puertas la concentración de CO₂ aumenta, en algunos casos debido también a problemas en el

sistema de ventilación como en el caso del aula donde las correas de los ventiladores estaban reduciendo el caudal en un 60 %.

- Aulas con sistema de ventilación Tipo B (ventilación mecánica + ventilación natural): En este tipo de aulas también se ha obtenido por lo general muy buena ventilación. En la mayoría de las aulas evaluadas las ventanas han estado siempre abiertas incluso en invierno, no aprovechándose las ventajas de este tipo de sistema de ventilación, lo que seguramente se haya traducido en un aumento del consumo energético. Por lo que se ha observado en la mayoría de los casos, este tipo de ventilación al igual que el Tipo A no genera suficiente confianza por lo que se dan las siguientes recomendaciones en base a los resultados obtenidos:
 - Colocar papelillos en las rejillas de impulsión o un sistema con un piloto encendido para saber cuándo está funcionando el sistema de ventilación (igual que en Tipo A).
 - Continuar con las mediciones de CO₂ para detectar carencias en el sistema de ventilación.
 - Se ha observado que aquellos centros con medidores de CO₂ como la Facultad de Medicina que disponían de un medidor desde octubre han optimizado la apertura y cierre de ventanas para no pasar frío.
 - En las aulas con ventilación Tipo B se recomienda mantener las puertas siempre abiertas y alguna ventana de manera continua con ventilación cruzada. Esto es especialmente importante cuando el aforo es elevado. Cuando la ocupación es baja se pueden seguir las recomendaciones indicadas por la UCLM para este tipo de sistema de ventilación, excepto la recomendación de abrir antes del comienzo de las clases. No se debe ventilar antes de comenzar las clases por la mañana para aumentar la temperatura del aula, especialmente en los meses de invierno. El problema está en el aire compartido, de manera que es más importante ventilar mientras hay personas en el aula y también después de las clases para renovar completamente el aire. De esta manera, no es necesario ventilar también por la mañana antes de comenzar las clases. Esta recomendación es general para todos los sistemas de ventilación especialmente el Tipo C. Con un medidor de CO₂ en las aulas Tipo B se puede optimizar, en función de la ocupación la necesidad o no de abrir una ventana y además cuanto debe ser la apertura.

- Aulas con sistema de ventilación Tipo C (ventilación natural): En este tipo de aulas también se ha obtenido por lo general muy buena ventilación independientemente de la temperatura del aula en invierno. En todas las aulas evaluadas excepto algún caso puntual (como en la Facultad de Educación o en Almadén) las ventanas han estado siempre abiertas. En algunos casos se ha observado demasiada buena ventilación. En este sentido es importante mantener una ventilación cruzada, continua y distribuida, pero llegando a un compromiso entre ventilación y confort térmico, especialmente en invierno. Esto se traduciría también en ahorro energético. En este tipo de aulas sería muy recomendable tener de manera continua un medidor de CO₂ para ajustar la apertura de las ventanas y no pasar demasiado frío en invierno. Hay que tener

en cuenta que la ventilación del aula no siempre es la misma y depende de muchos factores como por ejemplo el viento que haga en el exterior.

7. REFERENCIAS Y DOCUMENTOS DE INTERÉS

Aireamos, 2021. Ventilación en las aulas para prevención de COVID-19. V3, 28 enero 21.

https://drive.google.com/file/d/1jFavucO98vMz5_LpKtnDXBfDZvWIMLcl/view

CISIC, 2020. Guía para ventilación en aulas. CSIC-IDAEA, Ministerio de Ciencia e Innovación y Mesura. Octubre 2020.

Marr, L., Miller, S., Prather, K., Haas, C., Bahnfleth, W., Corsi, R., Tang, J., Herrmann, H., Pollitt, K., Ballester, J., Jiménez, J.L. FAQs on Protecting Yourself from COVID-19 Aerosol Transmission. Version: 1.87, 9-Dec-2020. (Accessed 03.28.21).

<http://tinyurl.com/faqs-aerosol>

Persily, A., de Jonge, L., 2017. Carbon dioxide generation rates for building occupants. Indoor Air. 27:868–879.

Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios. [Internet]. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2007-15820>

Villanueva, F., Jiménez, E., Felisi, J.M., Garrido, T., Jiménez, J.L., Ródenas M., y Muñoz, A., 2021. *Guía sobre medidores de CO₂ disponibles en España, versión 1.4, 17/04/2021.* bit.ly/medidoresCO2

UNE EN ISO 16000-26:2014. Estrategia de muestreo del dióxido de carbono (CO₂). AENOR. Madrid.

Documentos de interés:

Recomendaciones de operación y mantenimiento de los sistemas de climatización y ventilación de edificios y locales para la prevención de la propagación del SARS-CoV-2. 30 de julio de 2020.

Informe Científico sobre vías de transmisión del SARS-CoV-2. Para el Ministerio de Ciencia e innovación de España. 29 de octubre de 2020.

Evaluación del riesgo por transmisión del SARS-CoV-2 mediante aerosoles. Medidas de prevención y recomendaciones. 18 de noviembre de 2020. Ministerio de Sanidad.