

CONDICIONES DE CONFORT Y CALIDAD DE AIRE INTERIOR EN ESPACIOS EDUCATIVOS. ADAPTACIÓN ANTE LA "NUEVA NORMALIDAD"



Autora: Pilar Ruiz Montes de Oca
Tutor: Rafael Suárez Medina

TFG D | CURSO 2021-2022
Sevilla, Septiembre 2022



GRADO EN FUNDAMENTOS DE ARQUITECTURA
Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Sevilla

Imagen en portada
École a plein air – Escuela al aire libre en Suresnes, París. 1935

AGRADECIMIENTOS

Al Departamento de Construcciones Arquitectónicas de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Sevilla, por el préstamo de los aparatos y softwares necesarios para la monitorización de variables ambientales.

A mi tutor, Rafael Suárez Medina, por su dedicación constante, su orientación y comprensión durante la elaboración del presente trabajo.

Al I.E.S. Murillo, por permitirme el acceso al centro y la colocación de sensores para la toma de valores. En especial a Roberto Marín, jefe de estudios, por su esencial colaboración en las visitas y su implicación en todo momento.

También a mi segunda familia formada en la ETSAS, por compartir risas y quejas, por las noches y amaneceres, por inspirarnos y ayudarnos unos a otros. Por compartir los momentos difíciles y siempre encontrarle el lado divertido a la vida.

Pero en especial a mis padres, por animarme a ser Arquitecta desde el día que lo decidí, confiar siempre en mí y apoyarme incondicionalmente.

- 7 CAPÍTULO 1.**
 - INTRODUCCIÓN
 - RESUMEN
 - JUSTIFICACIÓN DE LA TEMÁTICA ESCOGIDA
 - ABREVIATURAS UTILIZADAS

- 15 CAPÍTULO 2.**
 - ESTADO DEL ARTE
 - ARQUITECTURA DOCENTE Y PANDEMIAS
 - MARCO NORMATIVO
 - CALIDAD AMBIENTAL INTERIOR EN USO EDUCATIVO

- 45 CAPÍTULO 3.**
 - OBJETIVOS DEL ESTUDIO
 - OBJETIVOS GENERALES
 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 49 CAPÍTULO 4.**
 - METODOLOGÍA
 - CASO DE ESTUDIO
 - TOMA DE DATOS. MEDICIÓN IN SITU
 - REALIZACIÓN DE ENCUESTAS

- 61 CAPÍTULO 5.**
 - CASO DE ESTUDIO
 - CASO DE ESTUDIO SELECCIONADO - I.E.S. MURILLO
 - CAMPAÑAS DE MONITORIZACIÓN

	CAPÍTULO 6.	75
	ANÁLISIS DE RESULTADOS	
	MEDICIÓN 1. COMPARATIVA ENTRE AULAS 2.12 Y 2.13	
	MEDICIÓN 2. SEMANA DE ALTAS TEMPERATURAS EN EL AULA 2.12	
	MEDICIÓN 3. REALIZACIÓN DE HIPÓTESIS	
	ENCUESTAS A ALUMNOS	
	CAPÍTULO 7.	115
	CONCLUSIONES	
	CONCLUSIONES	
	PROPUESTA DE MEJORA	
	POSIBLES LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	
	CAPÍTULO 8.	123
	BIBLIOGRAFÍA	
	NORMATIVAS, GUÍAS Y RECOMENDACIONES	
	TRABAJOS Y TESIS	
	LIBROS	
	ARTÍCULOS Y PÁGINAS WEB	
	CAPÍTULO 9.	131
	ANEXOS	
	ANEXO I. BASE DE DATOS DE LA MONITORIZACIÓN	
	ANEXO II. ENCUESTAS AL ALUMNADO	
	ANEXO III. ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	

CAPÍTULO 1.

INTRODUCCIÓN

RESUMEN

La calidad ambiental en los centros de educación primaria y secundaria ha sido cuestionada tras la llegada de los protocolos para la contención del Covid-19, basados en una ventilación natural de emergencia que compromete el confort higrotérmico interior. La Arquitectura debe ser capaz de proporcionar espacios seguros para garantizar la presencialidad de la enseñanza, así como ambientes confortables y saludables para el mantenimiento de un adecuado rendimiento escolar.

El objetivo principal de este estudio es la caracterización de la calidad ambiental de aulas de educación secundaria, valiéndose de la monitorización de variables como la temperatura seca, la humedad relativa y la concentración de CO₂ en el interior de estas, junto con la valoración del grado de tolerancia ambiental de los usuarios mediante encuestas.

Para ello, el caso de estudio escogido será un centro docente proyectado en la década de los 90, el Instituto de Educación Secundaria Murillo en Sevilla. Se elegirán varias aulas representativas por su orientación, tipo de ventilación y ocupación, y se colocarán sensores que monitoricen los parámetros mencionados durante el transcurso de la media y cálida estación. Por otra parte, se realizarán encuestas de evaluación de la calidad ambiental al alumnado que ocupa dichas aulas durante las mediciones.

Los resultados obtenidos, tanto cuantitativos como cualitativos, serán analizados para obtener una visión general de la situación actual que se experimenta en las aulas, obteniendo valores excelentes en cuanto a calidad de aire interior, pero condiciones higrotérmicas muy alejadas de las condiciones de confort, con la consiguiente reacción adversa de los encuestados en sus valoraciones. En un escenario de cambio climático es necesario por tanto incorporar un nuevo modelo que fomente las condiciones de confort y salud de los centros educativos existentes.

PALABRAS CLAVE

Confort, ventilación natural, calidad ambiental, nivel de CO₂, monitorización, centros educativos.

ABSTRACT

Environmental quality in primary and secondary schools has been questioned after the advent of the Covid-19 containment guidelines, based on emergency natural ventilation that compromises indoor hygrothermal comfort. Architecture must be able to provide safe places to guarantee in-person learning, as well as comfortable and healthy environments for the maintenance of adequate school performance.

The main objective of this study is the characterisation of the environmental quality of secondary education classrooms, using the monitoring of variables such as dry temperature, relative humidity, and CO₂ levels inside them, as well as the assessment of the users' degree of environmental tolerance by means of surveys.

To this effect, the case study chosen will be a educational centre built in the 1990s, the Murillo Secondary School, in Sevilla. Several representative classrooms will be chosen for their orientation, type of ventilation and occupancy, and sensors will be placed to monitor the aforementioned parameters during the course of the mid-season and warm season. In addition, environmental quality assessment surveys will be carried out among the students occupying these classrooms during the measurements.

The results obtained, both quantitative and qualitative, will be analysed to obtain an overview of the current situation experienced in the classrooms, obtaining excellent values in terms of indoor air quality, but hygrothermal conditions far removed from comfort conditions, with the consequent adverse reaction of the respondents in their ratings. In a scenario of climate change, it is therefore necessary to incorporate a new model that promotes comfort and health conditions in existing educational centres.

KEYWORDS

Comfort, naturally ventilated, environmental quality, CO₂ level, monitoring, educational centres

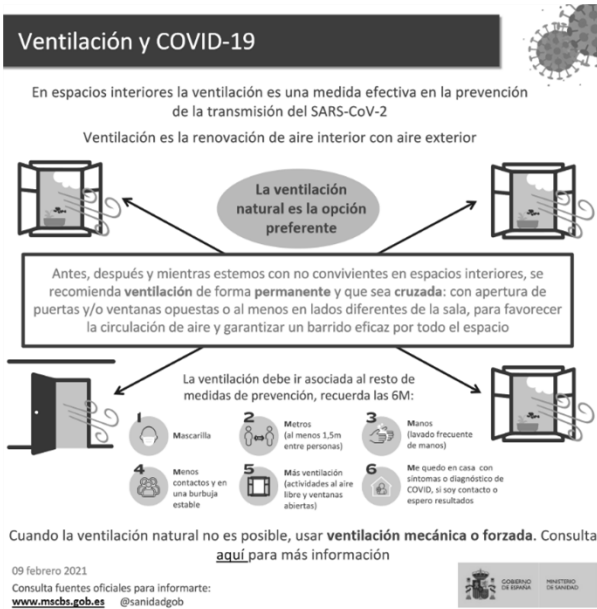


Fig 1

Fig 1 Infografía sobre ventilación en los espacios. Fuente: Gobierno de España, Ministerio de Sanidad.

JUSTIFICACIÓN DE LA TEMÁTICA ESCOGIDA

La educación desempeña un papel fundamental en la formación de los jóvenes que configurarán las sociedades futuras. Es por eso que, el paro generalizado provocado por la pandemia debida a la propagación del virus SARS-Cov-2, el cual ha afectado a casi 1,6 mil millones de estudiantes alrededor del mundo¹, ha supuesto un gran desequilibrio en el desarrollo de las clases. La vuelta progresiva a la actividad de los más pequeños, desde las lecciones vía telemática en sus propios hogares, hasta el retorno a las aulas de manera escalonada y con un vasto protocolo higiénico-sanitario, ha supuesto un reto para la adaptación de docentes, estudiantes y espacios educativos.

Estos protocolos y guías instaurados por las autoridades competentes (*fig. 1*) han permitido la continuación de la enseñanza presencial en las aulas de estudios no universitarios en el menor tiempo posible. Una interrupción prolongada del ámbito escolar podría suponer una brecha educativa entre generaciones, pudiendo provocar el fracaso escolar. Además, las situaciones vividas en los hogares en su transformación en espacios para el teletrabajo o la enseñanza online han aumentado los problemas de estrés que ya de por sí la pandemia ha inducido en las familias, acrecentando las desigualdades entre aquellos más vulnerables.

De este modo, las aulas de todos los centros docentes del país se han preparado, en los cursos 2020-2021 y 2021-2022, para garantizar la calidad de la enseñanza, preservando también la salud del alumnado y personal docente.

Aun así, de igual forma que en los momentos de cuarentena se ha podido comprobar como las viviendas no estaban preparadas para adecuarse a las prolongadas estancias en el hogar, la mayoría de los edificios públicos, y en particular de los centros educativos, tampoco son capaces de atender a las nuevas recomendaciones sin por ello perjudicar el confort de los ocupantes. Ya sea por una ventilación insuficiente o inadecuada, condiciones térmicas interiores que no contribuyen al confort o por falta de espacio físico para mantener distancias de seguridad, los edificios actuales han demostrado quedar obsoletos y con múltiples deficiencias para hacer frente a situaciones de emergencia sanitaria como las vividas recientemente.

Hoy en día, la exigencia de mantener las ventanas abiertas de forma continua en aquellos casos donde los sistemas de ventilación mecánica no se encuentran disponibles, o directamente no existen, ha repercutido de forma negativa en el confort ambiental de las aulas. Esto ha provocado que, durante los meses más fríos, los niños hayan sufrido en las aulas temperaturas desagradables e incluso hayan terminado enfermando a causa de la descompensación térmica².

Por otro lado, teniendo en cuenta que los niños y adolescentes de entre 6 y 16 años, pasan unas 5 o 6 horas diarias en estos espacios, supondría que el 25 % del día podrían sufrir las consecuencias de un ambiente mal acondicionado, con lo que ello afectaría tanto a su salud como a su desempeño académico a largo plazo.

Entonces, y aprovechando la tesitura sanitaria y sus protocolos aplicados en las aulas, se procederá a estudiar las condiciones higrotérmicas de estas aulas de enseñanza y como la ventilación natural extensiva habrá podido, o no, mejorar las concentraciones por agentes contaminantes y si ha sido incompatible el garantizar el mantenimiento de espacios dentro de las condiciones operativas y de confort.

De este modo, se abre un camino para la investigación hacia una arquitectura renovada, que pueda mantener el equilibrio entre confort térmico, acústico y con una calidad de aire interior adecuada para la conservación de espacios saludables y flexible al cambio.

1. United Nations. (2020) *Policy Brief: Education during COVID-19 and beyond*. UNITED NATIONS.

2. De las Heras, F.J. (2020). *Los resfriados se multiplican en los colegios por la ventilación de las aulas en invierno*. ABC

ABREVIATURAS UTILIZADAS

- **CO₂**. Dióxido de carbono
- **CTE**. Código Técnico de la Edificación
- **RITE**. Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios
- **BOE**. Boletín Oficial del Estado
- **RD**. Real Decreto
- **UNE**. Una Norma Española (Asociación Española de Normalización)
- **IDA**. Categoría de calidad de aire interior
- **ppm**. *Parts Per Million*, partes por millón
- **met**. Tasa metabólica
- **clo**. Grado de vestimenta
- **PPD**. Porcentaje de personas descontentas
- **T^a**. Temperatura (°C)
- **Hr**. Humedad Relativa (%)
- **OMS**. Organización Mundial de la Salud
- **ONU**. Organización de Naciones Unidas
- **HVAC**. *Heating, Ventilation and Air Conditioning*, Sistemas de climatización, ventilación y aire acondicionado
- **ASHRAE**. American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers
- **REHVA**. Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning Associations

- **ACH.** *Air Changes per Hour*, tasa de renovación del aire por horas
- **IAQ.** *Indoor Air Quality*, calidad de aire interior
- **IEQ.** *Indoor Enviroment Quality*, calidad ambiental interior
- **US.** Universidad de Sevilla
- **NBE.** Normas Básicas de la Edificación
- **BTO.** Bachillerato
- **IES.** Instituto de Educación Secundaria

CAPÍTULO 2.

ESTADO DEL ARTE

ARQUITECTURA DOCENTE Y PANDEMIAS

La **relación entre la arquitectura y las enfermedades** ha estado presente a lo largo de la historia, afectando a la **evolución** de las ciudades y edificios, y por tanto de la sociedad. Por esto, con cada una de las pandemias que han acechado al mundo, se ha tenido que volver a encontrar un equilibrio para poder seguir adelante.

Las soluciones médicas no siempre han llegado a tiempo para dar respuesta a la rápida expansión de virus y bacterias entre ciudades y países, ya que los medios disponibles en periodos anteriores no eran lo suficientemente efectivos. Aquí es donde ha entrado la arquitectura, proponiendo cambios y diseñando espacios que creen “**ambientes curativos**”, mientras se hallan vacunas y remedios a las enfermedades que afectan a la humanidad³.

“Hasta que se logra encontrar un remedio a una epidemia, la única cura que existe es la arquitectura” – David A. García⁴

3. Navarro, V. (25 de Septiembre de 2020). *Desafíos del espacio escolar frente a la pandemia (I)*. Fundación Arquia Blog.

4. Ventura, D. (10 de Mayo de 2020). *Coronavirus: cómo las pandemias modificaron la arquitectura y qué cambiará en nuestras ciudades después del covid-19*. BBC News Mundo. Cita extraída del texto, del arquitecto David A. García durante la realización del artículo.

5. Colomina, B. (2021) *Arquitectura de Rayos X*. PUENTE EDITORES

6. Contente, C. (10 de Octubre de 2020). *Cómo las epidemias transformaron las ciudades*. Revista Historia y Vida.

7. Guayavero, Ó. (17 de Marzo de 2020). *Infografía curativa*. ES DESING Barcelona.

8. Putruele, M. (5 de Agosto de 2020). *De qué manera las pandemias han moldeado nuestras ciudades, y qué ocurrirá luego del 2020*. Infobae.

Fig 2



ADAPTACIÓN DE LA ARQUITECTURA A LAS ENFERMEDADES

“Las ciudades están hechas de capas y capas de respuestas a epidemias y amenazas de todo tipo”, dice Beatriz Colomina (Madrid, 1952), arquitecta por la Universidad de Barcelona y autora del libro *Arquitectura de Rayos X*⁵, sobre la relación entre la arquitectura y las enfermedades.

La arquitectura siempre ha pretendido ayudar a resolver los males a los que se ha ido enfrentando la sociedad para así hacer la vida más fácil. El aumento de la esperanza de vida no solo ha venido dado por los avances médicos y sociales, sino también por la **transformación y progreso del lugar en el que habitan las personas y las condiciones en que estos se encuentran**. Esto ha sido gracias a la arquitectura y la ingeniería, las cuales han diseñado espacios urbanos y domésticos que desarrollan los parámetros de higiene, salud y confort. La **planificación urbana** ha sido la encargada de hacer posible que los habitantes sobrevivieran a epidemias de las que aún ni siquiera se conocía la causa⁶.

Algunas de las enfermedades que más han afectado en la concepción de las ciudades y edificios son aquellas que han provocado **grandes pandemias durante los siglos XIX y XX**, como el **cólera** y la **tuberculosis** (fig. 2).

Durante el siglo XIX, con el auge de la revolución industrial, las ciudades multiplicaron su población, contribuyendo al hacinamiento de la sociedad. En 1854, se produjo en Londres el brote más violento de **cólera** en Inglaterra. El médico John Snow demostró que el cólera era causado por el consumo de aguas contaminadas con materia fecal, ya que comprobó que la enfermedad se expandía y agrupaba en el barrio londinense del Soho (fig. 3), donde el agua que se consumía provenía de un pozo contaminado⁷.

Fue así como, para hacer frente a las condiciones insalubres donde cada vez más gente vivía en las ciudades, se promovieron los **sistemas de alcantarillado** y demás **infraestructuras de saneamiento urbano**. Estas contribuyeron a la higienización de grandes capitales, como Londres y París, evitando una mayor propagación de la epidemia⁸.

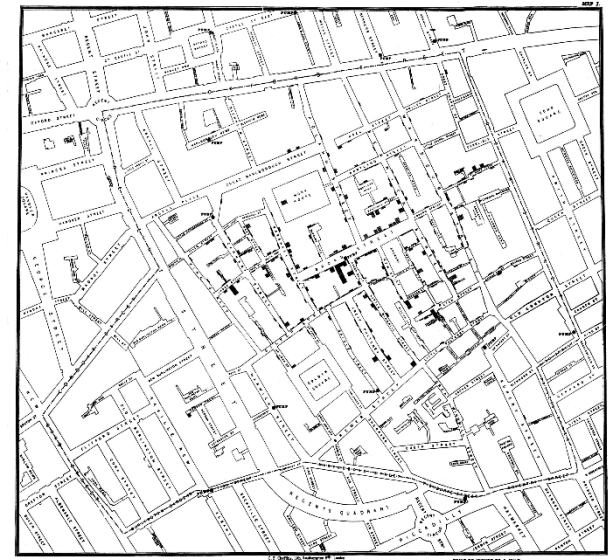


Fig 3

Fig 2 Hospital de emergencia en Kansas (EE. UU.) durante la epidemia de gripe española en 1918. Fuente: *National Geographic*

Fig 3 Mapa elaborado por John Snow que recoge las muertes por cólera registradas en el barrio del Soho. Fuente: *Cuaderno de Cultura Científica. El mapa del cólera*

Hasta la primera mitad del siglo XX, la **tuberculosis** fue la otra protagonista encargada de determinar los inicios de la arquitectura moderna, ya que había causado la muerte de millones de personas por todo el mundo. La causa de esta enfermedad no fue conocida hasta 1882, cuando Robert Koch descubrió que era causada por la bacteria *Mycobacterium tuberculosis*. Hasta ese entonces, solo se sabía que la enfermedad era infecciosa, que era capaz de sobrevivir en lugares oscuros, sucios y polvorientos y que **solo la luz natural, el aire limpio y el descanso mejoraban la salud de los pacientes**.

Con esta premisa, los arquitectos modernos, como Le Corbusier, Gropius, Aalto o Neutra, respondieron diseñando sus edificios para ayudar a la contención de estas enfermedades. Los elementos de su arquitectura eran la existencia de cubiertas planas y amplias terrazas en las que practicar la “vida sana”; fachadas con poca ornamentación y con mucha luz gracias al blanco puro; grandes ventanas y superficies de vidrio para la ventilación de los espacios y evitar la oscuridad; la elevación del terreno, ya que ahí residían los gérmenes; incluso uniones curvas para evitar la acumulación de suciedad y provocar así un foco de infección. También diseñaron muebles con materiales ligeros y formas aerodinámicas, para facilitar su movimiento y que el polvo no pudiera alojarse en ellos⁹.

Todos estos elementos, que componen las bases de la modernidad, surgen desde la intención sanitaria, además de responder a la lógica industrial bien establecida en los últimos siglos del milenio. Los arquitectos se enfocaron en proyectar edificios funcionales, como casas, escuelas y hospitales, donde lo primordial fuese la entrada de aire y luz. Desecharon por completo la arquitectura del siglo XIX y anteriores, catalogándola como insalubre, promoviendo con el nuevo paradigma un cambio hacia la salud mediante ambientes limpios y seguros.

De esta forma aparecieron los sanatorios para tuberculosos, edificios especialmente diseñados para la curación de los pacientes y ubicados habitualmente en áreas rurales y en altura. Uno de los más significativos fue el **Sanatorio de Paimio** (1933), en Finlandia, del arquitecto Alvar Aalto (*fig. 4*). Este se caracteriza por su amplia terraza en la planta superior (*fig. 5*), donde los pacientes debían de ser llevados como parte de su rutina de terapia diaria. También diseñó la silla del mismo nombre, la cual iba a ser utilizada por los pacientes, facilitándoles la respiración gracias a su ángulo en la parte posterior (*fig. 6*)¹⁰.

9. Molins, V. (18 de Abril de 2020). *Beatriz Colomina lo contó primero: cuando las grandes crisis sanitarias transforman la arquitectura*. Culturplaza.

10. Otero, J. (3 de Julio de 2018). *El Sanatorio Paimio de Alvar Aalto está a la venta*. Metalocus.



Fig 5



Fig 6



Fig 4

Fig 4 Vista exterior del Sanatorio de Paimio. *Fuente: Metalocus*

Fig 5 Vista desde la terraza del Sanatorio de Paimio. *Fuente: Metalocus*

Fig 6 Silla Paimio. *Fuente: DiseñoyArquitectura*



Fig 7

Fig 7 Escuela de bosque en Holanda, 1957. Fuente: Revista Historia y Vida

Fig 8 École de plein air, en Suresnes, Francia. Fuente: Clarín

ESTRATEGIAS ARQUITECTÓNICAS PARA LA EDUCACIÓN. LAS OPEN AIR SCHOOLS

Las pandemias han afectado igualmente a la educación, sobre todo a la de aquellos más desfavorecidos. Al principio de cada pandemia, se han **cerrado los centros docentes** para evitar la propagación de los contagios, pero a medida que se avanza en la enfermedad era necesaria la reapertura. La paralización de la enseñanza durante periodos largos de tiempo podría significar el **fracaso y analfabetismo** de generaciones, condenando principalmente a aquellos con menos recursos. El objetivo siempre ha sido encontrar la armonía entre prevenir contagios y garantizar la educación.

En el caso de la pandemia de tuberculosis del siglo XX, la solución hallada para continuar con la enseñanza fue la **adaptación de los conceptos sobre el aire puro y la luz a las escuelas**. Gracias a medidas estrictas de higiene y ventilación, las aulas terminaron siendo espacios más seguros que las propias viviendas, sirviendo como complemento de los hospitales para niños enfermos donde podían recibir cuidados a la vez que aprendían¹¹.

Para la aplicación de las terapias a los niños débiles se comenzó con la reutilización de grandes espacios como aulas, sirviendo de refugio ante las condiciones exteriores. Posteriormente, aparecieron las llamadas **escuelas al aire libre o escuelas de bosque** concebidas para que los niños pudieran continuar con las clases en un entorno natural, con horarios y programas docentes flexibles que permitan el aprendizaje a la vez que cuidaban su salud. Estas escuelas se encontraban lejos de las ciudades, en medio de la naturaleza, evitando la contaminación propia de las urbes. Se caracterizaban principalmente por la **interacción entre el espacio exterior e interior**, gracias a grandes ventanales o incluso muros abatibles, permitiendo la entrada del sol y el aire fresco **desdibujando los límites** entre espacios¹².

La difusión de este modelo de escuelas vino gracias a los **Congresos Internacionales de Tuberculosis** (1905, 1906, 1908, 1912) y **de Higiene Escolar** (1904, 1907, 1910, 1913), dando lugar a que muchos países creasen sus propias versiones de escuelas al aire libre, incluso a que se produjera en 1922 el **Primer Congreso Internacional de Escuelas al Aire Libre** en París. En él, médicos, arquitectos y educadores se reunieron para debatir sobre la definición de estas escuelas, su funcionamiento y la adaptación de edificios existentes para poder ofrecerle este tipo de educación no solo a niños enfermos,

sino a toda la población infantil. La importancia de educar nuevas generaciones y prepararlos física y moralmente quedó señalada como consecuencia de la experiencia traumática de la Primera Guerra Mundial. La vuelta a un modo de vida cuya base se halla en la naturaleza, alejada de la ciudad y su corrupción, lograría la regeneración moral de los jóvenes.

En el Primer Congreso sobre Higiene Escolar (Nuremberg, 1904) se expuso la **Waldshule o Escuela en el Bosque de Charlottenburg**, a las afueras de Berlín. Simultáneamente, en Bélgica también se instaló una escuela en un entorno natural privilegiado al norte de Amberes¹³.

Siguiendo el ejemplo de la Waldshule, se implantaron más escuelas con la misma tipología en Suiza, Inglaterra, Francia, Estados Unidos o España. A continuación, se van a nombrar algunas de ellas y comentar sus características principales.

Fig 8



Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Sevilla
RUIZ MONTES DE OCA, Pilar (2022). TFG D. Tutor: Rafael Suárez Medina

11. Putruele, M. (5 de Agosto de 2020). *De qué manera las pandemias han moldeado nuestras ciudades, y qué ocurrirá luego del 2020*. Infobae.

12 - 14. Tabar Rodríguez, I. (2015). Tesis Doctoral. *Orden y naturaleza en las escuelas al aire libre: El colegio para la institución teresiana en Alicante de Rafael de la Hoz y Gerardo Olivares*. Madrid.

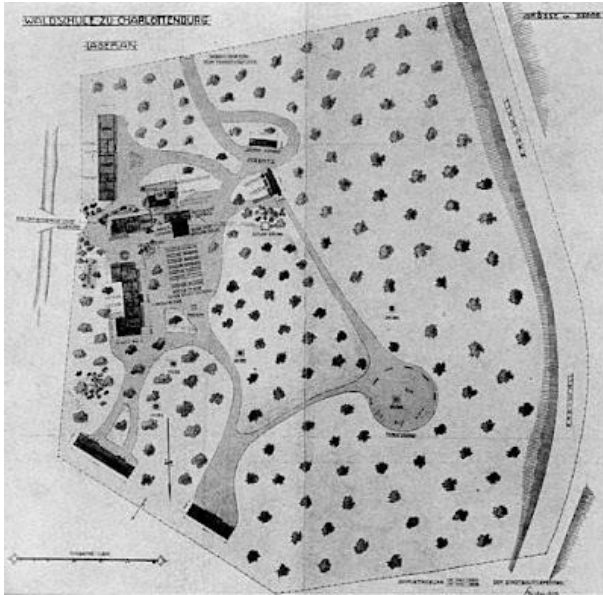


Fig 9

Fig 9 Planta general de la Waldshule en Charlottenburg, Berlín. Fuente: AEC Architecture of Early Childhood

Fig 10 Niños recibiendo clase entre los árboles. Fuente: AEC Architecture of Early Childhood

Fig 11 Niños frente a uno de los pabellones del conjunto Waldshule. Fuente: AEC Architecture of Early Childhood

Fig 12, 13, 14 Exterior de los pabellones y aulas de la Escuela Uffculme. Fuente: Internet Archive Scholar

Fig 15 Aula tipo con muros acristalados plegable. Fuente: Natual pod

Fig 16 Planta de distribución de la Escuela Uffculme. Fuente: Internet Archive Scholar

ESCUELA DE BOSQUE EN CHARLOTTENBURG, BERLÍN (1904)

Esta escuela fue fundada en 1902, al norte de la ciudad alemana de Berlín, como centro de terapia infantil antituberculoso. Ante el hecho de que cada vez más niños debían pasar largas temporadas en este tipo de centros, se pensó crear una escuela donde fuese posible la educación a la vez que la aplicación de terapias de curación. Fue entonces cuando se le encargó al arquitecto municipal Walter Spickendorff, el diseño de una escuela siguiendo las recomendaciones de doctores de la ciudad.

El proyecto buscaba cumplir tres objetivos principales: que la disposición de las construcciones facilitara la vigilancia del conjunto, aprovechar la topografía existente y elegir la orientación más adecuada (fig. 9). Por lo general, las clases se desarrollaban en el bosque, bajo los árboles y valiéndose de mesas y bancos de madera a la intemperie, envolviendo este espacio por los volúmenes de madera que acogían los usos de administración, cocina y comedor, zonas de descanso o aseos (figs. 10 y 11).

En el primer verano de funcionamiento de esta institución, se acogió a más de 120 niños enviados por los médicos desde otras escuelas, se les hacían chequeos 2 o 3 veces a la semana para controlar su estado de salud e higiene. Los niños asistían a clase varias horas al día, realizaban cinco comidas, además de tener momentos de descanso durante la tarde y tiempo para jugar al aire libre¹⁴.

Fig 10



Fig 11



ESCUELA UFFCULME, BIRMINGHAM (1911)

Considerada como una de las primeras escuelas al aire libre construida de nueva planta, este centro se dedicó para acoger a unos 120 niños. Situada a las afueras de Birmingham, el diseño de esta escuela corrió a cargo de los arquitectos Cossins, Peacock y Bewlay (fig.12).

El programa proyectado se dividía en pabellones en zig-zag donde se ubicaban tres de las cuatro aulas (fig.13), una zona cubierta para el descanso de los niños (fig.14) y otros dos volúmenes independientes donde se albergaban usos administrativos o de cocina y usos de comedor e instalaciones para la higiene, respectivamente.

La particularidad de este edificio reside en el **sistema de acristalamiento plegable de suelo a techo** con el que contaban tanto las aulas como el comedor (fig.15). Las aulas, con planta cuadrada, se abrían hacia el este, sur y oeste, con un cerramiento opaco en la cara norte para usar la pizarra. La sala de descanso se componía de un muro ciego hacia la orientación más fría y un techado, quedando abierta completamente y sin acristalar. En este caso, aún no distinguían los límites interior–exterior debido a los pilares de ladrillo en las esquinas y que la superficie que bordeaba las aulas era insuficiente para servir de zona de estancia, funcionando como área de circulación.



Fig 12

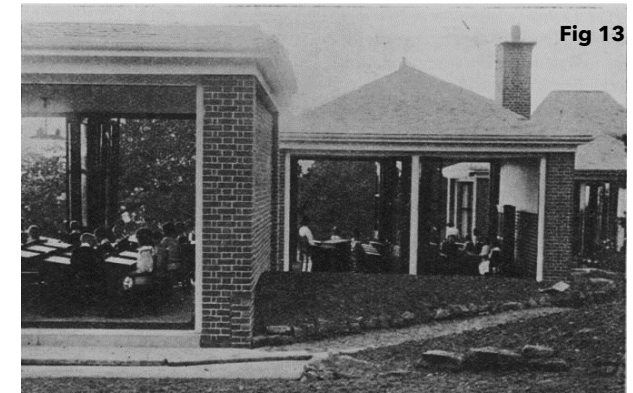


Fig 13

Fig 15



Fig 16

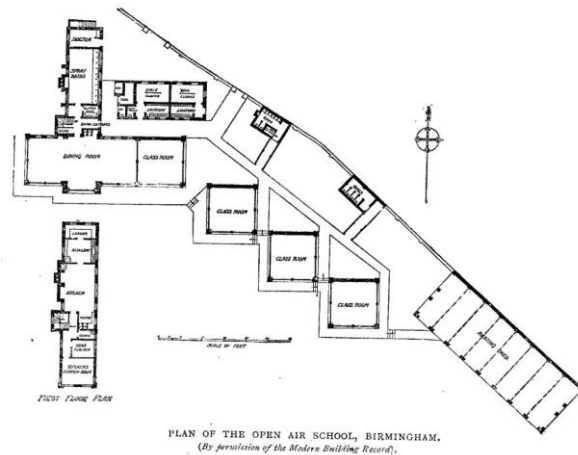


Fig 14

OPEN AIR SCHOOL, ÁMSTERDAM (1930)

La escuela al aire libre de Ámsterdam se ubicó en un parque en la periferia, donde el arquitecto Johannes Duiker proyectó en 1930 una escuela para 240 alumnos de entre 6 y 12 años. Lo que hizo diferente a esta escuela es que no se proponía como un espacio para niños enfermizos, sino para niños sanos, ya que las escuelas convencionales se estaban quedando anticuadas en materias de higiene. El modelo de las escuelas al aire libre se traslada a un modelo de enseñanza mixta, para todo tipo de niños (figs. 17 y 18).

La distribución de esta escuela supone una **reinterpretación de las escuelas al aire libre tradicionales**, ya que, a diferencia de la mayoría que se desarrollaban horizontalmente, esta apila su programa de forma vertical, liberando el máximo de superficie del terreno para dedicarse al patio exterior de juego. El edificio se compone de un volumen principal de PB+3, donde se encuentran las aulas, y un volumen de una sola planta, dedicado al gimnasio. La organización de las aulas en las plantas es de 2 aulas por planta, junto a otras dos terrazas compartidas, a las cuales tienen acceso directo. También disponen de cubierta plana, donde poder continuar la enseñanza, y sótano para instalaciones y almacenamiento (fig. 19).

Tanto las aulas como las terrazas techadas son cuadrados de 8 x 8 m, convertidas en pentágonos por la ubicación del núcleo central de escaleras y aseos. Las aulas están acristaladas en 4 orientaciones para acoger la máxima luz y permitir la ventilación completa, con toldos para proteger el espacio. En estas aulas, el muro hacia la terraza se convierte en una ventana completa que está y no está, dependiendo del momento. Los valores de la modernidad, como la ligereza, el interés por la luz y el empleo de materiales como hormigón armado, acero y vidrio, están presentes en esta escuela.

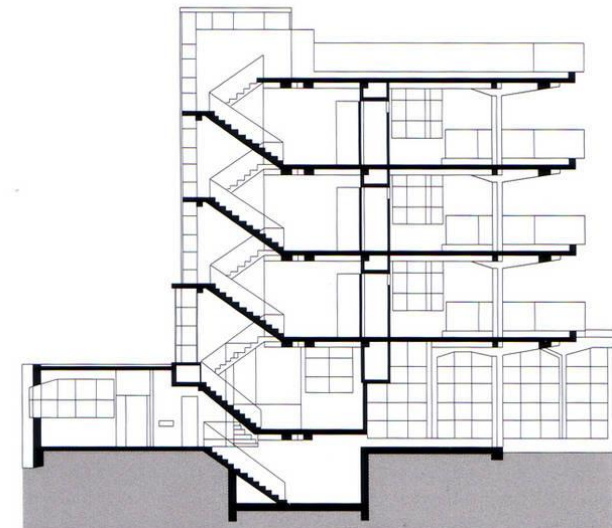


Fig 18

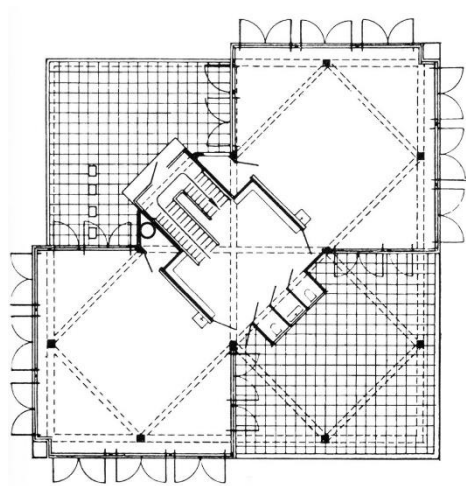
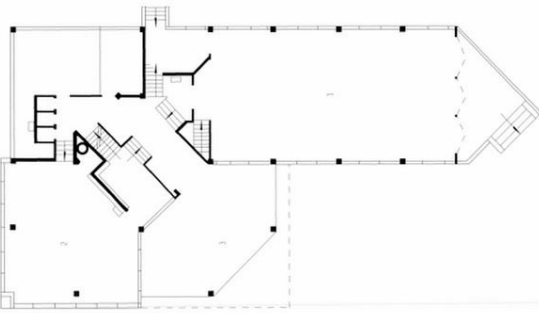


Fig 17



Fig 19

Figs 17 y 18 Planta baja, planta tipo y sección general de la escuela al aire libre de Ámsterdam. *Fuente: Hidden Architecture*

Fig 19 Vista exterior de la escuela al aire libre de Ámsterdam. *Fuente: Hidden Architecture*

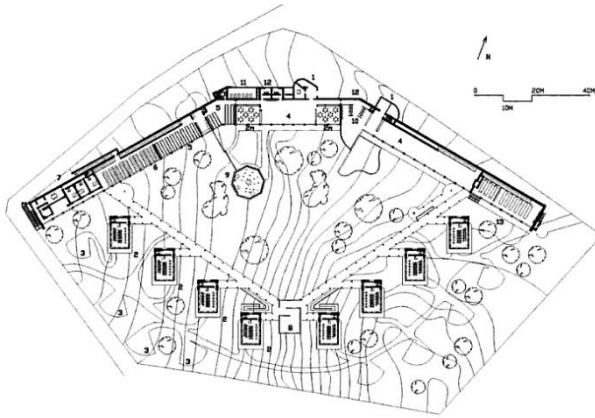


Fig 20

ÉCOLE DE PLEIN AIR, SURESNES (1931 - 1935)

Esta escuela fue proyectada por los arquitectos Eugène Beaudoin y Marcel Lods, los cuales elaboraron diferentes propuestas hasta dar con la solución final. Todo fue diseñado pensando en las necesidades de los niños según su grupo de edad, ya que la escuela disponía de educación preescolar, de los 4 a 6 años, y educación para niños con una salud delicada, desde los 6 a los 14 años.

En total, tenía capacidad para unos 350 alumnos, los cuales eran seleccionados según su estado de salud por que los supervisaban constantemente, o según su cercanía al centro, en el caso de la enseñanza infantil para los niños del barrio. Los niños tenían 4 horas de clase diarias, con la obligación tomar un baño antes de comer y una siesta después, además de asistir a muchas excursiones como parte de su aprendizaje.

El programa de esta escuela se distribuía con pabellones de aulas divididos en dos grupos de cuatro, alrededor del pabellón central para la inspección médica (fig. 20). Una pérgola conectaba los pabellones aislados, dibujando un arco hacia el sur, permitiendo el máximo soleamiento de las aulas. En la parte norte, un volumen cóncavo recoge al gran patio central, ubicándose en él las salas de reposo, el comedor, la cocina o las salas de duchas y baños.

Las clases se desarrollaban en tres lugares: las aulas, las terrazas sobre las mismas o estancias al aire libre en un jardín delimitado por setos. El módulo de las aulas tiene un espacio de entrada, además de caminos que llevan al jardín. El espacio tiene unas dimensiones de 6 x 8 x 8 m, con un cerramiento acristalado plegable en tres de sus lados, lo que permite la continuidad con el espacio exterior. (figs. 21 y 22)

El sistema constructivo utilizado es la estructura metálica y los paneles de hormigón prefabricados. El pavimento que se encuentra en el perímetro acristalado ayuda a expandir el límite del espacio de las aulas hacia el exterior (fig. 23).

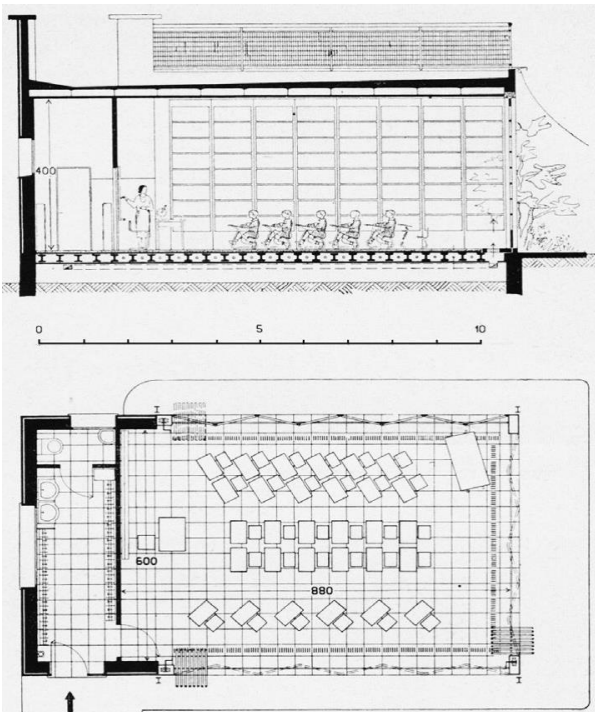


Fig 21



Fig 22



Fig 23



Fig 24

Fig 20 Planta general de la escuela de Suresnes. *Fuente: Hidden Architecture*

Fig 21 Sección y planta del módulo de aula. *Fuente: Tabar Rodríguez, I.*

Fig 22 Módulo de aula con cerramiento abatible. *Fuente: Yorokobu*

Fig 23 Vista exterior de las aulas desde las pasarelas elevadas. *Fuente: Arquitectizada*

Fig 24 Área de baño exterior. *Fuente: Yorokobu*

LA "NUEVA NORMALIDAD" Y LAS ESCUELAS ANTICOID

Tras la Segunda Guerra Mundial y con la generalización del uso de antibióticos, las escuelas al aire libre perdieron relevancia, ya que el elevado coste de mantenimiento de sus zonas verdes e instalaciones quedó injustificado. Sin embargo, el cambio en la arquitectura debido a la situación de emergencia sanitaria ya había calado con el Movimiento Moderno.

Hoy en día, con la reciente pandemia por coronavirus, se ha comprobado como los espacios deben ser repensados para adaptarse a una nueva dificultad a nivel sanitario. Las primeras medidas, como la distancia de seguridad y la ventilación extensiva, han ayudado a frenar los contagios y poder continuar con la educación de los jóvenes mientras se hallaba una vacuna a esta enfermedad.

En el ámbito escolar, algunos de los elementos que han quedado expuestos como puntos que pudieran necesitar una revisión son los siguientes¹⁵:

- **Los espacios exteriores**

En el exterior el contagio es hasta 20 veces menor, por lo que plantear escuelas que hagan un mayor uso académico de estos espacios podría contribuir a la salud del alumnado, no solo durante tiempos de epidemias, sino para promocionar la actividad física.

- **La ventilación natural y la orientación**

Muchas aulas actuales cuentan con malas condiciones de ventilación, además de orientaciones que no responden a la localización, haciendo esto que sea necesario el uso de más medios mecánicos. Los inconvenientes que se han registrado durante esta pandemia han tenido que ver con las consecuencias de tener siempre las ventanas abiertas, por ruido o temperaturas desagradables, lo cual dificulta el aprendizaje

- **Las entradas y salidas**

Los espacios urbanos alrededor de los colegios también han sido puestos en cuarentena, ya que las diferentes organizaciones para recoger o dejar niños y el uso de diferentes puertas han

15. Navarro, V. (23 de Diciembre de 2020). *Desafíos del espacio escolar frente a la pandemia (II)*. Fundación Arquia Blog.

creado molestias a residentes de las calles cercanas, además del riesgo que supone que haya demasiados vehículos circulando cerca de las escuelas.

- **Los recorridos internos**

La existencia de pasillos con dimensiones generosas ha permitido el distanciamiento, mientras que en los centros que no eran tan amplios han tenido dificultados en los intercambios y las relaciones mientras cumplían las normas sanitarias.

Tras las circunstancias vividas desde el segundo trimestre del año 2020 en lo referente a las escuelas y su adaptación a los “nuevos tiempos de pandemias”, se puede concluir que la arquitectura debe hacer frente de nuevo a estas condiciones y hallar nuevas soluciones. Los cambios deberán buscar el confort del alumnado, a la vez que proteger su salud, proponiendo diseños flexibles que aseguren una educación integral y accesible para todos, incluyendo las nuevas tecnologías que hoy nos acompañan y que han hecho posible la continuidad de la enseñanza durante la cuarentena.



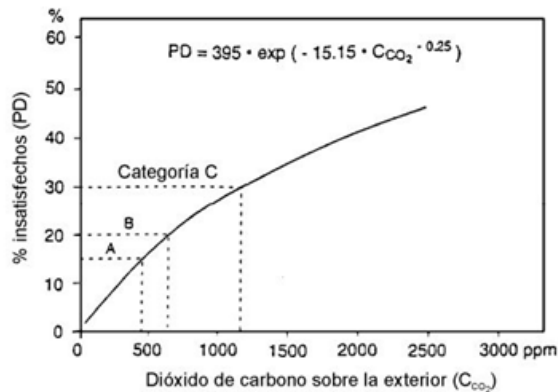
Fig 25

Fig 25 Niños en aulas durante la pandemia por Covid-19
Fuente: Save the Children

MARCO NORMATIVO

Categoría	Nivel de CO ₂ en los recintos (ppm)	
	Intervalo tipo	Valores por defecto
IDA 1	≤ 400	350
IDA 2	400 – 600	500
IDA 3	600 – 1000	800
IDA 4	> 1000	1200

Tab 1



A: 460 ppm B: 660 ppm C: 1190 ppm

Fig 26

Tab 1 Tabla de clasificación de la calidad de aire interior, con intervalos de concentración de CO₂. Fuente: UNE-EN 13779

Fig 26 Gráfica de categorías de calidad de aire interior, con el CO₂ como indicador. Fuente: UNE-CR 1752:2008

Tab 2 Tabla de criterios de diseño para los diferentes espacios. Fuente: UNE-CR 1752:2008 IN

La normativa española que hace referencia a los aspectos de calidad de aire en los espacios interiores, para el ámbito mayormente residencial, se encuentra recogida en el CTE¹⁶ Documento Básico HS, apartado 3. Sin embargo, para usos distintos del residencial se toma como normativa el RITE¹⁷. Este documento fue aprobado por el BOE en 2007, siendo modificado por los RD de 2013¹⁸ y 2021¹⁹, y ha sido creado a partir de otras normativas españolas como las UNE y normas de carácter europeo.

En el RITE 2007 se clasifica, en función del uso, la categoría de calidad de aire interior (IDA) que se debe alcanzar como mínimo en un edificio. Esta clasificación nos deja cuatro niveles:

“- IDA 1 (aire de óptima calidad): hospitales, clínicas, laboratorios y guarderías.

- IDA 2 (aire de buena calidad): oficinas, residencias (locales comunes de hoteles y similares, residencias de ancianos y de estudiantes), salas de lectura, museos, salas de tribunales, aulas de enseñanza y asimilables y piscinas.

- IDA 3 (aire de calidad media): edificios comerciales, cines, teatros, salones de actos, habitaciones de hoteles y similares, restaurantes, cafeterías, bares, salas de fiestas, gimnasios, locales para el deporte (salvo piscinas) y salas de ordenadores.

- IDA 4 (aire de calidad baja)”.

Debido a que el RITE se nutre de las normativas UNE, se puede concluir que de la UNE-EN 13779²⁰ (actualmente anulada) se extraen los intervalos de concentraciones de CO₂ y los valores por defecto con las que se definieron las categorías de calidad de aire interior (del IDA 1 al 4), como se observa en la *tab.1*.

Estos intervalos y categorías provienen a su vez, del estudio de calidad de aire desarrollado en la UNE-CR 1752:2008²¹, en la cual se obtienen diferentes variables, como la relación entre el porcentaje de usuarios insatisfechos con relación a la calidad de aire percibida, como se muestra en la *fig. 26*. Esto se aplica en espacios donde la actividad es sedentaria, con un número y perfil de ocupantes definido, además de fijar el aporte de CO₂ derivado de dicha ocupación.

Debido a que en este documento se van a estudiar espacios docentes, específicamente en centros de enseñanza secundaria, se tomarán como valores los correspondientes a la categoría de IDA 2 (para aulas de enseñanza). Además, en cuanto al aporte de CO₂ de los ocupantes, se considerará, según la *Tabla A.6 Carga contaminante causada por los ocupantes* de dicha norma, que para adolescentes de entre 14 y 16 años será de 19l/h·ocupante.

Las normativas nombradas, la UNE-EN 13779 y la UNE-CR 1753:2008 IN, se hace referencia en las *tab 2.* y *tab 3.* a las condiciones propuestas para alcanzar los niveles adecuados en las distintas calificaciones del aire interior En el caso de edificios docentes, al tratarse de un IDA 2, se tendrán que mantener en magnitudes de: ocupación ≤ 0,5 m² y tasa de ventilación de 12,5 l/s·persona.

Tipo de edificio/ espacio	Actividad desarrollada	Ocupación persona/m ²	Categoría	Temperatura operativa ^b		Velocidad media máxima del aire		Presión acústica dB(A)	Tasa de ventilación l/s × m ²	Ventilación adicional cuando se permite fumar ^{c,d} l/s × m ²
				°C		m/s				
				Verano (Estación de refrigeración)	Invierno (Estación de calefacción)	Verano (Estación de refrigeración)	Invierno (Estación de calefacción)			
Oficina individual (oficina en compartimentos)	1,2	0,1	A	24,5 ± 1,0	22,0 ± 1,0	0,18	0,15	30	2,0	–
			B	24,5 ± 1,5	22,0 ± 2,0	0,22	0,18	35	1,4	–
			C	24,5 ± 2,5	22,0 ± 3,0	0,25	0,21	40	0,8	–
Oficina tipo pradera	1,2	0,07	A	24,5 ± 1,0	22,0 ± 1,0	0,18	0,15	35	1,7	0,7
			B	24,5 ± 1,5	22,0 ± 2,0	0,22	0,18	40	1,2	0,5
			C	24,5 ± 2,5	22,0 ± 3,0	0,25	0,21	45	0,7	0,3
Sala de conferencias	1,2	0,5	A	24,5 ± 1,0	22,0 ± 1,0	0,18	0,15	30	6,0	5,0
			B	24,5 ± 1,5	22,0 ± 2,0	0,22	0,18	35	4,2	3,6
			C	24,5 ± 2,5	22,0 ± 3,0	0,25	0,21	40	2,4	2,0
Auditorio	1,2	1,5	A	24,5 ± 1,0	22,0 ± 1,0	0,18	0,15	30	16 ^e	–
			B	24,5 ± 1,5	22,0 ± 2,0	0,22	0,18	33	11,2	–
			C	24,5 ± 2,5	22,0 ± 3,0	0,25	0,21	35	6,4	–
Cafetería o restaurante	1,2	0,7	A	24,5 ± 1,0	22,0 ± 1,0	0,18	0,15	35	8,0	–
			B	24,5 ± 2,0	22,0 ± 2,5	0,22	0,18	45	5,6	5,0
			C	24,5 ± 2,5	22,0 ± 3,5	0,25	0,21	50	3,2	2,8
Aula	1,2	0,5	A	24,5 ± 0,5	22,0 ± 1,0	0,18	0,15	30	6,0	–
			B	24,5 ± 1,5	22,0 ± 2,0	0,22	0,18	35	4,2	–
			C	24,5 ± 2,5	22,0 ± 3,0	0,25	0,21	40	2,4	–
Jardín de infancia	1,4	0,5	A	23,5 ± 1,0	20,0 ± 1,0	0,16	0,13	30	7,1	–
			B	23,5 ± 2,0	20,0 ± 2,5	0,20	0,16	40	4,9	–
			C	23,5 ± 2,5	20,0 ± 3,5	0,24	0,19	45	2,8	–
Grandes almacenes	1,6	0,15	A	23,0 ± 1,0	19,0 ± 1,5	0,16	0,13	40	4,2	–
			B	23,0 ± 2,0	19,0 ± 3,0	0,20	0,15	45	3,0	–
			C	23,0 ± 3,0	19,0 ± 4,0	0,23	0,18	50	1,6	–

Tab 2

16. Código Técnico de la Edificación. Documento Básico de Salubridad, apartado 3 Calidad del aire.

17. Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios. Real Decreto 178/2021, de 23 de marzo.

18. Real Decreto 238/2013, de 5 de abril, por el que se modifican algunos aspectos del RITE 2007.

19. Real Decreto 178/2021, de 23 marzo, por el que se modifican algunos aspectos del RITE 2007.

20. UNE-EN 13779, mayo 2008. Ventilación de edificios no residenciales.

21. UNE-CR 1752 IN, marzo 2008. Ventilación de edificios.

Categoría	Unidad	Caudal de aire exterior por persona			
		Zona de no fumadores		Zona de fumadores	
		Intervalo tipo	Valor por defecto	Intervalo tipo	Valor por defecto
IDA 1	l/s-persona	> 15	20	> 30	40
IDA 2	l/s-persona	10-15	12,5	20-30	25
IDA 3	l/s-persona	6-10	8	12-20	16
IDA 4	l/s-persona	< 6	5	< 12	10

Tab 3

Por otro lado, en la nueva versión RITE 2021 se determina que, en cuanto a las condiciones higrotérmicas interiores, se obtiene un rango límite de temperatura operativa y humedad relativa para espacios donde se desarrolle una actividad con una tasa metabólica sedentaria (1,2 met) y con grado de vestimenta en función de la estación (0,5 clo en verano, 1 clo en invierno), donde el porcentaje de insatisfechos (PPD) se encuentre por debajo del 10%, como se muestra en la *tab.4*.

Tabla 1.4.1.1 Condiciones interiores de diseño		
Estación	Temperatura operativa °C	Humedad relativa %
Verano	23 ... 25	45 ... 60
Invierno	21 ... 23	40 ... 50

Tab 4

Tab 3 Tabla de caudales de aire exterior por persona. *Fuente: UNE-EN 13779*

Tab 4 Tabla de condiciones interiores de diseño. Rangos de temperatura operativa y humedad relativa. *Fuente: RITE 2021*

GUÍAS Y RECOMENDACIONES PARA LA PANDEMIA DEL COVID-19

Hoy en día, es conocido que el **virus del SARS-CoV-19 se transmite por vía aérea y por contacto y gotas**, como ya reconoció la OMS en los principios de esta nueva coyuntura²². Este hecho hace que las **estancias prolongadas en interiores** en entornos con una inadecuada ventilación, ya sea natural o por medios mecánicos, puedan ayudar a la **propagación de la enfermedad**. Como respuesta a esta problemática, los expertos en calidad de aire interior y sistemas de climatización han elaborado una serie de **guías y recomendaciones** con el objetivo de asegurar espacios seguros para la continuidad de las actividades diarias. A partir de ellas, las instituciones y gobiernos aplicaron dichas estrategias para la creación de normativas para cada actividad esencial, entre ellas la enseñanza en centros docentes.

En el presente trabajo se van a extraer de dichas guías, tanto internacionales como nacionales, las **principales medidas de prevención que se han adoptado** en los centros de enseñanza.

En primer lugar, la OMS publicó al comienzo del curso escolar 2020-2021 las **consideraciones generales** que los colegios debían tomar en el contexto del Covid-19²³. Entre estas directrices, las referidas a la **calidad del aire interior a nivel del aula** son las siguientes:

- Consideración de la ventilación natural, mediante la apertura de ventanas si es posible y seguro, para facilitar el flujo de aire interior y exterior cuando las condiciones del entorno y el edificio lo permitan.
- Si se hace uso de sistemas HVAC, se deben inspeccionar, mantener y limpiar periódicamente. Un mantenimiento riguroso de la instalación es fundamental para garantizar su efectividad y seguridad. Lo mismo se aplica para la comprobación de los filtros
- Para sistemas mecánicos, se aumentará el flujo de aire hasta un 100% de su funcionamiento y también aumentará el porcentaje de aire exterior.
- Se desactivará el control de la ventilación por control de demanda, que reducen el suministro de aire según la temperatura o la ocupación interior.
- Se deberá hacer uso del sistema de HVAC con un flujo máximo de aire exterior durante 2 horas antes y 2 horas después de aquellas en las que el edificio se encuentra ocupado.

22. World Health Organization. (Julio de 2020). *Transmission of SARS-CoV-2: implications for infection prevention precautions*. World Health Organization

23. World Health Organization. (Septiembre de 2020). *Considerations for school-related public health measures in the context of COVID-19*. World Health Organization. Pág 5.

Debido a la recomendación que se hace por la OMS en cuanto a los sistemas mecánicos de climatización y ventilación, grandes compañías han redactado sus propios protocolos con respecto al uso de estos aparatos, actualizándolos a medida que avanzaba la propia pandemia. Algunas de ellas han sido la REHVA²⁴, en el ámbito europeo, y la ASHRAE²⁵. En estos informes **se recomienda el uso de sistemas mecánicos principalmente, o combinados con ventilación natural** si es necesario. También **se propone la instalación de sensores de CO₂** en las aulas para poder llevar un control de los niveles de concentración interior en las clases.

Otras instituciones como la Universidad de Harvard²⁶, han distribuido guías para **comprobar la tasa de renovación del aire en las aulas**, además de otras herramientas digitales para ayudar a los docentes en la tarea. Los 5 pasos que ofrecen para alcanzar dicho objetivo son:

- “- *Medir las dimensiones del aula.*
- *Realizar comprobaciones preliminares de audio y visuales*
- *Medir o estimar la tasa de ventilación de aire exterior (usando uno de los cuatro métodos)*
- *Comparar resultados con objetivos*
- *Si es necesario considerar estrategias complementarias de limpieza del aire para cumplir con los objetivos”.*

24. REHVA. (2020). *How to operate HVAC and other building service systems to prevent the spread of the coronavirus (SARS-CoV-2) disease (COVID-19) in workplaces.* REHVA, COVID-19 Task Force of REHVA's Technology and Research Committee.

25. ASHRAE EPIDEMIC TASK FORCE. (2021). *ASHRAE Introduces Updated Reopening Guide for Schools and Universities.* ASHRAE, Schools & Universities. Págs. 18-20.

26. Allen, J., Spengler, J., Jones, E., & Cedeno-Laurent, J. (2020). *5-Step Guide to Checking Ventilation Rates in Classroom.* Universidad de Harvard, Harvard Healthy Buildings program.

27. Gobierno de España (2021). *Medidas de prevención, higiene y promoción de la salud frente a Covid-19 para centros educativos en el curso 2021-2022.* Ministerio de Educación y Formación Profesional. Págs. 60-62

Por otro lado, **en España** tanto el Gobierno Central como los Autonómicos han publicado sus propias recomendaciones y medidas basadas en las directrices internacionales anteriormente comentadas (*fig. 28*). En estos documentos recomiendan la ventilación cruzada en el caso de ventilación natural, así como priorizar la ventilación sobre el confort térmico:

"En situaciones de alta transmisión comunitaria de SARS-CoV2, se debe valorar la priorización de la ventilación natural por su efectividad en la prevención de la transmisión por encima de aspectos como las condiciones de temperatura y humedad necesarias para el confort térmico o a los requerimientos de eficiencia energética".²⁷



Fig 28

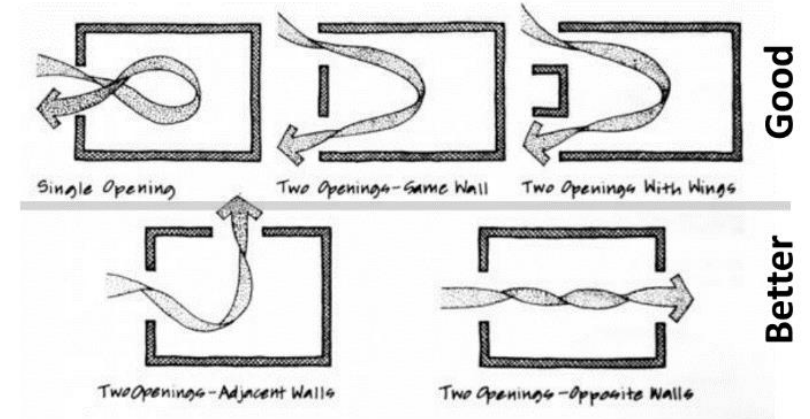


Fig 27

Fig 27 Esquemas de diferentes formas de ventilación. Fuente: ASHRAE EPIDEMIC TASK FORCE

Fig 28 Esquema de principios básicos en la prevención, higiene y promoción de la salud frente a COVID-19 en los centros educativos. Fuente: Ministerio de Sanidad

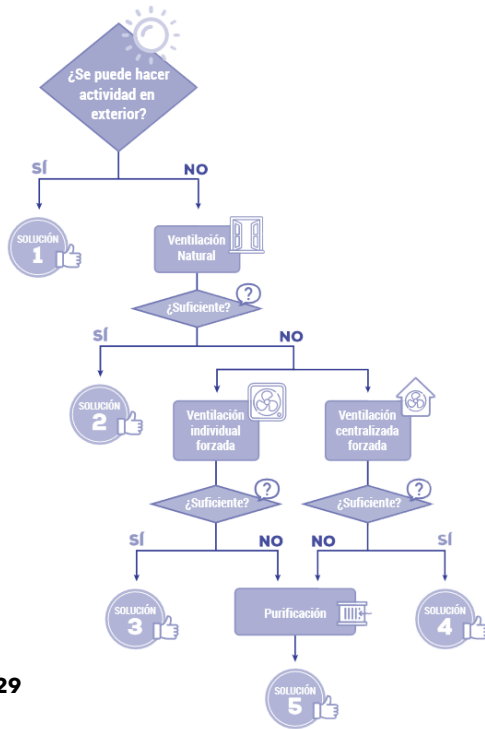


Fig 29

28. Corresponde a la tasa de renovación del aire por hora en un lugar determinado (ACH, de las siglas en inglés para *Air Changes per Hour*). A mayor número de renovaciones, mejor será la calidad del aire interior puesto que se recircularía completamente el aire desde el exterior al interior.

29. Minguillón, M. C., Querol, X., Felisi, J. M., & Garrido, T. (Octubre de 2020). *Guía para ventilación en aulas*. Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua,. IDAEA-CSIC, Ministerio de Ciencia e Innovación y Mesura.

30. IDAE. (2020). *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*. Gobierno de España. Ministerio de Sanidad y Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.

En cuanto a la **tasa de ventilación aconsejada**, siguiendo la normativa comentada al principio de este apartado, para conseguir una buena tasa de ventilación (IDA 2), se necesitan unos 12,5 l/s por persona. Esto corresponde a unas **5 o 6 ACH**²⁸, a no ser que la actividad realizada en el interior sea implique más emisión de aerosoles, como el ejercicio físico.

La Guía para ventilación en aulas²⁹ del IDAEA-CSIC, Ministerio de Ciencia e Innovación y Mesura también expone una serie de soluciones y estrategias ante el compromiso de mantener una correcta ventilación de las aulas, valiéndose del uso de sensores de CO₂. En este documento se informa sobre la propagación del virus, así como una serie de medidas para **reducir tanto la emisión como la exposición**. Se ofrecen 5 soluciones (fig. 29), dependiendo de las posibilidades del centro y sus espacios, además de explicar los procedimientos para la comprobación y adecuación de las medidas a cada situación concreta. En el caso de la solución propuesta mediante ventilación natural (fig. 30), muestran un ejemplo donde utilizan gráficas de variación de la concentración de CO₂ en un espacio y tiempo comparado las diferentes hipótesis de ventilación posibles, dependiendo de la apertura de las ventanas y puertas (figs. 31 y 32). En la guía se explican varios métodos y ejemplos prácticos para concienciar sobre las **ventajas de tener sensores de CO₂** en las aulas, mostrando los cálculos necesarios para hallar los valores interiores y compararlos con los valores óptimos y recomendados.

Otros documentos relativos a la utilización y mantenimiento de los sistemas mecánicos, como el documento técnico del Gobierno de España³⁰, exponen recomendaciones para minimizar la transmisión del virus mediante estos sistemas. En la mencionada guía, se recogen un total de 17 recomendaciones entre las que se mencionan aspectos como el caudal mínimo de aire exterior, la modificación del control para aumentar la ventilación, la reducción en la recirculación del aire en los equipos, los recuperadores de calor o los sistemas de filtración y purificación del aire.

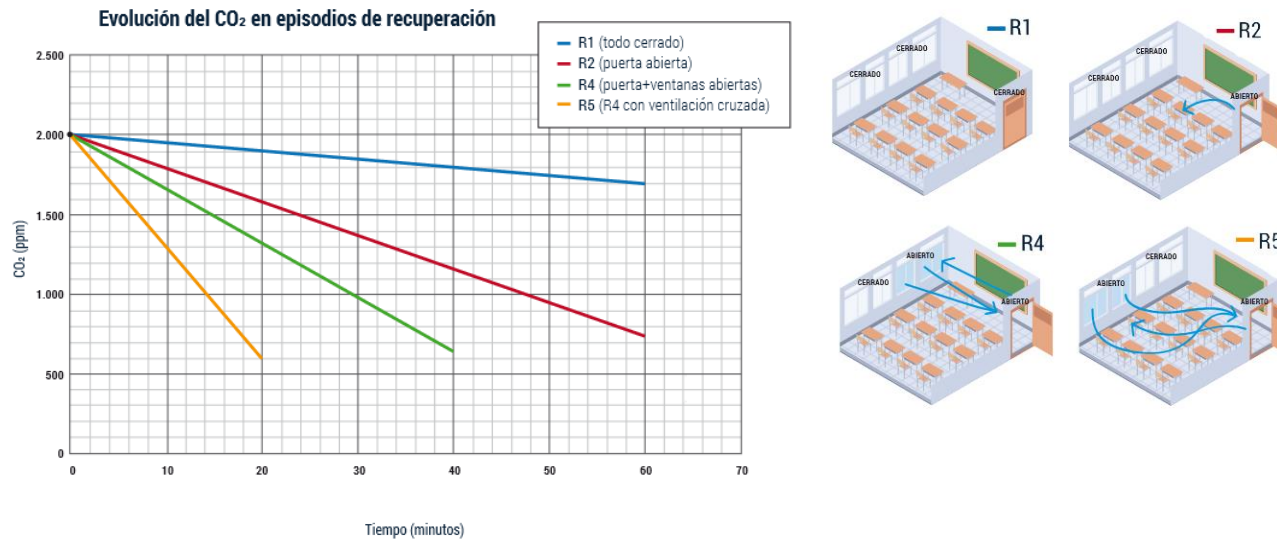


Fig 31

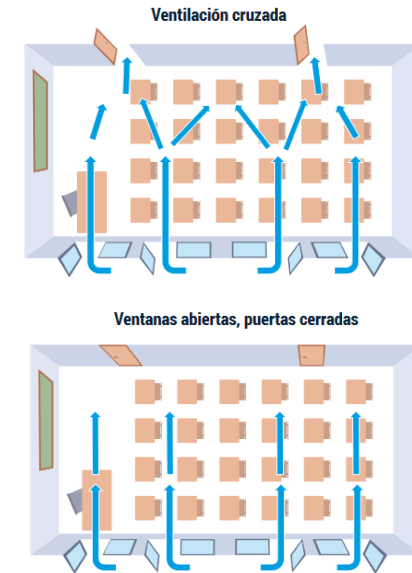


Fig 30

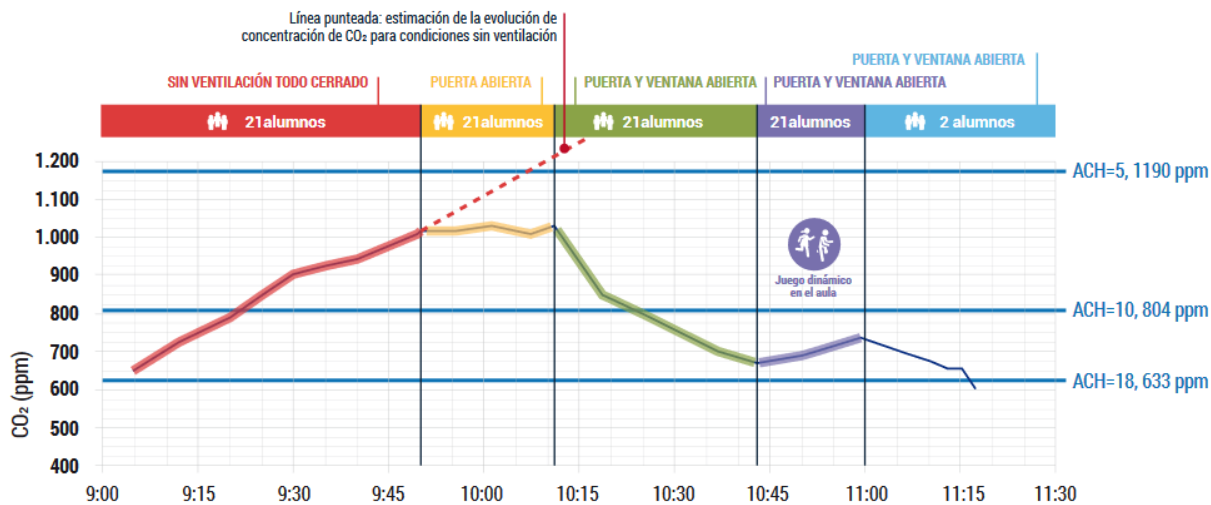


Fig 32

Fig 29 Esquema de 5 soluciones según tipo de ventilación. Fuente: IDAEA-CSIC, Ministerio de Ciencia e Innovación y Mesura

Fig 30 Esquemas de ventilación cruzada y ventilación con ventanas abiertas y puertas cerradas. Fuente: IDAEA-CSIC, Ministerio de Ciencia e Innovación y Mesura

Fig 31 Gráfica de evolución de niveles de CO₂ en los diferentes escenarios y esquemas de los escenarios. Fuente: IDAEA-CSIC, Ministerio de Ciencia e Innovación y Mesura

Fig 32 Gráfica sobre la concentración de CO₂ en los diferentes escenarios a través del tiempo. Fuente: IDAEA-CSIC, Ministerio de Ciencia e Innovación y Mesura

CALIDAD AMBIENTAL INTERIOR EN USO EDUCATIVO

Este apartado se establece alrededor de una serie de artículos científicos que desarrollan el concepto de la **calidad ambiental interior** (IEQ), lo cual engloba el **confort térmico, visual, acústico y la calidad de aire interior** (IAQ). Este último factor ha tomado una mayor relevancia actualmente debido a la nueva situación provocada por la pandemia por Covid-19 y a la posibilidad de que las medidas de contención del virus afecten al confort y al rendimiento escolar del alumnado.

La composición de las aulas en la mayoría de los centros educativos de Andalucía responde a unos parámetros estandarizados por la normativa de diseño de edificios docentes³¹: ventanas a la izquierda, unos 30 alumnos por aula y 50 m² de superficie aproximada con 3 m de altura. Esta disposición no tiene en cuenta la singularidad de cada proyecto, donde aspectos como la orientación son fundamentales para una utilización lógica de los recursos que cada localización ofrece.

Los artículos que se van a comentar se centran en analizar empíricamente las **condiciones ambientales de diferentes centros educativos** en España, más concretamente en **Andalucía**. Aprovechando las circunstancias de pandemia actuales, los estudios mencionados van a organizarse según se **hayan publicado antes o después de la misma**, con lo que eso conlleva con respecto al enfoque de estos.

ESTUDIOS REALIZADOS ANTES DE LA PANDEMIA

31. ORDEN de 24 de enero de 2003, por la que se aprueban las Normas de diseño y constructivas para los edificios de uso docente. Boletín Oficial de la Junta de Andalucía, 43, de 5 de marzo de 2003.

32. Fernández-Agüera, J., Domínguez-Amarillo, S., Acosta, I., Sendra, J. J., y Campano-Laborda, M. Á. (2019). *CO₂ Concentration and Occupants' Symptoms in Naturally Ventilated Schools in Mediterranean Climate. Buildings*, 9(197).

33. World Health Organization. Regional Office for Europe. (2010). *WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants*. Copenhagen, Dinamarca: World Health Organization. Regional Office for Europe.

En el **primer estudio**³², se analizan un total de 42 aulas de 8 centros docentes de diferentes zonas climáticas existentes en Andalucía durante periodos de estación fría y templada. En este caso, los edificios dependían exclusivamente de la ventilación natural para poder ventilar los espacios, lo que dio lugar a protocolos de medición de niveles de CO₂ con ventanas abiertas o con ventanas cerradas. Por otro lado, se encuestó al alumnado sobre los posibles síntomas sufridos en el aula durante su estancia diaria.

Los valores obtenidos en régimen de ventanas cerradas superaban en el 89,3% de los casos el valor límite de 1000 ppm para espacios educativos saludables establecido por la OMS³³. Además, un 39% de las aulas se situaban por debajo de las 1600 ppm, mientras que un 43% del total se encontraban por encima incluso de las 2000 ppm.

Sin embargo, con la apertura de ventanas se lograban valores por debajo de 1000 ppm en un 28% de las aulas, mientras que solo 2 de ellas se encontraban entre los 1600 y 2000 ppm y ninguna superaban los 2000 ppm (fig. 33).

También se comprobó que, aunque con las ventanas abiertas los niveles de CO₂ sean menores esto no significa que los ocupantes prefieran las condiciones interiores. La sintomatología sigue presente en régimen de ventanas abiertas, demostrando que no solo la calidad del aire interior afecta al confort de los usuarios, sino que es igual de necesario garantizar unas condiciones higrotérmicas adecuadas, buscando favorecer la salud del estudiantado y su consecuente rendimiento académico.

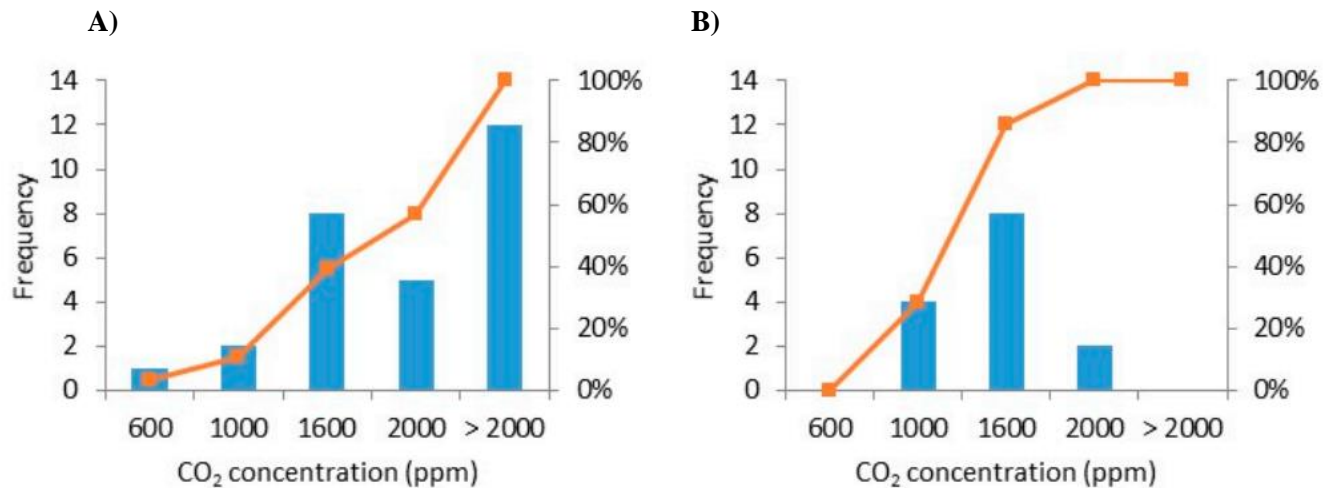


Fig 33

Fig 33 Gráficas sobre la frecuencia acumulada y el porcentaje de concentración de CO₂ en las aulas con las ventanas cerradas (a) y las ventanas abiertas (b). Fuente: Fernández-Agüera, J., Domínguez-Amarillo, S., Acosta, I., Sendra, J. J., y Campano-Laborda, M. Á. (2019).

En **otro estudio**³⁴, que se centra en el mismo grupo de aulas que el anterior, se pretende analizar y comparar la relación existente entre la percepción térmica, el uso de sistemas HVAC y las diferentes estaciones, junto con la vestimenta de los usuarios. Se tiene en cuenta la diferencia hallada entre las tasas metabólicas de los adultos y los niños y adolescentes, ya que esto influye en la preferencia en cuanto al confort térmico.

Los resultados obtenidos muestran que la sensación térmica predominante de los ocupantes es de neutralidad durante la estación fría y algo de calor durante los meses de media estación. Además, durante el invierno se registran valores interiores sobre los 20,5 °C, lo cual se encuentra por debajo de las condiciones operativas establecido por el RITE 2021³⁵. Esto demuestra que los sistemas de calefacción existentes no son capaces de resolver completamente las cargas térmicas interiores de las aulas.

Un dato interesante que se comenta en el estudio es como los usuarios de climas mediterráneos, en general, están más acostumbrados a encontrarse fuera de las condiciones de confort en sus viviendas, lo que justificaría la sensación de indiferencia obtenida durante el invierno en las aulas.

El **último estudio**³⁶ que se expone, se centra de nuevo en la valoración subjetiva de los alumnos. Basándose en la consideración de que el cambio climático está alargando e intensificando la estación cálida durante el curso escolar, la percepción de los estudiantes en condiciones interiores de sobrecalentamiento resulta muy importante a la hora de tomar medidas para alcanzar el confort de los usuarios.

En este estudio se realizaron encuestas al alumnado, además de usar otras técnicas de participación. También se monitorizaron las aulas en cuestión para verificar las opiniones de los usuarios con respecto a los parámetros de temperatura y humedad relativa interior. Se llevó a cabo en un instituto de Sevilla, entre el 2 al 11 de octubre de 2019. Durante la jornada lectiva, que comprende desde las 8:00h a las 14:30h, se registraron variaciones de temperaturas entre la máxima y la mínima de unos 15 °C, Esto obliga a los usuarios a adaptarse a las condiciones interiores en periodos cortos de tiempo y con mucha variación.

34. Campano-Laborda, M. Á., Domínguez-Amarillo, S., Fernández Agüera, J., & Sendra, J. J. (2019). *Thermal Perception in Mild Climate: Adaptive Thermal Models for Schools*. *Sustainability*, 11(3948).

35. Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios. Real Decreto 178/2021, de 23 de marzo.

36. Domínguez-Amarillo, S., Fernández-Agüera, J., Cuervo-Vilches, T., & González, M. M. (2020). *Overheating in Schools: Factors Determining Children's Perceptions of Overall Comfort Indoors*. *Sustainability*, 12(5772).

La respuesta de los estudiantes hacia estos cambios fue que debían modificar su vestimenta, pedir la apertura de ventanas y puertas, apagar luces o bajar persianas, e incluso modificar su peinado para poder hacer frente a las altas temperaturas interiores en algunos momentos del día.

En cuanto a las encuestas, se les pedía que evaluaran de 1 a 5 factores relativos al confort interior, obteniéndose respuestas donde el ruido, el calor y el olor resultaban muy relevantes para sensación de comodidad (fig. 34). En las discusiones participativas (fig. 35), muchos de ellos proponían posibles soluciones para la situación actual de las aulas, como la instalación de sistemas de ventilación y aire acondicionado, la redistribución de las mesas, la operatividad de las ventanas y luces del aula, o incluso el plantar árboles en el exterior.

Como conclusión se obtiene que la correcta ventilación de las aulas es clave tanto para obtener un IAQ adecuado como para que los estudiantes alcancen el confort térmico. La mayoría de las escuelas actuales no disponen de los sistemas necesarios o están desfasados, por lo que conocer la opinión de los alumnos podría servir como punto de partida a la hora de ir tomando pequeñas medidas que puedan mejorar el clima interior de las aulas, sin un inmediato gasto de energía ni una gran inversión económica.

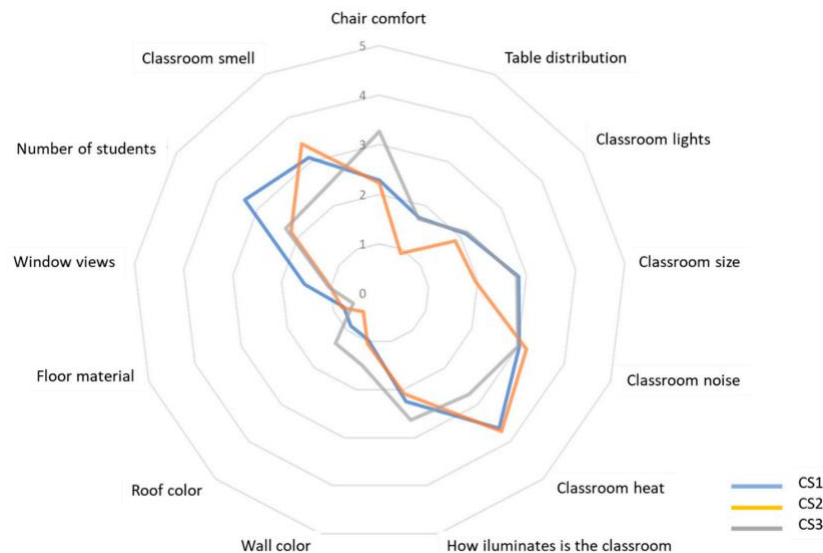


Fig 34

Letter	Question	Concept More Repeated	Number		
S	What do you See here? SUN WINDOW	Sun	60		
		Window	56		
		Wall	38		
		People	29		
		Light	25		
		Digital Blackboard	16		
H	What is really Happening here? STUDENTS CLASSROOM	Classroom	40		
		Heat	40		
		Students	35		
		Air	28		
		ODOUR	HEAT	Window	26
		Enter	24		
		Humidity	8		
		Odour	7		
O	How does it relate to Our lives? STUDY TEMPERATURE	Temperature	52		
		Study	30		
		Mandatory	25		
		School	25		
		Summer	18		
		Spring	17		
		Parents	12		
		W	Why does this concern exist? NO COOLING	No Cooling	35
				Temperature	30
				Sevilla	20
Spain	10				
Summer	10				
CLIMATE CHANGE	8				
Long	7				
E	How can we become Empowered through our new understanding? AIR CONDITIONING CLOTHES TROUBLE WATER	Air conditioning	28		
		Trouble	25		
		Water	20		
		Clothes	20		
		White	15		
		Hairstyle	14		
		Shutters	12		
		Blind	10		
		No assist	8		
		Report authority	3		
		Monitoring	2		
		D	What can we Do? AIR CONDITIONING FAN DRINK CLOTHES	Air conditioning	38
Clothes	25				
Fan	25				
Drink	17				
White	16				
Ventilation	16				
Short	12				
Hand fan	10				
Improve	8				
Open Windows	7				
Water	8				
Hairstyle	7				
Timetable	5				
Trees	5				
Paint	5				

Fig 35

Fig 34 Gráfica con el radio de respuestas sobre los factores que influyen en el confort en el aula. Fuente: Domínguez-Amarillo, S., Fernández-Agüera, J., Cuervo-Vilches, T., & González, M. M. (2020)

Fig 35 Tabla resumen con las palabras más frecuentes en las discusiones participativas. Fuente: Domínguez-Amarillo, S., Fernández-Agüera, J., Cuervo-Vilches, T., & González, M. M. (2020)

DESPUÉS DE LA PANDEMIA

El **estudio más reciente** que se va a comentar³⁷, tiene como objetivo el análisis de los efectos de la pandemia de Covid-19 en el confort térmico y la calidad de aire interior. Se llevó a cabo en dos aulas de una guardería de Sevilla, en estación fría y con la particularidad de haberse realizado antes (enero 2020) y durante la pandemia (enero 2021). A diferencia de los casos de los estudios anteriores, en estas aulas sí cuentan con sistemas de ventilación mecánica.

Los resultados que se obtienen en ambas mediciones responden a las prioridades de cada circunstancia:

En condiciones normales, previas al Covid-19, el confort térmico en las aulas se prioriza sobre la calidad del aire interior, ya que el uso de la ventilación mecánica dependía de factores de temperatura más que de las concentraciones de CO₂ interiores. Sin embargo, con la necesidad de frenar la propagación del virus del SARS-CoV-2, se instauraron unos protocolos de ventilación y guías que han vuelto a dar importancia al IAQ. Esto ha hecho que se obtengan valores de niveles de CO₂ dentro de los límites establecidos gracias al uso de la ventilación natural intensiva, independientemente de las condiciones exteriores y perjudicando con ello el confort térmico del alumnado.

Esto se ha podido comprobar en la *fig. 36* y *fig. 37*: en la primera medición se obtenían valores dentro de los márgenes del IDA 3 (sobre 1000 ppm), lo cual es inadecuado para un centro de educación infantil, mientras que en la segunda medición se observa una bajada de esos valores hasta obtener un IDA 1 (menos de 700 ppm). La notable mejora de CO₂ también crea un ambiente interior inadecuado ya que las condiciones higrotérmicas se alejan a las consideradas como condiciones operativas por la normativa vigente³⁸.

Por lo tanto, se concluye que, si la situación de emergencia no hubiera sucedido, el índice de calidad de aire interior seguiría pasando inadvertido a la hora de valorar el confort por los usuarios, que continuarían dando más importancia al bienestar térmico, aún con los riesgos a largo plazo para la salud de los jóvenes, que de por sí son más vulnerables a esos factores³⁹.

37. Alonso, A., Llanos, J., Escandón, R., & Sendra, J. J. (2021). Effects of the COVID-19 Pandemic on Indoor Air Quality and Thermal Comfort of Primary Schools in Winter in a Mediterranean Climate. *Sustainability*, 13(2699).

38. Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios. Real Decreto 178/2021, de 23 de marzo.

39. El menor desarrollo de los órganos de los niños y adolescentes produce que sean más vulnerable ante los agentes contaminantes que se encuentran en el aire. Información recuperada de: UNICEF (2020). *La contaminación atmosférica afecta más a la infancia*. Ciudades amigas de la infancia.

		CO ₂ (ppm)			Air Temperature (°C)			Relative Humidity (%)		
		Mean	Min.	Max.	Mean	Min.	Max.	Mean	Min.	Max.
Period 1 (January 2020)	Outdoor	-	-	-	13	7.4	18.7	85.7	83	90
	South Class (A5)	1033	618	1571	23.1	13.4	29.4	53.9	37.2	75.1
	North Class (A6)	1079	530	1726	21.9	14.5	26.8	57.3	41.5	73.4
Period 2a (January 2021)	Outdoor	-	-	-	7	0	14	80.4	75	87
	South Class (A5)	604	466	781	19	15	22	36.8	31.7	43.2
	North Class (A6)	740	514	1177	18	14	20	40.9	37.4	47.2

Fig 36

Fig 37

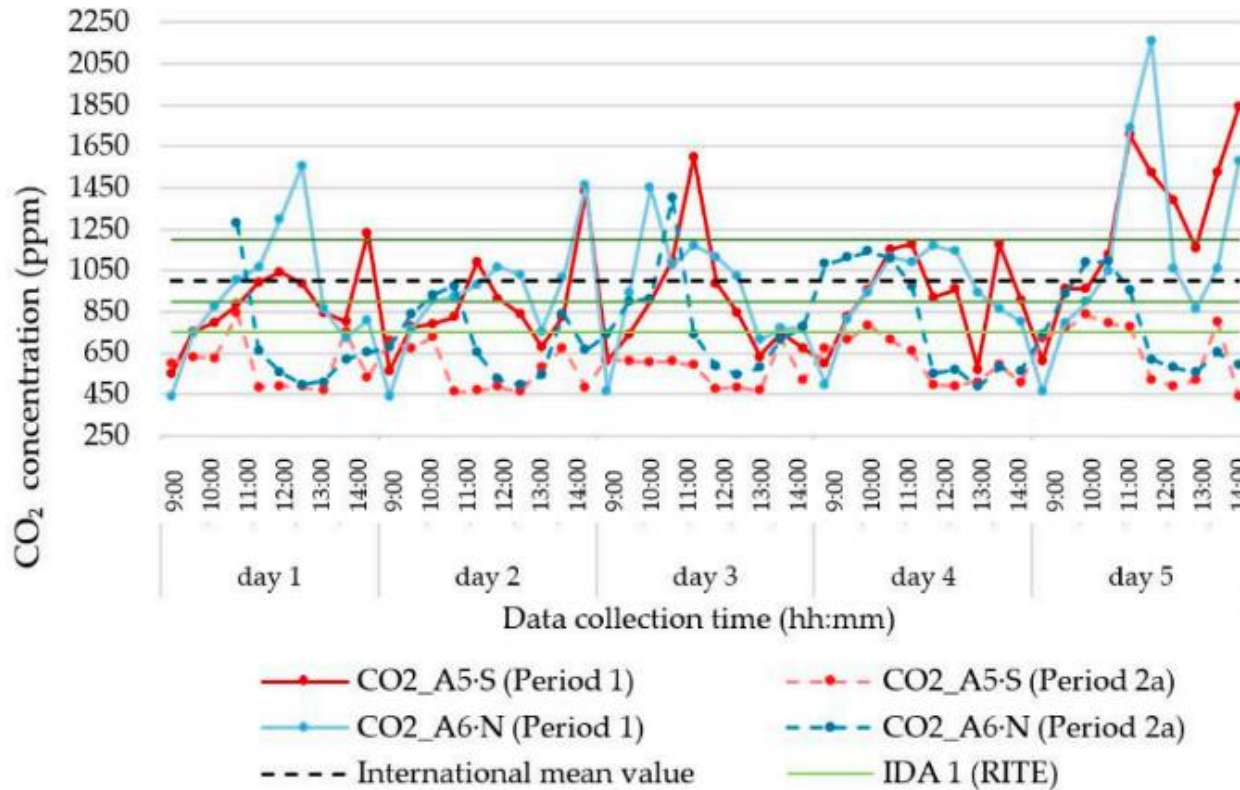


Fig 36 Tabla resumen de los resultados obtenidos en las dos mediciones de enero 2020 y enero 2021. Fuente: Alonso, A., Llanos, J., Escandón, R., & Sendra, J. J. (2021).

Fig 37 Gráfica comparativa de los valores de concentración de CO₂ obtenidos en las dos mediciones de enero 2020 y enero 2021. Fuente: Alonso, A., Llanos, J., Escandón, R., & Sendra, J. J. (2021).

CAPÍTULO 3.

OBJETIVOS DEL ESTUDIO

¿Están las aulas de los centros educativos acondicionadas y adaptadas para hacer frente a los requisitos de ventilación tras la pandemia garantizando las condiciones de confort higrotérmico?

Con esta **hipótesis de partida** se plantea un estudio con mediciones in situ, para acercarnos a las condiciones ambientales de los institutos y valorar si estos son capaces de adaptarse a las actuales exigencias de la sociedad garantizando el confort higrotérmico y de calidad del aire en las aulas.

OBJETIVOS GENERALES

El objetivo principal del trabajo que se va a desarrollar consistirá en el **diagnóstico cuantitativo y cualitativo de las condiciones de confort higrotérmico y calidad de aire interior en los centros de educación secundaria** mediante la **aproximación desde un caso de estudio**, derivadas de la situación actual provocada por la pandemia del Covid-19. Con este fin, se estudiará como caso de estudio el IES Murillo de Sevilla, como presentaremos en apartados posteriores.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Los objetivos específicos que se pretenden lograr son los siguientes:

- Evaluar las condiciones **de ventilación** en las aulas de educación secundaria con protocolos de pandemia, durante la estación cálida mediante monitorización de las condiciones higrotérmica y de calidad del aire.
- **Evaluar subjetivamente** las condiciones higrotérmicas y de calidad del aire mediante **encuestas de percepción** a los usuarios.
- **Proponer mejoras en las estrategias de ventilación y acondicionamiento**, combinando sistemas activos y pasivos para una adecuación al confort de los usuarios.

CAPÍTULO 4.

METODOLOGÍA



Fig 38

Fig 38 Esquema de pasos en la metodología propuesta.
Fuente: *Elaboración propia*

En este estudio se plantea una metodología de trabajo para poder alcanzar los objetivos que se han definido anteriormente. Dicha metodología se compondrá de diferentes partes, definidas como:

- **Selección de un caso de estudio.**

Se procede a la elección de un edificio que pueda resultar representativo como caso de estudio. Algunos de los aspectos más interesantes y que sirven como criterio de selección serán:

- Accesibilidad al centro, ya que será necesario contar con permisos de acceso en varias ocasiones, tanto para la colocación de sensores en las aulas como para la realización de encuestas.
- Fecha de construcción.
- Existencia de sistema de ventilación mecánica.
- Variedad en las características de las aulas, para la comparativa de resultados.

- **Monitorización de variables ambientales interiores y exteriores.**

Se obtienen valores interiores en cuanto a los niveles de concentración de CO₂, de humedad relativa y de temperatura seca en las aulas representativas del centro. Se obtienen de igual forma valores exteriores de estaciones atmosféricas cercanas para la relación entre datos interiores y exteriores. Las fechas más adecuadas para el estudio serán aquellas donde se prevean periodos de sobrecalentamiento en las aulas debido a las altas temperaturas, por lo que las mediciones se ubicarán durante la estación cálida.

- **Realización de encuestas al alumnado.**

Los alumnos usuarios de las aulas monitorizadas serán encuestados para conocer su percepción subjetiva sobre las diferentes variables implicadas en la calidad de aire interior. Mediante medios digitales se programará una encuesta interactiva que los alumnos podrán contestar con sus dispositivos móviles, accediendo a ellas gracias a códigos QR.

- **Análisis de resultados de la monitorización.**

Al finalizar las campañas de recogida de datos se analizan y clasifican los valores obtenidos, relacionándolo con las respuestas de las encuestas, y obteniendo conclusiones de dicho estudio.

CASO DE ESTUDIO

Con los criterios descritos anteriormente se selecciona un Instituto de Educación Secundaria en la ciudad de Sevilla que posea las características necesarias para considerarse representativo. Para más información sobre el edificio escogido, véase el [Capítulo 5. Caso de estudio](#).

TOMA DE DATOS. MEDICIONES IN SITU

La toma de datos se realizará mediante la monitorización de las variables ambientales de las aulas gracias a equipos de medición ubicados en las mismas. Se pretende así caracterizar la calidad ambiental de los espacios educativos mediante la observación de los valores de temperatura seca, niveles de CO₂ y de humedad relativa existentes.

Teniendo en cuenta que la memoria de almacenamiento de datos que tienen los equipos es limitada y los tiempos de medición que se pretenden, se establece la frecuencia de toma de datos cada 5 minutos.

Se proponen entonces, varios **protocolos de observación**:

- Un primer período de 2 semanas para la comprobación del estado inicial de las aulas.
- Un segundo periodo de 1 semana y media para un análisis concreto de las variables en un momento más desfavorable.
- Un último día de medición con hipótesis de apertura de ventanas y puertas para la caracterización de posibilidad de mejora de las condiciones ambientales.

También se hará uso de sensores exteriores para disponer de datos sobre las variables ambientales en las zonas cercanas a la ubicación del caso de estudio. De este modo, se podrán utilizar dichos valores para comparar y analizar condiciones interiores y exteriores, consiguiendo así un estudio más complejo y representativo de la realidad.



Fig 39



Fig 40

EQUIPOS DE MEDICIÓN Y SOFTWARES. CARACTERÍSTICAS

A continuación, se muestran todas las especificaciones técnicas de los instrumentos de medición utilizados en la monitorización de las aulas, además de los softwares necesarios para la extracción de los datos y su posterior tratamiento gráfico. A modo de resumen, se han usado las siguientes herramientas:

- **Instrumento de medición**
Medidor de datos, modelo CD 210, marca Wöhler (fig. 40)
- **Software para extracción de datos**
Wöhler CDL-Series PC IN Raumklima IAQ, versión 1.2.8 (2017)
- **Software para tratamiento de datos**
Microsoft Office Excel, versión Microsoft Office 365 2022

En la tabla que se muestra, *tab. 5*, se recogen las especificaciones técnicas del medidor de datos, donde se pueden comprobar los rangos de medición en los diferentes aspectos, la precisión o la capacidad de registro.

El instrumento de medición que va a usarse para la obtención de datos exteriores será la estación meteorológica, *fig. 39*, que posee el grupo de investigación TEP 130 en las celdas de ensayo del Centro Internacional de la Universidad de Sevilla.

Dicha estación está provista de dos sensores, capaces de tomar muestras de la temperatura y humedad relativa exterior, los niveles de CO₂, la velocidad y dirección del viento y diferentes valores de radiación.

MEDIDOR WÖHLER CDL 210		
CO₂	Rango de medición	0 – 2.000 ppm (2.001 – 9.999 ppm fuera de la especificación)
	Resolución	1 ppm
	Precisión	± 50 ppm ±5% del valor medido (0 – 2000 ppm)
	Principio de Medición	Tecnología NDIR (infrarrojo no dispersivo)
Temperatura	Rango de medición	-10 °C a +60 °C
	Resolución	0,1 °C
	Precisión	± 0,6 °C
Humedad del aire	Rango de medición	5 – 95%
	Resolución	0,1%
	Precisión	± 3% (10 - 90% Hr, 25 °C) 5% (otros valores)
Registro continuo de datos	Capacidad de almacenamiento	5.333 de cada valor registrado (CO ₂ , °C, %Hr)
	Datos registrados	Hasta 15.999
	Intervalo de muestras	De 1 seg a 4:59:59 h
Datos técnicos generales	Pantalla LCD	Indicación simultánea del nivel de de CO ₂ , la temperatura y la humedad relativa
	Diagnósticos de las condiciones	Good – bueno; normal – normal; poor – crítico
	Alimentación	AC 5V / 0,5 A
	Conexión al PC	Puerto USB
	Dimensiones	120 mm x 100 mm x 110 mm
	Alarma audible configurable al sobrepasar el valor límite del nivel de CO ₂ .	

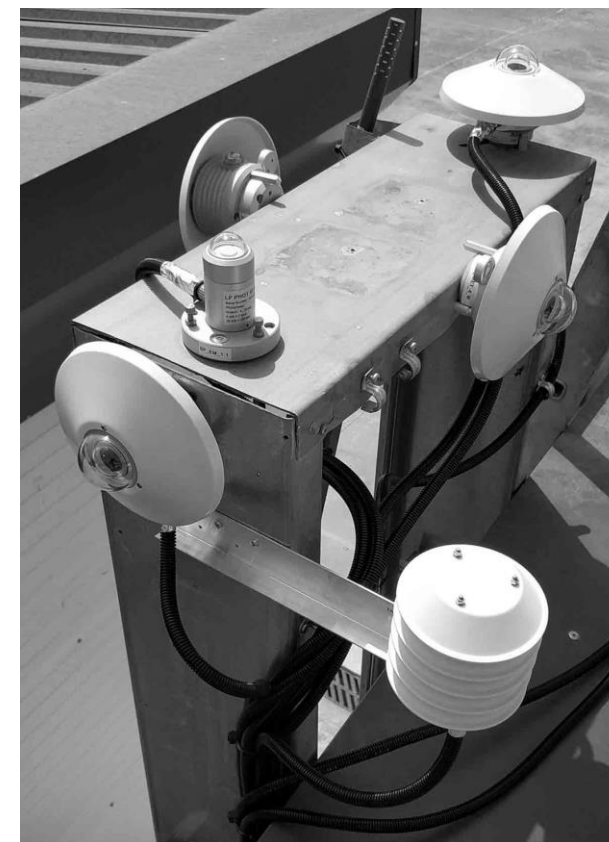


Fig 41

Tab 5

Fig 39 y 41 Imagen de la estación meteorológica de la US.
Fuente: Grupo Investigación TEP 130

Fig 40 Imagen del medidor de CO₂ empleado. Fuente: PCE Ibérica S.L.

Tab 5 Especificaciones técnicas del medidor de datos Wöhler CDL 210. Fuente: Onhaus Global System

REALIZACIÓN DE ENCUESTAS

Para complementar la medición objetiva realizada por los sensores ya presentados, se pretende conocer otro tipo de datos, de carácter subjetivo, con la participación de los alumnos que ocupan las aulas cada día. Con este propósito, se realizarán una serie de preguntas al estudiantado, a modo de **encuestas online con códigos QR**⁴⁰. Se pedirá al alumnado que utilice sus dispositivos móviles para escanear el código y así acceder a un portal web donde poder realizar la encuesta. De esta manera, se recopilarán los datos automáticamente, con fecha y hora de envío para poder considerarlo al analizar los resultados obtenidos.

La encuesta está dividida en diferentes apartados, cada uno sobre diferentes variables de calidad ambiental. Se incluirán cuestiones sobre el alumno, su situación y su vestimenta para poder contrastarlo con las respuestas dadas.

La encuesta se divide en varios apartados para poder evaluar diferentes variables de calidad ambiental. Se estructura de la siguiente forma:

- un primer bloque, con cuestiones sobre el alumnado y su situación al momento de realizar el cuestionario, preguntas genéricas como el sexo, la edad, la localización dentro del aula y la apertura de ventanas.
- un segundo bloque, para valorar el índice de calidad ambiental en un baremo numérico; un tercer bloque, referente a la percepción y confort térmicos
- último bloque, cuestionando la calidad de aire interior y la relación con la salud del alumnado.

Con esta valoración subjetiva se pretende conocer la opinión de los usuarios de las aulas, en un periodo tan importante como es el final del curso escolar y con condiciones meteorológicas poco favorables por sobrecalentamiento debido a las altas temperaturas propias de la localidad en el momento del año escogido. Los resultados de estas encuestas serán presentados en el [Capítulo 6. Análisis de resultados y expuestas completamente en el Anexo II](#). A continuación, se muestra el cuestionario desarrollado para ser presentado al alumnado-

40. La aplicación que se usará para realizar las encuestas es Google Formularios, donde se organizará la encuestas por apartados, siendo obligatorio el registro con correo electrónico para realizarla, pero sin registrar datos personales. Una vez completada la encuesta en la web, los datos se recogen en las hojas de datos de Google, donde podrán descargarse para su lectura y posterior análisis.

A. DATOS DEL USUARIO

1. Sexo (Marcar una sola casilla)

Hombre

Mujer

2. Año de nacimiento

3. Aula (Marcar una sola casilla)

2.12

2.13

4. Indica, según la imagen, en qué posición te encuentras del aula (Marcar una sola casilla)

1

6

2

7

3

8

4

9

5



5. ¿Las ventanas está abiertas ahora mismo? (Marcar una sola casilla)

Sí

No

No todas las ventanas están abiertas

6. ¿Con qué frecuencia se abren las ventanas? (Marcar una sola casilla)

Durante los recreos

Las ventanas están abiertas todo el día

Solo cuando el ambiente está cargado

En el cambio de clase, de 5 a 15 minutos

B. ÍNDICE DE CALIDAD AMBIENTAL

7. Indica en la escala de 1 a 5 (siendo 1 el valor más bajo y 5 el valor más alto) la **IMPORTANCIA** que tienen para ti los siguientes factores que determinan la calidad del aire. (Marcar una sola casilla por cada variable)

	1 (Más bajo)	2	3	4	5 (Más alto)
Confort térmico	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Confort acústico	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Calidad del aire	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Iluminación	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

C. VALORACIÓN SUBJETIVA DEL CONFORT TÉRMICO

8. Señala las prendas de ropa que vistes en este momento para calcular tu "grado de vestimenta". (Marcar todas las casillas necesarias)

- | | | |
|-----------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| <input type="radio"/> Calcetines largos | <input type="radio"/> Camiseta mangas largas | <input type="radio"/> Camiseta interior mangas largas |
| <input type="radio"/> Calcetines cortos | <input type="radio"/> Camiseta mangas cortas | <input type="radio"/> Camiseta interior mangas cortas |
| <input type="radio"/> Medias/Leotardos | <input type="radio"/> Camisa | <input type="radio"/> Pantalón/Falda larga |
| <input type="radio"/> Calzado cerrado | <input type="radio"/> Rebeca/Jersey/Sudadera | <input type="radio"/> Pantalón/Falda corta |
| <input type="radio"/> Sandalias | <input type="radio"/> Camisa | |

9. ¿Cuál es tu sensación térmica en este momento? (Marcar una sola casilla)

- Mucho calor
- Calor
- Algo de calor
- Ni frío ni calor
- Algo de frío
- Frío
- Mucho frío

10. ¿Cómo te sientes en este momento con relación a la temperatura del aula? (Marcar una sola casilla)

- Cómodo
- Algo incómodo
- Incómodo
- Muy incómodo
- Extremadamente incómodo

11. ¿Preferirías ahora mismo tener más...? (Marcar una sola casilla)

- Mucho calor
- Calor
- Algo de calor
- Permanecer igual
- Algo de frío
- Frío
- Mucho frío

12. ¿Cómo calificarías las condiciones térmicas de estos últimos días? (Marcar una sola casilla)

- Aceptables
- Algo mejorables
- Mejorables
- Muy mejorables
- Inaceptables

13. ¿Sientes frío en los pies? (Marcar una sola casilla)

- Sí
- No

14. ¿Sientes calor en la cabeza? (Marcar una sola casilla)

- Sí
- No

15. ¿Cuál es tu nivel de transpiración? (Marcar una sola casilla)

- | | | | | |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| (Más bajo) | | | | (Más alto) |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

D. VALORACIÓN SUBJETIVA DE LA CALIDAD DEL AIRE

16. En tu opinión, ¿cómo crees que huele el aula ahora mismo? (Marcar una sola casilla)

- No huele mal
- Un poco maloliente
- Maloliente
- Muy maloliente

17. ¿Durante el tiempo que estas en el aula, experimentas frecuentemente alguno de estos síntomas? (Sin que sean atribuibles a alguna enfermedad o circunstancia ajena a las condiciones ambientales del aula) (Marcar una sola casilla por cada variable)

	Nunca	Alguna vez	A menudo	A diario
Sequedad o irritación de ojos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sequedad en la piel o picor	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sequedad o dolor de garganta	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Congestión nasal	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Tos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Dolor de cabeza o mareos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fatiga o somnolencia	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Opresión en el pecho	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

18. Si has sufrido alguno de los síntomas anteriores, ¿persisten al dejar el aula? (Marcar una sola casilla)

- No
 Sí, durante unas horas
 Sí, durante el resto del día

19. ¿Como calificarías la calidad del aire del aula? (Marcar una sola casilla)

- Aceptables
 Algo mejorables
 Mejorables
 Muy mejorables
 Inaceptables

CAPÍTULO 5.

CASO DE ESTUDIO

CASO DE ESTUDIO SELECCIONADO – I.E.S. MURILLO

El centro docente elegido para realización del estudio es el **Instituto de Educación Secundaria Murillo**, situado en la ciudad de Sevilla. Este caso de estudio particular ha sido escogido debido a lo representativo de su condición en base a los criterios expuestos en el apartado anterior. Algunos de esos aspectos interesantes han sido su fecha de construcción, la orientación de sus aulas, la existencia de ventilación mecánica en el edificio o la accesibilidad ofrecida por el centro, tanto para la monitorización de las aulas como para la realización de encuestas.

DESCRIPCIÓN GENERAL DEL EDIFICIO

El IES Murillo se ubica en el distrito de Nervión, *fig. 42*, más concretamente en la calle José Recuerda Rubio, 6, junto a las facultades del campus universitario Ramón y Cajal, *fig. 43*.

El centro fue construido en dos fases al principio de la **última década del siglo XX**, periodo del que datan un gran porcentaje de los institutos públicos en Andalucía. La institución se trasladó a este nuevo edificio desde el curso 1991-1992.

El inmueble tiene una planta rectangular de unos **11.700 m² construidos**, que se orienta N-S, edificado en el extremo norte de la parcela, donde se encuentra el acceso principal al centro, *fig. 44*. En la zona sur, se ubican en el exterior las pistas deportivas y el patio.

Los dos volúmenes principales del proyecto tienen forma rectangular, encontrándose uno paralelo al otro. Se diferencia en su longitud y altura, aunque comparte el mismo ancho. En ellos se concentran la gran parte de las aulas y estas se distribuyen entre la orientación sur y la norte. La circulación del edificio se produce gracias a los cuatro núcleos de comunicación vertical que anexionan los volúmenes y que permiten el acceso desde planta baja.

Fig 42 Ubicación del IES Murillo en la trama de Sevilla (sombreado en azul). Fuente: *Elaboración propia a partir de ortofoto actual*

Fig 43 Ubicación del IES Murillo en el barrio de Nervión (sombreado en azul). Fuente: *Elaboración propia a partir de ortofoto actual*

Fig 44 Vista aérea del centro desde fachada norte. Fuente: *Elaboración propia a partir de ortofoto actual*

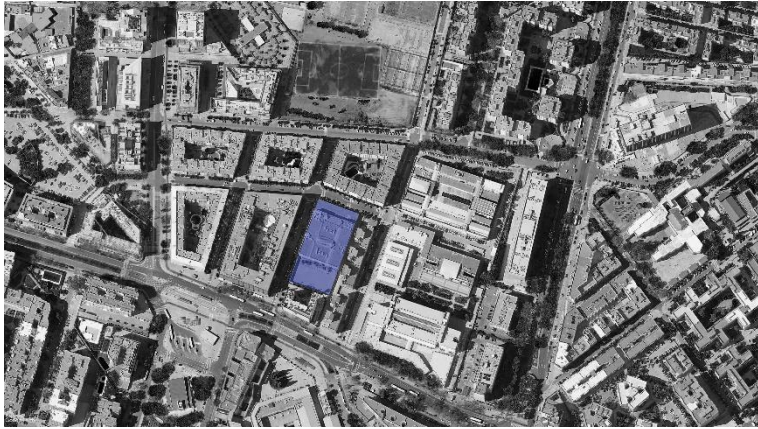


Fig 43



Fig 44



Fig 42

**Fig 45**

Fig 45 Atrio norte desde el hall principal *Fuente: Elaboración propia*

Fig 46 Acceso principal al centro por la fachada norte *Fuente: Elaboración propia*

Fig 47 Toldos móviles bajo la cubierta de policarbonato del atrio. *Fuente: Elaboración propia*

Uno de los aspectos más llamativos del edificio es la existencia de dos atrios que perforan el volumen de mayor dimensión, *fig.45*, valiéndose de cubiertas de policarbonato que permiten el paso de luz hacia el interior de este.

Debido a la existencia de estos lucernarios, las aulas y despachos se vuelcan y abren hacia ellos para iluminar y ventilar. Además, en los extremos de los volúmenes principales existen unos huecos en los forjados intermedios que son coronados por unos lucernarios de menor tamaño y que también introducen la luz natural en los pasillos.

El volumen de menor tamaño, donde se ubica el acceso al edificio, también se ve dotado de un lucernario sobre el espacio de distribución con doble altura que da paso a despachos y secretaría.

Hay que añadir también que los atrios cuentan con unos toldos móviles justo bajo la cubierta de policarbonato, *fig. 46*, los cuales se encuentran extendidos en el momento de realización del estudio, lo que puede afectar a la entrada de luz directa y evitar un sobrecalentamiento del espacio.

Otros elementos de protección del que dispone el centro es la existencia de persianas en todas las ventanas de las aulas, ya se abran hacia el exterior o hacia los atrios.

La planta baja del edificio responde a las necesidades administrativas del centro, ubicando todos estos espacios en las bandas exteriores de las fachadas, dejando un gran espacio central diáfano que sirve de lugar de recreo, encuentro y acceso.

En los siguientes niveles se pueden encontrar los despachos y las clases, unidos gracias a los espacios de circulación que conectan los núcleos de escaleras y ascensor con las aulas y aseos. A partir de la segunda planta, el edificio pierde una parte de su volumen, dando lugar a unas grandes cristalerías en la fachada norte, *fig. 47*, y que dan hacia el atrio crean la sensación de espacio semiabierto que nos da la bienvenida al centro.



Fig 47



Fig 46

INFORMACIÓN TÉCNICA RECOPIADA

El sistema constructivo del centro incorpora aislamiento en la composición de la envolvente, debido a que se construyó bajo la normativa vigente en los años 90, la **NBE-CT-79**⁴¹. De esta forma, se pueden encontrar principalmente dos tipos de cerramientos⁴²: la envolvente exterior del edificio y la envolvente hacia los atrios. Se componen de los elementos que se muestran a continuación:

- **Envolvente exterior**

50 cm de espesor, de exterior a interior:

15 cm de placas prefabricadas de hormigón, aislante de poliuretano proyectado, 31 cm de cámara de aire, 3 cm de doble placa de yeso laminado.

- **Envolvente atrio**

placas de yeso laminado, cámara de aire y placas de hormigón – se han encontrado dos variaciones, de forma alternativa y sin criterio aparente, que se diferencia según la disposición de las placas de hormigón, generando una sola cámara de aire (sección de 47 cm) o dos cámaras (sección de 48,5 cm), *fig. 48*.

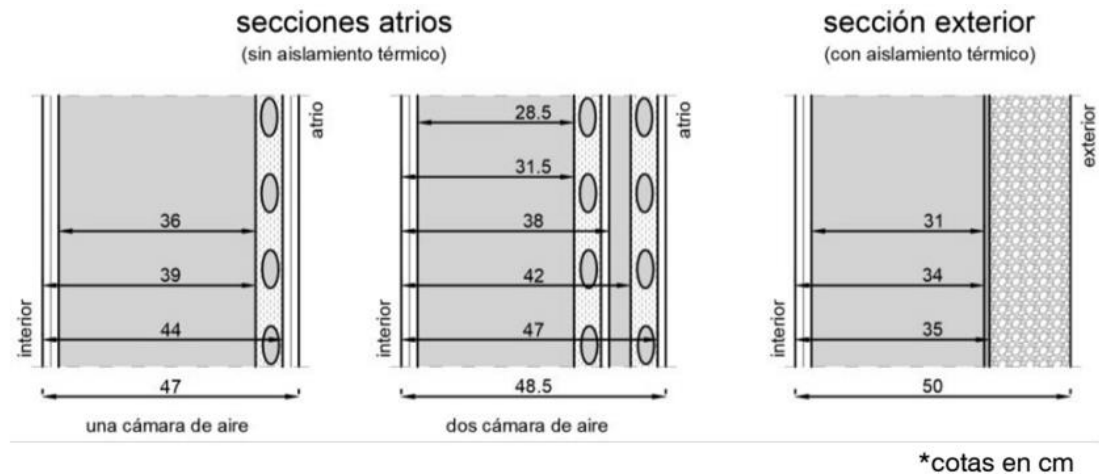


Fig 48

41. Normas Básicas de la Edificación, NBE-CT-79. Real Decreto 2429/1979, julio 1979.

42. Romero Odero, J. (2019). Trabajo Fin de Máster. *Análisis de la influencia de los espacios de transición en el comportamiento térmico de edificios docentes: El IES Murillo como caso de estudio en Sevilla*. Pág. 49.

43. La información recopilada ha sido proporcionada por Jesús Llanos Jiménez.

En cuanto a las instalaciones y sistemas mecánicos presentes en el caso de estudio, se disponen de sistemas de ventilación mediante unidades de tratamiento de aire exterior y sistemas todo-aire (rooftops). El problema es el estado en el que se encuentran dichos aparatos, donde muchos de ellos necesitan ser revisados y reparados.

En el caso de las aulas que se van a estudiar principalmente, la 2.12 y la 2.13, disponen de dichos sistemas (UTAEs) compartidos con las aulas contiguas (la 2.10 y la 2.11, respectivamente). Sin embargo, a fecha de mediados de 2019⁴³, el aparato que corresponde al aula sur, la 2.13, no funcionaba. El tipo de máquinas utilizadas son de la marca Intercisa Carrier, con potencia frigorífica de 26,75 Mcal/h, potencia calorífica de 30 Mcal/h y consumo eléctrico de 14,5 kW.

En las visitas realizadas durante el periodo de marzo a junio de 2022 se informó que las máquinas siguen sin funcionar. En el caso del aula norte, la 2.12, sí que poseen de un sistema en funcionamiento, el cual ha sido revisado varias veces y se encuentra en buen estado de mantenimiento.

Por otro lado, se debe comentar que los sistemas no se encuentran actualmente en completo funcionamiento debido a necesidades especiales del centro y los alumnos en temas de ruido, por lo que no se suelen utilizar a no ser que sea estrictamente necesario.

A continuación, se va a mostrar la planimetría general del centro (*fig. 49 y fig. 50*).

Fig 48 Secciones de los tipos de envoltente del edificio.
Fuente: Romero Otero, J. (2019). Análisis de la influencia de los espacios de transición en el comportamiento térmico de edificios docentes: El IES Murillo como caso de estudio en Sevilla. Pág 50.

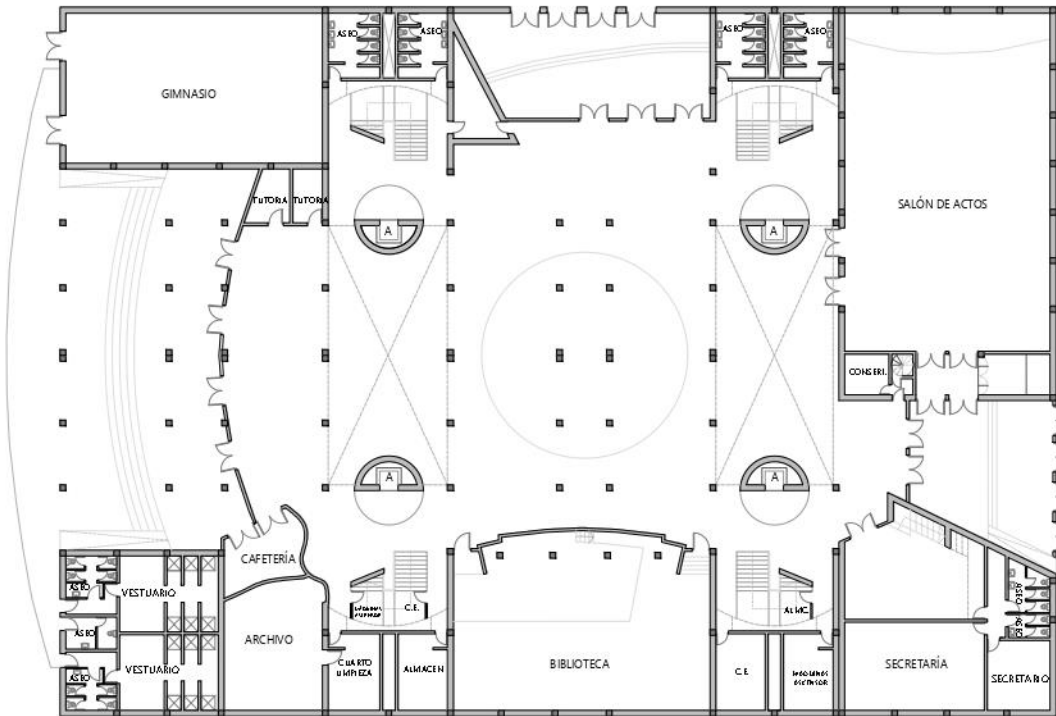
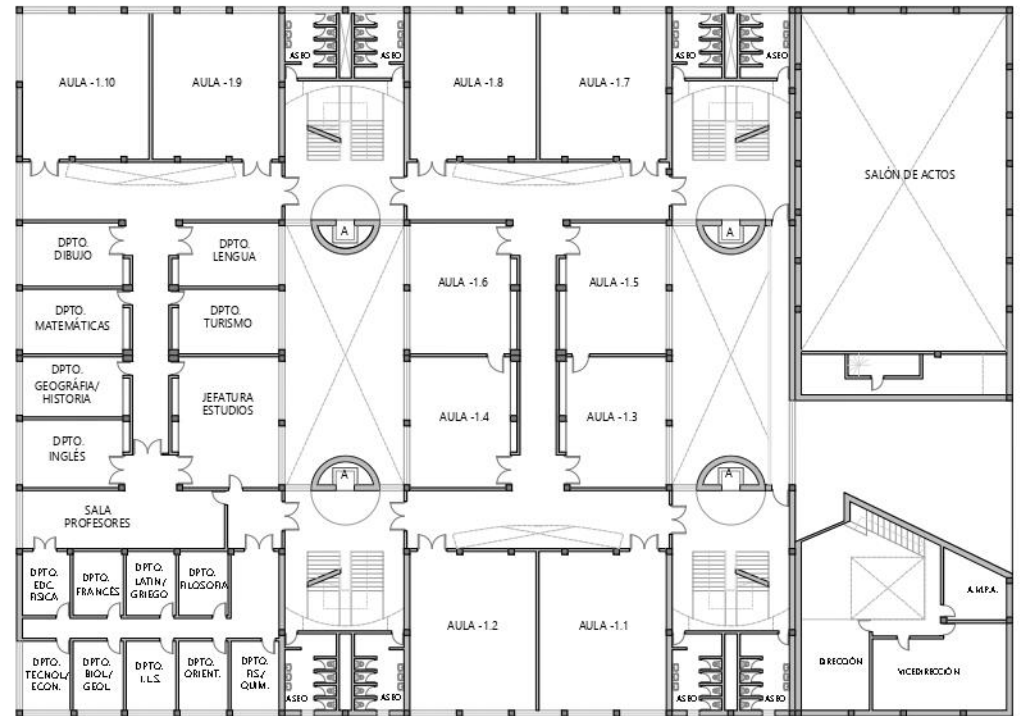
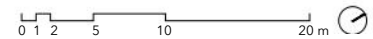


Fig 49



AULAS MONITORIZADAS

Fig 49 Planimetría básica IES Murillo. Planta baja (izq.) y planta primera (dcha.) Fuente: *Elaboración propia en base a planimetría original del centro.*



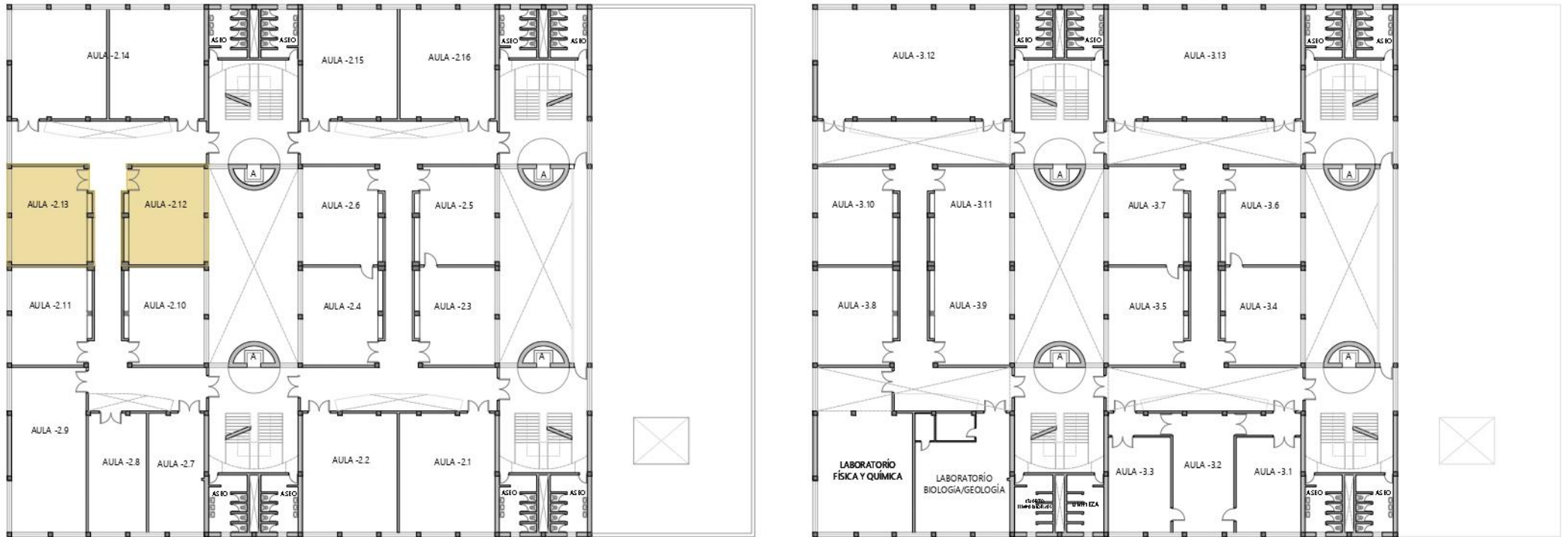


Fig 50

AULAS MONITORIZADAS

Fig 50 Planimetría básica IES Murillo. Planta segunda (izq.) y planta tercera(dcha.) Fuente: *Elaboración propia en base a planimetría original del centro.*



Fig 51



Fig 52

Fig 51 Interior aula 2.12. Fuente: *Elaboración propia*

Fig 52 Interior aula 2.13. Fuente: *Elaboración propia*

CAMPAÑAS DE MONITORIZACIÓN

Para la toma de variables ambientales se van a monitorizar dos aulas: la 2.12, *fig. 51*, y la 2.13, *fig. 52*. Estas clases han sido escogidas por su localización en la planta segunda, en el volumen sur, con una de las aulas con apertura hacia el patio interior cubierto y otra hacia el patio exterior, respectivamente.

El aula 2.12, orientada hacia el norte, será la establecida como “**Aula objeto**”, ya que en base a los datos obtenidos en dicha aula en varios periodos de medición se obtendrán los resultados del estudio. El aula 2.13, con orientación sur, servirá de apoyo para la elaboración del análisis.

En apartados posteriores se desarrollará la explicación de los procedimientos efectuados para la obtención de resultados en las aulas.

La posición de los sensores vendrá determinada por las características propias de las aulas. La ausencia de mobiliario apropiado para el apoyo de los sensores ha obligado a la colocación de estos en las paredes, a alturas de aproximadamente 1 y 2,5 m debido a la situación de las tomas de corriente en las aulas, y buscando evitar la radiación solar directa o las corrientes de aire alejándolos, en la medida de lo posible, de las ventanas, *fig. 53*.

En las mediciones se tendrá en cuenta tanto los momentos de ocupación de las aulas por los alumnos y profesores, como los días festivos o fines de semana. Se compararán los resultados con los recogidos por los sensores de la estación meteorológica para poder comprobar el comportamiento de cada espacio y sacar conclusiones que puedan ayudar al mejorar el funcionamiento de estos.



Fig 53

Fig 53 Interior del aula 2.12., ejemplo de colocación de sensor. Fuente: *Elaboración propia*

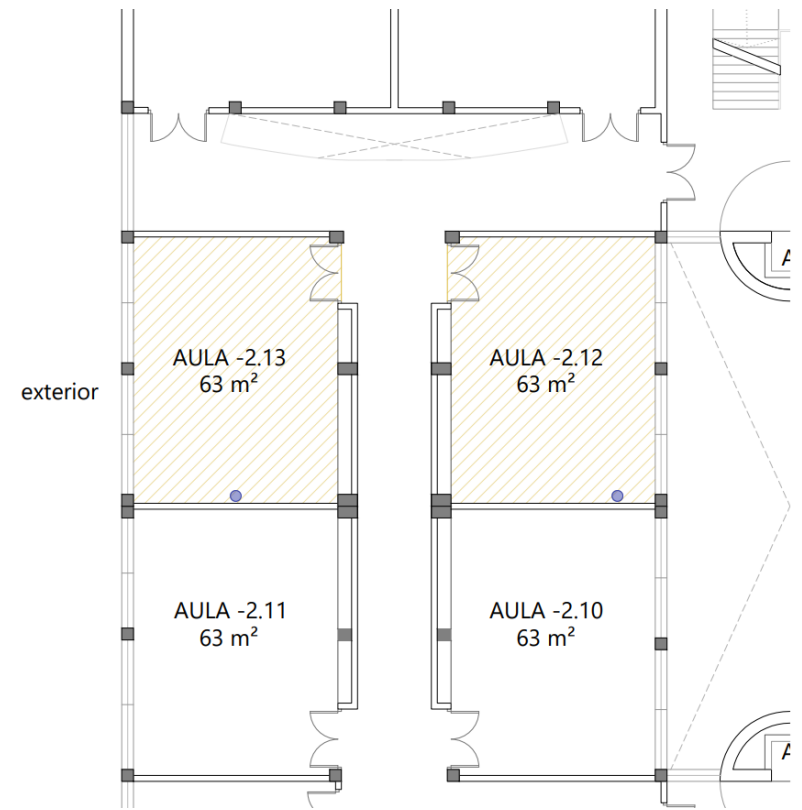


Fig 54

Fig 54 Plantas de aulas seleccionadas para el monitoreo y ubicación de sensores. Fuente: *Elaboración propia basada en el proyecto original*

mayo 2022

L	M	X	J	V	S	D
2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22
23	24	25	26	27	28	29
30	31	1	2	3	4	5

junio 2022

L	M	X	J	V	S	D
30	31	1	2	3	4	5
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30	1	2	3

Fig 55

Fig 55 Calendario de mediciones en las aulas. Fuente: Elaboración propia

Fig 56 Distribución del mobiliario de las aulas. Fuente: Elaboración propia

Las fechas escogidas para las mediciones se han fijado teniendo en cuenta las condiciones meteorológicas propias de la ciudad, y con la intención de obtener datos de estación cálida en diferentes situaciones. Así, los periodos monitorizados irán desde mediados del mes de mayo hasta mediados de junio (16 de mayo – 23 de junio), *fig. 55*.

- **Días de docencia monitorizados**
2 periodos, 27 días en total (21 lectivos, 6 no lectivos)
- **Horarios**
Jornada lectiva alumnos de Secundaria y Bachillerato: 8:00 h – 14:30 h
Apertura del centro: 8:00 h – 22:15 h

Asimismo, se dedicará un día para tomar datos realizando diferentes hipótesis de apertura de ventanas y puertas en las aulas, con objetivo de conocer cómo afecta el uso de la ventilación natural o mecánica en situación de altas temperaturas dentro de las aulas.

- **Medición especial con hipótesis de aperturas**
23 de junio



Fig 56

CAPÍTULO 6.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el siguiente capítulo se va a proceder al análisis de los valores obtenidos en las mediciones realizadas en el caso de estudio. Es por ello por lo que se han evaluado tanto las **condiciones higrotérmicas** presentes en las aulas, como los **niveles de concentración de CO₂** en dichos espacios.

Se va a realizar una síntesis de aquellos resultados que resulten más relevantes, como puedan ser: la comparativa entre condiciones higrotérmicas interiores y exteriores a las aulas; los valores medios; la catalogación de los días según su IAQ, T^a o Hr, entre otros.

Por último, se comprobarán los datos obtenidos durante el día de realización de diferentes hipótesis.

Todo lo mencionado se ha representado mediante gráficas que recogen la evolución de los valores en las mediciones, así como tablas para el estudio, comparación y catalogación de las condiciones en las aulas.

En el [Anexo I](#), se pueden verificar los resultados que se van a comentar próximamente.



Fig 57

MEDICIÓN 1: COMPARATIVA ENTRE AULAS 2.12 Y 2.13

Para comenzar, se procede a analizar el primer periodo de monitorización, el cual se llevó a cabo entre los días 16 de mayo y 31 de mayo, en las aulas 2.12 y 2.13. Al revisar los resultados, se ha determinado hacer uso de aquellos que corresponden a la **semana 1**, ya que, con el objetivo de hacer un análisis comparativo entre aulas, es donde se hallan los **valores más representativos del comportamiento de cada espacio**.

Estas aulas, de igual tamaño (62 m²), corresponden a diferentes cursos de bachillerato por lo que su ocupación es variable: existen horas del día en el que se encuentran vacías, mientras que, en aquellos en los que sí se está utilizando, el nº de alumnos es similar (aproximadamente 30 en ambas clases). Como se observa en la *fig. 58*, los periodos ocupados de las aulas son coincidentes en muchos tramos horarios (18 de 30 semanales), lo que se tendrá en cuenta a la hora de extraer conclusiones.

A continuación, se muestra una tabla comparativa para tener claras las características de cada una de las aulas y así facilitar la lectura de datos de esta primera medición.

Tab 6

	DIMENSIÓN (m ²)	ORIENTACIÓN	Nº DE ALUMNOS	CURSO	EDAD DE LOS ALUMNOS	VENTILACIÓN MECÁNICA ENCENDIDA (*)
AULA 2.12 (norte)	62	Norte	30	1º BTO	16 - 17 años	Sí
AULA 2.13 (sur)	62	Sur	28	2º BTO	17 - 18 años	No

(*) La ventilación mecánica del aula 2.12 funciona correctamente, aunque no siempre sea activada, mientras que la del aula 2.13 no funciona bien.

AULA 2.12	L	M	X		V
8:00	*	*	*		*
9:00		*	*		*
10:00		*	*	*	*
11:00	RECREO				
11:30			*	*	
12:30	*				
13:30	*	*	*		*

AULA 2.13	L	M	X	J	V
8:00	*	*	*		*
9:00		*	*		*
10:00		*	*	*	*
11:00	RECREO				
11:30			*	*	
12:30	*				
13:30	*	*	*		*

Fig 58

Fig 57 Interior del aula 2.13. Fuente: Elaboración propia

Fig 58 Horarios de ocupación de las aulas 2.12 y 2.13, señalados aquellos que coinciden. Fuente: Elaboración propia a partir de información proporcionada por IES Murillo

Tab 6 Tabla resumen de información de las aulas 2.12 y 2.13. Fuente: Elaboración propia a partir de información proporcionada por IES Murillo

EVOLUCIÓN DE LAS CONDICIONES HIGROTÉRMICAS

Lo primero que se puede observar es que, durante la semana 1, las temperaturas en las aulas son más altas que las exteriores en las primeras horas de la mañana; desde el mediodía y hasta el final de la jornada lectiva, las temperaturas interiores aumentan ligeramente, aunque manteniéndose, mientras que las exteriores alcanzan los 35°C en algunos momentos.

En cualquier caso, las **temperaturas interiores superan el intervalo de temperaturas operativas** para la estación cálida, que se encuentra entre los 23 - 25 °C⁴⁴, ya que, como se observa en la gráfica, *gráf.1*, los datos representados se encuentran en su mayoría por encima del rango establecido por la normativa. Tenemos en cuenta la definición de **horas fuera de consigna** según el CTE-DB-HE⁴⁵.

“Horas fuera de consigna: número de horas a lo largo del año en el que cualquiera de los espacios habitables acondicionados del edificio o, en su caso, parte del edificio, se sitúa, durante los periodos de ocupación, fuera del rango de temperaturas de consigna de calefacción o de refrigeración, con un margen superior a un 1 °C, definido en sus condiciones operacionales”

Observando la *tab. 7*, se puede concluir que el porcentaje de horas lectivas que las aulas están fuera del rango de temperatura de consigna es muy elevado, incluso con días en el aula 2.13 que están el 100% del tiempo por encima de este.

Según normativa⁴⁶, solo puede haber un **máximo de 4% de horas al año ocupadas fuera del rango de confort**. Viendo los datos obtenidos durante las campañas de monitorización, se deduce que probablemente este porcentaje sea superado en ambas aulas, ya que, durante una sola semana se rebasa el 50% de horas fuera de consigna en ambas aulas, llegando incluso al 70 % en el aula más perjudicada. Esto deja a las aulas con unas 15 h y 9 h de confort en las aulas 2.12 y 2.13, respectivamente.

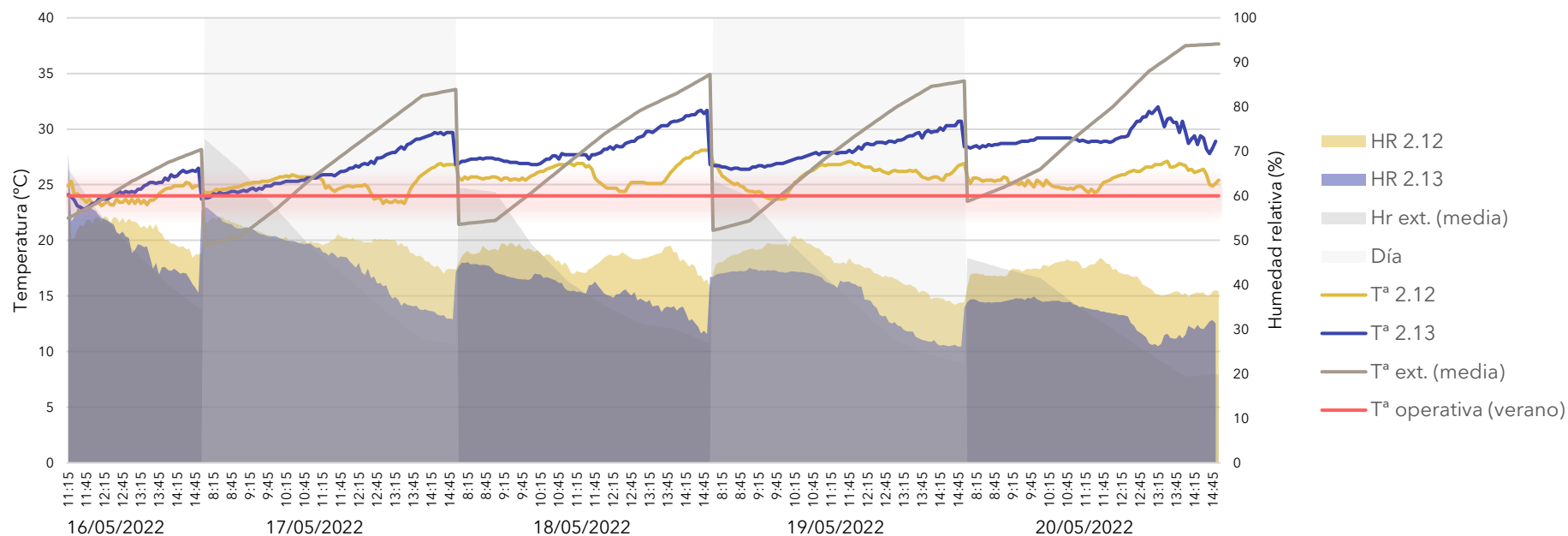
Por otro lado, los **niveles de humedad relativa interiores siguen un patrón similar a los niveles exteriores, disminuyendo conforme avanza el día**. Estos valores sí que se emplazan, en su mayoría, entre las condiciones operativas o cercanas al intervalo, el cual va desde el 45 % al 60 % de Hr para el verano.

44. En el RITE 2021 se muestra en la que las temperaturas operativas de verano se encuentran entre 23°C y 25°C, como se explicó en el apartado 2.3 Marco normativo de este documento.

45. Código Técnico de la Edificación. Documento Básico de Ahorro de Energía, anejo A Terminología.

46. En el CTE-DB-HE 0. Limitación de consumo energético aparece un artículo donde se describe que “El total de horas fuera de consigna no excederá el 4% del tiempo total de ocupación”.

EVOLUCIÓN CONDICIONES HIGROTÉRMICAS · SEMANA 1 (16-20 MAYO)



Gráf 1

HORAS FUERA DE CONSIGNA - Tª interior

	HORAS FUERA DE CONSIGNA - Tª interior											
	Semana 1											
	16 MAYO 2022		17 MAYO 2022		18 MAYO 2022		19 MAYO 2022		20 MAYO 2022		TOTAL SEMANAL	
	(horas)	(%)	(horas)	(%)	(horas)	(%)	(horas)	(%)	(horas)	(%)	(horas)	(%)
AULA 2.12 (norte)	0 min	0	55 min	14,1	6h 15 min	96,2	5h 25 min	78,3	5h	76,9	17h 25 min	54,1
AULA 2.13 (sur)	35 min	9	3h 10 min	48,7	6h 30 min	100	6h 30 min	100	6h 30 min	100	23h 15 min	71,5

Tab 7

Gráf 1 Evolución de las condiciones higrotérmicas interiores y exteriores medias de las aulas 2.12. y 2.13 durante la semana 1 en horario ocupado. Fuente: *Elaboración propia*

Tab 7 Horas fuera de consigna de las temperaturas interiores de las aulas 2.12. y 2.13 durante la semana 1. Fuente: *Elaboración propia*

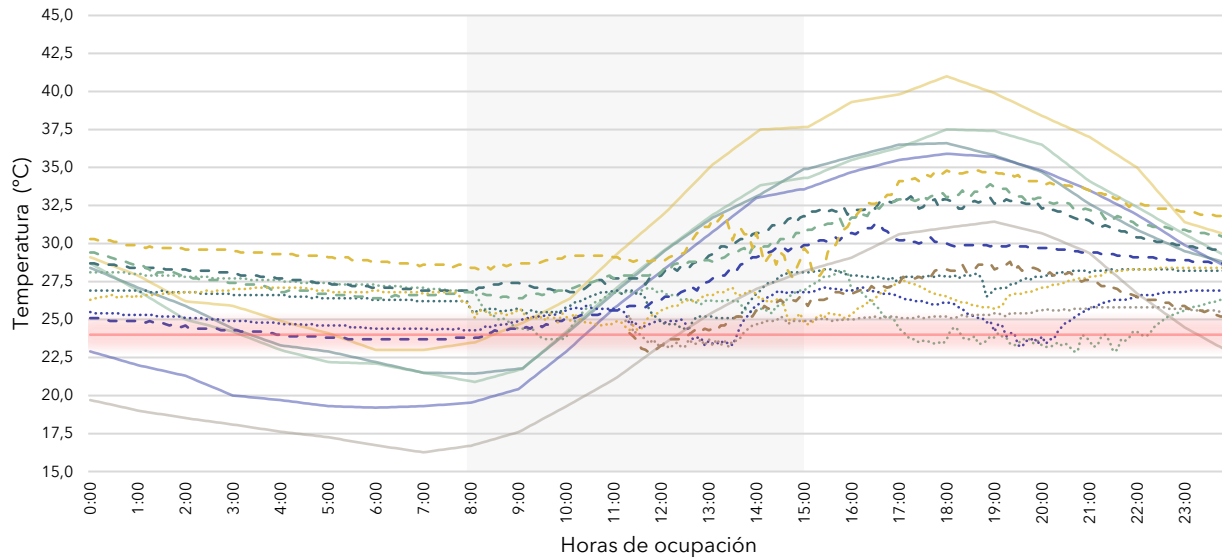
Al comprobar las diferencias de condiciones medias para cada día en las dos aulas, como se muestra en la *tab. 8*, se concluye que **el Aula 2.13 es la más perjudicada con respecto a las condiciones higrotérmicas interiores**: los valores recogidos son los más alejados de los considerados por las condiciones operativas (temperaturas más altas, humedad relativa más baja). Esto puede deberse a la **orientación sur** (más perjudicial con respecto al Aula 2.12, orientada hacia el norte) y a que, según la información dada por el centro, en dicha aula **no se utiliza el sistema de ventilación mecánica** ya que no funciona, por lo que la ventilación y el control de la temperatura se producen únicamente mediante la apertura de las ventanas.

También es esta aula la que tiene unas condiciones de temperatura y humedad más parecidas a las exteriores. Básicamente el espacio se convierte en un lugar incapaz de crear un ambiente que proteja a los usuarios de la situación climatológica tras la envolvente.

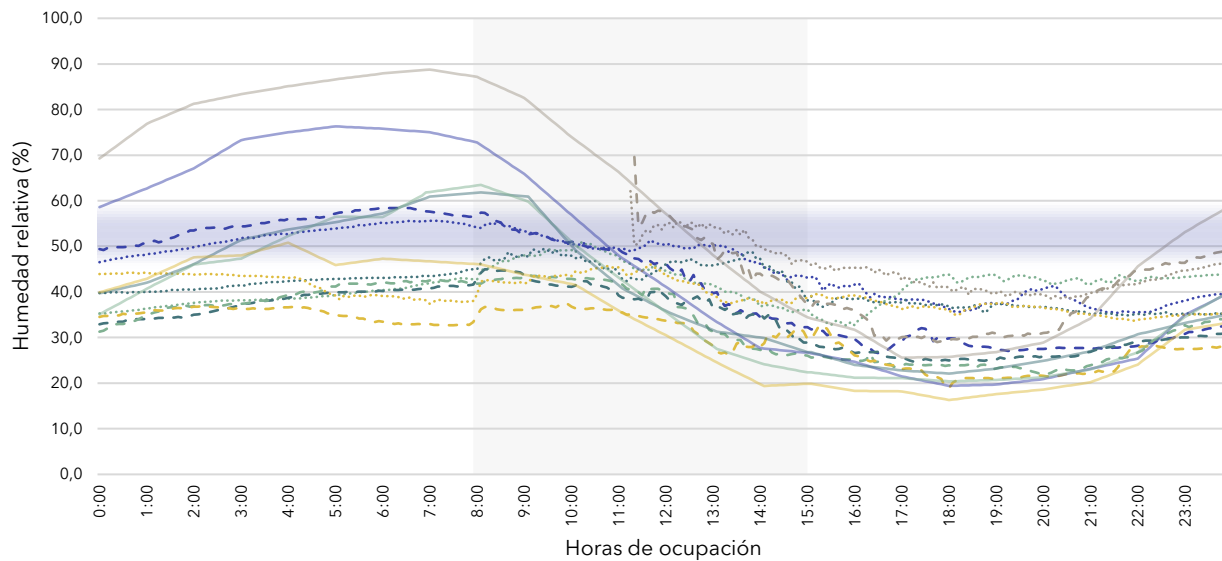
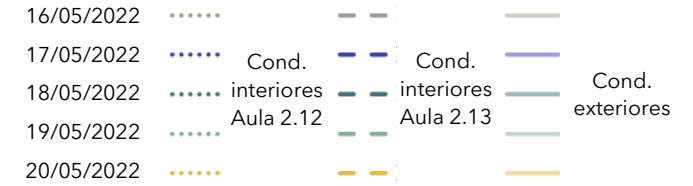
Como se observa en los gráficos por días, *gráf. 2* y *gráf. 3*, durante el horario de ocupación de las aulas (de 8:00 h a 15:00 h) las temperaturas están fuera de las condiciones óptimas, y la humedad relativa disminuye por debajo de dichas condiciones. Este comportamiento se reproduce durante todos los días de la semana y durante el resto de la monitorización de los espacios. En el resto de las horas del día, las condiciones interiores siguen la tendencia de los valores exteriores.

Tab 8

ANÁLISIS CONDICIONES HIGROTÉRMICAS																				
Semana 1																				
16 MAYO 2022				17 MAYO 2022				18 MAYO 2022				19 MAYO 2022				20 MAYO 2022				
Tª int	Tª ext	Hr int	Hr ext	Tª int	Tª ext	Hr int	Hr ext	Tª int	Tª ext	Hr int	Hr ext	Tª int	Tª ext	Hr int	Hr ext	Tª int	Tª ext	Hr int	Hr ext	
(°C)		(%)		(°C)		(%)		(°C)		(%)		(°C)		(%)		(°C)		(%)		
AULA 2.12 (norte)	24,0	23,2	52,3	59	25,1	27,2	49,9	46,6	26,0	28,8	46,1	39,6	25,8	29	44,1	38,2	25,6	31,3	41,9	33
AULA 2.13 (sur)	24,6		49,5		26,4		45,4		28,4		39,0		28,1		37,3		29,3		33,4	



Gráf 2



Gráf 3

Tab 8 Evolución de las condiciones higrotérmicas interiores y exteriores medias de las aulas 2.12. y 2.13 durante la semana 1 en horario ocupado. Fuente: *Elaboración propia*

Gráf 2 Temperaturas exteriores e interiores durante la semana 1. Fuente: *Elaboración propia*

Gráf 3 Humedad relativa exterior e interior durante la semana 1. Fuente: *Elaboración propia*

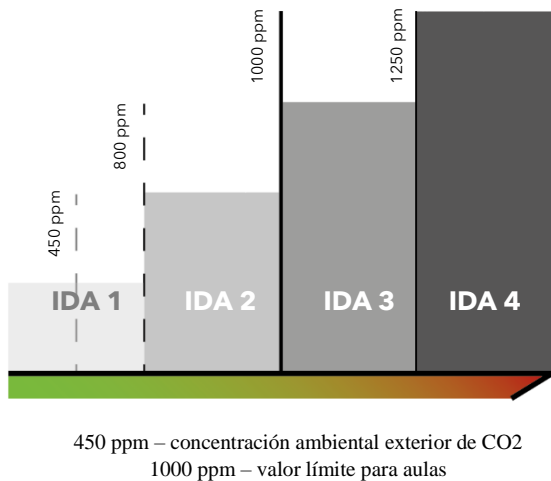


Fig 59

EVALUACIÓN DE LOS NIVELES DE CONCENTRACIÓN DE CO₂

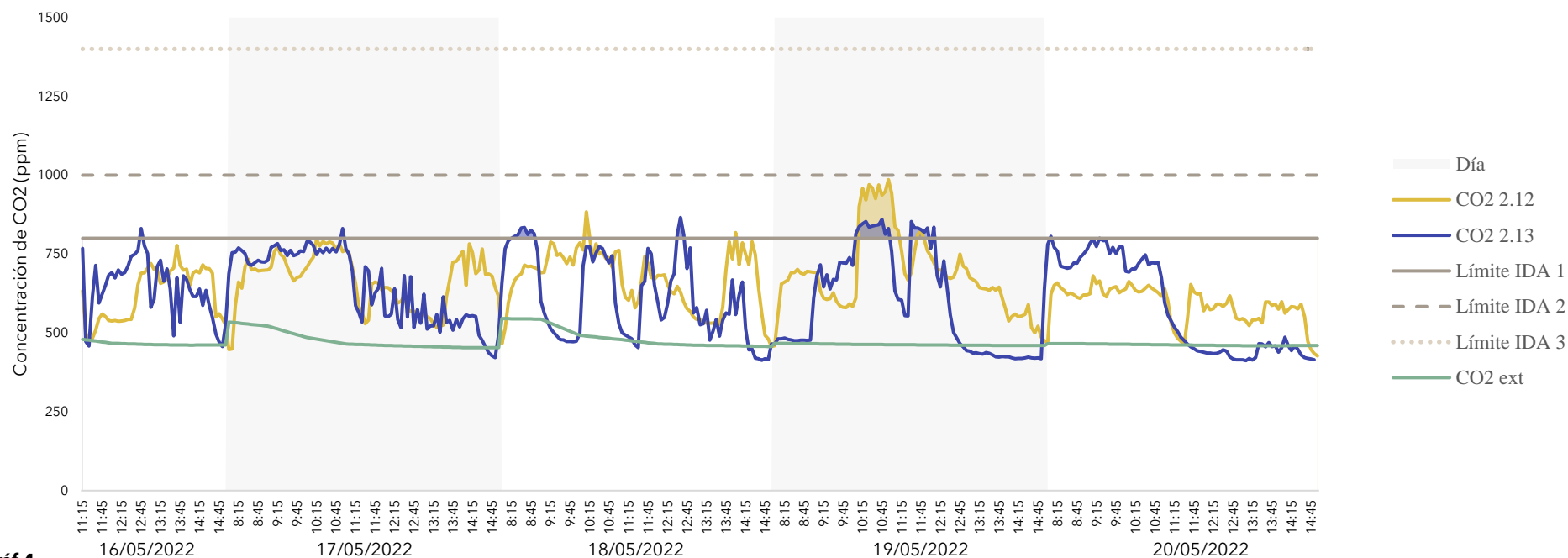
En lo relativo a los niveles de CO₂ en el interior de las aulas, se ha establecido una **clasificación de la calidad interior del aire** en el caso de estudio, a partir de la clasificación que se expone en el RITE 2007⁴⁷.

Gracias a los datos extraídos por la estación meteorológica que posee el grupo de investigación TEP 130 en el Centro Internacional de la Universidad de Sevilla, situado también en el barrio de Nervión, se conocen los **valores de la concentración ambiental exterior de CO₂ en la zona**. Según los sensores, y durante el periodo completo de medición, el nivel exterior medio que se obtiene es de 471 ppm entre los días 16 y 31 de mayo; sin embargo, para la comparación se va a hacer uso del dato de **450 ppm** de concentración de CO₂ exterior. De este modo, las 4 categorías del IDA (1-4) fijan unos rangos de valores de concentración CO₂ sobre el nivel exterior, por lo que se obtiene una clasificación como la que se muestra en la *fig. 59*. Al delimitar los niveles de IAQ de esa forma, se analizarán los resultados obtenidos en ambas aulas:

Representado en la *gráf. 4*, se observa el **nivel de concentración de CO₂ en las aulas**, el cual se encuentra dentro de los **estándares propios de un IDA 1**. Esto supone un nivel más favorable que el establecido para aulas de secundaria, lo que puede deberse a las **recomendaciones de ventilación** para hacer frente a la pandemia del **COVID-19**. Actualmente, las aulas siguen protocolos de ventilación muy estrictos, donde se tienen las ventanas abiertas durante todo el día para evitar la propagación de enfermedades. Como se ha analizado anteriormente, estos excelentes valores de concentración de CO₂ en las aulas han causado **problemas en sus condiciones higrotérmicas**, donde se ha visto que en la mayoría del tiempo monitorizado se encuentran fuera del rango de las temperaturas de confort. En la *tab. 9*, queda reflejado que, por lo general, en el **aula 2.13 se obtienen valores medios más adecuados que en la 2.12**. Sin embargo, en la gráfica se observa que el **aula norte tiene unos valores más estables**, manteniéndose cercano a las 600-650 ppm durante el horario lectivo, mientras que en el aula sur tiene más picos de concentración de CO₂. También, el aula 2.13 alcanza niveles de CO₂ inferiores a los exteriores en algunos puntos, lo que sería imposible si se tienen las ventanas abiertas. Probablemente sea debido al margen de error propio de los sensores y a que la estación meteorológica con la que se obtienen los datos exteriores no está justo al lado del centro, sino cercana.

47. Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios. Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio.

EVOLUCIÓN NIVELES CO₂· SEMANA 1 (16-20 MAYO)



Gráf 4

Tab 8

ANÁLISIS NIVEL DE CONCENTRACIÓN DE CO ₂										
Semana 1										
	16 MAYO 2022		17 MAYO 2022		18 MAYO 2022		19 MAYO 2022		20 MAYO 2022	
	int.	ext.	int.	ext.	int.	ext.	int.	ext.	int.	ext.
AULA 2.12 (norte)	622,6	465,3	666,4	477,1	670,9	486,5	688,2	462,6	590,1	462,1
AULA 2.13 (sur)	643,6		648,3		614,0		596,0		579,2	

Gráf 4 Evolución de los niveles de CO₂ de las aulas 2.12. y 2.13 durante la semana 1. *Fuente: Elaboración propia*

Tab 9 Análisis comparativo del promedio del nivel de concentración de CO₂ interior y exterior en las aulas 2.12. y 2.13 durante la semana 1 en horario ocupado. *Fuente: Elaboración propia*

Fig 59 Clasificación del IAQ para el caso de estudio y según la normativa vigente. *Fuente: Elaboración propia*

Con el objetivo de poder hacer una clasificación y poder comparar los resultados que se dan durante la monitorización, se va a analizar el **tiempo que se han superados los límites establecidos según los valores de IDA**. En el caso de estudio, al no superar en ningún momento los 1000 ppm (valor límite para aulas), se ha **reducido el límite a 800 ppm**: así se verifican el porcentaje de horario lectivo que las aulas se mantienen dentro del IDA 1 o del IDA 2.

En la *gráf. 4*, se representaban los periodos donde se veía superado el borde entre IDA 1 y 2. Se puede apreciar cómo, aunque los rebases en el aula 2.12 sean más altos, en el aula 2.13 la frecuencia es mayor, aumentando el tiempo dentro del IDA 2. Se comprueba en la *tab. 10*, en el cómputo total de horas por encima de los 800 ppm semanal en cada aula.

A modo de comparativa, se adjunta el cómputo de horas por encima de los 800 ppm de CO₂ correspondiente a la semana 2, *tab. 11*, donde se hace más evidente la diferencia entre ambas aulas. Dicha desigualdad es probablemente debida a que, por la fecha en la que se encuentra, el aula 2.13 tuviese menos alumnos (esta aula se dedica al curso de 2º de Bachillerato, el cual prepara los exámenes finales de cara a selectividad en esta época).

Incluso habiendo comentado esto, los valores siguen siendo excelentes en ambas aulas, ya que el porcentaje de tiempo semanal en el que se encuentran en el intervalo de IDA 2 es inferior al 10 %. Esto quiere decir que, en general, las concentraciones de CO₂ en las aulas son propias de las que se debieran encontrar en hospitales o guarderías, correspondientes al IDA 1⁴⁸, por encima de lo exigido.

Lo más factible es que, como se ha comentado anteriormente, esto sea debido al riguroso protocolo frente a la situación COVID que se ha instaurado en este curso escolar en las aulas. La apertura de ventanas y puertas ha sido clave allá donde la ventilación mecánica se convierte en una opción inviable por motivos de inoperatividad de los aparatos o por las molestias de ruido causadas por los sistemas.

Estos buenos datos en materia de calidad de aire como se han visto en los niveles de CO₂ han sido en detrimento de las condiciones higrotérmicas, con valores de temperatura y humedad relativa superiores al rango de confort que resultan incómodos e incluso perjudiciales para la salud del alumnado y profesores.

48. En el RITE 2007 se especifica que el nivel IDA 1 (calidad de aire óptima) es el recomendado para locales de uso hospitalario, clínicas, laboratorios y guarderías, mientras que el IDA 2 (calidad de aire buena) sería suficiente para oficinas, residencias, museos, y aulas de enseñanza, entre otros.

REBASES SOBRE LOS 800 PPM DE CO₂												
Semana 1												
	16 MAYO 2022		17 MAYO 2022		18 MAYO 2022		19 MAYO 2022		20 MAYO 2022		TOTAL SEMANAL	
	(horas)	(%)	(horas)	(%)	(horas)	(%)	(horas)	(%)	(horas)	(%)	(horas)	(%)
AULA 2.12 (norte)	0 min	0,0	0 min	0,0	15 min	4,2	1h 15 min	20,8	0 min	0,0	1h 30 min	5,0
AULA 2.13 (sur)	5 min	1,4	5 min	1,4	50 min	13,9	1h 30 min	25,0	5 min	1,4	2h 5 min	6,9

El valor (___ min/h) corresponde al tiempo acumulado por encima de los 800 ppm de CO₂ en cada clase y día.

El valor (___ %) corresponde al porcentaje de tiempo con respecto a la jornada lectiva (6 horas) en cada clase y día.

Tab 10

REBASES SOBRE LOS 800 PPM DE CO₂												
Semana 2												
	23 MAYO 2022		24 MAYO 2022		25 MAYO 2022		26 MAYO 2022		27 MAYO 2022		TOTAL SEMANAL	
	(horas)	(%)	(horas)	(%)	(horas)	(%)	(horas)	(%)	(horas)	(%)	(horas)	(%)
AULA 2.12 (norte)	15 min	4,2	0 min	0,0	1h 30 min	25,0	30 min	8,3	35 min	9,7	2h 50 min	9,4
AULA 2.13 (sur)	5 min	1,4	0 min	0,0	20 min	5,6	0 min	0,0	0 min	0,0	25 min	1,4

Tab 11

Tab 10 Recuento de valores por encima de los 800 ppm en las aulas 2.12 y 2.13 en la semana 1. Fuente: *Elaboración propia*

Tab 11 Recuento de valores por encima de los 800 ppm en las aulas 2.12 y 2.13 en la semana 2. Fuente: *Elaboración propia*

Con el objetivo de sintetizar las variables anteriormente analizadas, se van a catalogar los días de estas primeras semanas de monitorización para tener una idea general del comportamiento ambiental en el interior de las aulas. Se va a clasificar en base a las variables de T^a y Hr, ya que estos parámetros son los que diferencian unos días de otros en las aulas: ya que las concentraciones de CO_2 son tan favorables, encontrándose la mayor parte del tiempo en niveles de IDA 1, solo se van a clasificar según las condiciones higrotérmicas. Para comprobación del total de los datos obtenidos, véase el [Anexo I](#).

CATALOGACIÓN EN DÍAS TIPO SEGÚN T^a Y HR

Se plantean 3 días tipo, con variaciones, con criterios basados en las condiciones operativas, [tab 12](#):

- **DÍAS TIPO 1:** Versión A) **tipo ideal**, [gráf. 5](#), dentro de las condiciones de confort; versión B) temperaturas dentro de las condiciones de confort, humedad relativa por debajo
- **DÍAS TIPO 2:** Versión A), [gráf. 6](#), temperaturas sobre las condiciones de confort, humedad relativa dentro del intervalo; versión B) temperaturas sobre las condiciones de confort, humedad relativa por debajo
- **DÍAS TIPO 3:** Temperaturas y humedad relativa por debajo de las condiciones de confort.

En la [tab. 13](#) se han contabilizado la cantidad de días tipo que se obtienen cada semana en esta primera medición.

Como se puede observar, el tipo 2 es el dominante durante la primera semana, mientras que el tipo 1 aparece más en la segunda. Esto puede ser debido a la bajada de las temperaturas exteriores entre ambas semanas. El tipo 3 solo aparece en el aula 2.13 y en los últimos días de monitorización, durante la semana 3, donde de nuevo se estabilizaron las temperaturas exteriores.

Por otro lado, el subtipo B, aquel donde los valores de Hr se encuentran por debajo de la normativa, es el más frecuente: 6 y 7 días de 12 totales tienen subtipo B en las aulas 2.12 y 2.13, respectivamente).

De los llamados “tipo ideal”, solo se podrían catalogar dos días durante la primera semana y otro más en la segunda.

Tab 12 Criterios de catalogación según T^a y Hr *Fuente: Elaboración propia*

Tab 13 Catalogación de días según T^a y Hr durante la semana 1. *Fuente: Elaboración propia*

Gráf 5 Condiciones día tipo 1 *Fuente: Elaboración propia*

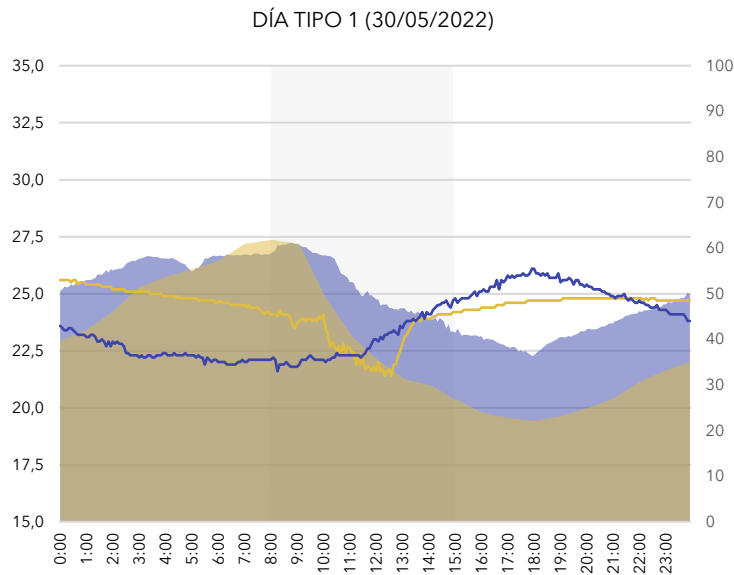
Gráf 6 Condiciones día tipo 2. *Fuente: Elaboración propia*

		CATALOGACIÓN Tª Y HR		
		Semana 1	Semana 2	Semana 3
		AULA 2.12	DÍA TIPO 1A	1 días
DÍA TIPO 1B	0 días		3 días	0 días
DÍA TIPO 2A	2 días		1 días	0 días
DÍA TIPO 2B	2 días		1 días	0 días
DÍA TIPO 3A	0 días		0 días	0 días
AULA 2.13	DÍA TIPO 1A	1 días	1 días	0 días
	DÍA TIPO 1B	0 días	3 días	0 días
	DÍA TIPO 2A	1 días	0 días	0 días
	DÍA TIPO 2B	3 días	1 días	0 días
	DÍA TIPO 3A	0 días	0 días	2 días

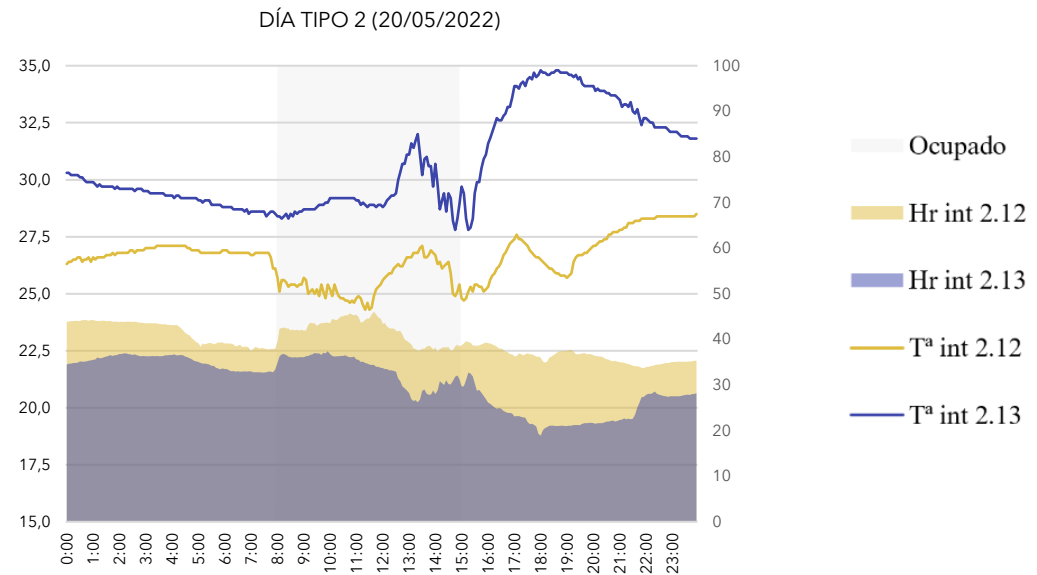
Categoría	Tª (°C)	Hr (%)
DÍA TIPO 1A	23<x<25	45<x<60
DÍA TIPO 1B	23<x<25	<45
DÍA TIPO 2A	>25	45<x<60
DÍA TIPO 2B	>25	<45
DÍA TIPO 3A	<23	45<x<60

Tab 12

Tab 13



Gráf 5



Gráf 6

MEDICIÓN 2: SEMANA DE ALTAS TEMPERATURAS EN AULA 2.12

Se plantea un segundo periodo de monitorización, que se efectúa entre el 13 y el 23 de junio. Debido a las altas temperaturas que se venían produciendo en la ciudad, se pensó en volver a tomar datos del aula 2.12, para comprobar la adaptación del espacio y sus condiciones interiores con respecto a las condiciones exteriores en periodo cálido. Siguiendo el esquema de la medición anterior, se van a usar los valores obtenidos durante la primera semana, correspondiente a la semana 4, ya que es cuando se registran datos más significativos.

EVOLUCIÓN DE LAS CONDICIONES HIGROTÉRMICAS

Lo primero que llama la atención en la representación de las condiciones higrotérmicas, *gráf. 7*, es los valores estables que se obtienen el 16 de junio. Es debido a que fue día festivo en la ciudad, y por lo tanto no hubo clases, permaneciendo el espacio vacío y con los huecos cerrados. Esto nos da una idea del “estado inicial” que se puede producir en las aulas cuando se encuentran en desuso.

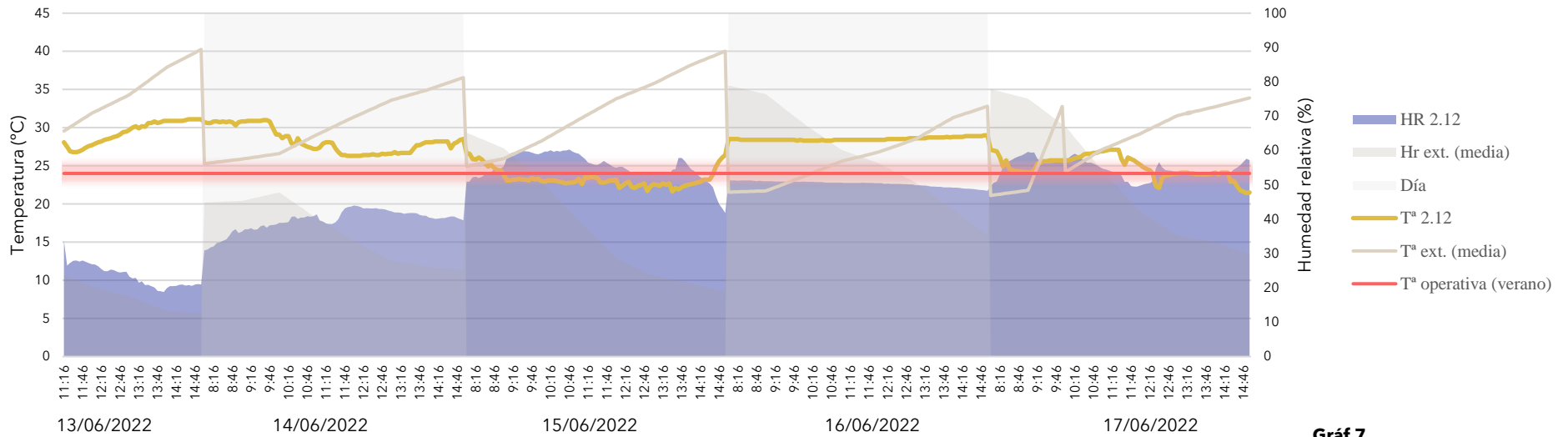
En cuanto al análisis de las condiciones interiores, en la *tab. 14* se exponen el promedio de los valores recogidos por el sensor durante la semana. Si se comparan estos datos con la representación gráfica, se determina que las **temperaturas interiores se encuentran muy por encima de las temperaturas de confort**. Durante los dos primeros días de la semana, con unas temperaturas exteriores máximas que oscilan entre los 35-40 °C, las temperaturas interiores son cercanas a los 30°C. Sin embargo, durante el tercer día, con unas temperaturas exteriores iguales en el horario lectivo, la T^a interior sí se encuentra dentro de los límites, a pesar de llegar también a los 40 °C. Esto pudiera deberse a que se hubiera hecho un uso más intensivo de la climatización, siendo activada desde el comienzo de la jornada al no poder aguantar el fuerte calor. Por otro lado, los valores de **humedad relativa interiores** se mantienen generalmente **constantes**, en comparación con las condiciones exteriores, aunque no siempre dentro del rango de los 45 % – 60 %. Con relación a las **horas fuera de consigna** (*tab. 15*) que se han registrado, se observa como casi el 75 % del tiempo semanal de clase se han encontrado con una T^a int. alejada de la zona de confort. Se comprueba como hay incluso días donde todo el horario lectivo permanece en fura de consigna.

Gráf 7 Evolución de las condiciones higrotérmicas medias interiores y exteriores en el aula 2.12. durante la semana 4 en horario ocupado. *Fuente: Elaboración propia*

Tab 14 Análisis comparativo del promedio de las condiciones higrotérmicas en el aula 2.12. durante la semana 4. *Fuente: Elaboración propia*

Tab 15 Horas fuera de consigna de las temperaturas interiores en el aula 2.12 durante la semana 4. *Fuente: Elaboración propia*

EVOLUCIÓN CONDICIONES HIGROTÉRMICAS · SEMANA 4 (13-17 JUNIO)



Gráf 7

ANÁLISIS VALORES PROMEDIOS										
Semana 4										
	13 JUNIO 2022		14 JUNIO 2022		15 JUNIO 2022		16 JUNIO 2022		17 JUNIO 2022	
	int.	ext.	int.	ext.	int.	ext.	int.	ext.	int.	ext.
Tª (°C)	29,6	34,9	28,3	30,3	23,4	32,1	28,5	26,3	24,9	28,3
Hr (%)	27,4	17,1	39,6	36,7	55,2	32,1	50,3	59,0	54,8	51,8

Tab 14

HORAS FUERA DE CONSIGNA - Tª interior												
Semana 4												
	13 JUNIO 2022		14 JUNIO 2022		15 JUNIO 2022		16 JUNIO 2022		17 JUNIO 2022		TOTAL SEMANAL	
	(horas)	(%)	(horas)	(%)	(horas)	(%)	(horas)	(%)	(horas)	(%)	(horas)	(%)
AULA 2.12 (norte)	3h 45 min	57,7	6h 30 min	100	4h 15 min	65,4	6h 30 min	100	3h 15 min	50	24h 15 min	74,6

Tab 15

EVOLUCIÓN DE LOS NIVELES DE CONCENTRACIÓN DE CO₂

Por otro lado, los **niveles de concentración de CO₂ en el interior son excelentes** a lo largo de toda la semana, *gráf. 8*, con algunos picos registrados por encima de los 800 ppm, igual que lo obtenido en la medición anterior. En la *tab. 16* se muestran el promedio de los niveles obtenidos, donde cada la media diaria es menor a 600 ppm, donde la mayor parte del tiempo el aula se encuentra solo a unas 100 ppm por encima de la concentración exterior. Esto se pone también se manifiesto en la *tab. 17*, donde solo durante 1h y 15 min totales a la semana se ha rebasado las 800 ppm.

CATALOGACIÓN EN DÍAS TIPO SEGÚN Tª Y HR

La catalogación de estas dos semanas de la segunda campaña de monitorización ha resultado en que 5 días corresponden al “*día tipo ideal*” (tipo 1A), apareciendo 2 en la cuarta semana y 3 en la quinta. Por lo que, se puede concluir que, a pesar de las altas temperaturas y teniendo en cuenta que 1 de los días de la cuarta semana fue festivo, se han registrado más días ideales durante esta segunda medición que en la primera, donde solo se obtuvieron un total de 3 días durante 3 semanas medidas.

Para verificación de todos los datos recogidos, véase el [Anexo I](#).

Gráf 8 Evolución de los niveles de CO₂ en el aula 2.12. durante la semana 4. *Fuente: Elaboración propia.*

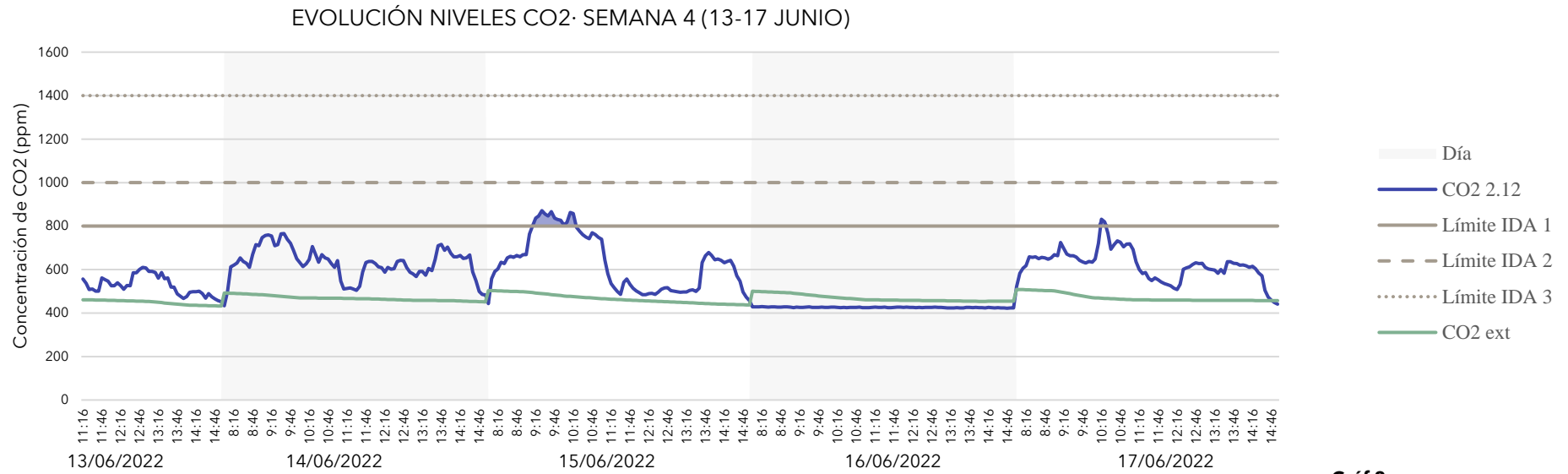
Tab 16 Análisis comparativo del promedio del nivel de concentración de CO₂ interior y exterior en el aula 2.12 durante la semana 4 en horario ocupado. *Fuente: Elaboración propia*

Tab 17 Recuento de valores por encima de los 800 ppm en el aula 2.12 y 2.13 en la semana 4. *Fuente: Elaboración propia*

Tab 18 Catalogación de días según Tª y Hr durante la semana 1. *Fuente: Elaboración propia*

Tab 18

	CATALOGACIÓN Tª Y HR	
	Semana 4	Semana 5
DÍA TIPO 1A	2 días	3 días
DÍA TIPO 1B	0 días	0 días
DÍA TIPO 2A	1 día	0 días
DÍA TIPO 2B	2 días	0 días
DÍA TIPO 3A	0 días	1 día



Gráf 8

ANÁLISIS VALORES PROMEDIOS										
Semana 4										
	13 JUNIO 2022		14 JUNIO 2022		15 JUNIO 2022		16 JUNIO 2022		17 JUNIO 2022	
	int.	ext.	int.	ext.	int.	ext.	int.	ext.	int.	ext.
	CO₂ (ppm)	507,5	448,4	579,5	467,9	564,1	466,2	424,7	468,1	566,7

Tab 16

REBASES SOBRE LOS 800 PPM DE CO₂												
Semana 4												
	13 JUNIO 2022		14 JUNIO 2022		15 JUNIO 2022		16 JUNIO 2022		17 JUNIO 2022		TOTAL SEMANAL	
	(horas)	(%)	(horas)	(%)	(horas)	(%)	(horas)	(%)	(horas)	(%)	(horas)	(%)
AULA 2.12 (norte)	0 min	0,0	0 min	0,0	1h 5 min	16,7	0 min	0,0	10 min	2,6	1h 15 min	3,9

Tab 17



Fig 60

Tab 19 Tabla resumen de datos de las hipótesis realizadas.

Fuente: *Elaboración propia*

Fig 60 Colocación del sensor en el aula a 1,50 m. Fuente: *Elaboración propia*

Fig 61 Situación apertura huecos para las hipótesis. Fuente: *Elaboración propia*

MEDICIÓN 3: REALIZACIÓN DE HIPÓTESIS

Una vez se han analizado los resultados se ha llegado a la conclusión de que los **niveles de CO₂**, debido al uso intensivo de la ventilación natural, se encuentran en un rango de valores **más favorable de la exigencia** para espacios como los que están monitorizando, aulas de secundaria: la calidad de aire corresponde a un **IDA 1** en la mayoría del tiempo evaluado, y nunca se pasa el límite de las 1000 ppm. Esto, sin embargo, ha dado lugar a unas **condiciones higrotérmicas interiores inadecuadas**, suponiendo un problema para el desarrollo de las clases en muchos casos y perjudicando la salud de los usuarios. La continua ventilación de las aulas hace que se obtenga una conveniente calidad de aire interior, pero el **confort térmico** es prácticamente **inexistente**.

Es por ello por lo que plantea realizar una serie de **hipótesis de apertura de huecos**, con el objetivo de comparar la necesidad real de ventilación en las aulas y su adecuación a las condiciones de confort higrotérmico. De esta forma, se va a comprobar si se deben tener siempre todas las ventanas abiertas, si pueden ser solo algunas o si el tener las ventanas cerradas durante algunos periodos es inadecuado para la calidad del aire interior debido a un aumento de las concentraciones de CO₂.

Como se comentó en el capítulo anterior, las **ventanas son correderas** y ocupan una superficie de hueco de 16 m² en la fachada (4 m² por hueco), por lo que solo tienen **0,85 m² practicable** por ventana. Así, el 50 % de posibilidad de apertura, que sería el máximo, corresponde a las 4 ventanas abiertas con un total de 3,4 m²; el 25 % de apertura se alcanza con 2 abiertas, 1,7 m² de superficie total. En el caso de las puertas, al ser de doble hoja, se plantea que el 100 % de posibilidad de apertura sea las dos puertas abiertas con 4 m² de superficie, mientras que la otra opción sería tener las puertas cerradas. Para el desarrollo de las hipótesis de apertura se han planteado varios modelos, según el porcentaje de huecos abiertos, que han sido monitorizados en un plazo de aproximadamente dos horas de clase.

Debido a que el aula 2.12 no se encontraba disponible el día de realización de este protocolo, el 23 de junio de 2022, se ha ejecutado en un aula de iguales dimensiones, ocupación y características de ventilación, ya que ambas tienen ventanas que abren hacia el mismo patio interior.

El estudio se ha dividido en **diferentes etapas**, las cuales se resumen en la **tab 19**.

	Hora inicio	Hora final	Duración	N° alumnos	Ventilación mecánica + climatización	Apertura ventanas		Apertura puertas	
						Porcentaje	Superficie	Porcentaje	Superficie
Descanso	11:00 h	11:30 h	30 min	0	Activa	0 %	0 m ²	0%	0 m ²
Entrada descanso	11:30 h	11:40 h	10 min	0 a 26	Activa	0 %	0 m ²	100%	4 m ²
Estado base (A)	11:40 h	12:10 h	30 min	26	Inactiva	0 %	0 m ²	0%	0 m ²
Hipótesis 1 (B)	12:10 h	12:25 h	15 min	26	Inactiva	50 %	3,40 m ²	0%	0 m ²
Hipótesis 2 (C)	12:25 h	12:35 h	10 min	26	Inactiva	50 %	3,40 m ²	100%	4 m ²
Estado base (A)	12:35 h	12:50 h	15 min	26	Inactiva	0 %	0 m ²	0%	0 m ²
Hipótesis 3 (D)	12:50 h	13:05 h	15 min	26	Inactiva	25 %	1,70 m ²	0%	0 m ²
Hipótesis 4 (E)	13:05 h	13:20 h	10 min	26	Inactiva	25 %	1,70 m ²	100%	4 m ²

Tab 19

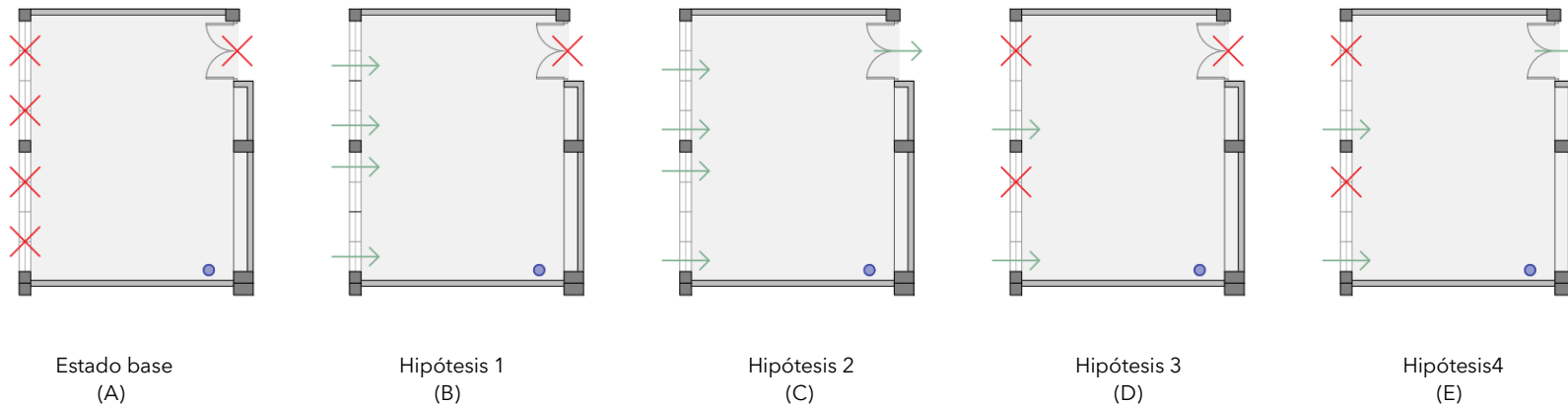
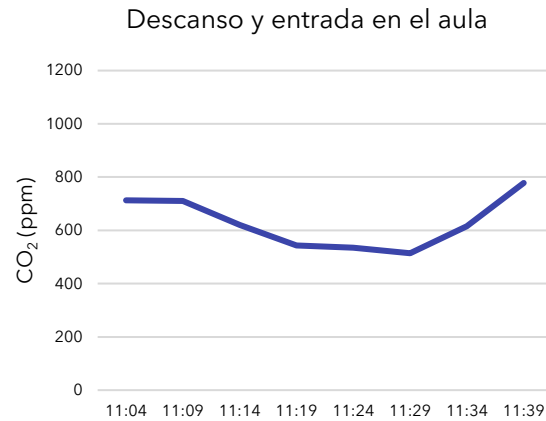
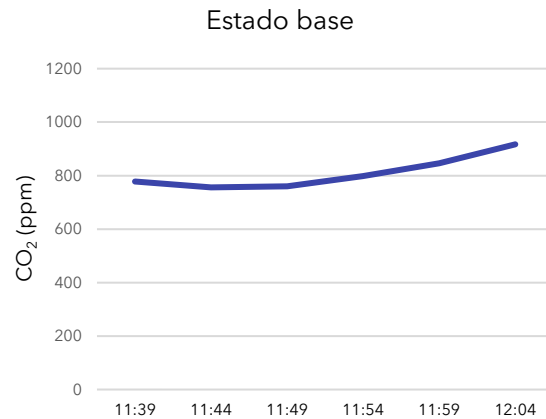


Fig 61



Gráf 9



Gráf 10

Gráf 9 y 10 Evolución del nivel de concentración de CO₂.

Fuente: Elaboración propia

DESCANSO Y ENTRADA EN EL AULA

La primera etapa corresponde al tiempo de recreo de los alumnos, comenzando la monitorización a las 11:04, con el aula completamente vacía. El sistema de ventilación se encuentra activado, como suele estar normalmente cuando las ventanas y la puerta están cerradas totalmente. El descanso termina sobre las 11:30h horas, volviendo los estudiantes a clase de forma escalonada y ocupando casi los primeros diez minutos al comienzo de la clase.

En este periodo el nivel de CO₂ se sitúa siempre por debajo de las 800 ppm (gráf 9), pero con un desarrollo que corresponde a la ocupación del espacio: durante el recreo el nivel decrece mientras que, con el regreso de los alumnos, a partir de las 11:30, la concentración sube rápidamente. Por otro lado, las temperaturas interiores aumentan de manera similar a como lo hacen las exteriores.

ESTADO BASE

Esta siguiente etapa corresponde al que se ha nombrado como “estado base”, ya que en es cuando se han cerrado todas las puertas y ventanas, con el sistema de ventilación ya desactivado. Los alumnos, debido a que es uno de los últimos días del curso, están realizando actividades animadas pese a que siguen sentados, empleando un tono de voz más elevado del que sería normal. Se quejan por el mal olor del aula al tener apagada la ventilación, incrementado por la vuelta del recreo y las altas temperaturas exteriores.

- Duración: 30 min – 11:40h a 12:10 h
- Ventilación mecánica desactivada
- Apertura de ventanas 0 % (0 m²), apertura de puertas 0 % (0 m²).

Como se mostraba en la *fig. 61*, el aula tiene todas sus ventanas y la puerta cerradas. Durante los 30 minutos que dura este periodo de adaptación a la no ventilación, se observa la subida de la concentración hasta llegar a los 1000 ppm (gráf. 10), un valor que no se había registrado en los últimos meses de medición. Se ha pasado de un IDA 1 a un IDA 3, lo cual supone que la calidad del aire interior deja de ser óptima para ser solo media.

HIPÓTESIS 1

Se procede a la máxima apertura de los huecos de ventanas. El tipo de ventana que existe no permite que las ventanas se puedan abrir completamente, siendo solo practicable el 50 % del hueco.

- Duración: 15 min – 12:10h a 12:25h
- Ventilación mecánica desactivada
- Apertura de ventanas 50 % (3,40 m²), apertura de puertas 0 % (0 m²)

El resultado de esta situación es que, pocos minutos tras la apertura de ventanas, los niveles de CO₂ cambian su tendencia (*gráf. 11*): van bajando gradualmente, llegando a las 905 ppm a las 12:24h, y se mantienen en valores propios del IDA 2, lo cual es más adecuado.

HIPÓTESIS 2

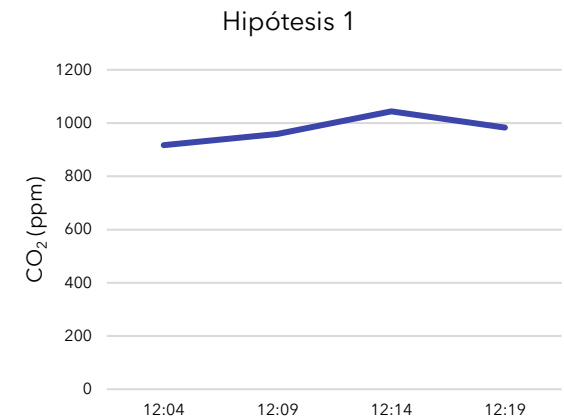
Para aprovechar la posibilidad de ventilación cruzada que permite la localización de los huecos, se procede a abrir también la puerta de doble hoja. En este momento se produce el intercambio entre asignaturas, por lo que los alumnos se levantan e incluso cambian de lugar las mesas y sillas.

- Duración: 10 min – 12:25h a 12:35h
- Ventilación mecánica desactivada
- Apertura de ventanas 50 % (3,40 m²), apertura de puertas 100 % (4 m²)

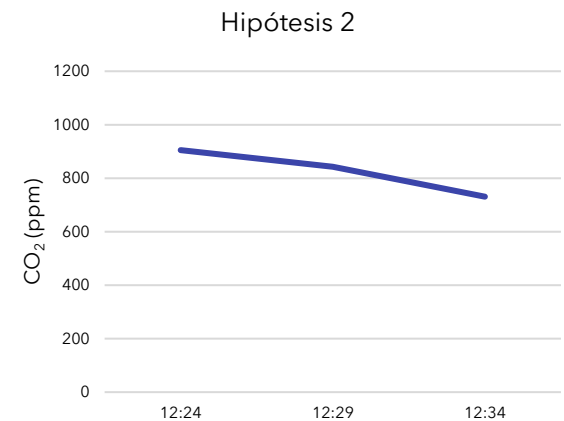
La rápida bajada de la concentración CO₂ consigue que se llegue de nuevo a unos valores similares a los exigidos para el IDA 2, con un valor de 731 ppm las 12:34h (*gráf. 12*). El ambiente en la clase se siente menos cargados gracias a que existe algo de corriente.

ESTADO BASE

De nuevo, volvemos al estado inicial para volver a las condiciones más desfavorables y así comprobar el efecto de las siguientes hipótesis. En este caso, el tiempo necesario para pasar de unas

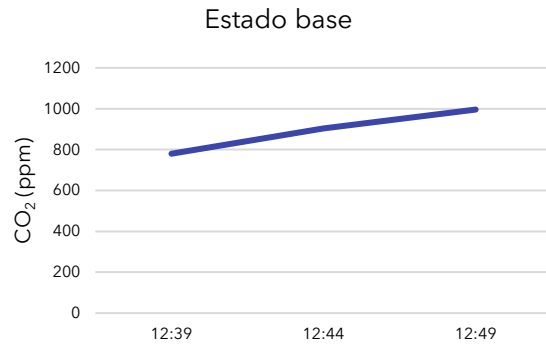


Gráf 11

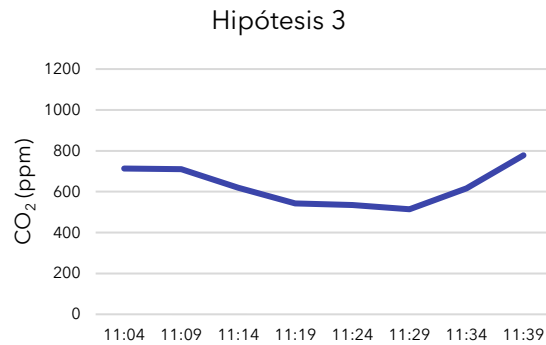


Gráf 12

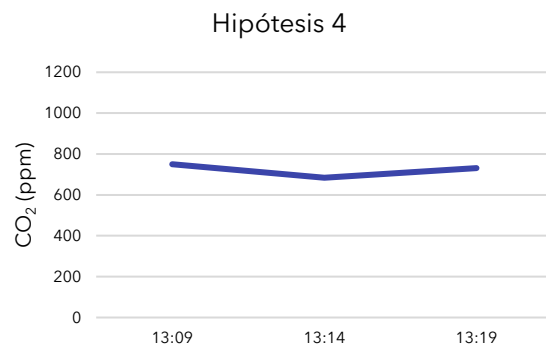
Gráf 11 y 12 Evolución del nivel de concentración de CO₂.
Fuente: Elaboración propia



Gráf 13



Gráf 14



Gráf 15

750 ppm hasta llegar a pasar las 1000 ppm es de 15 min con todo cerrado y sistema de ventilación desactivado (*gráf. 13*). En este momento los alumnos están moviéndose, alterados y gritando, provocando una subida más rápida de los niveles de CO₂.

- Duración: 15 min – 12:35h a 12:50 h
- Ventilación mecánica desactivada
- Apertura de ventanas 0 % (0 m²), apertura de puertas 0 % (0 m²).

HIPÓTESIS 3

Una vez alcanzado el nivel IDA 3, con unos 1000 ppm, se procede a abrir solo 2 de las 4 ventanas, con la puerta cerrada.

- Duración: 15 min – 12:50h a 13:05h
- Ventilación mecánica desactivada
- Apertura de ventanas 25 % (1,70 m²), apertura de puertas 0 % (0 m²).

Durante los primeros 5 minutos los niveles de CO₂ se mantienen sobre las 1000 ppm, disminuyendo progresivamente hasta las 916 ppm cuando son las 13:04h (*gráf. 14*).

HIPÓTESIS 4

Se procede ahora a repetir la estrategia anterior, abriendo la puerta para provocar el flujo del aire en el aula. En ese momento el sensor marca las 920 ppm.

- Duración: 15 min – 13:05h a 13:20h
- Ventilación mecánica desactivada
- Apertura de ventanas 25 % (1,70 m²), apertura de puertas 100 % (4 m²).

Se observa cómo se vuelven a alcanzar niveles de CO₂ por debajo de las 800ppm (*gráf. 15*), lo que se considera normal en el caso de estudio. Se vuelve a producir una bajada más acelerada debido a la apertura de la puerta, en comparación con el escenario anterior. El monitor se desconecta a las 13:20h.



Fig 62

Fig 62 Tipo de ventana existente en las aulas. *Fuente: Elaboración propia*

Gráf 13, 14 y 15 Evolución del nivel de concentración de CO₂.
Fuente: Elaboración propia

RESUMEN DE HIPÓTESIS

Tras la descripción de cada una de las hipótesis realizadas se puede considerar ciertos aspectos:

- Aquellas hipótesis donde las ventanas y puertas han permanecido abiertas, permitiendo el flujo de aire mediante ventilación cruzada, son las que han disminuido más rápidamente la concentración de CO₂ en el interior del aula. Esto podría ser viable para periodos de media estación, ya que las condiciones exteriores no deberían de suponer un problema. También hay que tener en cuenta el ruido que se pueda ocasionar y las molestias que se provoquen en las aulas contiguas.

Es una buena solución para evitar el uso de sistemas mecánicos en periodos del curso con un clima moderado y con un desarrollo de clases ordinario.

- Las temperaturas interiores presentan una evolución emparejada con las exteriores, aumentando desde el momento que se apagó el sistema mecánico, sobre las 11:40 h. Esto supone que, aunque el abrir las ventanas y puertas favorezca la ventilación, se deteriore el confort térmico del aula.

Hay que comentar que se han monitorizado anteriormente días más calurosos que el día de comprobación de las hipótesis, por lo que los efectos podrían haber sido peores en cuanto a condiciones de T^a y Hr.

En momentos de extremado calor se hace molesto tanto tener el aula completamente cerrada, por el ambiente ya viciado que se produce debido al poco movimiento del aire, como tener los huecos abiertos, por el incremento de carga térmica del local.

Gráf 16 Evolución del nivel de CO₂ en las hipótesis realizadas.

Fuente: Elaboración propia

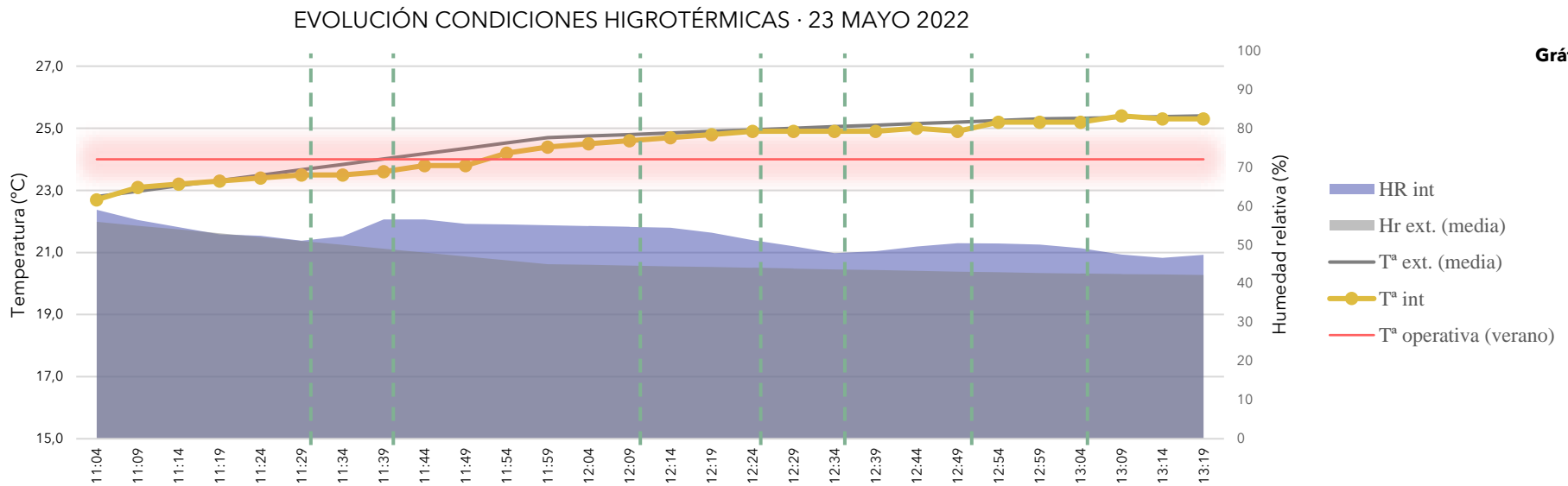
Gráf 17 Evolución de las condiciones higrotérmicas en las hipótesis realizadas.

Fuente: Elaboración propia

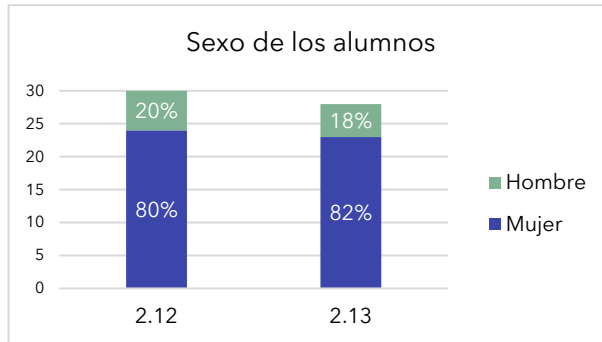
Para verificación de todos los datos recogidos, véase el [Anexo I](#).



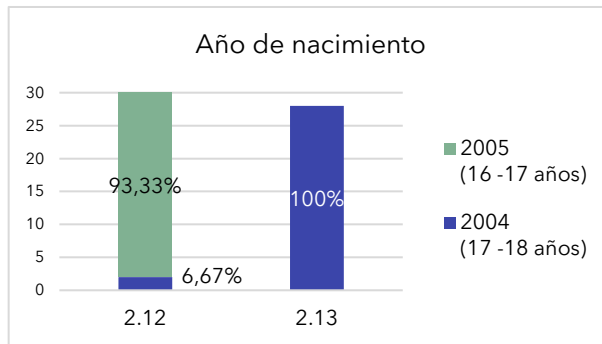
Gráf 16



Gráf 17



Gráf 18



Gráf 19

Gráf 18 y 19 Información básica de los alumnos de las aulas 2.12 y 2.13. Fuente: *Elaboración propia*

Gráf 20 Zona que ocupan los alumnos en el aula. Fuente: *Elaboración propia*

Fig 63 Esquema de división del aula en zonas. Fuente: *Elaboración propia*

Gráf 21 Frecuencia de apertura de ventanas. Fuente: *Elaboración propia*

Gráf 22 Situación de apertura de huecos en el momento de la encuesta. Fuente: *Elaboración propia*

ENCUESTAS A ALUMNOS

Se ha encuestado al alumnado de las aulas 2.12 y 2.13 con el propósito de obtener **resultados de carácter subjetivo**. De esta forma, se podrán **contrastar los valores objetivos** recogidos mediante los sensores durante la monitorización de los espacios.

El tipo de pregunta que se puede encontrar en las encuestas van desde la **información general** del alumnado y su situación en el aula, hasta **valorar el confort térmico y la calidad del aire interior**. A continuación, se analizarán las respuestas del estudiantado. Para la comprobación de todos los resultados, véase el [Anexo II](#).

RESULTADOS PRIMERA ENCUESTA

Se realizó una primera encuesta al alumnado de las aulas 2.12 y 2.13 entre los días 31 de marzo y 1 de abril de 2022: el día 31 de marzo, sobre las 11:15 h se tomaron las encuestas en el aula 2.12 mientras que, al día siguiente a las 9:00 h, se hizo en el aula 2.13.

Al comenzar el cuestionario se encuentran una serie de preguntas sobre los alumnos, tales como el sexo ([gráf. 18](#)) o el año de nacimiento ([gráf. 19](#)). Se les facilitó un esquema con cada una de las aulas divididas en 9 zonas de igual superficie para que indicaran su posición en la misma ([fig. 63](#)). Se observa como la mayoría de los estudiantes encuestados son mujeres (80 y 82 %), además de que entre la clase 2.12 y la 2.13 las edades comprenden desde los 17 a los 18, prácticamente. En cuanto a la colocación de los alumnos en el aula ([gráf. 20](#)), en la clase 2.12 se ubican mayoritariamente en las zonas cercanas a las ventanas (15 alumnos) y en el centro del aula (11 alumnos); en el aula 2.13, sin embargo, los alumnos se distribuyen de forma más equitativa.

A continuación, se realizaron preguntas sobre la situación del aula con respecto a los huecos, donde se puede comprobar como las aulas ventilan durante todo el día ([gráf. 21](#)), aunque no siempre estén abiertas todas ([gráf. 22](#)). Esto **concuere con los resultados obtenidos en las mediciones**, donde los buenos niveles de CO₂ obtenidos se consiguen gracias a la continua ventilación.

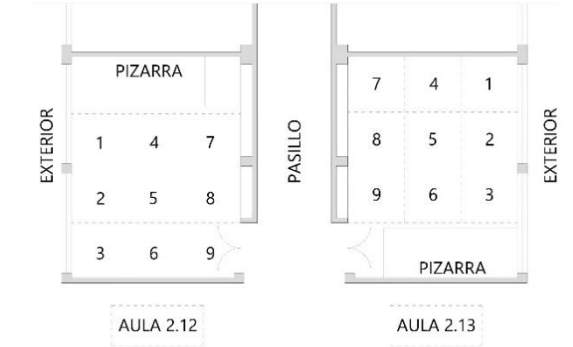
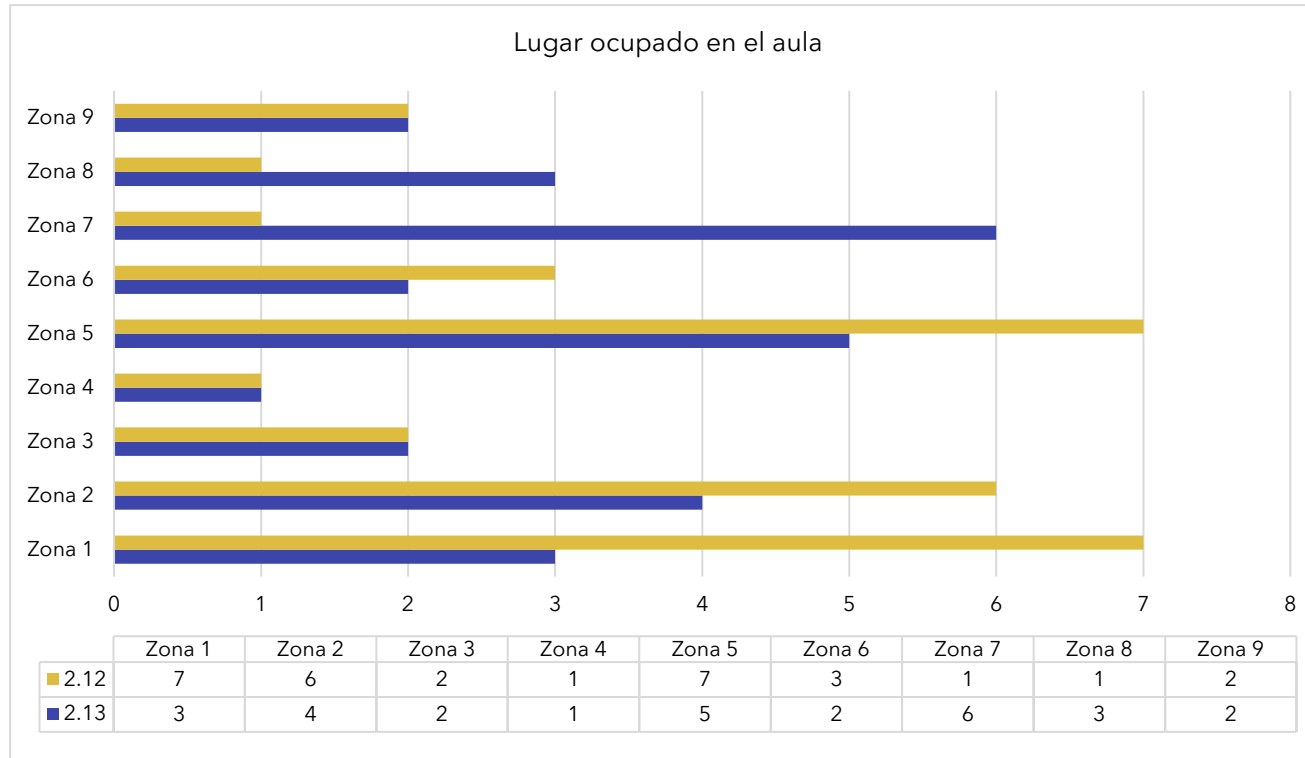
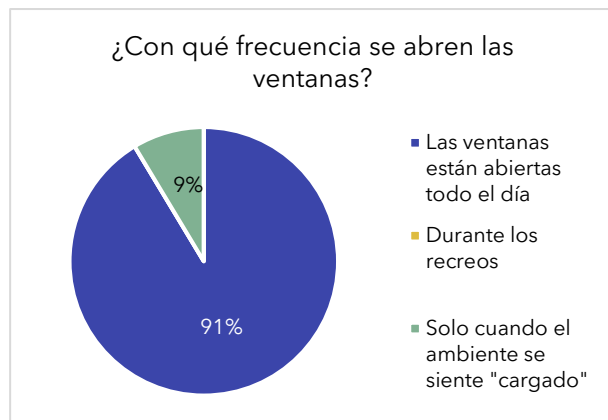


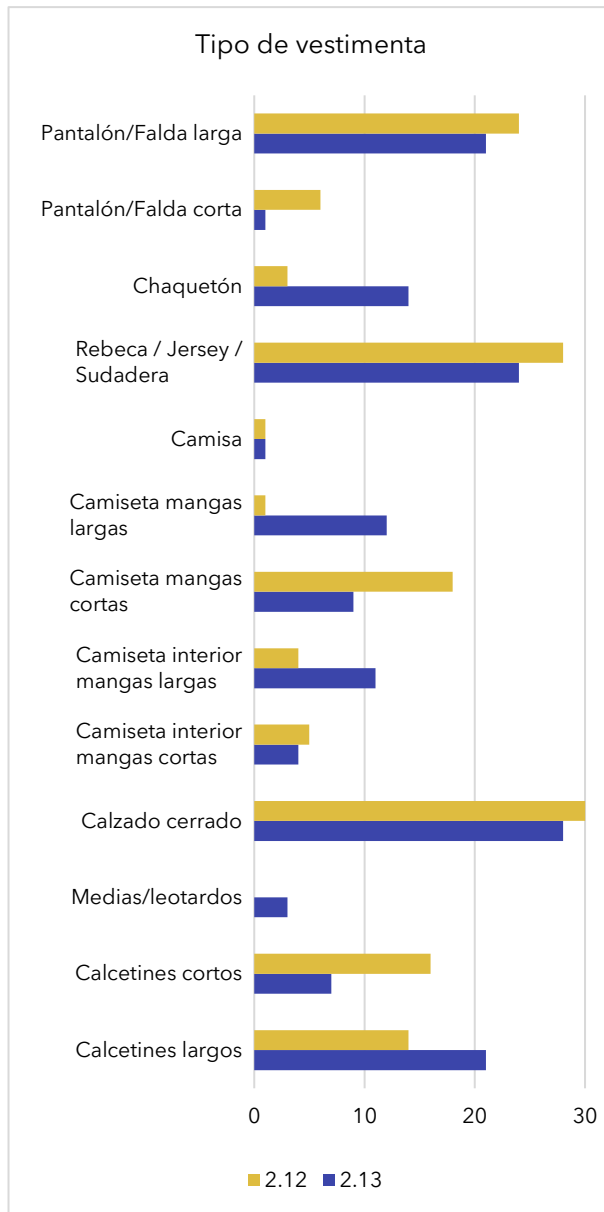
Fig 63

Gráf 20



Gráf 21 (izq)

Gráf 22 (dcha)



Los alumnos valoraron, en una escala de 1 a 5, el **índice de calidad ambiental** interior en las aulas, obteniendo como respuestas las señaladas en la *gráf. 24*. Los valores más favorables se dan en lo referente a la iluminación, mientras que el confort acústico es el que factor con mayor porcentaje de descontentos. Este último es muy probable que sea debido a la situación ya comentada con respecto a los huecos abiertos durante todo el día, que hace que el ruido de los pasillos y del patio interior se adentren en el espacio.

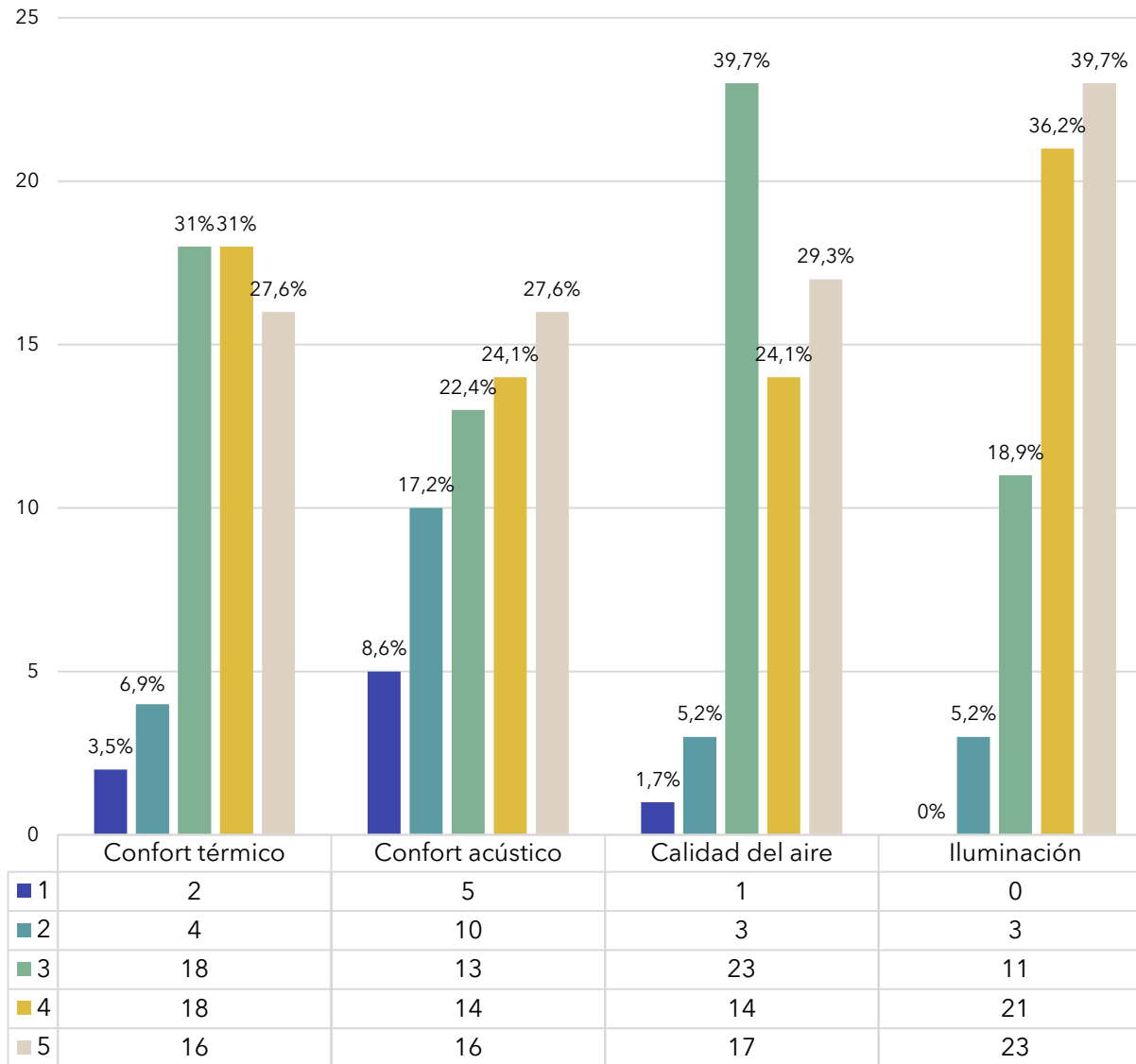
Con respecto al confort térmico y la calidad del aire, podemos comprobar como los alumnos están satisfechos con el nivel actual, aunque muchos de ellos creen que aún se podría mejorar. Al haberse realizado esta encuesta durante la media estación, estos resultados no han sido muy negativos con respecto a las sensaciones térmicas en el interior, ya que las temperaturas exteriores tenían máximas de 14,5 °C y 10,5 °C en el momento de realización de encuestas (a las 11:15h del 31 de marzo y 9:00h del 1 de abril, respectivamente).

En cuanto al tipo de vestimenta que llevaban los alumnos al realizar la encuesta, se muestra en la *gráf. 23* como la mayoría lleva prendas adecuadas para la época del año, como pantalones largos, sudaderas, calzado cerrado y camisetas de mangas largas. Debido a la hora que se realizaron los cuestionarios en las diferentes clases, se puede comprobar como en el aula 2.13 llevaban más alumnos el chaquetón aún puesto en clase, de lo que se deduce que seguramente estuvieran pasando algo de frío. Esto se podrá verificar con los resultados de las próximas preguntas.

Gráf 23

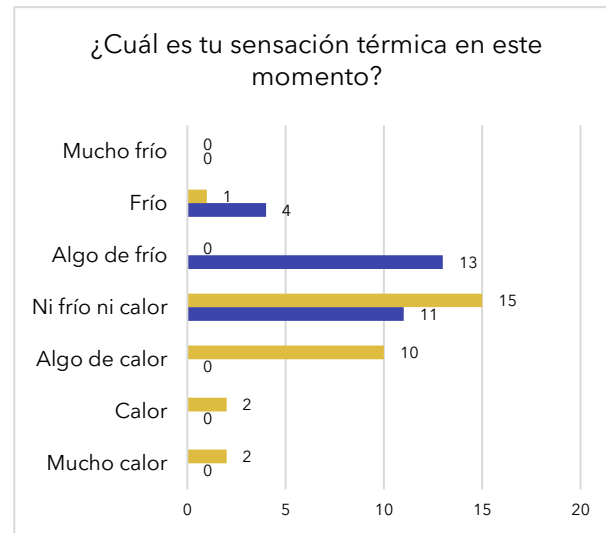
ÍNDICE DE CALIDAD AMBIENTAL

Gráf 24

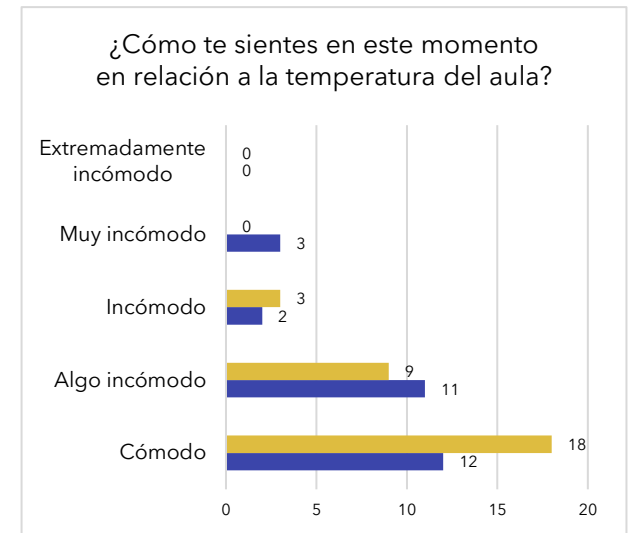


Gráf 23 Tipo de vestimenta de los alumnos encuestados.
Fuente: Elaboración propia

Gráf 24 Índice de calidad ambiental interior en las aulas 2.12 y 2.13. Fuente: Elaboración propia



Gráf 25



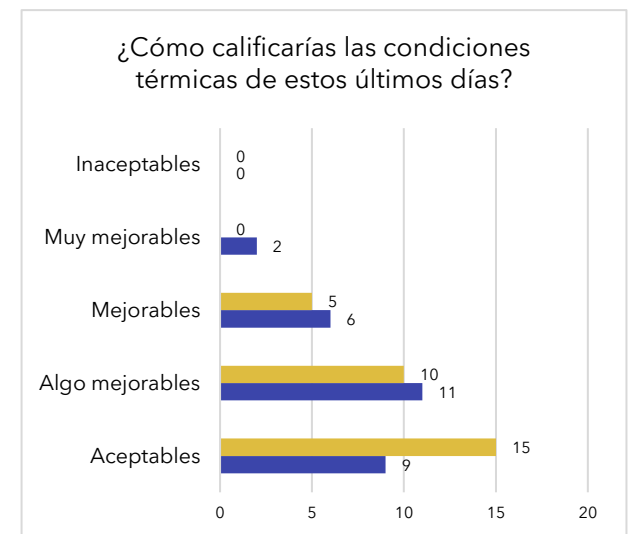
Gráf 26

2.12

2.13



Gráf 27



Gráf 28

Gráf 25, 26, 27 y 28 Preguntas sobre la sensación térmica en ambas aulas. Fuente: *Elaboración propia*

Gráf 29, 30 y 31 Preguntas sobre el estado físico de los alumnos de ambas aulas. Fuente: *Elaboración propia*

Las siguientes cuestiones tienen que ver con la opinión de los alumnos en cuanto a sus sensaciones térmicas y sus preferencias. Como se ha comentado anteriormente, debido a la diferencia de horas en la que se han realizado las encuestas en cada una de las clases, se han recopilado valoraciones bastante distintas entre clases.

En las *gráfs. 25 y 27* se comprueba como, en general, los alumnos del aula 2.12 están pasando algo de calor y preferían estar más frescos mientras que en el aula 2.13 sucede lo contrario, están pasando un poco de frío y preferían un ambiente más cálido. Estos resultados son bastante normales, teniendo en cuenta que en el aula 2.12 acababan de llegar del recreo cuando se hizo la encuesta, a las 11:30 h, lo que hace que vengan más acalorados; sin embargo, en la 2.13 eran las 9:00h y estaban dando clase como habitualmente.

De la gráfica sobre la preferencia se concluye que **solo un tercio de los alumnos de cada aula encuentra adecuadas las condiciones térmicas** y le gustaría permanecer como está, lo cual pone de manifiesto el problema de confort térmico que existe actualmente en las aulas.

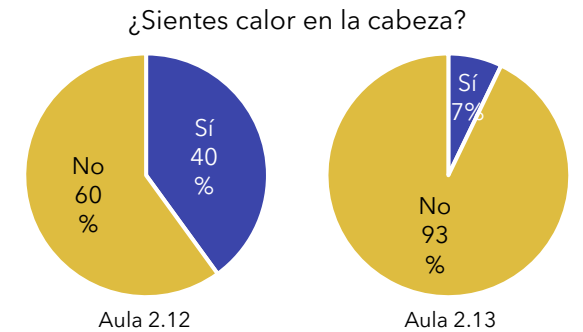
Observando la *gráf. 26*, el número de alumnos cómodos con la situación actual de su aula es mayor en la 2.12, que en la 2.13. Esta última se ha comprobado que es el aula que ha registrado valores más extremos en cuanto a temperatura interior, justificando así que la sensación de comodidad sea menos frecuente en los usuarios de esta aula.

De hecho, también coincide con los resultados de la *gráf. 28*: hay más alumnos del aula sur, la 2.13, que consideran que las condiciones ambientales pueden mejorarse en el aula norte, la 2.12, donde la mitad de los alumnos (15) opinan que las condiciones son aceptables.

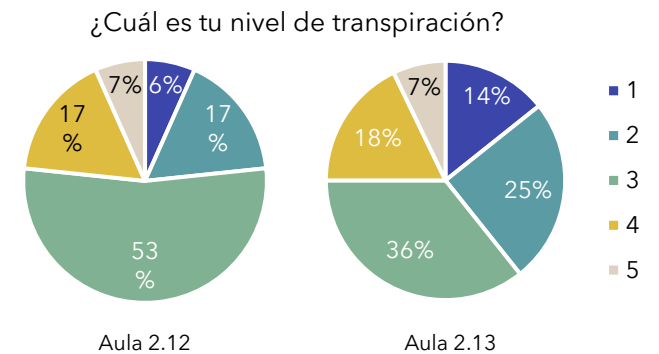
Para completar el apartado referido al confort térmico, se les preguntó a los alumnos sobre su estado físico cuando estaban contestando. En las *gráfs. 29 y 30* se observa de nuevo la particularidad de cada aula, donde las sensaciones son bastante dispares debido al momento del día que se preguntó. En el aula 2.12 perciben menos variaciones de temperaturas en las diferentes partes del cuerpo, sin embargo, su nivel de transpiración es mayor que en el aula 2.13, como se muestra en la *gráf. 30*.



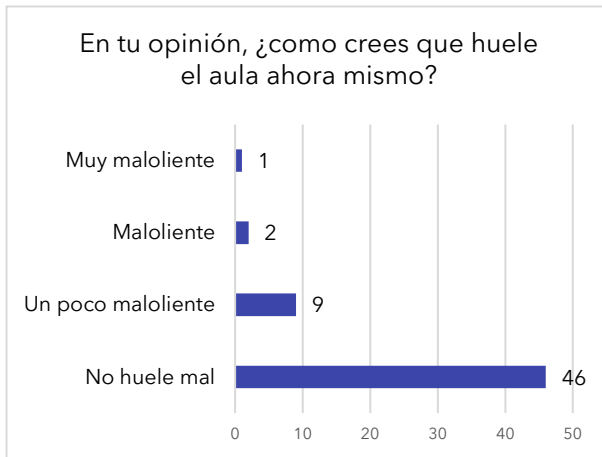
Gráf 29



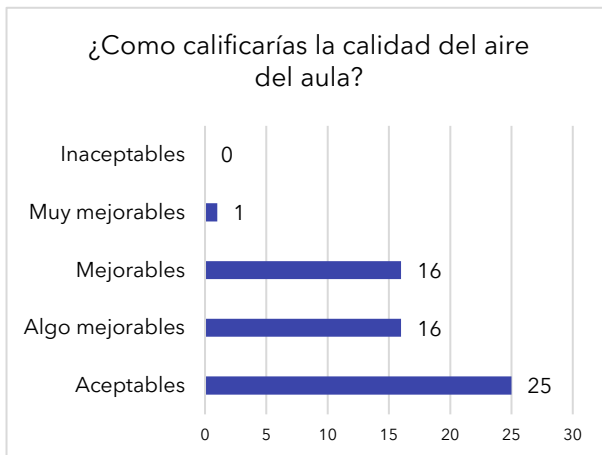
Gráf 30



Gráf 31



Gráf 32



Gráf 35

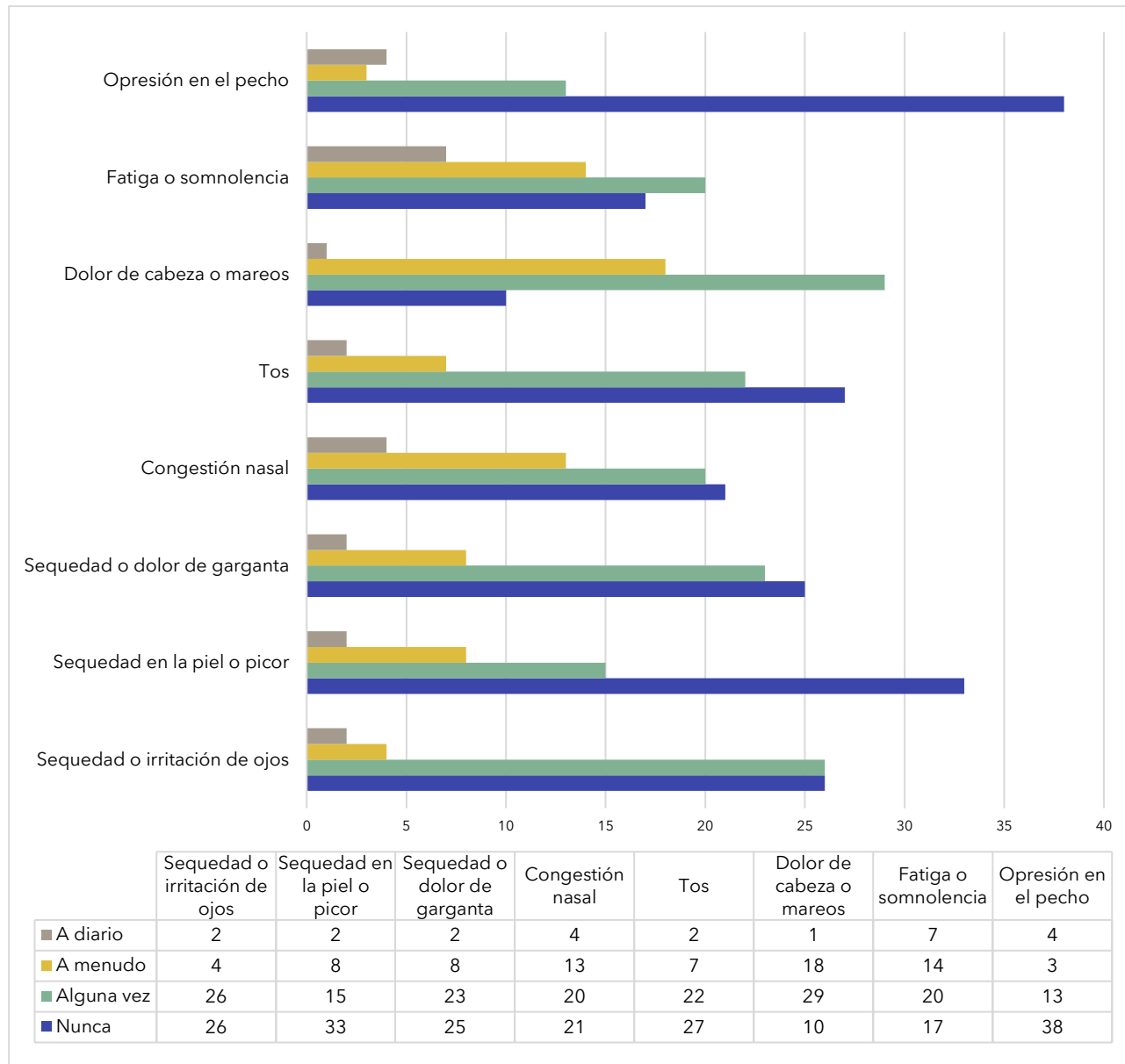
Por último, se les presentó un apartado para valorar la calidad del aire interior en las aulas.

En la *gráf. 32* se observa como la mayoría de los alumnos cree que no huele mal en el aula, lo cual puede justificarse gracias al hecho de que el aula está en continua renovación del aire debido a la apertura de ventanas permanente.

En la *gráf. 33* se han recopilado una serie de síntomas relacionados con la calidad del aire interior para comprobar si este parámetro afecta a la salud de los alumnos. Los síntomas más frecuentes son la fatiga y somnolencia, los dolores de cabeza y mareos y la congestión nasal, con un alto número de alumnos que los han sufrido alguna vez últimamente y bastantes que lo sufren con frecuencia. De hecho, solo 10 y 17 alumnos entre las dos aulas niegan haber sufrido alguna vez dolores de cabeza y fatiga respectivamente. Este dato podría ser preocupante, ya que el entorno donde los estudiantes pasan gran parte del día, y del año, no parece ser un lugar adecuado para su bienestar.

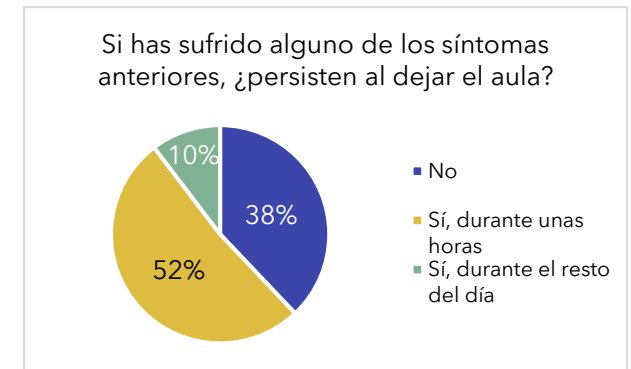
Además, se les ha preguntado si estos síntomas permanecen durante el día, aunque dejen el aula (*gráf. 34*). El resultado obtenido ha sido que más de la mitad de los alumnos siguen padeciendo estas molestias unas horas después de haber dejado el aula, incluso un 10 % asegura que persisten durante el resto del día. Por lo tanto, la situación actual afecta a la salud de los usuarios, y podría también perjudicar su desempeño como estudiantes.

Con todo esto, casi la mitad de los encuestados evalúa como aceptable la calidad del aire interior, aunque el resto opina que se podrían mejorar (*gráf. 35*).



Gráf 33

Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Sevilla
RUIZ MONTES DE OCA, Pilar (2022). TFG D. Tutor: Rafael Suárez Medina



Gráf 34

Gráf 33 Sintomatología sufrida por los alumnos en las aulas 2.12 y 2.13. Fuente: *Elaboración propia*

Gráf 32, 34 y 35 Preguntas sobre calidad del aire interior en ambas aulas. Fuente: *Elaboración propia*

RESULTADOS SEGUNDA ENCUESTA

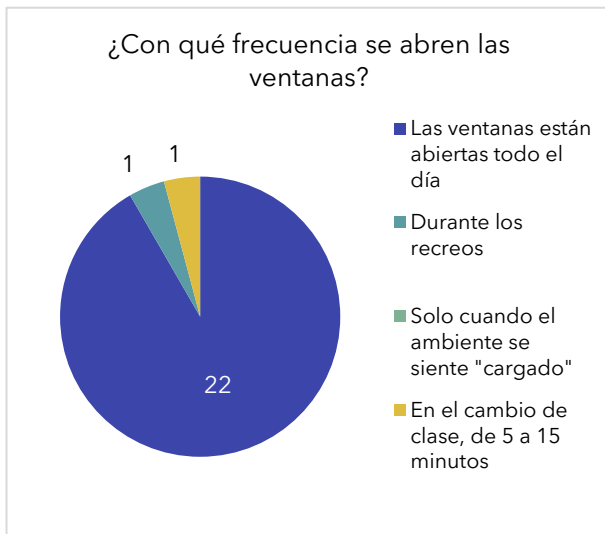
La segunda encuesta se realizó el día 31 de mayo de 2022, entre las de 12:30 h y las 13:30 h en el aula 2.12 y 2.13. En esta ocasión, son menos los alumnos encuestados debido a la época de exámenes: en el aula 2.13 solo existen 4 alumnos, ya que el curso había terminado para los de 2º de BTO. Es por ese que en este caso se va a analizar los resultados de forma conjunta.

Como datos de información general sobre los alumnos se recogió que eran 21 mujeres y 3 hombres y 5 alumnos nacidos en 2004 y los 19 restantes en 2005. La ubicación de los estudiantes en el aula muestra que la mayoría se encuentra en las zonas correspondientes a las primeras filas de asientos (zonas 1, 2 y 3), probablemente debido a la falta de alumnos (*gráf. 36*).

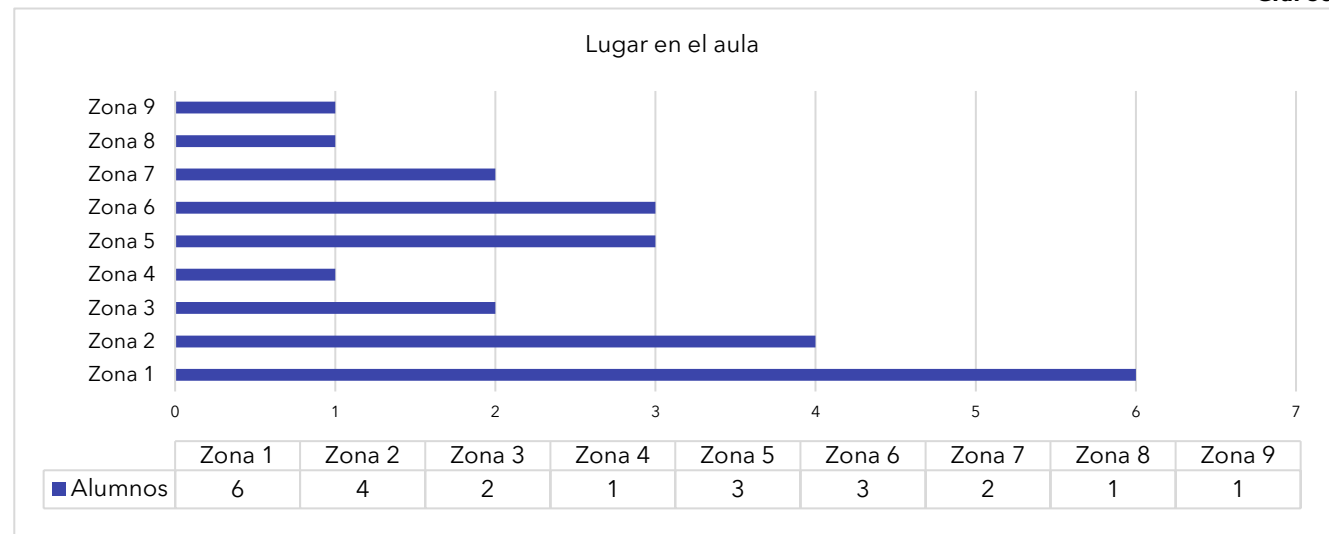
En las *gráfs. 37 y 38* se muestra la situación de las ventanas, donde se repite el patrón de tener las ventanas abiertas y durante todo el día.



Gráf 37



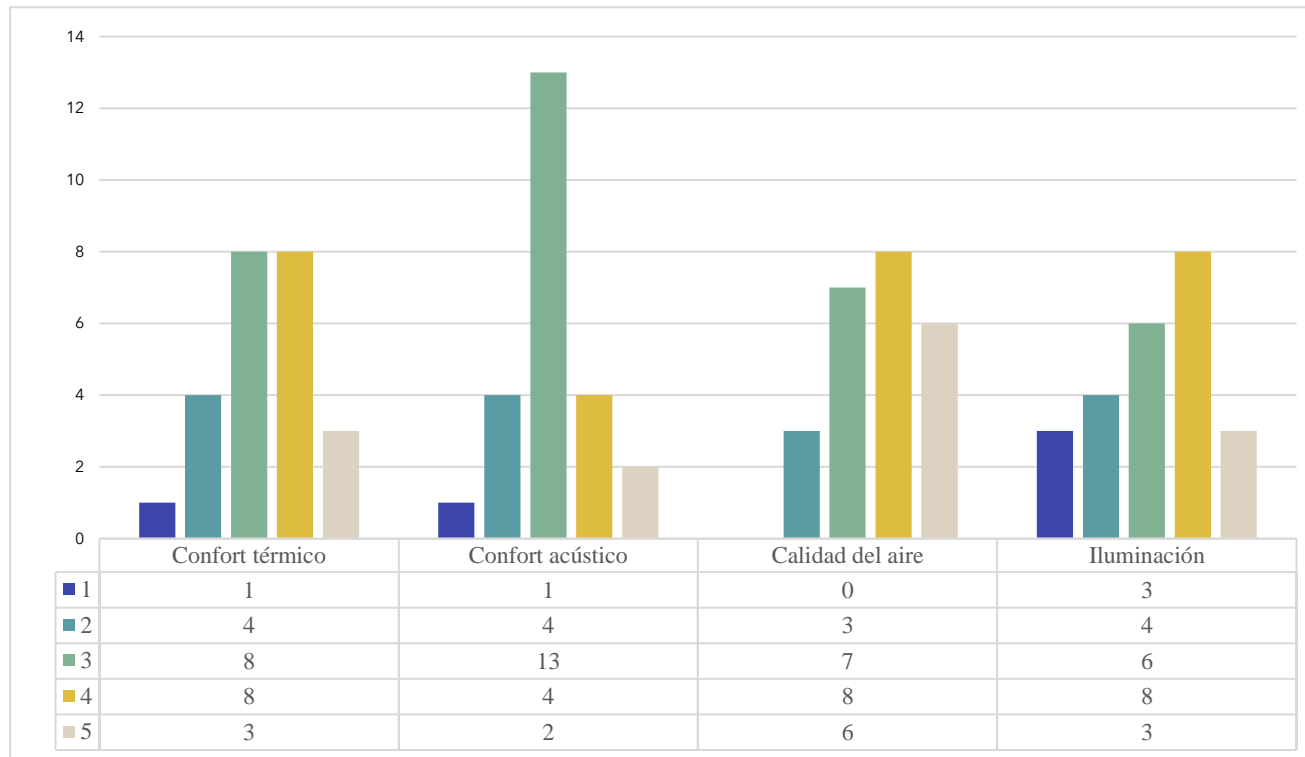
Gráf 38



Gráf 36

La puntuación que le otorgan los alumnos a cada uno de los parámetros del índice de calidad ambiental se puede observar en la *gráf. 39*. En ese caso predominan los valores medios en casi todas las variables, sobre todo en cuanto al confort acústico. Este parámetro resulta determinante a la hora de emplear estrategias de apertura de ventanas, ya que la imposibilidad de garantizar la protección frente al ruido exterior hace que las ventanas no se puedan abrir siempre que sea necesario, ya que se interpone en el desarrollo habitual de las clases. De todas formas, la *graf. 39* es un indicativo de que los alumnos no están especialmente descontentos con calidad ambiental actual, pero si se compara con los resultados de la anterior encuesta, los valores más positivos son menos frecuentes. Llama la atención que, en este caso, la iluminación se haya visto bastante perjudicada, cuando en el primer cuestionario fue un parámetro valorado muy positivamente.

Gráf 39

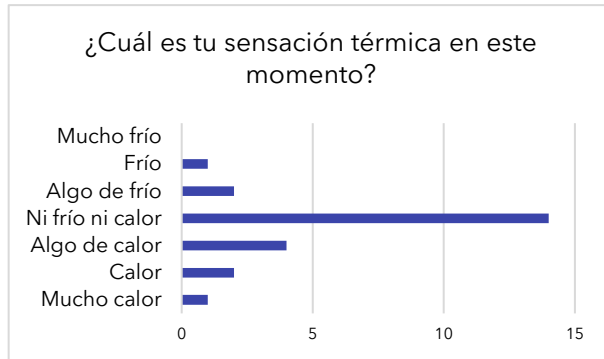


Gráf 36 Zona que ocupan los alumnos en el aula. *Fuente: Elaboración propia*

Gráf 37 Situación de apertura de huecos en el momento de la encuesta. *Fuente: Elaboración propia*

Gráf 38 Frecuencia de abertura de ventanas. *Fuente: Elaboración propia*

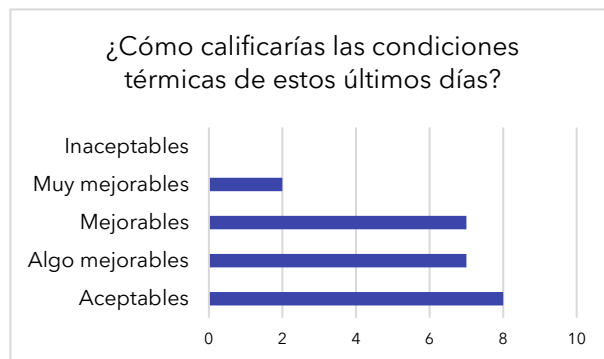
Gráf 39 Índice de calidad ambiental interior en las aulas 2.12 y 2.13. *Fuente: Elaboración propia*



Gráf 40



Gráf 41



Gráf 42

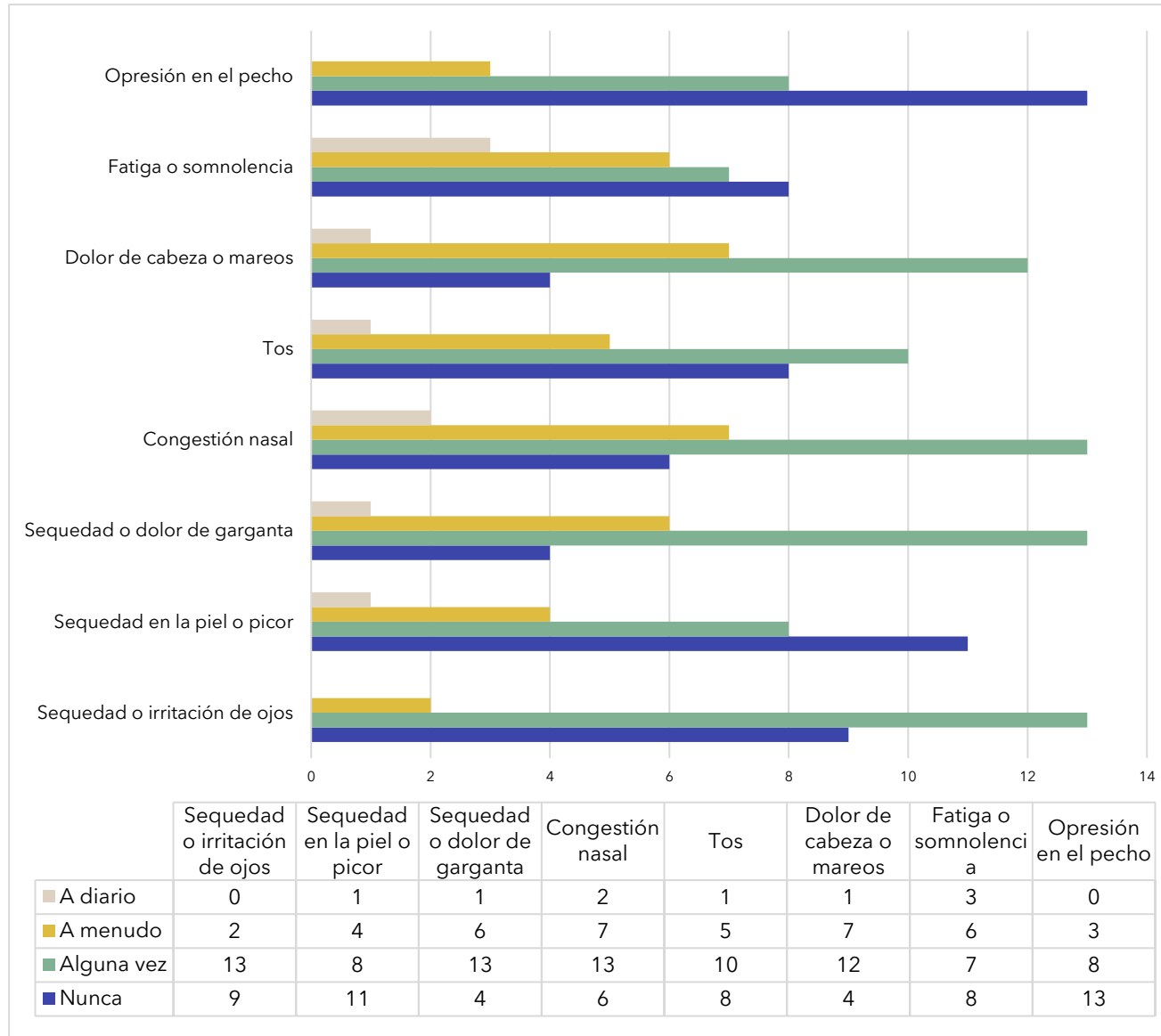
En cuanto a las sensaciones térmicas de los alumnos, se muestra en las *gráfs. 40 y 41* que la mayoría se encuentra cómodo y no les importaría permanecer igual, aunque el número de alumnos que preferiría estar más frescos aumenta. Estos resultaron se obtuvieron a la vez que se marcaban unos valores de T^a int. de 25 °C y 24,2 °C en las aulas 2.12 y 2.13, respectivamente, por lo que se encuentran en el rango de temperaturas de confort; a su vez, en el exterior se registraban unos 26 °C.

Por otro lado, casi el doble de alumnos considera que las condiciones en el aula podrían ser mejorables, frente a aquellos que están conformes con ellas, como se observa en la *gráf. 42*.

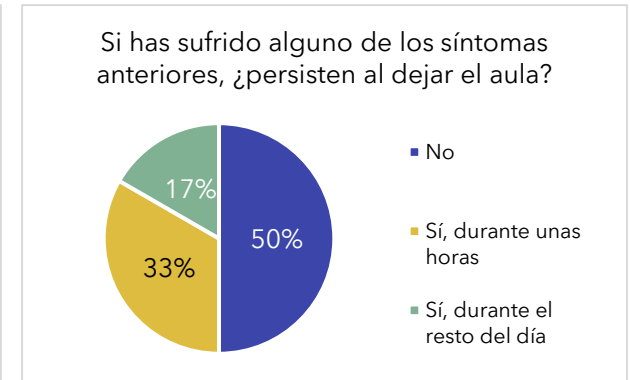
También, en referencia a la calidad de aire interior en las aulas, la sintomatología de los usuarios de las aulas vuelve a reflejarse en la *gráf. 43*, donde encontramos que esta vez las molestias que más personas han sufrido alguna vez tienen que ver con la sequedad de ojos y garganta, la congestión nasal y el dolor de cabeza. La que más sufren de forma frecuente es la congestión nasal y el dolor de cabeza, algo que puede venir dado por los cambios de temperatura propios del uso intensivo del aire acondicionado para poder hacer frente a las temperaturas exteriores. En la *gráf. 44* queda expuesto el hecho de que la mitad de los alumnos confirman que estos síntomas persisten al finalizar la jornada lectiva, ya sea durante unas horas o incluso el resto del día.

Por último, si se les pregunta sobre las condiciones de calidad del aire (*gráf. 45*) la respuesta es que menos de la mitad de los encuestados está de acuerdo con la situación actual. La mayoría de los alumnos consideran que las condiciones son mejorables, incluso algunos piensan que son muy mejorables.

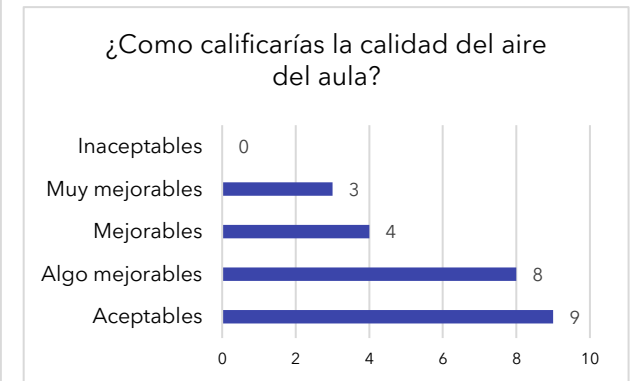
Todos estos resultados obtenidos mediante la realización de las encuestas pueden servir como punto de partida en el caso de que se apliquen medidas con respecto a la situación ambiental de las aulas. Los alumnos son los que pasan la mayor parte del día en el espacio, sufriendo las posibles carencias del mismo, por lo que las decisiones arquitectónicas que se tomen con respecto a esta situación podrían utilizar como base esta percepción subjetiva, además de los datos obtenidos objetivamente mediante los sensores. Alcanzar un índice alto de satisfacción en futuras encuestas podría suponer que las aulas son más adecuadas para el aprendizaje y para la salud los alumnos.



Gráf 43



Gráf 44



Gráf 45

Gráf 40, 41 y 42 Preguntas sobre la sensación térmica en ambas aulas. Fuente: *Elaboración propia*

Gráf 43 Sintomatología sufrida por los alumnos en las aulas 2.12 y 2.13. Fuente: *Elaboración propia*

Gráf 44 y 45 Preguntas sobre calidad del aire interior en ambas aulas. Fuente: *Elaboración propia*

RESUMEN DE LAS ENCUESTAS

Para finalizar con este apartado, se van a resumir los resultados obtenidos en cada encuesta:

- La **primera encuesta** se realizó durante un periodo de media estación (31 de marzo y 1 de abril), con temperaturas exteriores entre los 15 - 10 °C al momento de realizar los cuestionarios en las aulas. Las ventanas se encontraban abiertas durante todo el día en ambas clases. El parámetro de calidad ambiental mejor valorado fue la iluminación, mientras que el confort acústico se llevó más votos negativos. El confort térmico y la calidad de aire interior obtuvieron valores similares y medianamente favorables. En general, los alumnos se aseguran estar satisfechos con el confort térmico en las aulas, aunque algunos creen que se puede mejorar. De hecho, según la hora y el aula donde se preguntó, una parte del alumnado señala que siente algo de calor y preferiría estar más frescos, mientras que la otra parte, está pasando un poco de frío y preferiría el calor. Por esto, solo un tercio de los estudiantes opina que las condiciones térmicas son adecuadas, la gran parte de ellos perteneciente al grupo 2.12. Por otro lado, la mayoría declara que no huele mal en clase. Los síntomas más frecuentes son el dolor de cabeza, la fatiga, la somnolencia o la congestión nasal, sufrida por un elevado porcentaje del alumnado. Muchos de estos afirman que los síntomas persisten al salir del aula. Ahí con todo esto, la mayoría piensa que la calidad del aire interior es aceptable.
- La **segunda encuesta** se llevó a cabo el 31 de mayo, entre las 12:30h y las 13:30h, a un número menor de alumnos de las aulas objeto de estudio, debido a la época de exámenes. De nuevo, las ventanas permanecían abiertas durante todo el día y la temperatura exterior registrada fue de 26 °C mientras que en el interior se registraban unos 25 °C y 24,2 °C. Los resultados en cuanto al índice de calidad ambiental empeoran con respecto a la primera vez, registrado mayor cantidad de valores intermedios, aunque no muchos valores negativos. El confort acústico es el parámetro peor valorado y la iluminación también decae. La sensación térmica general es de comodidad, pero igualmente desearían sentirse más frescos, aún encontrándose en el interior dentro de las temperaturas operativas. En este caso, gran parte de los estudiantes opina que las condiciones térmicas pueden ser mejoradas.

En cuanto a los síntomas, la sequedad de ojos y garganta, junto con el dolor de cabeza son los más repetidos, persistiendo al terminar la jornada lectiva. Esta vez, solo la mitad de los encuestados está de acuerdo con la calidad de aire actual.

Una vez resumidos los resultados, se van a comentar ciertos aspectos sobre ellas y a los datos analizados anteriormente:

- Los resultados de la segunda encuesta son, en su mayoría, más negativos que en la primera. Esto puede deberse al cambio de estación y por tanto de condiciones climáticas que se dan. Las temperaturas son más altas y los alumnos, aun estando satisfechos y cómodos, son más los que piensan que se podrían mejorar las condiciones. Al contrario que en la primera, en el caso de esta segunda encuesta, se encuentran dentro de las condiciones de confort para una estación calida y, sin embargo, opinan que preferían algo más frescos. Por lo tanto, la percepción térmica de los ocupantes no concuerda totalmente con lo establecido por la normativa.
- La salud de los usuarios se resiente durante horas o incluso el resto del día a dejar el centro. Esto es bastante importante ya que, si esto se convierte en algo habitual, como han respondido, podrían darse consecuencias a largo plazo para su estado físico y mental, además de para su rendimiento académico. También, dependiendo de la época, los tipos de molestias han variado un poco, aunque el dolor de cabeza y la fatiga se mantienen durante el año, independientemente de las condiciones exteriores registradas.
- El confort acústico es el parámetro más insatisfactorio en las dos encuestas. Esto se puede deber al hecho de que, al mantener las ventanas abiertas durante toda la jornada, cualquier ruido, ya sea de la calle como de las propias aulas contiguas o el pasillo, se adentra en el espacio, molestando a los estudiantes y docentes, perjudicando el desarrollo normal de las clases. Probablemente, si no hubieran existido protocolos de ventilación, el ruido exterior sería un factor clave a la hora de decidir si se abren o no las ventanas y puertas para ventilar el aula, ya que interrumpe y distrae a los ocupantes.

CAPÍTULO 7.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

Durante los dos últimos años, la pandemia por Covid-19 ha supuesto un cambio significativo a la hora de mantener los espacios en condiciones ambientales adecuadas para evitar la propagación del virus.

Hasta ahora, el confort térmico en el interior de un espacio primaba habitualmente sobre la calidad del aire, debido principalmente a la percepción térmica es inmediata, mientras que los efectos de la exposición prolongada a concentraciones elevadas de CO₂ empiezan a aparecer en el medio-largo plazo. En edificios de alta ocupación, como las aulas de los centros docentes, a la hora de tomar medidas en el uso de sistemas mecánicos o incluso la decisión de ventilar de forma natural el espacio, se prefería alcanzar un confort térmico antes que una adecuada calidad del aire interior. El empleo que hacían los usuarios de dichos sistemas también depende de agentes económicos y energéticos, por lo que en muchos casos las decisiones tomadas no siempre beneficiaban el bienestar del alumnado. Además, habitualmente, aunque existan sistemas de ventilación mecánica, estos no siempre funcionan correctamente, como en el caso de estudio estudiado.

Sin embargo, con la llegada de los protocolos de prevención frente al SARS-CoV-19, la consciencia sobre la concentración de CO₂ en el ambiente interior ha dado lugar al predominio de la ventilación sobre el confort térmico, con el inconveniente que ello también supone en la salud de los ocupantes.

En el transcurso de este trabajo académico, aplicado al caso de estudio del Instituto de Educación Secundaria Murillo de Sevilla, se han tomado y analizado datos cuantitativos, mediante las campañas de monitorización de las aulas, y cualitativos, con la realización de encuestas al alumnado. Además, se han valorado diferentes hipótesis de ventilación natural. Con toda esta información, se van a extraer las siguientes conclusiones:

- Los valores obtenidos en las mediciones ponen de manifiesto que los protocolos de ventilación requeridos para paliar la expansión de la pandemia han favorecido de forma muy clara la calidad del aire interior a costa de las condiciones higrotérmicas. Las aulas estudiadas han registrado, durante la gran mayoría del tiempo medido, niveles de concentración de CO₂ por debajo de las 700 ppm, lo que corresponde a un nivel IDA 1. Este dato convierte a las clases

en espacios con una calidad de aire interior óptima, por encima del requerimiento de la normativa del RITE para aulas de enseñanza.

- Durante el periodo de medición, las condiciones higrotérmicas interiores, tanto la temperatura como la humedad relativa, han estado predominantemente fuera de las condiciones de consigna, con el perjuicio que ello supone para el alumnado durante el día. Las altas temperaturas exteriores registradas en Sevilla en los meses de mayo y junio hacen que la ventilación natural de emergencia planteada durante la pandemia por Covid-19 sea incompatible con el confort térmico interior, al menos en la estación cálida evaluada, con temperaturas interiores superiores a las de confort durante la mayor parte del horario docente. Por lo tanto, se puede afirmar que, mientras que en primavera y otoño se podría prescindir de la ventilación mecánica, durante el verano se convierte en obligatorio que los sistemas funcionen correctamente para poder hacer frente tanto a las exigencias de ventilación como a las condiciones climáticas de la ciudad.
- En la comprobación de los valores mediante las hipótesis de apertura de huecos, se demostró como la ventilación cruzada, obtenida mediante la apertura de ventanas y puertas, disminuía más rápidamente los niveles de concentración de CO₂ en el aula. Esto podría tomarse como alternativa a los sistemas mecánicos para regular los valores de CO₂ en el interior, si existieran en las aulas sensores que permitieran la comprobación. Dicha alternativa debería usarse como recurso complementario y puntual, ya que hay otros factores, como el ruido desde el espacio exterior, que pueden afectar al desarrollo de las clases de la propia aula y las contiguas.
- También se ha comprobado que la temperatura interior evoluciona vinculada a la temperatura exterior en los periodos de apertura de ventanas sin ventilación mecánica. Esto ha ocurrido durante los días con máximas más altas, produciéndose un sobrecalentamiento al alcanzarse valores cercanos a los 30 °C en el interior de las aulas. En el caso del día de la realización de las hipótesis de apertura, básicamente se reproducía las condiciones exteriores en el interior de las aulas. Durante las hipótesis, al cerrar las ventanas para evitar la entrada de calor, el aire viciado interior y sin movimiento ha provocado también una fuerte sensación de incomodidad

en los ocupantes. Esto demuestra que, como ya se ha comentado, en periodos extremadamente cálidos, la única solución viable es el uso de sistemas mecánicos para poder mantener tanto las condiciones de confort higrotérmico como de calidad del aire interior.

- Los resultados de las encuestas demuestran que, en periodos de estación cálida, la opinión del alumnado es más negativa con respecto al confort térmico. Aunque el alumnado muestra capacidad de adaptación a las condiciones de sobrecalentamiento en el aula, la mayoría afirma creer que pueden mejorarse.

El hecho de encontrarse dentro del rango de temperaturas operativas según el RITE, no parece ser suficiente para asegurar que la percepción térmica de los ocupantes sea adecuada, planteando esto la necesidad de revisar los parámetros actuales y ofrecer nuevas soluciones.

- Según el alumnado, el confort acústico alcanzado con los actuales protocolos de ventilación es valorado como mediocre. Este parámetro es uno de los más afectados por las situaciones de ventilación extensiva, ya que los efectos del ruido son inmediatos y molestos para los ocupantes. Debido a la localización del centro, en un área urbana bastante concurrida durante la mañana, las estrategias de ventilación natural se verán condicionadas por la situación acústica exterior y compatibilidad con los niveles sonoros mínimos en el interior de las aulas.

- Las respuestas del alumnado frente a cuestiones como si los síntomas permanecen durante el día, aunque dejen el aula, fueron las siguientes: más de la mitad de los alumnos siguen padeciendo molestias unas horas después de haber dejado el aula, incluso un 10 % asegura que persisten durante el resto del día.

Por lo tanto, la situación actual sí afecta a la salud de los usuarios, donde normalmente los efectos de las temperaturas interiores inadecuadas perjudican el rendimiento de los alumnos durante el día, pudiendo traer consecuencias futuras.

PROPUESTA DE MEJORA

Teniendo en cuenta las conclusiones alcanzadas, se podrían tener en cuenta los siguientes aspectos para mejorar tanto el confort higrotérmico como la calidad del aire interior en las aulas:

- Primero, se propone dotar a las aulas de sensores de CO₂, temperatura y humedad. De esta forma, tanto el personal docente como incluso el propio alumnado pueden verificar las condiciones ambientales del aula, decidiendo así si hacer uso de los sistemas de ventilación mecánica, si existen, o de la ventilación natural, regulando el caudal necesario.
En estaciones como el invierno y verano, donde las condiciones exteriores son más desfavorables, se deberá hacer uso de los sistemas de ventilación mecánica si es posible, utilizando la ventilación natural como complemento para encontrar el equilibrio entre superficie de apertura y que se garantice el caudal de ventilación.
Según las hipótesis de apertura planteadas en apartados anteriores, si los niveles de CO₂ son excesivos, haciendo uso de la ventilación cruzada (apertura de puertas y ventanas) no es necesario una ventilación intensiva continua, ya que planteando periodos de ventilación de 7 a 10 minutos cada 30 o 25 minutos se podrían garantizar una adecuada calidad del aire interior. Este estrategia podría plantearse si las temperaturas exteriores no son demasiado altas o bajas, siempre comprobando con el sensor la necesidad real de ventilación.
- Por otro lado, hay que tener en cuenta que las restricciones normativas por Covid-19 serán posiblemente menos duras en próximos cursos, gracias a la mejora de la situación por las vacunas. Debido a esto, es probable que la ventilación vuelva a quedar en segundo plano. Sin embargo, se proponen varias estrategias de ventilación según la estación:
 - Estación media: si las condiciones exteriores son favorables, se intentará mantener la ventilación natural siempre que esta pueda garantizar el confort térmico y la calidad de aire interior. Según los resultados obtenidos durante días donde las temperaturas eran más templadas (unos 22/23°C), se podrían alternar periodos de ventilación cruzada para renovar y mantener el flujo de aire interior, siendo suficiente una superficie de apertura

del 25%, que permitiera mantener las condiciones higrotérmicas a la vez que se alcanza un IDA 2

- Estación fría/cálida: como se ha podido comprobar en días con temperaturas muy elevadas durante la segunda campaña de monitorización, la ventilación natural no es capaz de asegurar el confort térmico interior, por lo que sería necesario el uso de sistemas de ventilación mecánica. Tal vez, para evitar un gasto económico y energético muy elevado, se podría combinar con el uso de ventilación natural, como se ha comentado anteriormente, durante periodos de 10 minutos para volver a valores dentro de los requeridos por el RITE.
- Por último, siendo imprescindible para los puntos comentados, el centro deberá comprobar el funcionamiento de los sistemas mecánicos de los que disponen, contribuyendo al uso eficiente de los equipos. Actualmente, a pesar de que la mayoría de las aulas del instituto disponen de sistemas de ventilación mecánica, no todas hacen uso de ellos. Al considerarse que los medios mecánicos deberían de ser la primera opción de ventilación durante la mitad del curso escolar, es necesario que tengan un correcto mantenimiento.
Con esto, se podrá asegurar que el empleo de estrategias de ventilación mecánica en las aulas no perjudica a los ocupantes y que estas son capaces de asegurar el confort y la calidad de aire allá donde la ventilación natural es insuficiente.

En definitiva, es necesario repensar las estrategias de ventilación y las condiciones de confort, para que estas puedan adaptarse tanto a la situación climática como a las necesidades de los usuarios, sin dejar de lado la cuestión de emergencia climática actual. Se debe apostar por métodos que hagan un uso eficiente y responsable de los sistemas, con actuaciones que permitan la combinación de recursos naturales y mecánicos. Además, la valoración del usuario debe estar presente, ya que este, con su capacidad de tolerancia tras la pandemia, puede ser capaz de adaptarse a diferentes rangos de operatividad que no siempre corresponden con los representados en las normativas.

En definitiva, es necesario repensar las estrategias de ventilación y las condiciones de confort, para que estas puedan adaptarse tanto a la situación climática como a las necesidades de los usuarios, sin dejar de lado la cuestión de emergencia climática actual. Se debe apostar por métodos que hagan un uso eficiente y responsable de los sistemas, con actuaciones que permitan la combinación de recursos naturales y artificiales. Además, la valoración del usuario debe estar presente, ya que este, con su capacidad de tolerancia tras la pandemia, puede ser capaz de adaptarse a diferentes rangos de operatividad que no siempre corresponden con los representados en las normativas.

POSIBLES LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

La escala de este trabajo es limitada debido a su naturaleza académica y el periodo temporal de ejecución, por lo que se podría seguir desarrollando más detalladamente. En futuros trabajos se podrían plantear completar las campañas de monitorización en media estación e invierno, con el objetivo de comparar las condiciones con respecto a la analizada en este estudio, así como aumentar las encuestas entre el alumnado.

También se podría trasladar la metodología empleada a otros casos en diferentes zonas climáticas, localidades o tipos de aula. La valoración de los sistemas de ventilación mecánica se podría ampliar comprobando la efectividad de estos en distintos periodos temporales y tasas de ocupación del aula, valorando el consumo energético y el gasto económico que supone para los centros educativos.

CAPÍTULO 8.
BIBLIOGRAFÍA

NORMATIVAS, GUÍAS Y RECOMENDACIONES

ASHRAE EPIDEMIC TASK FORCE. (2021). *ASHRAE Introduces Updated Reopening Guide for Schools and Universities*. ASHRAE, Schools & Universities. Recuperado el 4 de junio de 2022, de <https://www.ashrae.org/about/news/2020/ashrae-introduces-updated-reopening-guide-for-schools-and-universities>

CTE. (2019). *Código Técnico de la Edificación. Documento Básico de Salubridad, Apartado 3*.

IDAE. (2020). *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*. Gobierno de España. Ministerio de Sanidad y Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Recuperado el 10 de junio de 2022, de https://www.miteco.gob.es/es/ministerio/medidas-covid19/sistemas-climatizacion-ventilacion/guiaderecomendacionesporcovid19ensistemasdeclimatizacion_tcm30-509985.pdf

Junta de Andalucía. (2003). *ORDEN de 24 de enero de 2003, por la que se aprueban las Normas de diseño y constructivas para los edificios de uso docente*. Boletín Oficial de la Junta de Andalucía, 43, de 5 de Marzo de 2003.

Gobierno de España (2021). *Medidas de prevención, higiene y promoción de la salud frente a Covid-19 para centros educativos en el curso 2021-2022*. Ministerio de Educación y Formación Profesional. Recuperado el 11 de junio de 2022, de https://www.sanidad.gob.es/profesionales/saludPublica/ccayes/alertasActual/nCov/documentos/Medidas_centros_educativos_Curso_2021_2022.pdf

REHVA. (2020). *How to operate HVAC and other building service systems to prevent the spread of the coronavirus (SARS-CoV-2) disease (COVID-19) in workplaces*. REHVA, COVID-19 Task Force of REHVA's Technology and Research Committee. Recuperado el 4 de junio de 2022, de https://www.rehva.eu/fileadmin/user_upload/REHVA_COVID-19_guidance_document_V4_23112020.pdf

RITE. (2021). *Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios*. Real Decreto 178/2021, de 23 de marzo.

UNE-CR 1752 IN. (2008). *Ventilación de edificios. Criterios para diseño interior*.

UNE-EN 13779. (2008). *Ventilación de los edificios no residenciales*.

TRABAJOS Y TESIS

González González, P. (2021). Trabajo Fin de Grado. *Análisis de las condiciones ambientales de centros educativos del área mediterránea en tiempos de Covid-19*.

Llanos Jiménez, J. (2020). Trabajo Fin de Grado. *Análisis de la calidad ambiental en aula de infantil mediante el monitoreo de parámetros higrotérmicos y nivel de CO₂*.

Romero Otero, J. (2019). Trabajo Fin de Máster. *Análisis de la influencia de los espacios de transición en el comportamiento térmico de edificios docentes: El IES Murillo como caso de estudio en Sevilla*.

Tabar Rodríguez, I. (2015). Tesis Doctoral. *Orden y naturaleza en las escuelas al aire libre: El colegio para la institución teresiana en Alicante de Rafael de la Hoz y Gerardo Olivares*. Madrid.

LIBROS

Colomina, B. (2021). *Arquitectura de Rayos X*. PUENTE EDITORES.

ARTÍCULOS Y PÁGINAS WEB

- Allen, J., Spengler, J., Jones, E., & Cedeno-Laurent, J. (2020). *5-Step Guide to Cheking Ventilation Rates in Classroom*. Universidad de Harvard, Harvard Healthy Buildings program. Recuperado el 5 de junio de 2022, de <https://schools.forhealth.org/ventilation-guide/>
- Alonso, A., Llanos, J., Escandón, R., & Sendra, J. J. (2021). Effects of the COVID-19 Pandemic on Indoor Air Quality and Thermal Comfort of Primary Schools in Winter in a Mediterranean Climate. *Sustainability*, *13*(2699). Recuperado el 16 de junio de 2022, de <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/107512/Effects%20of%20the%20COVID-19%20pandemic%20on%20indoor%20air%20quality%20and%20thermal%20comfort%20of%20primary%20schools%20in%20winter%20in%20a%20Mediterranean%20climate.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Bernal Martínez, J. M. (11 de Octubre de 2000). De las escuelas al aire libre a las aulas de la naturaleza. *Áreas. Revista Internacional de Ciencias Sociales, Higienismo y Educación (ss. XVIII-XX)*(20), 171-182. Recuperado el 5 de agosto de 2022, de <https://revistas.um.es/areas/article/view/144721/129661>
- Campano-Laborda, M. Á., Domínguez-Amarillo, S., Fernández-Agüera, J., & Sendra, J. J. (2019). Thermal Perception in Mild Climate: Adaptive Thermal Models for Schools. *Sustainability*, *11*(3948). Recuperado el 15 de junio de 2022, de <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/88428/sustainability-11-03948-v2.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Castro, A. M. (11 de Abril de 2019). *El mapa del cólera de John Snow*. Recuperado el 6 de agosto de 2022, de Cuaderno de Cultura Científica: <https://culturacientifica.com/2019/04/11/el-mapa-del-colera-de-john-snow/>
- Contente, C. (10 de Octubre de 2020). Cómo las epidemias transformaron las ciudades. *Revista Historia y Vida*. Recuperado el 2 de agosto de 2022, de

<https://www.lavanguardia.com/historiayvida/historia-contemporanea/20201010/33539/como-epidemias-transformaron-ciudades.html#foto-5>

Domínguez-Amarillo, S., Fernández-Agüera, J., Cuerdo-Vilches, T., & González, M. M. (2020). Overheating in Schools: Factors Determining Children's Perceptions of Overall Comfort Indoors. *Sustainability*, 12(5772). Recuperado el 15 de junio de 2022, de <https://digital.csic.es/bitstream/10261/217638/1/sustainability-12-05772-v2.pdf>

Fernández-Agüera, J., Domínguez-Amarillo, S., Acosta, I., Sendra, J. J., & Campano-Laborda, M. Á. (2019). CO₂ Concentration and Occupants' Symptoms in Naturally Ventilated Schools in Mediterranean climate. *Buildings*, 9(197). Recuperado el 15 de junio de 2022, de <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/92473/buildings-09-00197.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Guayavero, Ó. (17 de Marzo de 2020). *Infografía curativa*. Recuperado el 6 de agosto de 2022, de ES DESING Barcelona: <https://www.esdesignbarcelona.com/actualidad/disenografico/infografia-curativa>

López, I. (2 de Julio de 2019). Cómo la tuberculosis y los rayos X cambiaron la arquitectura y nuestras ciudades. *Revista ICON DESING*. Recuperado el 10 de agosto de 2022, de https://elpais.com/elpais/2019/07/02/icon_design/1562053428_488068.html

Minguillón, M. C., Querol, X., Felisi, J. M., & Garrido, T. (Octubre de 2020). *Guía para ventilación en aulas*. Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua,. IDAEA-CSIC, Ministerio de Ciencia e Innovación y Mesura. Recuperado el 11 de junio de 2022, de https://www.csic.es/sites/default/files/guia_para_ventilacion_en_aulas_csic-mesura.pdf

Molins, V. (18 de Abril de 2020). *Beatriz Colomina lo contó primero: cuando las grandes crisis sanitarias transforman la arquitectura*. Recuperado el 7 de agosto de 2022, de Culturplaza: <https://valenciaplaza.com/beatriz-colomina-lo-conto-primero-cuando-las-grandes-crisis-sanitarias-transforman-la-arquitectura>

- Navarro, V. (25 de Septiembre de 2020). Desafíos del espacio escolar frente a la pandemia (I). *Fundación Arquia Blog*. Recuperado el 6 de agosto de 2022, de <https://blogfundacion.arquia.es/2020/09/desafios-del-espacio-escolar-frente-a-la-pandemia/>
- Navarro, V. (23 de Diciembre de 2020). Desafíos del espacio escolar frente a la pandemia (II). *Fundación Arquia Blog*. Recuperado el 6 de agosto de 2022, de <https://blogfundacion.arquia.es/2020/12/desafios-del-espacio-escolar-frente-a-la-pandemia-ii/>
- Otero, J. (3 de Julio de 2018). *El Sanatorio Paimio de Alvar Aalto está a la venta*. Recuperado el 7 de agosto de 2022, de Metalocus: <https://www.metalocus.es/es/noticias/el-sanatorio-paimio-de-alvar-aalto-esta-a-la-venta>
- Putruele, M. (5 de Agosto de 2020). *De qué manera las pandemias han moldeado nuestras ciudades, y qué ocurrirá luego del 2020*. Recuperado el 6 de agosto de 2022, de Infobae: <https://www.infobae.com/tendencias/2020/08/05/de-que-manera-las-pandemias-han-moldeado-nuestras-ciudades-y-que-ocurrira-luego-del-2020/>
- Rinaldi, F., & Giambelluca, A. (8 de Julio de 2020). *Escuelas a cielo abierto, una alternativa en la pandemia de coronavirus*. Recuperado el 12 de agosto de 2022, de Clarín: https://www.clarin.com/arq/arquitectura/escuelas-cielo-abierto--alternativa-pandemia-coronavirus_0_6qPWD9ZZJ.html
- Toca Rey, G. (12 de Septiembre de 2020). ¿Cómo se enfrentaron los colegios a otras pandemias? *Revista Historia y Vida*(630). Recuperado el 15 de agosto de 2022, de Revista Historia y Vida: <https://www.lavanguardia.com/historiayvida/historia-contemporanea/20200912/33224/como-enfrentaron-colegios-antiores-pandemias.html>
- Torrico, E. (26 de Junio de 2020). ¿Casas y escuelas anticovid? Cómo la arquitectura pospandemia ha moldeado siempre nuestras ciudades. *El Confidencial*. Recuperado el 7 de agosto de 2022, de https://www.elconfidencial.com/cultura/2020-06-29/tuberculosis-y-covid-escuelas-aire-libre-casas-terrazas-pandemia_2658575/

- United Nations. (Agosto de 2020). *Policy Brief: Education during COVID-19 and beyond*. Recuperado el 22 de mayo de 2022, de https://www.un.org/development/desa/dspd/wp-content/uploads/sites/22/2020/08/sg_policy_brief_covid-19_and_education_august_2020.pdf
- World Health Organization. (Septiembre de 2020). *Considerations for school-related public health measures in the context of COVID-19*. World Health Organization. Recuperado el 3 de junio de 2022, de <https://www.who.int/publications/i/item/considerations-for-school-related-public-health-measures-in-the-context-of-covid-19>
- World Health Organization. (Julio de 2020). *Transmission of SARS-CoV-2: implications for infection prevention precautions*. World Health Organization. Recuperado el 3 de junio de 2022, de <https://www.who.int/news-room/commentaries/detail/transmission-of-sars-cov-2-implications-for-infection-prevention-precautions>

CAPÍTULO 9.
ANEXOS

ANEXO I. BASE DE DATOS DE LA MONOTORIZACIÓN

CATALOGACIÓN DE DÍAS TIPO SEGÚN CONDICIONES HIGROTÉRMICAS Y CALIDAD DE AIRE INTERIOR (IAQ)

A continuación, se muestran los valores medios obtenidos en las dos mediciones realizadas y la catalogación de las condiciones higrotérmicas de las aulas según los criterios descritos en la *tab. 20*. Como se puede observar, se clasifican los datos en 3 días tipo, con subtipos (*tab. 21*).

Tab 20

CRITERIOS DE CATALOGACIÓN				
Tª int. (°C)	HR int. (%)	Nivel medio CO2 (ppm)	IDA	Rebases 800 ppm (%)
>25	>60	700<x<1000	3	>10
23<x<25	45<x<60	450<x<700	2	5<x<10
<23	<45	<450	1	<5

Tab 21

Categoría	Tª (°C)	Hr (%)
DÍA TIPO 1A	23<x<25	45<x<60
DÍA TIPO 1B	23<x<25	<45
DÍA TIPO 2A	>25	45<x<60
DÍA TIPO 2B	>25	<45
DÍA TIPO 3A	<23	45<x<60

Tab 20 Criterios de catalogación. *Fuente: Elaboración propia*

Tab 21 Clasificación de los días tipo. *Fuente: Elaboración propia*

Tab 22 Resumen de las condiciones higrotérmicas y niveles de CO₂ del aula 2.12. *Fuente: Elaboración propia*

Tab 23 Resumen de las condiciones higrotérmicas y niveles de CO₂ del aula 2.13. *Fuente: Elaboración propia*

Tab 22

AULA 2.12								
	Día	Fecha	Tª int. (°C)	Hr (%)	Niveles medio CO2	IDA	Rebases sobre 800 ppm	Tipo de día
Medición 1	Día 1	16/05/2022	24,0	52,4	624,8	2	0,0	1A
	Día 2	17/05/2022	25,0	50,0	664,4	2	0,0	2A
	Día 3	18/05/2022	25,9	46,2	670,8	2	3,6	2A
	Día 4	19/05/2022	25,8	44,2	688,1	2	17,9	2B
	Día 5	20/05/2022	25,6	41,9	590,3	2	0,0	2B
	Día 6	23/05/2022	25,5	53,4	599,2	2	3,6	2A
	Día 7	24/05/2022	25,1	37,7	591,7	2	0,0	2B
	Día 8	25/05/2022	24,5	28,6	636,5	2	21,4	1B
	Día 9	26/05/2022	24,3	37,4	673,5	2	7,1	1B
	Día 10	27/05/2022	24,9	34,7	650,8	2	8,3	1B
	Día 11	30/05/2022	23,2	51,7	589,8	2	0,0	1A
	Día 12	31/05/2022	24,5	56,9	641,7	2	7,5	1A
Medición 2	Día 13	13/06/2022	29,6	27,4	526,87	2	0,0	2B
	Día 14	14/06/2022	28,3	39,6	629,3	2	0,0	2B
	Día 15	15/06/2022	23,4	55,2	630,7	2	15,5	1A
	Día 16	16/06/2022	28,5	50,3	425,9	1	0,0	2A
	Día 17	17/06/2022	24,9	54,8	620,9	2	2,4	1A
	Día 18	20/06/2022	22,8	58,0	604,4	2	1,2	3A
	Día 19	21/06/2022	23,0	46,4	593,6	2	0,0	1A
	Día 20	22/06/2022	23,3	48,2	504,0	2	0,0	1A
	Día 21	23/06/2022	23,4	56,0	492,4	2	3,6	1A

Tab 23

AULA 2.13								
	Día	Fecha	Tª int. (°C)	Hr (%)	Niveles medio CO2	IDA	Rebases sobre 800 ppm	Tipo día (Tª + Hr)
Medición 1	Día 1	16/05/2022	24,6	49,5	643,6	2	2,3	1A
	Día 2	17/05/2022	26,4	45,4	648,3	2	1,2	2A
	Día 3	18/05/2022	28,4	39,0	614,0	2	11,9	2B
	Día 4	19/05/2022	28,1	37,3	596,0	2	21,4	2B
	Día 5	20/05/2022	29,3	33,4	579,2	2	1,2	2B
	Día 6	23/05/2022	23,9	59,6	544,4	2	1,2	1A
	Día 7	24/05/2022	24,2	38,1	543,0	2	0,0	1B
	Día 8	25/05/2022	24,9	26,8	643,6	2	4,8	1B
	Día 9	26/05/2022	24,9	34,1	555,6	2	0,0	1B
	Día 10	27/05/2022	26,6	29,7	564,1	2	0,0	2B
	Día 11	30/05/2022	23,0	52,0	487,0	2	0,0	1A
	Día 12	31/05/2022	22,5	59,2	535,7	2	0,0	3A

VALORES OBTENIDOS EN LAS HIPÓTESIS DE APERTURA

En la siguiente tabla, *tab. 24*, se muestran todos los valores obtenidos durante la 3ª medición, donde se realizaron una serie de hipótesis de apertura de huecos para analizar los cambios y el tiempo que tardaban en surgir.

Tab 24

	Nº Medición	Fecha	Hora	Tª int. (°C)	Tª ext. (°C)	Hr int. (%)	Hr ext. (%)	Niveles int. medio CO2 (ppm)	Niveles ext. medio CO2 (ppm)
DESCANSO	1	23/06/2022	11:04:33	22,7	22,8	59	55,9	713	464,7
	2	23/06/2022	11:09:33	23,1	23,0	56,4	54,9	710	464,2
	3	23/06/2022	11:14:33	23,2	23,1	54,5	53,9	620	463,7
	4	23/06/2022	11:19:33	23,3	23,3	52,7	52,9	543	463,1
	5	23/06/2022	11:24:33	23,4	23,5	52,3	51,9	535	462,6
	6	23/06/2022	11:29:33	23,5	23,7	51	50,9	514	462,1
	7	23/06/2022	11:34:33	23,5	23,8	52,2	50,0	616	461,6
ESTADO BASE	8	23/06/2022	11:39:33	23,6	24,0	56,5	49,0	778	461,1
	9	23/06/2022	11:44:33	23,8	24,2	56,5	48,0	756	460,6
	10	23/06/2022	11:49:33	23,8	24,4	55,4	47,0	760	460,0
	11	23/06/2022	11:54:33	24,2	24,5	55,2	46,0	798	459,5
	12	23/06/2022	11:59:33	24,4	24,7	55	45,0	846	459,0
	13	23/06/2022	12:04:33	24,5	24,8	54,8	44,8	917	459,4
H1	14	23/06/2022	12:09:33	24,6	24,8	54,6	44,6	959	459,9
	15	23/06/2022	12:14:33	24,7	24,9	54,4	44,4	1044	460,3
	16	23/06/2022	12:19:33	24,8	24,9	53,1	44,2	983	460,7
H2	17	23/06/2022	12:24:33	24,9	25,0	51,2	44,0	905	461,2
	18	23/06/2022	12:29:33	24,9	25,0	49,6	43,9	843	461,6
	19	23/06/2022	12:34:33	24,9	25,1	47,8	43,7	731	462,0
E.B.	20	23/06/2022	12:39:33	24,9	25,1	48,3	43,5	780	462,5
	21	23/06/2022	12:44:33	25	25,2	49,5	43,3	904	462,9
	22	23/06/2022	12:49:33	24,9	25,2	50,4	43,1	996	463,3
H3	23	23/06/2022	12:54:33	25,2	25,3	50,3	42,9	1034	463,8
	24	23/06/2022	12:59:33	25,2	25,3	50	42,7	990	464,2
	25	23/06/2022	13:04:33	25,2	25,3	49,1	42,6	916	464,7
H4	26	23/06/2022	13:09:33	25,4	25,4	47,5	42,5	750	465,1
	27	23/06/2022	13:14:33	25,3	25,4	46,6	42,3	684	465,6
	28	23/06/2022	13:19:33	25,3	25,4	47,4	42,2	731	466,0

Tab 24 Situación de apertura de huecos en el momento de la encuesta. Fuente: *Elaboración propia*

ANEXO II. ENCUESTAS AL ALUMNADO

Para consultar la encuesta realizada a los alumnos durante el transcurso de este estudio, se puede visitar esta web:

CUESTIONARIO SOBRE CALIDAD AMBIENTAL INTERIOR

https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSecSCS_96RFqPAEpw_sQSwAiNfiIWztRQnqcmlxRj_INyMsA/viewform

Los resultados de esta se encuentran disponible en el siguiente enlace, donde se encuentra la hoja de calculo que recoge todos los datos obtenidos:

RESULTADOS DEL CUESTIONARIO:

https://docs.google.com/spreadsheets/d/1ICuzYRIA9rI1QvDo_t-1-qwbHfFe2FpVYVNkzCtpYOM/edit?usp=sharing

ANEXO III. ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

- [Fig. 1]** Infografía sobre ventilación en los espacios.
Fuente: Gobierno de España (2021). *Cuidado y bienestar de alumnado, profesorado y familias*. Recuperado el 27 de agosto de 2022, de Ministerio de Educación y Formación Profesional: <https://www.educacionyfp.gob.es/dam/jcr:3f0e7bfc-504e-46ce-b45a-540140bc049a/covid19-ventilacion.pdf>
- [Fig. 2]** Imagen del hospital de emergencia en Kansas (EE. UU.) durante la epidemia de gripe española en 1918.
Fuente: Diseño y Arquitectura (2009). *Silla Paimio de Alvar Aalto, un diseño pionero en madera laminada*. Recuperado el 7 de agosto de 2022, de Diseño y Arquitectura: <https://www.disenoyarquitectura.net/2009/05/silla-paimio-de-alvar-aalto-un-diseno.html>
- [Fig. 3]** Mapa elaborado por John Snow que recoge las muertes por cólera registradas en el barrio del Soho, en Londres.
Fuente: Castro, A. M. (2019). *El mapa del cólera de John Snow*. Recuperado el 6 de agosto de 2022, de Cuaderno de Cultura Científica: <https://culturacientifica.com/2019/04/11/el-mapa-del-colera-de-john-snow>
- [Fig. 4]** Vista exterior del Sanatorio de Paimio.
Fuente: Otero, J (2018). *El Sanatorio Paimio de Alvar Aalto está a la venta*. Recuperado el 7 de agosto de 2022, de Metalocus: <https://www.metalocus.es/es/noticias/el-sanatorio-paimio-de-alvar-aalto-esta-a-la-venta>
- [Fig. 5]** Vista desde la terraza del Sanatorio de Paimio.
Fuente: Otero, J (2018). *El Sanatorio Paimio de Alvar Aalto está a la venta*. Recuperado el 7 de agosto de 2022, de Metalocus: <https://www.metalocus.es/es/noticias/el-sanatorio-paimio-de-alvar-aalto-esta-a-la-venta>
- [Fig. 6]** Imagen de la Silla Paimio.
Fuente: Diseño y Arquitectura (2009). *Silla Paimio de Alvar Aalto, un diseño pionero en madera laminada*. Recuperado el 7 de agosto de 2022, de Diseño y Arquitectura: <https://www.disenoyarquitectura.net/2009/05/silla-paimio-de-alvar-aalto-un-diseno.html>
- [Fig. 7]** Imagen de una escuela de bosque en Holanda, en 1957.
Fuente: Toca Rey, G. (2020). *¿Cómo se enfrentaron los colegios a otras pandemias?* Revista Historia y Vida(630). Recuperado el 15 de agosto de 2022, de Revista Historia y Vida: <https://www.lavanguardia.com/historiayvida/historia-contemporanea/20200912/33224/como-enfrentaron-colegios-antiores-pandemias.htm>

- [Fig. 8]** Imagen de la *école de plein air*, en Suresnes, París.
Fuente: Rinaldi, F., & Giambelluca, A. (2020). *Escuelas a cielo abierto, una alternativa en la pandemia de coronavirus*. Recuperado el 12 de agosto de 2022, de Clarín: https://www.clarin.com/arg/arquitectura/escuelas-cielo-abierto--alternativa-pandemia-coronavirus_0_6qPWD9ZZJ.html
- [Fig. 9]** Plano de la planta general de la *Waldshule* en Charlottenburg, Berlín.
Fuente: Architecture of Early Childhood (2011). *Open-air schools in Europe*. Recuperado el 12 de agosto de 2022, de AEC: Architecture of Early Childhood: <http://www.architectureofearlychildhood.com/2011/05/open-air-schools-in-europe.html>
- [Fig. 10]** Imagen de niños recibiendo clase entre los árboles.
Fuente: Architecture of Early Childhood (2011). *Open-air schools in Europe*. Recuperado el 12 de agosto de 2022, de AEC: Architecture of Early Childhood: <http://www.architectureofearlychildhood.com/2011/05/open-air-schools-in-europe.html>
- [Fig. 11]** Imagen de niños frente a uno de los pabellones del conjunto de la *Waldshule*.
Fuente: Architecture of Early Childhood (2011). *Open-air schools in Europe*. Recuperado el 12 de agosto de 2022, de AEC: Architecture of Early Childhood: <http://www.architectureofearlychildhood.com/2011/05/open-air-schools-in-europe.html>
- [Fig. 12]** Vista del exterior de los pabellones de la Escuela Uffculme, Birmingham.
Fuente: Birmingham Education Committee. (1912). *The Open Air School and its Place in Educational Organization* Recuperado el 10 de agosto de 2022, de Internet Archive Scholar https://ia600708.us.archive.org/view_archive.php?archive=/28/items/crossref-pre-1923-scholarly-works/10.1016%252Fs0033-3506%252811%252980048-x.zip&file=10.1016%252Fs0033-3506%252811%252980107-1.pdf
- [Fig. 13]** Vista del exterior de las aulas de la Escuela Uffculme, Birmingham.
Fuente: Birmingham Education Committee. (1912). *The Open Air School and its Place in Educational Organization* Recuperado el 10 de agosto de 2022, de Internet Archive Scholar https://ia600708.us.archive.org/view_archive.php?archive=/28/items/crossref-pre-1923-scholarly-works/10.1016%252Fs0033-3506%252811%252980048-x.zip&file=10.1016%252Fs0033-3506%252811%252980107-1.pdf
- [Fig. 14]** Vista del exterior del pabellón de descanso de la Escuela Uffculme, Birmingham.
Fuente: Birmingham Education Committee. (1912). *The Open Air School and its Place in Educational Organization* Recuperado el 10 de agosto de 2022, de Internet Archive Scholar https://ia600708.us.archive.org/view_archive.php?archive=/28/items/crossref-pre-1923-scholarly-works/10.1016%252Fs0033-3506%252811%252980048-x.zip&file=10.1016%252Fs0033-3506%252811%252980107-1.pdf
- [Fig. 15]** Imagen del aula tipo con muro acristalados plegables de la Escuela Uffculme, Birmingham.
Fuente: Harvey, A. (2020). *Uffculme Open-Air School, Birmingham, Great Britain, classroom*. Recuperado el 10 de agosto de 2022, de Naturalpod: <https://naturalpod.com/why-outside-learning-is-a-great-option-even-beyond-covid/uffculme-open-air-school-birmingham-great-britain-classroom/>

- [Fig. 16]** Plano de planta de distribución de la Escuela Uffculme, Birmingham.
Fuente: Birmingham Education Committee. (1912). *The Open Air School and its Place in Educational Organization* Recuperado el 10 de agosto de 2022, de Internet Archive Scholar https://ia600708.us.archive.org/view_archive.php?archive=/28/items/crossref-pre-1923-scholarly-works/10.1016%252Fs0033-3506%252811%252980048-x.zip&file=10.1016%252Fs0033-3506%252811%252980107-1.pdf
- [Fig. 17]** Plano de la planta baja y planta tipo de la escuela al aire libre de Ámsterdam.
Fuente: Hidden Architecture. (2015). *Open air school*. Recuperado el 10 de agosto de 2022, de Hidden Architecture. <http://hiddenarchitecture.net/open-air-school/>
- [Fig. 18]** Plano de la sección general de la escuela al aire libre de Ámsterdam.
Fuente: Hidden Architecture. (2015). *Open air school*. Recuperado el 10 de agosto de 2022, de Hidden Architecture. <http://hiddenarchitecture.net/open-air-school/>
- [Fig. 19]** Vista exterior de la escuela al aire libre de Ámsterdam.
Fuente: Hidden Architecture. (2015). *Open air school*. Recuperado el 10 de agosto de 2022, de Hidden Architecture. <http://hiddenarchitecture.net/open-air-school/>
- [Fig. 20]** Plano de planta general de la *école de plein air* de Suresnes, París.
Fuente: Hidden Architecture. (2015). *Open air school*. Recuperado el 10 de agosto de 2022, de Hidden Architecture. <http://hiddenarchitecture.net/open-air-school/>
- [Fig. 21]** Plano de sección y planta del módulo de aula de la *école de plein air* de Suresnes, París.
Fuente: Tabar Rodríguez, I. (2015). Tesis Doctoral. *Orden y naturaleza en las escuelas al aire libre: El colegio para la institución teresiana en Alicante de Rafael de la Hoz y Gerardo Olivares*. Madrid. Pág. 150.
- [Fig. 22]** Imagen del módulo de aula con cerramiento abatible de la *école de plein air* de Suresnes, París.
Fuente: Torrijos, P. (2021). *Escuelas al aire libre: Cuando se podía estudiar haciendo el oso*. Recuperado el 10 de agosto de 2022, de Yorokobu: <https://www.yorokobu.es/escuelas-al-aire-libre-cuando-se-podia-estudiar-haciendo-el-oso/>
- [Fig. 23]** Vista exterior de las aulas desde pasarelas elevadas, en la *école de plein air* de Suresnes, París.
Fuente: Ruiz, M.J. (2020). *Escuela – la regla de las tres ces*. Recuperado el 10 de agosto de 2022, de Arquitecturizada: <https://arquitecturizada.blogspot.com/2020/09/escuelas-regla-tres-ces.html>
- [Fig. 24]** Imagen de niños bañándose en el área de baño exterior en la *école de plein air* de Suresnes, París.
Fuente: Torrijos, P. (2021). *Escuelas al aire libre: Cuando se podía estudiar haciendo el oso*. Recuperado el 10 de agosto de 2022, de Yorokobu: <https://www.yorokobu.es/escuelas-al-aire-libre-cuando-se-podia-estudiar-haciendo-el-oso/>

- [Fig. 25]** Imagen de niños en las aulas durante la pandemia por Covid-19.
Fuente: Save the Children. (2021). *Educación y Covid*. Recuperado el 11 de agosto de 2022, de Save the Children: <https://www.savethechildren.es/actualidad/educacion-y-covid>
- [Fig. 26]** Gráfica de las categorías de calidad de aire interior, con el CO₂ como indicador.
Fuente: UNE-CR 1752:2008
- [Fig. 27]** Esquemas de diferentes formas de ventilación.
Fuente: ASHRAE EPIDEMIC TASK FORCE. (2021). *ASHRAE Introduces Updated Reopening Guide for Schools and Universities*. ASHRAE, Schools & Universities. Recuperado el 4 de junio de 2022, de <https://www.ashrae.org/about/news/2020/ashrae-introduces-updated-reopening-guide-for-schools-and-universities>
- [Fig. 28]** Esquema de principios básicos en la prevención, higiene y promoción de la salud frente a COVID-19 en los centros educativos.
Fuente: Ministerio de Sanidad y de Educación y Formación Profesional. (2021). *Medidas de prevención, higiene y promoción de la salud frente a covid-19 para centros educativos en el curso 2021-2022*. Gobierno de España. Recuperado el 5 de junio de 2022, de https://www.sanidad.gob.es/profesionales/saludPublica/ccayes/alertasActual/nCov/documentos/Medidas_centros_educativos_Curso_2021_2022.pdf
- [Fig. 29]** Esquema de 5 soluciones según tipo de ventilación.
Fuente: Minguillón, M. C., Querol, X., Felisi, J. M., & Garrido, T. (2020). *Guía para ventilación en aulas. Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua*. IDAEA-CSIC, Ministerio de Ciencia e Innovación y Mesura. Recuperado el 11 de junio de 2022, de https://www.csic.es/sites/default/files/guia_para_ventilacion_en_aulas_csic-mesura.pdf
- [Fig. 30]** Esquemas de ventilación cruzada y ventilación con ventanas abiertas y puertas cerradas.
Fuente: Minguillón, M. C., Querol, X., Felisi, J. M., & Garrido, T. (2020). *Guía para ventilación en aulas. Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua*. IDAEA-CSIC, Ministerio de Ciencia e Innovación y Mesura. Recuperado el 11 de junio de 2022, de https://www.csic.es/sites/default/files/guia_para_ventilacion_en_aulas_csic-mesura.pdf
- [Fig. 31]** Gráfica de evolución de niveles de CO₂ en los diferentes escenarios y esquemas de los escenarios.
Fuente: Minguillón, M. C., Querol, X., Felisi, J. M., & Garrido, T. (2020). *Guía para ventilación en aulas. Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua*. IDAEA-CSIC, Ministerio de Ciencia e Innovación y Mesura. Recuperado el 11 de junio de 2022, de https://www.csic.es/sites/default/files/guia_para_ventilacion_en_aulas_csic-mesura.pdf
- [Fig. 32]** Gráfica sobre la concentración de CO₂ en los diferentes escenarios a través del tiempo.
Fuente: Minguillón, M. C., Querol, X., Felisi, J. M., & Garrido, T. (2020). *Guía para ventilación en aulas. Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua*. IDAEA-CSIC, Ministerio de Ciencia e Innovación y Mesura. Recuperado el 11 de junio de 2022, de https://www.csic.es/sites/default/files/guia_para_ventilacion_en_aulas_csic-mesura.pdf

- [Fig. 33]** Gráficas sobre la frecuencia acumulada y el porcentaje de concentración de CO₂ en las aulas con las ventanas cerradas (a) y las ventanas abiertas (b).
Fuente: Fernández-Agüera, J., Domínguez-Amarillo, S., Acosta, I., Sendra, J. J., & Campano-Laborda, M. Á. (2019). *CO₂ Concentration and Occupants' Symptoms in Naturally Ventilated Schools in Mediterranean climate*. *Buildings*, 9(197). Recuperado el 15 de junio de 2022, de <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/92473/buildings-09-00197.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [Fig. 34]** Gráfica con el radio de respuestas sobre los factores que influyen en el confort en el aula.
Fuente: Domínguez-Amarillo, S., Fernández-Agüera, J., Cuervo-Vilches, T., & González, M. M. (2020). *Overheating in Schools: Factors Determining Children's Perceptions of Overall Comfort Indoors*. *Sustainability*, 12(5772). Recuperado el 15 de junio de 2022, de <https://digital.csic.es/bitstream/10261/217638/1/sustainability-12-05772-v2.pdf>
- [Fig. 35]** Tabla resumen con las palabras más frecuentes en las discusiones participativas.
Fuente: Domínguez-Amarillo, S., Fernández-Agüera, J., Cuervo-Vilches, T., & González, M. M. (2020). *Overheating in Schools: Factors Determining Children's Perceptions of Overall Comfort Indoors*. *Sustainability*, 12(5772). Recuperado el 15 de junio de 2022, de <https://digital.csic.es/bitstream/10261/217638/1/sustainability-12-05772-v2.pdf>
- [Fig. 36]** Tabla resumen de los resultados obtenidos en las dos mediciones de enero 2020 y enero 2021.
Fuente: Alonso, A., Llanos, J., Escandón, R., & Sendra, J. J. (2021). *Effects of the COVID-19 Pandemic on Indoor Air Quality and Thermal Comfort of Primary Schools in Winter in a Mediterranean Climate*. *Sustainability*, 13(2699). Recuperado el 16 de junio de 2022, de <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/107512/Effects%20of%20the%20COVID-19%20pandemic%20on%20indoor%20air%20quality%20and%20thermal%20comfort%20of%20primary%20schools%20in%20winter%20in%20a%20Mediterranean%20climate.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [Fig. 37]** Gráfica comparativa de los valores de concentración de CO₂ obtenidos en las dos mediciones de enero 2020 y enero 2021.
Fuente: Alonso, A., Llanos, J., Escandón, R., & Sendra, J. J. (2021). *Effects of the COVID-19 Pandemic on Indoor Air Quality and Thermal Comfort of Primary Schools in Winter in a Mediterranean Climate*. *Sustainability*, 13(2699). Recuperado el 16 de junio de 2022, de <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/107512/Effects%20of%20the%20COVID-19%20pandemic%20on%20indoor%20air%20quality%20and%20thermal%20comfort%20of%20primary%20schools%20in%20winter%20in%20a%20Mediterranean%20climate.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [Fig. 38]** Esquema de los pasos seguidos en la metodología propuesta.
Fuente: Elaboración propia.
- [Fig. 39]** Imagen de la estación meteorológica de la Universidad de Sevilla.
Fuente: Grupo Investigación TEP 130.
- [Fig. 40]** Imagen del medidor de CO₂ empleado para la monitorización.
Fuente: PCE Ibérica S.L.

- [Fig. 41]** Imagen de la estación meteorológica de la Universidad de Sevilla.
Fuente: Grupo Investigación TEP 130.
- [Fig. 42]** Ubicación del IES Murillo en la trama de Sevilla (sombreado en azul).
Fuente: Elaboración propia a partir de ortofoto actual
- [Fig. 43]** Ubicación del IES Murillo en el barrio de Nervión (sombreado en azul).
Fuente: Elaboración propia a partir de ortofoto actual
- [Fig. 44]** Vista aérea del centro desde fachada norte.
Fuente: Elaboración propia a partir de ortofoto actual
- [Fig. 45]** Imagen del atrio norte desde el hall principal
Fuente: Elaboración propia.
- [Fig. 46]** Vista del acceso principal al centro por la fachada norte.
Fuente: Elaboración propia.
- [Fig. 47]** Imagen de los toldos móviles bajo la cubierta de policarbonato del atrio.
Fuente: Elaboración propia.
- [Fig. 48]** Planos de las secciones de los tipos de envolvente del edificio.
Fuente: Romero Odero, J. (2019). Trabajo Fin de Máster. *Análisis de la influencia de los espacios de transición en el comportamiento térmico de edificios docentes: El IES Murillo como caso de estudio en Sevilla*. Pág 50.
- [Fig. 49]** Planimetría básica IES Murillo. Planta baja (izq.) y planta primera (dcha.).
Fuente: Elaboración propia en base a planimetría original del centro.
- [Fig. 50]** Planimetría básica IES Murillo. Planta segunda (izq.) y planta tercera (dcha.).
Fuente: Elaboración propia en base a planimetría original del centro.
- [Fig. 51]** Vista interior aula 2.12.
Fuente: Elaboración propia.
- [Fig. 52]** Vista interior aula 2.13.
Fuente: Elaboración propia.

- [Fig. 53]** Vista interior aula 2.12, ejemplo de colocación de sensor.
Fuente: Elaboración propia.
- [Fig. 54]** Planos de planta de aulas seleccionadas para el monitoreo y ubicación de sensores.
Fuente: Elaboración propia en base a planimetría original del centro.
- [Fig. 55]** Calendario de mediciones en las aulas.
Fuente: Elaboración propia.
- [Fig. 56]** Distribución del mobiliario de las aulas.
Fuente: Elaboración propia.
- [Fig. 57]** Interior del aula 2.13.
Fuente: Elaboración propia.
- [Fig. 58]** Horarios de ocupación de las aulas 2.12 y 2.13, señalados aquellos que coinciden.
Fuente: Elaboración propia a partir de información proporcionada por IES Murillo.
- [Fig. 59]** Clasificación del IAQ para el caso de estudio y según la normativa vigente.
Fuente: Elaboración propia.
- [Fig. 60]** Colocación del sensor en el aula a 1,50 m.
Fuente: Elaboración propia.
- [Fig. 61]** Situación de apertura de huecos para las hipótesis.
Fuente: Elaboración propia.
- [Fig. 62]** Tipo de ventana existente en las aulas.
Fuente: Elaboración propia.
- [Fig. 63]** Esquema de división del aula en zonas.
Fuente: Elaboración propia.

TABLAS

[Tab. 1] Tabla de clasificación de la calidad de aire interior, con intervalos de concentración de CO₂.

Fuente: UNE-EN 13779.

[Tab. 2] Tabla de criterios de diseño para los diferentes espacios.

Fuente: UNE-CR 1752:2008 IN.

[Tab. 3] Tabla de caudales de aire exterior por persona.

Fuente: UNE-EN 13779.

[Tab. 4] Tabla de condiciones interiores de diseño. Rangos de temperatura operativa y humedad relativa.

Fuente: RITE 2021.

[Tab. 5] Tabla de especificaciones técnicas del medidor de datos Wöhler CDL 210.

Fuente: Onhaus Global System.

[Tab. 6] Tabla resumen de información de las aulas 2.12 y 2.13.

Fuente: Elaboración propia a partir de información proporcionada por IES Murillo.

[Tab. 7] Tabla de horas fuera de consigna de las temperaturas interiores de las aulas 2.12. y 2.13 durante la semana 1. Fuente: Elaboración propia.

[Tab. 8] Tabla de evolución de las condiciones higrotérmicas interiores y exteriores medias de las aulas 2.12. y 2.13 durante la semana 1 en horario ocupado.

Fuente: Elaboración propia.

[Tab. 9] Tabla de análisis comparativo del promedio del nivel de concentración de CO₂ interior y exterior en las aulas 2.12. y 2.13 durante la semana 1 en horario ocupado.

Fuente: Elaboración propia.

[Tab. 10] Tabla de recuento de valores por encima de 800 ppm en las aulas 2.12 y 2.13 en la semana 1.

Fuente: Elaboración propia.

[Tab. 11] Tabla de recuento de valores por encima de 800 ppm en las aulas 2.12 y 2.13 en la semana 2.

Fuente: Elaboración propia.

[Tab. 12] Tabla de criterios de catalogación según T^a y Hr.

Fuente: Elaboración propia.

[Tab. 13] Tabla de catalogación de días según T^a y Hr durante la semana 1.

Fuente: Elaboración propia.

- [Tab. 14]** Tabla de análisis comparativo del promedio de las condiciones higrotérmicas en el aula 2.12. durante la semana 4.
Fuente: Elaboración propia.
- [Tab. 15]** Horas fuera de consigna de las temperaturas interiores en el aula 2.12 durante la semana 4.
Fuente: Elaboración propia.
- [Tab. 16]** Tabla de análisis comparativo del promedio del nivel de concentración de CO₂ interior y exterior en el aula 2.12 durante la semana 4 en horario ocupado.
Fuente: Elaboración propia
- [Tab. 17]** Tabla de recuento de valores por encima de los 800 ppm en el aula 2.12 en la semana 4.
Fuente: Elaboración propia
- [Tab. 18]** Catalogación de días según T^a y Hr durante la medición 2.
Fuente: Elaboración propia
- [Tab. 19]** Tabla resumen de datos de las hipótesis realizadas.
Fuente: Elaboración propia.
- [Tab. 20]** Tabla de criterios de catalogación.
Fuente: Elaboración propia.
- [Tab. 21]** Tabla de clasificación de los días tipo.
- [Tab. 22]** Tabla resumen de las condiciones higrotérmicas y niveles de CO₂ del aula 2.12
Fuente: Elaboración propia.
- [Tab. 23]** Tabla resumen de las condiciones higrotérmicas y niveles de CO₂ del aula 2.13.
Fuente: Elaboración propia.
- [Tab. 24]** Tabla resumen de datos recopilados durante las hipótesis de apertura.
Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICAS

- [Gráf. 1]** Gráfica de evolución de las condiciones higrotérmicas interiores y exteriores medias de las aulas 2.12. y 2.13 durante la semana 1 en horario ocupado.
Fuente: Elaboración propia.
- [Gráf. 2]** Gráfica de temperaturas exteriores e interiores durante la semana 1.
Fuente: Elaboración propia.
- [Gráf. 3]** Gráfica de humedad relativa exterior e interior durante la semana 1.
Fuente: Elaboración propia.
- [Gráf. 4]** Gráfica de evolución de los niveles de CO₂ de las aulas 2.12. y 2.13 durante la semana 1.
Fuente: Elaboración propia.
- [Gráf. 5]** Gráfica de condiciones de día tipo 1.
Fuente: Elaboración propia.
- [Gráf. 6]** Gráfica de condiciones de día tipo 2.
Fuente: Elaboración propia.
- [Gráf. 7]** Gráfica de evolución de las condiciones higrotérmicas medias interiores y exteriores en el aula 2.12. durante la semana 4 en horario ocupado.
Fuente: Elaboración propia.
- [Gráf. 8]** Gráfica de evolución de los niveles de CO₂ en el aula 2.12. durante la semana 4.
Fuente: Elaboración propia.
- [Gráf. 9]** Gráfica de evolución de los niveles de CO₂ en la hipótesis de descanso y entrada al aula.
Fuente: Elaboración propia.
- [Gráf. 10]** Gráfica de evolución de los niveles de CO₂ en la hipótesis de estado base.
Fuente: Elaboración propia.
- [Gráf. 11]** Gráfica de evolución de los niveles de CO₂ en la hipótesis 1
Fuente: Elaboración propia.
- [Gráf. 12]** Gráfica de evolución de los niveles de CO₂ en la hipótesis 2
Fuente: Elaboración propia.
- [Gráf. 13]** Gráfica de evolución de los niveles de CO₂ en la hipótesis de estado base.
Fuente: Elaboración propia.

- [Gráf. 14]** Gráfica de evolución de los niveles de CO₂ en la hipótesis 3.
Fuente: Elaboración propia.
- [Gráf. 15]** Gráfica de evolución de los niveles de CO₂ en la hipótesis 4.
Fuente: Elaboración propia.
- [Gráf. 16]** Gráfica de evolución de los niveles de CO₂ en las hipótesis realizadas.
Fuente: Elaboración propia.
- [Gráf. 17]** Gráfica de evolución de las condiciones higrotérmicas en las hipótesis realizadas.
Fuente: Elaboración propia.
- [Gráf. 18]** Gráfica sobre el sexo de los alumnos de las aulas 2.12 y 2.13.
Fuente: Elaboración propia.
- [Gráf. 19]** Gráfica sobre el año de nacimiento de los alumnos de las aulas 2.12 y 2.13.
Fuente: Elaboración propia.
- [Gráf. 20]** Gráfica sobre la zona que ocupan los alumnos en las aulas.
Fuente: Elaboración propia.
- [Gráf. 21]** Gráfica sobre la frecuencia de abertura de ventanas.
Fuente: Elaboración propia.
- [Gráf. 22]** Gráfica sobre la situación de apertura de huecos en el momento de la encuesta.
Fuente: Elaboración propia.
- [Gráf. 23]** Gráfica sobre el tipo de vestimenta de los alumnos encuestados.
Fuente: Elaboración propia.
- [Gráf. 24]** Gráfica sobre el índice de calidad ambiental interior en las aulas 2.12 y 2.13.
Fuente: Elaboración propia.
- [Gráf. 25]** Gráfica de respuestas sobre la sensación térmica en ambas aulas.
Fuente: Elaboración propia.
- [Gráf. 26]** Gráfica de respuestas sobre la sensación térmica en ambas aulas.
Fuente: Elaboración propia.
- [Gráf. 27]** Gráfica de respuestas sobre la sensación térmica en ambas aulas.
Fuente: Elaboración propia.
- [Gráf. 28]** Gráfica de respuestas sobre la sensación térmica en ambas aulas.
Fuente: Elaboración propia.
- [Gráf. 29]** Gráfica de respuestas sobre el estado físico de los alumnos de ambas aulas.
Fuente: Elaboración propia.

[Gráf. 30] Gráfica de respuestas sobre el estado físico de los alumnos de ambas aulas.

Fuente: Elaboración propia.

[Gráf. 31] Gráfica de respuestas sobre el estado físico de los alumnos de ambas aulas.

Fuente: Elaboración propia.

[Gráf. 32] Gráfica de respuestas sobre calidad del aire interior en ambas aulas.

Fuente: Elaboración propia.

[Gráf. 33] Gráfica sobre sintomatología sufrida por los alumnos en las aulas 2.12 y 2.13.

Fuente: Elaboración propia.

[Gráf. 34] Gráfica de respuestas sobre calidad del aire interior en ambas aulas.

Fuente: Elaboración propia.

[Gráf. 35] Gráfica de respuestas sobre calidad del aire interior en ambas aulas.

Fuente: Elaboración propia.

[Gráf. 36] Gráfica sobre la zona que ocupan los alumnos en el aula.

Fuente: Elaboración propia.

[Gráf. 37] Gráfica sobre la situación de apertura de huecos en el momento de la encuesta.

Fuente: Elaboración propia.

[Gráf. 38] Gráfica sobre la frecuencia de abertura de ventanas.

Fuente: Elaboración propia.

[Gráf. 39] Gráfica sobre el índice de calidad ambiental interior en las aulas 2.12 y 2.13.

Fuente: Elaboración propia.

[Gráf. 40] Gráfica sobre respuestas sobre la sensación térmica en ambas aulas.

Fuente: Elaboración propia.

[Gráf. 41] Gráfica de respuestas sobre la sensación térmica en ambas aulas.

Fuente: Elaboración propia.

[Gráf. 42] Gráfica de respuestas sobre la sensación térmica en ambas aulas.

Fuente: Elaboración propia.

[Gráf. 43] Gráfica sobre la sintomatología sufrida por los alumnos en las aulas 2.12 y 2.13.

Fuente: Elaboración propia.

[Gráf. 44] Gráfica de respuestas sobre calidad del aire interior en ambas aulas.

Fuente: Elaboración propia.

[Gráf. 45] Gráfica de respuestas sobre calidad del aire interior en ambas aulas.

Fuente: Elaboración propia.

CONDICIONES DE CONFORT Y CALIDAD DE AIRE INTERIOR EN ESPACIOS EDUCATIVOS. ADAPTACIÓN ANTE LA “NUEVA NORMALIDAD”.

RUIZ MONTE DE OCA, PILAR | TRABAJO DE FIN DE GRADO. GRUPO D | GRADO EN FUNDAMENTOS DE ARQUITECTURA | CURSO 2021 - 2022

SEVILLA, SEPTIEMBRE 2022



UNIVERSIDAD DE SEVILLA