

# ESTUDIO SOBRE LA CALIDAD DEL AIRE INTERIOR EN VIVIENDAS



CONSEJO GENERAL  
DE LA ARQUITECTURA TÉCNICA  
DE ESPAÑA



POLITÉCNICA

UNIVERSIDAD  
POLITÉCNICA  
DE MADRID



## ESTUDIO SOBRE LA CALIDAD DEL AIRE INTERIOR EN VIVIENDAS

Consejo General de la Arquitectura Técnica de España, 2022



CONSEJO GENERAL  
DE LA ARQUITECTURA TÉCNICA  
DE ESPAÑA



POLITÉCNICA

UNIVERSIDAD  
POLITÉCNICA  
DE MADRID



# EDITA

Estudio realizado por el Consejo General de la Arquitectura Técnica de España con la colaboración de la Universidad Politécnica de Madrid.

## Autores

### Consejo General de la Arquitectura Técnica de España

Alfredo Sanz Corma,  
Juan López-Asiain Martínez,  
Alejandro Payán de Tejada Alonso,  
José Fernández Castillo

### Universidad Politécnica de Madrid (UPM)

Alfonso Cobo Escamilla,  
María de las Nieves González García,  
Patricia Aguilera Benito

Edición 2022

© Consejo General de la Arquitectura Técnica de España

© De los autores

ESTUDIO SOBRE LA CALIDAD DEL AIRE INTERIOR EN VIVIENDAS

Edita: CGATE Consejo General de la Arquitectura Técnica de España

Impresión: Ambrona Hermanos, S.L. - Diseño: Vic/Proyecto gráfico

ISBN: 978-84-09-10609-7

Depósito Legal: M-5215-2022



ESTUDIO SOBRE LA CALIDAD DEL AIRE INTERIOR EN VIVIENDAS se distribuye bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0)

Resumen de la licencia CC-BY-NC-ND 4.0: La obra se puede compartir, copiar y redistribuir en cualquier medio o formato bajo los siguientes términos: Se debe dar crédito de manera adecuada, brindar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante (BY Reconocimiento). No se puede hacer uso del material con propósitos comerciales (NC NoComercial). Si se remezcla, transforma o crea a partir del material, no podrá distribuir el material modificado (ND SinObraDerivada).

® Todos los nombres comerciales y marcas registradas que aparecen en esta libro son propiedad de las empresas a las que representan.

A lo largo de todo este documento se utilizará el género gramatical masculino para referirse al colectivo mixto de profesionales de la Arquitectura Técnica, como aplicación de la ley lingüística de la economía expresiva. Tan solo cuando la oposición de sexos sea un factor relevante en el contexto se explicitarán ambos géneros.



# AGRADECIMIENTOS

Este estudio sobre la calidad del aire interior en viviendas, ha sido llevado a cabo gracias a la colaboración de las siguientes entidades:

Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Álava.

Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Almería.

Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Bizkaia.

Colegio Oficial de la Arquitectura Técnica de Cantabria.

Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Huelva.

Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Huesca.

Colegio Oficial de la Arquitectura Técnica de Ourense.

Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Salamanca.

Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Zaragoza.



# INTERIORES

INTRODUCCIÓN. . . . .	5
METODOLOGÍA . . . . .	9
RESULTADOS Y DISCUSIÓN. . . . .	16
1. Concentración de CO <sub>2</sub> por estancia según Zona Geográfica . . . . .	17
2. Concentración de CO <sub>2</sub> por estancia en relación con la superficie de la vivienda . . . . .	23
3. Concentración de CO <sub>2</sub> por estancia en relación con la calidad de las ventanas de la vivienda. . . . .	29
4. Caso Específico. Gráfico de concentración de CO <sub>2</sub> por exposición del usuario en dormitorios . . . . .	35
5. Caso Integral. Gráfico de concentración de CO <sub>2</sub> en cada una de las viviendas de estudio en relación con la media y sus máximos . . . . .	37
CONCLUSIONES . . . . .	39
BIBLIOGRAFÍA . . . . .	41
ANEXOS . . . . .	44

# INTRODUCCIÓN

En el año 2013 la [Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer](#) (IARC por sus siglas en inglés) incluía la contaminación en el aire como agente carcinógeno [1]. Esto supuso un impulso más a la necesidad de estudiar cómo los contaminantes que existen en el aire nos afectan a diario cuando hacemos algo tan esencial como respirar, algo que hacemos más de 20.000 veces al día.

Tres años después, en 2016, la [Organización Mundial de la Salud](#) (OMS) estimaba que este factor provocó 4,2 millones de muertes prematuras en el mundo, de las cuales, se estimó que más de medio millón, alrededor 550.000 personas, vivían en territorio europeo [2]. Además, fijó en un 91%, el porcentaje de población que respiraba un aire fuera de los valores recomendables de esta organización [3].

Es por esto que, en la última actualización de la anual "Evaluación de la calidad del aire en España", en 2020, se puede leer: "[...] es de gran relevancia llevar a cabo trabajos que incluyan datos exclusivamente del territorio español y sus divisiones [...]" [4]. En este mismo informe, se recogen los efectos sobre la salud de los contaminantes más comunes en el aire exterior, que se resumen en la Tabla 1 junto a la cuantificación de sus impactos en la salud (factores de relación):

Contaminante	Efectos sobre la salud	Factores de relación (por cada 10 µg/m <sup>3</sup> )
PM10 y PM2,5	Mortalidad general	0,89% [5]
	Mortalidad por causa cardiovascular	0,89% [5]
	Mortalidad por causa respiratoria	2,53% [5]
	Parto prematuro	7,60% [6]
	Bajo peso de nacimiento	10,26% [7]
	Hospitalización. Síntomas Alzheimer	13,75% [8]
Ozono, O <sub>3</sub>	Mortalidad general	3,19% [9]
	Mortalidad por causa cardiovascular	2,44% [9]
	Mortalidad por causa respiratoria	8,17% [9]
	Demencia	8,25% [10]
Dióxido de nitrógeno, NO <sub>2</sub>	Mortalidad general	1,19% [11]
	Mortalidad por causa cardiovascular	1,57% [11]
	Mortalidad por causa respiratoria	2,72% [11]
	Partos prematuros	13,04% [12]
	Bajo peso de nacimiento	8,34% [12]
	Función pulmonar deficiente	7,4%-23% [13,14]

Tabla 1. Contaminantes en el aire y sus efectos sobre la salud de las personas

Dada su importancia, la OMS, en su misión de vigilar los efectos sobre la salud de las personas de las condiciones ambientales, publicó en 1987 las Directrices sobre la calidad del aire. Estas han sido revisadas hasta hoy en dos ocasiones, en los años 1997 y 2005 [15]. De estas han surgido otras políticas de límites de contaminantes, como en el caso de Europa, adaptándolas a sus características específicas.

En la Tabla 2 se pueden ver los valores legislados por la Unión Europea en comparación con las directrices de la OMS, de los contaminantes más comunes.

Contaminante	Valor legislado UE	Valor guía OMS
PM2,5 (diario)	-	25 µg/m <sup>3</sup> (> 3 veces/año)
PM2,5 (anual)	25 µg/m <sup>3</sup>	10 µg/m <sup>3</sup>
PM10 (diario)	50 µg/m <sup>3</sup> (> 35 veces/año)	50 µg/m <sup>3</sup> (> 3 veces/año)
PM10 (anual)	40 µg/m <sup>3</sup>	20 µg/m <sup>3</sup>
O <sub>3</sub> (Max. Diario 8h)	120 µg/m <sup>3</sup>	100 µg/m <sup>3</sup>
NO <sub>2</sub> (horario)	200 µg/m <sup>3</sup> (> 18 veces/año)	200 µg/m <sup>3</sup>
NO <sub>2</sub> (anual)	40 µg/m <sup>3</sup>	40 µg/m <sup>3</sup>

Tabla 2. Valores límite UE-OMS

Según los estudios realizados, que se muestran en la citada Evaluación de la calidad del aire en España 2020, se producen en España las siguientes situaciones respecto a los valores de la OMS:

- PM2,5 – un 37% de las zonas superan el valor anual y un 53,7% el diario.
- PM10 – un 49,3% de las zonas superan el valor anual y un 70,9% el diario.
- O<sub>3</sub> – un 99,2% superan el máximo diario a 8h.

Observando el estado actual de la calidad del aire exterior y los efectos nocivos de sus contaminantes principales para la salud humana, hay que ser conscientes que, según varios estudios realizados por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA por sus siglas en inglés), las concentraciones de los contaminantes en el interior suelen ser de entre 2 y 5 veces mayores que las exteriores [16]. Si a este dato se le une la evolución de la sociedad actual a estar dentro de edificios entre un 80 y un 90% de su tiempo según varios estudios [17,18,19], se hace imprescindible la realización de investigaciones que arrojen datos de niveles de calidad de aire interior (CAI) dentro de los edificios que habitamos.

Así lo refleja el borrador del [Plan Estratégico de Salud y Medioambiente](#) español, PESMA, que dedica el punto 6.13 a la Calidad de Ambientes Interiores, especificando la necesidad de investigar para mejorar el conocimiento sobre el riesgo y el impacto en la salud de los usuarios [20].

Entre otras acciones que se enuncian en el texto, se destacan:

- Evaluar los contaminantes prioritarios y métodos de análisis para su inclusión en la normativa.
- Facilitar la investigación sanitaria para determinar niveles de **exposición de poblaciones con mayor riesgo**, estudios de exposición a múltiples contaminantes, evaluación de impactos sobre la salud de múltiples contaminantes, etc.
- Realizar investigaciones prenormativas o metodológicas para determinar otros contaminantes presentes en aire de interiores y que también producen efectos sobre la salud.

Asimismo, se concreta en este Plan sobre la necesidad de monitorizar y comunicar los resultados de la relación del estado de la calidad del aire interior y sus efectos sobre la salud de las personas. Esta parte es muy relevante ya que, pese a que existe normativa a día de hoy que se debe considerar a la hora de diseñar y construir un edificio nuevo, la mayor parte del parque edificado (alrededor de cinco millones y medio de edificios) cuenta con más de 50 años de antigüedad.

En este punto, también hay que introducir la ventilación como parte clave en una buena calidad del aire interior. Se ha observado que los edificios de más antigüedad, con envolventes permeables, tenían capacidad para poder ventilar las estancias ocupadas en condiciones normales. Sin embargo, al tratar de mejorar energéticamente estos edificios existentes, una de las actuaciones más eficaces ha sido la mejora de la envolvente, consiguiendo grados de hermeticidad muy altos que limitan las pérdidas energéticas al exterior, pero que, a su vez, reducen en gran medida la ventilación que se producía por discontinuidades en la misma.

Estas actuaciones tienen, si no se incluye en la reforma un sistema de ventilación acorde, un posible menoscabo en las condiciones de la salud de las personas. Al hermetizar la vivienda, se reducen las renovaciones de aire y se crean ambientes con valores de contaminantes por encima de los niveles saludables propuestos por la OMS, la Unión Europea o legislación nacional como es el caso del [Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios](#) (RITE) o del Documento Básico de Salubridad DB HS3 del [Código Técnico de la Edificación](#) (CTE). Es por eso que las futuras actuaciones de mejora energética de los edificios y las subvenciones o programas de ayudas que se destinen a este fin deberían incluir partidas o al menos el estudio de la calidad del aire interior resultante tras la intervención.

Se hace necesario, por lo tanto, obtener datos reales del parque edificado en el que se mezclan edificios antiguos, antiguos con reformas parciales, rehabilitaciones integrales y edificios adaptados a la nueva legislación para observar el comportamiento real de los edificios residenciales.

Varios investigadores ya han realizado estudios sobre diferentes tipologías de edificios. Si se atiende a la clasificación de ambientes interiores del PESMA, se pueden clasificar según la Tabla 3:

Tipo de ambiente	Estudios relacionados
Uso particular	Aflaki et al [21], Mentese et al [22], Fehlmann J [23]
Edificios públicos no sanitarios	Rohbock E et al [24], Kim J et al [25]
Edificios públicos sanitarios	Bivolarova MP [26], Reijula KE [27]

Tabla 3. Estudios sobre la calidad del aire interior según usos establecidos por el PESMA

Si bien se puede observar en algunos de ellos que se han medido varios contaminantes, también se ve que, en interiores, el indicador por excelencia para evaluar la capacidad de ventilación de un espacio es el CO<sub>2</sub>.

Este criterio, el más extendido actualmente, se refleja en la legislación a nivel nacional e internacional, estableciéndose, según este contaminante, la calidad del aire en interiores. Asimismo, las normas voluntarias UNE han utilizado este indicador ya desde la norma UNE 100011:1991 [28] hasta la actual UNE-EN 16798-1:2020 [29], normas centrales de los parámetros ambientales en interiores de edificios.

Las razones de este uso extendido y normalizado de este compuesto pasan por su carácter inerte y su facilidad de análisis, que provee a los investigadores de una vía de evaluación y estudio posterior de los espacios interiores. A esto se suma que es un elemento testigo de los bio-efluentes (emisión de contaminante por parte de las personas) dentro de la vivienda, siendo este uno de los principales contaminantes que podemos encontrar en edificios en esta "Indoor generation".

Dada la importancia de la CAI en edificios para el usuario, y el interés del Consejo General de la Arquitectura Técnica de España (CGATE) en fomentar la construcción o rehabilitación de edificios con criterios saludables que procuren el bienestar de los usuarios, se presenta en este documento un estudio sobre la CAI en edificación residencial de nuestro parque actual.

En este trabajo, se evalúa la CAI, según las concentraciones de CO<sub>2</sub>, que existe en viviendas distribuidas alrededor de todo el territorio nacional. Un total de 31 han sido monitorizadas durante 9 días ininterrumpidamente. A continuación, se han tratado los datos de cada una de ellas para extraer diferentes promedios de concentraciones de interés y sus relaciones con otras variables relacionadas tanto con el comportamiento de los usuarios como con ciertas características de la vivienda.

Hay que tener en cuenta que los datos expuestos en este informe han sido medidos durante las 24 horas del día, independientemente de la ocupación de las estancias monitorizadas y por lo tanto de la exposición real del usuario. Por lo tanto, el grado de exposición media de los usuarios de estas viviendas, teniendo en cuenta que son los principales generadores de CO<sub>2</sub>, será seguramente superior a los valores proporcionados.

Muestra de ello es el análisis desagregado de los datos de las mediciones realizadas en los Dormitorios, sobre las mediciones durante el período nocturno, durante el cual es más común que el usuario ocupe la estancia. Se adelanta que en este análisis se observa un incremento importante del valor de concentración de CO<sub>2</sub> en comparación con el de la estancia teniendo en cuenta todo el período diario.



Comunidad Autónoma	Nº de viviendas
Andalucía	7
Aragón	6
Cantabria	1
Castilla y León	2
Galicia	3
Madrid	7
País Vasco	5

Tabla 4. Número de viviendas por comunidad autónoma

Un parámetro de importancia, dados los diferentes sistemas constructivos utilizados a lo largo de los años, es el de la antigüedad del inmueble que se recogió en la ficha de datos que se mostrará en el apartado de protocolo de medición. Así, se muestran en la Figura 2 las viviendas monitorizadas divididas en los tres períodos constructivos representativos: antes de la norma NBE-79, entre esta y el CTE, y tras la entrada en vigor de este.

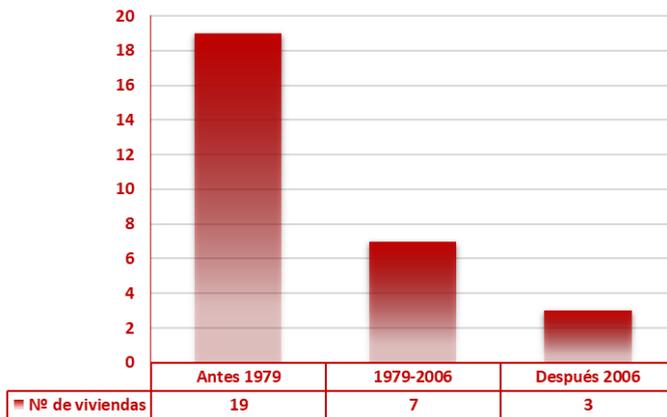


Figura 2. Viviendas monitorizadas según de los tres periodos de construcción relevantes

### Descripción del equipo de monitorización

Para llevar a cabo las mediciones continuas en cada una de las viviendas, se adquirieron varios medidores de modelo PCE-AQD 20 (Figura 3). Este equipo está catalogado como medidor de gases y orientado a la prevención de riesgos laborales relacionados con la calidad del aire interior de los espacios de trabajo.

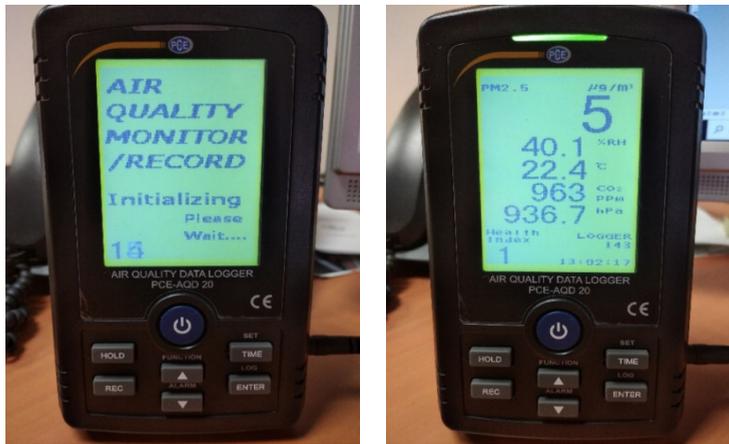


Figura 3. Medidor modelo PCE AQD 20

Tiene incorporados sensores de CO<sub>2</sub>, de temperatura, humedad relativa, presión barométrica y, un último también relativo a la Calidad del Aire Interior, PM<sub>2.5</sub>. En la siguiente tabla (Tabla 5) se muestran sus especificaciones técnicas en cuanto a la medición de las variables:

	Rango de medición	Resolución	Precisión
CO <sub>2</sub>	0 – 10.000 ppm	1 ppm	< 1.000ppm: ±40ppm < 3.000ppm: ±(50ppm+3%CO <sub>2</sub> ) > 3.000: ±(50ppm+5% CO <sub>2</sub> )
PM 2,5	0 – 250 µm/m <sup>3</sup>	1 µm/m <sup>3</sup>	±(15 µm+10%PM2.5)
Temperatura	0 – 50 °C	0.1 °C	±0.8 °C
Hum. Relativa	5 – 95%	0.1%	> 70%: ±(1% +3% HR)
Presión Barom.	10 – 1100 hPa	0.1 hPa	±1.5 hPa

Tabla 5. Especificación técnicas del medidor

Su alimentación es, principalmente, mediante conexión a red. Sin embargo, otra característica que se tuvo en cuenta es que incorpora la posibilidad del uso de 6 pilas AA tipo 1,5V como apoyo para casos en los que, durante un breve período, haya una falta de alimentación eléctrica por red.

Para realizar la medición, se necesita una preconfiguración de datos genéricos que tienen el objetivo de describir correctamente los datos a exportar y adaptar los datos presentados a la ubicación donde se encuentra. Así, se debe establecer la fecha, hora y altitud del lugar donde

se utiliza el medidor. Por otra parte, también se puede elegir la frecuencia de muestreo, las unidades de temperatura y presión barométrica y la configuración de alarmas.

Por último, en cuanto al equipo, y una de las características más importantes de los medidores, es su capacidad tanto de presentación como de exportación de los datos. En este caso, el equipo incorpora una pantalla LCD retroiluminada que muestra los datos continuamente. Por otro lado, también posibilita el almacenaje de los datos en una tarjeta SD de hasta 32GB. Para este segundo caso, el equipo crea un archivo .xls para su tratamiento posterior en una hoja Excel, sin necesidad de la instalación de software adicional.

### Protocolo de medición

La primera decisión que se tomó fue la de escoger los lugares más representativos dentro de las viviendas. Hay que tener en consideración que estos coincidían con los más frecuentados por los usuarios de la vivienda y, por tanto, donde mayores concentraciones se preveía obtener.

Así, se decidió incluir dos medidores en cada una de las viviendas monitorizadas. El primero de ellos donde transcurre la mayor parte de la actividad común en los hogares, el Salón. El segundo donde se pasa el mayor número de horas seguidas, la habitación donde se duerme.

Estos medidores deben ubicarse en la habitación de una manera acorde con las precauciones de acuerdo con la Tabla 1 de la norma UNE 171330-2:2014 sobre las distancias a superficies y que se reproduce en la Tabla 6:

Ubicación			Distancia (cm)
Pared exterior con ventanas o puertas			100
Pared exterior sin ventanas o puertas y pared interior			50
Suelo	Límite inferior		10
	Límite superior	Sentado	130
		De pie	200

Tabla 6. Ubicación de los medidores en las estancias según norma UNE 171330-2:2014

También, adecuándose el protocolo al establecido por la UNE, se evitaron zonas de tránsito y zonas próximas a puertas de uso frecuente, a cualquier tipo de unidad terminal que impulsara aire o a aparatos con fuerte producción de calor.

La duración de las monitorizaciones fue de nueve días en cada vivienda. Estos períodos comenzaban un viernes y finalizaban un lunes, incluyendo por tanto entre ellos, dos fines de semana completos, considerando estos períodos atípicos.

La frecuencia entre medidas fue de 2.5 minutos, resultando de cada vivienda más de 10.000 líneas de datos con cada una de las variables. Si bien en este estudio, tal y como se ha indicado

con anterioridad, se van a analizar únicamente aquellos datos relacionados con la concentración de dióxido de carbono.

Resuelto el apartado técnico-objetivo de recopilación de datos de la variable, también se quiso en este estudio, analizar las relaciones con otros factores que se preveía podían influir. Se elaboró para ello una ficha completa en la que se rellenaron datos sobre el edificio y sus características, y datos personales sobre los usuarios, incluyendo un cuestionario sobre sus hábitos de climatización y ventilación durante la pernocta.

### Criterios de evaluación

Previamente al tratamiento de los datos obtenidos de los medidores instalados en las viviendas, se establecieron los niveles de salubridad según la concentración de CO<sub>2</sub> y las variables específicas resultantes como criterios de evaluación del análisis.

Estos valores están basados en normativas de referencia como el DB-HS3 del Código Técnico de la Edificación (CTE), la norma UNE 171330-2:2014 sobre procedimientos de inspección de calidad ambiental interior y la Nota Técnica de Prevención NTP 549 sobre el dióxido de carbono en la evaluación de la calidad del aire interior del INSST.

Por una parte, los niveles de salubridad establecidos son los que se representan en la Tabla 7 a continuación:

Concentración de CO <sub>2</sub> (ppm)	Consideración
Menos de 900	Saludable
900 – 1.600	Desfavorable
1.600 – 2.500	Preocupante
2.500 – 5.000	Grave
Más de 5.000	Muy grave

Tabla 7. Niveles de salubridad establecido según la normativa existente

Por otra parte, como variables específicas a hallar, según los datos puntuales recopilados, se fijaron las siguientes:

- Promedio de concentración de CO<sub>2</sub> por todo el período monitorizado (9 días) para las dos estancias.
- Promedio de concentración de CO<sub>2</sub> en período nocturno en el Dormitorio: este se estableció entre las 11 de la noche y las 7 de la mañana del día siguiente.

## Protocolo de tratamiento de datos

### *Fase previa de análisis*

Antes del tratamiento de los datos de concentración de CO<sub>2</sub> se agruparon las viviendas en 3 zonas geográficas:

- Zona norte: Cantabria, Galicia, País Vasco y Huesca (Aragón)
- Zona centro: Castilla y León, Madrid y Zaragoza (Aragón)
- Zona sur: Andalucía

A continuación, para los datos puntuales recopilados durante todo el período de monitorización en cada una de las viviendas, se calcularon las medias horarias de concentraciones de CO<sub>2</sub> para homogeneizarlo con las unidades de medida aceptadas y utilizadas en las distintas normativas de referencia.

### *Análisis gráfico por zona geográfica*

Se procedió al análisis de los datos de concentraciones, hallándose los promedios anteriormente expuestos y los valores máximos y mínimos. A continuación, se agruparon los datos por zona geográfica y se hallaron estas mismas variables promedio de todas las viviendas de la zona.

Estos datos quedaron resumidos en tres gráficas que relacionan los valores de concentración promedio, estudiando sus valores máximos, medios y mínimos de cada zona geográfica. Este análisis se aplica a las dos estancias y al período nocturno en el Dormitorio.

### *Relación ratio pers/m<sup>2</sup> y concentración de CO<sub>2</sub>*

Se consideró de importancia la relación entre el ratio de ocupación de las viviendas y la concentración ya que, según la normativa y literatura de referencia, las personas son el principal emisor de CO<sub>2</sub> en viviendas.

Así, para cada zona geográfica, se indicaron los promedios de concentración (Dormitorio, Salón y nocturno en el Dormitorio), segmentando las viviendas en varios rangos de ocupación con el fin de poder observarse la influencia real, basada en la muestra de viviendas recopilada.

### *Relación puerta Dormitorio y concentración de CO<sub>2</sub> en períodos nocturnos*

Cuanta menor es la superficie de interconexión entre los distintos espacios, mayor es la concentración dentro de la estancia. Por ello, se consideró estudiar el grado de influencia del estado de la puerta (abierta o cerrada) durante los períodos nocturnos.

En la gráfica resultante que se muestra en este documento, se puede observar la diferencia entre concentraciones promedio obtenidas de los usuarios que aportaban en el cuestionario que dormían con la puerta abierta y aquellos que lo hacían con la puerta cerrada. Se segmentan los datos por zona geográfica y solo para el promedio nocturno en el Dormitorio.

### *Relación tipo de ventana y concentración de CO<sub>2</sub>*

No es desconocido que la hermeticidad sin una adecuada ventilación forzada o unos hábitos de ventilación natural regulares, provoca ascensos de concentraciones más pronunciados, siendo esto uno de los agravantes a tener en cuenta. Si, además, se presupone que, en el tiempo de monitorización (período frío), las ventanas se encuentran cerradas en la mayoría de los casos al dormir, se consideró de alto interés graficar las medias según el tipo de ventana de las viviendas.

Esto se realizó, al igual que en el caso anterior, para los promedios de día completo de Dormitorio y Salón, y para el período nocturno en el Dormitorio.





# RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este apartado se muestra el análisis de resultados de las monitorizaciones realizadas en las viviendas. Para una mejor comprensión, se han establecido los siguientes términos abreviados comunes a los gráficos mostrados:

**Diario:** se referirá al período que comprende las 24h del día, incluyendo todos los datos disponibles.

**Nocturno:** referido únicamente al período entre las 11 p.m. y las 7 a.m. y los datos recogidos durante estas horas.

**Valor promedio de la medición individual (VPMI):** este valor se corresponde con la media aritmética de los valores individuales que se han obtenido durante todo el período de monitorización dentro de una estancia de una vivienda.

**Valor máximo de media  $V_{MMax}$ :** equivalente al valor máximo de los VPMI considerados en los distintos apartados de análisis.

**Valor promedio de media  $V_{MMed}$ :** equivalente al valor medio de los VPMI considerados en los distintos apartados de análisis.

**Valor mínimo de media  $V_{MMin}$ :** equivalente al valor mínimo de los VPMI considerados en los distintos apartados de análisis.

**Tablas de interrelación entre los rangos de estudio y los valores límite considerados:** Estas matrices se realizan en cada uno de los resultados de estudio, por cada estancia y según se esté discutiendo los valores promedios, máximos o mínimos. Estos ayudan a comprender la relación entre los rangos de estudio, indicando la diferencia entre sus valores, mediante porcentajes de crecimiento o decrecimiento entre ellos. El porcentaje representa el incremento o decremento de la variable mostrada en la primera columna respecto a las variables de los encabezados de las sucesivas columnas.

Además, se compara el valor de un rango respecto de los límites "Saludables" y "Desfavorables", indicando el porcentaje de crecimiento o decrecimiento. En el caso de superarlo, se ha marcado una gama cromática según el porcentaje de aumento sobre el límite:

- **Verde:** Porcentajes de aumento menores del 5%
- **Amarillo:** Porcentajes de aumento entre el 5% y el 20%
- **Rojo:** Porcentajes de aumento mayores del 20%

Si los valores no superan el límite, se indicará su porcentaje en negativo respecto de ese límite, y no irá marcado con ningún color.

## 1. Concentración de CO<sub>2</sub> por estancia según la Zona Geográfica.

### 1.1. Dormitorio Principal (Diario)

En la Figura 4 se presentan los valores  $V_{MMax}$ ,  $V_{MMed}$ ,  $V_{MMin}$ , agrupados por zona geográfica para esta estancia.

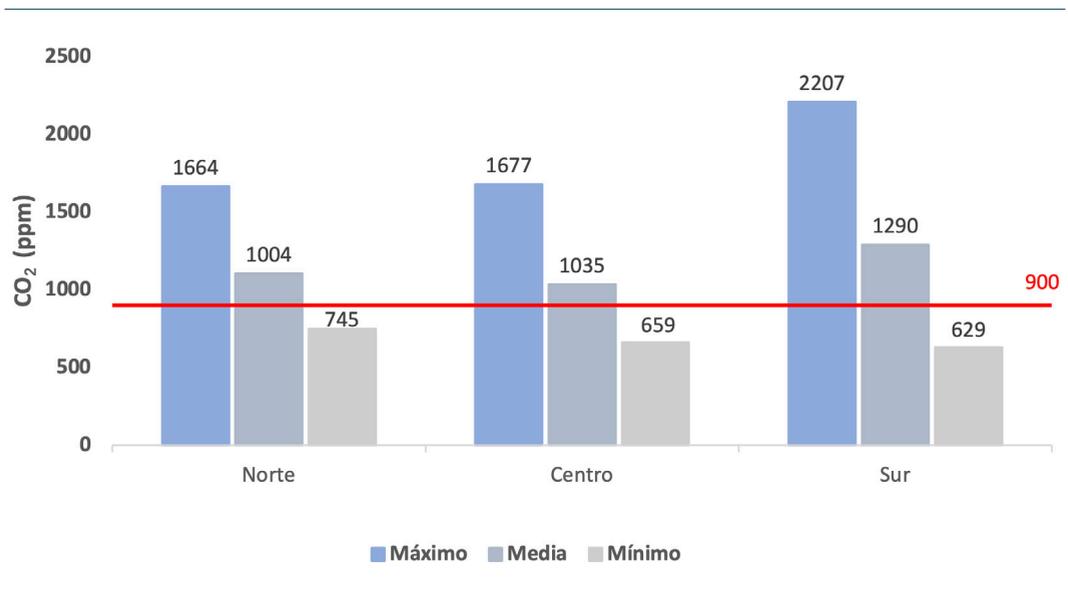


Figura 4.  $V_{MMax}$ ,  $V_{MMed}$ ,  $V_{MMin}$  en Dormitorios principales según su zona geográfica

Como se puede observar en la Figura 4, los  $V_{MMed}$  de las tres zonas geográficas presentan datos por encima de las 900 ppm, valores por encima de la media límite anual establecida por el DB-HS3 del Código Técnico de la Edificación (CTE).

También se puede advertir que todos  $V_{MMax}$  presentan promedios incluso por encima de los 1.600 ppm, llegando a los 2.207 ppm en la zona sur (un 37,9% superior al de referencia), establecido como **"Preocupante"** en la Tabla 7 de este informe.

Destaca la zona sur con los valores más altos, especialmente en sus  $V_{MMed}$ , superando a la zona norte y centro con un 32% de incremento.

En las Tablas 8, 9 y 10 se establecen las interrelaciones entre las tres zonas geográficas y de cada zona con los valores límite considerados más cercanos.

Zona o Límite Columna/Fila	Norte	Centro	Sur	Límite 900 Saludable	Límite 1.600 Desfavorable
<b>Norte</b>		-0,78%	-32,63%	45,91%	3,85%
<b>Centro</b>			-31,60%	46,33%	4,59%
<b>Sur</b>				59,22%	27,50%

Tabla 8. Interrelaciones de  $V_{MMed}$  entre las zonas geográficas y con límites

Zona o Límite Columna/Fila	Norte	Centro	Sur	Límite 900 Saludable	Límite 1.600 Desfavorable
<b>Norte</b>		6,25%	16,85%	18,48%	-44,93%
<b>Centro</b>			-24,64%	13,04%	-54,59%
<b>Sur</b>				30,23%	-24,03%

Tabla 9. Interrelaciones de  $V_{MMax}$  entre las zonas geográficas y con límites

Zona o Límite Columna/Fila	Norte	Centro	Sur	Límite 900 Saludable	Límite 1.600 Desfavorable
<b>Norte</b>		11,54%	15,57%	-20,81%	-114,77%
<b>Centro</b>			4,55%	-36,57%	-142,79%
<b>Sur</b>				-43,08%	-154,37%

Tabla 10. Interrelaciones de  $V_{MMin}$  entre las zonas geográficas y con límites



## 1.2 Dormitorio Principal (Nocturno)

En la Figura 5 se muestran de nuevo las variables anteriores por zona geográfica  $V_{MMax}$ ,  $V_{MMed}$ ,  $V_{MMin}$ , en esta ocasión, teniendo en consideración únicamente los valores individuales recopilados entre las 11 de la noche y las 7 de la mañana.

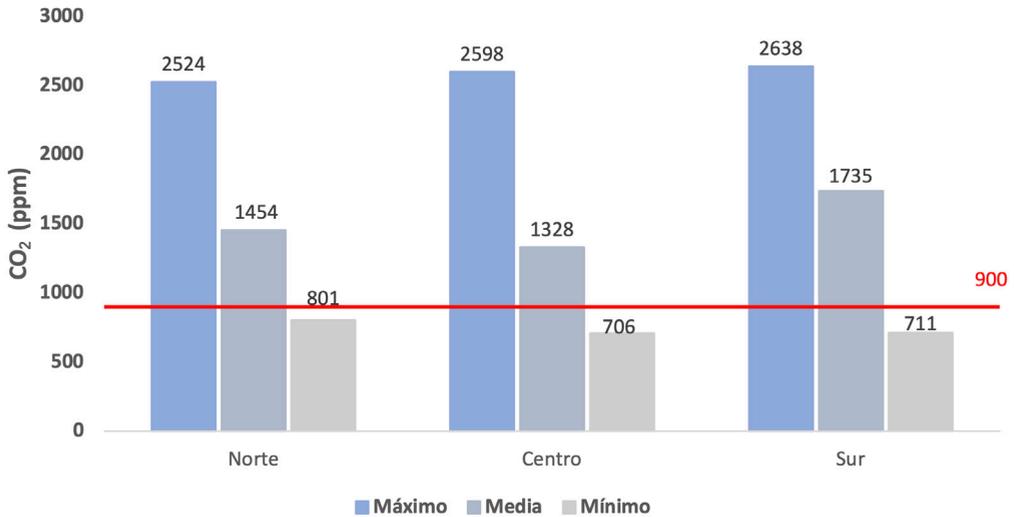


Figura 5.  $V_{MMax}$ ,  $V_{MMed}$ ,  $V_{MMin}$  en Dormitorios principales según su zona geográfica durante el periodo nocturno

Como se puede observar en la Figura 5, los  $V_{MMed}$  de las tres zonas geográficas presentan de nuevo valores por encima de las 900 ppm, aumentando las diferencias con los valores límite establecidos. Incluso en la zona sur supera el límite de 1.600 ppm ("**Preocupante**") en esta variable.

Destaca la zona sur con valores sensiblemente más altos en los  $V_{MMed}$  con porcentajes de incremento del 19% respecto de la zona norte y 31% con la zona centro.

Además, se advierte que los  $V_{MMax}$  de las tres zonas presentan concentraciones por encima de los 2.500 ppm, considerado como "**Grave**", según la Tabla 7 de este informe.

En las Tablas 11, 12 y 13 se establecen las interrelaciones entre las tres zonas geográficas y de cada zona con los valores límite considerados más cercanos.

Zona o Límite Columna/Fila	Norte	Centro	Sur	Límite 900 Saludable	Límite 1.600 Desfavorable
Norte		8,67%	-19,33%	-38,10%	-10,04%
Centro			-30,65%	-32,23%	-20,48%
Sur				48,13%	7,78%

Tabla 11. Interrelaciones de  $V_{MMed}$  nocturnos entre las zonas geográficas y con límites

Zona o Límite Columna/Fila	Norte	Centro	Sur	Límite 900 Saludable	Límite 1.600 Desfavorable
Norte		-2,93%	-4,52%	64,34%	36,61%
Centro			-1,54%	65,36%	38,41%
Sur				65,88%	39,35%

Tabla 12. Interrelaciones de  $V_{MMax}$  nocturnos entre las zonas geográficas y con límites

Zona o Límite Columna/Fila	Norte	Centro	Sur	Límite 900 Saludable	Límite 1.600 Desfavorable
Norte		11,86%	11,24%	-12,36%	-99,75%
Centro			-0,71%	-27,48%	-126,63%
Sur				-26,58%	-125,04%

Tabla 13. Interrelaciones de  $V_{MMin}$  nocturnos entre las zonas geográficas y con límites



### Análisis comparativo sobre el Dormitorio Principal

Se observa que los valores promedio de concentración nocturnos son acusadamente mayores en todos sus valores (máximos, mínimos y media) que la concentración diaria de los Dormitorios. Como ya se ha citado, los valores máximos de la media del Dormitorio tienen concentraciones consideradas como **"Preocupantes"**, por encima de los 1.600 ppm, y los valores máximos de la media Nocturna de los Dormitorios tienen concentraciones consideradas como **"Graves"**, por encima de 2.500 ppm, es decir, presentan un incremento de la concentración de CO<sub>2</sub> con porcentajes aproximados al 40% y diferencias de entre 430 y 920 ppm.

Respecto a los valores promedio, tanto los valores de la media de Dormitorios como la media nocturna de los mismos tienen valores considerados **"Desfavorables"**, aunque se contemplan incrementos entre el 28% y 34% en las medias de la noche respecto a aquellas que contemplan todas las medidas diarias.

### 1.3 Salón

Para la Figura 6 se han calculado las medias de los datos de concentración  $\text{CO}_2$  recogidos en la estancia Salón, agrupando los datos por zona geográfica. Estos se muestran clasificados según los  $V_{\text{MMax}}$ ,  $V_{\text{MMed}}$ ,  $V_{\text{MMin}}$ , de todas las viviendas de la zona.

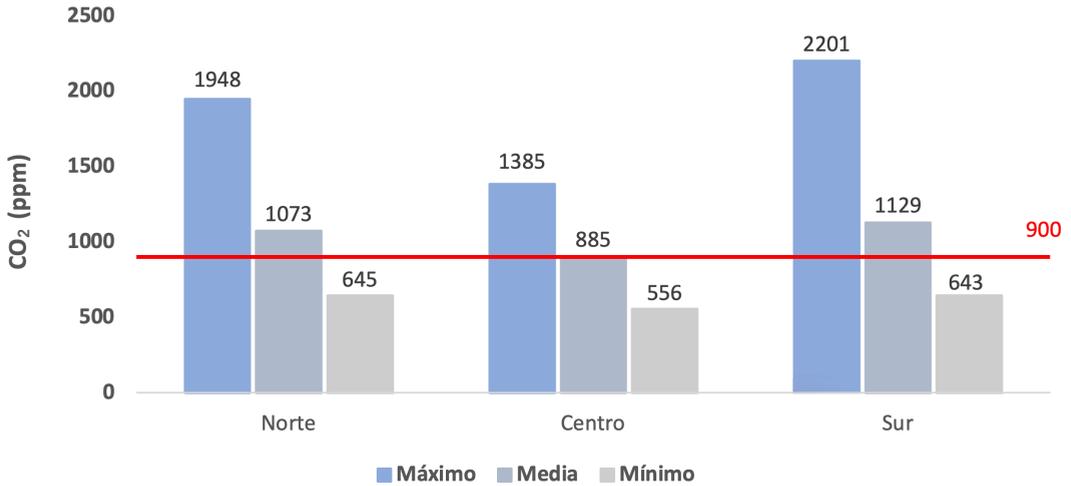


Figura 6.  $V_{\text{MMax}}$ ,  $V_{\text{MMed}}$ ,  $V_{\text{MMin}}$  en salones según la zona geográfica

Como se puede observar en la Figura 6, los  $V_{\text{MMed}}$  de las zonas geográficas norte y sur presentan concentraciones por encima de las 900 ppm, considerados por tanto como **“Desfavorables”**. En cambio, el valor de la zona centro es la única que se sitúa por debajo de 900 ppm siendo este considerado como **“Saludable”**, aunque está muy próximo a este límite.

Se advierte que los  $V_{\text{MMax}}$  de las tres zonas presentan medias por encima de los 900 ppm, considerado como **“Desfavorables”** según la Tabla 7 de este informe, pero los datos de las zonas norte y sur superan las 1.600 ppm pasando a considerarse como **“Preocupantes”**.

Destaca la zona centro con valores menores en los  $V_{\text{MMax}}$  con porcentajes de hasta el 59% más bajos que la zona sur y, en los  $V_{\text{MMed}}$ , con valores de hasta el 28% más bajos que en la misma zona.

En las Tablas 14, 15 y 16 se establecen las interrelaciones entre las tres zonas geográficas y de cada zona con los valores límite considerados más cercanos.

Zona o Límite Columna/Fila	Norte	Centro	Sur	Límite 900 Saludable	Límite 1.600 Desfavorable
Norte		17,52%	-5,22%	16,12%	-49,11%
Centro			-27,57%	-1,69%	-80,79%
Sur				20,28%	-41,72%

Tabla 14. Interrelaciones de  $V_{MMed}$  en salones entre las zonas geográficas y con límites

Zona o Límite Columna/Fila	Norte	Centro	Sur	Límite 900 Saludable	Límite 1.600 Desfavorable
Norte		28,90%	-12,99%	53,80%	17,86%
Centro			-58,92%	35,02%	-15,52%
Sur				59,11%	27,31%

Tabla 15. Interrelaciones de  $V_{MMax}$  en salones entre las zonas geográficas y con límites

Zona o Límite Columna/Fila	Norte	Centro	Sur	Límite 900 Saludable	Límite 1.600 Desfavorable
Norte		13,80%	0,31%	-39,53%	-148,06%
Centro			-15,65%	-61,87%	-187,77%
Sur				-39,97%	-148,83%

Tabla 16. Interrelaciones de  $V_{MMin}$  en salones entre las zonas geográficas y con límites



### Análisis Global comparativo de estancias según zona geográfica

Al comparar los datos del Salón con los datos del Dormitorio, tomando como referencia estos últimos, se observan concentraciones de  $CO_2$  muy similares, en la zona sur, con diferencias en sus  $V_{MMax}$  del 0,3% y  $V_{MMed}$  del 13% superior en el Dormitorio. Así mismo, la zona norte presenta diferencias en sus  $V_{MMax}$  del 17% inferior respecto al Salón y del 3% superior en el Dormitorio en sus  $V_{MMed}$ . La zona centro tiene diferencias más pronunciadas, en los  $V_{MMax}$  con un 17% y del 14% en  $V_{MMed}$  incrementándose esos valores en el Dormitorio.

En esta comparativa se ve por tanto un patrón de concentraciones superiores en el Dormitorio, a excepción del caso de  $V_{MMax}$  en la zona norte. Este caso excepcional se puede deber a un diferente uso de la estancia con más coincidencia de los habitantes de la casa en este espacio o una menor superficie de la misma, provocando ambos mayor concentración.

Todos los  $V_{MMed}$  en las dos estancias presentan cifras por encima de los 900 ppm, es decir, “Desfavorables”, exceptuando los valores de la zona centro medidos en el Salón que son similares.

## 2. Concentración de CO<sub>2</sub> por estancia en relación con la superficie de la vivienda.

### 2.1 Dormitorio Principal (Diario)

La Figura 7 muestra los valores  $V_{MMax}$ ,  $V_{MMed}$ ,  $V_{MMin}$  de los datos de concentración de CO<sub>2</sub> recogidos en los Dormitorios, agrupados por ratio de superficie de la vivienda por persona (m<sup>2</sup>/pers). Se han dividido en los siguientes rangos de:

- Menores de 30 m<sup>2</sup>/pers.
- Entre 30 y 50 m<sup>2</sup>/pers.
- Mayores de 50 m<sup>2</sup>/pers.

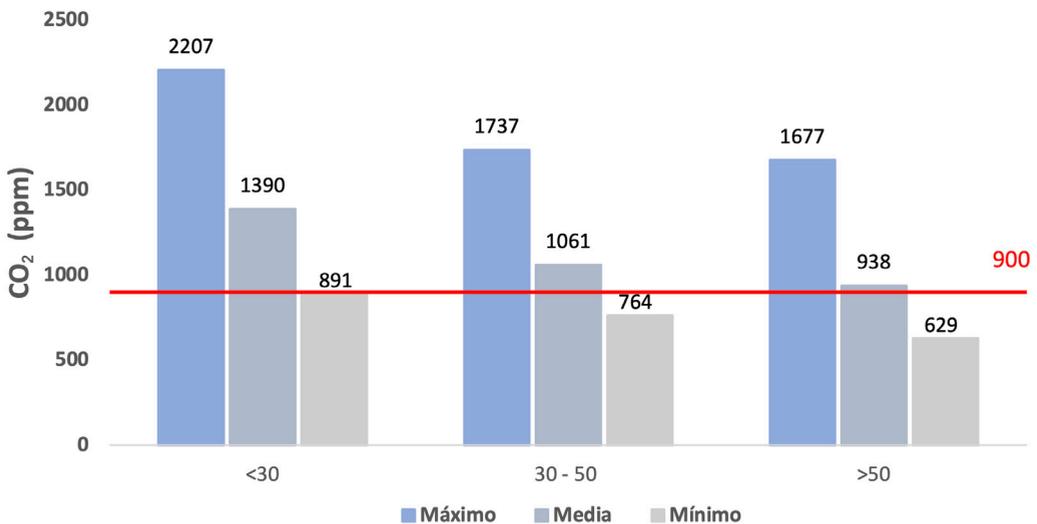


Figura 7.  $V_{MMax}$ ,  $V_{MMed}$ ,  $V_{MMin}$  en Dormitorios principales según el ratio m<sup>2</sup>/pers.

Como se puede observar en la Figura 7, los  $V_{MMed}$  de los tres rangos presentan datos por encima de las 900 ppm. También se aprecia una tendencia decreciente en la concentración de CO<sub>2</sub> a medida que ampliamos los m<sup>2</sup> por persona, siendo destacable la diferencia entre el primer rango y el segundo. Las viviendas <30 m<sup>2</sup>/pers. tienen concentraciones un 21% y un 32% mayores que los siguientes rangos de superficie por persona.

También se puede advertir que los  $V_{MMax}$  de los tres rangos están por encima de los 1.600 ppm considerado como "Preocupante". Al igual que en el caso de los valores  $V_{MMed}$ , se advierte

un descendimiento en la concentración de CO<sub>2</sub> a medida que ampliamos la superficie por persona. De esta manera, las viviendas <30 m<sup>2</sup>/pers. presentan concentraciones de un 21% y un 24% mayores respecto de los siguientes rangos.

En las Tablas 17, 18 y 19 se establecen las interrelaciones entre los rangos de superficie por persona con los valores límite considerados más cercanos.

Zona o Límite Columna/Fila	< 30	30 - 50	> 50	Límite 900 Saludable	Límite 1.600 Desfavorable
< 30		23,67%	32,52%	35,25%	-15,11%
30 - 50			11,59%	15,17%	-50,80%
> 50				4,05%	-70,58%

Tabla 17. Interrelaciones de V<sub>MMed</sub> en Dormitorios entre los rangos de superficie por personas y con límites

Zona o Límite Columna/Fila	< 30	30 - 50	> 50	Límite 900 Saludable	Límite 1.600 Desfavorable
< 30		21,30%	24,01%	59,22%	27,50%
30 - 50			3,45%	48,19%	7,89%
> 50				46,33%	4,59%

Tabla 18. Interrelaciones de V<sub>MMax</sub> en Dormitorios entre los rangos de superficie por personas y con límites

Zona o Límite Columna/Fila	< 30	30 - 50	> 50	Límite 900 Saludable	Límite 1.600 Desfavorable
< 30		14,25%	29,41%	-1,01%	-79,57%
30 - 50			17,67%	-17,80%	-109,42%
> 50				-43,08%	-154,37%

Tabla 19. Interrelaciones de V<sub>MMin</sub> en Dormitorios entre los rangos de superficie por personas y con límites



## 2.2. Dormitorio Principal (Nocturno)

La Figura 8 muestra los valores  $V_{MMax}$ ,  $V_{MMed}$ ,  $V_{MMin}$  de concentración de  $CO_2$  recogidos en los Dormitorios teniéndose en cuenta el periodo nocturno entre la 11 de la noche y las 7 de la mañana. Además, han sido agrupados en la ratio de superficie de la vivienda por el número de personas que la habitan, según los rangos anteriores.

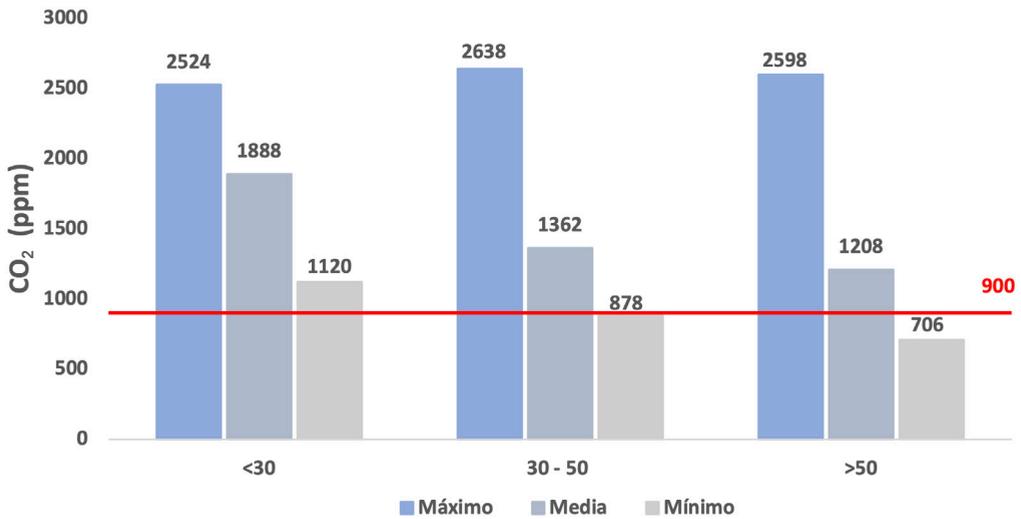


Figura 8.  $V_{MMax}$ ,  $V_{MMed}$ ,  $V_{MMin}$  nocturnos principales según el ratio m²/pers

Como se puede observar en la Figura 8, los  $V_{MMed}$  de los tres rangos vuelven a presentar datos con la clasificación de **“Desfavorable”**, incluso se superan los 1.600 ppm (**“Preocupante”**) en el rango <30 m². También se aprecia una tendencia similar a la anterior siendo las viviendas <30 m²/pers. las que cuentan con concentraciones un 27% y un 36% mayores que los siguientes rangos.

Además, se puede ver que los  $V_{MMax}$  de los tres rangos presentan promedios muy similares, todos ellos por encima de los 2.500 ppm considerándose, por tanto, una concentración de  $CO_2$  **“Grave”** para la salud.

Son especialmente llamativas las concentraciones en viviendas <30m²/per. por persona, ya que todos sus valores, incluidos los mínimos, superan el límite **“Saludable”** de las 900 ppm.

En las Tablas 20, 21 y 22 se establecen las interrelaciones entre los rangos de superficie por persona con los valores límite considerados más cercanos.

Zona o Límite Columna/Fila	< 30	30 - 50	> 50	Límite 900 Saludable	Límite 1.600 Desfavorable
< 30		27,86%	36,02%	52,33%	15,25%
30 - 50			11,31%	33,92%	-17,47%
> 50				25,50%	-32,45%

Tabla 20. Interrelaciones de  $V_{MMed}$  nocturnos entre los rangos de superficie por personas y con límites

Zona o Límite Columna/Fila	< 30	30 - 50	> 50	Límite 900 Saludable	Límite 1.600 Desfavorable
< 30		-4,52%	-2,93%	64,34%	36,61%
30 - 50			1,52%	65,88%	39,35%
> 50				65,36%	-38,41%

Tabla 21. Interrelaciones de  $V_{MMax}$  nocturnos entre los rangos de superficie por personas y con límites

Zona o Límite Columna/Fila	< 30	30 - 50	> 50	Límite 900 Saludable	Límite 1.600 Desfavorable
< 30		27,44%	41,65%	25,62%	-32,23%
30 - 50			19,59%	-2,51%	-82,23%
> 50				-27,48%	-126,63%

Tabla 22. Interrelaciones de  $V_{MMin}$  nocturnos entre los rangos de superficie por personas y con límites



### Análisis comparativo sobre el Dormitorio Principal

Se observa que los valores promedio de concentración nocturnos son significativamente mayores en todos sus valores ( $V_{MMax}$ ,  $V_{MMed}$ ,  $V_{MMin}$ ) que la concentración diaria de los Dormitorios. Los valores  $V_{MMax}$  del Dormitorio tienen concentraciones consideradas como **“Preocupantes”**, por encima de los 1.600 ppm, y los  $V_{MMax}$  nocturnos alcanzan la escala de **“Graves”**, por encima de 2.500 ppm. Los valores nocturnos presentan un incremento de la concentración de CO<sub>2</sub> de entre 320 y 920 partes por millón, con porcentajes de entre el 12% y el 35% respecto de los valores diarios del Dormitorio.

En cuanto a los valores  $V_{MMed}$ , tanto los datos nocturnos como los diarios tienen valores considerados **“Desfavorables”** e incluso **“Preocupantes”** y se contemplan incrementos entre el 22% y 26% de los datos de la noche respecto de los tomados durante el día completo.

### 2.3. Salón

La Figura 9 muestra los valores  $V_{MMax}$ ,  $V_{MMed}$ ,  $V_{MMin}$  de concentración de  $CO_2$  recogidos en los salones agrupándolos según la superficie por persona anteriormente descritos.

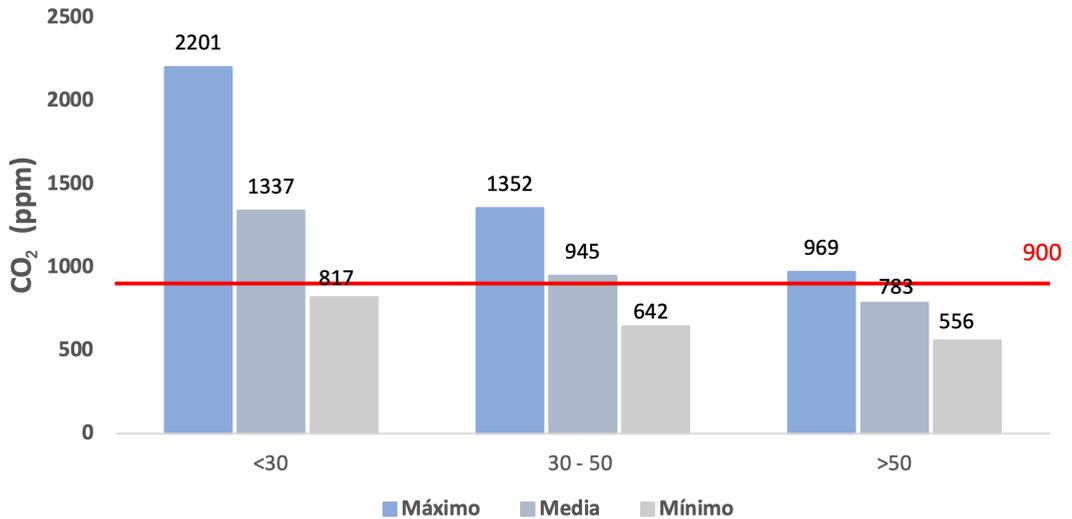


Figura 9.  $V_{MMax}$ ,  $V_{MMed}$ ,  $V_{MMin}$  de salones principales según el ratio m²/pers

Como se puede observar en la figura superior, los valores  $V_{MMed}$  del rango  $<30$  m² por persona presentan datos por encima de las 900 ppm, es decir, valores que se consideran **“Desfavorables”** según la Tabla 7. El rango entre 30 m² y 50 m² por persona lo supera muy levemente y las viviendas  $>50$  m² por persona tienen valores considerados como **“Saludables”**.

Se aprecia una tendencia en la concentración de  $CO_2$  en los valores  $V_{MMax}$  a medida que ampliamos los m²/pers. Las viviendas  $<30$  m²/pers. tienen concentraciones superiores a los 1.600 ppm, considerado como **“Preocupante”** para la salud y los siguientes rangos oscilan entre los 900 y 1.600 ppm considerado como **“Desfavorables”**. En términos porcentuales, el rango de superficie  $<30$  m² por persona tiene concentraciones un 39% y un 56% por encima de los siguientes rangos de superficie.

En las Tablas 23, 24 y 25 se establecen las interrelaciones entre los rangos de superficie por persona con los valores límite considerados más cercanos.

Zona o Límite Columna/Fila	< 30	30 - 50	> 50	Límite 900 Saludable	Límite 1.600 Desfavorable
< 30		29,32%	41,44%	32,69%	-19,67%
30 - 50			17,14%	4,76%	-69,31%
> 50				-14,94%	-104,34%

Tabla 23. Interrelaciones de  $V_{MMed}$  de salones entre los rangos de superficie por personas y con límites

Zona o Límite Columna/Fila	< 30	30 - 50	> 50	Límite 900 Saludable	Límite 1.600 Desfavorable
< 30		38,57%	55,97%	59,11%	27,31%
30 - 50			28,33%	33,43%	-18,34%
> 50				7,12%	-65,12%

Tabla 24. Interrelaciones de  $V_{MMax}$  de salones entre los rangos de superficie por personas y con límites

Zona o Límite Columna/Fila	< 30	30 - 50	> 50	Límite 900 Saludable	Límite 1.600 Desfavorable
< 30		21,42%	31,95%	-10,16%	-95,84%
30 - 50			13,40%	-40,19%	-149,22%
> 50				-61,87%	-187,77%

Tabla 25. Interrelaciones de  $V_{MMin}$  de salones entre los rangos de superficie por personas y con límites



### Análisis Global comparativo de estancias en relación con la superficie de la vivienda

Al comparar los datos del Salón con los datos del Dormitorio tanto los diurnos como nocturnos, se observa que estos últimos reúnen mayores concentraciones de  $CO_2$ . Respecto de los datos del Salón, en el Dormitorio se observan concentraciones de  $CO_2$  mayores, especialmente entre sus  $V_{MMax}$ . En los rangos entre  $30\text{ m}^2$  y  $50\text{ m}^2$  por persona con diferencias del 22% y en los mayores de  $50\text{ m}^2/\text{pers.}$  del 42%. En cambio, en las ratios menores de  $30\text{ m}^2/\text{pers.}$  no existe apenas diferencia con un 0,2%.

Los  $V_{MMed}$  presentan pequeñas variaciones entre el Dormitorio respecto del Salón con diferencias del 4 % para los menores del  $30\text{ m}^2/\text{pers.}$ , 11 % entre  $30\text{ m}^2$  y  $50\text{ m}^2$  por persona y un 16 % para una ratio mayor de  $50\text{ m}^2/\text{pers.}$

En esta comparativa se ve por tanto un patrón de concentraciones superiores en el Dormitorio, especialmente en sus valores  $V_{MMax}$  para rangos superiores a  $30\text{ m}^2/\text{pers.}$  y en menor medida en sus valores  $V_{MMed}$  en los mismos rangos. Cabe destacar que para las viviendas  $<30\text{ m}^2/\text{pers.}$  no hay apenas diferencias entre los valores del Dormitorio respecto del Salón.

### 3. Concentración de CO<sub>2</sub> por estancia en relación con la calidad de las ventanas de la vivienda.

#### 3.1. Dormitorio Principal (Diario)

En la Figura 10 se muestran los valores  $V_{MM\max}$ ,  $V_{MM\text{Med}}$ ,  $V_{MM\min}$  de los datos de concentración de CO<sub>2</sub> recogidos en los Dormitorios agrupados por la calidad de las ventanas que tiene la vivienda.

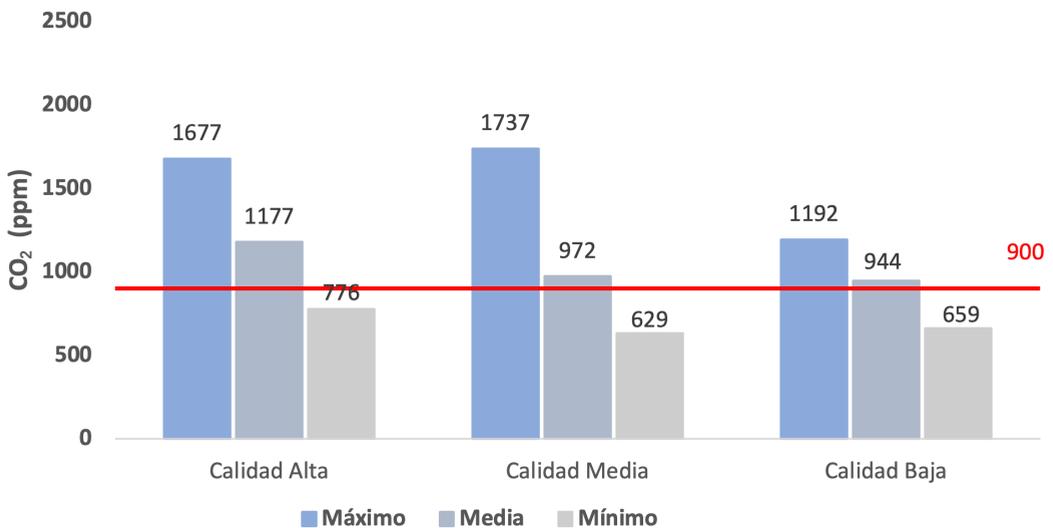


Figura 10.  $V_{MM\max}$ ,  $V_{MM\text{Med}}$ ,  $V_{MM\min}$  en Dormitorios principales según el tipo de ventana

Como se puede observar, los valores  $V_{MM\text{Med}}$  de los tres rangos presentan datos levemente por encima de las 900 ppm, valores considerados por tanto como **“Desfavorables”** según la Tabla 7. También se aprecia una tendencia en la concentración de CO<sub>2</sub> a medida que empeora la calidad de las ventanas. Las viviendas con mejor calidad de las ventanas presentan concentraciones un 17 % y un 20 % mayores respecto de las viviendas peores calidades de ventanas.

Los valores  $V_{MM\max}$  presentan datos por encima de los 1.600 ppm para las calidades altas y medias, considerado como **“Preocupante”**. Los valores  $V_{MM\max}$  de las viviendas que tienen una calidad baja de las ventanas, tienen concentraciones de CO<sub>2</sub> consideradas como **“Desfavorable”**. La diferencia entre el valor más alto y bajo es del 31%.

Es de destacar que el valor más alto de los  $V_{MM\max}$  se dé para ventanas de calidad media en lugar de aquellas de calidad alta, siendo esto lo previsible. Si bien este hecho se puede dar por otros factores como los tratados anteriormente, zona geográfica o ratio de superficie por persona.

En las Tablas 26, 27 y 28 se establecen las interrelaciones entre los tipos de ventana con los valores límite considerados más cercanos.

Zona o Límite Columna/Fila	Alta	Media	Baja	Límite 900 Saludable	Límite 1.600 Desfavorable
Alta		17,42%	19,80%	23,53%	-35,94%
Media			2,88%	7,41%	-64,61%
Baja				4,66%	-69,49%

Tabla 26. Interrelaciones de  $V_{MMed}$  de Dormitorios entre los tipos de ventana y con límites

Zona o Límite Columna/Fila	Alta	Media	Baja	Límite 900 Saludable	Límite 1.600 Desfavorable
Alta		-3,58%	28,92%	46,33%	4,59%
Media			31,88%	48,19%	7,89%
Baja				24,50%	-34,23%

Tabla 27. Interrelaciones de  $V_{MMax}$  de Dormitorios entre los tipos de ventana y con límites

Zona o Límite Columna/Fila	Alta	Media	Baja	Límite 900 Saludable	Límite 1.600 Desfavorable
Alta		18,94%	15,08%	-15,98%	-106,19%
Media			-4,77%	-43,08%	-154,37%
Baja				-36,57%	-142,79%

Tabla 28. Interrelaciones de  $V_{MMin}$  de Dormitorios entre los tipos de ventana y con límites



### 3.2. Dormitorio Principal (Nocturno)

En la Figura 11 se muestran de nuevo las variables anteriores según el tipo de ventana de la vivienda, teniendo en consideración únicamente los  $V_{pmi}$  calculados entre las 11 de la noche y las 7 de la mañana.

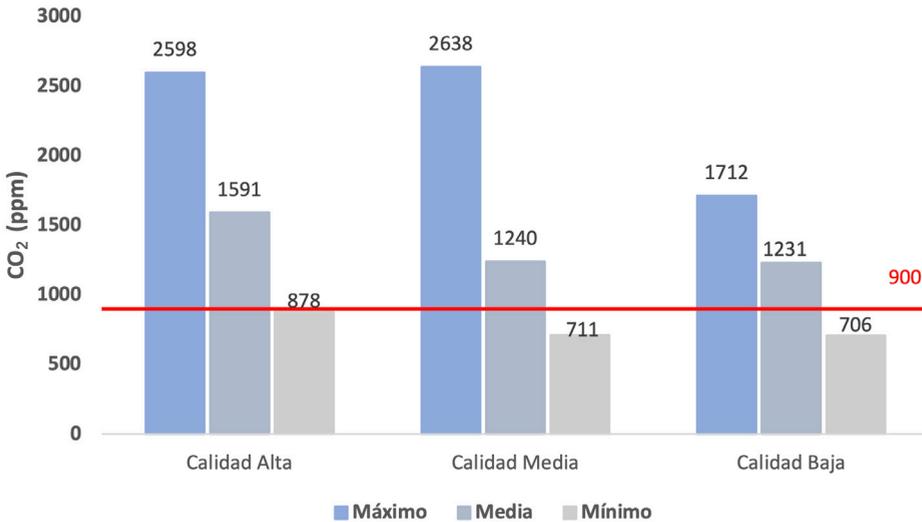


Figura 11.  $V_{MMax}$ ,  $V_{MMed}$ ,  $V_{MMin}$  nocturnos según el tipo de ventana

Como se puede observar en la Figura 11, los valores  $V_{MMed}$  de los tres rangos presentan datos de  $CO_2$  entre las 900 y 1.600 ppm, es decir, **"Desfavorables"**. También se aprecia una tendencia en la concentración de  $CO_2$  a medida que empeora la calidad de las ventanas. Las viviendas con mejor calidad de las ventanas presentan concentraciones un 22% mayores respecto de las viviendas con peores calidades de ventanas.

Los valores  $V_{MMax}$  presentan datos por encima de los 2.500 ppm para las calidades alta y media, considerados como **"Graves"** para la salud, según lo establecido en la Tabla 7. Para las viviendas que tienen una calidad baja de sus ventanas, su concentración de  $CO_2$  es considerada como **"Preocupante"** por encima de los 1.600 ppm.

En las Tablas 29, 30 y 31 se establecen las interrelaciones entre los tipos de ventana con los valores límite considerados más cercanos.

Zona o Límite Columna/Fila	Alta	Media	Baja	Límite 900 Saludable	Límite 1.600 Desfavorable
Alta		22,06%	22,63%	43,43%	-0,57%
Media			0,73%	27,42%	-29,03%
Baja				26,89%	-29,98%

Tabla 29. Interrelaciones de  $V_{MMed}$  de Dormitorios en horario nocturno entre los tipos de ventana y con límites

Zona o Límite Columna/Fila	Alta	Media	Baja	Límite 900 Saludable	Límite 1.600 Desfavorable
Alta		-1,54%	34,10%	65,36%	38,41%
Media			35,10%	65,88%	39,35%
Baja				47,43%	6,54%

Tabla 30. Interrelaciones de  $V_{MMax}$  de Dormitorios en horario nocturno entre los tipos de ventana y con límites

Zona o Límite Columna/Fila	Alta	Media	Baja	Límite 900 Saludable	Límite 1.600 Desfavorable
Alta		19,02%	19,59%	-2,51%	-82,23%
Media			0,70%	-26,58%	-125,04%
Baja				-27,48%	-126,63%

Tabla 31. Interrelaciones de  $V_{MMin}$  de Dormitorios en horario nocturno entre los tipos de ventana y con límites



### Análisis comparativo sobre el Dormitorio Principal

Se observa que los valores promedio de concentración nocturnos son significativamente mayores en todos sus valores ( $V_{MMax}$ ,  $V_{MMed}$ ,  $V_{MMin}$ ) que la concentración diaria de los Dormitorios.

Los valores  $V_{MMax}$  del Dormitorio tienen concentraciones consideradas como **“Preocupantes”**, por encima de los 1.600 ppm, excepto en la calidad baja que está por debajo y los valores  $V_{MMax}$  nocturnos alcanzan concentraciones consideradas como **“Graves”**, por encima de 2.500 ppm, excepto en calidad baja que está entre los 1.600 y los 2.500 ppm. Por tanto, los valores nocturnos presentan un incremento de la concentración de CO<sub>2</sub> de entre 520 y 920 partes por millón con porcentajes aproximados del 35% respecto de las mediciones diarias del Dormitorio.

Respecto a los valores  $V_{MMed}$  tanto los datos nocturnos como los diarios tienen valores considerados como **“Desfavorables”** entre 900 y 1.600 ppm, aunque se contemplan incrementos entre el 21% y 26% de los datos de la noche respecto de los tomados durante el día completo.

### 3.3. Salón

En la Figura 12 se muestra la media de los datos de concentración de  $\text{CO}_2$  recogidos en los salones agrupados por la calidad de las ventanas que tiene la vivienda. A su vez, estos están clasificados según los  $V_{\text{MMax}}$ ,  $V_{\text{MMed}}$ ,  $V_{\text{MMin}}$  de todas las viviendas.

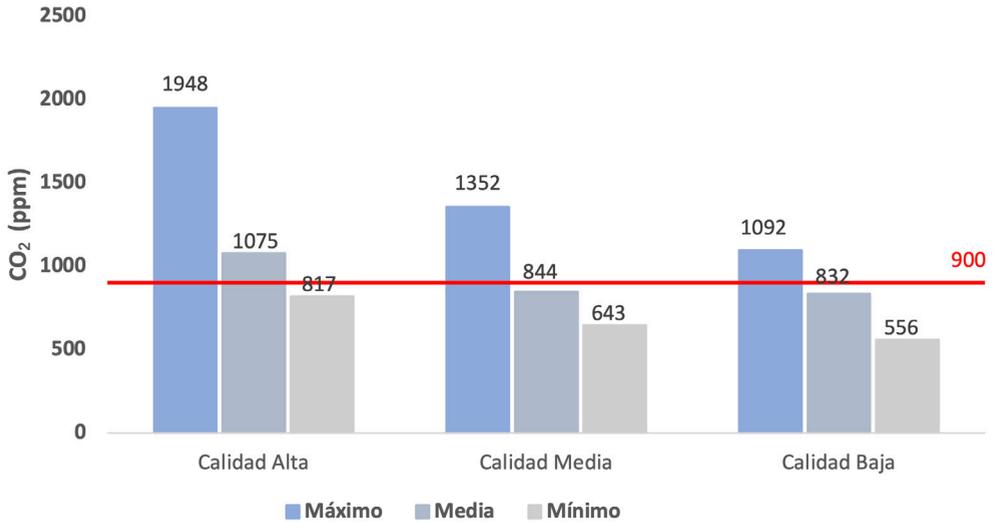


Figura 12.  $V_{\text{MMax}}$ ,  $V_{\text{MMed}}$ ,  $V_{\text{MMin}}$  de salones según el tipo de ventana

Como se puede observar en la Figura 12, solo los valores  $V_{\text{MMed}}$  con ventanas de calidad alta presentan datos por encima de las 900 ppm. Los valores de ventanas de calidad media y baja tienen valores por debajo de las 900 ppm, considerados como **“Saludables”**.

Se aprecia una tendencia en la concentración de  $\text{CO}_2$  en los valores  $V_{\text{MMax}}$  a medida que vamos mejorando la calidad de las ventanas. Las viviendas con ventanas de calidad alta presentan concentraciones superiores a los 1.600 ppm, considerado como **“Preocupante”**, en cambio, las ventanas de calidad media y baja oscilan entre los 900 y 1.600 ppm considerado como **“Desfavorable”** para la salud. En términos porcentuales, las viviendas con ventanas de calidad alta tienen concentraciones un 31% y un 44% por encima respecto del restos de tipos de ventanas.

En las Tablas 32, 33 y 34 se establecen las interrelaciones entre los tipos de ventana con los valores límite considerados más cercanos.

Zona o Límite Columna/Fila	Alta	Media	Baja	Límite 900 Saludable	Límite 1.600 Desfavorable
Alta		21,49%	22,60%	18,28%	-48,84%
Media			1,42%	-6,64%	-89,57%
Baja				-8,17%	-92,31%

Tabla 32. Interrelaciones de  $V_{MMed}$  de salones entre los tipos de ventana y con límites

Zona o Límite Columna/Fila	Alta	Media	Baja	Límite 900 Saludable	Límite 1.600 Desfavorable
Alta		30,60%	43,94%	53,80%	17,86%
Media			19,23%	33,43%	-18,34%
Baja				17,58%	-46,52%

Tabla 33. Interrelaciones de  $V_{MMax}$  de salones entre los tipos de ventana y con límites

Zona o Límite Columna/Fila	Alta	Media	Baja	Límite 900 Saludable	Límite 1.600 Desfavorable
Alta		21,30%	31,95%	-10,16%	-95,84%
Media			13,53%	-39,97%	-148,83%
Baja				-61,87%	-187,77%

Tabla 34. Interrelaciones de  $V_{MMin}$  de salones entre los tipos de ventana y con límites



### Análisis Global comparativo de estancias en relación las ventanas

Respecto de los datos del Salón, en el Dormitorio se observan concentraciones de  $CO_2$  en general mayores, especialmente entre sus valores  $V_{MMax}$ . En este caso, las concentraciones en las viviendas con ventanas de calidad alta son menores en el Dormitorio un 16% pero en las viviendas con calidades medias y bajas son superiores entre un 8% y un 22%.

En los valores  $V_{MMed}$  el Dormitorio presenta valores mayores que en el Salón, con independencia del tipo de ventana con diferencias entre el 8% y el 13%.

## 4. Caso Específico. Gráfico de concentración de CO<sub>2</sub> por exposición del usuario en Dormitorios

Este apartado compara los datos de concentración de CO<sub>2</sub> atendiendo a la exposición del usuario en el Dormitorio, evaluando la diferencia de aquellos que duermen con la puerta cerrada o abierta.

### 4.1. Media Nocturna según su relación con la apertura de la puerta

La Figura 13 muestra la media de los datos de concentración de CO<sub>2</sub> recogidos en el Dormitorio registrando tan sólo el periodo nocturno entre las 11 de la noche y las 7 de la mañana, agrupados según la puerta este o no cerrada. A su vez, estos están clasificados según la zona geográfica.

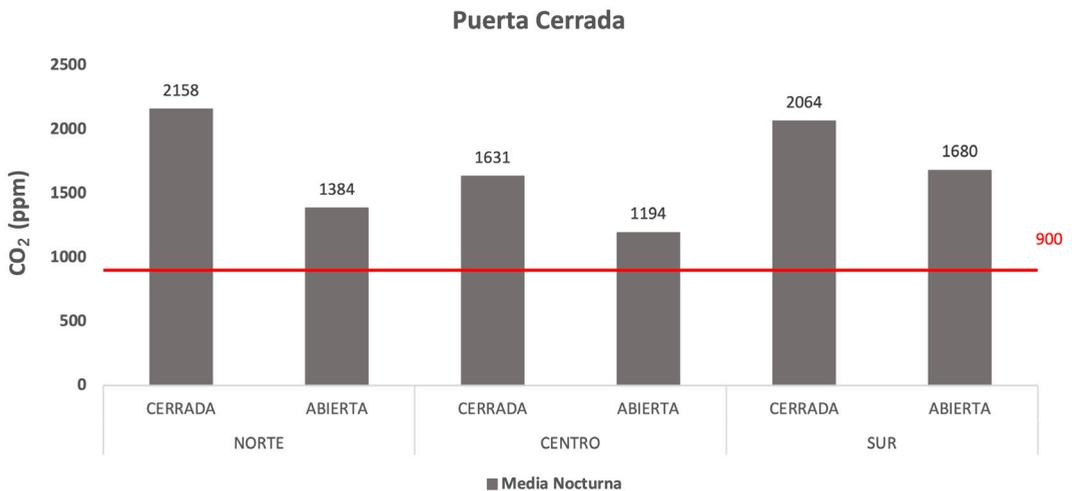


Figura 13.  $V_{MMed}$  de Dormitorio horario nocturno según la puerta cerrada o abierta y la zona geográfica

Como se puede observar en la Figura 13, todos los valores del Dormitorio en su media nocturna supera las concentraciones de CO<sub>2</sub> de 900 ppm, consideradas como **“Saludables”**. Cabe destacar que todos los Dormitorios con la puerta cerrada superan la concentración de 1.600 ppm considerado como **“Preocupante”**.

En términos porcentuales, los Dormitorios con la puerta cerrada tienen concentraciones un 37 % de media por encima de los Dormitorios con la puerta abierta. Respecto de las zonas geográficas, el norte presenta mayores diferencias entre dormir con la puerta cerrada o abierta con porcentajes del 56 % mayores. En la zona centro la diferencia se reduce hasta el 37 % y en el sur es del 23 %, siendo la que más proximidad conserva entre sus valores.

#### 4.2. Media Nocturna y Media Diaria por exposición del usuario en Dormitorios

La Figura 14 muestra por una parte la media de los datos de concentración de CO<sub>2</sub> recogidos en el Dormitorio registrando tan sólo el periodo nocturno entre las 11 de la noche y las 7 de la mañana, y por otra parte los datos de la media diaria del Dormitorio, a su vez, agrupados según la puerta, esté o no cerrada. Además, estos están clasificados según la zona geográfica.

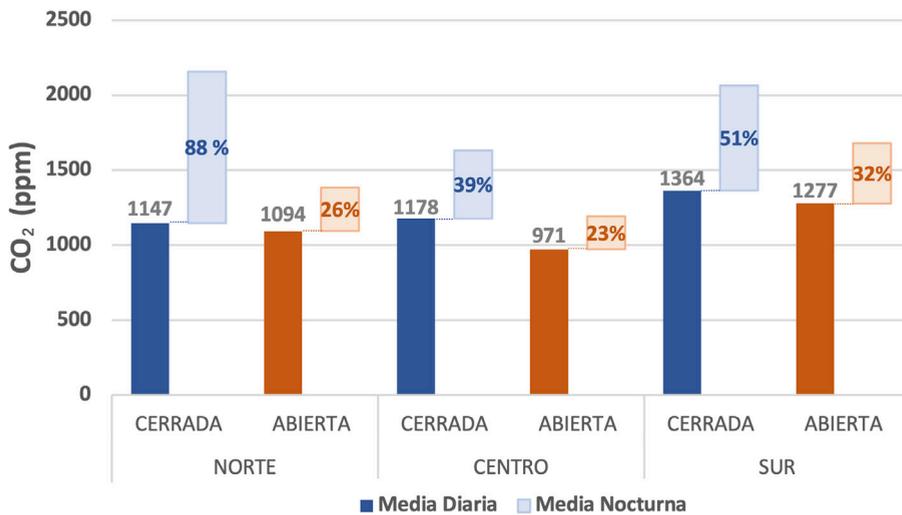


Figura 14. Relación porcentual de la media diaria y nocturna de los Dormitorios según la puerta está cerrada o abierta y la zona geográfica

En la Figura 14, podemos ver la relación porcentual de la media diaria con la media nocturna de los Dormitorios. En este caso, viene expresado en los gráficos el porcentaje entre los valores diarios y nocturnos, de tal manera que se puede ver que, como mínimo, aumenta un 23 % la concentración de CO<sub>2</sub> media nocturna, con respecto a la media diaria.

Además, se puede ver que en los Dormitorios que no se cierra la puerta por la noche, el aumento de concentraciones de CO<sub>2</sub> con respecto a la media diaria oscila entre los 23 % y 32 %, mientras que en los Dormitorios en los que sí se cierra la puerta por la noche estos porcentajes oscilan entre los 39 % y 88 %.

## 5. Caso Integral. Gráfico de concentración de CO<sub>2</sub> en cada una de las viviendas de estudio en relación con la media y sus máximos

En la Figura 15 se muestra la relación de los datos de cada medición obtenidos en el Dormitorio comparando la media de la concentración de CO<sub>2</sub> del periodo completo (VPMI) de toma de datos con los datos máximos obtenidos.

Así mismo, se puede observar que las mediciones vienen ordenadas por su zona geográfica.

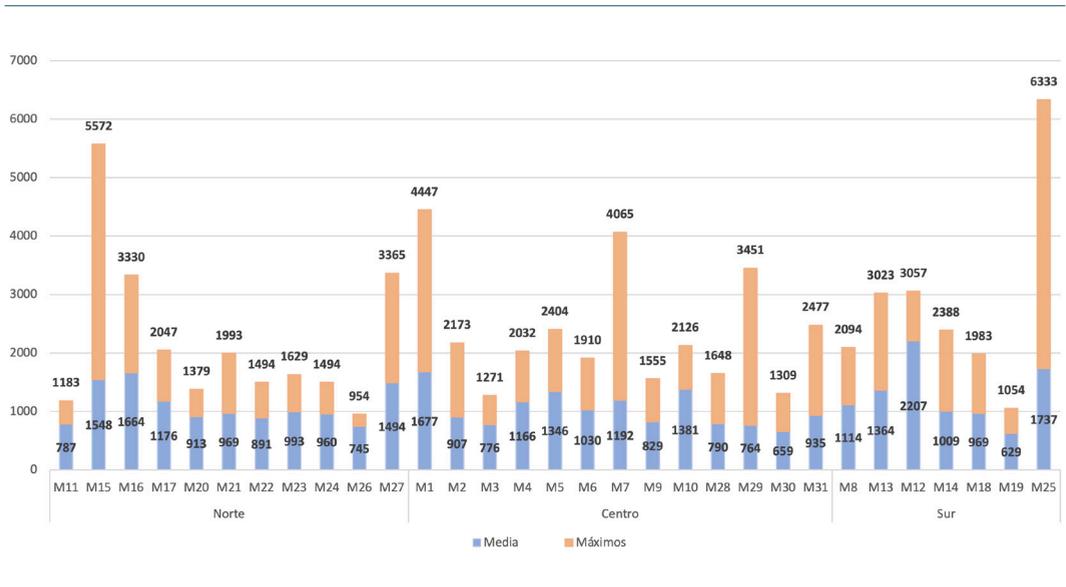


Figura 15. Relación de los datos máximos obtenidos durante el periodo completo de toma de datos en cada una de las mediciones en los Dormitorios y su media

En la Figura 16 se muestra la relación de los datos de cada medición obtenidos en el Salón comparando la media de la concentración de CO<sub>2</sub> del periodo completo (VPMI) de toma de datos con los datos máximos obtenidos.

Así mismo, se puede observar que las mediciones vienen ordenadas por su zona geográfica.

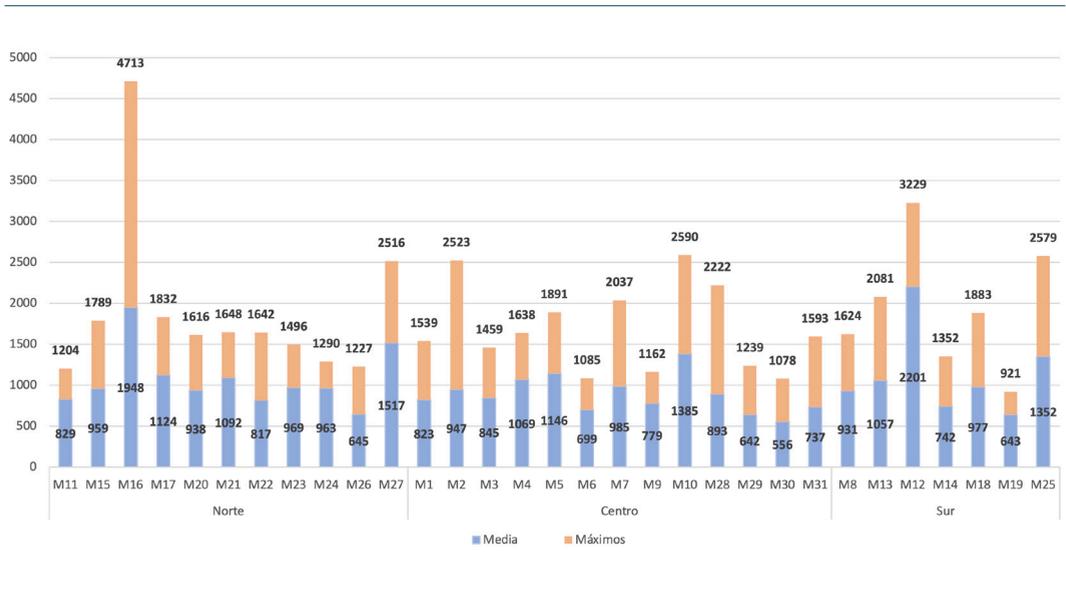
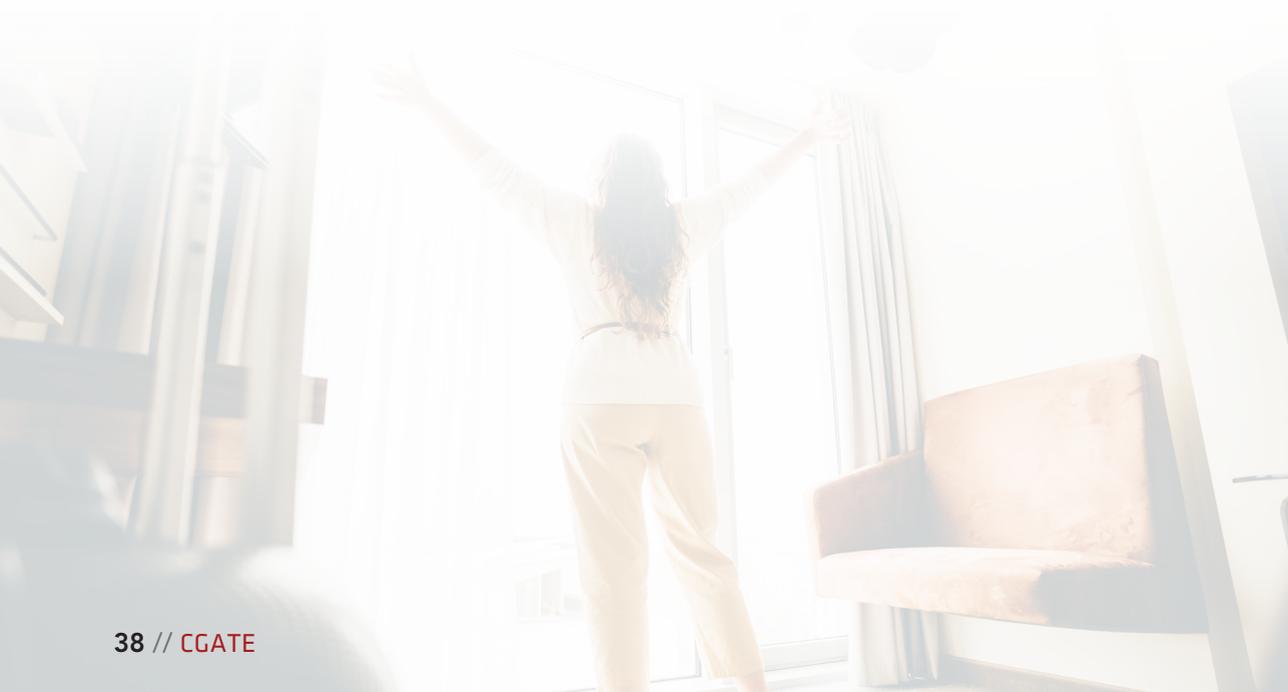


Figura 16. Relación de los datos máximos obtenidos durante el periodo completo de toma de datos en cada una de las mediciones en los salones y su media



---



# CONCLUSIONES

Las concentraciones de CO<sub>2</sub> en las estancias, medidas en distintas zonas geográficas de nuestro territorio nacional, ha sido en general más alta que la recomendada en la normativa de referencia de este estudio como es el DB-HS3 del Código Técnico de la Edificación (CTE), en el que expresa que la concentración media anual debe ser menor a 900 ppm.

Si observamos la media de concentraciones de CO<sub>2</sub> tomadas en los Dormitorios de todas las viviendas del estudio superan en un 71% el límite normativo de 900 ppm. Destaca por zonas geográficas la zona sur con un 84% de viviendas con valores superiores.

Además, la diferencia de la media de concentraciones de CO<sub>2</sub> entre las mediciones diarias (24 horas) en los Dormitorios, con los datos del horario nocturno (cuando la estancia está ocupada) es mayor, ya que los datos de medias nocturnas tienen un 84% de viviendas que superan el límite. Además, sólo en las mediciones de la noche encontramos datos con medias superiores a los 2.500 ppm, un 10 % de las viviendas.

Así, en los datos de la noche se ha estudiado como afecta a la concentración de CO<sub>2</sub> aquellos usuarios que duermen con la puerta abierta o cerrada. El 100% de las viviendas en cuyos Dormitorios se cerraba la puerta superan el límite de concentración media marcado por la norma de 900 ppm. Además, con los datos de la noche, se ha podido comprobar la relación de la exposición real del usuario en los Dormitorios respecto de los datos diarios, desvinculados de la exposición de un emisor de CO<sub>2</sub>. De esta manera, se ha confirmado que, de media, los valores de la noche son un 43% mayor que los datos donde no se discrimina la exposición del usuario.

Por estancia, los datos de concentración de CO<sub>2</sub> menos nocivos se extraen de las mediciones en los salones, aun así, el 58% de las viviendas superan el límite marcado. En este caso, destaca la zona centro que, a pesar de tener los mejores datos, un 38% de viviendas supera el valor de 900 ppm.

Por otra parte, podemos detectar en los resultados arrojados por este estudio, que los factores que más influyen en la concentración de CO<sub>2</sub> son la superficie por persona y el tipo de ventana. El 89% de las viviendas con menor superficie por persona superan el límite normativo tanto en Dormitorios como en salones frente a los 60% en Dormitorios de viviendas con mayor superficie y tan solo el 30% en los salones de esta tipología. Es decir, la concentración de CO<sub>2</sub> es mayor en las viviendas más pequeñas o con mayor densidad de ocupación.

De la misma manera, la tipología de ventanas afecta a la concentración de CO<sub>2</sub>, siendo en este caso las viviendas con la mejor calidad de las ventanas, las que mayores concentraciones presentan. Un 81% de este tipo de viviendas superan los límites marcados en Dormitorios y un 75% en salones frente al 57% de las viviendas con ventanas de calidad baja en Dormitorios y un 43% en salones.

Cabe destacar, tal y como se mencionaba en la metodología, la antigüedad del edificio como parámetro de importancia para la concentración de CO<sub>2</sub>. El 65% de las viviendas objeto de estudio se construyeron antes de la publicación de las normas NBE-79 que exigían la incorporación de aislamiento térmico, así como el 90% de las viviendas se construyeron antes de la publicación del Código Técnico de la Edificación en el año 2006, más exigente respecto a esta cuestión. Esto quiere decir, que a pesar de las características del parque edificado nacional que cuenta en su mayoría con edificios antiguos poco herméticos, nos encontramos con nivel de concentración de CO<sub>2</sub> muy superiores al límite de 900 ppm. Este hecho unido a la importancia que tomará la rehabilitación energética de edificios y viviendas en los próximos años, presuppone un aumento de concentraciones en las viviendas a cuenta de una mayor hermeticidad, debiendo tener en cuenta la mejora de la ventilación.

Finalmente, una vez examinados los datos de las viviendas objeto de estudio y analizados los factores que influyen en una mayor concentración de CO<sub>2</sub>, como pueden ser el ratio de superficie de la vivienda por persona, el tipo de ventana o el año de construcción, solo queda evitar estas concentraciones mediante el uso de detectores de CO<sub>2</sub>, para favorecer la ventilación natural, especialmente en las estancias estudiadas como pueden ser los Dormitorios o el Salón, éstas con una prolongada tasa de ocupación.



---



# BIBLIOGRAFÍA

- [1]. IARC (2013). Outdoor air pollution a leading environmental cause of cancer deaths. G[Internet]. Nota de prensa No 221, International Agency for Research on Cancer. Disponible en: [https://www.iarc.who.int/wp-content/uploads/2018/07/pr221\\_E.pdf](https://www.iarc.who.int/wp-content/uploads/2018/07/pr221_E.pdf)
- [2]. Oficina Regional Europea. OMS. (2019). Beat air pollution to protect health: World Environment Day 2019. Disponible en: <https://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/pages/news/news/2019/6/beat-air-pollution-to-protect-health-world-environment-day-2019>
- [3]. OMS (2018). Calidad del aire y salud. Datos y cifras. [Internet]. Disponible en: [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- [4]. Oficina Regional Europea. OMS. (2019). Beat air pollution to protect health: World Environment Day 2019. Disponible en: <https://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/pages/news/news/2019/6/beat-air-pollution-to-protect-health-world-environment-day-2019>
- [5]. MITECO (2020). Evaluación de la calidad del aire en España 2020. [Internet]. Disponible en: [https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/informeevaluacioncalidadairespana2020\\_tcm30-529210.pdf](https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/informeevaluacioncalidadairespana2020_tcm30-529210.pdf)
- [6]. Ortiz C, Linares C, Carmona R, Díaz J (2017). Evaluation of short-term mortality attributable to particulate matter pollution in Spain. *Environmental Pollution* 224: 541-551.
- [7]. Arroyo V, Linares C, Díaz J, (2019). Premature births in Spain: Measuring the impact of air pollution using time series analyses. *Science of the Total Environment* 660:105-114.
- [8]. Arroyo V, Díaz J, Salvador P, Linares C (2019). Impact of air pollution on low birth weight in Spain: An approach to a National Level Study. *Environmental Research* 171:69-79.
- [9]. Culqui DR, Linares C, Ortiz C, Carmona R, Díaz J (2017). Association between environmental factors and emergency hospital admissions due to Alzheimer's disease in Madrid. *Science of the Total Environment* 592: 451-457.
- [10]. Díaz J, Ortiz C, Falcón I, Salvador C, Linares C (2018). Short-term effect of tropospheric ozone on daily mortality in Spain. *Atmospheric Environment* 187:107-116.

- [11]. Linares C, Culqui D, Carmona R, Ortiz C, Díaz J (2017). Short-term association between environmental factors and hospital admissions due to dementia in Madrid. *Environmental Research* 157:214-220.
- [12]. Linares C, Falcón I, Ortiz C, Díaz J (2018). An approach estimating the short-term effect of NO<sub>2</sub> on daily mortality in Spanish cities. *Environmental International* 116:18-28.
- [13]. Oficina Regional Europea. OMS (2013). Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP Project, Technical Report, Organización Mundial de la Salud. [Internet]. Disponible en: <https://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/publications/2013/review-of-evidence-on-health-aspects-of-air-pollution-revihaap-project-final-technical-report>
- [14]. Aguilera I, Pedersen M, García-Esteban R, Ballester F, Basterrechea M, Esplugues A, Fernández-Somoano A, Lertxundi A, Tardón A, Sunyer J (2013). Early-life exposure to outdoor air pollution and respiratory health, ear infections, and eczema in infants from the INMA study. *Environmental Health Perspectives* 121:387-392.
- [15]. Morales E, García-Esteban R, de la Cruz OA, Basterrechea M, Lertxundi A, Martínez-López de Dicastillo M, Zabaleta C, Sunyer C (2015). Intrauterine and early postnatures exposure to outdoor air pollution and lung function at preschool age. *Thorax* 70:64-73.
- [16]. OMS (2005). Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. [Internet]. Disponible en: <https://www.who.int/publications/i/item/WHO-SDE-PHE-OEH-06-02>.
- [17]. U.S. Environmental Protection Agency (1987). The total exposure assessment methodology (TEAM) study: Summary and analysis. EPA/600/6-87/002a. Washington, DC. Consultado en: <https://www.epa.gov/report-environment/indoor-air-quality#note2>.
- [18]. Iovanni Ingrosso (2002). Free radical chemistry and its concern with indoor air quality: an open problem. *Microchemical Journal* 73 (1–2): 221-236, ISSN 0026-265X, [https://doi.org/10.1016/S0026-265X\(02\)00067-X](https://doi.org/10.1016/S0026-265X(02)00067-X).
- [19]. Zhou F, Niu M, Zheng Y, Sun Y, Wu Y, Zhu T, Shen F, (2021). Impact of outdoor air on indoor airborne microbiome under hazy air pollution: A case study in winter Beijing. *Journal of Aerosol Science* 156 (105798), ISSN 0026-265X, <https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2021.105798>.
- [20]. Carmona D, López-Asiain J, Payán de Tejada A, González MN (2019). Indoor air quality in residential buildings and its influence in respiratory pathologies patients. 2nd Building and Management International Conference. Proceedings. ISBN 978-84-16397-91-4.
- [21]. MSCBS (2021). Plan Estratégico de Salud y Medioambiente. Disponible en: [https://www.mscbs.gob.es/ciudadanos/pesma/docs/2021\\_PESMA\\_04-06-2021.pdf](https://www.mscbs.gob.es/ciudadanos/pesma/docs/2021_PESMA_04-06-2021.pdf)
- [22]. Aflaki, A, Hirbodi, K, Mahyuddin, N, Yaghoubi, M, Esfandiari, M (2019). Improving the air change rate in high-rise buildings through a transom ventilation panel: A case study. *Building and Environment*. 147:35-49.

- [23]. Mentese, S, Mirici, NA, Elbir, T, Palaz, E, Mumcuoğlu, DT, Cotuker, O, Bakar C, Oymak S, Otkun, MT (2020). A long-term multi-parametric monitoring study: Indoor air quality (IAQ) and the sources of the pollutants, prevalence of sick building syndrome (SBS) symptoms, and respiratory health indicators. *Atmospheric Pollution Research*. 11(12):2270-2281.
- [24]. Fehlmann J, Wanner HU (1993). Indoor climate and indoor air quality in residential buildings. *Indoor Air* 3:41-50
- [25]. Rohbock E, Müller H, Zingsheim T (1987). Investigations of the indoor air composition in open plan offices with central ventilation. *Gesund. Ing.* 108 (6):269-276
- [26]. Kim J, Hong T, Kong M, Jeong K (2020). Building occupants' psycho-physiological response to indoor climate and CO<sub>2</sub> concentration changes in office buildings. *Building and Environment*. 169: 106596. ISSN 0360-1323. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106596>.
- [27]. Bivolarova MP, Melikov AK, Mizutani C, Kajiwara K, Bolashikov ZD (2016). Bed-integrated local exhaust ventilation system combined with local air cleaning for improved IAQ in hospital patient rooms. *Building and Environment*. 100:10-18. ISSN 0360-1323. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.02.006>.
- [28]. Reijula KE (2006). Indoor Air Quality (IAQ) and Water Damages in Finnish Hospitals. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*. 117 (2. Supplement):S27. ISSN 0091-6749. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2005.12.110>.
- [29]. UNE (1991). UNE 100011:1991 Climatización. La ventilación para una calidad aceptable del aire en la climatización de los locales.
- [30]. UNE (2020). UNE-EN 16798-1:2020 Eficiencia energética de los edificios. Ventilación de los edificios. Parte 1: Parámetros del ambiente interior a considerar para el diseño y la evaluación de la eficiencia energética de edificios incluyendo la calidad del aire interior, condiciones térmicas, iluminación y ruido.



# ANEXOS

1. Vivienda de estudio n.º 1 – Madrid
2. Vivienda de estudio n.º 2 – Madrid
3. Vivienda de estudio n.º 3 – Madrid
4. Vivienda de estudio n.º 4 – Madrid
5. Vivienda de estudio n.º 5 – Madrid
6. Vivienda de estudio n.º 6 – Madrid
7. Vivienda de estudio n.º 7 – Madrid
8. Vivienda de estudio n.º 8 – Almería
9. Vivienda de estudio n.º 9 – Salamanca
10. Vivienda de estudio n.º 10 – Salamanca
11. Vivienda de estudio n.º 11 – Huesca
12. Vivienda de estudio n.º 12 – Almería
13. Vivienda de estudio n.º 13 – Huelva
14. Vivienda de estudio n.º 14 – Huelva
15. Vivienda de estudio n.º 15 – Bizkaia
16. Vivienda de estudio n.º 16 – Bizkaia
17. Vivienda de estudio n.º 17 – Ourense
18. Vivienda de estudio n.º 18 – Almería
19. Vivienda de estudio n.º 19 – Almería
20. Vivienda de estudio n.º 20 – Bizkaia
21. Vivienda de estudio n.º 21 – Bizkaia
22. Vivienda de estudio n.º 22 – Huesca
23. Vivienda de estudio n.º 23 – Ourense

24. Vivienda de estudio n.º 24 – Álava
25. Vivienda de estudio n.º 25 – Almería
26. Vivienda de estudio n.º 26 – Ourense
27. Vivienda de estudio n.º 27 – Cantabria
28. Vivienda de estudio n.º 28 – Zaragoza
29. Vivienda de estudio n.º 29 – Zaragoza
30. Vivienda de estudio n.º 30 – Zaragoza
31. Vivienda de estudio n.º 31 – Zaragoza



Continúa más información de los anexos en este Código Bidi







CONSEJO GENERAL  
DE LA ARQUITECTURA TÉCNICA  
DE ESPAÑA



POLITÉCNICA

UNIVERSIDAD  
POLITÉCNICA  
DE MADRID

Consejo General de la Arquitectura Técnica de España

Paseo de la Castellana, 155

28046 Madrid

Tel.: 915 705 588

[www.arquitectura-tecnica.com](http://www.arquitectura-tecnica.com)