



Received: 03/10/2021

Accepted: 14/10/2021

Anales de Edificación

Vol. 8, Nº2, 52-56 (2022)

ISSN: 2444-1309

Doi: 10.20868/ade.2022.5043

## La calidad del aire interior durante la noche en dormitorios según la apertura de la puerta Indoor air quality at night in bedrooms depending on the door opening

José Fernández Castillo<sup>a</sup>, Juan López-Asiain Martínez<sup>b</sup>, Alejandro Payán De Tejada Alonso<sup>a</sup>,  
Alfredo Sanz Corma<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Consejo General de la Arquitectura Técnica de España

<sup>b</sup>Universidad Politécnica de Madrid.

**Resumen**-- En los últimos años se ha confirmado, a través de multitud de estudios, la existencia de perjuicios graves en la salud de las personas derivados de una mala calidad del aire, lo que ha fomentado el interés en diferentes áreas para su mejora. Previamente, en el año 1987, y sus revisiones en 1997 y 2005, la Organización Mundial de la Salud [OMS] ya indicaba los principales contaminantes en el aire exterior y sus efectos adversos para la salud de las personas. Más tarde, en 2010, publicaba las directrices para espacios interiores. Establecidos estos, la organización estimaba, en 2016, que este factor es el causante de la muerte prematura de 4,2 millones de personas en el mundo. En el ámbito nacional, el estudio de la evaluación de la calidad del aire en España de 2020 constata que estos indicadores, entre los que destacan la materia particulada PM<sub>2,5</sub> y PM<sub>10</sub> o el  $\text{O}_3$ , superaban ampliamente los valores límite recomendados por la OMS. Es por ello por lo que, el Consejo General de la Arquitectura Técnica de España ha realizado un estudio de la concentración de CO<sub>2</sub> en viviendas, analizando diferentes factores que puedan influir en este indicador. En este caso, se presenta la relación de la concentración de CO<sub>2</sub> con la apertura de la puerta durante el periodo nocturno, atendiendo a la exposición del usuario en el dormitorio, lo que ha permitido evaluar la diferencia de concentraciones entre los que duermen con la puerta abierta y los usuarios que lo hacen con la puerta cerrada, un factor que a priori puede parecer irrelevante, pero como veremos en los resultados tiene una gran importancia.

**Palabras clave**— Calidad del aire interior; concentración de CO<sub>2</sub>; salud.

**Abstract**— In recent years, numerous studies have confirmed the existence of serious damage to people's health resulting from poor air quality, which has fostered interest in different areas for its improvement. Previously, in 1987, and its revisions in 1997 and 2005, the World Health Organization [WHO] already indicated the main pollutants in outdoor air and their adverse effects on people's health. Later, in 2010, it published the guidelines for interior spaces. Established these, the organization estimated, in 2016, that this factor is the cause of the premature death of 4.2 million people in the world. At the national level, the study of the evaluation of air quality in Spain in 2020 confirms that these indicators, among which particulate matter PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> or  $\text{O}_3$  stand out, exceeded widely the limit values recommended by the WHO. That is why the General Council of Technical Architecture of Spain has carried out a study of the concentration of CO<sub>2</sub> in homes, analyzing different factors that may influence this indicator. In this case, the relationship between the concentration of CO<sub>2</sub> and the opening of the door during the night is presented, considering the exposure of the user in the bedroom, which has made it possible to evaluate the difference in concentrations between those who sleep with the door open and the users who do it with the door closed, a factor that may seem irrelevant at first, but as we will see in the results it is of great importance.

**Index Terms**— Indoor air quality; CO<sub>2</sub> concentration; health.

### I. INTRODUCCIÓN

LA Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer [IARC por sus siglas en inglés] considera la contaminación en el aire como agente carcinógeno (IARC, 2013). Esta

valoración, pone de manifiesto la necesidad de estudiar los contaminantes que existen en el aire, y las posibles afecciones en las personas al realizar algo tan esencial como respirar, acción que hacemos más de 20.000 veces al día.

La Organización Mundial de la Salud [OMS] estimaba en 2016, que este factor fue el causante de 4,2 millones de muertes prematuras en el mundo, de las cuales (OMS, 2019). Además, determinó que un 91% de la población respiraba un aire fuera de los valores recomendados por esta organización (OMS, 2018).

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, la cuales han sido revisadas y actualizadas hasta en dos ocasiones, en los años 1997 y 2005 (OMS, 2018). De estas han surgido otras políticas de límites de contaminantes, como en el caso de Europa, adaptándolas a sus características específicas.

La Tabla 1 recoge los valores legislados por la Unión Europea en comparación con las directrices de la OMS, de los contaminantes más comunes.

TABLA I  
VALORES LÍMITES UE-OMS

Contaminante	Valor legislado UE	Valor guía OMS
<b>PM2,5 Diario</b>	-	25 µg/m <sup>3</sup> [ $> 3$ veces/año]
<b>PM2,5 Anual</b>	25 µg/m <sup>3</sup>	10 µg/m <sup>3</sup>
<b>PM10 Diario</b>	50 µg/m <sup>3</sup> [ $> 35$ veces/año]	50 µg/m <sup>3</sup> [ $> 3$ veces/año]
<b>PM10 Anual</b>	40 µg/m <sup>3</sup>	20 µg/m <sup>3</sup>
<b>O<sub>3</sub> Máx. Diario 8h</b>	120 µg/m <sup>3</sup>	100 µg/m <sup>3</sup>
<b>NO<sub>2</sub> Diario</b>	200 µg/m <sup>3</sup> [ $> 18$ veces/año]	200 µg/m <sup>3</sup>
<b>NO<sub>2</sub> Anual</b>	40 µg/m <sup>3</sup>	40 µg/m <sup>3</sup>

Con relación a esto, en el informe del Ministerio de Sanidad del año 2020 "Evaluación de la calidad del aire en España", se puede leer: [...] es de gran relevancia llevar a cabo trabajos que incluyan datos exclusivamente del territorio español y sus divisiones [...]"(OMS, 2019). Según los estudios realizados, que se muestran en dicho estudio, 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 (OMS, 2005). A esto, se une la evolución de la sociedad actual a estar dentro de edificios entre un 80 y un 90% de su tiempo según varios estudios (U.S. Environmental Protection Agency, 1987; Ingrosso, 2002; Zhou, 2021), por lo que, se hace imprescindible la realización de investigaciones que arrojen datos de niveles de calidad de aire interior [CAi] dentro de los edificios que habitamos.

En este punto, se considera que introducir la ventilación, es

clave para 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, concretamente, la mejora del aislamiento térmico en la envolvente, conseguimos grados de hermeticidad muy altos que limitan las pérdidas energéticas al exterior, pero 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 las mismas acciones de rehabilitación un sistema de ventilación acorde, un posible menoscabo en las condiciones de la salud de las personas. Al generar viviendas más estancas, se reducen las renovaciones de aire y se crean ambientes con valores de contaminantes por encima de los niveles saludables recomendados 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, por lo 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.

En este trabajo, se evalúa la Calidad del Aire Interior, 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 estudio 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.

Precisamente durante el periodo nocturno, cuando la estancia se encuentra ocupada, es cuando se ha estudiado el efecto que genera en la concentración de CO<sub>2</sub>. Al realizar este estudio, durante este rango de tiempo nos permite medir la exposición del usuario, principal generador de CO<sub>2</sub>, y no la concentración de la estancia que varía en función de este. Además, se incorpora una variable, que pretende estudiar la influencia de la ventilación en la estancia, por lo que, se distinguen los datos de medición en cuyos dormitorios se ha pernoctado con la puerta cerrada, de los que lo han hecho con la puerta abierta.

II. METODOLOGÍA

En el estudio realizado se partió de un criterio básico establecido para la elegibilidad de las viviendas a monitorizar, se debía priorizar la elección de viviendas cuyos usuarios fueran personas retiradas de su vida laboral y, en los casos en los que fuera posible, que estuvieran acompañados por una tercera persona. Esta última sin limitaciones ni prioridades.

La priorización por este grupo de población se debe a dos factores principales:

1. Que sus hábitos suelen llevarlos a estar durante más tiempo en sus hogares.
2. Que son un colectivo de riesgo ante enfermedades producidas por una mala calidad del aire interior, siendo más sensibles a menores concentraciones.

A. 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 como se puede ver en la Fig. 1. 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.

Tiene incorporados sensores de CO2, de temperatura, humedad relativa, presión barométrica y, un último también relativo a la Calidad del Aire Interior, PM2,5. Como podemos ver en la Tabla 2, se muestran sus especificaciones técnicas en cuanto a la medición de las variables:

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.

TABLA II  
ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DEL MEDIDOR

	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	±0.5 °C
Hum. Relativa	5 - 95%	0.10%	70%: ±11% +3% HRI
Presión Barométrica	10-1100hPa	0.1 hPa	±1.5 hPa



Fig. 1. Medidor modelo PCE AQD 20

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 SO 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.

B. Protocolo de medición

La primera decisión que se tomó fue la de escoger el lugar donde iba a ir ubicado el medidor dentro del dormitorio. Para esto, se deben ubicar los medidores de acuerdo con las directrices y precauciones mencionadas en la Tabla 1 de la norma UNE 171330-2:2014 sobre las distancias a superficies y que se reproduce en la Tabla 3.

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  
TABLA III  
UBICACIÓN DE LOS MEDIDORES EN LAS ESTANCIAS SEGÚN UNE-171330-2

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

datos de la variable, también se quiso en este estudio, analizar las relaciones con otros factores que se preveía podían influir, como el indicado anteriormente sobre la influencia de dormir con la ventilación durante la pernocta. Para ello, se elaboró una ficha completa en la que se rellenaron datos sobre el edificio y sus características, y datos personales sobre los usuarios y sus hábitos.

C. 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 4.

TABLA IV  
NIVELES DE SALUBRIDAD ESTABLECIDO SEGÚN LA NORMATIVA EXISTENTE

Concentración de CO <sub>2</sub> (PPM)	Consideración
<900	Saludable
900-1600	Desfavorable
1600-2500	Preocupante
2500-5000	Grave
>5000	Muy grave

D. Protocolo de tratamiento de datos

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.
- 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.

Cuánta 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 periodos 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 alimentan los datos por zona geográfica y solo para el promedio nocturno en el dormitorio.

III. 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:

La figura 2 muestra la media de los datos de concentración de CO<sub>2</sub> recogidos en el dormitorio registrando tan solo el periodo nocturno entre las 23 y las 7 agrupados según la puerta esté o no cerrada. A su vez estos están clasificados según la zona geográfica.

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

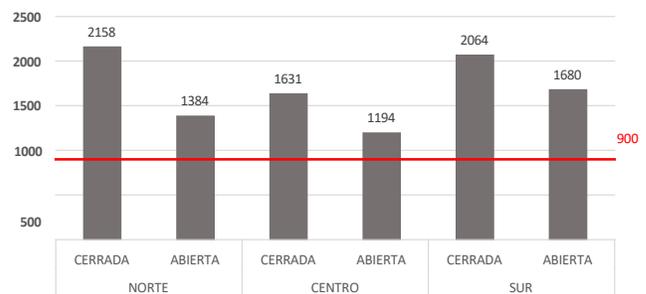


Fig. 2. V<sub>MMED</sub> de dormitorio horario nocturno según la puerta esté cerrada o abierta y la zona geográfica.

IV. CONCLUSIONES

Las concentraciones de CO<sub>2</sub> en los dormitorios durante el periodo nocturno, medidos en distintas zonas geográficas de nuestro territorio nacional, ha sido en cualquiera de los casos, 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.

Así mismo, los dormitorios donde se mantuvo la puerta cerrada durante la pernoctación presentan valores por encima de las 1.600 ppm, es decir, considerado como “Preocupante” por la Tabla 4.

En cuanto a los datos comparados entre los dormitorios con la puerta abierta o cerrada, se comprueba mediante este estudio experimental, que los dormitorios que mantuvieron la puerta cerrada presentan mayores concentraciones de CO<sub>2</sub> que los que favorecieron la ventilación en la estancia.

De igual manera, los datos obtenidos distinguiendo su zona geográfica, manifiestan está diferencia, llegando en la zona norte a más de un 50% de concentraciones por encima en los dormitorios con la puerta cerrada.

Este hecho unido a la importancia que tomará la rehabilitación energética de edificios y viviendas en los próximos años, presupone un aumento de concentraciones en las viviendas a cuenta de una mayor hermeticidad, debiendo tener en cuenta la mejora de la ventilación.

REFERENCIAS

- IARC (2013). Outdoor air pollution a leading environmental cause of cancer deaths. (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)
- 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).
- 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>
- 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>
- OMS (2018). Calidad del aire y salud. Datos y cifras. (Internet]. Disponible en: [https://www.who.int/es/news-room/factsheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/factsheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- 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>.
- 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>.



**Reconocimiento – NoComercial (by-nc):** Se permite la generación de obras derivadas siempre que no se haga un uso comercial. Tampoco se puede utilizar la obra original con finalidades comerciales.