



Shaping Tomorrow's Global  
Built Environment Today

## Documento de Posicionamiento de ASHRAE sobre **DIÓXIDO DE CARBONO EN INTERIORES**

Approved by the ASHRAE Board of Directors February 12, 2025

Expires February 12, 2028

**Traducido bajo licencia de ASHRAE**

ASHRAE es una sociedad profesional global con más de 55.000 miembros, comprometida con servir a la humanidad mediante el avance de las artes y ciencias en materia de calefacción, ventilación, aire acondicionado, refrigeración (HVAC&R) y sus campos afines. Los documentos de posicionamiento de ASHRAE son aprobados por el Comité de Dirección (BOD) y expresan las opiniones de la Sociedad sobre temas específicos. Estos documentos aportan información base objetiva y autorizada a las personas interesadas en temas que estén dentro de la experiencia de ASHRAE, particularmente en áreas donde dicha información sea de utilidad para la elaboración de políticas públicas sólidas. Los documentos también sirven para aclarar la posición de ASHRAE a sus miembros y a profesionales en el sector de la edificación.

### El Dióxido de Carbono en Interiores es un Tema de Interés Público

El dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en interiores ha sido considerado en el contexto de la ventilación de edificios y la calidad del aire interior (CAI) durante siglos. Históricamente, estas discusiones se han centrado en el uso del CO<sub>2</sub> para evaluar las tasas de ventilación, cómo las concentraciones de CO<sub>2</sub> se relacionan con la percepción de la CAI por parte de los ocupantes y su utilización como indicador general de CAI. Aunque estos temas han sido estudiados durante décadas, la aplicación incorrecta y la mala interpretación de la concentración de CO<sub>2</sub> como un indicador de la CAI y la ventilación es común en la industria HVAC, la comunidad de investigadores, y el público en general. A pesar de los numerosos esfuerzos por abordar estas preocupaciones en estándares, documentos de orientación, publicaciones técnicas y presentaciones en conferencias, sigue habiendo un importante mal entendimiento sobre la aplicación y el significado del CO<sub>2</sub> en interiores.

Las investigaciones y discusiones de la última década han analizado los impactos del CO<sub>2</sub> puro en los humanos, en particular sus efectos adversos en el rendimiento cognitivo a concentraciones típicamente observadas en interiores. Además, el monitoreo del CO<sub>2</sub> en interiores ha sido promovido como un indicador de ventilación en el contexto de la gestión del riesgo de contagio de enfermedades transmitidas por el aire. Asimismo, han surgido preocupaciones sobre la exactitud de las mediciones de concentración de CO<sub>2</sub> en interiores, que ahora son más comunes debido a la disponibilidad y aplicación más amplia de sensores menos costosos. En vista de estos aspectos, y ante el creciente interés por monitorear el CO<sub>2</sub> en edificios, ASHRAE reconoce la necesidad de aclarar el uso de las mediciones de CO<sub>2</sub> en interiores como una herramienta para monitorear y ayudar a mejorar la CAI y la ventilación en edificios.

## Razones por las que ASHRAE Adopta Posiciones sobre el Dióxido de Carbono en Interiores

Los estándares de consenso de ASHRAE, sus guías de diseño y otros recursos, proporcionan el sustento técnico para las prácticas y códigos de construcción internacionales que apoyan la necesidad esencial de proporcionar entornos interiores que fomenten la salud, el confort y la productividad de los ocupantes de manera eficiente en costos y energía. El diseño, la construcción y la operación de los sistemas de los edificios pueden contribuir a este objetivo mediante el uso de estos recursos de ASHRAE.

El uso histórico del CO<sub>2</sub> en interiores para evaluar la ventilación y la CAI ya ha sido documentado. ASHRAE adopta una posición en este tema porque muchas aplicaciones han reflejado una comprensión técnica deficiente de la relación entre las concentraciones de CO<sub>2</sub> en interiores, la ventilación y la CAI. Algunas de estas aplicaciones son técnicamente incorrectas y conducen a malas interpretaciones sobre la importancia del CO<sub>2</sub> en interiores. Para abordar estas interpretaciones erróneas, este documento de posicionamiento busca aclarar el rol del CO<sub>2</sub> en interiores en el contexto de la ventilación de edificios y la gestión de la CAI, basado en la amplia experiencia de ASHRAE en estos temas, así como en los intereses de sus miembros y partes interesadas.

## Posicionamiento y Recomendaciones

### ASHRAE sostiene los siguientes posicionamientos:

- Las concentraciones de CO<sub>2</sub> en interiores no son indicadores globales de la CAI, pero pueden ser una herramienta útil si los usuarios comprenden cómo se relacionan con la CAI y sus limitaciones de uso.
- Las diferencias entre las concentraciones de CO<sub>2</sub> en interiores y exteriores pueden utilizarse para evaluar las tasas de ventilación y la distribución del aire utilizando métodos establecidos de medición de gas trazador, pero mediciones precisas requieren la validez de varios supuestos y valores de entrada exactos.
- La evidencia existente sobre los impactos directos del CO<sub>2</sub> en la salud, el bienestar, el aprendizaje, el sueño y el rendimiento laboral a concentraciones comunes en interiores es inconsistente. Esta evidencia no justifica en la actualidad cambios en los estándares, regulaciones o directrices de ventilación y CAI.
- El uso de mediciones de CO<sub>2</sub> en interiores para evaluar y controlar el riesgo de transmisión de enfermedades transmitidas por aerosoles debe considerar la definición de riesgo aceptable, el tipo de espacio y su ocupación, las variaciones espaciales y temporales, la ventilación y la distribución del aire, las diferencias entre las emisiones de CO<sub>2</sub> y aerosoles infecciosos, y el impacto de estos factores en la dispersión y transporte tanto del CO<sub>2</sub> como de los aerosoles infecciosos.
- El desempeño, la ubicación y la calibración de los sensores son fundamentales para obtener inferencias significativas a partir de las concentraciones de CO<sub>2</sub> medidas en interiores.
- Las tecnologías de limpieza del aire que eliminan solo el CO<sub>2</sub> podrían no mejorar la CAI general y pueden interferir con los sistemas que utilizan el CO<sub>2</sub> para el control de la ventilación o el monitoreo de la CAI.

**ASHRAE recomienda:**

- La realización de investigaciones en los siguientes temas:
  - Exposición al CO<sub>2</sub> en interiores como un modificador de las respuestas humanas a factores como el ambiente térmico y los contaminantes en el aire.
  - Desarrollo de métricas de calidad del aire interior (CAI) que abarquen la amplia gama de contaminantes en interiores y sus fuentes que impactan a los ocupantes de los edificios.
  - Impactos del CO<sub>2</sub> en interiores sobre la salud, el confort, la productividad, el aprendizaje y el sueño en rangos de concentración típicos de entornos no industriales, tanto en laboratorio como de campo, considerando una amplia diversidad de sujetos, incluyendo variaciones en edad, género y estado de salud.
  - Impactos fisiológicos de la exposición al CO<sub>2</sub> en concentraciones relevantes para entornos interiores, tales como cambios en la química sanguínea y la respiración, incluyendo aquellos asociados con el aumento de las concentraciones de CO<sub>2</sub> en exteriores.
  - Importancia de la concentración de CO<sub>2</sub> en interiores como indicador de la ventilación y de los riesgos de transmisión de enfermedades infecciosas por el aire.
  - Medición de la concentración de CO<sub>2</sub> en interiores, incluyendo el desempeño de los sensores y su ubicación para distintas aplicaciones, así como el rendimiento y uso de sensores comerciales de CO<sub>2</sub>.
  - Uso del CO<sub>2</sub> generado por los ocupantes como gas trazador para estimar las tasas de ventilación en los edificios, incluyendo enfoques que capturen efectos transitorios y consideren ventilación con sistemas de zonas múltiples y diferentes estrategias de distribución del aire.
  - Estrategias para la ventilación controlada por demanda (DCV) utilizando CO<sub>2</sub> y otros indicadores de ocupación, que superen las limitaciones de los enfoques actuales y permitan controlar contaminantes que no están vinculados a la ocupación.
  - Concentraciones de CO<sub>2</sub> en interiores, tasas de ventilación y ocupación en diferentes tipos de edificios en distintos países para establecer datos de referencia y comprender mejor los impactos de nuevos diseños de edificios y sistemas, construcciones más herméticas, estrategias avanzadas de operación y control, y otros cambios en el parque edificado.
- Llevar a cabo las siguientes actividades:
  - Desarrollo de guías y estándares sobre la medición de la concentración de CO<sub>2</sub> en interiores y la selección de sensores, especialmente para uso en DCV.
  - Desarrollo de programas educativos, sesiones de conferencias y talleres, así como documentos de orientación para ayudar a los profesionales e investigadores a comprender la aplicación de las concentraciones de CO<sub>2</sub> en interiores como un indicador de ventilación y calidad del aire interior.
  - Desarrollo de guías sobre equipos y controles HVAC que utilicen el monitoreo de CO<sub>2</sub>.
  - Desarrollo de guías sobre el uso del CO<sub>2</sub> como gas trazador para la medición de tasas de ventilación y distribución del aire en edificios.

## Apéndice A—Antecedentes

Este apéndice contiene una discusión detallada y ampliamente referenciada que respalda las posturas y recomendaciones presentadas en este documento. Específicamente, incluye el siguiente material:

- La historia del papel de las concentraciones de CO<sub>2</sub> en interiores en el contexto de la ventilación de edificios y la calidad del aire interior (CAI).
- Impactos en la salud y el rendimiento cognitivo de la exposición al CO<sub>2</sub>.
- Estándares y regulaciones existentes para las concentraciones de CO<sub>2</sub> en interiores.
- CO<sub>2</sub> como indicador de la calidad del aire interior (CAI) y la ventilación.
- Uso del CO<sub>2</sub> como gas trazador para la estimación de tasas de ventilación.
- Aumento de las concentraciones de CO<sub>2</sub> en exteriores.
- Tecnologías de limpieza del aire dirigidas exclusivamente a la eliminación del CO<sub>2</sub>.
- CO<sub>2</sub> como indicador del riesgo de transmisión de enfermedades por el aire.

### Historia del CO<sub>2</sub> en Relación con la Ventilación de Edificios y la Calidad del Aire Interior (CAI)

La revisión de las primeras investigaciones sobre el CO<sub>2</sub> presentada en este apartado ha sido elaborada por Wargocki (2021). El dióxido de carbono ha sido debatido en el contexto de la ventilación de edificios desde el siglo XVII, cuando Mayow propuso que partículas ígneo-aéreas producidas por las velas causaban la muerte de los animales. En el siglo XVIII, Lavoisier atribuyó los efectos de estas partículas al CO<sub>2</sub>. En ese entonces, se consideraba que el CO<sub>2</sub> —más que la falta de oxígeno— era responsable de los efectos fisiológicos asociados al “aire viciado” y servía como indicador de si el aire estaba fresco o viciado. En el siglo XIX, Max Josef von Pettenkofer planteó que no era el CO<sub>2</sub> el responsable directo de los efectos negativos por ventilación deficiente, sino la presencia de compuestos orgánicos provenientes de la piel y los pulmones humanos. Junto con Saeltzer, propuso que el CO<sub>2</sub> no debía considerarse como una causa de incomodidad, sino como un sustituto o alternativa del aire viciado y un indicador de sustancias nocivas en suspensión de origen desconocido. Pettenkofer propuso 1000 ppm<sub>v</sub> de CO<sub>2</sub> como señal de ventilación inadecuada en espacios interiores, y 700 ppm<sub>v</sub> para dormitorios. A comienzos del siglo XX, estudios de Billings, Hermans, Flügge, Hill y otros mostraron que en salas concurridas y ambientes mal ventilados el calor combinado con olores era una fuente importante de incomodidad. Experimentos con concentraciones de CO<sub>2</sub> elevadas hasta un 3% o 4% y reducciones de oxígeno hasta el 17% no mostraron efectos negativos, salvo un aumento en la profundidad de la respiración y la necesidad de enfriamiento. Los trabajos de Lemberg, y posteriormente de Yaglou, mostraron que la percepción del olor corporal humano podía utilizarse como criterio para definir las tasas de ventilación. La intensidad del olor percibido se usó para establecer requisitos de ventilación del orden de 7,5 a 10 L/s (15 a 20 cfm) por persona (Persily 2015). Nuevamente, el CO<sub>2</sub> no se consideraba un contaminante, sino un marcador de la percepción del olor corporal, ya que los seres humanos emiten tanto CO<sub>2</sub> como bioefluentes en proporción a su metabolismo. En la segunda mitad del siglo XX, estudios de Fanger, Cain e Iwashita —en los que usaron la aceptabilidad del aire percibido como criterio para definir requisitos de ventilación— confirmaron los hallazgos de Yaglou y Lemberg. Esta línea de investigación en olor corporal fue utilizada para desarrollar los requisitos de ventilación presentes en los estándares de ASHRAE y del Comité Europeo de Normalización (CEN). El Estándar ASHRAE 62 de ventilación (posteriormente 62.1), en su edición de 1989, incluía un

límite de 1000 ppm<sub>v</sub> de CO<sub>2</sub>, pero fue eliminado en ediciones posteriores debido a su frecuente malinterpretación. (Actualmente, el Estándar 62.1 de ASHRAE incluye concentraciones de CO<sub>2</sub> para ser usadas como puntos de referencia para ventilación controlada por demanda—DCV en inglés—, como se discute en la subsección “CO<sub>2</sub> como Indicador de CAI y Ventilación” de este apéndice). Durante la última década, las investigaciones se han centrado en los efectos del CO<sub>2</sub> puro a niveles comúnmente encontrados en interiores, incluyendo sus impactos sobre el rendimiento cognitivo, respuestas fisiológicas y la calidad del sueño. En el contexto de la pandemia por COVID-19, el CO<sub>2</sub> ha cobrado creciente discusión como un medio para estimar el riesgo de transmisión de enfermedades infecciosas y la viabilidad de virus transmitidos por vía aérea.

## Efectos en la Salud y el Rendimiento Cognitivo por Exposición al CO<sub>2</sub>

Esta sección resume la evidencia disponible sobre los impactos del CO<sub>2</sub> en la salud y el rendimiento cognitivo, entendiendo “salud” como aquellos efectos no relacionados con infecciones transmitidas por el aire, las cuales se abordan en la subsección “CO<sub>2</sub> como Indicador del Riesgo de Transmisión de Infecciones por el Aire” de este apéndice. El dióxido de carbono se considera no tóxico en concentraciones de hasta 5000 ppm<sub>v</sub>, que es el límite de exposición permisible establecido por la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional de los Estados Unidos (OSHA) para lugares de trabajo, como se menciona en la subsección *Estándares y Regulaciones Existentes para Concentraciones de CO<sub>2</sub> en Interiores*. Las directrices actuales para la Estación Espacial Internacional y los submarinos estadounidenses actualmente sugieren mantener las concentraciones de CO<sub>2</sub> entre 4000 y 5000 ppm<sub>v</sub> para reducir la incidencia de dolores de cabeza (James y Zalesak 2013; Scully et al., 2019). Concentraciones en interiores superiores a 1000 ppm<sub>v</sub> se han asociado con un aumento de síntomas auto-reportados e inespecíficos comúnmente referidos como *síndrome del edificio enfermo* (SBS), así como con una disminución en el rendimiento en tareas de oficina y escolares, como se discute en el siguiente párrafo. Estas observaciones no controlaron la presencia de otros contaminantes ni parámetros ambientales, por lo tanto, es probable que las concentraciones elevadas de CO<sub>2</sub> sirvieran como indicadores de una ventilación deficiente que aumenta la concentración de todos los contaminantes con fuentes contaminantes interiores (Persily 2015; Lowther et al., 2021).

Varios grupos de investigación han indagado los efectos de la exposición aguda (con una duración de entre 2 y 8 horas) al CO<sub>2</sub> puro en concentraciones entre 600 y 5000 ppm<sub>v</sub>, como lo resumido por Fisk et al. (2019), Du et al. (2020) y Lowther et al. (2021). Cabe señalar que los ocupantes de edificios nunca se encuentran expuestos a CO<sub>2</sub> puro, sino a una mezcla compleja de contaminantes en el aire, que incluye CO<sub>2</sub>, bioefluentes humanos y muchos otros gases y partículas. Seis estudios reportaron una asociación entre la exposición al CO<sub>2</sub> y una disminución del rendimiento cognitivo en concentraciones del orden de 1000 ppm<sub>v</sub> (Satish et al., 2012; Allen et al., 2016, 2018; Kajtar y Herczeg, 2012; Lee et al., 2022; Lu et al., 2024), y uno presentó resultados equívocos (Scully et al., 2019). Si bien tres de estos estudios demostraron un deterioro dependiente de la concentración —indicador de un efecto causal—, otros estudios no mostraron efectos cognitivos (Zhang et al., 2016a, 2016b). Estas inconsistencias requieren una mayor investigación, incluyendo estudios de los mecanismos involucrados.

En cuanto a dichos mecanismos, estudios en ratones han mostrado cambios inflamatorios compatibles con la activación de neutrófilos (un tipo de glóbulo blanco) en sangre a concentraciones entre 2000 y 4000 ppm<sub>v</sub>, y fuga del flujo sanguíneo hacia el tejido cerebral a 2000 ppm<sub>v</sub> (Thom et al., 2017a). Estos cambios inflamatorios también fueron confirmados en

estudios in vitro y en exposiciones humanas controladas a las mismas concentraciones (Thom et al., 2017b; Lu et al., 2024). Estos hallazgos apoyan el fenómeno de una toxicidad al cerebro asociada al CO<sub>2</sub> puro y son mecánicamente coherentes con los reportes de alteraciones cognitivas observadas en los experimentos con humanos a concentraciones comúnmente observadas en interiores. Es importante continuar investigando estos mecanismos y la respuesta humana al CO<sub>2</sub>, dada la prevalencia de concentraciones que exceden las 1000 ppm<sub>v</sub> en espacios interiores, así como los resultados de estudios en animales que orienten sobre los posibles mecanismos de deterioro de la función cognitiva (Jacobson et al., 2019). Esta línea de investigación debe considerar también los efectos del estrés vivido por los sujetos y la exposición simultánea a otros contaminantes (por ejemplo, bioefluentes), además del CO<sub>2</sub>.

Los estudios sobre el CO<sub>2</sub> en relación con el riesgo de infección se abordan en la subsección *CO<sub>2</sub> como Indicador del Riesgo de Transmisión de Infecciones por el Aire* de este apéndice y, por tanto, se omiten aquí.

## Normativas y Estándares Existentes sobre Concentraciones de CO<sub>2</sub> en Interiores

Muchos países han propuesto valores de referencia —ya sean obligatorios o sugeridos— para las concentraciones de CO<sub>2</sub> en interiores de espacios no industriales, tanto en términos absolutos como en relación con la concentración exterior. Es importante señalar que las justificaciones técnicas de estos valores guía no siempre se encuentran explicitadas en los documentos de referencia (Mendell et al., 2024).

Los valores guía propuestos en el contexto de la pandemia por COVID-19 no se incluyen en esta sección. Dichos valores, motivados por la emergencia sanitaria, se abordan en la subsección *CO<sub>2</sub> como Indicador del Riesgo de Transmisión de Infecciones por el Aire* de este apéndice.

Los límites de CO<sub>2</sub> en interiores están recopilados en una base de datos desarrollada por la International Society for Indoor Air Quality and Climate, ISIAQ (<https://iegguidelines.org/>). Algunos de estos valores aplican a todos los edificios ocupados, mientras que otros diferencian entre edificios residenciales y no residenciales. Estos límites tienden a situarse en el orden de 1000 ppm<sub>v</sub>, aunque algunos alcanzan los 1500 ppm<sub>v</sub>. En general, están destinados a gestionar preocupaciones generales sobre la calidad del aire interior (CAI) y los síntomas del síndrome del edificio enfermo (SBS), utilizando el CO<sub>2</sub> como indicador de la ventilación. Un caso destacable es el límite de 1000 ppm<sub>v</sub> establecido en Japón en 1970, donde miles de edificios son evaluados anualmente para verificar su cumplimiento con la Ley de Mantenimiento Sanitario de Edificios.

En el ámbito laboral, la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional de Estados Unidos (OSHA) y el Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional (NIOSH) han establecido un valor límite de exposición media ponderada en el tiempo de 5000 ppm<sub>v</sub> para una jornada laboral de 8 horas dentro de una semana de trabajo de 40 horas, y un límite de exposición a corto plazo de 30000 ppm<sub>v</sub>, definido como un promedio ponderado de 15 minutos que no debe superarse en ningún momento de la jornada (NIOSH 1976; OSHA 2017). Cabe destacar que el límite de OSHA es obligatorio, mientras que el de NIOSH es voluntario.

A pesar de lo que se afirma con frecuencia, el Estándar 62.1 de ANSI/ASHRAE (ASHRAE 2022b) no establece un valor límite para el CO<sub>2</sub> en interiores. La información incluida en ediciones anteriores del estándar ha llevado a muchos a atribuir erróneamente a ASHRAE un límite de 1000 ppm<sub>v</sub>. Sin embargo, un apéndice agregado en 2023 incorporó diferenciales de “CO<sub>2</sub> máximo por sobre el nivel ambiental” para ser utilizados al aplicar ventilación controlada por

demanda (DCV) según el procedimiento prescriptivo de tasas de ventilación, como se discute en la subsección CO<sub>2</sub> como Indicador de CAI y Ventilación de este apéndice. Estos diferenciales son puntos de ajuste basados en una ocupación máxima hipotética y no reflejan las secuencias detalladas de control requeridas para implementar un sistema DCV, las cuales suelen ser más complejas que simples umbrales de encendido/apagado, especialmente cuando hay variaciones de ocupación o se trata de sistemas multizona y con recirculación. La norma CEN 16798-1 (2019) establece cuatro categorías de calidad ambiental interior que incluyen diferenciales de concentración de CO<sub>2</sub> respecto del aire exterior. Estos valores sirven como indicadores de las tasas de ventilación de aire exterior por persona: Categoría I: 550 ppm<sub>v</sub> por sobre el exterior; Categoría II: 800 ppm<sub>v</sub>; Categorías III y IV: 1350 ppm<sub>v</sub>. Estas categorías se corresponden con los niveles de expectativa de los ocupantes, siendo la Categoría II representativa de expectativas normales.

El dióxido de carbono también es considerado en los programas de certificación de edificios sustentables. Una revisión de las principales certificaciones de edificios verdes a nivel mundial y los indicadores que utilizan para evaluar la calidad ambiental interior, revela que el CO<sub>2</sub> es una de las métricas de CAI más comúnmente especificadas en estas certificaciones (Wei et al., 2015, 2020). Sin embargo, los valores de referencia utilizados para evaluar las concentraciones de CO<sub>2</sub> no son uniformes, variando entre 530 y 1500 ppm<sub>v</sub> (Wei et al., 2015).

## CO<sub>2</sub> como Indicador de CAI y Ventilación

Como se mencionó en la subsección *Historia del CO<sub>2</sub> en Relación con la Ventilación de Edificios y la CAI*, el CO<sub>2</sub> en interiores se ha destacado en los debates sobre ventilación y calidad del aire durante siglos. Mientras que las concentraciones de CO<sub>2</sub> se relacionan con la percepción de bioefluentes humanos y el nivel de aceptación de sus olores, no constituyen una buena métrica general de la CAI, ya que muchas fuentes de contaminantes importantes no dependen del número de ocupantes en un espacio. Por ejemplo, los contaminantes emitidos por materiales de construcción y aquellos que provienen del exterior no se correlacionan con las concentraciones de CO<sub>2</sub>. Además, muchos contaminantes relevantes se eliminan del aire interior mediante procesos naturales (por ejemplo, por deposición de partículas) y mediante controles de ingeniería (como la inactivación de aerosoles virales con luz ultravioleta germicida), los cuales no afectan las concentraciones de CO<sub>2</sub>. Sin embargo, si las tasas de ventilación con aire exterior disminuyen en un edificio habitado, las concentraciones de CO<sub>2</sub> aumentarán, al igual que las de otros contaminantes generados en interiores. Este hecho probablemente explica las asociaciones observadas entre concentraciones elevadas de CO<sub>2</sub> y mayores índices de síntomas del síndrome del edificio enfermo (SBS), ausentismo y otros efectos (Apte et al., 2000; Shendell et al., 2004; Gaihre et al., 2014; Fisk, 2017).

Durante mucho tiempo, una concentración de CO<sub>2</sub> inferior a 1000 ppm<sub>v</sub> se ha considerado un indicador de CAI aceptable. Sin embargo, esta concentración es, en el mejor de los casos, un indicador de la tasa de ventilación con aire exterior por persona. Esta relación se basa en el uso del CO<sub>2</sub> como gas trazador, como se describe en la subsección *Uso del CO<sub>2</sub> Generado por los Ocupantes como Gas Trazador* de este apéndice, y se asocia con una tasa de ventilación del orden de 8 L/s (16 cfm) por persona. Este valor de 1000 ppm<sub>v</sub> ha sido utilizado durante décadas sin una comprensión clara de su fundamento, que está vinculado a la percepción del olor corporal por parte de los ocupantes. Esta interpretación errónea del significado de los 1000 ppm<sub>v</sub> ha llevado a numerosas conclusiones confusas e incorrectas sobre la CAI y la ventilación en edificios. El uso del CO<sub>2</sub> como indicador de ventilación con aire exterior debe considerar que los

requisitos de esta ventilación son en función del tipo de espacio, de las características de los ocupantes (como edad y masa corporal), de los niveles de actividad y de la densidad de ocupación. Por lo tanto, una única concentración de CO<sub>2</sub> no es aplicable a todos los tipos de espacios y ocupaciones cuando se evalúan las tasas de ventilación. Además, las concentraciones de CO<sub>2</sub> pueden variar significativamente dentro de un edificio o espacio, en función de detalles de cómo se implementa la ventilación y la distribución del aire.

Las concentraciones de CO<sub>2</sub> interior se han utilizado desde hace tiempo para controlar las tasas de entrada de aire exterior mediante la estrategia conocida como ventilación controlada por demanda (DCV, por sus siglas en inglés) (Emmerich y Persily 1997; Lu et al., 2022). Esta estrategia permite reducir el consumo de energía asociado a la sobreventilación en períodos de baja ocupación y ayuda a asegurarse de que la ventilación es adecuada, basada en la ocupación real del espacio. De hecho, la DCV es requerida por algunos estándares de eficiencia energética, como el ANSI/ASHRAE/IES 90.1 de (ASHRAE, 2022a), y una forma de implementarla es mediante el monitoreo de CO<sub>2</sub>. Cabe destacar que esta estrategia puede ser más compleja de aplicar en sistemas de ventilación multizona cuando se debe cumplir con los requisitos del estándar ASHRAE 62.1 de (2022b), y el diseñador igualmente debe considerar contaminantes no asociados con los niveles de ocupación. Otras investigaciones sobre DCV han desarrollado secuencias de control para sistemas multizona (Lin y Lau, 2015), que también deben abordar el número y la ubicación de sensores en las distintas zonas del edificio, así como las variaciones en la generación de CO<sub>2</sub> en las zonas y a lo largo del tiempo. Como se indicó anteriormente, el Estándar 62.1 ahora incluye valores de concentración de CO<sub>2</sub> respecto del exterior para utilizarse como setpoint (valor predeterminado) en la implementación de DCV. Estos valores dependen del tipo de espacio, y el estándar aclara que dichos valores “son solo para fines de implementación de DCV con CO<sub>2</sub>” y “no intentan ser considerados ni utilizados como indicadores de calidad del aire interior” (ASHRAE 2023). Con el creciente uso de dispositivos portátiles, surgen además nuevas formas de aplicaciones de DCV basadas en sensores alternativos o tecnologías que consideren la variabilidad entre ocupantes.

## Uso del CO<sub>2</sub> Generado por los Ocupantes como Gas Trazador

El uso de la concentración de CO<sub>2</sub> en interiores como indicador de la suficiencia de ventilación con aire exterior se basa en la aplicación del CO<sub>2</sub> como gas trazador. Los métodos de dilución con gases trazadores para medir las tasas de renovación de aire han sido utilizados durante décadas y están bien documentados en estándares existentes (ASTM 2024; ISO 2017). Aplicar el CO<sub>2</sub> a estos métodos simplemente aprovecha una conveniente fuente de gas trazador: los ocupantes del edificio. También existen métodos con gases trazadores para cuantificar la distribución del aire y la eficiencia de ventilación en los espacios, y el CO<sub>2</sub> puede utilizarse para estas mediciones también. Sin embargo, la mayoría de las aplicaciones del CO<sub>2</sub> como gas trazador asumen que el espacio evaluado es una única zona con una concentración uniforme del trazador.

Como se señala en el estándar ASTM D6245 (2024), existen dos métodos con gas trazador para estimar las tasas de ventilación con aire exterior usando CO<sub>2</sub>: el método de decaimiento y el de estado estacionario, siendo ambos más adecuados para una única zona. Ambos métodos se basan en las siguientes suposiciones: la concentración del gas trazador es uniforme en el espacio monitoreado, la concentración de CO<sub>2</sub> en el exterior permanece constante durante la prueba (o se monitorea en tiempo real), y, para el caso del método de estado estacionario, la tasa de generación de CO<sub>2</sub> por parte de los ocupantes es conocida y constante. Las personas emiten CO<sub>2</sub> a una tasa que depende de su sexo, edad, masa corporal y nivel de actividad física, como se

describe en ASTM D6245, por lo que se requiere contar con información sobre los ocupantes para estimar estas tasas. Al reportar los resultados de estas mediciones con gases trazadores, es fundamental incluir también la incertidumbre de los resultados. El estándar ASTM D6245 considera cómo estimar estas incertidumbres. Debido a que estos métodos están diseñados para zonas individuales, no consideran los flujos de aire y transporte de CO<sub>2</sub> entre la zona de interés y otras zonas del edificio. Los errores de medición asociados al uso del enfoque de zona única a concentraciones uniformes en un edificio o espacio que no presenta esta situación son difíciles de cuantificar y con frecuencia se omiten en la aplicación de estos métodos.

Los *peak* (máximo) de concentraciones de CO<sub>2</sub> suelen utilizarse para estimar las tasas de ventilación por persona mediante el método de dilución con inyección constante de gas trazador. Para que este enfoque produzca resultados válidos, la concentración interior debe encontrarse en estado estacionario y la tasa de ventilación debe ser constante. Usar una medición de CO<sub>2</sub> antes de alcanzar el estado estacionario llevará a una sobreestimación de la tasa de ventilación. En un estudio sobre la incertidumbre asociada a mediciones con CO<sub>2</sub> como gas trazador en espacios ocupados (Kabirikopaei y Lau, 2020), el método de estado estacionario presentó la menor incertidumbre, y la exactitud del sensor de CO<sub>2</sub> fue el factor dominante en la determinación de la incertidumbre global.

Consciente de las limitaciones del uso del *peak* de concentraciones de CO<sub>2</sub> como métrica de ventilación cuando no se ha alcanzado el estado estacionario, Persily (2022) describe un enfoque para estimar un nivel de CO<sub>2</sub> específico al espacio que puede servir como métrica de la tasa de ventilación con aire exterior. Este enfoque y las concentraciones resultantes se basan en la tasa de ventilación intencionada o esperada, el número de ocupantes, sus tasas de generación de CO<sub>2</sub>, y el tiempo transcurrido desde que el espacio fue ocupado. El cálculo de la métrica de valores de ventilación con CO<sub>2</sub> se facilita mediante una herramienta web desarrollada por el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST), llamada QICO2, disponible en el siguiente enlace: <https://pages.nist.gov/CONTAM-apps/webapps/CO2Tool/#/>.

## Aumento de las Concentraciones de CO<sub>2</sub> en el Exterior

Las concentraciones de CO<sub>2</sub> en el exterior son relevantes en la evaluación del CO<sub>2</sub> interior por dos razones. Primero, cuando se utiliza ventilación controlada por demanda (DCV) basada en la concentración absoluta de CO<sub>2</sub> interior—y no en la diferencia entre interior y exterior—, la tasa de ingreso de aire exterior varía no solo con la ocupación, sino también con la concentración de CO<sub>2</sub> exterior. Segundo, si se establece que la exposición al CO<sub>2</sub> tiene impactos sobre la salud y el rendimiento cognitivo, entonces el aumento de las concentraciones exteriores incrementará la prevalencia de dichos efectos.

Las concentraciones promedio globales de CO<sub>2</sub> están determinadas por una interacción compleja entre fuentes, sumideros y factores impulsores. A escala de tiempo geológico, han variado ampliamente, pero durante cientos de miles de años, hasta principios del siglo XX, se mantuvieron por debajo de 300 ppm<sub>v</sub>, superando por primera vez este valor en 1912 (EPA, 2024). En las décadas siguientes, la concentración promedio aumentó lentamente, alcanzando 317 ppm<sub>v</sub> en 1960 según mediciones del Observatorio de Mauna Loa en Hawái. Desde entonces, las concentraciones atmosféricas de CO<sub>2</sub> han aumentado más rápidamente, superando las 400 ppm<sub>v</sub> en 2013 y alcanzando 426 ppm<sub>v</sub> en 2024. La tasa de crecimiento anual ha pasado de menos de 1 ppm<sub>v</sub> por año en 1959 a aproximadamente 2,5 ppm<sub>v</sub> por año en la actualidad (NOAA, 2024). Sobre esta tendencia de aumento se superponen variaciones diarias, estacionales

y anuales. Las variaciones diarias suelen ser pequeñas, pero un estudio sobre ecosistemas terrestres encontró una amplitud promedio estacional de 14,8 ppm<sub>v</sub>, aproximadamente tres veces mayor que la observada en Mauna Loa (Liu et al., 2015). Las variaciones estacionales se deben a los ciclos de biomasa y actividad fotosintética de las plantas, siendo el CO<sub>2</sub> más alto cuando la vegetación está menos activa (Cleveland et al., 1983). Las áreas urbanas pueden presentar desviaciones mucho mayores respecto del promedio global debido a la escasa vegetación, el uso de vehículos con motores de combustión interna y a variaciones verticales significativas (Lietzke & Vogt, 2013). En algunas zonas, las concentraciones locales transitorias pueden ser cientos de ppm<sub>v</sub> superiores al promedio, llegando o superando las 600 ppm<sub>v</sub> (Balling et al., 2001). Modelaciones validadas indican que niveles elevados de ozono y material particulado pueden asociarse a “domos” de CO<sub>2</sub> (Jacobsen, 2010). Las concentraciones locales también pueden estar por debajo del promedio, dependiendo de la estación del año, la hora del día y la vegetación local (Liu et al., 2015). Estas variaciones en el CO<sub>2</sub> exterior hacen que sea importante medir la concentración exterior al momento de monitorear el CO<sub>2</sub> en interiores.

## Tecnologías de Limpieza del Aire Dirigidas Exclusivamente a la Eliminación de CO<sub>2</sub>

Aunque el CO<sub>2</sub> puede ser útil como indicador de ventilación y calidad del aire interior (CAI) en circunstancias limitadas, su concentración no necesariamente se correlaciona bien con otros contaminantes importantes del aire interior como virus, moho, formaldehído, monóxido de carbono, asbesto y partículas en suspensión. El uso de tecnologías de limpieza del aire para reducir el CO<sub>2</sub> a niveles comúnmente observados en interiores puede resultar en una expectativa infundada de que no existen otros contaminantes relevantes en el ambiente.

Es importante distinguir entre los distintos tipos de tecnologías de limpieza del aire y su efecto sobre diferentes tipos de contaminantes. La eliminación o conversión del CO<sub>2</sub> en el aire solo puede lograrse mediante procesos de reacción química utilizando dispositivos de limpieza por adsorción (Hu et al., 2017). En cambio, la eliminación de otros contaminantes requiere otros métodos, como los filtros mecánicos para partículas en el aire. Es crucial no asumir que la limpieza del aire enfocada exclusivamente en la eliminación o conversión del CO<sub>2</sub> también eliminará otros contaminantes presentes en interiores que podrían ser de preocupación. Además, cuando se utiliza ventilación controlada por demanda basada en CO<sub>2</sub>, el sistema de ventilación no funcionará correctamente si se emplean dispositivos que remueven el CO<sub>2</sub>, ya que estos controles asumen de que la concentración de CO<sub>2</sub> medida en el ambiente interior es proporcional a la ocupación humana.

## CO<sub>2</sub> como Indicador del Riesgo de Transmisión de Infecciones por el Aire

Durante la pandemia del COVID-19, se recomendó el uso de mediciones de CO<sub>2</sub> en interiores como indicador del riesgo de transmisión de enfermedades infecciosas aéreas (Peng & Jimenez, 2021). Un enfoque similar ya había sido propuesto dos décadas antes del surgimiento del SARS o SARS-CoV-2 (Rudnick & Milton, 2003). ASHRAE no recomienda una concentración específica de CO<sub>2</sub> como métrica del riesgo de infección ni como indicador de una ventilación adecuada, pero otras organizaciones emitieron directrices sobre concentraciones interiores de CO<sub>2</sub> en respuesta a la pandemia (Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades [CDC, 2021] en los EE. UU., la Federación de Asociaciones Europeas de Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado [REHVA, 2021] en Europa; y Grupo de Modelación Ambiental y el Grupo Científico de Información sobre Conductas Pandémicas [EMG/SPI-B, 2021], en el Reino Unido) o establecieron límites obligatorios (como el Gobierno Federal de Bélgica [BFG 2021]).

Muchos de los límites publicados se basan en el uso del CO<sub>2</sub> como indicador de la tasa de ventilación con aire exterior por persona, lo que implica, de manera implícita, el uso del CO<sub>2</sub> como gas trazador junto con una tasa de ventilación objetivo. Las tasas de ventilación en que se fundamentan esas concentraciones de CO<sub>2</sub> podrían derivar de estándares diseñados sin considerar específicamente el control de enfermedades aéreas infecciosas, salvo en entornos de atención de salud, o bien de valores definidos específicamente para ese fin. Es importante notar que los requisitos de ventilación del Estándar ASHRAE 62.1 (2022b) dependen del uso del espacio y del nivel de ocupación, por lo que la concentración de CO<sub>2</sub> interior correspondiente varía según el tipo de espacio. Por ejemplo, las concentraciones en estado estacionario que corresponden a los requisitos de ventilación del Estándar ASHRAE 62.1 van desde aproximadamente 1000 ppm<sub>v</sub> en oficinas y aulas con estudiantes jóvenes, entre 1500 y 2000 ppm<sub>v</sub> en restaurantes, salas de clases y espacios comerciales, hasta por encima de 2500 ppm<sub>v</sub> en salas de conferencias y auditorios. Se han sugerido recomendaciones o requisitos para tasas de ventilación y concentraciones de CO<sub>2</sub> orientadas a limitar la transmisión de enfermedades infecciosas, pero dichas propuestas presentan un alto grado de incertidumbre, dada la cantidad de factores que influyen en el riesgo de infección, incluyendo las diferencias entre patógenos. Es importante tener en cuenta que la ventilación es solo una de las estrategias de control y debe implementarse como parte de un enfoque integrado y por capas para la gestión del riesgo.

Es cierto que concentraciones de CO<sub>2</sub> más altas corresponden a tasas de ventilación con aire exterior más bajas y, por lo tanto, a un potencialmente mayor riesgo de transmisión por el aire. Si bien las concentraciones de CO<sub>2</sub> pueden ser útiles como indicador cualitativo, no capturan el efecto de la reducción de la ocupación (frecuente en muchos edificios) ni el impacto de la filtración de partículas o de la purificación del aire en el riesgo de infección, estrategias que pueden tener un efecto igual o superior al de la dilución con aire exterior. Otros factores que influyen en la exposición y el riesgo de transmisión incluyen la carga viral en el aire (que no necesariamente varía en la misma proporción que el CO<sub>2</sub>), la actividad respiratoria, y el tipo de patógeno. También es importante considerar que, si se utiliza DCV basada en CO<sub>2</sub>, una menor ocupación puede reducir la tasa de ventilación exterior y potencialmente aumentar el riesgo de transmisión. Por ello, varias organizaciones recomendaron desactivar los sistemas DCV o reducir sus *set-points* durante la pandemia. Estas dos estrategias tienen impactos distintos en las tasas de ventilación con aire exterior: la primera mantiene el caudal mínimo de diseño, mientras que la segunda puede potencialmente aumentarlo.

En lugar de utilizar la concentración de CO<sub>2</sub> interior como indicador directo de tasas de ventilación deseadas, varios análisis del riesgo de infección por el aire han empleado el CO<sub>2</sub> como indicador de la “fracción de aire recirculado” (es decir, la fracción del aire inhalado que ya fue exhalado por otra persona en el mismo espacio). Si se conoce la prevalencia (en la población) de una enfermedad transmitida por el aire y la dosis infecciosa del patógeno, estos métodos permiten estimar el porcentaje de nuevas infecciones en un escenario determinado (Rudnick & Milton, 2003; Peng & Jimenez, 2021). Estos enfoques dependen de múltiples supuestos sobre la distribución del CO<sub>2</sub> y de los aerosoles infecciosos en interiores, los modos de transmisión más relevantes y las relaciones dosis-respuesta, sujetos a un alto grado de incertidumbre. Por consiguiente, estos métodos no deben considerarse predictores exactos del riesgo absoluto.

Un tema emergente es el posible efecto de la concentración de CO<sub>2</sub> sobre la supervivencia de los virus en aerosoles respiratorios, a través de su influencia en el pH. En un número limitado de experimentos, se ha reportado que concentraciones elevadas de CO<sub>2</sub> aumentan la tasa natural de inactivación del SARS-CoV-2. Estos resultados deben considerarse preliminares y no

concluyentes hasta que se investiguen adecuadamente los potenciales factores de confusión.

## References

- Allen, J.G., P. MacNaughton, U. Satish, S. Santanam, J. Vallarino, and J.D. Spengler. 2016. Associations of cognitive function scores with carbon dioxide, ventilation, and volatile organic compound exposures in office workers: A controlled exposure study of green and conventional office environments. *Environ. Health Perspect.*, 124, 805–12.
- Allen, J.G., P. MacNaughton, J.G. Cedeno-Laurent, X. Cao, S. Flanigan, J. Vallarino, et al. 2018. Airplane pilot flight performance on 21 maneuvers in a flight simulator under varying carbon dioxide concentrations. *J Expos Sci Environ Epid* 08:08.
- Apte, M.G., W.J. Fisk, and J.M. Daisey. 2000. Associations between indoor CO<sub>2</sub> concentrations and sick building syndrome symptoms in US office buildings: An analysis of the 1994–1996 BASE study data. *Indoor Air* 10 (4):246–57.
- ASHRAE. 2022a. ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2022, *Energy standard for buildings except low-rise residential buildings*. Peachtree Corners, GA: ASHRAE.
- ASHRAE. 2022b. ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2022, *Ventilation for acceptable indoor air quality*. Peachtree Corners, GA: ASHRAE.
- ASHRAE. 2023. Addendum ab to ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2022, *Ventilation for acceptable indoor air quality*. Peachtree Corners, GA: ASHRAE.  
[https://www.ashrae.org/file%20library/technical%20resources/standards%20and%20guidelines/standards%20addenda/62\\_1\\_2022\\_ab\\_20231031.pdf](https://www.ashrae.org/file%20library/technical%20resources/standards%20and%20guidelines/standards%20addenda/62_1_2022_ab_20231031.pdf).
- ASTM. 2024. ASTM E741-11(2017), *Standard test method for determining air change in a single zone by means of a tracer gas dilution*. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- ASTM. 2024. ASTM D6245-24, *Standard guide on the relationship of indoor carbon dioxide concentrations to indoor air quality and ventilation*. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- Balling, R.C. Jr, R.S. Cerveny, and C.D. Idso. 2001. Does the urban CO<sub>2</sub> dome of Phoenix, Arizona contribute to its heat island? *Geophysical Research Letters* 28(24):4599–4601.
- BFG. 2021. Belgian pandemic emergency decree. Belgian Federal Government – Ministry of Internal Affairs. [www.ejustice.just.fgov.be/eli/bsluit/2021/10/28/2021042995/justel](http://www.ejustice.just.fgov.be/eli/bsluit/2021/10/28/2021042995/justel).
- CDC. 2021. Ventilation in buildings. Atlanta: Centers for Disease Control and Prevention. [www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/community/ventilation.html](http://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/community/ventilation.html).
- CEN. 2019. CEN 16798-1:19, *Energy performance of buildings – Ventilation for buildings – Part 1: Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics*. Brussels: European Committee for Standardization.
- Cleveland, W.S., A.E. Freeny, and T.E. Graedel. 1983. The seasonal component of atmospheric CO<sub>2</sub>: Information from new approaches to the decomposition of seasonal time series. *Journal of Geophysical Research: Oceans* 88(C15):10934–46.
- Du, B., M.C. Tandoc, M.L. Mack, and J.A. Siegel. 2020. Indoor CO<sub>2</sub> concentrations and cognitive function: A critical review. *Indoor Air* 30(6):1067–82.
- Emmerich, S.J., and A.K. Persily. 1997. Literature review on CO<sub>2</sub> -based demand-controlled ventilation. *ASHRAE Transactions* 103(2):229–43.
- EPA. 2021. Climate change indicators: Atmospheric concentrations of greenhouse gases. [www.epa.gov/climate-indicators/climate-change-indicators-atmospheric-concentrations-greenhouse-gases](http://www.epa.gov/climate-indicators/climate-change-indicators-atmospheric-concentrations-greenhouse-gases). Site visited September 12, 2024.
- Fisk, W., P. Wargocki, and X. Zhang. 2019. Do indoor CO<sub>2</sub> levels directly affect perceived air quality, health, or work performance? *ASHRAE Journal* 61(9):70–77.
- Fisk, W.J. 2017. The ventilation problem in schools: Literature review. *Indoor Air* 27: 1039–51.

- Gaihre, S., S. Semple, J. Miller, S. Fielding, and S. Turner. 2014. Classroom carbon dioxide concentration, school attendance, and educational attainment. *Journal of School Health* 84(9):569–74.
- Hu, S.-C., A. Shiue, S.-M. Chang, Y.-T. Chang, C.-H. Tseng, C.-C. Mao, A. Hsieh, and A. Chan. 2017. Removal of carbon dioxide in the indoor environment with sorption-type air filters. *International Journal of Low-Carbon Technologies* 12(3):330–34. <https://doi.org/10.1093/ijlct/ctw014>.
- ISO. 2017. ISO 12569:2017, *Thermal performance of buildings and materials – Determination of specific airflow rate in buildings – Tracer gas dilution method*. Geneva: International Organization for Standardization.
- Jacobson, M. 2010. Enhancement of Local Air Pollution by Urban CO<sub>2</sub> Domes. *Env. Sci. Technol.* 44: 2497-2502.
- Jacobson, T.A., J.S. Kler, M.T. Hernke, R.K. Braun, K.C. Meyer, and W.E. Funk. 2019. Direct human health risks of increased atmospheric carbon dioxide. *Nature Sustainability* 2:691–701.
- James, J.T., and S.M. Zalesak. 2013. Surprising effects of CO<sub>2</sub> exposure on decision making. 43rd International Conference on Environmental Systems, Vail, Colorado.
- Kabirikopaei, A., and J. Lau. 2020. Uncertainty analysis of various CO<sub>2</sub> -based tracer-gas methods for estimating seasonal ventilation rates in classrooms with different mechanical systems. *Building and Environment*, 179.
- Kajtar, L., and L. Herczeg. 2012. Influence of carbon-dioxide concentration on human well-being and intensity of mental work. *Idojaras* 116:145–69.
- Lee, J., T.W. Kim, C. Lee, and C. Koo. 2022. Integrated approach to evaluating the effect of CO<sub>2</sub> concentration on human cognitive performance and neural responses in office environment. *J. Management in Engineering* 38(1).
- Lietzke, B., and R. Vogt. 2013. Variability of CO<sub>2</sub> concentrations and fluxes in and above an urban street canyon. *Atmospheric Environment* 74:60–72.
- Lin, X., and J. Lau. 2015. Demand controlled ventilation for multiple zone HVAC systems: Part 2 – CO<sub>2</sub>-based dynamic reset with zone primary airflow minimum setpoint reset (1547-RP). *Science and Technology for the Built Environment* 21(8):1100–1108.
- Liu, M., J. Wu, X. Zhu, H. He, W. Jia, and W. Xiang. 2015. Evolution and variation of atmospheric carbon dioxide concentration over terrestrial ecosystems as derived from eddy covariance measurements. *Atmospheric Environment* 114, 75–82.
- Lowther, S.D., S. Dimitroulopoulou, K. Foxall, C. Shrubsole, E. Cheek, B. Gadeberg, and O. Sepai. 2021. Low level carbon dioxide indoors—A pollution indicator or a pollutant? A health-based perspective. *Environments*, 8.
- Lu FT, Gupta D, Fiedler N, Satish U, Black KG, Legard A, De Resende A, Guo C, Gow AJ, Kipen HM. Mechanisms Underlying Acute Cognitive Impairment following Carbon Dioxide Inhalation in a Randomized Crossover Trial. *Environ Health Perspect.* 2024 Oct;132(10):107702. doi: 10.1289/EHP14806. Epub 2024 Oct 28. PMID: 39466336; PMCID: PMC11515854.
- Lu, X., P. Zhihong, F. Yangyang, and Z. O’Neill. 2022. The nexus of the indoor CO<sub>2</sub> concentration and ventilation demands underlying CO<sub>2</sub>-based demand-controlled ventilation in commercial buildings: A critical review. *Building and Environment*, 218.
- Mendell, M.J., Chen, W., Ranasinghe, D.R. et al. Carbon dioxide guidelines for indoor air quality: a review. *J Expo Sci Environ Epidemiol* 34, 555–569 (2024). <https://doi.org/10.1038/s41370-024-00694-7>.
- NIOSH. 1976. *Criteria for a recommended standard: Occupational exposure to carbon dioxide*. DHHS (NIOSH) Publication Number 76-194. National Institute for Occupational Safety and Health. [www.cdc.gov/niosh/docs/76-194](http://www.cdc.gov/niosh/docs/76-194).
- NOAA. 2024. Trends in atmospheric carbon dioxide. <https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/>. Site visited September 11, 2024.

- OSHA. 2017. Limits for air contaminants. Washington, DC: Occupational Safety & Health Administration, U.S. Department of Labor. [www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.1000TABLEZ1](http://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.1000TABLEZ1).
- Peng, Z., and J.L. Jimenez. 2021. Exhaled CO<sub>2</sub> as a COVID-19 infection risk proxy for different indoor environments and activities. *Environmental Science & Technology Letters*, 8, 392–97.
- Persily, A. 2015. Challenges in developing ventilation and indoor air quality standards: The story of ASHRAE Standard 62. *Building and Environment* 91, 61–69.
- Persily, A. 2022. Development and application of an indoor carbon dioxide metric. *Indoor Air*. 32, e13059
- REHVA. 2021. REHVA COVID-19 Guidance, version 4.1. Brussels, Belgium: Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning Associations. [www.rehva.eu/fileadmin/user\\_upload/REHVA\\_COVID-19\\_guidance\\_document\\_V4.1\\_15042021.pdf](http://www.rehva.eu/fileadmin/user_upload/REHVA_COVID-19_guidance_document_V4.1_15042021.pdf).
- Rudnick, S.N., and D.K. Milton. 2003. Risk of indoor airborne infection transmission estimated from carbon dioxide concentration. *Indoor Air* 13(3):237–45.
- EMG/SPI-B. 2021. Application of CO<sub>2</sub> monitoring as an approach to managing ventilation to mitigate SARS-CoV-2 transmission. [www.gov.uk/government/publications/emg-and-spi-b-application-of-co2-monitoring-as-an-approach-to-managing-ventilation-to-mitigate-sars-cov-2-transmission-27-may-2021](http://www.gov.uk/government/publications/emg-and-spi-b-application-of-co2-monitoring-as-an-approach-to-managing-ventilation-to-mitigate-sars-cov-2-transmission-27-may-2021).
- Satish, U., M.J. Mendell, K. Shekhar, T. Hotchi, D. Sullivan, S. Streufert, et al. 2012. Is CO<sub>2</sub> an indoor pollutant? Direct effects of low-to-moderate CO<sub>2</sub> concentrations on human decision-making performance. *Envir Health Persp* 120:1671–77.
- Scully, R.R., M. Basner, J. Nasrini, C.W. Lam, E. Hermsillo, R.C. Gur, T. Moore, D.J. Alexander, U. Satish, and V.E. Ryder. 2019. Effects of acute exposures to carbon dioxide on decision making and cognition in astronaut-like subjects. *NPJ Microgravity*, 5, 17.
- Shendell, D.G., R. Prill, W.J. Fisk, M.G. Apte, D. Blake, and D. Faulkner. 2004. Associations between classroom CO<sub>2</sub> concentrations and student attendance in Washington and Idaho. *Indoor Air* 14(5):333–41.
- Thom, S.R., V.M. Bhopale, J.P. Hu, and M. Yang. 2017a. Inflammatory responses to acute elevations of carbon dioxide in mice. *J Appl Physiol* 123: 297–307.
- Thom, S.R., V.M. Bhopale, J.P. Hu, and M. Yang. 2017b. Increased carbon dioxide levels stimulate neutrophils to produce microparticles and activate the nucleotide-binding domain-like receptor 3 inflammasome. *Free Radical Biology and Medicine* 106:406–16.
- Wargocki, P. 2021. What we know and should know about ventilation. *REHVA Journal* 58(2):5–13.
- Wei, W., O. Ramalho, and C. Mandin. 2015. Indoor air quality requirements in green building certifications. *Building and Environment* 92:10–19.
- Wei, W., P. Wargocki, J. Zirngibl, J. Bendžalová, and C. Mandin. 2020. Review of parameters used to assess the quality of the indoor environment in Green Building certification schemes for offices and hotels. *Energy and Buildings*, 209:109683.
- Zhang, X., P. Wargocki, Z. Lian, and C. Thyegod. 2016a. effects of exposure to carbon dioxide and bioeffluents on perceived air quality, self-assessed acute health symptoms and cognitive performance. *Indoor Air* 27, 47–64.
- Zhang, X., P. Wargocki, and Z. Lian. 2016b. Human responses to carbon dioxide, a follow-up study at recommended exposure limits in non-industrial environments. *Building and Environment* 100, 162–71.

## MIEMBROS DEL COMITÉ DE DESARROLLO DEL DOCUMENTO

*El documento de posicionamiento de ASHRAE sobre Dióxido de Carbono fue desarrollado por el Comité de Revisión de Documentación de Posicionamiento de ASHRAE, constituido el 13 de febrero del 2020, siendo Andrew Persily Presidente.*

**Andrew Persily, PhD**

National Institute of Standards and Technology  
Gaithersburg, Maryland, USA

**Corinne Mandin, PhD**

Institute for Radiation Protection and  
Nuclear Safety (IRSN)  
France

**William P. Bahnfleth, PhD, PE**

The Pennsylvania State University  
University Park, Pennsylvania, USA

**Chandra Sekhar, PhD**

National University of Singapore  
Singapore

**Howard Kipen, MD, MPH**

Rutgers University – School of Public Health  
Piscataway, New Jersey, USA

**Pawel Wargocki, PhD**

Technical University of Denmark  
Copenhagen, Denmark

**Josephine Lau, PhD**

University of Nebraska Lincoln  
Nebraska, USA

**Lan Chi Nguyen Weekes, PEng, ing.**

La Cité College Ottawa,  
Ontario, Canada

## Cognizant Committees

*La presidenta del Comité de Salud Ambiental de ASHRAE también fue miembro ex-oficio.*

**Marwa Zaatari, PhD**

D Zine Partners  
Austin Texas, USA

## HISTORIAL DEL DOCUMENTO

### Historial de Publicación y Revisión

*El “Technology Council” de ASHRAE’ y el “cognizant committee” recomiendan la revisión, reafirmación o retirada cada 30 meses. La historia de este documento de posicionamiento se describe a continuación:*

**2/2/2022**—El BOD aprueba el Documento de Posición titulado Documento de Posición de ASHRAE sobre el Dióxido de Carbono en Interiores.

**2/12/2025**—El BOD aprueba la versión revisada del Documento de Posición titulado Documento de Posición de ASHRAE sobre el Dióxido de Carbono en Interiores.

Esta publicación fue traducida con autorización en 2025 a partir de la edición en inglés titulada *ASHRAE Position Document on Indoor Carbon Dioxide*, publicada por ASHRAE © 2025. Traducción realizada por Constanza Molina del Capítulo Chileno de ASHRAE y revisada por el Capítulo Chileno de ASHRAE. ASHRAE no asume responsabilidad por la exactitud de la traducción. Para adquirir la edición en inglés, contactar a ASHRAE, 180 Technology Parkway, Peachtree Corners, GA 30092, EE. UU., [www.ashrae.org](http://www.ashrae.org).

This publication was translated with permission in 2025 from the English edition titled *ASHRAE Position Document on Indoor Carbon Dioxide* published by ASHRAE © 2025. Translation by Constanza Molina of the ASHRAE Chile Chapter and reviewed by the ASHRAE Chile Chapter. ASHRAE assumes no responsibility for the accuracy of the translation. To purchase the English-language edition, contact ASHRAE, 180 Technology Parkway, Peachtree Corners, GA 30092, USA, [www.ashrae.org](http://www.ashrae.org).