

## ARTÍCULO ORIGINAL

# Evaluación de medidas para reducir la transmisión de COVID-19 en espacios cerrados, Tegucigalpa, Honduras

*Evaluation of measures to reduce COVID-19 transmission in closed spaces, Tegucigalpa, Honduras*

Milena Videa Galo<sup>1</sup>  <https://orcid.org/0000-0002-2634-3787>, Nora Rodríguez Corea<sup>2</sup>  <https://orcid.org/0000-0003-1749-4556>.

<sup>1</sup>Universidad Nacional Autónoma de Honduras, Vicerrectoría de Orientación y Asuntos Estudiantiles, Área de Salud, Laboratorio clínico; Tegucigalpa, Honduras.

<sup>2</sup>Universidad Nacional Autónoma de Honduras, Facultad de Ciencias Médicas, Departamento de Salud Pública, Posgrado en Salud Pública; Tegucigalpa, Honduras.

**RESUMEN. Antecedentes.** Ante la evidencia que establece una transmisión aérea del SARS-CoV-2, es primordial buscar nuevas formas para reducir la transmisión. El monitoreo a través de medidores de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) permite determinar la calidad de aire en espacios cerrados. **Objetivo:** Evaluar niveles de CO<sub>2</sub> y uso de medidas de seguridad para reducir la transmisión de COVID-19 en aulas universitarias, Tegucigalpa, Honduras, abril-mayo 2022. **Métodos:** Estudio observacional descriptivo transversal sobre aulas y estudiantes universitarios. Los datos se obtuvieron por observación, medición y documentación. La muestra fue a conveniencia. Se midieron las concentraciones de CO<sub>2</sub> en 5 aulas usando un medidor infrarrojo marca ARANET4. Se registraron las medidas de bioseguridad utilizadas. Se realizó análisis univariado por medio de frecuencia y medidas de tendencia central; se calculó coeficientes de correlación de Pearson y valores de p. Se obtuvo consentimiento informado de los participantes. **Resultados:** De los 86 participantes, 91.9% (79) aplicaba medidas de bioseguridad. Los niveles máximos de CO<sub>2</sub> encontrados en 5 aulas se encontraron en el nivel recomendado para espacios de clases (clasificación Calidad del Aire Interior IDA, Subdirección de Salud Pública, Madrid, España). **Discusión:** Los niveles de CO<sub>2</sub> en las aulas se elevaron con la presencia de estudiantes. Sin embargo, los niveles alcanzados no sugieren un riesgo. Honduras no cuenta con normas de calidad del aire para la protección a la salud de los impactos de los contaminantes atmosféricos. Es necesario realizar estudios con mayor tamaño muestral en cuanto a sitios y participantes.

**Palabras clave:** Bioseguridad, COVID-19, Dióxido de carbono, Ventilación, SARS-CoV-2.

## INTRODUCCIÓN

Pese a los esfuerzos de la comunidad científica en la elaboración de vacunas y medidas de prevención contra la propagación de la enfermedad, estas siguen siendo insuficientes para evitar la aparición de casos, muertes y secuelas provocadas por el COVID-19. El aire exhalado es el vehículo de liberación de las partículas infecciosas en el ambiente.<sup>1</sup>

Existe evidencia de transmisión aérea de los virus que afectan la vía respiratoria e incluso a más de 6 pies de distancia, observándose que la persona infectada exhala el virus en el interior de las habitaciones y este permanece durante un tiempo prolongado (más de 15 minutos y en algunos casos horas). Esto lleva a concentraciones de virus en el espacio aéreo suficientes para transmitir a personas y, en algunos casos a personas que han pasado por ese espacio, pudiendo quedar hasta después de que la persona infectada se marcha.<sup>2</sup> Se ha demostrado la viabilidad del SARS-CoV-2 en partículas de aerosol durante más de una hora.<sup>3</sup>

La transmisión del virus SARS-CoV-2 en sitios cerrados y mal ventilados es cada vez más aceptada como factor de riesgo de transmisión. Debe considerarse que cuanto más tiempo estén otras personas susceptibles en una habitación cerrada junto a una persona infectada, mayores serán los riesgos de transmisión por el aire, incluso si las personas están separadas por más de 2 metros de distancia.<sup>4</sup> La distancia de 2 metros omite la manera en la que se diseminan partículas durante las exhalaciones, los estornudos y la tos; ya que no solo consisten en gotas muco salivares que siguen trayectorias de emisión semibalísticas de corto alcance, sino que, principalmente, están formadas por una nube de gas turbulento multifásico que atrapa el aire ambiental y transporta continuamente gotas de distintos tamaños.<sup>5,6</sup> Los aerosoles se quedan flotando en el ambiente

Recibido: 10-02-2023 Aceptado: 19-07-2023 Primera vez publicado en línea: 28-08-2023

Dirigir correspondencia a: Dra. Milena Videa Galo

Correo electrónico: milena.videa@hotmail.com

**DECLARACIÓN DE RELACIONES Y ACTIVIDADES FINANCIERAS Y NO FINANCIERAS:** Ninguna.

**DECLARACIÓN DE CONFLICTOS DE INTERÉS:** Ninguna.

**Forma de citar:** Videa-Galo M, Rodríguez-Corea N. Evaluación de medidas para reducir la transmisión de COVID-19 en espacios cerrados, Tegucigalpa, Honduras. Rev Méd Hondur. 2023; 91(2): 94-99. DOI: <https://doi.org/10.5377/rmh.v91i2.16614>

© 2023 Autor(es). Artículo de acceso abierto bajo la licencia <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es> 

entre minutos a horas, contribuyendo en la transmisión de enfermedades como la COVID-19.<sup>7</sup>

Los filtros de partículas y el equipo de desinfección en corrientes de aire recirculado pueden reducir la transmisión de SARS-CoV-2 y otros virus respiratorios, pero de ser posible la ventilación debe de ser natural.<sup>8</sup> Si un sistema de ventilación puede garantizar que el aire inhalado por cada individuo principalmente en el aire fresco del exterior, el sistema se consideraría eficaz ya que el propósito de la ventilación es proteger a las personas de la inhalación de aire infeccioso.<sup>9,10</sup>

Ante la ausencia de tecnologías que nos permitan detectar el virus en el aire, el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) es una forma indirecta de controlar una correcta ventilación.<sup>11</sup> El aire exhalado, contiene casi 40,000 partes por millón (ppm) de CO<sub>2</sub> en comparación con los aproximadamente 350 ppm del aire exterior. Dado que la mayoría de los espacios cerrados no contienen fuentes internas significativas de CO<sub>2</sub>, aparte de los ocupantes, podemos considerar el CO<sub>2</sub> como un sustituto del aire exhalado.<sup>12</sup> El riesgo de transmisión de infecciones por el aire en interiores podría estimarse a partir del nivel de CO<sub>2</sub> como marcador de la exposición al aire exhalado. En el caso de las infecciones transmitidas por el aire en interiores, el control racional de la enfermedad requiere el análisis del papel de la ventilación como uno de los factores de transmisión que sea complementario a la investigación de los contactos.<sup>2</sup> Sin embargo, en Honduras no se hace ninguna alusión a la ventilación de los espacios cerrados como medida para limitar la transmisión por lo que la creación de normativas se hace necesario. Lo anterior permite prever que las escuelas podrían ser lugares particularmente vulnerables, sobre todo al no existir medidas de mitigación específicas a este modo de contagio. Es importante medir las concentraciones de CO<sub>2</sub> como una herramienta eficaz para prevenir los contagios, en estos sitios que son poco o nada controlados.<sup>7</sup>

Esta investigación tuvo como objetivo de evaluar los niveles de CO<sub>2</sub> y uso de medidas de seguridad para reducir la transmisión de COVID-19 en aulas universitarias, Tegucigalpa, Honduras, abril-mayo 2022.

## PARTICIPANTES Y MÉTODOS

Se realizó un estudio observacional descriptivo transversal en el periodo de abril a mayo del 2022 en la UCENM de Tegucigalpa.

Las unidades de análisis fueron por un lado los estudiantes que asistieron a clases prácticas en la modalidad de fin de semana y por otro la medición de los niveles de CO<sub>2</sub> en cinco aulas de esta universidad. El muestreo utilizado fue no probabilístico por conveniencia. La muestra fue de 86 estudiantes que asistieron a clases presenciales durante cuatro sábados en Tegucigalpa. Los criterios de inclusión fueron: estudiantes que firmaron el consentimiento informado y que recibían clases el fin de semana. Los criterios de exclusión: estudiantes que no pertenecían a la modalidad de fin de semana o a la sede en Tegucigalpa, personal administrativo y docentes de la UCENM.

Se les aplicó a los estudiantes un cuestionario elaborado por las investigadoras donde se registró la información sobre los datos demográficos y las medidas de bioseguridad usadas. Las variables estudiadas fueron sexo, edad, procedencia, las medidas de bioseguridad adoptadas por los estudiantes (uso de mascarilla, alcohol gel, distanciamiento y vacunación). Previo a la implementación del cuestionario se realizó prueba piloto con otros estudiantes que no participaron en la investigación.

Por otra parte, se midieron los niveles de CO<sub>2</sub>, la temperatura del ambiente, humedad, el tamaño de las aulas de clase, en cinco aulas durante las clases utilizando un medidor infrarrojo de CO<sub>2</sub> (marca ARANET4). Estas mediciones se realizaron en las condiciones en las que se imparte clases y el distanciamiento entre alumnos fue arbitrario.

No se intervino en la forma en que los docentes manejaban el aula, dejando que las fuentes de ventilación natural (ventanas y puertas) se usaran como normalmente se hacía, al igual que el número de ocupantes asignados por aula y el tiempo que pasaban en los espacios. En la investigación el tiempo de permanencia en las aulas fue distinto para cada una, ya que estas tenían programado un número diferente de horas de clases.

Previamente a las mediciones, se realizó una medición de calibración durante 5 minutos fuera de las aulas para comprobar que el medidor se encontrara en buenas condiciones, registrando un nivel de 353 ppm. Luego, el aparato se colocó a aproximadamente 1.5 metros del suelo, en el centro de cada una de las aulas para que las lecturas fueran lo más representativas de todo el volumen de éstas. Se garantizó una distancia de al menos 1 metro entre las ventanas y el medidor para que las mediciones no se vieran alteradas. Las mediciones en las aulas se realizaron mientras permanecían los estudiantes en su clase, cuya duración en tiempo fue diferente. Así mismo, se realizaron mediciones con las aulas vacías previo al ingreso de los estudiantes. También se midió el tamaño del espacio físico de las aulas y se observó las fuentes de aire natural (ventanas o puertas) abiertas con el nivel de CO<sub>2</sub> alcanzado en cada una de las aulas.

La aplicación del cuestionario a los estudiantes se realizó en el mismo tiempo que las mediciones de CO<sub>2</sub>. Una vez hecha las mediciones, los datos de estas variables se actualizaban automáticamente cada 5 min y se guardaban en una aplicación en el teléfono celular. El nombre de la aplicación es ARANET4, es gratuita y puede descargarse desde appstore. Una vez instalada se sincronizaba mediante bluetooth con el medidor. Desde la aplicación en el teléfono se descargó la base de resultados obtenidos los días de las mediciones. Este medidor inalámbrico poseía un sistema donde se guardaban los datos recolectados y se generaron hojas de Excel automáticamente, detallaban hora de la medición, los valores de temperatura, humedad y CO<sub>2</sub> obtenidos en el transcurso del tiempo que el aparato permaneció encendido.

Los datos se ingresaron en una base previamente elaborada, se procesaron mediante el programa Excel 2020. Se compararon los niveles máximos de CO<sub>2</sub> encontrados en las aulas según la clasificación de Calidad del Aire Interior (IDA) publicado en el documento Calidad del Ambiente Interior

**Cuadro 1.** Categorías de calidad del aire interior (IDA) en función del uso de los edificios. Subdirección General de Salud Pública, Madrid, España.

Categoría	Descripción	Aplicación	Concentración de CO <sub>2</sub> permitida (ppm)*
IDA 1	Aire de óptima calidad	Hospitales, clínicas, laboratorios y guarderías.	350
IDA 2	Aire de buena calidad	Oficinas, residencias (locales comunes de hoteles y similares, residencias de ancianos y de estudiantes), salas de lectura, museos, salas de tribunales, aulas de enseñanza y asimilables y piscinas.	500
IDA 3	Aire de calidad Media	Edificios comerciales, cines, teatros, salones de actos, habitaciones de hoteles y similares, restaurantes, cafeterías, bares, salas de fiestas, gimnasios, locales para el deporte (salvo piscinas) y salas de ordenadores.	800
IDA 4	Aire de calidad Baja	indicador de que un sitio se encuentra mal ventilado por lo que esto supone un riesgo para la salud.	> 1000

\* Concentración de CO<sub>2</sub> en partes por millón (ppm) en volumen por encima de la concentración en el aire exterior. Fuente: Referencia 13.

en edificios de uso público de la Comunidad de Madrid,<sup>13</sup> donde se clasifica según las categorías de la calidad del aire (**Cuadro 1**).

Se realizó análisis univariado por medio de frecuencia y medidas de tendencia central, así mismo la aplicación de coeficientes de correlación de Pearson, con su respectivo valor de P para evaluar si había correlación entre: Concentración de CO<sub>2</sub> y temperatura ambiental; concentración de CO<sub>2</sub> y humedad.

La investigación fue aprobada por el Comité de Ética de la Facultad de Ciencias Médicas (FCM), Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH), con número 018-2022. Se aplicó consentimiento informado y fue firmado como aceptación de su participación en el estudio. Se respetó la confidencialidad de la información proporcionada.

## RESULTADOS

De los 86 estudiantes que participaron en el estudio, se encontró que el 79% eran del sexo femenino y el 69% estaban comprendidos entre las edades de 18 a 32 años. (**Cuadro 2**).

Un 7.0% de los estudiantes respondieron que no aplicaron ninguna medida de bioseguridad porque se encuentran vacunados. Al reunirse con familiares con los que no conviven un 8.1% (7) respondieron que no utilizan medidas de bioseguridad. Entre las medidas usadas destaca el uso de mascarilla en 93% (80). (**Cuadro 2**).

Acerca de la ventilación como una medida para reducir la transmisión aérea por COVID-19, los estudiantes consideraron en un 95.3% (82) que la ventilación de los espacios si es una medida para reducir la transmisión.

En el aula 1 las mediciones de CO<sub>2</sub> fueron 192 en un total de 16 horas (**Cuadro 3**). Esta aula que tiene una puerta y 3 ventanas abiertas, se encontraban 8 personas. Los niveles de CO<sub>2</sub> tuvieron un valor con el aula vacía de 379 ppm; el aula con alumnos una media de 440 ppm, y el valor máximo de CO<sub>2</sub> registrado fue de 623 ppm. Al realizar una correlación entre los datos obtenidos de CO<sub>2</sub> y la temperatura se encontró una correlación de Pearson negativa de -0.27 ( $p=9.4869$ ) entre los niveles de CO<sub>2</sub> y la humedad indicaron que no hay una correlación lineal entre los datos obtenidos con un resultado de 0.08 ( $p=0.2688$ ) (**Cuadro 4**).

En el aula 2 se realizaron 192 mediciones de CO<sub>2</sub> en un total de 16 horas, el aula de una puerta y tres ventanas abiertas, ocupada por 14 personas (**Cuadro 3**). Con el aula vacía se encontró un valor de 363 ppm; con el aula con

**Cuadro 2.** Características demográficas, medidas de bioseguridad preventivas de los estudiantes de la Universidad Cristiana Evangélica Nuevo Milenio (UCENM), Tegucigalpa, abril-mayo 2022, n=86.

Características demográficas y medidas de bioseguridad preventivas	n	(%)
<b>Departamento</b>	47	(54.7)
Francisco Morazán	14	(16.3)
El Paraíso	9	(10.5)
Valle	7	(8.1)
Choluteca	4	(4.7)
Comayagua	2	(2.3)
La Paz	2	(2.3)
Olancho	1	(1.2)
Santa Bárbara		
<b>Edad (años)</b>		
18-25	41	(44.7)
26-32	21	(24.4)
33-39	18	(20.9)
40-54	6	(7.0)
<b>Sexo</b>		
Femenino	68	(79.1)
Masculino	18	(20.9)
<b>Utiliza medidas de bioseguridad</b>		
Si	79	(91.9)
No	7	(8.1)
<b>Número de dosis de vacuna contra el COVID-19 aplicada</b>		
3	56	(65.1)
2	29	(33.7)
1	1	(1.2)
<b>Tipo de mascarilla utilizada</b>		
Mascarillas quirúrgicas	57	(66.3)
Mascarillas N95, KN95 o KF94	28	(32.6)
Mascarillas de tela	1	(1.2)
<b>Medidas utilizadas</b>		
Mascarilla	80	(93.0)
Alcohol gel	55	(64.0)
Distanciamiento	34	(39.5)
Ninguna	6	(7.0)

**Cuadro 3.** Concentraciones de CO<sub>2</sub> (ppm) según total de horas de medición, tamaño de las aulas y número de personas en el aula, Universidad Cristiana Evangélica Nuevo Milenio (UCENM), Tegucigalpa, abril-mayo 2022, n=5.

N° Aula	Temp. Promedio °C	Humedad (%)	Valor aula vacía CO <sub>2</sub> (ppm)	Con estudiantes			N° personas/ aula	Tamaño aula (m) Ancho x largo x alto	Número de ventanas abiertas	Total de Horas de medición
				Valor mínimo CO <sub>2</sub> (ppm)	Valor medio CO <sub>2</sub> (ppm)	Valor Máximo CO <sub>2</sub> (ppm)				
1	26.0	52	379	383	441	623	8	6x4x3	3	16
2	25.7	55	363	374	431	575	14	7x10x3	3	16
3	29.0	48	367	379	432	603	7	3x3x3	2	12
4	27.6	55	379	383	458	792	9	3x3x3	2	2.30
5	27.2	50.6	381	388	430	445	15	7x10x6	8	2

CO<sub>2</sub>: Dióxido de carbono; m: metros; ppm: partes por millón.

**Cuadro 4.** Mediciones de CO<sub>2</sub> en las aulas, correlación CO<sub>2</sub> con temperatura y humedad expresado por aula de clases, Universidad Cristiana Evangélica Nuevo Milenio (UCENM), Tegucigalpa, abril-mayo 2022, n=5.

Mediciones de CO <sub>2</sub>	Aula 1	Aula 2	Aula 3	Aula 4	Aula 5
N° Mediciones	192	192	144	31	26
Media CO <sub>2</sub> ppm	440.69	431.2	431.85	681.29	416.62
<b>Correlación de Pearson (Valor de p)</b>					
Pearson CO <sub>2</sub> (ppm) y Temperatura (°C)	-0.27 (p= 9.4869)	-0.14 (p= 0.0448)	-0.55 (p= 6.9061)	-0.7 (p= 7.3501)	-0.52 (p= 0.0059)
Pearson CO <sub>2</sub> (ppm) y Humedad (%)	0.08 (p= 0.2688)	0.0006 (p= 0.9931)	0.396 (p= 8.8847)	0.07 (p= 0.3381)	0.06 (p= 0.7859)

ppm: partes por millón; CO<sub>2</sub>: dióxido de carbono; °C: grados centígrados

alumnos una media de 431 y un valor máximo de 575 ppm. De los datos obtenidos se realizó una correlación entre los niveles de CO<sub>2</sub> y temperatura y se encontró una correlación de Pearson negativa de -0.14 (p= 0.0448). Entre los niveles de CO<sub>2</sub> y humedad el dato encontrado fue de 0.0006 (p= 0.9931) (**Cuadro 4**).

Las mediciones de CO<sub>2</sub> realizadas en el aula 3 que contaba con una puerta y dos ventanas, fueron 144 en un total de 12 horas; se encontró un valor de 367 ppm con el aula vacía y con el aula ocupada por alumnos una media 432 ppm y un valor máximo de 603 ppm, con 7 personas dentro del aula (**Cuadro 3**). De los datos obtenidos se realizó correlación entre las mediciones de CO<sub>2</sub> y la temperatura teniendo una correlación de Pearson negativa de -0.55 (p= 6.9061). Entre los niveles de CO<sub>2</sub> y humedad se encontró una correlación de 0.396 (p= 8.8847) (**Cuadro 4**).

En el aula 4 con una puerta y dos ventanas se realizaron 31 mediciones de CO<sub>2</sub> durante 2 horas, de las cuales se obtuvo un valor de 379 ppm con el aula vacía; con el aula ocupada por alumnos se registró una media de 681 ppm, y un valor máximo de 792 ppm, con el aula ocupada por 9 personas (**Cuadro 3**). De los datos obtenidos se realizó una correlación entre las mediciones de CO<sub>2</sub> y la temperatura teniendo una correlación de Pearson negativa de -0.7023 (p=7.3501) y una correlación entre los niveles de CO<sub>2</sub> y humedad se obtuvo asociación positiva de 0.07 (p=0.3381) (**Cuadro 4**).

En el aula número 5 la cual tenía una puerta y 8 ventanas abiertas ocupada por 15 personas se realizaron 26 mediciones de CO<sub>2</sub> durante 2 horas. Con el aula vacía se encontró un valor de 381 ppm y ocupada por los estudiantes un valor medio de 430

ppm y un valor máximo de 445 ppm. (**Cuadro 3**). Se realizó una asociación de los datos encontrados de CO<sub>2</sub> con la temperatura y se encontró una correlación de Pearson negativa de -0.52 (p=0.0059) además de los niveles de CO<sub>2</sub> con la humedad con un valor de 0.06 (p=0.7859) (**Cuadro 4**).

## DISCUSIÓN

Como medida para reducir el riesgo a contraer COVID-19, la Secretaria de Salud de Honduras y el Consejo de Educación Superior exige a los estudiantes estar vacunados para ser matriculados a partir del primer periodo del año 2022.<sup>14</sup> Todos los encuestados cuentan con al menos una dosis de las vacunas contra la COVID-19 y un 98% con dos dosis. Asimismo, dentro del campus el uso de mascarilla es obligatorio. Sin embargo, la protección que brinda cada una dependerá del tipo de mascarilla utilizada y el ajuste que tengan. Muchos estudios han aportado pruebas convincentes de que las políticas de uso obligatorio de mascarillas se han asociado a reducciones del número o la tasa de infecciones y muertes.<sup>2,3,15</sup> En relación con las medidas de bioseguridad utilizadas por los estudiantes, la más aceptada fue el uso de la mascarilla, seguido del uso de alcohol gel y el distanciamiento social.

Es importante considerar la ventilación de los espacios cerrados, especialmente de las aulas y tener en cuenta que un aumento de los niveles de CO<sub>2</sub> por encima de los niveles exteriores podría estar relacionado con la mayor probabilidad de inhalar el aire exhalado por otras personas y, por tanto, con el riesgo de infección, como lo expone Sowoo Park y colaboradores.<sup>16,17</sup> Cuanto menor sea la tasa de ventilación y mayor sea

el tiempo de exposición, mayor será el riesgo de infección.<sup>17</sup> En la investigación se registraron concentraciones de CO<sub>2</sub> máximos desde 445, 575, 603, 623, 792 ppm, en el caso del aula 5 teniendo un número total de 8 ventanas y mayor número de estudiantes se registró el pico más bajo de 445 ppm.

La correlación entre la temperatura y el CO<sub>2</sub> fue negativo en todas las aulas lo que indica que es inversamente proporcional una de la otra y en un nivel muy bajo. La correlación entre CO<sub>2</sub> y la humedad fue positiva menor de cero lo que indica una correlación inexistente. Asimismo, la temperatura y la humedad se encuentran entre muchos factores que afectan los niveles de contaminantes en espacios cerrados. El incremento en los niveles de CO<sub>2</sub> con la presencia de las 8 personas dentro del aula, aumenta. Sin embargo, no llega a niveles importantes para ser un riesgo de contagio ya que el aire sigue siendo de buena calidad.

Con relación al diseño de las aulas, las dimensiones fueron diferentes, así como también el número de ventanas de cada una y el número de personas al interior. En un estudio realizado por Curtfás y colaboradores,<sup>4</sup> en Alemania se encontró que los niveles de CO<sub>2</sub> sólo vienen dados por la relación entre la tasa de origen de las partículas y la tasa de eliminación y no determinados por el tamaño de los espacios. En ese estudio se realizó ventilación natural junto con filtros recogedores de partículas de alta eficiencia conocidos como filtros HEPA (por sus siglas en inglés High Eficiencia Particle Arresting) y logró reducir en un 99% los aerosoles exhalados y se encontró a que la ventilación es tan eficiente como el uso de purificadores de aire. En nuestra investigación no se tomó en cuenta el tamaño de las aulas, pero podría ser considerada para futuras investigaciones. Si hay personas en un ambiente cerrado, la concentración de CO<sub>2</sub> ira aumentando en función tanto a la actividad que realicen estas personas como a otros factores tales como sexo, edad, peso, etc.<sup>3</sup>

Algunos investigadores han desarrollado modelos teóricos de la transmisión de enfermedades por el aire en distintos espacios. Todos estos modelos se basan en los supuestos que la emisión de aerosoles portadores de virus depende de: a) el número de personas en espacios interiores compartidos; b) el uso de una máscara bien ajustada y c) las actividades interiores (hablar en voz baja o gritar; actividades físicas; etc.) mientras que la tasa de infección es inversamente proporcional a la tasa de ventilación de la habitación.<sup>18</sup>

De vistas al futuro, hasta la fecha Honduras no cuenta con normas de calidad del aire para la protección a la salud de los impactos nocivos de los contaminantes atmosféricos. No obstante, en 2008 se realizó un Plan Nacional de Calidad del Aire para Honduras con el objetivo de contribuir al mejoramiento de la calidad del aire y a la prevención de su deterioro, de tal manera que, dentro del marco de desarrollo humano sostenible, se proteja la salud de la población con equidad. Sin embargo,

el Plan solo contempla el análisis del aire y contaminantes ambientales, pero no al interior de los edificios y viviendas.<sup>19</sup> La contaminación del aire para interiores, según refiere este plan, es un tema que requiere abordarse con especial cuidado a través de un programa específico basado en un diagnóstico amplio, incluyendo la cuantificación de las emisiones en el interior de las viviendas y sus implicaciones sobre la exposición de las personas afectadas por lo que sería de bienestar para la población retomar este Plan Nacional de Calidad del aire e incluir este tema.

Por las características de los alumnos, el tamaño diferente de las aulas, el número de fuentes de ventilación entre otros, los resultados podrían no ser extensibles a otros espacios con distintas dimensiones, a futuro debería hacerse un estudio más amplio y estudiar correlaciones y confusores para establecer normas.

Las fortalezas de la investigación fueron la disposición de los estudiantes a participar en la investigación y la accesibilidad de la institución para realizar las mediciones en las aulas de clase.

En conclusión, los niveles de CO<sub>2</sub> en las aulas se elevaron con la presencia de estudiantes. Sin embargo, los niveles alcanzados no sugieren un riesgo según el ranking IDA. Coincidimos con los comentarios de Foster F. y Rondanelli R,<sup>20</sup> que medir los niveles de CO<sub>2</sub> permite tomar decisiones como el ajuste de sistemas de ventilación mecánicos, mejorar la ventilación natural por medio de la apertura de más ventanas o puertas, introducir el uso de ventiladores para mejorar las tasas de ventilación, definir tiempos máximos de uso de espacios cerrados para un cierto número de personas, o ayudar a decidir el aforo necesario para mantener la calidad del aire en un rango seguro para las personas que están al interior. Esta investigación pretende incentivar otras investigaciones sobre esta temática.

## CONTRIBUCIONES

Ambas autoras participaron en la concepción y diseño del estudio. MVG lideró la recolección de la información, análisis e interpretación de los resultados. Ambas autoras redactaron el artículo, incorporaron las recomendaciones editoriales y aprobaron la versión final del artículo.

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Cristiana Evangélica Nuevo Milenio (UCENM), Tegucigalpa, por permitir realizar esta investigación.

## DETALLES DE LOS AUTORES

Milena Videá Galo, Microbióloga Química Clínica, Máster en Salud Pública; milena.videa@hotmail.com  
Nora Rodríguez Corea, Médica General, Especialista en Pediatría, Máster en Epidemiología; nora.rodriguez@unah.edu.hn

## REFERENCIAS

- Jayaweera M, Perera H, Gunawardana B, Manatunge J. Transmission of COVID-19 virus by droplets and aerosols: A critical review on the unresolved dichotomy. *Environ Res.* 2020;188:109819. doi: 10.1016/j.envres.2020.109819
- Brooks JT, Butler JC. Effectiveness of mask wearing to control community spread of SARS-CoV-2. *JAMA.* 2021;325(10):998–999. doi:10.1001/jama.2021.1505.
- Velaverde F, Mamani-Paco R, Andrade Flores M. Estimación de la probabilidad de contagio de COVID-19 por aerosoles en ambientes cerrados: aplicaciones a casos en la ciudad de La Paz, Bolivia. *RBF [internet].* 2020[citado 23 mayo 2023];37:22-30. Disponible en: [http://www.scielo.org.bo/pdf/rbf/v37n37/v37n37\\_a04.pdf](http://www.scielo.org.bo/pdf/rbf/v37n37/v37n37_a04.pdf)
- Curtius J, Granzin M, Schrod J. Testing mobile air purifiers in a school classroom: Reducing the airborne transmission risk for SARS-CoV-2. *Aerosol science and technology.* 2021;55. doi: <https://doi.org/10.1080/02786826.2021.1877257>
- Bourouiba, L. Turbulent gas clouds and respiratory pathogen emissions: potential implications for reducing transmission of COVID-19. *JAMA.* 2020; 23(18):1837-1838. doi:10.1001/jama.2020.4756
- Miller SL. Indoor air pollution. In *Handbook of Environmental Engineering.* New Jersey: John Wiley & Sons, Inc; 2018. p. 519-560. doi:10.1002/9781119304418
- Centro para el Control y Prevención de enfermedades. Scientific Brief: SARS-CoV-2 Transmission. [Internet]. Atlanta: CDC; 2021. [citado 22 abril 2023]. Disponible en: <https://n9.cl/op5d5>
- Morawska L, Tang JW, Bahnfleth W, Bluyssen PM, Boerstra A, Buonanno G, et al. How can airborne transmission of COVID-19 indoors be minimised? *Environ Int.* 2020 sep; 142. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105832>
- Tang JW, Li Y, Eames I, Chan PKS, Ridgway GL. Factors involved in the aerosol transmission of infection and control of ventilation in healthcare premises. *J Hosp Infect.* 2006;64(2):100-114. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2006.05.022>
- Liu G, Xiao M, Zhang X, Gal C, Chen X, Liu L, et al. A review of air filtration technologies for sustainable and healthy building ventilation. *Sustain. Cities Soc [internet].* 2017[citado 23 mayo 2023];32:375-396. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S221067071630734X>
- Instituto de Salud Pública y Laboral de Navarra. Medidores de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y Ventilación. V.3. [Internet]. Navarra9ES): ISPLN; 2021. [citado 23 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.navarra.es/NR/rdonlyres/B4807750-8314-45A0-9768-64D22181DBD7/471579/MEDIDORESDECO2YVENTILACIONV3.pdf>
- Liao CM, Chang CF, Liang HM. A probabilistic transmission dynamic model to assess indoor airborne infection risks. *Risk Anal.* 2005;25(5):1097-107. doi: 10.1111/j.1539-6924.2005.00663.x
- Madrid Salud. Departamento de Salud Ambiental, Subdirección General de Salud Pública. Informe: Medición de la concentración de CO<sub>2</sub> como indicador de una ventilación adecuada de edificios y locales. COVID-19. Madrid: Madrid Salud. Departamento Salud Ambiental; 2020. [citado 23 mayo 2023]. Disponible en: <https://madridsalud.es/wp-content/uploads/2020/11/InfSAM33>
- Universidad Nacional Autónoma de Honduras [Blog]. Retorno a la semipresencialidad tendrá como requisito la vacuna contra la COVID-19: rector de la UNAH. Presencia universitaria [Internet]. 18 de enero de 2022. [citado 13 junio 2022]. Disponible en: <https://presencia.unah.edu.hn/noticias/retorno-a-la-semipresencialidad-en-la-unah-tendra-como-requisito-la-vacuna-contrala-covid-19-rector-francisco-j-herrera-alvarado/>
- Drewnick F, Pikmann J, Fachinger F, Moormann L, Sprang F, Borrmann S. Aerosol filtration efficiency of household materials for homemade face masks: influence of material properties, particle size, particle electrical charge, face velocity, and leaks. *Aerosol Sci. Technol.* 2021;55(1):63-79. doi: <https://doi.org/10.1080/02786826.2020.1817846>
- Rudnik SN, Milton DK. Risk of indoor airborne infection transmission estimated from carbon dioxide concentration. *Indoor Air.* 2003;13(3):237-245. doi: <https://doi.org/10.1034/j.1600-0668.2003.00189.x>
- Park S, Choi Y, Song D, Kim E. Natural ventilation strategy and related issues to prevent coronavirus disease 2019 (COVID-19) airborne transmission in a school building. *Sci Total Environ.* 2021;789:147764. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147764>
- Zhu S, Jenkins S, Addo K, Heidarinejad M, Romo SA, Layne A, et al. Ventilation and laboratory confirmed acute respiratory infection (ARI) rates in college residence halls in College Park, Maryland. *Environ Int.* 2020;137. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105537>
- Centro Mario Molina (MX). Plan Nacional de Gestión de la Calidad del aire de Honduras. [Internet]. México: CMM; 2008. [citado 23 mayo 2023]. Disponible en: <https://centromariomolina.org/wp-content/uploads/2012/12/6a.-Plan-Honduras.pdf>
- Foster F, Rondanelli R. Foster F, Rondanelli R. Análisis (CR)2|Ventilación, CO<sub>2</sub> y el contagio de Covid-19. Chile: Center for Climate and Resilience Research; 2022. [citado 23 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.cr2.cl/analisis-cr2-ventilacion-co2-y-el-contagio-de-covid-19/>

**ABSTRACT. Background.** Given the evidence establishing airborne transmission of SARS-CoV-2, it is essential to seek new ways to reduce transmission. Monitoring through carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) meters allows determining indoor air quality. **Objective:** Assess CO<sub>2</sub> levels and use of safety measures to reduce COVID-19 transmission in university classrooms, Tegucigalpa, Honduras, April-May 2022. **Methods:** Cross-sectional descriptive observational study on classrooms and university students. Data were obtained by observation, measurement and documentation. The sample was by convenience. CO<sub>2</sub> concentrations were measured in 5 classrooms using an ARANET4 infrared meter. The biosafety measures used were recorded. Univariate analysis was performed by means of frequency and measures of central tendency; Pearson correlation coefficients and p-values were calculated. **Results:** Of the 86 participants, 91.9% (79) applied biosafety measures. The maximum CO<sub>2</sub> levels found in 5 classrooms were at the recommended level for classrooms (Indoor Air Quality IDA classification, Subdirección de Salud Pública, Madrid, Spain). Discussion: CO<sub>2</sub> levels in the classrooms rose with the presence of students. However, the levels achieved do not suggest a risk. Honduras does not have air quality standards for the protection of health from the impacts of atmospheric pollutants. It is necessary to conduct studies with larger sample sizes in terms of sites and participants. **Keywords:** Biosafety, COVID-19, Carbon dioxide, Ventilation, SARS-CoV-2.