

Análisis del nivel del material particulado (PM_{2.5}) y CO₂ en una institución de educación superior
como parte de la estrategia de regreso seguro ante la COVID-19.

Alba Cecilia Sandoval Dueñas

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente - ECAMPA

Programa de Ingeniería Ambiental

Bogotá D.C.

2021

Análisis del nivel del material particulado (PM_{2.5}) y CO₂ en una institución de educación superior
como parte de la estrategia de regreso seguro ante la COVID-19.

Alba Cecilia Sandoval Dueñas

Trabajo para optar al título de Ingeniería Ambiental

Director:

Juan Felipe Méndez Espinosa

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente - ECAMPA

Programa de Ingeniería Ambiental

Bogotá D.C.

2021

Página de Aceptación

Juan Felipe Méndez Espinosa

Director Trabajo de Grado

Jurado 1

Jurado 2

Bogotá D.C. - 2021

Dedicatoria

Al Gran Espíritu por la posibilidad de respirar.

A quienes creen con el corazón y crean desde el amor.

Agradecimientos

A mi familia, compañero de vida, amigxs, tutores y maestros,
por verme siempre desde la posibilidad.

A Alix Montes, por impulsar y alentar el completar esta etapa.

A Néstor Rojas, Mauricio García y Daniel Bernal por su colaboración en todo el proceso.

A mi director de proyecto Juan Felipe Méndez Espinosa, por todo su apoyo.

Resumen

Después de un largo periodo de aislamiento debido a la pandemia por la Covid-19, el retorno a la presencialidad en los ambientes educativos puede implicar un aumento en el riesgo de contagio por vía aérea en ambientes intramurales con baja ventilación. Lo anterior sumado a las concentraciones de material particulado (PM_{2.5}) puede incrementar la morbilidad y mortalidad en el corto, mediano y largo plazo. Así pues, el presente proyecto busca analizar el nivel de PM_{2.5} y tasa de ventilación en dos espacios: auditorio central y un salón de clase de la sede José Acevedo y Gómez (JAG) de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD) como parte de la estrategia de prevención de la COVID-19.

Para ello, se usará un sensor de bajo costo para obtener los niveles de PM_{2.5} antes, durante y después de las pruebas de ventilación. En el auditorio central se utilizará un anemómetro portátil para estimar la velocidad del viento e inferir las tasas de cambio de aire. En el salón se inducirá CO₂ a partir de una fuente de combustión controlada, posteriormente, a partir de un sensor también de bajo costo, se analizará la dilución en el tiempo considerando diferentes escenarios de ventilación.

El análisis de las variables medidas indica que el riesgo de contagio de enfermedades respiratorias como la COVID-19, puede llegar a ser mucho mayor debido a que al haber poca ventilación y una mala calidad del aire del PM_{2.5}; debido a que la sede JAG de la UNAD queda en medio de dos vías de alto tráfico vehicular fuente de emisiones de contaminantes dañinos para la salud.

Palabras claves: Pandemia, Contaminación atmosférica, Cultura científica, Enfermedad transmisible, Gestión de riesgos.

Abstract

After a long period of isolation due to the Covid-19 pandemic, the return to presence in educational environments may imply an increase in the risk of airborne infection in intramural environments with low ventilation. The above, added to the concentrations of particulate material ($PM_{2.5}$), can increase morbidity and mortality in the short, medium, and long term. Thus, this project seeks to analyze the level of $PM_{2.5}$ and ventilation in two spaces: central auditorium and a classroom at the José Acevedo y Gómez (JAG) headquarters, of the National Open and Distance University (UNAD) as part of the COVID-19 prevention strategy.

To do this, a low-cost sensor will be used to obtain $PM_{2.5}$ levels before, during and after ventilation tests. In the central auditorium, a portable anemometer will be used to estimate wind speed and infer air change rates. In the room, CO_2 will be induced from a controlled combustion source, later, from a sensor that is also low-cost, the dilution will be analyzed over time considering different ventilation scenarios.

The analysis of the measured variables indicates that the risk of contagion of respiratory diseases such as COVID-19 may be much higher due to poor ventilation and poor air quality of $PM_{2.5}$; since the JAG headquarters of the UNAD is in the middle of two roads of high vehicular traffic, source of emissions of pollutants that are harmful to health.

Keywords: Pandemic, Air pollution, Scientific culture, Communicable disease, Risk management.

Contenido

Problema.....	13
Descripción del Problema	13
Planteamiento del problema	13
Justificación.....	16
Objetivos	19
Objetivo general	19
Objetivos específicos.....	19
Marco de Referencia	20
Marco conceptual	20
Marco Teórico	22
Marco Normativo	26
Metodología	28
Área general de estudio.	28
Área específica de estudio.	30
Estimación del nivel de ventilación.	31
Monitoreo del PM _{2.5} por medio del sensor de bajo costo.	33
Promoción de la ciencia ciudadana como estrategia de prevención de la COVID-19.....	34
Resultados	35
Estimación del nivel de ventilación espacio 1: Auditorio.....	35
Estimación del nivel de ventilación espacio 2: Salón de clases.....	38
Monitoreo del PM _{2.5} por medio del sensor de bajo costo	41
Promoción de la ciencia ciudadana como estrategia de prevención de la COVID-19.....	43
Implementación de la estrategia de prevención de la COVID-19.....	44
Conclusiones	46
Recomendaciones.....	47
Bibliografía.....	48
Anexos.....	51

Índice de Gráficas:

Gráfica 1. Mediciones realizadas de CO ₂ con el sensor Aranet el auditorio de la sede José Acevedo y Gómez de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Fuente: Autora.	37
Gráfica 2. Mediciones realizadas de CO ₂ con el sensor Aranet el salón 201 de la sede José Acevedo y Gómez de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Fuente: Autora.	39
Gráfica 3. Mediciones realizadas de CO ₂ con el sensor CanAirIO el salón 201 de la sede José Acevedo y Gómez de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Fuente: Autora.	39
Gráfica 4. Mediciones de PM _{2.5} realizadas con el sensor CanAirIO el salón 201 de la sede José Acevedo y Gómez de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Fuente: Autora.	42

Índice de Figuras:

Figura 1 Niveles de contaminación en ciudades del mundo medidos en $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Fuente: Giraldo-grueso et al., (2017).....	16
Figura 2. Ubicación en del área de estudio de la sede José Acevedo y Gómez de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Fuente: Google Maps. Recuperado 30/08/2021.....	29
Figura 3. Ubicación en del área de estudio de la sede José Acevedo y Gómez de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Zonificación DNP. Fuente: SINUPOT. Recuperado 30/08/2021	29
Figura 4. Panorama general de la inmediación occidental de la sede José Acevedo y Gómez de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Fuente: Autora.....	30
Figura 5. Costado occidental José Acevedo y Gómez de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia, el segundo piso de la Figura 6. corresponde al auditorio central. Fuente: Autora.	30
Figura 7. Salón 202 de la sede José Acevedo y Gómez de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Fuente: Autora.....	31
Figura 8. Plano auditorio sede José Acevedo y Gómez de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Fuente: Elaboración propia.	35
Figura 9. Mediciones realizadas con el anemómetro en el auditorio de la sede José Acevedo y Gómez de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Fuente: Autora.....	35
Figura 10. Plano del salón 201 sede José Acevedo y Gómez de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Fuente: Elaboración propia.	38
Figura 11. Tabla de niveles de CO_2 como indicador de riesgo de infección. Fuente: Twitter @MA_Campano. https://twitter.com/MA_Campano/status/1422612283453214721?s=20	40
Figura 12. Datos del monitoreo de $\text{PM}_{2.5}$ realizado con el sensor CanAirIO como estación fija desde el 25 de junio de 2021 al 31 de Julio de 2021. Fuente: CanAirIO - InfluxDB. http://influxdb.canair.io:8000/d/2SZaWrwdz/canairio_bog_unad_jag?orgId=1&from=1624473305168&to=1625139035286&kiosk=tv	41
Figura 13. Datos del monitoreo de $\text{PM}_{2.5}$ realizado con el sensor CanAirIO como estación fija desde el 25 de junio de 2021 al 28 de junio de 2021. Fuente: CanAirIO - InfluxDB. http://influxdb.canair.io:8000/d/2SZaWrwdz/canairio_bog_unad_jag?orgId=1&from=1624473305168&to=1625139035286&kiosk=tv	41
Figura 14. Imagen del análisis DOFA de la implementación de la estrategia de prevención y mitigación de contagio de la COVID-19 en la sede José Acevedo y Gómez de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Fuente: Autora.	45

Índice de Tablas:

Tabla 1. Efectos en la salud asociados a la exposición a contaminantes criterio de contaminación. Fuente: Plan Decenal de Descontaminación del Aire para Bogotá atmosférica. 2010-2020 de la Secretaría Distrital de Ambiente.	14
Tabla 2 Normatividad vigente aplicada al proyecto de investigación.	26
Tabla 3. Valores registrados con el anemómetro en las nueve ventanas del auditorio sede JAG de la UNAD.	36
Tabla 4. Valores promedio registrados con el sensor Aranet de los niveles CO ₂ en el auditorio sede JAG de la UNAD. Registrados desde las 10:40am hasta las 11:33am:	36

Introducción

La salud ambiental cada día cobra más relevancia debido a que se ha evidenciado que todo está conectado, lo que aparentemente afecta solamente un área o grupo en específico repercute en un amplio espectro incluso planetario como se ha vivido en los últimos dos años la pandemia generada por la COVID-19. Así mismo, podemos observar que eventos que ocurren a kilómetros de distancia de las ciudades como lo son los incendios forestales tienen también una repercusión en la calidad del aire que respiramos.

Si juntamos estas dos variables y vemos que actualmente estamos enfrentando una crisis ambiental, social y económica como humanidad, se hace necesario reflexionar sobre nuestro accionar cotidiano que en últimas también repercute sobre nuestra propia salud. Así pues, si pensamos en la importancia que tienen los elementos naturales como el agua y la tierra para una salud óptima y una buena calidad de vida; el aire, un elemento en el cual no se había generado mayor relevancia hoy cobra un sentido prioritario debido a que podemos estar sin agua y alimento algunos días, pero sin aire ni siquiera dos minutos.

De ahí que este proyecto aplicado busca analizar la cantidad de material particulado $PM_{2.5}$ y la tasa de ventilación (CO_2) de dos áreas de la UNAD sede José Acevedo y Gómez, por medio del uso de recursos tecnológicos de bajo costo basados en un ejercicio de ciencia ciudadana, realizando un registro de la concentración de exposición del material particulado $PM_{2.5}$, calculando además la tasa de ventilación por medio de la medición del comportamiento de la concentración del CO_2 generado en dos áreas específicas de la sede JAG de la UNAD; resultados que podrán dar recomendaciones con los cuales se podrán plantear estrategias de autocuidado y mitigación de contagio por COVID-19. Estos resultados serán entregados para la divulgación de toda la comunidad educativa por medio de una infografía y un video para empoderar a la comunidad Unadista con relación al conocimiento del aire que respira.

Problema

Descripción del Problema

La mala calidad del aire es considerada la principal causa de riesgo ambiental en el mundo, y si esta condición se suma a las enfermedades respiratorias agudas como lo es hoy la COVID-19; cobra relevancia el conocer cómo es la calidad del aire en relación al material particulado $PM_{2.5}$ que se respira en la comunidad educativa de la sede JAG de la UNAD, teniendo en cuenta que su ubicación está en medio de dos vías principales donde hay un alto tráfico vehicular; así como conocer la calidad de ventilación en dos espacios para determinar el nivel de riesgo de contagio por COVID-19, dado que se está retornando a la presencialidad.

Planteamiento del problema

La mala calidad del aire es un problema transfronterizo a nivel global (Vohra et al., 2021) que en los últimos años ha venido cobrando mayor importancia en Colombia debido a las implicaciones fiscales, principalmente en salud pública. De acuerdo al estudio del Departamento Nacional de Planeación (DNP) de 2015: la contaminación del aire urbano generó \$15,4 billones de pesos en pérdidas (1,93% del PIB de 2015) asociados a 10.527 muertes y 67,8 millones de personas con alguna clase de morbilidad (DNP, 2017). La mortalidad y morbilidad por mala calidad del aire en Colombia se ha relacionado especialmente con el $PM_{2.5}$, contaminante asociado con “*enfermedades respiratorias, cáncer pulmonar, silicosis y afectaciones del sistema cardiovascular, entre otras*” (Rodríguez-Camargo et al., 2020) por su capacidad de penetrar profundamente en el sistema respiratorio y su posibilidad de contener sustancias nocivas. Así mismo, vale agregar que este no es un problema puntual y aislado del 2015 (Gómez et al., 2020), según el Observatorio Nacional de Salud: “*Por exposición a aire y agua de mala calidad ocurren cada año en Colombia 17.549 muertes, es decir el 8% del total de la mortalidad anual en Colombia*” (INS, 2019).

De acuerdo con el Plan Decenal de Descontaminación del Aire para Bogotá 2010-2020, uno de los contaminantes atmosféricos que mayor efecto tiene sobre la salud humana es el material particulado, en especial el de diámetro aerodinámico menor a 2.5 micras o PM_{2.5} debido a sus efectos agudos y crónicos en salud (Tabla 1). Para el año 2018 según el *Inventario de emisiones de Bogotá, Contaminantes atmosféricos* (Secretaría Distrital de Ambiente, 2018), el consolidado de emisión de este contaminante por fuentes móviles en carretera es de 1.676 Toneladas/año.

Contaminante	Efectos agudos	Generalidades
Material particulado	<ul style="list-style-type: none"> • Puede agravar la enfermedad pulmonar. • Bronquitis aguda. • Ataque de asma. • Aumento de la susceptibilidad a sufrir infecciones respiratorias. • En población sensible ataques cardiacos y arritmia. 	<p>El material particulado entre 5-50 µm es retenido por la nariz y la faringe.</p> <p>Las partículas de 1 a 5 µm ingresan a la región bronquial.</p> <p>Los alveolos son afectados por partículas de diámetro menor de 0.5 µm. Partículas menores a 0.05 µm son exhaladas.</p> <p>Las partículas pueden llegar al torrente sanguíneo y causar problemas cardiovasculares</p>
	<p style="text-align: center;">Efectos crónicos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reducción de la función pulmonar. • Desarrollo de la bronquitis crónica. • Suele asociarse con el desarrollo de cáncer pulmonar. • Muerte prematura. 	

Tabla 1. Efectos en la salud asociados a la exposición a contaminantes criterio de contaminación. Fuente: Plan Decenal de Descontaminación del Aire para Bogotá atmosférica. 2010-2020 de la Secretaria Distrital de Ambiente.

Los estudios como el de Chocontá, (2018), Rodríguez-Camargo et al., (2020), y otros como el de Giraldo-grueso et al., (2017), indican que: “el PM_{2.5} es capaz de viajar por la vía aérea, depositarse en los alvéolos y llegar al torrente sanguíneo a través de los capilares pulmonares, en donde son fagocitadas por monocitos, generando inflamación local y estrés oxidativo, por la acción de IL6, IL8, TNF e IF_γ. Estas sustancias viajan a través de la sangre y crean estados de hipercoagulabilidad, respuesta inflamatoria vascular y aumento el riesgo de eventos cardiovasculares”.

Actualmente, este problema agudiza una de las situaciones de salud pública más preocupantes a nivel global, la pandemia por el SARS-CoV-2. De acuerdo a estudios realizados en Harvard TH Chan School of Public Health de Boston “*la exposición prolongada a la contaminación del aire aumenta la vulnerabilidad a los resultados más graves del COVID-19*” (Xiao, 2020). Esto, sin considerar la estrecha relación entre la variabilidad climática y la morbimortalidad por enfermedades cardiopulmonares principalmente en personas con enfermedades preexistentes (Chocontá, 2018). Una persona con condiciones de preexistencia cardiopulmonar estando en un espacio intramural (v.g., aula de clase) de baja ventilación presenta un mayor riesgo de muerte por COVID-19, así como también lo estaría en un ambiente de alta ventilación y exposición a altas concentraciones de $PM_{2.5}$.

Así pues, el recurso aire incide directamente en la salud de los seres humanos, encontrándose estos en riesgo debido a la contaminación por $PM_{2.5}$ y actualmente por la pandemia de la COVID-19. Este último contexto representa una creciente urgencia en conocer cómo está la ventilación, debido a la reapertura de los espacios educativos donde “los niveles de CO_2 recomendados para ambientes escolares por la organización Aireamos, que integran distintas universidades de España y Estados Unidos, deben estar en menos de 700 partes por millón (ppm)” (González, 2021). Así las cosas, es imprescindible el análisis de los niveles de CO_2 y $PM_{2.5}$ como parte de la estrategia de prevención de la COVID-19 en la comunidad académica de la UNAD.

Considerando lo anterior, y en miras al retorno de la presencialidad en la sede JAG de la UNAD el presente proyecto busca responder a la pregunta: ¿los niveles de $PM_{2.5}$ y tasas de cambio de CO_2 obtenidos en los espacios de análisis de la sede JAG de la UNAD son adecuados para un regreso seguro en un contexto de pandemia por el COVID-19?

Justificación

Para dar respuesta a la pregunta problema se pondrá al servicio de la comunidad educativa de la UNAD sensores de bajo costo que miden en tiempo real los niveles de PM_{2.5}, así como la cantidad de CO₂. Esto, con el fin de estimar el nivel de la contaminación intramural y de la ventilación. Los datos que se obtendrán de estas dos mediciones servirán para informar y educar respecto a la importancia que tiene la calidad del aire y la ventilación en espacios cerrados por medio de un esquema de comunicación práctico, sobre todo, considerando el regreso presencial bajo un escenario donde se debe considerar la mala calidad del aire de Bogotá y las tendencias de nuevos contagios por COVID-19. En otras palabras, un escenario donde se puede presentar una sinergia de impactos negativos. Como establece Lanchipa-Ale et al., (2020): *“la contaminación del aire es un factor de riesgo por ser un agente que coopera con la infección respiratoria COVID-19, debido al traslado de microorganismos que arremeten sobre el sistema inmune de la persona, convirtiéndose más débil al ataque de diversos patógenos, ... además existen reportes que el COVID-19 puede mantenerse en aerosoles por varias horas”*. Según Wu et al. (2020) *“un aumento en 1.0 µg/m³ de concentraciones de PM_{2.5} resultó en un aumento del 8% en la tasa de mortalidad por COVID-19 en los Estados Unidos”*.

Según Giraldo-grueso et al., (2017) Bogotá es una de las ciudades más contaminadas del mundo por PM_{2.5} (~24 y 145 µg/m³ a lo largo del día) (Figura 1).

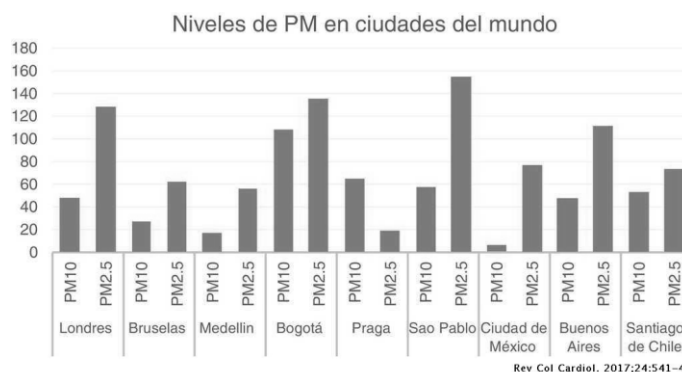


Figura 1 Niveles de contaminación en ciudades del mundo medidos en µg/m³. Fuente: Giraldo-grueso et al., (2017)

Aspecto crítico considerando que Bogotá ha presentado aproximadamente el 29,6 % de los casos reportados en Colombia de COVID-19 según el Observatorio de Salud de Bogotá, (2021). Dado lo anterior, es imperativo implementar tecnologías de bajo costo como herramienta asequible para la toma de decisiones. La aplicación de este proyecto permitirá a la comunidad Unadista tener información de valor para el autocuidado en relación con el aire que respira. Lo anterior va en concordancia a los Lineamientos para una Política de Ciencia Abierta en Colombia, en la cual la *“Ciencia ciudadana: hace referencia al diálogo efectivo entre investigadores y otras comunidades en la generación y el uso del conocimiento. Este componente está íntimamente relacionado con la política y estrategia de apropiación del conocimiento”* (Colciencias, 2018). *“... la ciudadanía es cada día más consciente de temáticas como el medio ambiente y se convierten en un mecanismo de presión”* (Defelipe, 2018). Es por ello por lo que este proyecto permitirá sugerir medidas con el fin de promover el derecho a un ambiente sano y por conexidad el derecho fundamental de la vida en la comunidad Unadista.

Es de vital importancia tener en cuenta que la calidad del aire de un espacio depende de diferentes factores según el tipo y fuente de emisión en donde ahora se suma además como consecuencia de la COVID-19 los índices de ventilación.

En un estudio realizado por Mendez-Espinosa et al., (2020) realizado entre los meses de febrero a junio de 2020 en las ciudades de Bogotá y Medellín, se evidenció que hubo una reducción del material particulado $PM_{2.5}$ entre el 40% durante el encierro estricto y 69% durante el encierro relajado durante el confinamiento estricto y relajado por la pandemia por COVID-19. Sin embargo, la reducción de este contaminante hubiese sido mayor de no ser por los incendios forestales que se presentaron durante los meses de febrero y marzo en la región de la Orinoquía-

Amazonía, ya que este factor de emisión incrementa los índices de contaminantes atmosféricos entre esos el material particulado $PM_{2.5}$.

Considerando lo anterior, también es necesario destacar diferentes entidades entre las que está la Organización Panamericana de la Salud que afirman que la calidad del aire es un factor de riesgo para enfermedades respiratorias y cardiovasculares que se relacionan con la COVID-19. Así mismo, el Ministerio de Salud en su boletín de prensa 547 de 2021 afirma que es fundamental renovar el aire para lograr evitar cualquier enfermedad o infección respiratoria como lo es la COVID-19.

Con base a todo lo expuesto, presente proyecto busca aportar al entendimiento del problema de la calidad del aire y en la prevención de contagio de la COVID-19 en la comunidad Unadista de la sede JAG.

Objetivos

Objetivo general

Analizar la cantidad de material particulado $PM_{2.5}$ y la calidad de ventilación (CO_2) de dos áreas de la UNAD sede José Acevedo y Gómez a partir de la ciencia ciudadana con tecnologías de bajo costo, como estrategia de autocuidado para evitar el contagio por Covid-19.

Objetivos específicos

Registrar los datos de la concentración de exposición del material particulado $PM_{2.5}$, por medio de un sensor de bajo costo en la sede JAG de la UNAD.

Calcular la tasa de ventilación por medio de la medición del comportamiento de la concentración del CO_2 generado en dos áreas específicas de la sede JAG de la UNAD, para plantear estrategias de mitigación de contagio por COVID-19.

Mostrar de manera lúdica (infografía y video) los resultados del análisis, resaltando la importancia de la ciencia ciudadana y los datos abiertos para empoderar a la comunidad Unadista con relación al conocimiento del aire que respira.

Marco de Referencia

Marco conceptual

Aerosol: Suspensión de partículas sólidas o líquidas presentes en el aire, de tamaño comprendido entre unos pocos nanómetros y $10\mu m$, que permanecen en la atmósfera durante varias horas o más (Stocker et al., 2013).

Ciencia Ciudadana: Es el involucramiento del público no académico en procesos de investigación científica, ya sea investigación impulsada por la comunidad o investigaciones globales (citizenscience.org). Los ciudadanos también realizan trabajo científico –con frecuencia trabajando junto con expertos o instituciones científicas–, apoyan en la recolección, análisis o descripción de datos de investigación y con ello realizan una valiosa contribución a la ciencia (Bezjak et al., 2019). Este proyecto, además de incluir herramientas promovidas desde la ciudadanía (<https://canair.io/es/>), busca resaltar la importancia de la ciencia ciudadana y los datos abiertos para empoderar la comunidad Unadista respecto al aire que inhala.

Contaminación Atmosférica: Es el fenómeno de acumulación o de concentración de contaminantes en el aire (SISAIRE, 2021).

Contaminantes: Fenómenos físicos o sustancias, o elementos en estado sólido, líquido o gaseoso, causantes de efectos adversos en el medio ambiente, los recursos naturales renovables y la salud humana que, solos o en combinación, o como productos de reacción, se emiten al aire como resultado de actividades humanas, de causas naturales, o de una combinación de estas (SISAIRE, 2021).

CO₂ (dióxido de carbono): Es un gas inodoro, incoloro, es más denso que el aire y puede acumularse en las zonas más bajas, produciendo una deficiencia de oxígeno; este gas se encuentra en forma natural en la atmósfera producto de la respiración celular y como

consecuencia de la quema de combustibles fósiles, principalmente. Al ser un producto de la respiración de las personas es razonable encontrarlo en altas concentraciones en áreas donde hay personas aglomeradas y con escasa ventilación (Niño, 2021). “Se considera que la ventilación es adecuada cuando el nivel de CO₂ se mantiene por debajo de 700 ppm. Se ha establecido un valor de 800-1000 ppm como umbral a no superar.” (Gobierno Vasco, n.d.)

Emisión: Descarga de una sustancia o elemento al aire, en estado sólido, líquido o gaseoso, o en alguna combinación de estos, provenientes de una fuente fija o móvil (SISAIRE, 2021).

Exposición: Contacto con un agente infeccioso o un factor de riesgo que puede causar una enfermedad. La exposición tiene dos dimensiones: el grado o nivel, y la duración (OPS, 2020).

Fuente de emisión: Actividad, proceso u operación, realizado por los seres humanos, o con su intervención, susceptible de emitir contaminantes al aire (SISAIRE, 2021).

Fuente móvil: Es la fuente de emisión que, por razón de su uso o propósito, es susceptible de desplazarse, como los automotores o vehículos de transporte a motor de cualquier naturaleza (SISAIRE, 2021).

Inmisión: Transferencia de contaminantes de la atmósfera a un "receptor". Se entiende por inmisión a la acción opuesta a la emisión. Aire inmiscible es el aire respirable a nivel de la troposfera (SISAIRE, 2021).

Norma de Calidad del Aire o Nivel de Inmisión: Es el nivel de concentración legalmente permisible de sustancias o fenómenos contaminantes presentes en el aire, establecido por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, con el fin de preservar la buena calidad del medio ambiente, los recursos naturales renovables y la salud humana (SISAIRE, 2021).

PM_{2.5} (Material Particulado fino): Material particulado con un diámetro aerodinámico

menor o igual a 2,5 micrómetros nominales (SISAIRE, 2021).

Riesgo para la salud: probabilidad de una población de experimentar un efecto adverso o daño en un período determinado (OPS, 2020).

SARS-CoV-2: es el nombre oficial del coronavirus que se ha descubierto recientemente. Las siglas significan “Coronavirus Síndrome Respiratorio Agudo Severo 2” (James, 2020).

Marco Teórico

Sensores de bajo costo

La medición de $PM_{2.5}$ con sensores de bajo costo en Colombia inició con el Sistema de Alerta Temprana del valle de Aburrá (SIATA), y el programa Ciudadanos Científicos en donde de manera local se integraron la ciencia, la educación y la tecnología. Programa que fue financiado por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, iniciando en 2015, en el cual ciudadanos de forma voluntaria abrieron las puertas de sus casas y sitios de trabajo para “*instalar una nube que es un sensor de bajo costo para la medición de la calidad aire, que permite obtener datos puntuales, minuto a minuto, de temperatura, humedad y $PM_{2.5}$* ” (Metropol, 2021).

Actualmente hay más de 250 sensores monitoreando y reportando a través del sitio web:

https://siata.gov.co/siata_nuevo/

A diferencia de Medellín en donde la entidad ambiental financió y mantiene esta red, en Bogotá nació un ejercicio similar en 2017, en cabeza del ciudadano Daniel Bernal Bolaños, activista ambiental y que con conocimientos en ingeniería electrónica comenzó a medir en estaciones de Transmilenio, dentro y fuera de ellas, evidenciando la gran cantidad de $PM_{2.5}$ que se generaba dentro de las estaciones y los buses de la flota antigua a través de la red social Twitter (@danielbernalb) y despertando así la curiosidad e inquietudes en personas de diferentes edades.

Esto hizo que en 2018 por medio del programa Zona Franca se diera mayor relevancia a este tema, encontrando así personas interesadas en el mismo ejercicio de ciencia ciudadana, entre los cuales está el ingeniero de sistemas Antonio Vanegas, desarrollador de software y abanderado de los datos libres y abiertos, dando origen a la iniciativa CanAirIO, red ciudadana para el monitoreo de contaminantes atmosféricos (como el $PM_{2.5}$) con sensores de bajo costo. Logrando así que la actual administración tenga como línea de acción “La integración de iniciativas de ciencia ciudadana” (Secretaría Distrital de Ambiente, 2020), permitiendo así que estos datos sean tenidos en cuenta. Desde entonces, estas acciones complementarias de monitoreo han permitido informar y enriquecer a la comunidad en conocimientos acerca de la calidad del aire y sus diversas afectaciones (Cremades et al., 2013). Adicionalmente, CanAirIO actualmente cuenta con sensores de bajo costo para el monitoreo de CO_2 , con los cuales se estima indicativamente el nivel de ventilación de lugar, con el fin de evitar el incremento del riesgo de contagio por COVID-19, ya que, “al transmitirse por vía aérea, el riesgo de transmisión del virus depende de las dinámicas de ventilación de cada lugar” (Correa, 2021).

Por lo tanto, se propone la puesta en marcha del sensor de bajo costo CanAirIO (<https://canair.io/>) para medir las concentraciones de $PM_{2.5}$ en la sede JAG, para así estimar la calidad del aire en el área de estudio considerando su cercanía a fuentes móviles (principalmente impulsadas por combustible diésel) que circulan en las dos vías aledañas a la sede: la Avenida NQS y Av. Carrera 30. Esta cercanía puede llegar a afectar la calidad del aire de la comunidad educativa, principalmente del personal de vigilancia que se encuentra permanentemente expuesto. Los datos de este monitoreo se aportarían al ejercicio de la Red Ciudadana para Monitoreo de Calidad del Aire CanAirIO, cuya iniciativa enfocada en los datos abiertos se encuentra vinculada a los servicios tecnológicos de la Nube Europea de Ciencia Abierta (EOSC en sus siglas en inglés), en el marco del proyecto Cos4Cloud del cual hace parte Trébola.

COVID-19 y sus medios de transmisión

De acuerdo con los estudios de diversos científicos publicados en “FAQs on Protecting Yourself from COVID-19 Aerosol Transmission”

(https://docs.google.com/document/d/1fB5pysccOHvxphpTmCG_TGdytavMmc1cUumn8m0pwzo/edit) (Mar et al., 2021). El virus de la Covid-19 (SARS-Cov-2), se transmite principalmente de tres maneras:

1. Aerosoles, que son partículas de saliva con un tamaño inferior a 100 μm aproximadamente (1 μm equivalente a una millonésima de metro). Por lo que pueden permanecer desde segundo hasta horas en el aire, así como viajar largas distancias, entrando por las vías respiratorias.
2. Por gotas grandes o “gota balística o proyectil”. de un tamaño mayor a 100 μm aproximadamente, que son expulsadas al momento de estornudar, toser y, en menor grado, al hablar; pueden entrar en contacto con la boca, las fosas nasales o los ojos.
3. Por contacto con elementos contaminados por el virus como manijas, interruptores u otra superficie que, al entrar luego en contacto con la boca, las fosas nasales o los ojos, puede dar paso a la infección.

El anterior argumento es apoyado por la OMS en su documento Transmisión del SARS-CoV-2: repercusiones sobre las precauciones en materia de prevención de infecciones, indica que el contagio de SARS-CoV-2 puede darse a través de aerosoles, es decir mediante el aire exhalado que contiene elementos microscópicos y su evaporación que puede durar por tiempos prolongados y viajar por largas distancias.

Ya que al estar a menos de 1 metro con una persona infectada se expone a que las gotículas que expulsa al hablar, toser y estornudar dejan el virus en el aire, lo que implica que éste entrará por la nariz, la boca o los ojos de otras personas. Además, en este mismo documento la OMS

afirma que, en conjunto con la comunidad científica, *“ha analizado y valorado activamente la cuestión de si el SARS-CoV-2 también puede propagarse a través de aerosoles en los casos en los que no se realicen técnicas en las que se produzcan aerosoles, especialmente en entornos cerrados con mala ventilación”* (Organización Mundial de la Salud, 2020).

La comorbilidad por mala calidad del aire

Estudios como “Peaks of Fine Particulate Matter May Modulate the Spreading and Virulence of COVID-19” de (Rohrer et al., 2020) demuestra la relación que existe entre la contaminación del aire por material particulado (PM_{2.5}) y el aumento de contagio de la Covid-19. Así las cosas, se hace pertinente que la medición de PM_{2.5} y la medición de CO₂ sean una herramienta para la toma de decisiones en la UNAD sede JAG en cuanto a la seguridad en materia de calidad del aire en la institución; ejercicio que permite fortalecer la ciencia abierta de la UNESCO dado que ésta pone a disposición “los resultados de la investigación para elaborar síntesis, revisiones, análisis pertinentes para la toma de decisiones” tal como lo enuncia (Ramírez & Samoilovich, 2018)

Así mismo, en el estudio de (Xiao, 2020) se evidenciaron las relaciones entre las pandemias pasadas y la exposición a la mala calidad del aire, encontrando entre otros, estudios anteriores como el de “Posibles explicaciones de por qué algunos los países fueron más afectados por la pandemia virus de la influenza en 2009” de (Morales et al., 2017) en el que se indican que la exposición a material particulado se asocia a la mortalidad de la pandemia de influenza H1N1 en 2009.

Mostrando así potencial biológico que pueden inducir la relación que existe entre las enfermedades virales y la contaminación del aire; especialmente si se asocia a las comorbilidades cardiovasculares y respiratorias, se evidencia que aumentan considerablemente el riesgo de muerte en pacientes con COVID-19 por la inflamación y daño celular. Como lo señala también

(Peel. et.al., 2006) “la contaminación del aire se asocia con una variabilidad reducida de la frecuencia cardíaca, aumento de los niveles de proteína C reactiva, aumento de los niveles de fibrinógeno, aumento de los niveles inflamatorios” entre otros.

Marco Normativo

A continuación, se incluye la normatividad aplicada al presente proyecto de investigación:

Tabla 2 Normatividad vigente aplicada al proyecto de investigación.

Norma	Título	Relación
Resolución 610 de 2006 Ministerio de Ambiente	Por la cual se modifica la Resolución 601 del 4 de abril de 2006.	Se tienen los conceptos base de calidad del aire y se verifican los valores máximos permisibles de contaminantes criterio.
Resolución 2254 de 2017 Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Por la cual se adopta la norma de calidad del aire ambiente y se dictan otras disposiciones.	Permite evidenciar los niveles máximos permisibles de contaminantes del aire, específicamente del material particulado PM _{2.5}
Circular conjunta No. 11, del 9 de marzo de 2020 Ministerio de Salud y Ministerio de Educación	Recomendaciones para prevención, manejo y control de la infección respiratoria aguda por el nuevo coronavirus (COVID- 19), e invitan a la comunidad educativa a continuar la normalidad académica.	Protocolos para el retorno a la presencialidad por parte de las instituciones educativas
Decreto 417 de 2020	Por el cual se declara un Estado de Emergencia Económica, Social y Ecológica en todo el territorio Nacional	Se identifica el coronavirus COVID-19 y se declara el virus como emergencia de salud pública de importancia internacional
Resolución 666 de 2020 Ministerio de Salud y Protección Social	Por medio de la cual se adopta el protocolo general de bioseguridad para mitigar, controlar y realizar el adecuado manejo de la pandemia del Coronavirus COVID-19.	Principalmente las que tienen que ver con la ventilación de los espacios.

Resolución 777 de 2021 Ministerio de Salud y Protección Social	Por medio de la cual se definen los criterios y condiciones para el desarrollo de las actividades económicas, sociales y del Estado y se adopta el protocolo de bioseguridad para la ejecución de estas.	Indicación del retorno a la presencialidad de todas las actividades económicas y sociales.
Resolución 223 de 2021 Ministerio de Salud y Protección Social	Por medio de la cual se modifica la Resolución 666 de 2020 en el sentido de sustituir su anexo técnico	Anexo técnico en lo referente al punto 3. Medidas de bioseguridad, específicamente las del ítem 3.5. Adecuada ventilación.
NTC 5183: Norma Técnica Colombiana	En la cual especifican “las tasas máximas de ventilación y calidad del aire interior, aceptable para los ocupantes humanos, al tiempo que pretende minimizar la posibilidad de efectos adversos para la salud”. (ICONTEC, 2003)	Permite verificar la tasa de ventilación esperada según la carga esperada de ocupación en espacios específicos. Tabla 2 – 2.2 Aire requerido para la ventilación de instalaciones institucionales

Fuente: Elaboración propia.

Metodología

Se hará uso de un sensor de bajo costo CanAirIO para obtener indicativamente el nivel de $PM_{2.5}$ antes, durante y después de las pruebas de ventilación que se realizarán con un sensor de CO_2 CanAirIO y Aranet.

Estas pruebas se realizarán en dos espacios: (1.) auditorio central, donde se utilizará un anemómetro portátil para estimar la velocidad del viento e inferir las tasas de cambio de aire. (2.) salón de clase, donde se inducirá CO_2 a partir de una fuente de combustión controlada y posteriormente, a partir de un sensor CanAirIO y Aranet, se analizará su dilución en el tiempo considerando diferentes escenarios de ventilación.

A partir de la información analizada se plantea crear una infografía y un video con el fin de promover la importancia de la ciencia ciudadana como parte de la estrategia de regreso seguro ante la COVID-19.

Área general de estudio.

El estudio se desarrollará en la sede José Acevedo y Gómez de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia, ubicada al sur oriente de Bogotá, en el límite de la localidad 16 – Puente Aranda, UPZ41-Barrio Sena, entre la Autopista Sur – Avenida NQS y la Avenida Carrera 30. Estas dos avenidas principales de la ciudad tienen un alto tráfico vehicular, por lo tanto, son influenciadas por fuentes de emisión atmosférica que funcionan a partir de combustibles fósiles (gasolina, ACPM, diésel, gas natural).



Figura 2. Ubicación en del área de estudio de la sede José Acevedo y Gómez de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Fuente: Google Maps. Recuperado 30/08/2021

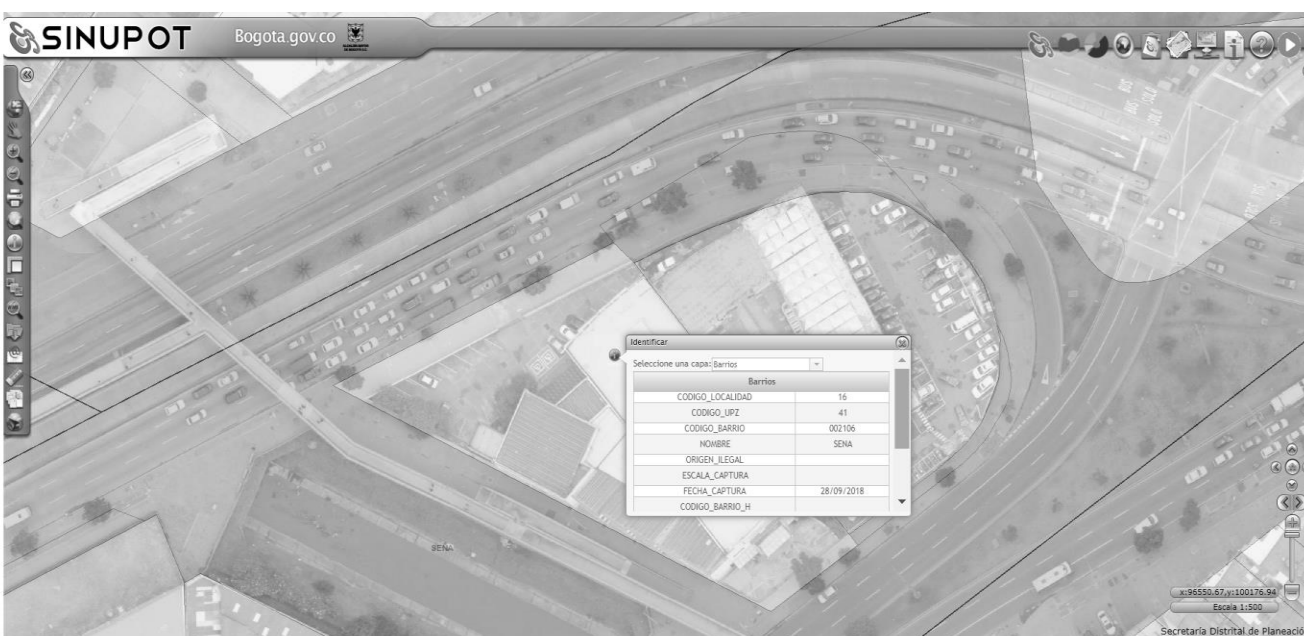


Figura 3. Ubicación en del área de estudio de la sede José Acevedo y Gómez de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Zonificación DNP. Fuente: SINUPOT. Recuperado 30/08/2021



Figura 4. Panorama general de la inmediación occidental de la sede José Acevedo y Gómez de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Fuente: Autora.

Área específica de estudio.

1. Auditorio central, espacio ubicado en el segundo piso de la sede con un área total de 525m^3 , con un total de nueve (9) ventanas de 30cm de ancho por 105cm de alto, que tienen la posibilidad de abrirse hacia el exterior.



Figura 5. Costado occidental José Acevedo y Gómez de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia, el segundo piso de la Figura 6. corresponde al auditorio central. Fuente: Autora.

2. Salón de clase, espacio ubicado en el segundo piso de la sede con un área total de 85m^3 , con una (1) ventana de 60cm de ancho x 135cm de alto que tiene la posibilidad de abrirse para recibir aire del exterior.



Figura 7. Salón 202 de la sede José Acevedo y Gómez de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Fuente: Autora.

Estimación del nivel de ventilación.

Los puntos escogidos corresponden a lugares que comúnmente tienen aforos numerosos en condiciones normales (antes de pandemia), por lo que se presume que al reactivarse las actividades presenciales es probable que estos lugares nuevamente cuenten con un flujo considerable de personas. En ese sentido se busca verificar los niveles de ventilación utilizando sensores de bajo costo a partir de diferentes posibilidades:

(a.) En el auditorio, realizando medición con un anemómetro para determinar la velocidad del viento que entra por las ventanas que se pueden abrir, y así mismo ver si esta ventilación exterior incide en la tasa de recambio del aire. No se realizará inducción de CO_2 debido a que el área es muy grande y por tanto llenar el auditorio de este gas tardaría muchas horas, se utiliza además un metro laser para calcular el área del auditorio;

(b.) En un salón de clases, donde se inducirá CO_2 a partir de una fuente de combustión controlada y posteriormente, a partir de varios sensores de CO_2 marca Aranet y CanAirIO (Ref. SenseAir S8) un filtro de aire de material particulado, se mide además el área del salón con un

metro laser. Se analizará la dilución del aire en el tiempo considerando diferentes escenarios de ventilación:

- Abriendo la puerta, teniendo prendido el filtro de aire de material particulado.
- Abriendo la puerta ya la ventana, teniendo prendido el filtro de aire de material particulado.
- Abriendo puerta y ventana, sin tener el filtro prendido.

Basados en la Guía de 5 pasos para medir la tasa de renovación de aire en aulas (Allen et al., 2020) se establece que: “la tasa de disminución de la concentración de CO₂ se puede usar para estimar cómo de rápido el aire del exterior (a aproximadamente 400 ppm de CO₂) reemplaza el volumen de aire interior”.

Utilizando la tasa de suministro de aire limpio o tasa de renovación, se calcula la ventilación de la siguiente manera:

Ecuación para obtener las renovaciones de aire por hora según la Guía en 5 pasos (Anexo 1) para medir la tasa de renovación de aire en aulas. (Allen et al., 2020)

Se aplican dos fórmulas, la de estado estable busca determinar la concentración de CO₂ con el espacio ocupado (con personas en su interior), en el cual se deben conocer el área del lugar así como su ocupación, y por medio de los monitores de bajo costo se calcula la concentración de CO₂ en el aula para condiciones estables. Por otro lado, la fórmula para determinar la tasa de renovación de aire (ACH), el experimento se realiza generando una emisión que aumentará la concentración de CO₂ del espacio (en este caso la combustión de alcohol) para luego medir la velocidad de disminución de la concentración de CO₂ según las variables de ventilación del lugar.

Para el salón auditorio – Estado estable:

$$C_{steady-state} = \frac{\text{Generación de } CO_2 + \text{objetivo flujo aire exterior} * \text{conc } CO_2 \text{ exterior} * 1 * 10^{-6}}{\text{objetivo flujo aire exterior} * 1 * 10^{-6}}$$

Para el salón pequeño:

$$ACH = \frac{-1 * \ln \left(\frac{C_{fin} - C_{ambiente}}{C_{inicio} - C_{ambiente}} \right)}{t_{fin} - t_{inicio}}$$

Con los resultados obtenidos se pasará a comparar con el objetivo que haya al menos 5 renovaciones de aire por hora debido a que un número inferior a este representa una baja calidad de ventilación.

Monitoreo del PM_{2.5} por medio del sensor de bajo costo.

Teniendo en cuenta la Resolución 2254 de 2017 (MinAmbiente, 2017) en la cual se establece la norma de calidad del aire, y las directrices de la Organización Mundial de la Salud (WHO, 2005) se considerara para este ejercicio los límites diarios máximos permisibles de exposición de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, para el material particulado PM_{2.5}. Estos límites serán comparados con los datos registrados mediante el uso de un sensor de bajo costo de la iniciativa CanAirIO (Ref. Sensirion SPS30, que incluye además sensor de humedad y temperatura), antes, durante y después de la medición de CO₂.

También se dejará instalado otro sensor de la misma referencia que quedará transmitiendo en tiempo real; vinculado a la red ciudadana de monitoreo de calidad del aire de Bogotá durante un mes, para así visibilizar los datos del contaminante en esta sede, datos que se verán reflejados en tiempo real a través de la web:

http://influxdb.canair.io:8000/d/2SZaWrwdz/canairio_bog_unad_jag?orgId=1&refresh=30s&search=open&folder=current, la recolección de los datos de este periodo de tiempo permitirá realizar un análisis descriptivo de los resultados.

Considerando la ubicación en la cual se encuentra la sede y los resultados que se recojan de estas mediciones se podrá establecer además del riesgo por COVID-19, si existe riesgos a la

salud por la mala calidad del aire; teniendo además un filtro purificador de aire marca Nikken referencia KenkoAir, con el cual se evidenciará si hay cambios respecto a los valores de material particulado $PM_{2.5}$ durante las mediciones de CO_2 . De este modo se podrán correlacionar la calidad del aire en términos de material particulado $PM_{2.5}$ con los riesgos de contagio de cualquier infección respiratoria como es la COVID-19 en relación con la ventilación de los espacios.

Promoción de la ciencia ciudadana como estrategia de prevención de la COVID-19.

Con la información obtenida y el análisis de los datos de ambos experimentos se desarrolló una infografía y un video de autocuidado, que contiene los resultados relevantes que permitan empoderar a la comunidad educativa Unadista en el conocimiento del aire que respira, resaltando la importancia de la ciencia ciudadana y los datos abiertos.

Entre los datos destacados de la infografía y video se encuentran:

1. Conceptos claves de calidad del aire fundamentales del estudio: material particulado ($PM_{2.5}$).
2. Fuentes de emisión que contaminantes a los que están expuestas las personas que estén en la sede José Acevedo y Gómez de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia.
3. Riesgos a la salud que tienen los índices elevados de material particulado $PM_{2.5}$.
4. Situación de riesgo de contagio de Enfermedades Respiratorias Agudas como la COVID-19, para las personas que tienen alguna comorbilidad asociada a enfermedades cardiovasculares y respiratorias.
5. Valores máximos permitidos de las concentraciones de mediciones de CO_2 en espacios cerrados.
6. Recomendaciones de mitigación de impactos producidos por la mala calidad del aire
7. Medidas de prevención del riesgo de contagio por COVID-19 como herramienta de autocuidado.

Resultados

Estimación del nivel de ventilación espacio 1: Auditorio.

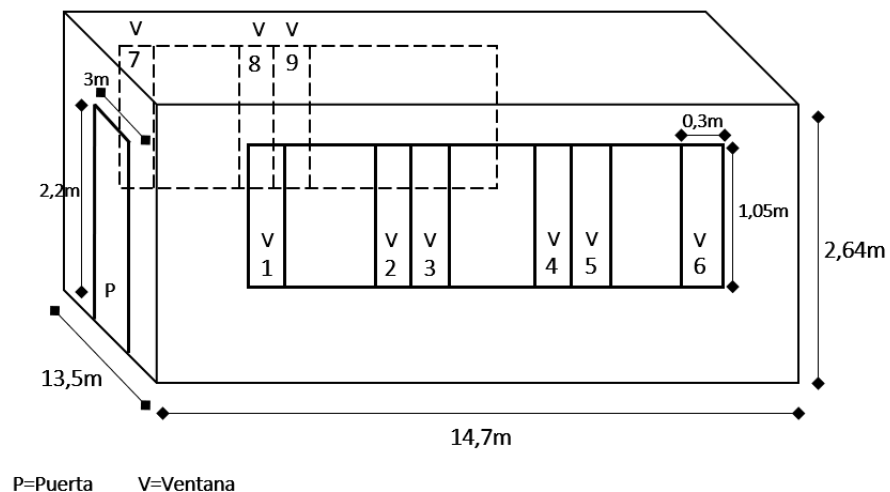


Figura 8. Plano auditorio sede José Acevedo y Gómez de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Fuente: Elaboración propia.



Figura 9. Mediciones realizadas con el anemómetro en el auditorio de la sede José Acevedo y Gómez de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Fuente: Autora.

Tabla 3. Valores registrados con el anemómetro en las nueve ventanas del auditorio sede JAG de la UNAD.

Ventana	Valor velocidad máximo
1	1,3
2	2,9
3	1,8
4	1,5
6	1,1
7	0
8	0
9	0

Los valores de la velocidad del viento de las ventanas 1 a 6 fue bajo, es probable que la razón sea porque las ventanas dan al costado occidental (contrario a los cerros) lo que hace que el viento que se arrastra desde los cerros orientales de la ciudad no llegue a este espacio de manera directa. Las ventanas 7 a la 9 por dar su vista al interior de la sede no presentó ningún valor en la velocidad del viento.

Tabla 4. Valores promedio registrados con el sensor Aranet de los niveles CO₂ en el auditorio sede JAG de la UNAD. Registrados desde las 10:40am hasta las 11:33am:

	CO ₂ (ppm)	Temperatura(C)	Humedad (%)	Presión Atmosférica (hPa)
Valores promedio Auditorio	515	20,3	53	754

El valor de CO₂ en el auditorio estuvo en promedio en 515ppm, lo que indica una buena ventilación, el valor de la humedad es importante ya que cuando este es superior al 90% pueden los datos alterarse dejando estos de ser confiables. En el anexo 1, se pueden ver los datos detallados por minuto de medición.

Se aplica la fórmula para hallar la tasa de ventilación en estado estable:

$$C_{steady-state} = \frac{\text{Generación de } CO_2 + \text{objetivo flujo aire exterior} * \text{conc } CO_2 \text{ exterior} * 1 * 10^{-6}}{\text{objetivo flujo aire exterior} * 1 * 10^{-6}}$$

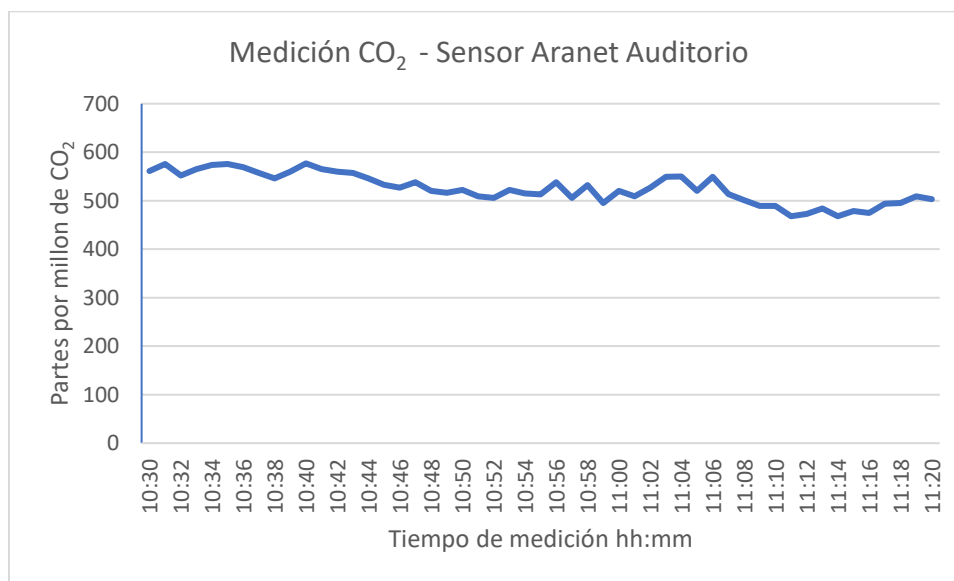
Auditorio de $198,45m^2$ con 4 personas: 3 hombres y una mujer entre los 30 y 40 años.

Concentración CO_2 exterior = 561 ppm

Generación de CO_2 = $3 * 0,3660 \text{ lpm} + 1 * 0,282 \text{ lp}$, = 1,380 lpm

Caudal de aire exterior necesario $5 * 524m^3 * \frac{1000}{60} = 43659 \text{ lpm}$

$$C_{steady-state} = \frac{1,380 \text{ lpm} + 43659 \text{ lpm} * 561 \text{ ppm} * 1 * 10^{-6}}{43659 * 1 * 10^{-6}} = 571 \text{ ppm}$$



Gráfica 1. Mediciones realizadas de CO_2 con el sensor Aranet el auditorio de la sede José Acevedo y Gómez de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Fuente: Autora.

Dado que el valor es inferior a las 700 ppm de CO_2 se evidencia que hay una adecuada renovación que cumple el objetivo, por lo que no se requiere implementar medidas adicionales o el desalojo del auditorio.

Estimación del nivel de ventilación espacio 2: Salón de clases.

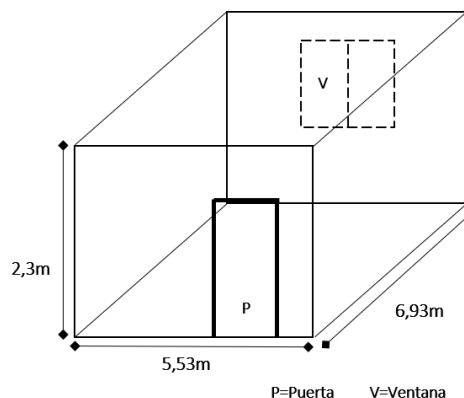


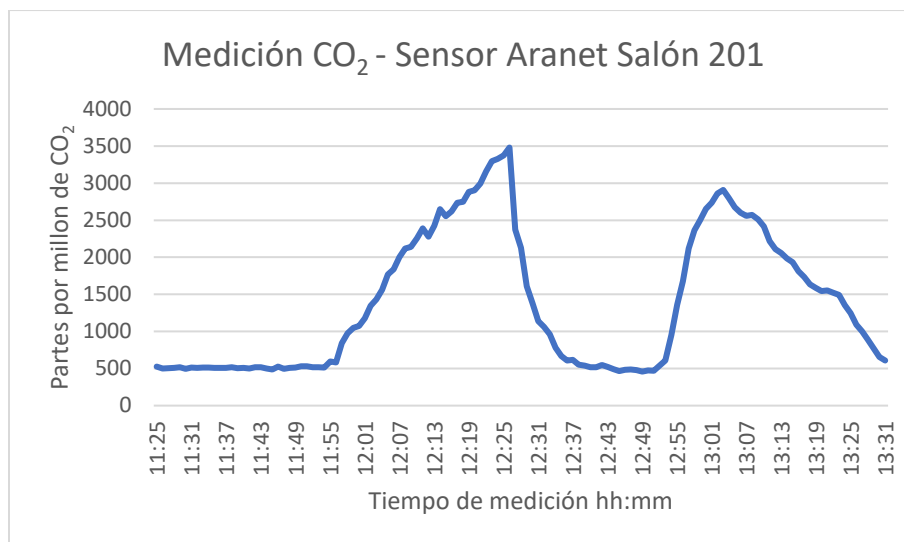
Figura 10. Plano del salón 201 sede José Acevedo y Gómez de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia.
Fuente: Elaboración propia.

- Abriendo la puerta, teniendo prendido el filtro de aire y los sensores móviles de material particulado CanAirIO.
- Abriendo la puerta y la ventana, teniendo prendido el filtro de aire y los sensores móviles de material particulado CanAirIO.
- Abriendo puerta y ventana, sin tener el filtro prendido.

Se inicio el primer experimento midiendo a las 11.30am generando la inducción de CO₂ por medio de la combustión de alcohol industrial. Posteriormente se prende el filtro Niken a las 11:28am, abriendo únicamente la puerta a las 11:45am, se procede a abrir también la ventana a las 12:26pm con el filtro prendido hasta las 12:36pm filtro.

Segundo experimento, generando CO₂ inducido 12:53pm con puerta y ventana abierta desde las 1:05pm.

Los índices de CO₂ resultaron muy elevados en estos experimentos demostrando que el nivel puede llegar a ser muy peligroso si se encuentra el aula con personas dentro.

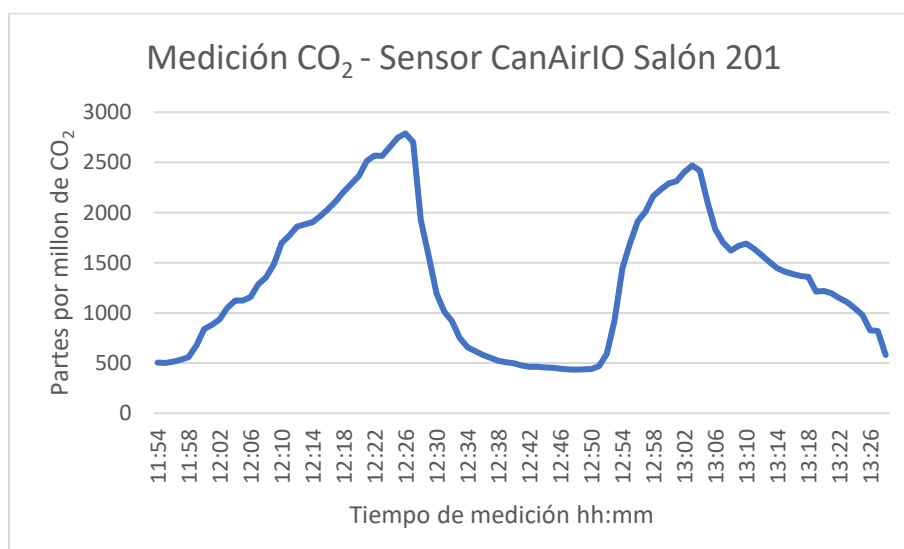


Gráfica 2. Mediciones realizadas de CO₂ con el sensor Aranet el salón 201 de la sede José Acevedo y Gómez de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Fuente: Autora.

Aplicando la fórmula para el salón pequeño con el sensor Aranet:

$$ACH = \frac{-1 \cdot \ln \left(\frac{C_{fin} - C_{ambiente}}{C_{inicio} - C_{ambiente}} \right)}{t_{fin} - t_{inicio}} = \frac{-1 \cdot \ln \left(\frac{654ppm - 607ppm}{3480ppm - 497} \right)}{1:31pm - 11:30am} = 1.7ACH$$

Se compara con el objetivo que haya al menos 5 renovaciones de aire, como el ACH obtenido es igual a 1.7 este número representa que hay una baja calidad de ventilación.



Gráfica 3. Mediciones realizadas de CO₂ con el sensor CanAirIO el salón 201 de la sede José Acevedo y Gómez de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Fuente: Autora.

Se repite la aplicación de la fórmula para el salón pequeño con el sensor CanAirIO:

$$ACH = \frac{-1 * \ln \left(\frac{C_{fin} - C_{ambiente}}{C_{inicio} - C_{ambiente}} \right)}{t_{fin} - t_{inicio}} = \frac{-1 * \ln \left(\frac{580ppm - 600ppm}{2806ppm - 490} \right)}{1:31pm - 11:30am} = 2.1ACH$$

Se compara con el objetivo que haya al menos 5 renovaciones de aire, como el ACH obtenido es igual a 2.1 este número representa que hay una baja calidad de ventilación.

Los picos de ambos experimentos demuestran el alto riesgo que existe en el espacio debido a que las tasas de ventilación no se cumplen para mantener las partes por millón de CO₂ por debajo de 700, además que según la resolución 777 de 2021 se indica que se deben: “Tomar medidas para favorecer la circulación y recambio de aire en espacios cerrados o con escasa ventilación. Se recomienda un flujo mínimo de aire equivalente a 4 veces el volumen del espacio a ventilar cada hora... No se recomienda permanecer por largos periodos de tiempo en espacios cerrados sin adecuada ventilación.”

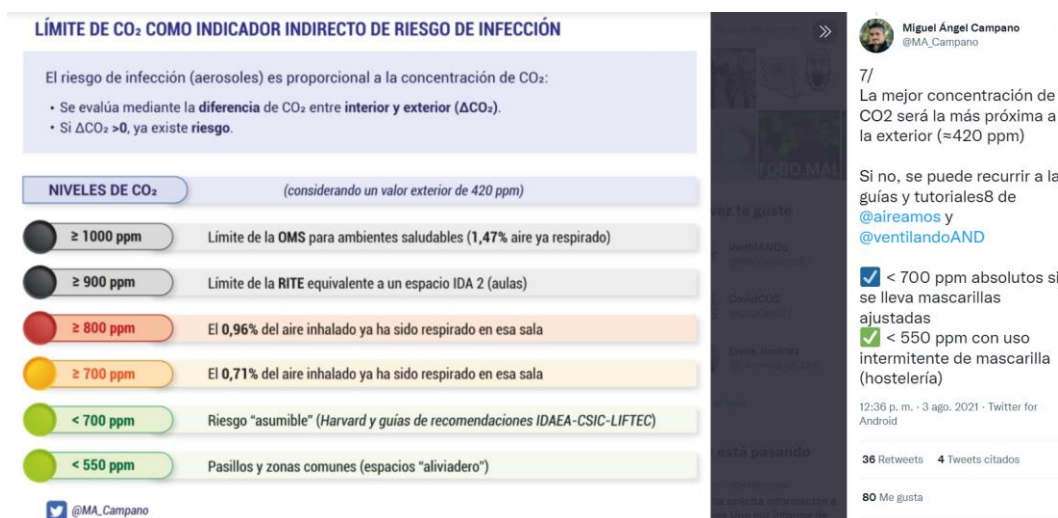


Figura 11. Tabla de niveles de CO₂ como indicador de riesgo de infección. Fuente: Twitter @MA_Campano. https://twitter.com/MA_Campano/status/1422612283453214721?s=20

Monitoreo del PM_{2.5} por medio del sensor de bajo costo

Parte 1. Sensor fijo:

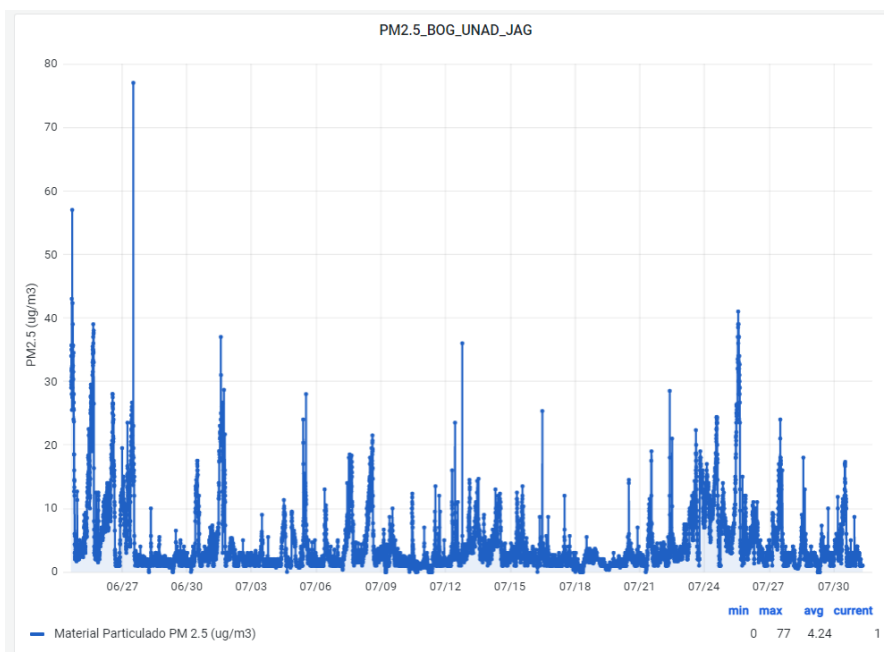


Figura 12. Datos del monitoreo de PM_{2.5} realizado con el sensor CanAirIO como estación fija desde el 25 de junio de 2021 al 31 de Julio de 2021. Fuente: CanAirIO - InfluxDB.

http://influxdb.canair.io:8000/d/2SZaWrwdz/canairio_bog_unad_jag?orgId=1&from=1624473305168&to=1625139035286&kiosk=tv

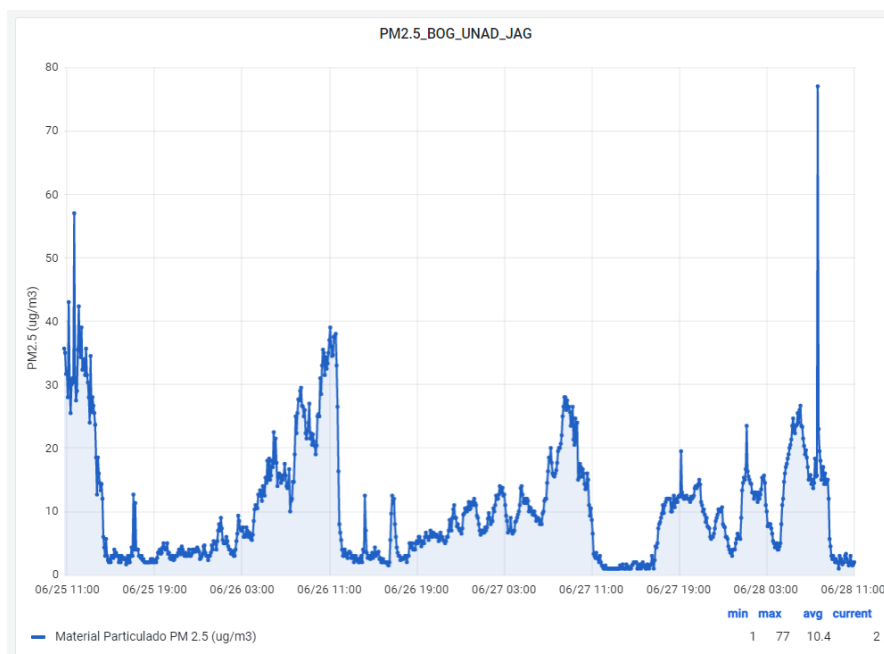


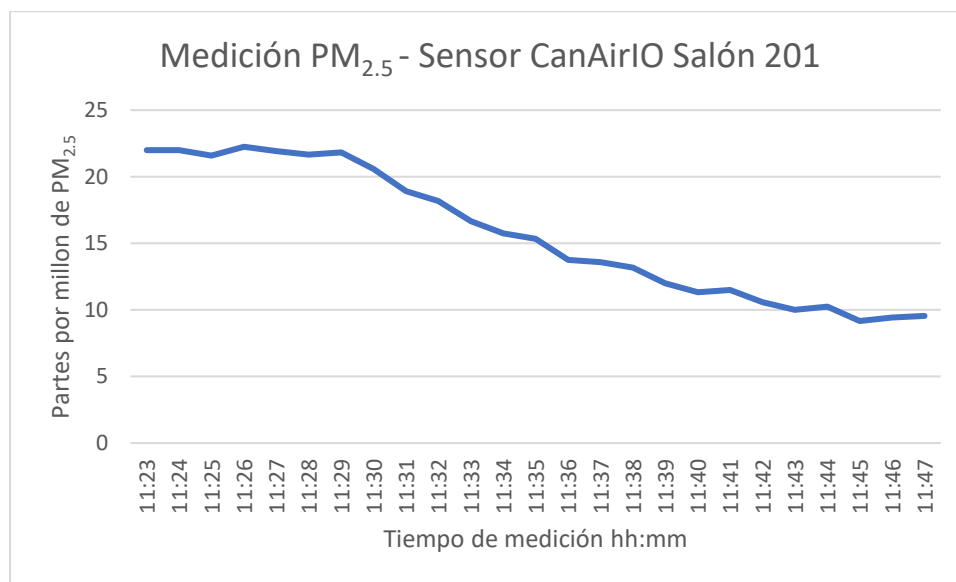
Figura 13. Datos del monitoreo de PM_{2.5} realizado con el sensor CanAirIO como estación fija desde el 25 de junio de 2021 al 28 de junio de 2021. Fuente: CanAirIO - InfluxDB.

http://influxdb.canair.io:8000/d/2SZaWrwdz/canairio_bog_unad_jag?orgId=1&from=1624473305168&to=1625139035286&kiosk=tv

Las imágenes de las figuras 15 y 16 demuestran la mala calidad del aire respecto a la elevación del material particulado $PM_{2.5}$ principalmente en las horas pico. Estos índices demuestran la exposición a la que se encuentran las personas laborando y estudiando en la sede JAG.

Parte 2. Sensores móviles:

Durante los experimentos realizados en el salón 201, se realizó un monitoreo específico dentro del aula para evidenciar el nivel de material particulado $PM_{2.5}$ en conjunto con la calidad de ventilación del mismo espacio obteniendo que una vez prendido el sensor a las 11:23am y prendiendo el filtro a las 11:28am, manteniendo prendido este último durante los dos experimentos se demuestra que la cantidad de material particulado disminuye considerablemente en el espacio, como lo demuestra la gráfica que se generó a partir de los datos tomados con el sensor CanAirIO.



Gráfica 4. Mediciones de $PM_{2.5}$ realizadas con el sensor CanAirIO el salón 201 de la sede José Acevedo y Gómez de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Fuente: Autora.

Promoción de la ciencia ciudadana como estrategia de prevención de la COVID-19

Desarrollo de infografía y video:

- Conceptos claves de calidad del aire fundamentales del estudio: material particulado (PM_{2.5}).
- Fuentes de emisión que contaminantes a los que están expuestas las personas que estén en la sede José Acevedo y Gómez de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia.
- Riesgos a la salud que tienen los índices elevados de material particulado PM_{2.5}.
- Situación de riesgo de contagio de Enfermedades Respiratorias Agudas como la COVID-19, para las personas que tienen alguna comorbilidad asociada a enfermedades cardiovasculares y respiratorias.
- Valores máximos permitidos de las concentraciones de mediciones de CO₂ en espacios cerrados.
- Recomendaciones de mitigación de impactos producidos por la mala calidad del aire
- Medidas de prevención del riesgo de contagio por COVID-19 como herramienta de autocuidado.

El enlace con el video y la infografía se comparte a continuación:

<https://drive.google.com/drive/folders/1CJx2G37hdyxnUQIQ7ZhLkHNMj01BGjdQ?usp=sharing>

Enlace de respaldo del video:

<https://youtu.be/Yu2SeQeQ2nc>

Implementación de la estrategia de prevención de la COVID-19.

Para la implementación de la estrategia de prevención de la COVID-19 se sugieren los siguientes pasos:

1. Revisión por parte de las directivas de la sede de la NTC 183 - Ventilación para una Calidad Aceptable del Aire en espacios Interiores para así evaluar los demás espacios de la institución fomentando así espacios con menor riesgo de contagio.
2. Medición constante de las tasas de intercambio de ventilación por medio de sensores de bajo costo para así obtener datos permanentes de la calidad de ventilación de los espacios.
3. Tener en cuenta los resultados obtenidos en este proyecto aplicado para dar a conocer por medio de los diferentes canales de comunicación y de manera abierta a la comunidad educativa los riesgos asociados a la mala calidad del aire que hay en la sede debido al alto tráfico vehicular que incrementa el riesgo de contagio por la COVID-19.
4. Aplicación de un análisis DOFA respecto a la implementación de la estrategia.



Debilidades

El estar en medio de dos avenidas con alto tráfico vehicular incide en una mala calidad del aire no recomendada para la comunidad educativa debido a los altos niveles de material particulado $PM_{2,5}$.



Oportunidades

Fortalecer las medidas de prevención y mitigación de contagio por medio de la vinculación del ejercicio de ciencia ciudadana de monitoreo de ventilación y material particulado $PM_{2,5}$ con el uso de sensores de bajo costo.



Fortalezas

Tener espacios amplios como el auditorio que representan un menor riesgo ya que el área permite que se acumule en menos tiempo el CO_2 y por ende las tasas de ventilación disminuyen el riesgo de contagio.



Amenazas

Algunos salones como el 201 tienen muy poca posibilidad de ventilación, ya que la ventana es pequeña y no tiene el ingreso suficiente de flujo de aire que permita que la tasa de ventilación sea idónea.

Figura 14. Imagen del análisis DOFA de la implementación de la estrategia de prevención y mitigación de contagio de la COVID-19 en la sede José Acevedo y Gómez de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Fuente: Autora.

Conclusiones

La sede JAG de la UNAD se encuentra en un lugar que por su ubicación tiene un alto grado de vulnerabilidad respecto a la mala calidad del aire generada por las fuentes móviles que transitan por la Av. Cra 30 y Autopista Sur, lo que genera niveles por encima de lo establecido por la OMS en relación con el material particulado $PM_{2.5}$ principalmente en horas pico.

Lo anterior se suma a que la inadecuada ventilación (aumento de CO_2) en espacios cerrados y pequeños como las aulas de clase repercute en una mayor probabilidad de contagio de enfermedades respiratorias como lo es la COVID-19.

El uso de filtros como el utilizado en el experimento (Marca Niken) disminuye considerablemente la cantidad de material particulado en el ambiente del aula lo que ayuda a que aun cuando la ventana y puerta se encuentren abiertas limpia el aire de este contaminante.

Para mejorar la ventilación en espacios pequeños como el salón 201 se requiere ventilación cruzada permanente, es decir que opuesto a la ventana debe haber una rejilla o puerta abierta todo el tiempo para que haya la ventilación suficiente, lo que implica en dado caso modificación a la infraestructura para poder tener la tasa de ventilación adecuada.

Recomendaciones

Es importante que los espacios cerrados como las aulas de clase cuenten con la adecuada ventilación para que la cantidad de CO₂ esté por debajo de las 700ppm, para disminuir el riesgo de contagio de cualquier enfermedad respiratoria.

El uso de filtros podría mitigar los efectos asociados a la mala calidad del aire especialmente lo que se refiere a la disminución de los niveles de material particulado PM_{2.5}.

Es importante el uso de las máscaras N95 para poder disminuir los impactos a la salud debidos a la mala calidad del aire.

Es importante que las clases presenciales se hagan en espacios grandes y abiertos como el auditorio para que la cantidad de CO₂ que se acumule sea mínima y pueda ser ventilada de manera óptima.

Es importante contar con equipos de medición de bajo costo para poder monitorear de manera permanente la calidad de aire y las tasas de ventilación.

Bibliografía

- Allen, J., Spengler, J., Jones, E., & Cedeno-Laurent, J. (2020). *Guía en 5 pasos para medir la tasa de renovación de aire en aulas*. 46. https://andefil.com/wp-content/uploads/2020/09/guia_ventilacion.pdf
- Bezjak, S., Conzett, P., Fernandes, P. L., Görögh, E., Helbig, K., Kramer, B., Labastida, I., Niemeyer, K., Psomopoulos, F., Ross-Hellauer, T., Schneider, R., Tennant, J., Verbakel, E., Clyburne-Sherin, A., Brinken, H., & Heller, L. (2019). Manual de capacitación sobre Ciencia Abierta. In *Léeme · GitBook*. <https://zenodo.org/record/2588214>
- Chocontá, L. (2018). Efectos del cambio climático en la salud. *Carga de Enfermedad Ambiental En Colombia*, 59–72. <https://www.ins.gov.co/Direcciones/ONS/Informes/10 Carga de enfermedad ambiental en Colombia.pdf>
- Colciencias. (2018). *Lineamientos Para Una Política De Ciencia Abierta En Colombia*. 1–31. https://minciencias.gov.co/sites/default/files/ckeditor_files/Lineamientos%20ciencia%20abierta%2017-dic-2018-doc.pdf
- Correa, P. (2021). *Al nuevo coronavirus también le gustan los paseos en carro*. El Espectador. <https://www.elespectador.com/ciencia/al-nuevo-coronavirus-tambien-le-gustan-los-paseos-en-carro-article/>
- Cremades, P., Castro, F., Fernandez, R., Clausen, R., & Puliafito, E. (2013). Desarrollo de un Monitor Abierto de Calidad del Aire (Maca). *Séptimo Encuentro de Investigadores y Docentes de Ingeniería EnIDI 2013, September*, 1–11. https://www.researchgate.net/publication/306442802_DESARROLLO_DE_UN_MONITOR_ABIERTO_DE_CALIDAD_DEL_AIRE_MACA
- Defelipe, S. (2018). *Innovaciones ciudadanas para medir y mejorar la calidad del aire*. <https://impactotic.co/medicion-calidad-del-aire/>
- DNP. (2017). *Los costos en la salud asociados a la degradación ambiental en Colombia ascienden a \$20,7 billones*. [https://www.dnp.gov.co/Paginas/Los-costos-en-la-salud-asociados-a-la-degradación-ambiental-en-Colombia-ascienden-a-\\$20,7-billones-.aspx](https://www.dnp.gov.co/Paginas/Los-costos-en-la-salud-asociados-a-la-degradación-ambiental-en-Colombia-ascienden-a-$20,7-billones-.aspx)
- Giraldo-grueso, M., Echeverri, D., & Conde, R. (2017). The doctor of the plague. *Revista Colombiana de Cardiología*, 24(6), 541–544. <https://www.elsevier.es/es-revista-revista-colombiana-cardiologia-203-articulo-the-doctor-plague-S0120563317302140>
- Gobierno Vasco. (n.d.). *Guía para reducir el riesgo de transmisión del SARS-CoV-2 por aerosoles en centros educativos*. https://www.euskadi.eus/contenidos/informacion/koronavirusa_coronavirus/es_def/adjuntos/guia_ventilacion_c.pdf
- Gómez, J., Aldana, S., Espinoza, M., & Franco, J. (2020). Ideas Verdes. *Ideas Verdes*, 24, 31. https://co.boell.org/sites/default/files/20180913_ideas_verdes_10_web_ok.pdf
- González, G. (2021). *Red ciudadana pone la lupa en la ventilación para evitar Covid*. El Tiempo. <https://www.eltiempo.com/bogota/bogota-ventilacion-en-espacios-cerrados-para-evitar-covid-568506>
- INS. (2019). Carga Ambiental en Colombia Prensa INS- 21 de enero de 2019. In *Boletín de Prensa, Ministerio de Salud*. <https://www.ins.gov.co/Comunicaciones/Comunicados de prensa/Carga Ambiental en Colombia Prensa INS- 21 de enero de 2019.pdf>
- James, L. (2020). *La COVID-19 y sus términos*. <https://www.bupa.co.uk/newsroom/ourviews/coronavirus-terms>
- Lanchipa-Ale, T., Moreno-Salazar, K., & Luque-Zuñiga, B. (2020). *Perspectiva del COVID-19 sobre la contaminación del aire* (pp. 155–182).

- <http://scielo.iics.una.py/pdf/rscp/v25n2/2617-4731-rscp-25-02-155.pdf>
- Marr, Miller, Prather, Haas, Bahnfleth, Corsi, Tang, Herrmann, Pollitt, Ballester, J. (2021). *FAQs on Protecting Yourself from Aerosol Transmission*. <https://Tinyurl.Com/FAQ-Aerosols> }. https://docs.google.com/document/d/1fB5pysccOHvxphpTmCG_TGdytavMmc1cUumn8m0pwzo/edit#
- Mendez-Espinosa, J. F., Rojas, N. Y., Vargas, J., Pachón, J. E., Belalcazar, L. C., & Ramírez, O. (2020). Air quality variations in Northern South America during the COVID-19 lockdown. *Science of the Total Environment*, 749(2), 141621. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141621>
- Metropol. (2021). *Ciudadanos Científicos. Programa local de ciencia, educación y tecnología*. Área Metropolitana Del Valle de Aburrá. <https://www.metropol.gov.co/ambiental/siata/Paginas/ciudadanos-cientificos.aspx>
- MinAmbiente. (2017). *Resolución 2254 de 2017 - Niveles Calidad del Aire*. (p. 11). https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/96-res_2254_de_2017.pdf
- Morales, K. F., Paget, J., & Spreeuwenberg, P. (2017). Possible explanations for why some countries were harder hit by the pandemic influenza virus in 2009 - a global mortality impact modeling study. *BMC Infectious Diseases*, 17(1), 1–12. <https://doi.org/10.1186/s12879-017-2730-0>
- Niño, Y. (2021). *La ventilación como una herramienta en la prevención del contagio de la COVID-19*. Consejo Colombiano de Seguridad. https://ccs.org.co/articulos-tecnicos/la-ventilacion-como-una-herramienta-en-la-prevencion-del-contagio-de-la-covid-19/?doing_wp_cron=1626388476.6169970035552978515625
- Observatorio de Salud de Bogotá. (2021). *Casos Confirmados de Covid-19 en Bogotá D.C.* <https://saludata.saludcapital.gov.co/osb/index.php/datos-de-salud/enfermedades-trasmisibles/covid19/>
- OPS. (2020). Glosario sobre brotes y epidemias. *Organización Mundial de La Salud*, 20. <https://www.paho.org/es/node/70518>
- Organización Mundial de la Salud. (2020). Transmisión del SARS-CoV-2: repercusiones sobre las precauciones en materia de prevención de infecciones. *Who Web Site*, 11, 1–11. https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/333390/WHO-2019-nCoV-Sci_Brief-Transmission_modes-2020.3-spa.pdf?%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.jsames.2011.03.003%0Ahttps://doi.org/10.1016/j.gr.2017.08.001%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.precamres.2014.12
- Ramírez, P., & Samoilovich, D. (2018). Ciencia abierta. Reporte para tomadores de decisiones 2da edición-Abril 2019. *UNESCO - Foro Abierto de Ciencias Latinoamérica y Caribe*. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000368788.locale=es>
- Rodríguez-Camargo, L., Sierra-Parada, R., & Blanco-Becerra, L. (2020). Análisis espacial de las concentraciones de PM2.5 en Bogotá según los valores de las guías de la calidad del aire de la Organización Mundial de la Salud para enfermedades cardiopulmonares, 2014-2015. *Biomédica 2020*. <https://revistabiomedica.org/index.php/biomedica/article/view/4719>
- Rohrer, M., Flahault, A., & Stoffel, M. (2020). Peaks of Fine Particulate Matter May Modulate the Spreading and Virulence of COVID-19. *Earth Systems and Environment*, 4(4), 789–796. <https://doi.org/10.1007/s41748-020-00184-4>
- Secretaría Distrital de Ambiente. (2018). *Inventario de emisiones de Bogotá. Contaminantes atmosféricos* (p. 75). http://www.ambientebogota.gov.co/c/document_library/get_file?uuid=1417a184-2e1c-

- 412b-9872-31ad4dd3bb3e&groupId=10157
- Secretaría Distrital de Ambiente. (2020). *Distrito trabaja articulado para atender una posible alerta por calidad del aire en la ciudad*.
http://www.ambientebogota.gov.co/web/sda/historial-de-noticias/-/asset_publisher/1RkX/content/distrito-trabaja-articulado-para-atender-una-posible-alerta-por-calidad-del-aire-en-la-ciudad?redirect=http%3A%2F%2Fwww.ambientebogota.gov.co%2Fweb%2Fsda%2Fhistorial-de-noticias/-/asset_publisher/1RkX/content/distrito-trabaja-articulado-para-atender-una-posible-alerta-por-calidad-del-aire-en-la-ciudad
- SISAIRE. (2021). *Glosario*. Ministerio de Ambiente. <http://sisaire.ideam.gov.co/ideam-sisaire-web/aprendizaje.xhtml?de=GLOSARIO>
- Stocker, T. F., D. Qin, G., Plattner, M. T., & Allen, J. (2013). *IPCC Glosario en Cambio Climático 2013*.
https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/08/WGI_AR5_glossary_ES.pdf
- Vohra, K., Vodonos, A., Schwartz, J., Marais, E. A., Sulprizio, M. P., & Mickley, L. J. (2021). Global mortality from outdoor fine particle pollution generated by fossil fuel combustion: Results from GEOS-Chem. *Environmental Research*, 195, 110754.
<https://doi.org/10.1016/J.ENVRES.2021.110754>
- W. Dana Flanders, J. A. M. J. L. P. K. B. M. M. K., & Paige E. Tolbert. (2006). Ambient Air Pollution and Cardiovascular Emergency Department Visits in Potentially Sensitive Groups.pdf. *American Journal of Epidemiology*, 165(6), 625–633.
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17194748/>
- WHO. (2005). WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. *Biological Trace Element Research*, 195(2), 5–22.
<https://apps.who.int/iris/handle/10665/69477>
- Xiao, W. (2020). Exposure to air pollution and COVID-19 mortality in the United States: A nationwide cross-sectional study. *MedRxiv*.
<https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.04.05.20054502v2>

Anexos

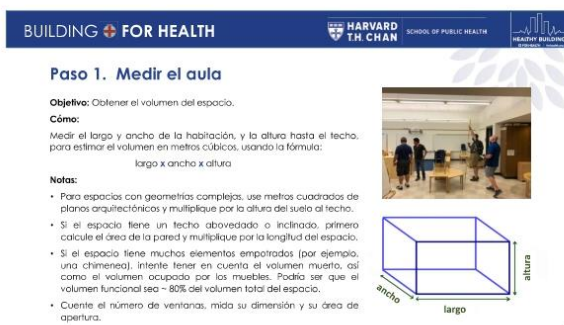
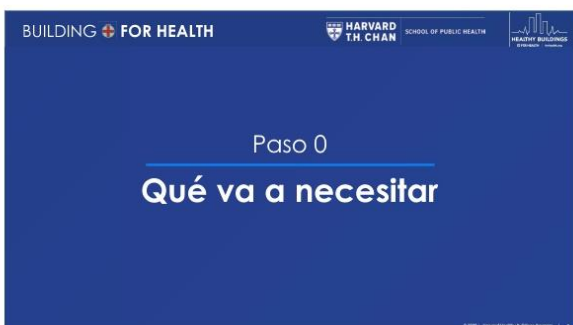
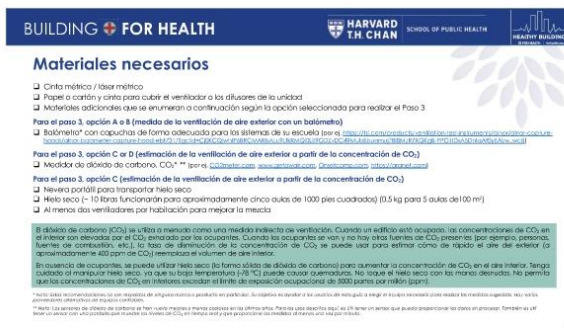
1. Guía en 5 pasos para medir la tasa de renovación de aire en aulas. (Allen et al., 2020)



Guía en 5 pasos para medir la tasa de renovación de aire en aulas

Joseph Allen, Jack Spengler, Emily Jones, Jose Cedeno-Laurent
Harvard Healthy Buildings program | www.ForHealth.org
Traducción al español por María Cruz Minguillón, IDAEA-CSIC

agosto, 2020



Paso 2

Realizar comprobaciones preliminares de audio y visuales

© 2008 Harvard Health & Design Program | 4

Seleccione la opción para medir o estimar la ventilación del aula según su situación y tipo de sistema

Situación del aula	Tipo de Sistema de ventilación	Materiales necesarios	
Opción A	Ocupada o desocupada	Unidad individual (unit ventilator)	balómetro
Opción B	Ocupada o desocupada	Centralizado	balómetro
Opción C	Desocupada	Cualquiera	Medidor de CO ₂ & hielo seco
Opción D	Ocupada	Cualquiera	Medidor de CO ₂

© 2008 Harvard Health & Design Program | 4

Paso 2. Comprobaciones de audio y visuales

Comprobación del tejido

Objetivo: Asegurarse de que el sistema esté encendido y comprender la dirección del flujo de aire.

Cómo:

- 1. Comprobación de audio:** Escuchar el sonido que sale de las unidades del sistema y los ventiladores de suministro o extracción.
- 2. Comprobación visual:** Utilizar un trozo de tejido ligero, o un indicador de nube de polvo, para ver si se está suministrando aire (la nube de polvo o el tejido se mueven lejos del ventilador) o si se está extrayendo aire (la rejilla del ventilador succiona el tejido o la nube de polvo).

Notas:

- Algunos sistemas, como los aires acondicionados, pueden tener ventiladores tanto de suministro como de extracción; en este caso, hay que identificar qué área de la unidad realiza cada función.
- Se puede comprobar si el aire entra o sale de la habitación utilizando un pañuelo de papel para indicar la dirección del flujo de aire debajo de una puerta o con la puerta entreabierta. Esta verificación indica si la habitación está típicamente presurizada "positivamente" en relación con las áreas adyacentes (es decir, el tejido se mueve hacia fuera de la habitación) o "presurizada negativamente" en relación con las áreas adyacentes (es decir, el tejido se mueve hacia dentro de la habitación).

© 2008 Harvard Health & Design Program | 5

Paso 3, Opción A

Medida de la ventilación de aire exterior con un balómetro

Materiales: Balómetro
Situación del aula: ocupada o desocupada
Tipo de sistema de ventilación: Sistema individual (unit ventilator en inglés)

© 2008 Harvard Health & Design Program | 10

Paso 3

Medir o estimar la tasa de ventilación de aire exterior

© 2008 Harvard Health & Design Program | 4

Paso 3, Opción A. Determinar la tasa de ventilación de aire exterior (sistemas individuales)

Objetivo: Medir el flujo de aire exterior entrante por ventilación mecánica a través de los ventiladores de la unidad.

Cómo:

- Elegir una campana de captura para el balómetro con el factor de forma más cercano para cubrir los difusores de aire (es decir, elegir una campana que tenga una forma similar a la forma del difusor de aire). En caso de que la campana de captura no cubra todo el difusor, utilizar un trozo de cartón y cinta para dirigir el flujo exclusivamente a través de la campana de captura.
- Comenzar afuera y usar el balómetro para medir el flujo de aire (en m³ por minuto) que entra al edificio a través de la rejilla donde se aspira el aire.
- Dentro del aula, usar el balómetro para medir el flujo de aire en los difusores de aire donde se suministra o sopla aire a la habitación.



© 2008 Harvard Health & Design Program | 11

Paso 3, Opción A. Determinar la tasa de ventilación de aire exterior (sistemas individuales)

4. Calcular el porcentaje de aire exterior que entra como la relación entre la primera medición y la segunda. En los casos en los que parte del aire que entra al aula es recirculado, el % de aire exterior será inferior al 100%; en los casos en que todo el aire que entra al aula provenga directamente del exterior, el % de aire exterior será del 100%.

$$\% \text{ aire exterior} = \frac{\text{Flujo de aire exterior que entra, medido fuera}}{\text{Flujo de aire total que entra, medido dentro}}$$

5. Calcular la tasa de renovación de aire (ACH, del inglés air changes per hour) a partir de las medidas del balómetro dividiendo el flujo de aire exterior que entra a la habitación (medido fuera) por el volumen de la habitación (cubo * ancho * altura).

$$\text{ACH} = \frac{\text{Flujo de aire exterior que entra (m}^3 \text{ por minuto)} * 60 \text{ (minutos por hora)}}{\text{Volumen del aula (m}^3 \text{)}}$$

Nota:

- Los sistemas de ventilación individuales son los más comunes que se encuentran en los aulas. Estos sistemas pueden proporcionar una combinación de aire exterior y aire recirculado en el espacio.
- En muchos casos, las compuertas de los conductos de aire no están completamente abiertas. Es importante verificar su posición comparando el flujo que entra a la unidad (flujos exterior) con el aire que es suministrado al interior (flujos interior), como se describe en el Paso 4 exterior.
- Para maximizar la ventilación, y cuando el clima lo permita, abrir completamente las compuertas del ventilador de la unidad para proporcionar un 100% de aire exterior.
- No coloque libros u otros materiales delante de los difusores de flujo de aire.
- Los sistemas de ventilación generalmente están diseñados para promover la mezcla de aire en las áreas centrales de un aula, lo que puede conducir a una menor ACH en los esquinas u otros áreas periféricas.

Paso 3, Opción C

Estimación de la ventilación de aire exterior

Materiales: Medidor de CO₂ & hielo seco
Situación del aula: desocupada (método de tasas de disminución de CO₂)
Tipo de sistema de ventilación: cualquier

© 2016, Harvard Health Publishing | 13

Paso 3, Opción B

Medida de la ventilación de aire exterior

Materiales: Balómetro
Situación del aula: ocupada o desocupada
Tipo de sistema de ventilación: centralizado

© 2016, Harvard Health Publishing | 13

Paso 3, Opción C. Estimación de la ventilación de aire exterior a partir de la concentración de CO₂

Objetivo: Estimar el flujo de aire exterior entrante en un aula desocupada utilizando un medidor de CO₂.

Cómo:

- Seguir las instrucciones del fabricante para calibrar el sensor de CO₂.
- Configurar el sensor de CO₂ para registrar medidas al menos una vez por minuto. Esto ayudará a seleccionar el comienzo y el final de un período de disminución de concentración con mayor precisión.
- Medir la concentración de CO₂ al aire libre con el sensor de CO₂ durante al menos cinco minutos. (Nota: también debe volver a medir el CO₂ en exteriores una vez que haya terminado de realizar las medidas en interiores). Si bien la concentración de fondo en exteriores es de aproximadamente 400 ppm, en áreas urbanas más densas el CO₂ puede fluctuar a lo largo del día debido a las emisiones de las fuentes de combustión. Tome nota de las concentraciones en exteriores antes y después de sus mediciones en interiores, ya que necesitará el promedio para estimar la tasa de ventilación.



(continuación en siguiente página)

Paso 3, Opción A. Determinar la tasa de ventilación de aire exterior (sistemas centralizados)

Objetivo: Medir el flujo de aire exterior entrante por ventilación mecánica a través del sistema centralizado.

Cómo:

- Identificar los difusores de entrada en el aula (es decir, rejillas por donde el aire entra a la habitación) y usar el balómetro para medir los flujos, asegurándose de que la campana de captura cubra toda el área de cada difusor y cree un buen sello alrededor del difusor. En caso de que la campana de captura no cubra todo el difusor, utilizar cartón y cinta para dirigir el flujo exclusivamente a través de la campana de captura.
- Determinar la posición de la compuerta en el sistema de aire central preguntando al equipo de instalaciones de la escuela o al equipo de mantenimiento del sistema de aire (HVAC, del inglés Heating, Ventilation, and Air Conditioning). La posición de la compuerta estará entre 0% y 100% abierta.
- Calcular las tasas de renovación de aire (ACH) a partir de las medidas del balómetro. Para los sistemas centralizados, el flujo de aire exterior que entra al aula es la suma de las medidas de flujo de aire (m³ por minuto) de entrada de todos los difusores del aula multiplicado por la fracción de aire exterior permitida por la compuerta (por ejemplo, multiplicar por 0.2 si la posición de la compuerta es 20%).

$$\text{ACH} = \frac{\text{Flujo de aire total (m}^3 \text{ por minuto)} * 60 \text{ (minutos por hora)} * \text{fracción de aire exterior según compuerta}}{\text{volumen del aula (m}^3 \text{)}}$$

- Colocar el sensor de CO₂ en el aula lejos de la ubicación del contenedor de hielo seco y aproximadamente a 1 metro sobre el suelo.
- Usar hielo seco para hacer que la concentración de CO₂ aumente en el aula a aproximadamente 2000 ppm.

- No tocar el hielo seco con las manos desnudas. Está muy frío y puede provocar quemaduras.
- No permitir que las concentraciones de CO₂ excedan el límite de exposición ocasional de 5000 ppm.
- Reducir el flujo de aire de los sistemas mecánicos para acelerar el incremento de concentración. Idealmente, apagar los ventiladores y los extractores (solo durante este paso mientras se acumula la concentración de CO₂). Si esto no es posible, cubrir los difusores de aire con un papel y cinta adhesiva.
- Colocar un recipiente abierto de hielo seco en el aula. Para un aula normal (50-100 m²) aproximadamente 5 kg de hielo seco deberían ser suficientes para elevar la concentración de CO₂ a 2000 ppm en menos de 15 minutos para cinco pruebas. Colocar un ventilador al lado del hielo seco para favorecer la sublimación del CO₂. Además, usar ventiladores para favorecer la mezcla del CO₂ del hielo seco en el aire del aula para asegurar una concentración uniforme en todo el aula. Esto es importante porque se está generando CO₂ desde un solo punto en el espacio y es un gas más pesado y frío que el aire del aula.
- Ver la concentración de CO₂ en el sensor de CO₂. Cuando alcance al menos 2000 ppm, retirar el hielo seco a cargar el contenedor de hielo seco. Dejar el flujo de aire a las condiciones normales (es decir, desahocar las reducciones del flujo de aire en 30') y hacer que todas las personas presentes en la habitación salgan de la habitación.



(continuación en siguiente página)

BUILDING FOR HEALTH HARVARD T.H. CHAN SCHOOL OF PUBLIC HEALTH HEALTH BUILDINGS

6. Dejar que la concentración de CO₂ en el aula se reduzca hasta que el incremento de CO₂ con respecto a la concentración inicial sea = 37% del incremento máximo que se ha conseguido con el hielo seco.

- La concentración de CO₂ comenzará a disminuir cuando se retire el hielo seco de la habitación y cuando las personas salgan de la habitación.
- Durante este periodo, intentar mantener la ventilación lo más constante posible dejando sin cambios el ajuste de los sistemas mecánicos y minimizar el número de veces y de personas que entran y salen de la sala de pruebas.
- La prueba puede finalizar cuando el nivel de CO₂ se acerque al 37% de su concentración máxima original por encima del fondo. Por ejemplo, si la concentración máxima es de 2500 ppm y la concentración exterior es de 400 ppm (exceso de CO₂ = 2500-400 = 2100 ppm), la prueba finaliza al alcanzar 1177 ppm (es decir, [2100 ppm * 0.37] + 400 ppm).

7. Repetir los pasos 5 y 6 para probar los siguientes escenarios, si procede, para comprender la ventilación en cada circunstancia

- Aula vacía con las puertas y ventanas cerradas y con las compuertas de aire exterior "fresco" abiertas (3 las hay).
- Aula vacía con algunas puertas y/o ventanas abiertas para ventilación natural suplementaria. Se pueden probar múltiples configuraciones de puertas y ventanas abiertas, incluso con las ventanas abiertas, es posible que sea necesario abrir las puertas interiores para permitir que el aire adicional fluya a través del aula.
- Probar otras aulas para comprender la influencia del viento sobre y alrededor del edificio y el efecto de la apertura de las ventanas. (continuación en siguiente página)

Incremento de CO₂

Descenso de CO₂

BUILDING FOR HEALTH HARVARD T.H. CHAN SCHOOL OF PUBLIC HEALTH HEALTH BUILDINGS

Ejemplo – prueba para el impacto adicional de apertura de ventanas y puertas

- Identificar el inicio de la disminución, C_{start}=1023 ppm y t_{start}=10:16:26.
(Nota: el punto de inicio se ha elegido porque en esta prueba las ventanas y puertas estaban cerradas antes de las 10:16:26 y queremos saber la renovación de aire por ventilación mecánica debido a la apertura de ventanas y puertas añadida a la ventilación del sistema mecánico)
- Identificar el final de la disminución, C_{end}=448 ppm and t_{end}=10:29:46
- Concentración exterior C_{ambient} = 400 ppm
- Tiempo t_{end-tstart} es 13 minutos y 20 segundos. En horas son 13/60 + 20/3600 = 0.2222 horas

$$ACH = \frac{-1 \cdot \ln \left(\frac{448 - 400}{1023 - 400} \right)}{0.2222} = 11.5 \text{ renovaciones por hora}$$

BUILDING FOR HEALTH HARVARD T.H. CHAN SCHOOL OF PUBLIC HEALTH HEALTH BUILDINGS

8. Utilizar los datos del sensor de CO₂ para calcular la renovación de aire (ACH) para cada prueba:

- Descargar o apuntar los datos medidos por el sensor de CO₂.
- Identificar el comienzo de la curva de disminución observando los datos y teniendo en cuenta el momento en que se ha hecho la prueba y marcar la concentración (C_{start}) y el tiempo correspondiente (t_{start}) que se muestra con el punto verde en el gráfico. Intentar evitar periodos en los que las concentraciones de CO₂ oscilan alrededor del mismo valor y elegir un punto que tenga una disminución de concentración clara y constante.
- Identificar el final de la curva de disminución observando los datos y teniendo en cuenta el momento en que se ha hecho la prueba y marcar la concentración (C_{end}) y el tiempo correspondiente (t_{end}) que se muestra con el punto rojo en el gráfico.
- Tomar el promedio de concentraciones en exteriores medidas con el sensor antes y después de las pruebas (C_{ambient}).
- Calcular la duración de la disminución de concentración en horas t_{end-tstart}. Por ejemplo, una disminución de 10 min equivale a 10/60 = 0.167 horas
- Utilizar la siguiente ecuación para obtener las renovaciones de aire por hora (tener en cuenta que todos los concentraciones, C, estarán en ppm y todos los tiempos, t, estarán en horas).

$$ACH = \frac{-1 \cdot \ln \left(\frac{C_{end} - C_{ambient}}{C_{start} - C_{ambient}} \right)}{t_{end} - t_{start}}$$

BUILDING FOR HEALTH HARVARD T.H. CHAN SCHOOL OF PUBLIC HEALTH HEALTH BUILDINGS

Paso 3, Opción D

Estimación de la ventilación de aire exterior

Materiales: Medidor de CO₂
Situación del aula: ocupada (método de estado estable (Steady State) de CO₂)
Tipo de sistema de ventilación: cualquiera

FPH - Metodología Estadio Page 1 | 11

BUILDING FOR HEALTH HARVARD T.H. CHAN SCHOOL OF PUBLIC HEALTH HEALTH BUILDINGS

Ejemplo – prueba para el impacto de la ventilación mecánica

- Identificar el inicio de la disminución, C_{start}=2278 ppm y t_{start}=09:58:26
- Identificar el final de la disminución, C_{end}=1033 ppm y t_{end}=10:15:46.
(Nota: el punto final se ha elegido porque, en esta prueba, las ventanas se abrieron después de las 10:15:46 y queremos saber las renovaciones de aire por hora debidas únicamente a ventilación mecánica)
- Concentración exterior C_{ambient} = 400 ppm
- Tiempo t_{end-tstart} es 17 minutos y 20 segundos. En horas son 17/60 + 20/3600 = 0.2889 horas.

$$ACH = \frac{-1 \cdot \ln \left(\frac{1033 - 400}{2278 - 400} \right)}{0.2889} = 4.6 \text{ renovaciones por hora}$$

BUILDING FOR HEALTH HARVARD T.H. CHAN SCHOOL OF PUBLIC HEALTH HEALTH BUILDINGS

Paso 3, Opción D. Estimación de la ventilación de aire exterior usando el método de Steady State CO₂

Objetivo: Estimar el flujo de aire exterior entrante en un aula ocupada utilizando un sensor de CO₂.

Con el aula ocupada, los sensores de CO₂ en el aula se pueden usar para saber la ventilación aproximada del aula. Por ejemplo, un aula de 50 metros cuadrados y 3 metros de altura con 15 estudiantes adolescentes y una tasa de renovación de aire de 4 ACH debe tener una concentración de estado estable (Steady State) de alrededor de 800 ppm. Esa concentración en estado estable coe a = 700 ppm y = 650 ppm para 5 y 6 ACH, respectivamente.

Cómo:

- Seguir las instrucciones del fabricante para calibrar el sensor de CO₂.
- Configurar el sensor de CO₂ para registrar medidas al menos 1 vez por minuto.
- Medir la concentración de CO₂ al aire libre con el sensor de CO₂ durante al menos cinco minutos. Si bien la concentración de fondo al aire libre es de aproximadamente 400 ppm, en áreas urbanas más densas, el CO₂ puede fluctuar a lo largo del día debido a las emisiones de los fuentes de combustión. Tomar nota de la concentración exterior, ya que se necesitará este número para estimar la concentración en estado estable.
- Estimar la tasa de generación de CO₂ multiplicando el número de ocupantes en el aula por su tasa de exhalación de CO₂. La tasa de generación de CO₂ por persona depende de la edad, el sexo, el peso y la actividad metabólica (pm) por estudiante, y para adolescentes usar 0.24636 litros por minuto por adolescente. Multiplicar la tasa de generación correspondiente por el número de estudiantes en el aula. Para docentes (de pie y hablando, edad promedio de 30 a 40 años) usar 0.36812 litros por minuto.
 - Para un aula con 14 estudiantes adolescentes y 1 docente, la generación de CO₂ es 14*0.24636 lpm +1*0.36812 lpm = 3.81716 lpm

(continuación en siguiente página)

BUILDING FOR HEALTH HARVARD T.H. CHAN SCHOOL OF PUBLIC HEALTH HEALTH BUILDINGS

5. Estimar el flujo objetivo de aire exterior. Multiplicar el volumen del aula (en pies cúbicos) por las renovaciones de aire objetivo por hora y dividir entre 60 minutos por hora.

- Ejemplo: para un objetivo de 4 ACH en un aula de 140 m³, $140 \times 4 / 60 = 9.3$ m³/min = 9300 litros por minuto (lpm)

6. Estimar el estado estable (steady state) de CO₂ usando la siguiente fórmula

$$C_{steady-state} = \frac{\text{Generación de CO}_2 + \text{objetivo flujo aire exterior} + \text{conc CO}_2 \text{ exterior} + 1 \times 10^{-6}}{\text{objetivo flujo aire exterior} + 1 \times 10^{-6}}$$

Continuando el ejemplo anterior, $C_{steady-state} = \frac{3.81716 \text{ lpm} + 9300 \text{ lpm} + 400 \text{ ppm} + 1 \times 10^{-6}}{9300 \text{ lpm} + 1 \times 10^{-6}} = 810 \text{ ppm CO}_2$

Este método solo considera el efecto de dilución debido al flujo de aire exterior. Si parte del aire se filtra a través de un filtro de eficiencia MERV 13 o superior, o un limpiador de aire portátil con un filtro HEPA, se puede usar un flujo objetivo de aire exterior más bajo para este cálculo siempre que el aire total renovado por hora cumpla con el objetivo de ACH recomendado. Por ejemplo, si la ventilación mecánica puede proporcionar 3 ACH, calcular la concentración en estado estable en 3 ACH considerando que podría agregar 2 ACH con purificadores de aire portátiles para cumplir con el objetivo de 5 ACH.

- Una vez realizado este cálculo, se puede usar el monitor de CO₂ durante la clase para evaluar si la ventilación es adecuada. En este ejemplo, si el sensor de CO₂ lee alrededor de 800 ppm mientras los 14 estudiantes y 1 docente están en clase, sabemos que estamos cumpliendo el objetivo establecido de 4 ACH de ventilación de aire exterior. Si notamos que el sensor de CO₂ lee constantemente 1400 ppm mientras los 14 estudiantes y 1 docente están en clase, tendríamos que revisar la ventilación porque el aumento de la concentración de CO₂ en estado estable indica que la ACH real está por debajo del objetivo establecido de 4 ACH. De esta manera, los sensores de CO₂ se pueden usar para determinar cuándo la ventilación puede no ser adecuada.

Paso 5

Si es necesario, considerar estrategias complementarias de limpieza del aire

© 2021 Harvard Health Publishing | 17

Paso 4

Comparar resultados con objetivos

© 2021 Harvard Health Publishing | 16

BUILDING FOR HEALTH HARVARD T.H. CHAN SCHOOL OF PUBLIC HEALTH HEALTH BUILDINGS

Estrategias a utilizar si el aula no alcanza el objetivo de ACH

- Incrementar aire exterior
- Usar filtros MERV13 filters (o mejores) para el aire recirculado
- Añadir purificadores de aire portátiles con filtros HEPA en el aula

© 2021 Harvard Health Publishing | 18

BUILDING FOR HEALTH HARVARD T.H. CHAN SCHOOL OF PUBLIC HEALTH HEALTH BUILDINGS

EL OBJETIVO ES AL MENOS 5 RENOVACIONES DE AIRE POR HORA

Ideal (6 ACH)
Excelente (5-6 ACH)
Bueno (4-5 ACH)
Mínimo (3-4)
Bajo (<3 ACH)

Estos objetivos de ventilación están basados en la densidad de ocupación estipulada en el estándar americano ASHRAE 62.1 para aulas (en escuelas de educación primaria y secundaria), de aproximadamente 25 estudiantes por cada 100 metros cuadrados. En otras circunstancias es apropiado considerar como objetivo el doble de la ventilación por persona en dicho estándar, es decir aumentar de ~7 litros por segundo (lps) por persona a ~14 lps por persona.

BUILDING FOR HEALTH HARVARD T.H. CHAN SCHOOL OF PUBLIC HEALTH HEALTH BUILDINGS

1. Incrementar aire exterior

Ventilación natural

- Abrir ventanas y/o puertas para incrementar el flujo de aire

Ventilación mecánica

- Configurar el sistema de ventilación a la velocidad máxima de utilización de aire exterior que el sistema puede asumir según las condiciones de temperatura exterior

Nota:

- El aire exterior entra al aula debido a una diferencia de presión, causada por un movimiento masivo (viento), un gradiente de temperatura (flotabilidad) o un sistema mecánico (presión negativa debido a un extractor de aire)
- La ventilación cruzada es una estrategia preferida ya que desplaza el aire de manera más efectiva en una porción más grande del aula. Tener un extractor de aire funcional o abrir la puerta a un pasillo puede facilitar el flujo que entra por una ventana abierta.
- Realizar pruebas con diferentes configuraciones de apertura de ventanas / puertas podría sugerir la estrategia óptima para un aula.

© 2021 Harvard Health Publishing. Credit to the author

2. Usar filtros MERV13 filters (o mejores) para el aire recirculado

- En un sistema mecánico, un filtro MERV 13 (o mejor) puede ayudar a eliminar algunas partículas del aire que se recircula a través del sistema y se redistribuye en las aulas.
- Consultar con un técnico del sistema de ventilación instalado para determinar si su sistema mecánico puede soportar la caída de presión de instalar un filtro MERV 13.
- El flujo recirculado que pasa a través de un filtro de mayor eficiencia se puede agregar al flujo de aire en los cálculos de ventilación para alcanzar el objetivo de ACH.
- Recomendamos suponer una eficiencia de filtración del 80% para los cálculos que incluyen un filtro MERV 13.

- Paso 1.** Las dimensiones de la habitación son:
Superficie = 65 metros cuadrados // Altura = 3 m // Volumen = 195 metros cúbicos (volumen = superficie * altura)
- Paso 2.** Se confirmó que los sistemas de ventilación estaban encendidos por comprobación visual y de audio.
- Paso 3.** Se seleccionó la opción B porque la escuela tenía acceso a un balómetro y tenía un sistema de ventilación central. El balómetro se usó para medir la tasa de ventilación de aire exterior de los difusores de suministro donde el aire entra a la habitación. El sistema de ventilación central utiliza un 20% de aire exterior.
- Caudal de aire medido dentro del aula (es decir, aire exterior + aire recirculado)... 21.5 m³/min (21500 lpm)
 - Porcentaje de aire exterior ... 20%
 - Tasa de ventilación del aire exterior... 21.5 m³/min * 20% = 4.3 m³/min
 - Renovaciones de aire por hora (4.3 m³/min * 60 minutos / hora) / 195 metros cúbicos)... 1.3 ACH

Paso 4. El ACH de 1.3 es menor que el objetivo de 5 ACH

(continuación en siguiente página)

3. Añadir purificadores de aire portátiles con filtros HEPA en el aula

- Si sus sistemas mecánicos no pueden acomodar un filtro de mayor eficiencia, puede usar limpiadores de aire portátiles con filtros HEPA.
- Para elegir un filtro de aire portátil con las dimensiones correctas para el tamaño de su aula y la tasa de suministro de aire limpio para cumplir con el objetivo de ventilación, use la Calculadora de filtro de aire portátil para aulas desarrollada por el equipo de Harvard Healthy Buildings y Shelly Miller en CU Boulder (tinyurl.com/portableaircleanertool)
- El centro del aula puede ser el lugar ideal. Si esto no es posible, elija una ubicación en la que el flujo del filtro de aire portátil no sopie directamente a los ocupantes.

- Step 5.** Determinar qué estrategia suplementaria de ventilación o filtración se puede seguir.
- ¿Se puede aumentar el aire exterior?
 - a través de un mayor % de aire exterior? En este ejemplo, no.
 - a través de ventanas que se abren? En este ejemplo, no.
 - ¿Se pueden instalar filtros MERV13 en el aire recirculado? En este ejemplo, sí.
 - ¿Se necesitan limpiadores de aire portátiles con filtros HEPA? Primero determinar si los filtros MERV13 se pueden usar para cumplir con la ACH objetivo.
- El siguiente paso será determinar el impacto de los filtros MERV 13**
- | | |
|---|--|
| Caudal de aire medido dentro del aula (es decir, aire exterior + aire recirculado) | 21.5 m ³ /min |
| Porcentaje de aire exterior | 20% |
| Tasa de ventilación del aire exterior | 21.5 m ³ /min * 20% = 4.3 m ³ /min |
| Tasa de ventilación de aire recirculado | 21.5 - 4.3 = 17.2 m ³ /min |
| Tasa de aire recirculado limpio a través de MERV 13 | 17.2 m ³ /min * 0.8 eficiencia = 13.8 m ³ /min |
| Aire exterior + aire recirculado limpio a través del filtro MERV 13 | 4.3 m³/min + 13.8 m³/min = 18.1 m³/min |
| Cambios de aire por hora (18.1 m ³ /min * 60 minutos / hora) / 195 metros cúbicos) | 5.6 ACH |
- Esta sala ahora cumple con el objetivo de 5 ACH. No se necesita ninguna otra acción.

Ejemplo 1

Ventilación mecánica centralizada con filtros MERV 13

Ejemplo 2

Sistema de ventilación individual + ventanas abiertas

BUILDING FOR HEALTH HARVARD T.H. CHAN SCHOOL OF PUBLIC HEALTH HEALTH BUILDINGS PROGRAM

Paso 1. Las dimensiones de la habitación son:
Superficie = 93.8 metros cuadrados // Altura = 2.9 metros // Volumen = 272 metros cúbicos (volumen = superficie * altura)

Paso 2. Se confirmó que los sistemas estaban encendidos por comprobación visual y de audio.

Paso 3. Se seleccionó la opción A porque la escuela tenía acceso a un balómetro y el aula tenía un sistema de ventilación individual. Se realizaron las siguientes medidas de balómetro:

- Caudal de aire medido fuera del aula (es decir, suministro de aire exterior al aula)... 6.54 m³/min
- Caudal de aire medido dentro del aula (es decir, aire exterior + aire recirculado)... 22.65 m³/min
- Porcentaje de aire exterior que ingresa al aula... 29%
- Cambios de aire por hora (6.54 m³/min * 60 minutos) / 272 metros cúbicos... = **1.4 ACH**

Paso 4. El ACH medido de 1.4 es menor que el objetivo de 5 ACH. Esta aula necesita ventilación y/o filtración suplementaria.

Paso 5. Determinar qué estrategia suplementaria de ventilación o filtración se puede seguir.

- ¿Se puede aumentar el aire exterior?
 - a través del sistema de ventilación individual? En este ejemplo, no.
 - a través de ventanas que se abren? En este ejemplo, sí.
- ¿Se pueden instalar filtros MERV13 en el aire recirculado? En este ejemplo, no.
- ¿Se necesitan limpiadores de aire portátiles con filtros HEPA? Primero determinar si las ventanas abiertas pueden cumplir con el ACH objetivo

(continuación en siguiente página)

BUILDING FOR HEALTH HARVARD T.H. CHAN SCHOOL OF PUBLIC HEALTH HEALTH BUILDINGS PROGRAM

Paso 1. Las dimensiones de la habitación son:
Superficie = 93.8 metros cuadrados // Altura = 2.9 metros // Volumen = 272 metros cúbicos (volumen = superficie * altura)

Paso 2. Se confirmó que los sistemas estaban encendidos por comprobación visual y de audio.

Paso 3. Se seleccionó la opción A porque la escuela tenía acceso a un balómetro y el aula tenía un sistema de ventilación individual. Se realizaron las siguientes medidas de balómetro:

- Caudal de aire medido fuera del aula (es decir, suministro de aire exterior al aula)... 11.33 m³/min
- Caudal de aire medido dentro del aula (es decir, aire exterior + aire recirculado)... 22.65 m³/min
- Porcentaje de aire exterior que ingresa al aula... 50%
- Cambios de aire por hora (11.33 m³/min * 60 minutos) / 272 metros cúbicos... = **2.5 ACH**

Paso 4. El ACH medido de 2.5 es menor que el objetivo de 5 ACH.

Paso 5. Determinar qué estrategia suplementaria de ventilación o filtración se puede seguir.

- ¿Se puede aumentar el aire exterior?
 - a través del sistema de ventilación individual? En este ejemplo, no.
 - a través de ventanas que se abren? En este ejemplo, no.
- ¿Se pueden instalar filtros MERV13 en el aire recirculado? En este ejemplo, no.
- ¿Se necesitan limpiadores de aire portátiles con filtros HEPA? En este ejemplo, sí.

(continuación en siguiente página)

BUILDING FOR HEALTH HARVARD T.H. CHAN SCHOOL OF PUBLIC HEALTH HEALTH BUILDINGS PROGRAM

El siguiente paso es volver al Paso 3 y evaluar la tasa de ventilación con las ventanas abiertas usando el método de reducción de CO₂ (Opción C)

Identificar el inicio de la disminución:
C_{outdoor} = 1794ppm y t_{outdoor} = 9:16:26

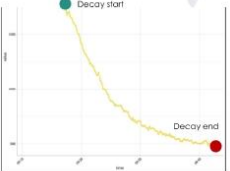
Identificar el final de la disminución:
C_{indoor} = 473ppm y t_{indoor} = 9:42:46

Concentración exterior: C_{outdoor} = 400 ppm

Tiempo: t_{outdoor} - t_{indoor} es 26 minutos y 20 segundos. En horas son 26/60 + 20/3600 = 0.4389 horas

$$ACH = \frac{-1 \ln \left(\frac{C_{indoor} - C_{outdoor}}{C_{outdoor} - C_{indoor}} \right)}{0.4389 \text{ horas}} = 6.7 \text{ ACH}$$

6.7 ACH es mayor que el objetivo de 5 ACH. Esta aula con las ventanas abiertas cumple con la ventilación deseada. Aún se deben hacer esfuerzos para aumentar el % de aire exterior suministrado por el sistema de ventilación e instalar filtros de mayor calidad.



BUILDING FOR HEALTH HARVARD T.H. CHAN SCHOOL OF PUBLIC HEALTH HEALTH BUILDINGS PROGRAM

El siguiente paso será determinar el tamaño correcto del purificador de aire portátil

Seleccionar el purificador de aire portátil del tamaño adecuado con esta herramienta: <https://tinyurl.com/portableaircalculator>

- Cambios de aire necesarios para cumplir con el objetivo de ACH en este ejemplo = 5 - 2.5 = 2.5 ACH adicional necesario
- Determinar la tasa de suministro de aire limpio (CADR) necesaria a partir del valor CADR del purificador de aire portátil requerido (las clasificaciones CADR se enumeran en la mayoría de los purificadores de aire portátiles disponibles comercialmente).
 - 2.5 ACH necesario * 272 metros cúbicos / 60 minutos = 11.33 m³/min
- Este aula cumplió con el objetivo de 5 ACH si se utilizan limpiadores de aire portátiles con filtración HEPA y con un CADR total de 11.33 m³/min (equivalente a 400 cfm (cubic feet per minute)).



Herramienta para la selección del purificador de aire portátil adecuado: <https://tinyurl.com/portableaircalculator>

También disponible en: <https://schools.bwh.harvard.edu/>

Ejemplo 3

Ventilación mecánica + purificador de aire portátil

© 2021 Harvard Healthy Buildings Program | 33

Recursos adicionales para la reapertura de escuelas

Schools for Health

© 2021 Harvard Healthy Buildings Program | 34

BUILDING FOR HEALTH HARVARD T.H. CHAN SCHOOL OF PUBLIC HEALTH HEALTHY BUILDINGS

Recursos adicionales



Estrategias de reducción de riesgos para la reapertura de escuelas



20 preguntas que todo padre debe hacer antes de enviar a sus hijos a la escuela



Cuándo abrir según la incidencia en la región



Herramienta para seleccionar purificadores de aire portátiles para aulas

Todos los recursos disponibles en: <https://schools.forhealth.org/>

BUILDING FOR HEALTH HARVARD T.H. CHAN SCHOOL OF PUBLIC HEALTH HEALTHY BUILDINGS

SCHOOLS FOR HEALTH

How School Buildings Influence Student Health, Thinking and Performance

HARVARD T.H. CHAN SCHOOL OF PUBLIC HEALTH



Guía en 5 pasos para medir la tasa de renovación de aire en aulas

Joseph Allen, Jack Spengler, Emily Jones, Jose Cedeno-Laurent
Harvard Healthy Buildings program | www.ForHealth.org
Traducción al español por María Cruz Mingullón, IDAEA-CSIC

agosto, 2020

BUILDING FOR HEALTH HARVARD T.H. CHAN SCHOOL OF PUBLIC HEALTH HEALTHY BUILDINGS

Limitaciones

- Los valores medidos en un día reflejarán solo las condiciones experimentadas ese día, tanto dentro como fuera del edificio. La infiltración y el flujo de aire a través de las ventanas dependen en gran medida de las condiciones climáticas al aire libre, si las puertas del aula y del pasillo están abiertas y si el sistema de extracción de aire (kitchen use por gravedad o mecánico) está funcionando según lo previsto.
- Abrir ventanas y puertas no es una solución permanente y no debe reemplazar los esfuerzos para garantizar que los sistemas de ventilación funcionen correctamente.
- No todas las áreas de la habitación pueden considerarse bien mezcladas. Por ejemplo, un sistema mecánico puede mezclar más eficientemente el área central de un aula y mezclar menos eficientemente las esquinas u otras áreas periféricas.
- Nuestros valores de cambio de aire objetivo por hora (ACH) (Paso 4) se basan en las densidades predefinidas del aula, tal como se expresa en la Norma ASHRAE 62.1-2019 (25 estudiantes / 1000 pies cuadrados para niños de 5 a 8 años). Estas densidades no deben superarse solo por una reducción efectiva de la tasa de ventilación equivalente por persona considerando nuestros cálculos, sino también por el riesgo de transmisión de gotitas si no se conserva el distanciamiento físico recomendado.
- Limitaciones del uso de CO₂ para estimar la ventilación (Paso 3, Opción C o D):
 - Con el fin de controlar las enfermedades infecciosas, tirar el aire recirculado con filtros de alta eficiencia (MERV 13 o mejores) o limpiadores de aire portátiles con filtros HEPA proporciona un flujo adicional de aire de alta eficiencia. La estimación de la renovación de aire por hora con CO₂ se ve afectada al aplicar la tasa de suministro de aire exterior y NO tiene en cuenta ningún beneficio adicional de aire filtrado. Para obtener más detalles sobre cómo combinar el flujo de aire adecuadamente filtrado con el suministro adicional de purificadores de aire portátil (HVAC compatible) véase el sitio.
 - Los resultados son posibles a menos que exista presencia de CO₂ del contenido, actividad metabólica o no adecuada de las fuentes de inicio y finalización de la disminución de la concentración. Flujos desde o hacia otros espacios dentro del edificio, así como cambios en la tasa de ventilación durante la medición, cambios en las densidades de ocupación dentro del edificio y en el ambiente del edificio.

BUILDING FOR HEALTH HARVARD T.H. CHAN SCHOOL OF PUBLIC HEALTH HEALTHY BUILDINGS

Descargo de responsabilidad

- Este documento se proporciona únicamente con fines informativos y educativos. Su objetivo es ofrecer orientación con respecto a preguntas sobre las mejores prácticas con respecto a la evaluación de la ventilación en las aulas escolares en un esfuerzo por reducir el riesgo de transmisión de enfermedades, específicamente el nuevo coronavirus SARS-CoV-2 y la enfermedad que causa, COVID-19.
- La adherencia a cualquier información incluida en este documento no garantizará un tratamiento exitoso en cada situación, y el usuario debe reconocer que no existe un escenario de "riesgo cero", que cada edificio y situación son únicos y algunos de los puntos contenidos en el documento no serán aplicables a todos los edificios o países fuera de los Estados Unidos.
- Además, el documento no debe considerarse exhaustivo en cuanto a la inclusión de todos los métodos adecuados ni es excluyente de otros métodos razonablemente diseñados para obtener los mismos resultados. El documento no tiene la intención de omitir o reemplazar la orientación del gobierno y las organizaciones de salud, incluidos, entre otros, los Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades, la Organización Mundial de la Salud, el Gobierno de los Estados Unidos y cualquier otro estado.
- La información contenida en este documento refleja la información disponible en el momento en que se creó el documento. El usuario reconoce que los detalles y la información cambian a diario, y la nueva información y/o los resultados de estudios futuros pueden requerir revisiones del documento (y la guía general contenida en el mismo) para reflejar nuevos datos.
- No garantizamos la precisión o integridad de la guía en este documento y no asumimos ninguna responsabilidad por cualquier lesión o daño a personas o propiedad que surja de o esté relacionado con cualquier uso del informe o por cualquier error u omisión.

2. *Valores promedio registrados con el sensor Aranet de los niveles CO₂ por minuto en el auditorio sede JAG de la UNAD.*

Fecha y hora	CO₂ (ppm)	Temperatura(C)	Humedad (%)	Presión Atmosférica (hPa)
6/25/2021 10:40:56 a. m.	577	20,0	53	754
6/25/2021 10:41:56 a. m.	565	20,0	53	754
6/25/2021 10:42:56 a. m.	560	20,0	53	754
6/25/2021 10:43:56 a. m.	557	20,0	53	754
6/25/2021 10:44:56 a. m.	546	20,1	53	754
6/25/2021 10:45:56 a. m.	533	20,1	53	754
6/25/2021 10:46:56 a. m.	527	20,1	53	754
6/25/2021 10:47:56 a. m.	538	20,1	53	754
6/25/2021 10:48:56 a. m.	520	20,1	53	754
6/25/2021 10:49:56 a. m.	516	20,1	53	754
6/25/2021 10:50:56 a. m.	522	20,1	53	754
6/25/2021 10:51:56 a. m.	509	20,1	53	754
6/25/2021 10:52:56 a. m.	506	20,2	53	754
6/25/2021 10:53:56 a. m.	522	20,2	53	754
6/25/2021 10:54:56 a. m.	515	20,2	53	754
6/25/2021 10:55:56 a. m.	513	20,2	53	754
6/25/2021 10:56:56 a. m.	538	20,2	53	754
6/25/2021 10:57:56 a. m.	506	20,2	53	754
6/25/2021 10:58:56 a. m.	532	20,2	53	754
6/25/2021 10:59:56 a. m.	495	20,3	53	754
6/25/2021 11:00:56 a. m.	520	20,3	53	754
6/25/2021 11:01:56 a. m.	509	20,3	53	754
6/25/2021 11:02:56 a. m.	527	20,2	53	754
6/25/2021 11:03:56 a. m.	549	20,3	53	754
6/25/2021 11:04:56 a. m.	550	20,2	53	754
6/25/2021 11:05:56 a. m.	520	20,2	53	754
6/25/2021 11:06:56 a. m.	549	20,3	53	754
6/25/2021 11:07:56 a. m.	514	20,3	53	754
6/25/2021 11:08:56 a. m.	501	20,3	53	754
6/25/2021 11:09:56 a. m.	489	20,4	53	754
6/25/2021 11:10:56 a. m.	489	20,3	53	754
6/25/2021 11:11:56 a. m.	468	20,4	53	754
6/25/2021 11:12:56 a. m.	473	20,4	53	754
6/25/2021 11:13:56 a. m.	484	20,4	52	754
6/25/2021 11:14:56 a. m.	468	20,4	52	754
6/25/2021 11:15:56 a. m.	479	20,4	52	754
6/25/2021 11:16:56 a. m.	475	20,4	52	754
6/25/2021 11:17:56 a. m.	494	20,4	52	754
6/25/2021 11:18:56 a. m.	495	20,4	52	754

6/25/2021 11:19:56 a. m.	509	20,4	52	754
6/25/2021 11:20:56 a. m.	503	20,4	52	754
6/25/2021 11:21:56 a. m.	503	20,4	52	754
6/25/2021 11:22:56 a. m.	505	20,4	52	754
6/25/2021 11:23:56 a. m.	530	20,4	52	754
6/25/2021 11:24:56 a. m.	528	20,4	52	754
6/25/2021 11:25:56 a. m.	528	20,4	52	754
6/25/2021 11:26:56 a. m.	500	20,4	52	754
6/25/2021 11:27:56 a. m.	506	20,4	52	754
6/25/2021 11:28:56 a. m.	511	20,4	52	754
6/25/2021 11:29:56 a. m.	517	20,4	52	754
6/25/2021 11:30:56 a. m.	497	20,4	52	754
6/25/2021 11:31:56 a. m.	514	20,5	52	754
6/25/2021 11:32:56 a. m.	508	20,5	52	754
6/25/2021 11:33:56 a. m.	514	20,5	52	754