



**Análisis De La Concentración De CO₂ En Ambientes Interiores En La Corporación
Universitaria Reformada Por Medio De Equipos Portátiles De Bajo Costo.**

Natanael Romero Hernández

José Gabriel Márquez Cera

Corporación Universitaria Reformada

Departamento de Ingeniería

Barranquilla – Atlántico

2022



**Análisis De La Concentración De CO₂ En Ambientes Interiores En La Corporación
Universitaria Reformada Por Medio De Equipos Portátiles De Bajo Costo.**

Natanael Romero Hernández

José Gabriel Márquez Cera

Investigación presentada como requisito para optar por el título de **Tecnólogo en Sostenibilidad
y Desarrollo Ambiental**

Tutora:

Ing. Martha Alicia Mendoza Hernández M.Sc.

Cotutora:

M.Sc. Margarita Castillo Ramírez

Corporación Universitaria Reformada

Departamento de Ingeniería

Barranquilla – Atlántico

2022

CONTENIDO.

1. Introducción	8
2. Planteamiento Del Problema.....	11
3. Justificación	13
4. Objetivos	15
4.1. Objetivo General.....	15
4.2. Objetivos Específicos	15
5. Marco Referencial.....	16
5.1. Marco Teórico.....	16
5.1.1. Dióxido De Carbono En Exteriores	17
5.1.2. Dióxido De Carbono En Interiores.	18
5.1.3. Indicadores De Calidad De Aire En Ambientes Interiores.	20
5.2. Estado De Arte	23
6. Metodología.....	28
6.1. Área De Estudio	28
6.2. Muestreo En El Área De Estudio	29
6.3. Dispositivo Sensor NDIR Para Medir El Dióxido De Carbono.	33
7. Resultado Y Discusiones.	36

7.1. Evaluación de las Concentraciones Del Contaminante CO₂ En Las Aulas De Clases De La Corporación Universitaria Reformada.	36
7.2. Identificación de Enfermedades Asociadas Al Sistema Respiratorio Con La Exposición Al Contaminante CO₂.	41
7.3. Estrategias Para la Disminución De Las Afecciones Ambientales Que Se Presentan En Los Ambientes Interiores A Causa Del Contaminante CO₂.	43
8. Conclusión Y Recomendaciones.	45
9. Bibliografía.	46

Listado de Tablas

Tabla 1. Clasificación de contaminantes del aire interior	17
Tabla 2. Dióxido de carbono como indicador en la evaluación de la calidad de un aire interior.	19
Tabla 3. Correlación entre la ventilación y la concentración de CO ₂ en ambientes interiores.....	22
Tabla 4. Correlación entre la ventilación y la concentración de CO ₂ en ambientes interiores.....	31
Tabla 5. Características y medidas de los salones seleccionados.....	36
Tabla 6. Datos Tomados en el aula de Clase Sensor1.....	37
Tabla 7. Datos Tomados en el aula de Clase Sensor 2.....	37
Tabla 8. Correlación entre la ventilación y la concentración de CO ₂ en ambientes interiores.....	39
Tabla 9. Análisis de la calidad de la concentración de CO ₂ 15 minutos antes de ingresar.	40
Tabla 10. Análisis de la calidad de la concentración de CO ₂ 15 minutos después de ingresar.....	40
Tabla 11. Análisis de la calidad de la concentración de CO ₂ 15 minutos después de ingresar.....	42

Listado de Ilustraciones

Ilustración 1. Ubicación de la Corporación Universitaria Reformada.....	28
Ilustración 2. Calibración de los equipos para medición CO ₂	31
Ilustración 3. Principio de los sensores NDIR (diseño compacto) para medir CO ₂	33
Ilustración 4. Monitoreo con los equipos para medir CO ₂ (Sensores NDIR)	35
Ilustración 5. Importancia de la recirculación de aire.....	41

Listado de Gráficos

Gráfica 1. Concentración de CO ₂ antes de ingresar al salón.....	38
Gráfica 2. Concentración de CO ₂ después de ingresar al salón.	39

RESUMEN.

En la presente investigación se realizó un análisis de la concentración de dióxido de Carbono (CO₂), dentro de los salones de la Corporación Universitaria Reformada, los cuales se seleccionaron 3 salones con características similares en cuestión de volumen de área. El objetivo es analizar cuál es la concentración de este dentro de los salones para identificar que también se encuentra la calidad de aire en él, por lo cual el análisis llevo que antes de ingresar al salón las concentraciones son óptimas, pero al transcurrir un tiempo de 1 hora aumentan significativamente causando que exista una mala calidad de aire en él. Para el monitoreo se utilizaron sensores de tecnología NDIR (infrarrojo no dispersivo) que permite la medición de los niveles de CO₂ de manera continua.

El análisis de estas partículas permitirá información base para la toma de decisiones y acciones oportunas para las actividades que se realizan dentro del salón y poder salvaguardar su salud.

Palabras Claves: CO₂, contaminación del aire, monitoreo, calidad de aire.

ABSTRACT.

In the present investigation, an analysis of the concentration of Carbon dioxide (CO₂) was carried out, within the halls of the Reformed University Corporation, which 3 halls with similar characteristics in terms of area volume were selected. The objective is to analyze what is the concentration of this inside the rooms to identify that the air quality is also found in it, for which the analysis led that before entering the room the concentrations are optimal, but after a time of 1 hour increase significantly causing poor air quality to exist in it. NDIR (non-dispersive infrared) technology sensors were used for monitoring, which allows continuous measurement of CO₂ levels.

The analysis of these particles will allow basic information for decision-making and timely actions for the activities carried out within the salon and to safeguard your health.

Keywords: CO₂, air pollution, monitoring, air quality.

1. Introducción

La contaminación del aire es actualmente uno de los problemas ambientales más severos a nivel mundial, y este trae problemáticas a diferentes escalas y en diferentes ambientes que causan afectaciones en el medio ambiente y al ser humano. Esta contaminación es generada por diferentes fuentes que depende de muchas veces del desarrollo socioeconómico. (Romero Placeres et al., 2006).

La contaminación atmosférica se define como la presencia de elementos contaminantes en la atmósfera que alteran su composición y que afectan a cualquier componente del ecosistema. (IDEAM, n.d.) Desde un punto de vista antropocéntrico, la contaminación atmosférica se refiere a los contaminantes que afectan la salud o el bienestar humano y el medio ambiente. (Celis et al., 2007, como se citó en Mendoza, 2021).

La contaminación atmosférica no solo afecta los ambientes exteriores si no, también los ambientes interiores tales como oficinas, universidades, edificios y todos los sitios cerrados. No obstante, en la actualidad muchos de estos espacios no cuentan con la ventilación adecuada por lo que utilizan sistemas artificiales para acondicionar o controlar las temperaturas de este por medio de aires acondicionados.

Sin embargo, en muchas ocasiones no realizan el recambio de aire necesario para tener una buena ventilación y tener los niveles óptimos de CO₂, lo que ocasiona diferentes enfermedades en el ser humano relacionadas con los altos niveles de este contaminante presente en los ambientes de interiores.

Actualmente el dióxido de Carbono (CO₂), es uno de los gases que son considerados parte del efecto de invernadero y que tiene un mayor impacto y presencia en la atmosfera, lo que ha causado un desequilibrio en los ciclos naturales de la Tierra, los ecosistemas y la salud del ser humano.

Debido a esto se han creado estaciones de monitoreo para medir las concentraciones de CO₂ y otros contaminantes criterios en exteriores por ejemplo en zonas de alto tráfico vehicular, grandes industrias, etc., y en interiores como salones, bibliotecas, oficina y cualquier espacio cerrado.

Los efectos sobre la salud se deben a distintas exposiciones ambientales, las cuales han sido vinculadas a efectos negativos en las personas que van desde molestias transitorias en las vías respiratorias, reducción de la capacidad pulmonar, disminución de la actividad laboral, admisiones hospitalarias, enfermedades respiratorias agudas y crónicas e incluso hasta llegar a la muerte; es así, como este tema ha sido de interés creciente en los profesionales de salud pública, medio ambiente y salud ambiental que han tomado medidas investigativas que contribuyan a la disminución o presencia de enfermedades causadas por la contaminación atmosférica. (Mendoza Hernández, 2021).

Debido a esto, efectuar monitoreos en ambientes interiores es pertinente para crear decisiones y mecanismos que mitiguen los niveles de CO₂ con el fin de prevenir enfermedades relacionadas con los altos niveles de concentración en el ambiente.

Por medio del presente trabajo, se pretende realizar un análisis de las concentraciones de CO₂, en algunos salones de la Corporación Universitaria Reformada, que cuenten con características de espacio similares, poca ventilación, y al menos un intercambio de ventilación natural, con el fin de conocer la concentración de este contaminante y poder formular estrategias que permitan disminuir el mismo en el salón.

2. Planteamiento Del Problema

En los últimos años, Colombia ha trabajado en estrategias que conlleve a la mejora de la calidad ambiental en el país, por lo cual el gobierno busca tecnologías y estrategias que permitan la mejora de todos los componentes ambientales que se requieren para mejorar la calidad de vida. Es así como hoy en día, muchas de las entidades a nivel territorial vienen trabajando en componentes que contribuyan a la mejora de la calidad de aire, buscando formas de prevención para la carga de contaminantes presentadas en la atmosfera y lugares cerrados.

Sin embargo; "En Colombia el tema de calidad del aire interior y optima ventilación, ha sido poco investigado y no existe una normativa específica que la reglamente (...)" (Tovar Neira, 2018)

Con base a lo anterior se analiza que las personas pasan la mayor parte de su tiempo de sus vidas y actividades en espacios cerrados y muy probablemente cuenten con mala calidad del aire en estos ambientes, lo cual es un factor de riesgo para la salud del ser humano.

Teniendo en cuenta lo anterior, existen datos que confirman la relación entre carga contaminante, ventilación y riesgo a la salud como puede ser las concentraciones de contaminantes en interiores que en con base a estudios se ha analizado que dichas concentraciones no se reducen significativamente cuando existe un intercambio de aire exterior con el aire interior, también se relaciona que cerca del 90% de las actividades de los seres humanos se desarrollan en espacios de interiores, y existe la probabilidad de que dentro de estos ambientes interiores se den nuevos contaminantes por dichas actividades, productos utilizados dentro de estos espacios cerrados. (Junta De Andalucia et al., n.d.).

“La tasa de intercambio de aire actualmente 10 veces menor de lo que era hace 30 años por consiguiente el incremento en la humedad y concentración de contaminantes interiores (...)” (Junta De Andalucía et al., n.d.)

Dado que el dióxido de Carbono (CO₂), es el gas de efecto invernadero más emitido a la atmosfera por el ser humano, tanto en espacios exteriores como en interiores, pueden presentar concentraciones altas que generan impactos negativos a nuestra salud, por ende, analizar su comportamiento significa ir un paso adelante hacia el carbono neutralidad, y facilita la toma de decisiones de proyectos que impliquen disminuir la huella de carbono y las enfermedades causadas por la contaminación.

No obstante, la necesidad de este trabajo nace por el retorno a actividades educativas presenciales los cuales implica el uso de espacios cerrados, tales como salones de clase, aulas de reuniones, auditorios y laboratorios, así como oficinas y áreas administrativas con una deficiente ventilación. Por lo anterior, en los entornos escolares cerrados las condiciones de ocupación y ventilación son fundamentales para determinar y minimizar el riesgo de transmisión de diferentes enfermedades. Es así, que con base a lo anterior nace la pregunta problema:

¿Es posible analizar las concentraciones de CO₂ en aulas de clase con equipos de bajo costo?

3. Justificación

La contaminación ambiental ha llevado al aceleramiento del cambio climático durante los últimos años, causando problemas a nivel medioambiental y sociales que ocasionan el deterioro de los ecosistemas y trae consecuencias que afectan directamente la salud humana.

Los problemas de la calidad del aire han provocado la reacción de la opinión pública y fuertes demandas sociales que lleva a los diferentes gobiernos a planear estrategias a nivel ciudad para poder mitigar los impactos ambientales a causa de la contaminación ambiental. (Romero Placeres et al., 2006).

A pesar, que la contaminación atmosférica ha sido evidente desde principios del siglo pasado, la calidad ambiental en interiores o ambientes indoor comenzó a considerarse un problema a fines de la década de 1960, aunque las primeras investigaciones se realizaron 10 años después, se evidencia que los países industrializados están entre el 60% y 80% de su tiempo en espacios cerrados, por consiguiente, es muy probable que espacios cerrados no cuenten con una buena calidad de aire y pueda que afecte de manera significativa la salud de las personas. (Berenguer Subils & Bernal Domínguez, 2000).

De acuerdo con un estudio realizado por el Departamento Nacional de Planeación – DNP para 2015 la mala calidad de aire generó alrededor de 8.052 muertes en el país, con costos asociados de aproximadamente 12,2 billones de pesos, cifra que equivale al 1,5% del PIB de ese año. (IDEAM, n.d.)

Pero a pesar de los esfuerzos de las alcaldías y gobiernos busquen alternativas para controlar y tomar acciones referentes a la contaminación en el aire, han iniciado a través de la medición y análisis de contaminantes criterios en ambientes externos, mediante estaciones de monitoreo ubicadas en sitios estratégicos; sin embargo, existe un vacío en lo que respecta a control y vigilancia en ambientes interiores, ya que no se realizan monitoreos en actividades de lugares cerrados, residenciales, en los cuales la carga contaminante puede ser mayor que el exterior.

En la actualidad, los ambientes interiores concurridos por personas, como universidades, oficinas, colegios, edificios públicos, etc., no cuentan ventilaciones naturales en sus interiores ya que estos espacios se encuentran totalmente cerrados. Sin embargo, instalan en sus interiores sistemas de aire acondicionado para mejorar la ventilación y temperatura del lugar, y en muchas ocasiones esto favorece la dispersión de distintos virus o enfermedades relacionadas a la mala ventilación del lugar.

Por ello, la implementación de monitoreos para medir la calidad del aire en ambientes interiores es pertinente para poder efectuar las medidas necesarias, que prevengan las enfermedades a salud humana relacionados a la contaminación del aire.

4. Objetivos

4.1. Objetivo General

Analizar las concentraciones de CO₂ en salones de la Corporación Universitaria Reformada por medio de equipos portátiles de bajo costo.

4.2. Objetivos Específicos

- Evaluar la concentración del contaminante CO₂ en las aulas de clases de la Corporación Universitaria Reformada.
- Identificar las enfermedades asociadas al sistema respiratorio con la exposición al contaminante CO₂.
- Desarrollar estrategias que permitan disminuir las afecciones ambientales que se presentan en los ambientes interiores de la Corporación Universitaria Reformada a causa del contaminante CO₂.

5. Marco Referencial

5.1. Marco Teórico

Los contaminantes que se generan en ambientes interiores no son de carácter industrial, es decir no viene de algún tipo de proceso de combustión, la mayoría son generados por actividades que se encuentran al alcance de cualquier persona, como es un asado, estufas caseras (generan combustión por leña o maderas) cada vez que se realiza el intercambio de aire con la respiración, los gases generados de los procesos de combustión entre otros.

Según nuevos datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS (Organización Mundial de la Salud)), nueve de cada diez personas respiran aire con altos niveles de contaminantes. (OMS, 2018)

La OMS reconoce que la contaminación del aire es un factor de riesgo crítico para las enfermedades no transmisibles (ENT), ya que se estima que causa una cuarta parte (24%) de todas las muertes de adultos por cardiopatías, el 25% de las muertes por accidentes cerebrovasculares, el 43% de las muertes por neumopatía obstructiva crónica y el 29% de las muertes por cáncer de pulmón. (OMS, 2018)

Esta contaminación es causada por contaminantes como material particulado, ozono, dióxido de nitrógeno, dióxido de carbono o los metales pesados provenientes de la industria, la calefacción, transporte etc., y como se citó en el anterior párrafo la contaminación del aire es un factor de riesgo para la salud de las personas.

Tabla 1. Clasificación de contaminantes del aire interior.

Clasificación de contaminantes del aire interior	
Inorgánicos	Monóxidos de carbono, dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno, partículas.
Orgánicos contaminantes de origen biológicos	Compuestos orgánicos volátiles (COVs) Virus, hongos, bacterias, ácaros, pelo y caspa de mascotas.
Mezclas	Humo ambiental de tabaco, plaguicidas, ambientadores, desinfectantes y otros productos de uso domésticos.
Alérgenos	Hongos, mohos, ácaros de polvo, caspa y pelo de mascotas, cucarachas, plantas.

Fuente: (Matías Velázquez, A. A., Torrez Cortés, P. D. J., Magaña Villegas, E., Ramos Herrera, S., & Carrera Velueta, J. M., 2016).

5.1.1. Dióxido De Carbono En Exteriores

Los contaminantes en espacios exteriores a un alto nivel pueden ser adversos a la salud, aumentando el riesgo de infecciones respiratoria, cardiacas, cerebrovasculares. Esto puede ser causado tanto a corto como a largo plazo. Dentro de los contaminantes más asociado a estas enfermedades y que hay frecuencias de estudio es el pm 2,5. se encuentran tres tipos de fuentes naturales, agrícolas y tecnológicas.

- **Fuentes Naturales:** El polvo contiene material biológico, esporas, polen y bacterias.
- **Fuentes Agrícolas:** Pesticidas y herbicidas utilizados en la agricultura.
- **Fuentes De Tecnología:** Procesos industriales de todo tipo Consumo nacional y extranjero de combustibles fósiles Automóviles.

El dióxido de carbono es un gas inodoro e incoloro que desplaza el oxígeno y es por ello por lo que en altas concentraciones puede causar dolor de cabeza, mareos, problemas respiratorios, etc. Según la concentración y el tiempo de exposición, estos niveles suelen ser mayores a los 30,000 ppm, según datos oficiales de la normativa NTP 549 de España. (Berenguer Subils & Bernal Domínguez, 2000)

Es un gas muy común del aire exterior, que suele encontrarse en niveles entre los 300 y 400 ppm, pudiendo alcanzar valores de hasta 550 ppm en entornos urbanos, según datos oficiales de la normativa NTP 549 de España. (Berenguer Subils & Bernal Domínguez, 2000)

“El valor límite de exposición ocupacional del INSHT (LEP-VLA) para una exposición diaria de 8 horas es de 5000 ppm con un valor límite de exposición breve de 15 minutos de 15 000 ppm.” (Berenguer Subils & Bernal Domínguez, 2000)

Generalmente estos valores no se encuentran en ambientes interiores tales como oficinas, escuelas y entre otros.

5.1.2. Dióxido De Carbono En Interiores.

En ambientes interiores no industriales sus principales focos son la respiración humana y el fumar; aunque los niveles de dióxido de carbono también pueden incrementarse por la existencia de otras combustiones (cocinas y calefacción) o por la proximidad de vías de tráfico, garajes o determinadas industrias. (Berenguer Subils & Bernal Domínguez, 2000)

Las concentraciones de CO₂ en un ambiente interior es un indicador de distintos aspectos, circunstancias y características de un edificio tales como la salud de sus ocupantes, su correlación con problemas por olor y también la poca ventilación del edificio. (Junta De Andalucía et al., s/f).

Según (NTP 549, 2000) comenta que para la determinación del dióxido de carbono pueden utilizarse tubos colorimétricos o monitores portátiles ya sean foto acústicos o de infrarrojo, siendo estos últimos los más versátiles y de uso más extendido, ya que permiten tanto mediciones puntuales como mediciones promediadas en el tiempo mediante la utilización de acumuladores de datos que luego pueden estudiarse con un equipo informático. Es muy importante que la persona que lleve a cabo las mediciones mantenga el sensor lejos de su área respiratoria, ya que en la respiración se expiran entre 30.000 y 40.000 ppm de dióxido de carbono, cantidades que pueden falsear las lecturas.

Tabla 2. Dióxido de carbono como indicador en la evaluación de la calidad de un aire interior.

Medida	Técnica Empleada	Observaciones
CO ₂ como contaminante	Medidas puntuales	Aire exterior: 300-400 ppm LEP: 5.000 ppm
CO ₂ como indicador de la contaminación generada por los ocupantes	Medidas puntuales (final de mañana/ tarde) o series de datos	UNE 100-011-91 recomienda una concentración máxima de 1.000 ppm
CO ₂ como indicador básico de un adecuada o inadecuada renovación de aire	Medidas puntuales (final de mañana/ tarde) o series de datos	Algunos organismos proponen la realización de mediciones para, por ej. a 800 ppm, aconsejar la revisión del funcionamiento del sistema de ventilación.
de aire exterior/caudal de ventilación	Medida de las concentraciones de CO ₂ en el aire de suministro, de retorno y exterior y del caudal total de aire	Determina la cantidad de aire exterior suministrado a una zona por la unidad de tratamiento de aire. No tiene en cuenta las infiltraciones. Se basa en la diferencia entre CO ₂ interior y exterior
Caudal de ventilación	Utilización del CO ₂ como gas trazador. Almacenamiento de datos durante un periodo de tiempo, hasta alcanzar el equilibrio	Se requieren medidas muy exactas de CO ₂ . Es conveniente una tasa de renovación alta (para alcanzar las condiciones de equilibrio). El cálculo viene afectado por la estimación del CO ₂ generado por los ocupantes

Medida	Técnica Empleada	Observaciones
Caudal de ventilación	Registro continuo de la disminución de los niveles de CO2 utilizado como gas trazador	Es conveniente una tasa de renovación baja si se utiliza el CO2 generado por los ocupantes. Es preferible introducir CO2 sin ocupación
Reentrada de aire	Comprobación puntual de los niveles de CO2 en el aire exterior y en el aire de entrada	Sencilla comprobación de la reentrada de aire procedente de la expulsión
Distribución de la ventilación	Medida de CO2 en varios puntos del edificio	Comprobación de la mezcla adecuada y de la distribución del aire exterior a las zonas ocupadas
Cortocircuito	Medida de CO2 en varios puntos del edificio	Comprobación rápida, habitación por habitación, de la velocidad y perfil de los chorros de aire de los difusores
Vías de distribución de la contaminación	Introducción de CO2, diferencias entre medidas puntuales	Cualitativo. Generalmente sólo es efectivo si el edificio no está ocupado
Idoneidad de la ventilación nocturna	Registro continuo de datos de CO2	Sólo es efectivo si las zonas medidas no están ocupadas durante la noche
Reajuste del sistema de ventilación	Registro antes y después del reajuste del sistema	Método comparativo muy exacto y fácil

Fuente: (Berenguer Subils & Bernal Domínguez, 2000)

5.1.3. Indicadores De Calidad De Aire En Ambientes Interiores.

Los parámetros que determinan la calidad del aire en los ambientes interiores están interrelacionados, incluidos la estructura del interior, los principales agentes, factores contaminantes y riesgos para la salud.

Dentro de estos parámetros se encuentran factores, que (Matías Velázquez et al., 2016): “(...) 1) menciona como una ventilación inadecuada, debida generalmente por un suministro insuficiente de aire limpio, un alto nivel de recirculación, una ubicación incorrecta de los puntos de ventilación, una distribución deficiente que deja zonas no ventiladas y una falta de mantenimiento o diseño incorrecto de los sistemas de filtrado y condiciones meteorológicas

extremas o fluctuantes; 2) la contaminación interior, la cual puede tener como origen: a las personas y las actividades que ahí se realicen, como la utilización inadecuada de productos (pesticidas, desinfectantes, limpieza, abrillantado), a los gases de combustión (fumar, cafeterías, laboratorios); y 3) la contaminación exterior debida a la entrada en el edificio del humo de escape de vehículos, gases de combustión en procesos industriales, productos utilizados en trabajos de construcción y mantenimiento (asfalto, por ejemplo) entre otros.”

5.1.3.1. Dióxido De Carbono (CO₂) Como Principal Indicador De Calidad De Aire En

Interiores. El CO₂ es considerado un indicador de la calidad del aire interior; siempre y cuando la principal fuente de emisión sean las personas y no otro elemento de combustión o generación. (Gutiérrez, 2021).

El CO₂ en espacios interiores desplaza al oxígeno, produciendo al individuo que se encuentra en su interior molestias o síntomas que se agravan ante exposiciones largas a altas concentraciones (Berenguer, 2005; Guardino Solá, 1998 como se citó en Gutiérrez 2021).

Desde la revolución industrial, las concentraciones de CO₂ se han visto aumentadas hasta un 30% en la atmósfera exterior, repercutiendo de forma directa en las zonas urbanas y residenciales. (Gutiérrez, 2021)

Esto como consecuencias de las grandes cantidades de CO₂ emitidas por el parque automotor y el sector industrial. No obstante, en los ambientes interiores, el principal emisor es el ser humano debido a su actividad metabólica; así mismo, algunos de los sistemas de refrigeración utilizados tienen presencia de dióxido de carbono.

Sin embargo, factores abióticos tales como la temperatura y la humedad inciden directamente en las cantidades emitidas de dióxido de carbono por las personas. Esto nos indica

que, los factores fisicoquímicos y la actividad metabólica del ser humano son determinantes en el análisis de la concentración de CO₂ en ambientes interiores.

Tabla 3. *Correlación entre la ventilación y la concentración de CO₂ en ambientes interiores.*

Nivel de Ventilación	Excelente	Excelente	Buena	Aceptable	Malo
Concentraciones de CO ₂ (ppm)	Menor 550	Entre 550 y 700	Entre 700 y 800	Entre 800 y 1.000	Mayor a 1.000

Fuente: (Estándar americano ASHRAE 62.1, 2022)

En contraste con lo anterior, las altas concentraciones de dióxido de carbono en el interior son causada por la presencia en el aire interior de mayores concentraciones de monóxido de carbono, el uso de productos químicos para la limpieza, la ventilación incorrecta o el mantenimiento inadecuado de los sistemas de aire acondicionado.

Los materiales contaminantes en lugares de interiores pueden ser, Monóxido de carbono, Materia Particulado (PM), Plomo, El moho y la Humedad, Dióxido de nitrógeno (NO₂), Pesticidas la atmósfera interior es un indicador que informa de la necesidad instalar un mecanismo de ventilación.

La concentración del dióxido de carbono en el aire exterior se encuentra en torno a los valores de 400 y 500 ppm; valores recomendables por todas las instituciones sanitarias para una salubre e higiénica calidad del aire. Estos valores se disparan cuando un recinto se encuentra cerrado y en presencia de personas; considerándose que los valores prolongados en el tiempo a partir de los 1000 ppm producen síntomas que pueden afectar al día a día: dolores de cabeza, fatiga o cansancio, son algunos ejemplos. (Gutiérrez, 2021).

5.2. Estado De Arte

La contaminación, el cambio climático y otros fenómenos crean más perturbaciones ambientales con consecuencias impredecibles sobre la salud humana y en general sobre el equilibrio de la vida y ecosistema. Las estaciones de calidad del aire se utilizan comúnmente en áreas al aire libre, como áreas de alto tráfico, cerca de ciertas fábricas, entre otras. (Gutiérrez, 2021).

Actualmente, los ambientes interiores como oficinas, universidades, edificios públicos, escuelas, entre otros, no cuentan con ningún tipo de ventilación natural debido a que se encuentran cerrados. Por eso, tienen sistemas de aire acondicionado para mejorar el rendimiento, pero crean problemas o enfermedades diferentes para la salud de las personas que pasan por edificios diferentes. Por lo tanto, es importante tomar medidas de la calidad del aire interior para tomar medidas correctivas si es necesario para prevenir enfermedades relacionadas con la mala calidad del aire. Los problemas asociados con este tipo de contaminación ⁹⁰⁷ ocurren en países en vías de desarrollo y en hogares donde no es económicamente viable comprar aparatos que proporcionen una ventilación adecuada para el hogar. Por ello, se ha diseñado un dispositivo de tecnología de bajo coste para transmitir en tiempo real las medidas del a un sistema remoto para comparar con lo fijado en resolución. 22511 de noviembre de 2017, donde se estableció en el apartado 10 niveles de prevención, alerta y emergencia por contaminación atmosférica en tiempos de exposición diferentes. (Velásquez, et al., 2006).

Los espacios interiores son donde las personas pasan un promedio de más del 90% de su tiempo y donde las concentraciones de contaminantes pueden ser más altas que en los ambientes exteriores. El estudio se realizó en una institución educativa de Villahermosa, Tabasco. El objetivo fue medir las concentraciones de PM10 y CO₂ en espacios interiores representativos de

(laboratorio, cabina, oficina y salón de clases) y analizar su relación con la temperatura y la humedad relativa del muestreo se realiza de lunes a viernes, de 10:00 a.m. por semana por espacio y de forma secuencial. Para determinar la diferencia significativa de entre el espacio muestreado y la fecha de muestreo, se realizó un análisis de comparación múltiple de con un nivel de confianza del 95 %. Como resultado, la concentración horaria máxima promedio de se observó en el salón de clases con 203 ppm de CO₂ y 109 µg/m³ PM10, las concentraciones varían según el día de la semana, la distribución de CO₂ varía según los espacios y los niveles de PM10 en las oficinas y las salas de estudio son similares, no como lo son en las aulas y los laboratorios. El PM10 está fuertemente correlacionado con de temperatura interior, un modelo cuadrático ajustado por temperatura con un R² de 0.91. Se concluye que la calidad del aire de la a base de PM10 es buena y que la concentración de CO₂, puede causar dificultad para respirar, dolor de cabeza, mareos, fatiga, entre otros, a la comunidad Universitaria. Se deben tomar precauciones para mejorar la ventilación. (Villegas, 2016).

La calidad del aire al interior en los últimos años ha sido una de las principales causas en daños a la salud del ser humano, provocando complicaciones en el sistema inmunológico, entre otros padecimientos. La alta concentración de contaminantes en el interior de espacios habitables perjudica la estabilidad, rendimiento y confort del usuario quien a menudo no está consciente del problema. (Guarneros, 2019) La investigación determina el grado de influencia de los emisores contaminantes de tipo aire acondicionado en la estabilidad de los niveles de dióxido de carbono recomendado para espacios habitables tomando como caso de estudio ambientes cerrados del Instituto Tecnológico de Chetumal. Mediante equipo especializado de CO₂, se hicieron mediciones en lapsos de 160 horas y se aplicaron encuestas a los ocupantes. Se encontraron irregularidades en concentraciones de CO₂ en cada uno de los sitios monitoreados, observándose

que dependen de las dimensiones, de su relación con el entorno y las condiciones de uso. Como bien se sabe que las áreas que están dotadas con equipos de aire acondicionado son más vulnerables a padecer altos niveles de concentración de dióxido de carbono. También se puede observar que una de las áreas monitoreadas, además de contar con equipos de enfriamiento mecánico sus puertas y ventanas cuentan con aditamentos que perjudican la circulación del aire dentro del espacio o se encuentran dentro de una edificación como es el caso de la oficina del laboratorio de arquitectura, esto ocasiona un estancamiento y dificulta la filtración del aire de los espacios. (Vega, 2019)

En un artículo publicado poco antes de Navidad, ConBici Salud y Medio Ambiente dijo que había "evidencia sustancial" de que el Covid-19 se transmite por el aire y se libera hablando, cantando, gritando o tosiendo, según artículos científicos del grupo de investigación español Aerosoles. forma importante y común de infección. Por otro lado, el mencionado grupo de investigadores indicó que para combatir el nuevo coronavirus transmitido por aerosoles es necesario medir el dióxido de carbono en el aire interior de espacios cerrados: aulas, transporte, comercios. para saber qué tan bien ventila. (Pérez,2021) También enfatiza la necesidad de informar a los residentes de los resultados de CO₂ y utilizar una ventilación adecuada para evitar la contaminación.

Y la gente necesita explicar el papel de los aerosoles que se esparcen por el aire y que liberan las personas infectadas. También se recomienda que la concentración de dióxido de carbono en espacios cerrados sea inferior a 700 ppm. En resumen, cuando las personas respiran en espacios cerrados, exhalan dióxido de carbono, gotitas y aerosoles que se acumulan en el interior, y cuando hay personas infectadas, los aerosoles son vectores del coronavirus. (Olózaga, 2021)

El contenido de CO₂ en el aire presente en interiores es la expresión directa de la intensidad de uso del recinto. Por este motivo también es ideal como señal de orientación para otros rangos de regulación tales como las dimensiones de las instalaciones de climatización o para las instrucciones de ventilación en recintos con ventilación natural como aulas de colegios o salas de reuniones, entre otros. En interiores con afluencia de personas, la concentración de CO₂. (Correa, 2019)

El Dióxido de Carbono (CO₂) representa un valor de referencia para garantizar la calidad de aire interior en diferentes entornos normativos. Con la entrada en vigor del Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio del 2017, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios, en adelante RITE, la concentración de Dióxido de Carbono (CO₂) se determina como uno de los métodos directos para garantizar las exigencias técnicas de bienestar e higiene que establece este reglamento. (González, 2019)

Un estudio publicado en Nature Sustainability demuestra que los niveles de dióxido de carbono que se acumulan en este tipo de ambientes interiores pueden tener efectos nocivos para el organismo, como reducción del rendimiento cognitivo, desmineralización ósea, calcificación renal y disfunción endotelial.

Aunque tradicionalmente se pensaba que las concentraciones de 5000 ppm tenían efectos graves para la salud, la evidencia reciente sugiere que los niveles de CO₂ que se acercan a 1000 ppm pueden ser dañinos para los humanos incluso durante una exposición a corto plazo. (Villegas, 2016) “El Instituto de Salud Pública recomienda (niveles de dióxido de azufre) no superar las 1.000 ppm en el ambiente interior”, dice Manuel Leiva del Centro de Ciencias Ambientales de la Universidad de Chile. Según un estudio de la Universidad de Harvard, las aulas u oficinas mal ventiladas con muchos trabajadores superpoblados registraron niveles de

CO₂ por encima del umbral aceptable, dada la cantidad de tiempo que las personas suelen pasar en estas áreas. El equipo de científicos descubrió que los trabajadores expuestos a 1400 ppm de CO₂ tenían una puntuación cognitiva un 50 % más baja en comparación con un día laboral.

(Herrera, 2016)

No obstante, los contaminantes atmosféricos pueden variar en su espacio temporal, lo que tiene un impacto importante en la exposición de las personas y la salud ambiental (Vitolo, Scutari, Ghalaieny, Tucker, & Russell, 2018).

6. Metodología.

6.1. Área De Estudio

El área de estudio del proyecto corresponde a la Corporación Universitaria Reformada la cual queda ubicada en la Carrera 38 # 74-129, con coordenadas en $10^{\circ}59'8.81''N$ y $74^{\circ}48'56.26''O$.

Ilustración 1. Ubicación de la Corporación Universitaria Reformada.



Fuente: (Autores,2022).

Para la realización del monitoreo se seleccionaron salones que contaran con las características de dimensión similares para ello, se seleccionó los salones (F2-4, F2-9, D2-6), los cuales tienen afluencia de estudiantes durante la jornada académica. Dentro de este se analizaron factores como:

- Número de personas que se encuentran en el aula.

- Dimensiones del aula de clases.
- Horario de frecuencia de clases.
- Monitoreo antes de ingresar el personal a las aulas de clases.

6.2. Muestreo En El Área De Estudio

Evaluar las condiciones de ventilación en espacios cerrados contempla procedimientos muy distintos a como los monitoreos que convencionalmente se realizan en aires exteriores o ambientes outdoor, por lo cual siempre es recomendable utilizar equipos con tecnología de precisión para que la toma de datos sea certera. Sin embargo, para ambientes interiores se deben ajustar esta tecnología ya que las dimensiones varían según el volumen del recinto cerrado. Para el presente monitoreo se utilizó un sensor de tecnología NDIR (infrarrojo no dispersivo), que permite la medición de los niveles de CO₂ de manera continua y la visualización de datos en una pantalla propia, en una aplicación de teléfono inteligente o en una página web. La evaluación de las condiciones de ventilación debe realizarse idealmente antes de iniciar la actividad presencial, con el fin de verificar las condiciones de ventilación de las aulas y realizar las adecuaciones que se requieran para lograr un nivel adecuado de ventilación. Para ello basado en Guía Para La Evaluación De La Ventilación Y El Monitoreo De CO₂ En El Marco Del Retorno Escolar En Modalidad De Alternancia En Colombia propuesto por (Laura A. Rodríguez-Villamizar, 2021) donde se consideró:

1. Designar la división o el funcionario de la institución educativa encargado del procedimiento de evaluación de las condiciones de ventilación de las aulas.

2. Seleccionar una muestra de aulas o salones “tipo” que representen los diferentes tipos de aulas disponibles en la institución educativa incluyendo siempre las aulas con las condiciones menos favorables de ventilación (aulas más pequeñas, con menos ventanas, con ventilación artificial o aulas con alta ocupación).

3. Organizar cronogramas de monitoreo para realizar mediciones de CO₂ en las aulas seleccionadas, por lo menos en dos momentos diferentes en dos días de la semana.

4. Realizar la calibración del monitor de CO₂ siguiendo las indicaciones del fabricante antes de realizar las mediciones en las aulas. Realizar la medición de CO₂ por 5 minutos en un espacio abierto exterior y registrar la concentración, la cual se espera que esté entre 400 y 450 ppm.

5. Realizar la medición de CO₂ en las aulas en las condiciones habituales de uso, aforos y ventilación.

6. Los monitores deben ubicarse a una altura aproximada de 1m del piso, alejado de puertas y ventanas, y distanciado al menos 1.5 m de la persona más cercana.

7. Realizar la medición al inicio y antes de la finalización de la clase en al menos tres puntos diferentes del aula (centro y laterales) durante 5-10 minutos en cada punto. Se registran las mediciones obtenidas utilizando un formato para tal fin (ver formato sugerido al final de la guía).

Ilustración 2. Calibración de los equipos para medición CO₂.



Fuente: (Autores,2022)

8. Comparar el valor de concentraciones de CO₂ obtenido en cada aula con los parámetros recomendados para minimizar el riesgo de transmisión de enfermedades respiratorias teniendo en cuenta los siguientes niveles:

Tabla 4. Correlación entre la ventilación y la concentración de CO₂ en ambientes interiores.

Nivel de Ventilación	Excelente	Excelente	Buena	Aceptable	Malo
Concentraciones de CO ₂ (ppm)	Menor 550	Entre 550 y 700	Entre 700 y 800	Entre 800 y 1.000	Mayor a 1.000

Fuente: (Estándar americano ASHRAE 62.1, 2022)

9. En caso de que la medición continua no sea posible, estimar la concentración de CO₂ con alguna de las siguientes fórmulas matemáticas.

Aula sin ventilación

$$CO_2 = \frac{54.3 * \# * T * t}{V * P} + 410$$

Donde:

- 54.3: ajuste a la ecuación propuesta por el autor.
- #: numero de personas en el aula.
- T: temperatura ambiente (K)
- t: tiempo de permanencia en el aula (h).
- V: volumen del aula (m³)
- P: presión atmosférica (atm)
- [CO₂]: concentración (ppm)

Aula con ventilación

$$CO_2 = \frac{54.3 * \# * T}{V * P * ACH} + 410$$

Donde:

- 54.3: ajuste a la ecuación propuesta por el autor.
- #: número de personas en el aula.
- T: temperatura ambiente (K)
- V: volumen del aula (m³)
- P: presión atmosférica (atm)
- ACH: Tasa de renovación de aire (h-1)
- [CO₂]: concentración (ppm)

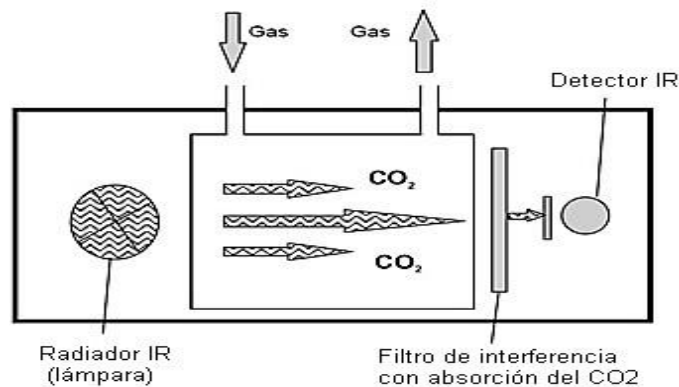
6.3. Dispositivo Sensor NDIR Para Medir El Dióxido De Carbono.

En esta investigación, para medir las concentraciones de Dióxido de Carbono (CO_2), se utilizó un dispositivo portable y de bajo costo “con un sensor de tecnología NDIR (infrarrojo no dispersivo).” (Rodríguez Villamizar et al., 2021) que ofrece un medio simple y económico para medir los contaminantes del aire y que no requieren de gran magnitud para su instalación. (DefraWorking Group, 2008).

En el método no dispersivo (método NDIR) se prescinde de la descomposición espectral descrita anteriormente, y una radiación de banda ancha, modulada con una rueda obturadora en todo el recorrido donde sea necesario, pasa a través de la cámara de medición. (Testo Argentina S.A., 2018)

Aquí la radiación pasa a través de la sección de absorción y luego se contrae al rango de longitud de onda requerido para el CO_2 ; por ejemplo, se verifica por medio de un filtro de interferencia usando un detector de radiación IR. A medida que aumenta la concentración del gas, se absorbe más radiación y la señal del detector se reduce en consonancia. (Testo Argentina S.A., 2018)

Ilustración 3. Principio de los sensores NDIR (diseño compacto) para medir CO_2



Fuente: (Testo Argentina S.A., 2018)

Estos nos permiten, la medición de los niveles de CO₂ de manera continua y la visualización de datos en una pantalla propia, en una aplicación de teléfono inteligente o en una página web. (Rodríguez Villamizar et al., 2021)

A su vez, Obtenemos medición de datos por lo menos una vez por minuto, y por lo general, al ser las aulas donde se realiza el monitoreo espacios ocupados, se necesita que los medidores tengan un indicador de colores visible, de acuerdo con los niveles de riesgo, y puedan generar datos en tiempo real accesibles por medio digital. (Rodríguez Villamizar et al., 2021), Esto nos ayuda a obtener datos claros, concisos y legibles, con los cuales se pueda realizar un correcto análisis del comportamiento del CO₂.

Para llevar a cabo el monitoreo, se realizó un detallado seguimiento asegurando que cada uno de los salones se realizara el respectivo procedimiento de monitoreo. El cual se organizó en dos sesiones, 15 minutos antes del ingreso del personal y 15 minutos antes de la finalización de la clase con el personal dentro. De modo que, se estableció un protocolo de monitoreo considerando los siguientes pasos:

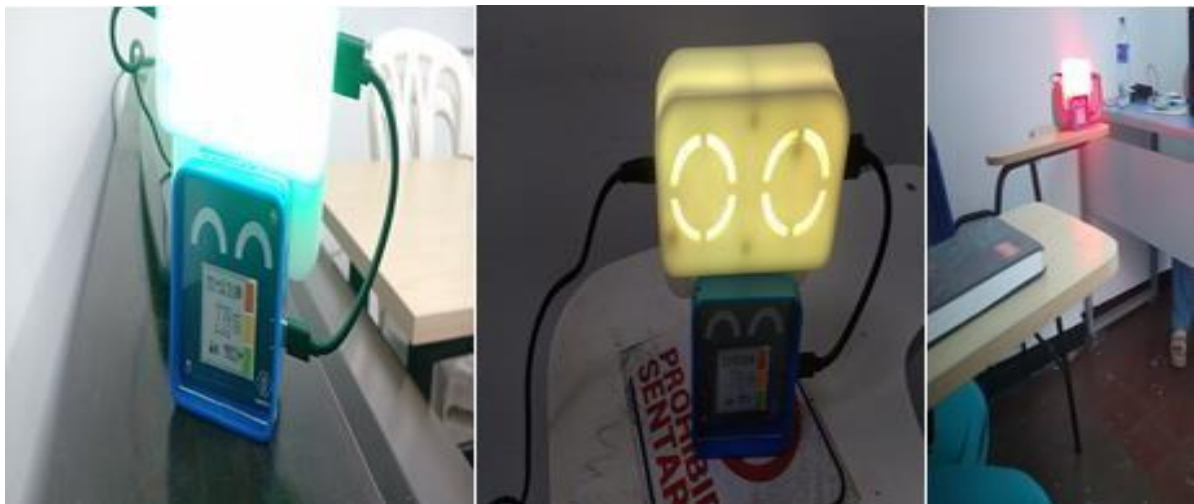
Localización del punto de Monitoreo: Seleccionar el sitio adecuado para colocar dispositivo, específicamente cerca de un tomacorriente, especialmente en los extremos y centro del recinto, una vez seleccionado se debe considerar que el equipo este previamente calibrado para que este pueda arrojar los valores correctos de CO₂.

Montaje del equipo: En cada sitio de monitoreo de selección se colocan los dos equipos, el cual debe identificarse su referencia de identificación, el aula y la hora en el que se va a exponer para registrarlos en el formato de campo. Estos deben estar encima de objetos sólidos y estables donde se mantenga en posición fija y cerca de un tomacorriente. El equipo se coloca

verticalmente aproximadamente a 1 metro de altura del suelo y se asegura que este fijo el equipo en su respectivo soporte, para posteriormente conectar el equipo a la energía eléctrica.

Formato de Campo: se lleva una hoja en la cual se realiza el registro asegurándose de que la fecha, las horas, el aforo, temperatura, humedad, dimensiones del lugar y los niveles de dióxido de carbono, al igual que la identificación del equipo. Adicional se toma nota de cualquier situación imprevista durante el monitoreo, que puede afectar los resultados proyectados.

Ilustración 4. *Monitoreo con los equipos para medir CO₂ (Sensores NDIR).*



Fuente: (Autores, 2022).

7. Resultado Y Discusiones.

7.1. Evaluación de las Concentraciones Del Contaminante CO₂ En Las Aulas De Clases De La Corporación Universitaria Reformada.

Para la evaluación de las concentraciones de Dióxido de Carbono (CO₂), se realizó los procedimientos expuestos en la metodología, seleccionando el salón donde se realizan los monitoreos y sus dimensiones para lo cual muestra la tabla 5.

Tabla 5. Características y medidas de los salones seleccionados.

Nombre del Punto	Largo	Ancho	Altura
F2-4 (Primera toma)	3.84 m	4.40 m	2.80m
F2-9	3.75m	4.78m	2.86m
D2-6	3.95 m	4.89m	2.90 m

Fuente: (Autores,2022)

A partir de la elección de los salones a evaluar se empezaron los monitoreos por medio del equipo del sensor ERIS de la marca Makesens, para conocer la concentración de dióxido de Carbono presente en esos salones, para ellos las mediciones fueron tomadas en 2 días y en uno de ellos fue monitoreado dos veces para analizar si el comportamiento era similar al primer día, con el fin de observar la concentración en ella. En la tabla 6 se detalla todos los datos suministrados tanto por el equipo como los datos observados durante el monitoreo.

Tabla 6. Datos Tomados en el aula de Clase Sensor1.

Nombre del Punto	Tiempo de Monitoreo		Temperatura		Concentración de CO ₂		# de personas en el salón	
	Hora De inicio 15 minutos antes	Hora Faltando 15 minutos de acabar la clase	Inicio 15 minutos antes	Faltando 15 minutos de acabar la clase	Inicio 15 minutos antes	Faltando 15 minutos de acabar la clase	Inicio 15 minutos antes	Faltando 15 minutos de acabar la clase
F2-4 (Primera toma)	6:30:00 p. m.	7:10:00 p. m.	34,6	35,4	200	1573	0	10
F2-4 (segunda toma segundo día)	2:20:00 p. m.	4:00:00 p. m.	35,4	32,8	266	1566	0	5
F2-9	4:45:00 p. m.	6:35:00 p. m.	36,1	33,2	239	2004	0	7
D2-6	5:45:00 p. m.	7:03:00 p. m.	32,3	28,8	776	2322	0	15

Fuente: (Autores,2022)

Según la metodología en caso de que la medición continua no sea posible, estimar la concentración de CO₂ se debe utilizar fórmulas matemáticas, sin embargo, para el caso de esta investigación se pudo analizar las concentraciones con base a mediciones directa. Y para ello se realizaron monitoreo con 2 sensores, con el fin de analizar diferentes corrientes pequeñas de aire que se encuentran en el salón. No obstante, en la tabla 6 se muestran resultados para el sensor 1 y para la tabla 7 lo recolectado por el sensor 2.

Tabla 7. Datos Tomados en el aula de Clase Sensor 2.

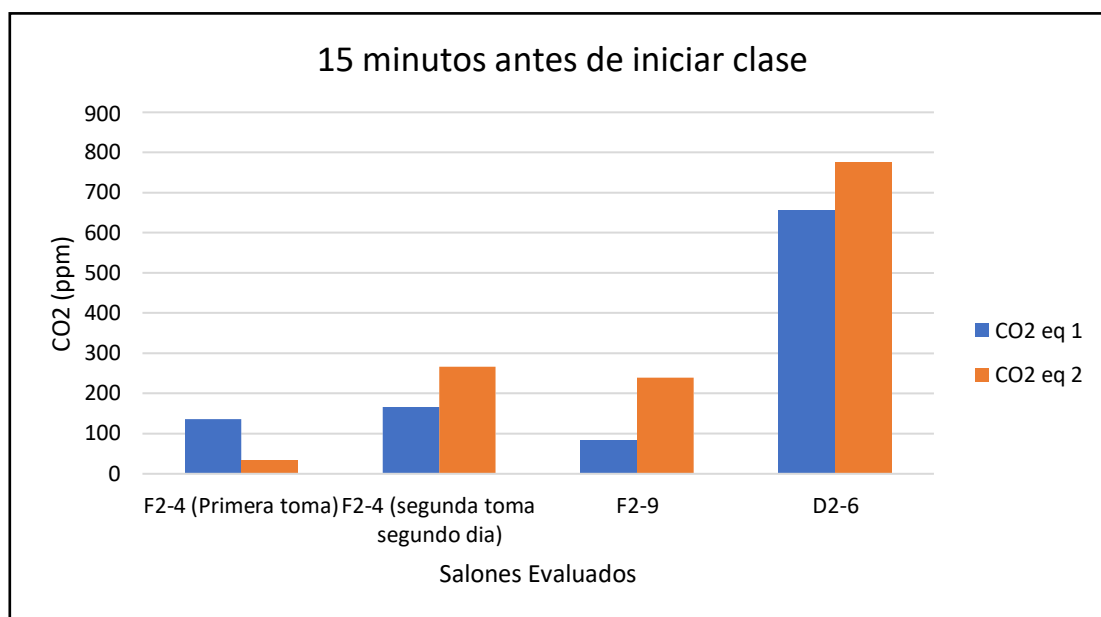
Nombre del Punto	Tiempo de Monitoreo		Temperatura		Concentración de CO ₂		# de personas en el salón	
	Hora De inicio 15 minutos antes	Hora Faltando 15 minutos de acabar la clase	Inicio 15 minutos antes	Faltando 15 minutos de acabar la clase	Inicio 15 minutos antes	Faltando 15 minutos de acabar la clase	Inicio 15 minutos antes	Faltando 15 minutos de acabar la clase
F2-4 (Primera toma)	6:30:00 p. m.	7:10:00 p. m.	34,6	35,4	200	1573	0	10
F2-4 (segunda toma segundo día)	2:20:00 p. m.	4:00:00 p. m.	35,4	32,8	266	1566	0	5

Nombre del Punto	Tiempo de Monitoreo		Temperatura		Concentración de CO ₂		# de personas en el salón	
	Hora De inicio 15 minutos antes	Hora Faltando 15 minutos de acabar la clase	Inicio 15 minutos antes	Faltando 15 minutos de acabar la clase	Inicio 15 minutos antes	Faltando 15 minutos de acabar la clase	Inicio 15 minutos antes	Faltando 15 minutos de acabar la clase
F2-9	4:45:00 p. m.	6:35:00 p. m.	36,1	33,2	239	2004	0	7
D2-6	5:45:00 p. m.	7:03:00 p. m.	32,3	28,8	776	2322	0	15

Fuente: (Autores,2022)

Con base a estos resultados se analizó por medio de la grafica 1 y 2 las concentraciones dadas antes de ingresar el personal y faltan 15 minutos antes de que se acabe la clase.

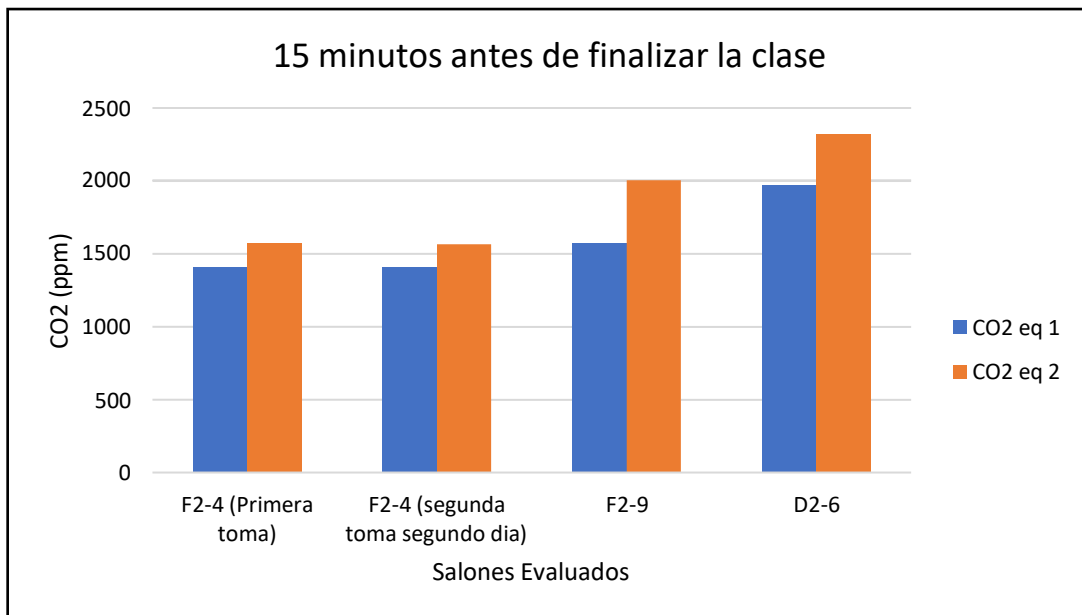
Gráfica 1. Concentración de CO₂ antes de ingresar al salón.



Fuente: (Autores, 2022)

El grafico muestra que las concentraciones en para cada sensor son relativamente cercanas a diferencia de la primera toma para el salón F2-4, pero esto se puede atribuir a que el sensor estaba estable que otro, pero para ello se requiere a fondo una conexión directa del sensor a una computadora y por medio de programación analizar esa calibración a fondo.

Gráfica 2. Concentración de CO₂ después de ingresar al salón.



Fuente: (Autores, 2022)

Con respecto a esta grafica es evidente que la concentración luego de pasar un tiempo de 1 hora (tiempo esperado para cada aula) con personal de estudiante y docente dentro del aula, evidente que las concentraciones aumentan. No obstante, para un mejor análisis de conocer que tan bueno se encuentra se consideró la siguiente tabla:

Tabla 8. Correlación entre la ventilación y la concentración de CO₂ en ambientes interiores.

Nivel de Ventilación	Excelente	Excelente	Buena	Aceptable	Malo
Concentraciones de CO ₂ (ppm)	Menor 550	Entre 550 y 700	Entre 700 y 800	Entre 800 y 1.000	Mayor a 1.000

Fuente: (Estándar americano ASHRAE 62.1, 2022)

Tabla 9. Análisis de la calidad de la concentración de CO₂ 15 minutos antes de ingresar.

Salón		Concentración co2 equipo 1.	Calidad de concentración de co2 en el salón	Concentración co2 equipo 2.	Calidad de concentración de co2 en el salón
F2-4 (Primera toma)		136	Excelente	34,6	Excelente
F2-4 (segunda toma día)	segundo	166	Excelente	266	Excelente
F2-9		85	Excelente	239	Excelente
D2-6		655	Excelente	776	Buena

Fuente: (Autores, 2022)

Lo anterior nos lleva a analizar que la calidad de aire cuando no hay presencia de personas maneja promedios óptimos de concentración de CO₂, sin embargo, algo por resaltar es que las concentraciones se manejan buenas a pesar de que no tiene circulación de aire optima.

Tabla 10. Análisis de la calidad de la concentración de CO₂ 15 minutos después de ingresar.

Salón		Concentración co2 equipo 1.	Calidad de concentración de co2 en el salón	Concentración co2 equipo 2.	Calidad de concentración de co2 en el salón
F2-4 (Primera toma)		1409	Malo	1573	Malo
F2-4 (segunda toma día)	segundo	1405	Malo	1566	Malo
F2-9		1573	Malo	2004	Malo
D2-6		1973	Malo	2322	Malo

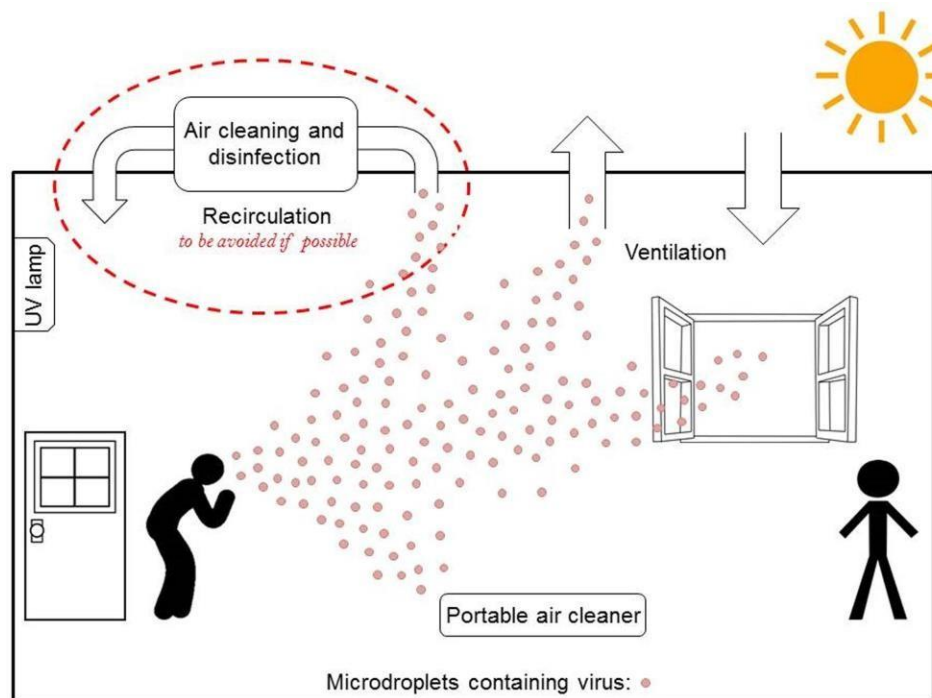
Fuente: (Autores, 2022)

Esto nos indica que cuando no existe buena circulación de aire conlleva a que los niveles de concentración este por encima de 1000ppm, lo que nos indica que la calidad de aire no es buena, no hay recirculación de aire por lo que los niveles de contagio de enfermedades dentro de salones son alta ya que no existe una recirculación de aire exterior que permita que el intercambio se de adecuadamente.

7.2. Identificación de Enfermedades Asociadas Al Sistema Respiratorio Con La Exposición Al Contaminante CO₂.

Con base a los datos anteriormente presentados, es notorio que la circulación del aire es indispensable para evitar la propagación de enfermedades que son muy frecuentes en espacios cerrados por lo que no permite el intercambio ideal.

Ilustración 5. *Importancia de la recirculación de aire*



Fuente: (Shelly L. Miller, 2021)

El interés investigativo en cuanto a las concentraciones de contaminantes atmosféricos en espacios cerrados ha tomado relevancia a partir de lo ocurrido en pandemia, por lo que era notorio que en los espacios cerrados existe evidencia del potencial de transmisión del virus por vía aérea a través de aerosoles. Es así como la identificación de las enfermedades asociadas al

CO₂, es importante analizarlas para ello se realizó una búsqueda de esas enfermedades que están asociados a este contaminante, lo cual se evidencia en la siguiente tabla:

Tabla 11. Análisis de la calidad de la concentración de CO₂ 15 minutos después de ingresar.

Enfermedad	Causas	Modo de contagio	Referencia
COVID -19	La ventilación no es la adecuada	Respiratoria	Por qué la concentración de CO ₂ en un lugar puede ser indicador de riesgo de contagio de COVID-19
Enfermedades Neuromusculares	Mala ventilación del lugar	Respiratoria	Cuidados respiratorios para pacientes con enfermedades neuromusculares (Pamela Salinas, Francisco Prado, Catalina Pinchak, María Victoria Herrero, Gloria Concepción Giménez, Carolina García & John Robert Bach, 2017)
Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica	Exposiciones frecuentes a altas concentraciones	Respiratoria	Enfermedad pulmonar obstructiva crónica. Consideraciones anestésicas. (Juan Francisco Oquendo Montes, Alberto Martínez Sardiñas & Zenaida Acosta, 2007)
Dolor De Cabeza	Por los altos niveles de concentración	Respiratoria	Evaluación de las concentraciones de CO ₂ en interiores y su influencia en la salud de los estudiantes de la Universidad Peruana Unión (Chipana Meza, Mayra Marucela Matos Zavaleta, 2020)
Mareo	Se puede dar dependiendo el alto volumen de personas que se encuentren en un lugar con poca ventilación.	Respiratoria	Evaluación de las concentraciones de CO ₂ en interiores y su influencia en la salud de los estudiantes de la Universidad Peruana Unión (Chipana Meza, Mayra Marucela Matos Zavaleta, 2020)
Somnolencia	Se presenta al tiempo que se expone a altos niveles de co2	Respiratoria	Evaluación de las concentraciones de CO ₂ en interiores y su influencia en la salud de los estudiantes de la Universidad Peruana Unión (Chipana Meza, Mayra Marucela Matos Zavaleta, 2020)

7.3. Estrategias Para la Disminución De Las Afecciones Ambientales Que Se Presentan En Los Ambientes Interiores A Causa Del Contaminante CO₂.

Algunas de las estrategias que podemos implementar para disminuir las concentraciones de dióxido de carbono en ambientes interiores pueden ser las siguientes:

1. En los interiores cerrados de la corporación de la universidad reformada con los niveles de CO₂ se puede dar ciertas estrategias para la mitigación u orientación de la concentración del dióxido de carbono en los salones; ya que estos cuentan con aire acondicionado, y teniendo en cuenta la recirculación de estos, se da como método la utilización de filtros de partículas o equipos de desinfección en los conductos de aire, también la ventilación al terminal o comenzar una clase, cabe aclarar que no se eliminaría el riesgo de contraer enfermedades respiratoria a raíz al estar expuesto a un largo plazo a la inhalación de CO₂ a altos niveles.
2. Privilegiar la ventilación natural de espacios cerrados, favoreciendo la apertura de puertas y ventanas en posiciones opuestas para generar un flujo de aire cruzado.
3. Reducir la emisión de aerosoles mediante el control de aforos y del volumen de voz al interior de las aulas de clase.
4. Disminuir la exposición a aerosoles mediante la reducción del tiempo de permanencia en los espacios cerrados, el distanciamiento físico mínimo de 2 metros, y el sostenimiento de adecuadas condiciones de ventilación o purificación del aire.
5. Se considera que existe una ventilación adecuada cuando en un espacio cerrado se alcanza al menos cinco (5) renovaciones de aire del recinto por hora. Se considera una ventilación ideal cuando se logra al menos seis (6) renovaciones por hora.

6. En caso de que no pueda ser posible la medición directa del CO_2 , se sugiere estimar su concentración mediante algún modelo matemático. En cualquier caso, esta estimación debe evaluarse posteriormente con mediciones directas.

8. Conclusión Y Recomendaciones.

En los entornos educativos que funcionan como espacios cerrados con aire acondicionado, se debe evaluar si existe recirculación de aire. La recirculación de aire es una medida para ahorrar energía, pero en el contexto actual puede favorecer la acumulación de aerosoles con virus. En este caso, pueden usarse filtros de partículas y equipos de desinfección en los ductos de aire antes de su recirculación para reducir este riesgo, aunque su uso no elimina el riesgo de transmisión. Sin embargo, con base a la presente investigación se llega a la conclusión de:

- Las concentraciones en espacios cerrados cuando no hay presencia de personal en ella son óptimas o excelentes considerando valores que van desde 500 y 700 ppm, no obstante, de los salones medidos el salón F2-4 maneja una concentración máxima de 136 ppm.
- Es notorio con base a los resultados que las concentraciones de CO₂ cuando ha transcurrido el tiempo de 1 hora con personal dentro del salón de clases hay aumento de la concentración de este contaminante siendo así el salón D2-6 con valor de 2322 ppm.
- Estas elevaciones de concentración de CO₂, llevan a las causas analizadas de las enfermedades analizadas dentro del presente trabajo, puesto que el estudiante por el aumento de CO₂, pierde la concentración, Somnolencia, dolores de cabeza, que en muchas ocasiones se atribuye al cansancio, pero hay estudios que los relaciona directamente con las concentraciones de CO₂.

9. Bibliografía.

- Alcaldía De Barranquilla. (2021). *Barranquilla ya cuenta con el primer laboratorio de calidad ambiental*. <https://www.barranquilla.gov.co/mi-barranquilla/barranquilla-ya-cuenta-con-el-primer-laboratorio-de-calidad-ambiental>
- Allen, J., Spengler, J., Jones, E., & Cedeno-Laurent, J. (2020). *Guía en 5 pasos para medir la tasa de renovación de aire en aulas*. www.ForHealth.org
- Berenguer Subils, J., & Bernal Domínguez, F. (2000). *NTP 549: El dióxido de carbono en la evaluación de la calidad del aire interior*. https://www.insst.es/documents/94886/327064/ntp_549.pdf/e9364a82-6f1b-4590-90e0-1d08b22e1074
- CASTIBLANCO AVENDAÑO, C., & CAÑÓN ALFONSO, N. (2019). *PROTOTIPO DE BAJO COSTO PARA MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE EN AMBIENTES INTERIORES*. *Repositorio Institucional Universidad Piloto de Colombia*. <http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/4880/Trabajo%20de%20grado5094.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Corporación Universitaria Reformada. (n.d.). *Corporación Universitaria Reformada* . Retrieved November 2, 2022, from <https://www.unireformada.edu.co/>
- ICONTEC. (2003). *NTC 5183 VENTILACIÓN PARA UNA CALIDAD ACEPTABLE DEL AIRE EN ESPACIOS INTERIORES*.
- IDEAM. (n.d.). *Aire*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia - SIAC. Retrieved October 13, 2022, from <http://www.ideam.gov.co/web/siac/aire>

Informe de Medio Ambiente Barranquilla, Soledad y Puerto Colombia Cómo vamos. (2019).

<https://barranquillacomovamos.org/wp-content/uploads/2021/01/Informe-de-Calidad-de-Vida-BQCV.pdf>

Juncà Rodríguez, M. (n.d.). *La Calidad del Aire Interior como garantía de confort para las personas, por Meritxell Juncà Rodríguez.* Blog de Atecyr. Retrieved November 3, 2022, from <https://www.atecyr.org/blog/2020/03/19/la-calidad-del-aire-interior-como-garantia-de-confort-para-las-personas-por-meritxell-junca-rodriguez/>

Junta De Andalucía, Unión Europea, & OSMAN. (n.d.). *Calidad del aire interior.* Retrieved October 13, 2022, from https://www.diba.cat/c/document_library/get_file?uuid=c7389bc9-6b7b-4711-bdec-3ead4bc9a68b&groupId=7294824

la Nación. (2019). *CO2 acumulado en espacios interiores podría reducir capacidades cognitivas.* La Nación. <https://www.nacion.com/ciencia/medio-ambiente/co2-acumulado-en-espacios-interiores-podria/GY6PRL2L2ZC45JQTA4MLCZVMGQ/story/>

Matías Velázquez, A., Torrez Cortés, P., Magaña Villegas, E., Ramos Herrera, S., & Carrera Velueta, M. (2016). EXPOSICIÓN A MATERIA PARTICULADA Y DIÓXIDO DE CARBONO EN UN AMBIENTE UNIVERSITARIO EN VILLAHERMOSA, TABASCO. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 3(2), 108–121. https://rmae.voaxaca.tecnm.mx/wp-content/uploads/2020/11/5-RMAE_C2016-26-CO2-2a-version-To-edit.pdf

Mendoza Hernández, M. A. (2021). *Evaluación de la afectación ambiental y enfermedades respiratorias asociadas al contaminante atmosférico NO2 en Barranquilla mediante la aplicación de programas y tecnologías* [Universidad Del Norte].

<http://hdl.handle.net/10584/9959>

Montero Gutiérrez, M. de la P. (2021). *Caracterización y evaluación de la calidad del aire en espacios interiores a través del análisis del dióxido de carbono.*

<http://hdl.handle.net/10498/26573>

Olozaga, C. P., & Sintés, M. (2021). *Mediciones de CO2 en el interior de recintos cerrados.*

ConBici Coordinadora En Defensa de La Bici. <https://conbici.org/noticias/mediciones-co2-interior-recintos>

OMS. (2018). *Nueve de cada diez personas de todo el mundo respiran aire contaminado.*

Comunicado de Prensa. <https://www.who.int/es/news/item/02-05-2018-9-out-of-10-people-worldwide-breathe-polluted-air-but-more-countries-are-taking-action>

Rodríguez Mur, I. (2018). *Seguimiento y caracterización isotópica del Dióxido de Carbono (CO2) en diferentes ambientes subterráneos: cavidades epigénicas e hipogénicas.* [Universidad de Almería].

http://repositorio.ual.es/bitstream/handle/10835/7038/TFM_RODRIGUEZ%20MUR%2C%20INGA%20CATHERINE.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Rodríguez Villamizar, L., Rojas, N., Agudelo Castañeda, D., Pachón, J., & Ramírez, O. (2021).

GUÍA PARA LA EVALUACIÓN DE LA VENTILACIÓN Y EL MONITOREO DE CO2 EN EL MARCO DEL RETORNO ESCOLAR EN MODALIDAD DE ALTERNANCIA EN COLOMBIA. *Nodo de Salud Ambiental y Ocupacional (SAO) Colombia*, 1–10.

<https://nodosacolombia.com/wp-content/uploads/2021/06/2021-Gui%CC%81a-evaluacio%CC%81n-ventilacio%CC%81n-y-monitoreo-CO2-entornos-educativos.pdf>

Romero Placeres, M., Francisca Diego, O., & Álvarez Toste, M. (2006). La contaminación del aire: su repercusión como problema de salud. In *Rev Cubana Hig Epidemiol* (Vol. 44, Issue

2). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1561-30032006000200008&lng=es&tlng=es

Sandoval, M. v., Solano, N. M., Gualdron, L. K., & Meneses, J. C. (2020). Valoración de los niveles de calidad del aire de interiores en espacios de institución de educación superior. *Revista Agunkuyâa*, 10(1). <https://doi.org/10.33132/27114260.1795>

Testo Argentina S.A. (2018). *Absorción infrarroja (Proceso IR)*. Academia Online. <https://www.academiatesto.com.ar/cms/informacion-legal>

Tovar Neira, M. (2018). *Metodología para evaluar la calidad del aire interior en diseño de VIS de clima frío* [Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/69085/MauricioTovarNeira.2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

(Alcaldía De Barranquilla, 2021; Allen et al., 2020; Berenguer Subils & Bernal Domínguez, 2000; CASTIBLANCO AVENDAÑO & CAÑÓN ALFONSO, 2019; Corporación Universitaria Reformada, n.d.; ICONTEC, 2003; IDEAM, n.d.; *Informe de Medio Ambiente Barranquilla, Soledad y Puerto Colombia Cómo Vamos.*, 2019; Juncà Rodríguez, n.d.; Junta De Andalucía et al., n.d.; la Nación, 2019; Matías Velázquez et al., 2016; Mendoza Hernández, 2021; Montero Gutiérrez, 2021; Olozaga & Sintés, 2021; OMS, 2018; Rodríguez Mur, 2018; Rodríguez Villamizar et al., 2021; Romero Placeres et al., 2006; Sandoval et al., 2020; Testo Argentina S.A., 2018; Tovar Neira, 2018)

