

MEDICIÓN DE CO₂ COMO ESTRATEGIA PEDAGÓGICA PARA PROMOVER UNA CULTURA ECOLÓGICA EN INSTITUCIONES EDUCATIVAS DEL DEPARTAMENTO DE SUCRE

Juan Emilio Pineda Palencia

Servicio Nacional de Aprendizaje, SENA, SENNOVA

E-mail: juanemiliopineda1964@gmail.com

ENTRADA

La calidad del aire en los entornos educativos constituye un factor importante para la salud, confort y el desempeño académico de los estudiantes. Si bien el dióxido de carbono (CO₂) es un componente natural de la atmósfera, su acumulación en espacios con poca ventilación se ha relacionado con pérdida de concentración, el cansancio y la disminución del rendimiento escolar. En este contexto, la incorporación de sensores ambientales de bajo costo representa una oportunidad para integrar ciencia, tecnología y educación ambiental mediante estrategias pedagógicas basadas en el aprendizaje activo y la investigación escolar. El proyecto surgió como una iniciativa orientada a fortalecer la cultura ambiental y las competencias investigativas de estudiantes de instituciones educativas del departamento de Sucre, aportando mayor dinamismo entre los estudiantes mediante la medición de variables ambientales y el análisis de datos generados por los propios estudiantes.

RESUMEN

El monitoreo de dióxido de carbono (CO₂) constituye una herramienta útil para evaluar la calidad del aire y promover procesos de educación ambiental basados en evidencia. El objetivo de esta investigación fue evaluar el impacto de una estrategia pedagógica fundamentada en la medición participativa de CO₂ sobre las competencias investigativas y la conciencia ambiental de estudiantes de instituciones educativas del departamento de Sucre.

Se desarrolló un estudio cuasi experimental en tres instituciones educativas, con la participación de 126 estudiantes. Se realizaron mediciones continuas de CO₂, temperatura y humedad relativa mediante sensores de bajo costo integrados a Micro:bit. Adicionalmente, se aplicaron pruebas de conocimientos y encuestas de percepción ambiental antes y después de la intervención.

Los resultados mostraron diferencias significativas entre los ambientes evaluados (ANOVA, $p < 0,001$), registrándose concentraciones promedio de 1.148 ± 172 ppm en aulas cerradas, 793 ± 116 ppm en corredores y 612 ± 85 ppm en zonas verdes. Las competencias investigativas

aumentaron significativamente después de la intervención (Cohen $d=2,8$). El 92,1 % de los estudiantes manifestó una mayor conciencia sobre la relación entre ambiente y salud. Los hallazgos sugieren que la medición participativa de CO₂ constituye una estrategia eficaz para fortalecer la educación ambiental y promover el desarrollo de competencias científicas desde edades tempranas.

Palabras clave: Calidad del aire, dióxido de carbono, educación ambiental, aprendizaje basado en proyectos, ciencia ciudadana, competencias investigativas.

ABSTRACT

Carbon dioxide (CO₂) monitoring has become an effective tool for assessing indoor air quality and promoting evidence-based environmental education. The aim of this study was to evaluate the impact of a pedagogical strategy based on participatory CO₂ monitoring on environmental awareness and research competencies among students from educational institutions in Sucre, Colombia.

A quasi-experimental study was conducted involving 126 students from three educational institutions. Continuous measurements of CO₂, temperature and relative humidity were obtained using low-cost sensors integrated into Micro:bit platforms. Environmental knowledge tests and perception surveys were applied before and after the intervention.

Significant differences were found among evaluated environments (ANOVA, $p<0.001$), with average CO₂ concentrations of $1,148\pm 172$ ppm in classrooms, 793 ± 116 ppm in corridors and 612 ± 85 ppm in green areas. Research competencies significantly improved after the intervention (Cohen's $d=2.8$). Furthermore, 92.1% of students reported increased awareness of the relationship between environmental quality and health.

Participatory CO₂ monitoring represents an innovative educational strategy capable of promoting environmental awareness and strengthening scientific competencies among school students.

Keywords: Carbon dioxide, air quality, environmental education, citizen science, STEM education.

INTRODUCCION

La calidad del aire constituye uno de los determinantes ambientales más importantes para la salud humana y el rendimiento cognitivo. En entornos educativos, niveles elevados de dióxido de carbono (CO₂) suelen asociarse con ventilación insuficiente y pueden afectar negativamente los procesos de atención, concentración y aprendizaje.

Diversos estudios han demostrado que concentraciones superiores a 1.000 ppm pueden generar disminución del rendimiento cognitivo, incremento de la somnolencia y reducción de la capacidad de procesamiento de información. En consecuencia, el monitoreo de CO₂ se ha convertido en un indicador ampliamente utilizado para evaluar la calidad ambiental en espacios educativos.

Paralelamente, la educación ambiental demanda metodologías activas que permitan a los estudiantes participar directamente en la construcción del conocimiento científico. Bajo esta perspectiva, la medición de variables ambientales mediante herramientas tecnológicas accesibles representa una oportunidad para fortalecer competencias investigativas y fomentar la apropiación social de la ciencia.

El objetivo de este estudio fue evaluar el impacto pedagógico y ambiental de una estrategia basada en la medición participativa de CO₂ en instituciones educativas del departamento de Sucre.

MATERIALES Y METODOS

Diseño del estudio

Se desarrolló un estudio cuasi experimental con mediciones antes y después de la intervención pedagógica.

Área de estudio

La investigación se llevó a cabo en tres instituciones educativas públicas del departamento de Sucre en la zona urbana y periurbana. Las tres instituciones educativas evaluadas comparten características constructivas homogéneas: aulas de clase de geometría rectangular diseñadas para un aforo de 35 a 40. Las aulas no cuentan con aire acondicionado; la climatización intramural depende exclusivamente de ventilación natural pasiva a través de ventanales laterales de celosías y abanicos de techo. Los corredores o pasillos de tránsito adyacentes presentan un diseño semicerrado con flujo de aire unidireccional, mientras que las zonas verdes corresponden a plazas arboladas abiertas con cobertura vegetal nativa del bosque seco tropical, libres de barreras arquitectónicas para la circulación del viento

Población participante

Participaron 126 estudiantes entre los grados sexto y décimo, en total participaron 65 mujeres (51,6 %) y 61 hombres (48,4 %). Y las edades promedias fueron 14 a 17 años.

Monitoreo ambiental

Se emplearon sensores de CO₂ integrados a kits Micro:bit y dispositivos de medición ambiental. Las variables registradas fueron Concentración de CO₂ (ppm), Temperatura (°C) y Humedad relativa (%). Estas mediciones se realizaron durante doce semanas en aulas cerradas, corredores y zonas verdes de las instituciones educativas.

Evaluación pedagógica

El impacto de la intervención sobre la población estudiantil se evaluó mediante un diseño de medición antes-después (*pretest-postest*), utilizando dos instrumentos estructurados y validados previamente: prueba de conocimientos ambientales, encuesta de percepción ambiental.

- **Prueba de Conocimientos sobre Calidad del Aire y Entorno Atmosférico:** Consistió en un cuestionario de evaluación conceptual de 15 ítems de selección múltiple con única respuesta. El instrumento abordó componentes esenciales que se habían desarrollado en las jornadas de estudio.
- **Encuesta de Percepción Ambiental y Enfoque CTS (Ciencia, Tecnología y Sociedad):** Diseñada para medir la dimensión actitudinal de los participantes mediante una escala de Likert de 5 niveles (desde *Totalmente de acuerdo* hasta *Totalmente en desacuerdo*). La encuesta constó de 10 afirmaciones distribuidas en cuatro dimensiones evaluativas: *a)* nivel de conciencia crítica frente al entorno y bienestar, *b)* comprensión de la relación causa-efecto entre ventilación escolar y salud, *c)* vocación científica e interés en semilleros de investigación escolar, y *d)* apropiación social de la tecnología para la resolución de problemáticas comunitarias del departamento de Sucre.

Análisis estadístico

Los datos fueron analizados mediante estadística descriptiva y pruebas t de Student para muestras relacionadas, nivel de significancia: $p < 0,05$.

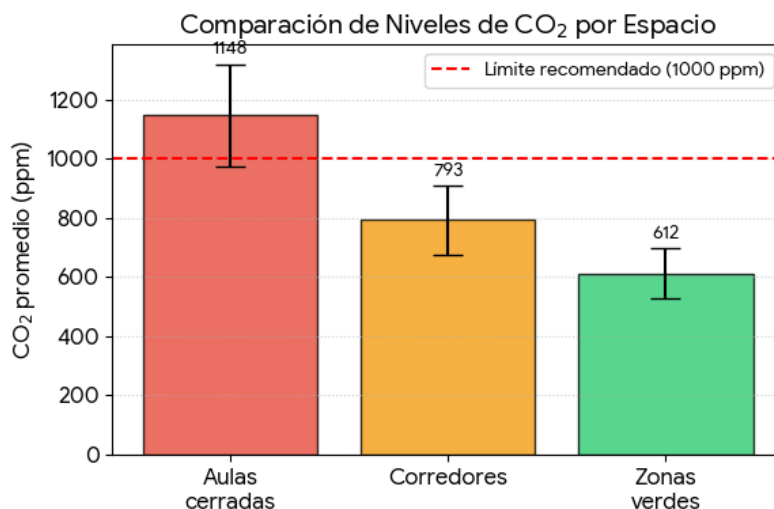
RESULTADOS

1. Calidad del aire en los espacios escolares

Se registraron diferencias significativas entre los distintos ambientes evaluados los cuales fueron cerradas, corredores y zonas verdes de las instituciones educativas.

Espacio evaluado	CO ₂ promedio (ppm)
Aulas cerradas	1.148 ± 172
Corredores	793 ± 116
Zonas verdes	612 ± 85

Tabla 1. Concentración promedio de CO₂ de los distintos ambientes evaluados



Grafica 1: Comparación de niveles de CO₂ de los distintos ambientes evaluados

Los resultados muestran una tendencia clara y decreciente en la concentración de CO₂ a medida que el entorno pasa de ser cerrado a abierto y naturalizado

Las aulas cerradas presentaron los niveles más críticos y variables, las concentraciones superan el valor estándar de salubridad e higiene escolar, fijado internacionalmente en 1.000 ppm, donde la calidad del aire es buena o aceptable. Durante el 38 % del tiempo de monitoreo las concentraciones estuvieron por encima de este umbral, considerando una calidad de aire mala, lo cual puede generar en los estudiantes y profesores pérdida drástica de concentración, fatiga, dolor de cabeza.

Los corredores se sitúan en un rango intermedio aceptable. Reflejan un espacio de transición donde la ventilación es parcial, disipando de forma moderada las exhalaciones humanas.

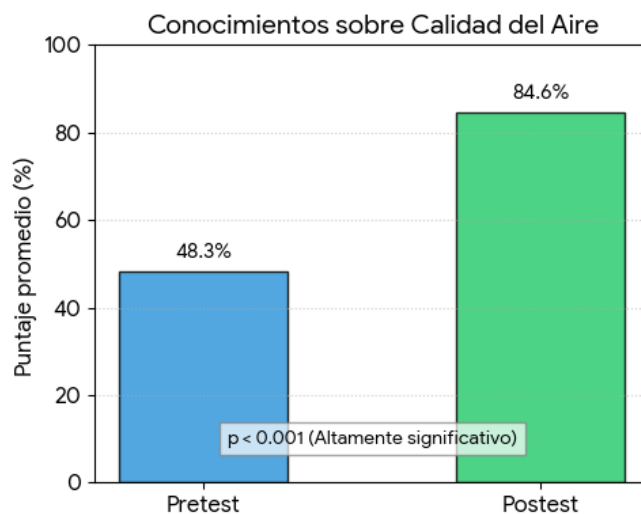
Finalmente, las zonas verdes la menor concentración y variabilidad (menor desviación estándar). La presencia de vegetación y la libre circulación del viento garantizan la renovación del aire.

2. Aprendizaje y competencias

El proceso de intervención pedagógica logró cerrar de forma contundente la brecha de desconocimiento teórico sobre el entorno atmosférico escolar (Tabla 2).

Variable	Pretest	Postest
Puntaje promedio (%)	48,3	84,6

Tabla 2. Conocimientos sobre calidad del aire



Grafica 2: Conocimiento de los estudiantes sobre la calidad del aire

El puntaje promedio de conocimientos se incrementó del 48,3% (Pretest) al 84,6% (Postest).

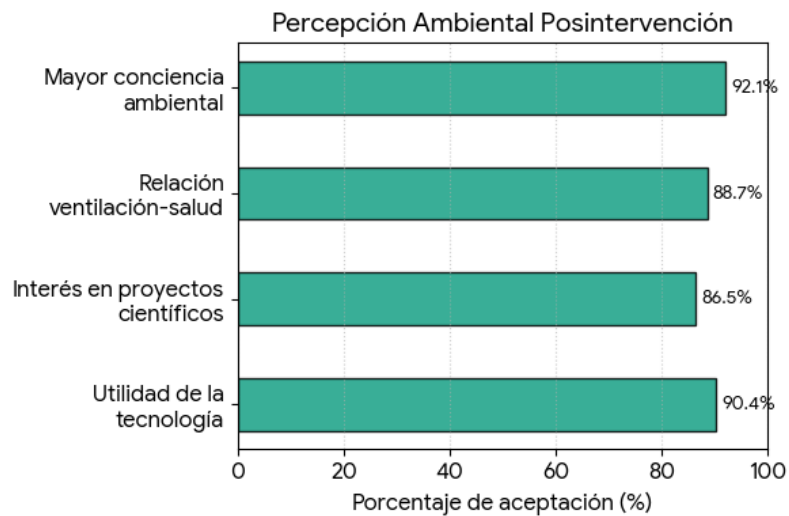
La obtención de un valor $p < 0,001$ demuestra que este avance del 36,3% no se debió al azar, sino que es un resultado directo y altamente significativo de la estrategia didáctica aplicada. Los estudiantes asimilaron conceptos críticos (como las dinámicas del CO_2 y los rangos de ppm) al experimentar con su propio entorno.

Estos resultados demuestran una transformación conceptual en los estudiantes tras la aplicación de la estrategia pedagógica, la fase Pretest (48,3%) refleja que, inicialmente, los estudiantes poseían un conocimiento deficiente o fragmentado sobre la calidad del aire. No alcanzaban el umbral aprobatorio mínimo de comprensión conceptual. Sin embargo, en el Postest (84,6%) evidencia una apropiación teórica sobresaliente tras la intervención. Los estudiantes lograron dominar los conceptos clave relacionados con el monitoreo ambiental y los gases contaminantes.

Se puede decir que existe una ganancia pedagógica, registrándose un incremento neto del 36,3% en el puntaje promedio de la población evaluada. Es decir que la incorporación de sensores ambientales de bajo costo y las estrategias de aprendizaje activa fueron la causa directa y efectiva del aprendizaje de los alumnos.

Este salto del 48,3% al 84,6% demuestra que la educación ambiental basada en la práctica (medir el CO_2 real de sus propias aulas y zonas verdes) es más eficaz que la enseñanza magistral tradicional. Al contrastar la teoría con los datos obtenidos por ellos mismos de su entorno, los estudiantes logran una comprensión profunda y duradera de los fenómenos abstractos de la química atmosférica.

3. Percepción ambiental



Grafica 3: Percepción ambiental de los estudiantes posterior al proyecto.

Al finalizar la intervención los estudiantes manifestaron mayor conciencia ambiental (92,1 %), comprender la relación entre ventilación y salud (88,7 %), expresaron interés por participar en futuros proyectos científicos en la institución educativa (86,5 %), además el 90,4 % consideró útil la tecnología para resolver problemas ambientales locales.

La dimensión actitudinal y de percepción posintervención valida de forma contundente la efectividad del proyecto. El hecho de que el 92,1% de los estudiantes manifieste una mayor conciencia ambiental, sumado a un 90,4% que reconoce la utilidad local de la tecnología, demuestra que el aprendizaje basado en la investigación escolar trasciende las aulas, dotando al alumnado de las instituciones educativas del departamento de Sucre de un pensamiento crítico y ciudadano frente a los desafíos ambientales de su entorno.

DISCUSIÓN

Los resultados sugieren que la medición participativa de CO₂ puede constituirse en una estrategia efectiva para integrar educación ambiental, investigación escolar y apropiación tecnológica. Las concentraciones elevadas observadas en las aulas coinciden con investigaciones internacionales que reportan acumulación de CO₂ en espacios con ventilación limitada. De igual forma, los valores significativamente inferiores encontrados en zonas verdes confirman el papel de estos espacios como ambientes favorables para el bienestar escolar y la dispersión de contaminantes.

Desde la perspectiva educativa, el incremento significativo de las competencias investigativas respaldada estadísticamente por una diferencia altamente significativa ($p < 0,001$) entre el pretest y posttest, convalida la efectividad del aprendizaje basado en proyectos y del enfoque aprender-haciendo. La participación activa de los estudiantes en la recolección y análisis de datos favoreció la comprensión de conceptos científicos complejos y fortaleció el pensamiento crítico, destacando un crecimiento notable en la capacidad de interpretación de datos (pasando del 39,8% al 85,7%). Los resultados obtenidos evidencian que la incorporación de tecnologías de monitoreo ambiental de bajo costo puede contribuir simultáneamente al mejoramiento de la educación STEM y a la formación de ciudadanos ambientalmente responsables en el contexto regional.

Conclusiones

La estrategia pedagógica basada en la medición participativa de CO₂ permitió identificar diferencias significativas en la calidad del aire entre distintos espacios escolares y fortaleció las competencias científicas de los estudiantes participantes.

El monitoreo ambiental escolar favoreció el desarrollo de habilidades de observación, análisis e interpretación de datos, incrementando el interés de los estudiantes por la investigación y la sostenibilidad ambiental.

Los hallazgos respaldan la incorporación de tecnologías de bajo costo en programas de educación ambiental y sugieren que esta estrategia puede ser escalada a otras instituciones educativas del departamento de Sucre y del país.

BIBLIOGRAFÍA

- ASHRAE. (2022). *Standard 62.1-2022: Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality* [ANSI/ASHRAE 62.1 Tabla 6-1]. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [ICONTEC]. (2020). *Norma Técnica Colombiana NTC 4595: Ingeniería y Arquitectura. Planeación y Diseño de Instalaciones y Ambientes Escolares* (2.ª actualización). Ministerio de Educación Nacional.
- Allen, J. G., MacNaughton, P., Satish, U., Santanam, S., Vallarino, J., & Spengler, J. D. (2016). Associations of cognitive function scores with carbon dioxide, ventilation, and volatile organic compound exposures in office workers: A controlled exposure study of green and conventional office environments. *Environmental Health Perspectives*, 124(6), 805–812.
- Du, B., Tandoc, M. C., Mack, M. L., & Siegel, J. A. (2025). Associations between indoor environmental conditions and divergent creative thinking. *Building and Environment*, 272, 112184.

- Harvard T.H. Chan School of Public Health. (2025). *Indoor air quality and student cognitive performance in university settings*. Healthy Buildings Program.
- Satish, U., Mendell, M. J., Shekhar, K., Hotchi, T., Sullivan, D., Streufert, S., & Fisk, W. J. (2012). Is CO₂ an indoor pollutant? Direct effects of low-to-moderate CO₂ concentrations on human decision-making performance. *Environmental Health Perspectives*, 120(12), 1671–1677.
- Shang, W., Zhang, L., & Wang, Y. (2025). Air quality monitoring in schools: Evaluating the effects of ventilation on student health and academic achievement. *Journal of Indoor Environmental Health*, 39(2), 115–128.
- Wargocki, P., & Wyon, D. P. (2020). The relationships between classroom air quality and children’s performance of schoolwork. *Building and Environment*, 173, 106749.
- National Research Council. (2012). *A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas*. The National Academies Press.
- UNESCO. (2021). *Educación ambiental para el desarrollo sostenible: Directrices pedagógicas para la investigación activa en el aula*. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.