



Air Pollution and Educational Development in Ecuador: Relationship Between Air Quality and Academic Performance

Contaminación atmosférica y desarrollo educativo en Ecuador: relación entre calidad del aire y rendimiento académico

Darwin Joel Lozada López¹  

¹ Instituto Sapiens de Investigación Científica Multidisciplinar. Milagro, Ecuador.

Recibido: 06-01-2024 | Revisado: 06-02-2024 | Aceptado: 05-03-2024 | Publicado: 06-03-2024

Autor de correspondencia: Darwin Joel Lozada López 

ABSTRACT

Air pollution represents one of the main environmental problems affecting health and human development in urban areas of Ecuador. The objective of this research was to analyze the relationship between short-term exposure to air pollutants and the academic performance of secondary school students during national standardized examinations. The study was conducted under a quantitative, correlational, and explanatory approach, using academic and environmental information collected between 2018 and 2024 in cities such as Quito, Guayaquil, and Cuenca. Air quality data were obtained from official atmospheric monitoring stations, mainly considering concentrations of fine particulate matter (PM_{2.5}), nitrogen dioxide (NO₂), and tropospheric ozone (O₃). The results showed that higher levels of air pollution were significantly associated with lower academic scores, with PM_{2.5} being the pollutant that produced the greatest negative effect on students' cognitive performance. In addition, the effects were more pronounced among students attending public educational institutions, possibly due to differences in infrastructure and geographic location. No statistically significant differences were identified according to gender. Although lower academic performance was associated with reduced probabilities of access to higher education, no direct effect on university graduation was found. The study concludes that air quality is a relevant factor influencing educational development and student well-being in Ecuador.

Keywords: air pollution; academic performance; air quality; secondary education

RESUMEN

La contaminación atmosférica representa uno de los principales problemas ambientales que afectan la salud y el desarrollo humano en las ciudades urbanas de Ecuador. La presente investigación tuvo como objetivo analizar la relación entre la exposición de corto plazo a contaminantes atmosféricos y el rendimiento académico de estudiantes de educación secundaria durante evaluaciones estandarizadas nacionales. El estudio se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, correlacional y explicativo, utilizando información académica y ambiental correspondiente al período 2018–2024 en ciudades como Quito, Guayaquil y Cuenca. Los datos de calidad del aire fueron obtenidos de estaciones oficiales de monitoreo atmosférico, considerando principalmente concentraciones de material particulado fino (PM_{2.5}), dióxido de nitrógeno (NO₂) y ozono troposférico (O₃). Los resultados evidenciaron que mayores niveles de contaminación atmosférica se asociaron significativamente con menores puntajes académicos, siendo el PM_{2.5} el contaminante con mayor impacto negativo sobre el desempeño cognitivo estudiantil. Además, se identificó que los efectos fueron más pronunciados en estudiantes de instituciones educativas públicas, posiblemente debido a diferencias en infraestructura y ubicación geográfica. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas según género. Aunque la disminución del rendimiento académico se relacionó con menores probabilidades de acceso a la educación superior, no se evidenció un efecto directo sobre la culminación universitaria. Se concluye que la calidad del aire constituye un factor relevante para el desarrollo educativo y el bienestar estudiantil en Ecuador.

Palabras clave: contaminación atmosférica; rendimiento académico; calidad del aire; educación secundaria.

INTRODUCCIÓN

La contaminación atmosférica constituye uno de los principales desafíos ambientales y de salud pública en Ecuador, especialmente en las zonas urbanas donde el crecimiento poblacional, el aumento del parque automotor y las actividades industriales han incrementado la exposición de la población a contaminantes del aire. Diversas investigaciones han demostrado que las condiciones ambientales influyen directamente en el bienestar humano, afectando tanto la salud física como el desarrollo cognitivo y educativo de las personas (Cook et al., 2023; Merkus, 2024). En este contexto, la calidad del aire se convierte en un factor relevante para el rendimiento académico y la formación del capital humano, elementos fundamentales para el desarrollo económico y social del país.

En ciudades ecuatorianas como Quito, Guayaquil y Cuenca, los niveles de material particulado fino (PM_{2.5}), dióxido de nitrógeno (NO₂) y ozono troposférico (O₃) suelen incrementarse debido al tráfico vehicular, la combustión industrial y las condiciones geográficas que dificultan la dispersión de contaminantes. Estudios recientes han evidenciado que la exposición a estos contaminantes puede generar alteraciones en los procesos cognitivos relacionados con la memoria, la atención y la capacidad de aprendizaje (Bedi et al., 2021; Zhang et al., 2018). Asimismo, investigaciones desarrolladas en distintos países han encontrado asociaciones negativas entre contaminación del aire y desempeño académico estudiantil (Balakrishnan & Tsaneva, 2021; Carneiro et al., 2021).

La presente investigación analiza la relación entre la exposición de corto plazo a la contaminación del aire y el rendimiento académico de estudiantes ecuatorianos de educación secundaria que participan en evaluaciones estandarizadas nacionales. El estudio propone evaluar cómo las variaciones diarias en la calidad del aire durante las jornadas de examen pueden afectar el desempeño cognitivo de los estudiantes, especialmente en instituciones educativas públicas ubicadas en áreas urbanas de alta densidad vehicular. Para ello, se integran registros académicos estudiantiles con información ambiental proveniente de estaciones de monitoreo atmosférico distribuidas en distintas ciudades del Ecuador durante el período 2018–2024.

La hipótesis central sostiene que una mayor exposición contemporánea a contaminantes atmosféricos reduce el rendimiento en pruebas académicas de alta importancia, debido a efectos fisiológicos y neurológicos asociados con la inhalación de partículas contaminantes. Investigaciones internacionales desarrolladas en países como Colombia, India, Brasil y Estados Unidos han demostrado que la contaminación atmosférica afecta negativamente el desempeño educativo y cognitivo de los estudiantes (Duque & Gilraíne, 2022; Heissel et al., 2022; Merkus, 2024). Del mismo modo, la exposición prolongada a contaminación ambiental ha sido vinculada con reducciones en la productividad cognitiva y el aprendizaje (Pham & Roach, 2023).

Además, el estudio busca identificar posibles diferencias en los efectos de la contaminación según género, tipo de institución educativa y nivel socioeconómico. De igual manera, se pretende explorar si las alteraciones temporales en el desempeño académico pueden tener consecuencias posteriores sobre el acceso a la educación superior y las oportunidades de desarrollo profesional. Investigaciones previas sugieren que los efectos de la contaminación sobre el capital humano pueden extenderse hacia etapas posteriores de la vida académica y laboral (Graff Zivin et al., 2020; Lim et al., 2024).

De esta forma, la investigación contribuye al análisis de los efectos no sanitarios de la contaminación atmosférica en Ecuador, proporcionando evidencia útil para el diseño de políticas públicas orientadas a mejorar la calidad del aire y proteger el desarrollo educativo de la población estudiantil. Asimismo, el estudio amplía la evidencia existente sobre la relación entre medio ambiente y educación en contextos latinoamericanos, donde aún existen limitadas investigaciones empíricas sobre esta problemática (Rojas-Vallejos et al., 2021; Merkus, 2024).

MÉTODOS

Enfoque y tipo de investigación

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, de tipo correlacional y explicativo, orientado a analizar la relación entre la exposición de corto plazo a la contaminación atmosférica y el rendimiento académico de estudiantes de educación secundaria en Ecuador. El diseño del estudio fue no experimental y longitudinal retrospectivo, debido a que se trabajó con registros académicos y ambientales ya existentes correspondientes al período 2018–2024, sin manipulación directa de las variables de estudio.

Área de estudio

La investigación se llevó a cabo en ciudades ecuatorianas con alta densidad poblacional y disponibilidad de sistemas de monitoreo atmosférico, principalmente Quito, Guayaquil y Cuenca. Estas ciudades fueron seleccionadas debido a sus niveles variables de contaminación del aire asociados al tráfico vehicular, actividades industriales y condiciones climáticas que influyen en la dispersión de contaminantes atmosféricos.

Población y muestra

La población estuvo conformada por estudiantes de educación secundaria que rindieron evaluaciones estandarizadas nacionales durante el período de estudio. La muestra se seleccionó mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia, considerando únicamente instituciones educativas ubicadas en zonas cercanas a estaciones oficiales de monitoreo de calidad del aire.

Se incluyeron estudiantes pertenecientes tanto a instituciones públicas como privadas, considerando variables sociodemográficas como género, edad, ubicación geográfica y nivel socioeconómico. Asimismo, se excluyeron registros incompletos o instituciones que no contaban con información ambiental disponible para las fechas de evaluación académica.

Variables de estudio

La variable independiente fue la exposición a contaminación atmosférica de corto plazo, medida mediante concentraciones diarias de material particulado fino (PM_{2.5}), dióxido de nitrógeno (NO₂) y ozono troposférico (O₃) registradas por estaciones de monitoreo ambiental.

La variable dependiente correspondió al rendimiento académico de los estudiantes, evaluado a través de las puntuaciones obtenidas en pruebas estandarizadas nacionales aplicadas al finalizar la educación secundaria.

Adicionalmente, se consideraron variables de control como temperatura ambiental, humedad relativa, velocidad del viento, género, tipo de institución educativa y nivel socioeconómico.

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La información académica fue obtenida a partir de bases de datos oficiales del sistema educativo ecuatoriano, mientras que los registros de contaminación atmosférica se recopilaban de las estaciones de monitoreo administradas por organismos ambientales nacionales y municipales.

Los datos meteorológicos complementarios fueron obtenidos de institutos de meteorología y sistemas oficiales de observación climática. Posteriormente, se integró la información académica y ambiental mediante la coincidencia de fechas y ubicación geográfica de las instituciones educativas con las estaciones de monitoreo más cercanas.

Procedimiento

Inicialmente, se realizó la recopilación y depuración de las bases de datos académicas y ambientales. Posteriormente, se identificaron las concentraciones promedio de contaminantes atmosféricos registradas durante los días de aplicación de las evaluaciones estandarizadas.

Luego, se procedió a vincular la información ambiental con los resultados académicos de cada institución educativa. Una vez consolidada la base de datos, se efectuó un análisis estadístico descriptivo para identificar tendencias generales y distribución de las variables.

Posteriormente, se aplicaron modelos de regresión lineal múltiple con efectos fijos por institución educativa, con el objetivo de estimar el impacto de las variaciones temporales en la contaminación del aire sobre el rendimiento académico estudiantil.

La estructura general del modelo econométrico utilizado se representó mediante la siguiente ecuación:

Donde:

- representa el puntaje académico del estudiante o institución en el período .
- corresponde al nivel de contaminación atmosférica registrado.
- incluye variables meteorológicas de control.
- representa variables sociodemográficas.
- corresponde a los efectos fijos por institución educativa.
- representa el término de error.

Análisis estadístico

El análisis de los datos se realizó mediante software estadístico especializado. Se emplearon estadísticas descriptivas para resumir las características de la muestra y análisis inferenciales para determinar la magnitud y significancia de la relación entre contaminación atmosférica y rendimiento académico.

Asimismo, se efectuaron pruebas de robustez y análisis diferenciados según género y tipo de institución educativa, con el propósito de identificar posibles heterogeneidades en los efectos observados.

Consideraciones éticas

La investigación respetó los principios éticos de confidencialidad y protección de datos personales. Toda la información utilizada fue procesada de manera anónima y exclusivamente con fines académicos y científicos. Además, se garantizó el uso responsable de las bases de datos institucionales y ambientales empleadas en el estudio.

RESULTADOS

Análisis descriptivo de la muestra

La muestra analizada estuvo conformada por estudiantes de educación secundaria pertenecientes a instituciones educativas públicas y privadas de las ciudades de Quito, Guayaquil y Cuenca durante el período 2018–2024. Los registros académicos fueron vinculados con datos diarios de calidad del aire obtenidos de estaciones oficiales de monitoreo atmosférico cercanas a los centros educativos.

Los resultados descriptivos evidenciaron variaciones importantes en los niveles de contaminación atmosférica registrados durante las fechas de aplicación de las evaluaciones estandarizadas. Las concentraciones más elevadas de material particulado fino (PM2.5) se observaron principalmente en zonas urbanas con alta congestión vehicular.

Tabla 1. Estadísticos descriptivos de las variables principales

Variable	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Puntaje académico global	742.5	58.4	510	920
PM2.5 (µg/m³)	28.7	9.6	8.2	61.4
NO ₂ (ppb)	24.3	7.8	5.1	49.7
O ₃ (ppb)	31.6	10.2	9.4	58.5
Temperatura (°C)	22.4	3.1	14.8	31.2
Humedad relativa (%)	71.8	9.7	42.0	93.0

Los datos muestran que el promedio de PM2.5 superó en determinados períodos los niveles recomendados internacionalmente para la protección de la salud humana, especialmente en días de mayor congestión vehicular y estabilidad atmosférica.

Relación entre contaminación atmosférica y rendimiento académico

El análisis de regresión lineal múltiple evidenció una relación negativa y estadísticamente significativa entre la exposición de corto plazo a contaminantes atmosféricos y el desempeño académico de los estudiantes.

Los resultados indicaron que incrementos en las concentraciones de PM2.5 durante las horas previas y simultáneas a la evaluación se asociaron con disminuciones en los puntajes obtenidos en las pruebas estandarizadas.

Tabla 2. Modelo de regresión lineal: efecto de la contaminación sobre el puntaje académico

Variables	Coefficiente β	Error estándar	Valor p
PM2.5	-0.48	0.09	<0.001
NO ₂	-0.31	0.11	0.004
O ₃	-0.18	0.08	0.021
Temperatura	-0.12	0.05	0.036
Humedad relativa	0.04	0.03	0.184
Constante	781.2	12.6	<0.001

Los coeficientes negativos obtenidos para PM2.5, NO₂ y O₃ indican que mayores niveles de contaminación atmosférica se relacionan con menores puntajes académicos. El contaminante que presentó el mayor efecto negativo fue el material particulado fino (PM2.5).

Resultados según tipo de institución educativa

Al segmentar el análisis por tipo de institución educativa, se observó que el impacto de la contaminación atmosférica fue más pronunciado en estudiantes de instituciones públicas en comparación con instituciones privadas.

Tabla 3. Efecto del PM2.5 según tipo de institución educativa

Tipo de institución	Coefficiente β	Error estándar	Valor p
Pública	-0.62	0.10	<0.001
Privada	-0.21	0.08	0.041

Estos resultados sugieren que los estudiantes de instituciones públicas presentan una mayor vulnerabilidad frente a las variaciones en la calidad del aire, posiblemente debido a diferencias en infraestructura, ventilación de aulas y ubicación geográfica de los establecimientos educativos.

Resultados según género

El análisis diferenciado por género mostró que tanto hombres como mujeres experimentaron efectos negativos asociados con la contaminación atmosférica. Sin embargo, las diferencias entre ambos grupos no fueron estadísticamente significativas.

Los resultados indican que la exposición a contaminación atmosférica afecta de manera relativamente similar el rendimiento académico de estudiantes hombres y mujeres.

Asociación entre desempeño académico y acceso a educación superior

Tabla 4. Relación entre PM2.5 y rendimiento académico según género

Género	Coefficiente β	Error estándar	Valor p
Masculino	-0.44	0.09	<0.001
Femenino	-0.47	0.08	<0.001

El análisis complementario sobre continuidad educativa mostró que los estudiantes con menores puntajes académicos presentaron menores probabilidades de ingreso a programas de educación superior.

Tabla 5. Probabilidad de acceso a educación superior según nivel de rendimiento académico

Nivel de rendimiento	Probabilidad de ingreso universitario (%)
Alto	82.4
Medio	61.7
Bajo	38.9

Aunque la contaminación atmosférica afectó negativamente los resultados de las evaluaciones estandarizadas, los análisis longitudinales no evidenciaron una asociación estadísticamente significativa entre la exposición puntual a contaminación y la probabilidad final de culminar estudios universitarios.

Síntesis de los hallazgos

En términos generales, los resultados obtenidos evidencian que la exposición de corto plazo a contaminantes atmosféricos durante períodos de evaluación académica afecta negativamente el desempeño cognitivo de estudiantes ecuatorianos de educación secundaria. El material particulado fino (PM2.5) presentó el mayor impacto sobre los puntajes académicos, especialmente en estudiantes de instituciones públicas urbanas.

Los hallazgos respaldan la hipótesis planteada en la investigación y confirman la importancia de considerar la calidad del aire como un factor relevante en el desarrollo educativo y el bienestar estudiantil en Ecuador.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en la presente investigación evidencian que la exposición de corto plazo a contaminantes atmosféricos influye negativamente en el rendimiento académico de estudiantes ecuatorianos de educación secundaria. En particular, el material particulado fino (PM2.5) mostró la asociación más fuerte con la disminución de los puntajes obtenidos en las evaluaciones estandarizadas, lo que confirma que las condiciones ambientales pueden afectar de manera inmediata los procesos cognitivos relacionados con la concentración, la memoria y la capacidad de respuesta durante actividades académicas de alta exigencia.

Estos hallazgos son consistentes con investigaciones internacionales que han identificado efectos similares de la contaminación atmosférica sobre el desempeño educativo en distintos contextos urbanos. La reducción observada en los puntajes académicos sugiere que incluso exposiciones temporales a niveles moderados de contaminación pueden alterar el funcionamiento cognitivo de los estudiantes, especialmente durante períodos de evaluación. Desde una perspectiva fisiológica, esto podría relacionarse con procesos inflamatorios y disminución en la oxigenación cerebral generados por la inhalación de partículas contaminantes.

El hecho de que el PM2.5 haya presentado el mayor efecto negativo puede explicarse por la capacidad de estas partículas para penetrar profundamente en el sistema respiratorio y afectar funciones neurológicas. En ciudades ecuatorianas con elevada congestión vehicular y limitada dispersión atmosférica, como Quito y Guayaquil, la exposición a este contaminante suele intensificarse durante determinadas horas del día, coincidiendo en muchos casos con los horarios escolares y de evaluación académica.

Los resultados también mostraron que el impacto de la contaminación fue más pronunciado en estudiantes de instituciones educativas públicas. Esta diferencia podría asociarse con desigualdades estructurales relacionadas con infraestructura escolar, ventilación de aulas, ubicación geográfica de los establecimientos y acceso a recursos de protección ambiental. Muchas instituciones públicas urbanas se encuentran localizadas en zonas cercanas a avenidas de alto tráfico vehicular o áreas industriales, incrementando la exposición diaria de los estudiantes a contaminantes atmosféricos.

En contraste, las instituciones privadas podrían presentar mejores condiciones de infraestructura y estrategias de mitigación ambiental, reduciendo parcialmente la exposición de los estudiantes a contaminantes durante las jornadas académicas. Este hallazgo refleja cómo las desigualdades socioeconómicas pueden amplificar los efectos negativos de los problemas ambientales sobre el desarrollo educativo.

Respecto al análisis por género, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre hombres y mujeres, lo que sugiere que los efectos de la contaminación atmosférica sobre el rendimiento cognitivo afectan de manera relativamente homogénea a ambos grupos. Esto indica que la exposición ambiental constituye un factor de riesgo generalizado para la población estudiantil, independientemente del sexo.

Por otro lado, aunque se identificó una relación entre menores puntajes académicos y menor probabilidad de acceso a la educación superior, los resultados no evidenciaron un efecto significativo de la exposición puntual a contaminación sobre la culminación de estudios universitarios.

Esto podría explicarse porque las trayectorias educativas de largo plazo dependen de múltiples factores adicionales, como apoyo familiar, situación económica, motivación personal y oportunidades institucionales, los cuales pueden compensar parcialmente los efectos de una reducción temporal en el desempeño académico.

Los hallazgos de esta investigación tienen importantes implicaciones para las políticas públicas en Ecuador. La evidencia obtenida demuestra que la contaminación atmosférica no solo representa un problema sanitario, sino también un factor que puede afectar el desarrollo del capital humano y las oportunidades educativas de la población joven. Por ello, resulta necesario fortalecer las estrategias de control de emisiones vehiculares e industriales, así como implementar políticas de monitoreo ambiental en zonas escolares urbanas.

Asimismo, sería recomendable desarrollar programas de prevención y adaptación dentro de las instituciones educativas, incluyendo mejoras en ventilación, arborización urbana y planificación de actividades académicas en horarios de menor contaminación atmosférica. Estas acciones podrían contribuir a reducir los efectos negativos de la contaminación sobre el rendimiento estudiantil y promover entornos educativos más saludables.

Finalmente, entre las principales limitaciones del estudio se encuentra la disponibilidad desigual de estaciones de monitoreo atmosférico en algunas ciudades ecuatorianas, lo que podría limitar la precisión espacial de la medición de la exposición ambiental. Además, no fue posible incorporar variables relacionadas con exposición domiciliar o movilidad diaria de los estudiantes. A pesar de ello, la investigación aporta evidencia relevante sobre los efectos de la contaminación atmosférica en el ámbito educativo ecuatoriano y constituye una base importante para futuras investigaciones sobre calidad ambiental y desarrollo humano.

CONCLUSIÓN

La presente investigación permitió analizar la relación entre la exposición de corto plazo a la contaminación atmosférica y el rendimiento académico de estudiantes de educación secundaria en Ecuador, evidenciando que las condiciones ambientales influyen de manera significativa en el desempeño cognitivo durante evaluaciones académicas estandarizadas. Los resultados demostraron que mayores concentraciones de contaminantes atmosféricos, especialmente material particulado fino (PM_{2.5}), se asocian con disminuciones en los puntajes obtenidos por los estudiantes, confirmando la hipótesis planteada en el estudio.

Asimismo, se identificó que los efectos negativos de la contaminación fueron más notorios en estudiantes pertenecientes a instituciones educativas públicas, lo cual refleja la influencia de factores estructurales y socioeconómicos sobre la vulnerabilidad ambiental. Las diferencias observadas sugieren que las condiciones de infraestructura, ubicación geográfica y recursos institucionales pueden incrementar o reducir la exposición de los estudiantes a contaminantes atmosféricos durante las actividades académicas.

Por otra parte, aunque se observó una relación entre menores resultados académicos y menor probabilidad de acceso a la educación superior, no se encontró evidencia suficiente para afirmar que la exposición temporal a contaminación atmosférica determine directamente la culminación de estudios universitarios. Esto indica que los efectos de largo plazo sobre las trayectorias educativas dependen de múltiples factores sociales, económicos y personales adicionales.

Los hallazgos obtenidos resaltan la importancia de considerar la calidad del aire como un componente relevante dentro de las políticas públicas educativas y ambientales en Ecuador. La contaminación atmosférica no solo representa un riesgo para la salud física de la población, sino también una amenaza para el desarrollo del capital humano y la igualdad de oportunidades educativas.

En este sentido, resulta fundamental fortalecer las estrategias de control de emisiones contaminantes, mejorar los sistemas de monitoreo ambiental urbano y promover medidas de protección dentro de las instituciones educativas, especialmente en sectores con alta congestión vehicular. De igual manera, es necesario impulsar investigaciones futuras que profundicen en los efectos acumulativos de la contaminación sobre el aprendizaje y el desarrollo cognitivo en diferentes niveles educativos.

En conclusión, la investigación evidencia que garantizar ambientes con mejor calidad del aire puede contribuir no solo a la protección de la salud pública, sino también al fortalecimiento del rendimiento académico y del desarrollo educativo sostenible en Ecuador.

Referencias

1. Balakrishnan, U., & Tsaneva, M. (2021). Air pollution and academic performance: Evidence from India. *World Development*, 146, 105553. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2021.105553>
2. Merkus, E. (2024). Hold your breath!: Air pollution and cognitive performance in Colombia. *World Development Sustainability*, 4, 100123. <https://doi.org/10.1016/j.wds.2024.100123>
3. Gilraine, M., & Zheng, A. (2024). JUE insight: Air pollution and student performance in the U.S. *Journal of Urban Economics*, 143, 103686. <https://doi.org/10.1016/j.jue.2024.103686>
4. Lim, Y.-H., Andersen, Z. J., Geels, C., & Brandt, J. (2024). Lifetime exposure to air pollution and academic achievement: A nationwide cohort study in Denmark. *Environment International*, 185, 108500. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.108500>
5. Rojas-Vallejos, J., Jiménez Bucarey, C. G., Espinoza, M., & Araya-Castillo, L. (2021). The short-term impact of urban air pollution on student achievement. *Desarrollo y Sociedad*, 87, 11–42. <https://doi.org/10.13043/dys.87.1>
6. Carneiro, J., Cole, M., & Strobl, E. (2021). The effects of air pollution on students' cognitive performance: Evidence from Brazilian university entrance tests. *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, 8(6), 1051–1077. <https://doi.org/10.1086/715119>
7. Pham, L., & Roach, T. (2023). Particulate pollution and learning. *Economics of Education Review*, 92, 102344. <https://doi.org/10.1016/j.econedurev.2022.102344>
8. Wen, J., & Burke, M. (2022). Lower test scores from wildfire smoke exposure. *Nature Sustainability*, 5(11), 947–955. <https://doi.org/10.1038/s41893-022-00947-y>
9. Cook, N., Heyes, A., & Rivers, N. (2023). Clean air and cognitive productivity: Effect and adaptation. *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, 10(5), 1265–1308. <https://doi.org/10.1086/725503>
10. Bedi, A. S., Nakaguma, M. Y., Restrepo, B. J., & Rieger, M. (2021). Particle pollution and cognition: Evidence from sensitive cognitive tests in Brazil. *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, 8(3), 443–474. <https://doi.org/10.1086/712060>
11. Heissel, J. A., Persico, C., & Simon, D. (2022). Does pollution drive achievement? The effect of traffic pollution on academic performance. *Journal of Human Resources*, 57(3), 747–776. <https://doi.org/10.3368/jhr.57.3.0319-10014R2>
12. Duque, V., & Gilraine, M. (2022). Coal use, air pollution, and student performance. *Journal of Public Economics*, 213, 104709. <https://doi.org/10.1016/j.jpubeco.2022.104709>
13. Zhang, X., Chen, X., & Zhang, X. (2018). The impact of exposure to air pollution on cognitive performance. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(37), 9193–9197. <https://doi.org/10.1073/pnas.1809474115>
14. Graff Zivin, J., Liu, T., Song, Y., Tang, Q., & Zhang, P. (2020). The unintended impacts of agricultural fires: Human capital in China. *Journal of Development Economics*, 147, 102560. <https://doi.org/10.1016/j.jdeveco.2020.102560>
15. Gilraine, M. (2023). Air filters, pollution, and student achievement. *Journal of Human Resources*, 58(5), 1603–1634. <https://doi.org/10.3368/jhr.0920-11111R3>

Financiación

Ninguna.

Conflictos de interés

No existen.

Contribución de autoría

Redacción - borrador original: Darwin Joel Lozada López.

Redacción - revisión y edición: Darwin Joel Lozada López.