

BORDÓN

Revista de Pedagogía



Volumen 76
Número, 4
2024

SOCIEDAD ESPAÑOLA DE PEDAGOGÍA

INFLUENCIA ENTRE LA CONTAMINACIÓN QUÍMICA DEL AIRE Y LAS CAPACIDADES COGNITIVAS DE LOS NIÑOS EN EDAD ESCOLAR A NIVEL DE LIMA METROPOLITANA

Influence between chemical air pollution and cognitive abilities of school-age children in Metropolitan Lima

MIRIAM BRAVO-ORELLANA^{1,2}, CÉSAR-AUGUSTO BRAVO-ORELLANA²,
ÁNGEL RAMÓN VELÁZQUEZ FERNÁNDEZ² Y JHELLY-REYNALUZ PÉREZ-NÚÑEZ^{3,4}

¹ Universidad Privada del Norte, Facultad de Ingeniería (Perú)

² Instituto para la Calidad de la Educación, Universidad de San Martín de Porres (Perú)

³ Universidad de Lima (Perú)

⁴ Universidad Nacional Mayor de San Marcos (Perú)

DOI: 10.13042/Bordon.2024.102421

Fecha de recepción: 20/10/2023 • Fecha de aceptación: 02/08/2024

Autora de contacto / Corresponding autor: Miriam Bravo-Orellana. E-mail: miriam.bravo@upn.edu.pe

Cómo citar este artículo: Bravo-Orellana, M., Bravo-Orellana, C.-A., Velázquez Fernández, Á. R. y Pérez-Núñez, J.-R. (2024). Influencia entre la contaminación química del aire y las capacidades cognitivas de los niños en edad escolar a nivel de Lima metropolitana. *Bordón, Revista de Pedagogía*, 76(4), 29-54. <https://doi.org/10.13042/Bordon.2024.102421>

INTRODUCCIÓN. La contaminación del aire de naturaleza química es un problema que se presenta diariamente por la constante exposición crónica y prolongada a factores externos, como la congestión vehicular y la existencia de zonas industriales, superando en muchas ocasiones el índice de contaminación permitida, normada por los estándares de calidad ambiental. El estudio tuvo como fin mostrar la influencia del nivel de contaminación química del aire en las capacidades cognitivas de los escolares. Se evaluaron los contaminantes del aire más importantes, a través de las ocho estaciones de monitoreo, a nivel de Lima Metropolitana. Entre estos contaminantes figuran el monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO₂), dióxido de azufre (SO₂) y material particulado (PM_{2,5} y PM₁₀). **MÉTODO.** La investigación es de tipo cuantitativa, no experimental y es ex post facto. La muestra fue de 350 estudiantes de ambos sexos, de 10 a 12 años de edad, en niñas había un 47% y en niños un 53%. La edad promedio era de 10,88 años y una desviación estándar típica de 0,824, del 6.º grado de primaria de colegios privados, distribuidos en ocho puntos de monitoreo a nivel de Lima Metropolitana. Se aplicó un test neuropsicológico conocido como test de percepción de diferencias: CARAS-R, donde se evaluaron las capacidades perceptivas y atencionales, validados por baremos nacionales e internacionales. **RESULTADOS.** La concentración PM₁₀ presentó una correlación negativa y significativamente fuerte con R = - 0,98, con un IC: 95% para las capacidades perceptivas y atencionales. El CO y el PM_{2,5} tuvieron una relación negativa moderada con un valor promedio de R = - 0,72 (IC: 95%). El NO₂ presentó una correlación débil y poco

significativa, para la percepción y atención, con un factor de correlación $R = 0,44$. **DISCUSIÓN.** Los niños en edad escolar de 10 a 12 años que cursan el 6.º grado de primaria, expuestos de manera crónica y prolongada a la contaminación química del aire, experimentan menor capacidad cognitiva tanto perceptivas como atencionales.

Palabras clave: Cognición, Deterioro, Contaminante, Percepción, Atención.

Introducción

Por mucho tiempo se ha sostenido que las deficiencias de las capacidades cognitivas se debían meramente a lesiones cerebrales, problemas de nutrición, entornos familiares, problemas congénitos, etc., desde la gestación hasta los primeros dos años de vida.

Según las investigaciones sobre contaminación del aire y desarrollo cognitivo, la exposición a contaminantes atmosféricos como dióxido de nitrógeno (NO_2), material particulado ($\text{PM}_{2.5}$) y carbono negro se relaciona con el deterioro cognitivo en la infancia, afectando la memoria de trabajo, la atención y la velocidad de procesamiento. Estudios con resonancia magnética han demostrado que altas concentraciones de estos contaminantes están asociadas con cambios en la materia blanca cerebral y una menor integración de las redes neuronales. La exposición al NO_2 se vinculó con el deterioro de la memoria de trabajo y de las funciones psicomotoras en niños y adolescentes, según las investigaciones realizadas. Las partículas $\text{PM}_{2.5}$ se asociaron con dificultades en la memoria de trabajo y la atención, entre otros efectos adversos en el desarrollo cognitivo, en tanto el carbono negro mostró una relación con una menor inteligencia verbal y no verbal, así como con una memoria de trabajo deficiente, por último, el cobre (Cu) en el aire se vinculó con problemas de atención y habilidades motoras finas en niños y adolescentes. Según algunos estudios, la neuroinflamación, el alelo e4 del gen de la apolipoproteína E y los procesos de polimorfismo del gen gutatión-S-transferasa pueden desempeñar un papel importante (Lopuszanska y Samardakiewicz, 2020).

Estos problemas han sido avalados por estudios de imágenes por resonancia magnética (IRM), que a pesar de que no aplicaron un diseño longitudinal que hiciera menos sólidos sus hallazgos, la evidencia de investigaciones de neuroimagen observó que las altas concentraciones de contaminantes del aire estaban relacionadas con alteraciones en la materia blanca del cerebro o con una menor integración y segregación funcional en el cerebro, redes cerebrales medidas en un momento dado, en niños en edad preescolar y escolar (Lopuszanska y Samardakiewicz, 2020).

Por lo tanto, la exposición a agresiones químicas ambientales, como la contaminación del aire, presumiblemente afecta al cerebro y esto, a su vez, podría contribuir a una variedad de dificultades del desarrollo neurológico (Boda *et al.*, 2020).

La Organización Mundial de la Salud (OMS, 2020) destaca el impacto grave de la contaminación del aire en la salud global, con millones de muertes prematuras anuales.

La contaminación del aire se puede definir como la presencia de sustancias químicas o compuestos tóxicos (incluidos los de origen biológico) en el aire, en niveles que suponen un riesgo para

la salud. Datos recientes de la Organización Mundial de la Salud revelaron que 9 de cada 10 personas respiran aire que está por encima de los valores límite recomendados por la OMS, con los niveles más altos de exposición en los países de ingresos bajos y medios (Castagna *et al.*, 2022).

El desarrollo del cerebro humano es un proceso prolongado que se extiende hasta el final de la adolescencia. Sin embargo, existe evidencia que sugiere que la exposición temprana a contaminantes es fundamental para la maduración del cerebro con efectos sobre la neuroplasticidad. La neuroplasticidad se refiere a ajustes cerebrales funcionales basados en procesos neuronales como la neurogénesis, la sinaptogénesis (es decir, la proliferación sináptica), la poda (es decir, la reducción del número de sinapsis y del número de axones) y la mielinización (Castagna *et al.*, 2022).

Los problemas de contaminación en el aire representan un riesgo importante para la salud, especialmente en los niños, con posibles consecuencias a largo plazo. Un estudio en África evaluó la exposición de los escolares a partículas ultrafinas (UFP), encontrando una exposición general alta, influenciada por la ubicación y las actividades que realizan. Se evaluaron a 61 escolares, 43 estaban en escuelas urbanas y 18 en escuelas de comunidad rural, había 34 niños (56%) y 27 niñas (44%). Las escuelas urbanas mostraron una mayor exposición que las rurales. Las actividades como la quema de basura y espirales de mosquitos son fuentes de contaminación en los hogares. Los escolares que vivían cerca de las principales rutas de tráfico y participaban en la quema de basura experimentaban niveles más altos de exposición. Las principales fuentes de exposición fueron los combustibles usados en la cocina (con leña y carbón), el tráfico vehicular y la quema de biomasa y basura. Los niños tienen respiraciones mucho más aceleradas que los adultos, por ello, son una fuente de riesgo mayor, ya que inhalan proporciones mayores de aire contaminado (Nyarku *et al.*, 2019).

Las investigaciones resaltan cómo la contaminación del aire, especialmente la relacionada con el tráfico vehicular (TRAP), puede afectar negativamente al desarrollo cerebral y al sistema nervioso central de los niños, con estudios que sugieren una disminución del desarrollo mental y psicomotor. Esta exposición al TRAP se asocia con una reducción del 10-15% en la función cognitiva y un aumento del 20% en los marcadores neuroinflamatorios. Aunque se han observado asociaciones entre la contaminación del aire y alteraciones en la estructura y función cerebral, aún se requieren más investigaciones para validar estos hallazgos (Roche *et al.*, 2024).

Una investigación realizada en China examinó el efecto de la contaminación del aire interior por presencia en combustibles sólidos en la salud de adultos mayores y de mediana edad, utilizando datos del estudio longitudinal de salud y jubilación de China. Se encontró que esta contaminación está asociada con un impacto adverso en las capacidades cognitivas, especialmente en la memoria a corto plazo y el razonamiento matemático. Estos hallazgos subrayan la amenaza que representa la contaminación del aire interior para la salud de este grupo demográfico, que ha sido poco estudiado en investigaciones anteriores (Qiu *et al.*, 2019).

Khan *et al.* evaluaron a niños sanos de 8 a 14 años que asistían a escuelas públicas. Determinaron que la contaminación atmosférica crónica generada por el tráfico vehicular, que contiene partículas finas y ultrafinas, se asociaba con un rendimiento neuroconductual reducido y con disfunción conductual en escolares de las zonas urbanas ecuatorianas. La cercanía residencial de los niños a la carretera más cercana, con mucho tráfico vehicular, se utilizó como un indicador de la exposición

a dichos contaminantes. Los datos se analizaron mediante regresión lineal múltiple y se determinó que los niños que viven dentro de los 100 m de tráfico pesado parecen experimentar déficits neuroconductuales sutiles, por exposición a partículas finas y ultrafinas (Khan *et al.*, 2019).

La exposición temprana a contaminantes del aire puede influir en la maduración cerebral y la neuroplasticidad, con impactos duraderos en el desarrollo neurológico infantil. De acuerdo con las investigaciones, hay un impacto de la contaminación del aire relacionada con el tráfico en diversas habilidades neurocognitivas y motrices en niños de 3 a 12 años, tanto en la exposición prenatal como posnatal y su influencia en el desarrollo neurológico (Parra *et al.*, 2024).

Tal es así que, durante la gestación, se establecen las bases estructurales y funcionales del cerebro continuando su desarrollo posnatal. La exposición a contaminantes durante estos periodos sensibles puede alterar la expresión genética y desencadenar efectos adversos en habilidades cognitivas y motoras en niños en edad preescolar y escolar (Parra *et al.*, 2024).

De acuerdo con los estudios realizados en España, existe evidencia consistente sobre cómo la contaminación del aire afecta negativamente a la salud cognitiva, respiratoria y al rendimiento de aprendizaje de los niños, aumentando su susceptibilidad a enfermedades en su vida adulta. La población de estudio fueron niños y adolescentes en edad escolar (de 5 a 18 años), independientemente de sexo, género, estado de salud y ubicación geográfica. En las últimas décadas, las ciudades han dependido cada vez más del uso de los vehículos a motor como medio de transporte, esta dependencia del transporte motorizado privado ha llevado a una falta o acceso inadecuado a espacios verdes y altos niveles de exposiciones ambientales nocivas, como la contaminación del aire, ruido del tráfico, etc. La contaminación del aire es una exposición ambiental dañina, responsable de aproximadamente 7 millones de muertes al año. Alrededor del 93% de los niños del mundo menores de 15 años respiran aire tan contaminado que afecta su salud. Las generaciones más jóvenes son más sensibles y corren mayor riesgo cuando se exponen al aire contaminado, debido a su estado actual de desarrollo cognitivo y físico. Esta contaminación puede dañar el cerebro en desarrollo y perjudicar la función cognitiva a lo largo de la vida (Roche *et al.*, 2024).

Dentro de los agentes contaminantes, se encuentra el material particulado atmosférico (PM), que es un conjunto de partículas con una gran variedad de características físicas, químicas, geométricas y morfológicas, dispersas en la atmósfera durante tiempos suficientemente largos como para sufrir fenómenos de difusión y transporte. Las fuentes pueden ser naturales (como la erosión del suelo, etc.) o antropogénicas (por ejemplo, procesos de combustión en general y tráfico de vehículos en particular). Los componentes principales de las partículas son sulfatos y nitratos, amoníaco, cloruro de sodio, carbono y polvo mineral. En menor cantidad, el PM también contiene metales e hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP). En cuanto al tamaño, PM₁₀ y PM_{2,5} son la fracción de partículas recolectadas con un sistema de selección que tiene una eficiencia establecida por norma e igual al 50% para aquellas partículas de diámetro aerodinámico de 10 µm y 2,5 µm, respectivamente. Las PM₁₀ y PM_{2,5} a veces se denominan PM gruesas y finas. Las partículas ultrafinas (UFP) son partículas de tamaño nanométrico (menos de 0,1 µm o 100 nm de diámetro) (Castagna *et al.*, 2022).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA) han identificado el material particulado, los óxidos de nitrógeno (NO_x) y el ozono como motivo

de especial preocupación, y han sido objeto de la mayor cantidad de investigaciones con respecto al sistema nervioso central (SNC) y los efectos psicológicos de la contaminación atmosférica.

La contaminación por PM también se vio evidenciado en el interior de un ambiente escolar en Lisboa en la investigación realizada por Faria *et al.* El objetivo del estudio fue cuantificar la exposición de los niños a la presencia de PM inhalado, así como el tiempo de permanencia de los mismos, dentro y fuera del ambiente escolar. Se estudiaron a 1.189 niños, con muestras de PM en 5 escuelas, 40 hogares y 4 medios de transporte. Los resultados evidenciaron que los niños pasaban el 86% de su tiempo, tanto en las aulas como en sus hogares. Siendo las concentraciones en las aulas de PM_{2,5} y PM₁₀ de 35,3 y 65,4 µg/m³, respectivamente, excediendo ampliamente los valores límites establecidos por la legislación portuguesa (Faria *et al.*, 2020).

Un estudio de la Latin American and Caribbean Economic Association (LACEA) correlacionó las concentraciones de cinco contaminantes atmosféricos como son: PM, CO, NO₂, SO₂ y O₃; con los resultados de exámenes estandarizados realizados a escolares de cuarto, octavo y décimo grado, para las regiones de Metropolitana, Valparaíso y O'Higgins, que cubren un total de 3880 escuelas en Chile. Los resultados de las pruebas de lectura, matemáticas, comprensión social y ciencias naturales mostraron estimaciones de una relación negativa entre la contaminación del aire y el efecto neurodegenerativo, que podría ocasionar una menor capacidad de memoria y aprendizaje, con un resultado a largo plazo en el deterioro de la capacidad cognitiva (Miller y Vela, 2014).

El centro de investigación y de estudios avanzados del Instituto Politécnico Nacional (IPN) refiere que ciertas partículas del aire afectan al sistema nervioso y con ello a la capacidad cognitiva, sobre todo de los niños y adolescentes. La investigación tuvo como objetivo evaluar a nivel molecular el efecto de nanopartículas simuladas de dióxido de silicio, que se encuentran en un ambiente contaminado, para corroborar su efecto en la salud mental. Los resultados mostraron que en altas concentraciones matan a las células gliales encargadas de regular los neurotransmisores de glutamato, relacionadas con las funciones de aprendizaje y memoria; lo que significa una dificultad en la capacidad de aprender nuevas tareas. Mas aún al considerar que el desarrollo del sistema nervioso central termina a los 20 años, se vería seriamente afectada la capacidad intelectual de la población expuesta (IPN, 2019).

De acuerdo con las investigaciones de Jiyeon Park *et al.*, la exposición prolongada a la contaminación del aire aumenta el riesgo de trastorno por déficit de atención/hiperactividad (TDAH). Sin embargo, aún se desconoce el nivel de asociación. Esto se vio reflejado en la presencia PM₁₀, NO₂ y SO₂, así como los ingresos hospitalarios con un diagnóstico principal de TDAH, en adolescentes entre las edades de 10 a 19 años, de 16 regiones de la República de Corea desde el 2013 al 2015. Los resultados indican que la exposición a corto plazo de dichos contaminantes con índice de confiabilidad del 95% pueden ser un factor de riesgo para la exacerbación de los síntomas del TDAH (Jiyeon *et al.*, 2020).

Si bien es cierto, las primeras experiencias de aprendizaje de la persona podrían relacionarse con predisposiciones biológicas para determinar ciertos patrones consistentes de comportamiento social, sin embargo, para la gran mayoría de las personas el desarrollo social va a depender de la maduración y de sus experiencias de aprendizaje (Castillo y Sánchez-Suricalday, 2023).

En un estudio realizado en Taipéi incluyó a 142 participantes, en su mayoría niños varones (53%) con una edad promedio de 3,64 años. El desarrollo cognitivo medio fue alrededor del percentil 68. La mayoría de los padres tenían un nivel educativo superior (>90%) y estaban empleados (>77%). Este estudio examinó los factores asociados con el desarrollo infantil en niños preescolares (de 2 a 5 años) en el área metropolitana de Taipéi, fue un estudio de cohorte de nacimiento entre 2017 y 2020. Se encontró que los niveles de exposición en aire, a compuestos orgánicos volátiles totales (COVT) en espacios interiores, estaban asociados con un desarrollo cognitivo deficiente, con un aumento en el nivel de COVT correlacionado con una disminución del percentil 5,1 en el desarrollo cognitivo infantil. Además, se observó una diferencia de género en esta asociación, siendo más pronunciada en las niñas (Zou *et al.*, 2023). Estos hallazgos resaltan la importancia de un ambiente residencial menos contaminado y la necesidad de precaución en el uso de compuestos orgánicos volátiles en el hogar para minimizar la exposición de los niños y garantizar un desarrollo saludable.

En España, la exposición de los niños a contaminantes químicos en el interior de las escuelas es una preocupación debido a las largas horas que pasan en el colegio. Ciertos estudios han relacionado la mala calidad del aire con problemas de salud y rendimiento académico. Datos cuantitativos revelan que las concentraciones de COV en interiores provienen principalmente de materiales de construcción y productos de limpieza. Además, las emisiones de formaldehído son una preocupación, ya que pueden reducirse considerablemente eliminando las fuentes de emisión principales (Villanueva *et al.*, 2018).

En otra investigación se encontró una marcada disparidad en las concentraciones de compuestos orgánicos volátiles (COV) entre las escuelas de Perm (área de observación) y Kungur (área de comparación), con niveles significativamente más altos de fenol y formaldehído en el aire interior y exterior de las escuelas de Perm. Estas diferencias se reflejaron también en los niveles séricos de fenol, benceno y tolueno en los estudiantes de Perm en comparación con los de Kungur, lo que sugiere una mayor exposición a contaminantes orgánicos en el área de observación (Ulanova *et al.*, 2019).

La identificación de concentraciones más elevadas de compuestos orgánicos como fenol y formaldehído en el aire y en la sangre de los niños de Perm indicaron la existencia de fuentes externas de exposición a estos tóxicos en las instituciones educativas de esta área. Aunque no se encontraron diferencias significativas en los niveles séricos de xileno y etilbenceno entre los grupos de comparación y observación, la presencia de otros COV resaltó la necesidad de implementar medidas para reducir la exposición de los estudiantes a estos contaminantes (Ulanova *et al.*, 2019).

La exposición de los contaminantes en el aire como el CO₂ pueden llegar a generar problemas cognitivos, tal es así que una ventilación deficiente puede provocar una reducción del rendimiento cognitivo entre los adultos en el trabajo o los niños en la escuela. Sin embargo, el estudio experimental, examinó el efecto del CO₂ durante el sueño en el rendimiento cognitivo de escolares. A pesar de la exposición a diferentes niveles de CO₂, no se observaron efectos significativos en el rendimiento cognitivo al día siguiente. Por otro lado, la calidad del sueño fue menor con ventilación alta a 700 ppm de CO₂, pero este efecto se consideró casual. En resumen, no se encontró una influencia directa del CO₂ en la cognición de los niños al despertar, se tendrían que realizar posteriores estudios bajo otras condiciones de exposición (Klausen *et al.*, 2023).

La mala calidad del aire interior durante el sueño puede afectar al rendimiento cognitivo al día siguiente, especialmente en niños en edad escolar, que son más susceptibles a los contaminantes del aire. En un estudio danés, solo el 32% de las habitaciones de niños tenían niveles de CO₂ por debajo de 1000 ppm, y las concentraciones pueden llegar fácilmente a más de 2500 ppm con puertas y ventanas cerradas, en comparación con los 400 ppm en el aire exterior, mientras que ya hay recomendaciones de mantener el CO₂ < 1000 ppm en lugares de trabajo en Dinamarca (Zhang *et al.*, 2017).

La función cognitiva es esencial para el desarrollo humano y la contaminación del aire se ha reconocido como un factor de riesgo para la demencia, según la Comisión Lancet (2020). Se realizó una revisión sistemática utilizando el PRISMA para evaluar la asociación entre la contaminación del aire y los resultados cognitivos, identificando 84 estudios relevantes. Estos estudios describieron asociaciones entre la exposición a contaminantes del aire y un mayor riesgo de deterioro cognitivo en adultos y menores funciones cognitivas en niños y adolescentes. Sin embargo, la falta de estudios en países de ingresos bajos y medianos es una laguna importante en la investigación sobre este tema, a pesar de los altos niveles de contaminantes del aire y las altas tasas de demencia en estos países (Chandra *et al.*, 2022).

La exposición a metales pesados como el plomo (Pb) en sangre (BLL) superiores a 10 µg /dL, disminuyó al 6,78 % en una revisión actual entre 2014 y 2022. Los efectos por contaminación de plomo abarcan el sistema nervioso, así como otros sistemas corporales como el hematopoyético, renal, reproductivo, inmunológico, cardiovascular y respiratorio [15]. Los niños tienen una mayor absorción de plomo que otros grupos de edad (OMS, 2020), y niveles elevados en la sangre se relacionan con trastornos de atención, comportamiento antisocial, disminución del cociente intelectual y del aprendizaje. La exposición temprana al plomo también aumenta el riesgo de trastornos neurocognitivos en la edad adulta y se asocia con conductas delictivas y violentas (Zou *et al.*, 2023). El Comité Asesor para la Prevención del Envenenamiento Infantil por Plomo (ACCLPP) recomienda un nivel de plomo en sangre para niños de 1 a 5 años de 5 µg/dL, mientras que los Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades (CDC) de EE. UU. actualizaron este valor a 3,5 µg/dL, hasta el año 2018 (Pereira *et al.*, 2024).

Asimismo, un estudio realizado en Colombia, constituido por un grupo de 114 niños, niñas y adolescentes con edades comprendidas entre los 9 y los 16 años, examinó el desempeño neuropsicológico y la exposición al mercurio (Hg) y arsénico (As) en niños y adolescentes colombianos, expuestos por problemas de contaminación en aire, utilizando biomarcadores en cabello y sangre. De los 70 participantes de la región de la Mojana, el 57,1% mostró niveles por encima de los valores de referencia para Hg y/o As. Los valores medios reportados fueron Hg en cabello: 1,76 ± 3,1 µg/g, Hg en sangre: 4,11 ± 5,93 µg/L, y As en sangre: 1,96 ± 2,73 µg/L. Se encontró una diferencia significativa en la subprueba de The Boston Naming Test (BNT) entre los grupos de exposición. Además, se observaron relaciones negativas significativas entre los niveles de Hg y/o As y las pruebas de función verbal y ejecutiva (Argumedos De la Ossa *et al.*, 2023).

La contaminación del aire, especialmente en áreas urbanas y vecindarios empobrecidos, plantea graves riesgos para el desarrollo cognitivo de los niños, dada su mayor exposición a sustancias neurotóxicas. Los hallazgos sugieren una estrecha relación entre la pobreza vecinal y la exposición a contaminantes del aire, lo que resalta la urgencia de abordar los factores ambientales que afectan la salud y el aprendizaje de los niños desde una perspectiva socioeconómica. Es crucial

implementar políticas y medidas de planificación urbana que reduzcan la contaminación atmosférica en los vecindarios empobrecidos y promuevan entornos más saludables para el desarrollo infantil. La identificación de los contaminantes atmosféricos más vinculados a la pobreza concentrada puede orientar acciones específicas para mitigar los efectos negativos en las habilidades cognitivas de los niños en edad escolar (Wodtke *et al.*, 2022).

El entorno en el cual se desenvuelve el estudiante es muy importante, las investigaciones revelan una fuerte relación entre las percepciones positivas del entorno escolar y un mejor rendimiento académico, con el 75% de los estudiantes con percepciones favorables obteniendo calificaciones superiores al 80%. Asimismo, se encontró una correlación significativa entre la percepción positiva del ambiente escolar y las calificaciones en pruebas estandarizadas ($r = 0,68$). Estas percepciones positivas se asociaron con un mejor desempeño en habilidades cognitivas como la atención y la memoria, evidenciado un aumento del 20% en las puntuaciones de atención y un 15% en las puntuaciones de memoria en comparación con aquellos con percepciones negativas (Edgerton & McKechnie, 2023).

Hay investigaciones, que se han enfocado en el entorno del estudiante, como el acceso a espacios verdes con un resultado favorable en el rendimiento académico, tal es así que, en una revisión de 13 estudios, se encontraron que, de los 122 hallazgos reportados, el 64% no mostraron significancia, el 8% fueron significativos y negativos, mientras que el 28% fueron significativos y positivos. Finalmente, aunque la literatura sobre espacios verdes escolares y rendimiento académico es limitada y presenta resultados diversos, se observaron resultados positivos, especialmente en áreas verdes, cobertura arbórea y vegetal hasta 2000 m alrededor de las escuelas, con mayor impacto en las calificaciones finales y exámenes universitarios de preparación (Browning y Rigolon, 2019).

La presente investigación se considera de gran importancia social y ambiental, ya que los resultados de esta evaluación permitirán alertar a las autoridades del sector educación gestionar con el sector ambiental, la realización de monitoreos ambientales, en aquellas instituciones educativas que están más cercanas al tráfico vehicular y zonas industriales, para plantear estrategias de sostenibilidad. Asimismo, será necesario gestionar con el ministerio de transporte, la implementación de medidas que impulsen la reducción y/o eliminación de contaminantes gaseosos, presentes en los combustibles. Para proyectos futuros de creación de instituciones educativas, se sugiere evaluar técnica y ambientalmente la zona de influencia directa e indirecta, para evitar problemas ambientales en dichas instituciones.

Los resultados de esta evaluación permitirán que los padres de familia puedan detectar a tiempo, cualquier problema de deficiencia cognitiva que tengan sus hijos. Ya que ciertas habilidades cognitivas como las de: percepción y atención, pueden ser entrenadas para mejorar su rendimiento, a cargo de profesionales especializados en programas de estimulación cognitiva y de esta manera puedan mejorar sus logros académicos. Para aquellos niños que ya han sido expuestos a la contaminación por un período crónico y prolongado, se recomienda hacerle estudios para evaluar el nivel de deterioro de sus capacidades cognitivas.

Bajo este contexto, el objetivo de esta investigación es evaluar la influencia de la exposición de los contaminantes químicos del aire en las capacidades cognitivas, en niños en edad escolar, a nivel de Lima Metropolitana, cuyas edades oscilan entre los 10 y 12 años.

Método

La investigación es de tipo cuantitativa, no experimental, porque se recogieron los datos tal y como se manifiestan las variables en su estado natural, en las diferentes instituciones educativas tomadas como unidad de estudio. A su vez es *ex post facto*, con un estudio de corte transversal. La población de estudio está compuesta por estudiantes de ambos géneros, de 6.º grado de educación primaria de instituciones privadas. Para ello se ha identificado que existen 1 465 escuelas privadas de educación primaria en los 8 puntos de monitoreo en Lima Metropolitana (Portal de la Unidad Estadística Educativa del MINEDU, 2023).

La muestra de estudio se determinó de forma probabilística con un total de 73 escuelas con 1 101 estudiantes (ver Anexo A). De acuerdo con las limitaciones presupuestales de la investigación, no se pudo trabajar con toda la muestra, por lo que se usó una muestra no probabilística, intencional de 350 estudiantes ($n = 350$, de 10 a 12). Seguidamente se realizó un muestreo estratificado, para evaluar el número de grupos en las escuelas por cada punto de monitoreo. Dando un total de 14 instituciones educativas, con índices socioeconómicos casi homogéneos (INEI y Censo de Población y Vivienda-ENAH0, 2019) (Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI], 2018), expuestos a una contaminación alta, media y baja, relacionadas con el tráfico vehicular y las cercanías a zonas industriales. Los indicadores socioeconómicos que se evaluaron fueron: indicador de bienestar social y el índice de la pobreza monetaria (IPM) desagregados por distritos. Este IPM presenta una desviación estándar $Dt = 2,48\%$ (ICI) y $4,02\%$ (ICS), respectivamente. Se podría decir que no existe una dispersión significativa entre los puntos de monitoreos evaluados en función al indicador económico, para poder hacer las comparaciones de las variables estudiadas (Anexo B).

Criterios de selección de colegios evaluados

- En cada punto de monitoreo, se seleccionaron aquellos colegios aledaños a la estación de monitoreo permanente instalado por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).
- Todos los colegios evaluados son instituciones privadas, que cuentan con educación primaria.
- Se realizó un análisis socioeconómico a las zonas de ubicación de los colegios evaluados, usando el mapa de pobreza monetaria (Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI], 2018).

Variables

Las capacidades cognitivas se evaluaron usando un test neuropsicológico, con baremos *on line*, de aplicación y corrección virtual como es el CARAS-R, de Tea Ediciones. Este prueba evalúa la aptitud para percibir rápida y correctamente semejanzas y diferencias en patrones de estimulación parcialmente ordenados. Mide las aptitudes perceptivas y atencionales mediante 60 ítems gráficos, constituidos por dibujos esquemáticos de caras con trazos elementales (Thurstone *et al.*, 2019). Se aplicó tanto en forma individual como colectiva en un tiempo promedio de 3 minutos.

Para los resultados de las capacidades perceptivas, se tomó en cuenta el total de aciertos obtenidos del evaluado, en tanto que, para la atención sostenida y focalizada, se consideró el rendimiento neto, teniendo en consideración el índice de aciertos netos.

Se tomó como punto de exclusión a aquellos estudiantes que tienen problemas neurológicos diagnosticados, como el TDAH o cualquier otro problema neurológico que pueda distorsionar los resultados.

La exposición de la contaminación química del aire se evaluó en función a los contaminantes principales predominantes de las escuelas evaluadas. Estas se encuentran contempladas en los ECA nacional (Anexo C) y según la OMS (CO, NO₂, SO₂, PM_{2.5}, PM₁₀), tomando en cuenta las distintas estaciones y momentos del día. Se respetaron los lineamientos emitidos por SENAMHI, al brindar información de los puntos de monitoreo ambiental.

De acuerdo con un sondeo realizado a los padres y/o tutores de los niños evaluados, el 80% promedio de ellos han asistido durante 5 años a las mismas escuelas evaluadas. El 100% de las familias estuvieron de acuerdo con las pruebas realizadas, firmando un consentimiento informado y salvaguardando la identidad, integridad y la no discriminación de los niños (Anexo D).

Análisis de datos

Para el análisis de datos, se usó los modelos de correlación no lineal para determinar la relación entre las variables, complementado con algunas otras herramientas estadísticas: como el SPSS, pruebas de Shapiro-Wilk para normalidad y la correlación de Pearson.

Resultados

A. Evaluación de capacidades cognitivas

Dentro de las capacidades cognitivas, se han evaluado las aptitudes perceptivas y atencionales. Los resultados se presentan en forma cuantitativa, expresada en puntuación percentil, y en eneatis (Anexo E), con una escala típica normalizada que va del uno al nueve. Para los resultados de las capacidades perceptivas, se tomó en cuenta el total de aciertos obtenidos del evaluado (A), en tanto que, para la atención sostenida y focalizada, se consideró el rendimiento neto del evaluado, restando al número total de aciertos la cantidad total de errores (A-E) (Thurstone *et al.*, 2019).

En la tabla 1, de acuerdo al resultado del eneatis, en Villa María del Triunfo y Puente Piedra muestran una dotación por debajo de lo normal de la capacidad de percepción y atención. Su rendimiento es bajo, con una mala capacidad visoperceptiva y atencional. En San Martín de Porres presentan una adecuada capacidad visoperceptiva y atencional, serán capaces de atender a los detalles y de percibir diferencias entre estímulos similares de forma adecuada. Breña tiene el eneatis más alto, lo cual indica que procesan en forma más rápida los detalles de los estímulos visuales y son precisos en los juicios que realizan.

TABLA 1. Medidas de dispersión de las capacidades perceptivas y atencionales

Puntos de monitoreo	Percepción			Atención		
	Media	Desviación estándar	Eneatipos	Media	Desviación estándar	Eneatipos
Villa María del Triunfo	21.9	2.0	3	19.7	0.9	3
Puente Piedra	24.2	1.5	3	23.0	2.1	3
Ate	27.0	2.4	5	26.0	3.0	5
Caraballo	27.3	7.4	5	26.7	7.6	5
Santa Anita	28.6	1.2	5	27.3	1.0	6
El Agustino	31.3	7.1	5	29.6	6.8	5
San Martín de Porres	32.4	1.9	6	31.7	2.1	6
Breña	34.5	5.6	7	32.7	5.7	7

Nota. Estadística de las capacidades perceptivas y atencionales de los colegios por cada punto de monitoreo, tomando en cuenta sus medidas de dispersión: media y la desviación estándar, así como su nivel de eneatispo.

Resultados de Capacidades Cognitivas

La tabla 2 muestra los resultados de las capacidades perceptivas y atencionales de los colegios evaluados. Para lo cual se tomó en cuenta un análisis estratificado, por tipo de colegio, zonas de diferentes grados de contaminación, tratando de evitar dispersiones, debido a factores intervinientes (como factores socioeconómicos, socioemocionales, familiares, etc.), que puedan afectar los hallazgos encontrados.

TABLA 2. Resultados de la capacidad de percepción y atención

Puntos de monitoreo	Colegios evaluados	Percepción	Atención
Villa María del Triunfo	2	21.9	19.7
Puente Piedra	1	24.2	23.0
Ate	2	27.0	26.0
Carabayllo	2	27.3	26.7
Santa Anita	2	28.6	27.3
El Agustino	1	31.3	29.6
San Martín de Porres	3	32.4	31.7
Breña	1	34.5	32.7

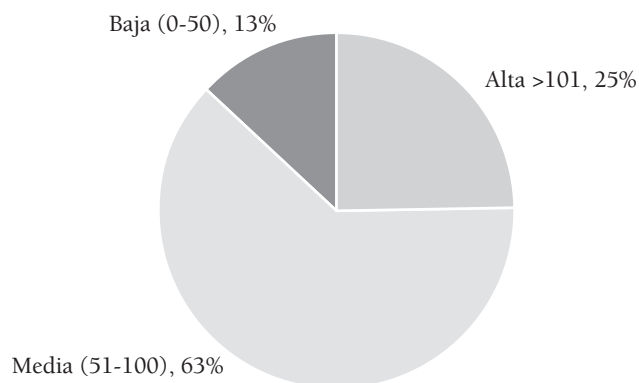
Nota: De Manual Caras-R, por Thurstone y Yela, 2019..

B. Niveles de exposición de contaminación en los colegios evaluados

Los resultados de la contaminación química del aire, según el índice nacional de calidad de aire (INCA) (Ministerio del Ambiente, 2023), arrojaron tres niveles de exposición a la contaminación: bajo, medio y alto (Figura 1).

De los cuales, el 13% de colegios evaluados estaban expuestos a un nivel de contaminación baja, entre tanto el 63 y el 25% presentaban un nivel de exposición media a alta, respectivamente.

FIGURA 1. Niveles de exposición de contaminación en colegios evaluados



C. Resultados de los niveles de exposición y las capacidades cognitivas

De acuerdo con lo que se detallan en las Figuras 2 y 3, se puede observar que a medida que el nivel de exposición a la contaminación química del aire se incrementa, esto afectará a las capacidades cognitivas de percepción y atención respectivamente.

FIGURA 2. Niveles de exposición y las capacidades perceptivas

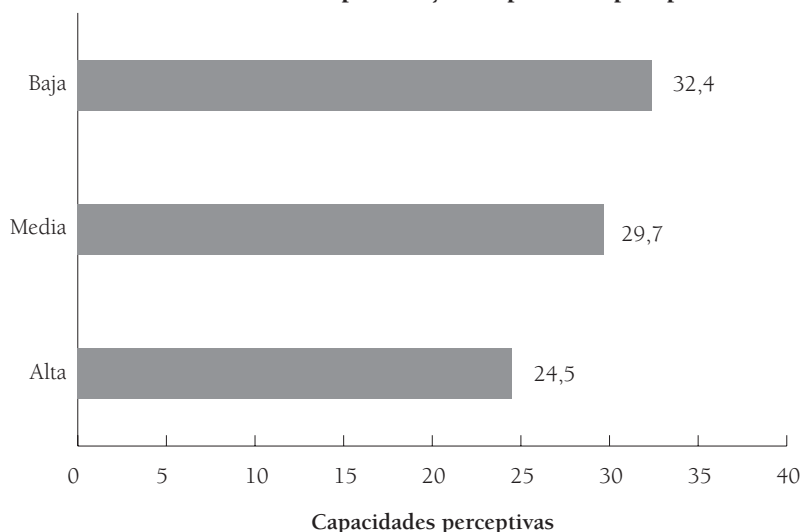
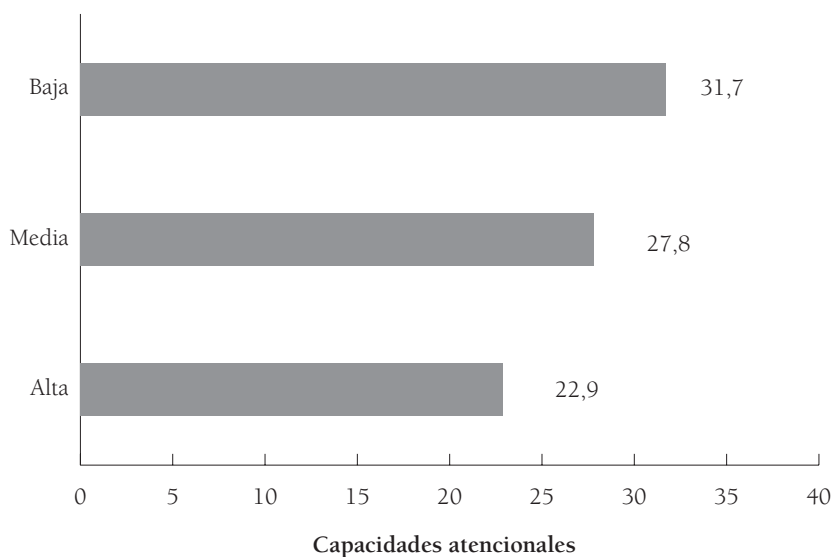


FIGURA 3. Niveles de exposición y las capacidades atencionales



C. Análisis estadístico

Correlación de las capacidades cognitivas y la exposición a la contaminación

La tabla 3 muestra al detalle los factores de correlación, de las capacidades cognitivas por exposición de los agentes contaminantes en el aire, con un intervalo de confianza del 95%.

TABLA 3. Factores de correlación de las capacidades cognitivas

Capacidades cognitivas	CO	NO ₂	SO ₂	PM _{2,5}	PM ₁₀
	H _d 1	H _d 2	H _d 3	H _d 4	H _d 5
Percepción	R = -0,70	R = 0,47	R = -0,50	R = -0,71	R = -0,98
	R ² = 0,46	R ² = 0,22	R ² = 0,24	R ² = 0,50	R ² = 0,96
Atención	R = -0,73	R = 0,40	R = -0,51	R = -0,73	R = -0,98
	R ² = 0,53	R ² = 0,16	R ² = 0,26	R ² = 0,53	R ² = 0,96

A continuación, se detallan los resultados de las correlaciones para el contaminante de mayor correlación como es el material particulado PM₁₀.

Concentración de “PM₁₀” vs. capacidades perceptivas y atencionales

FIGURA 4. Función polinómica: concentración PM₁₀ vs. percepción

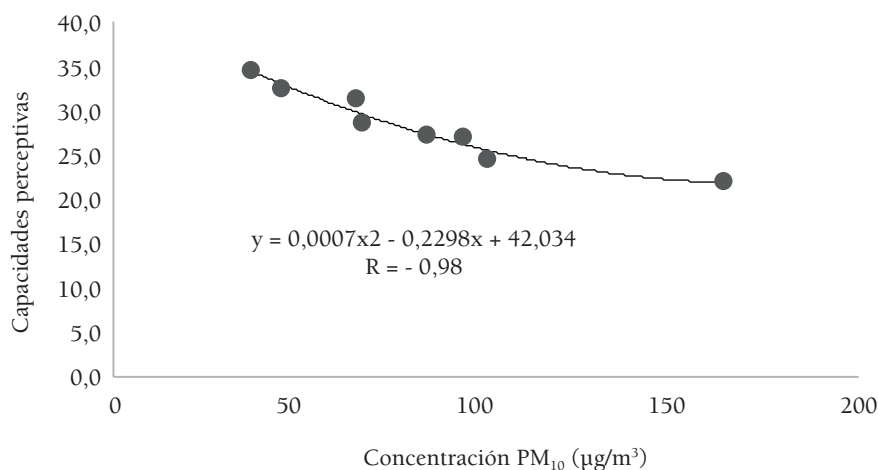
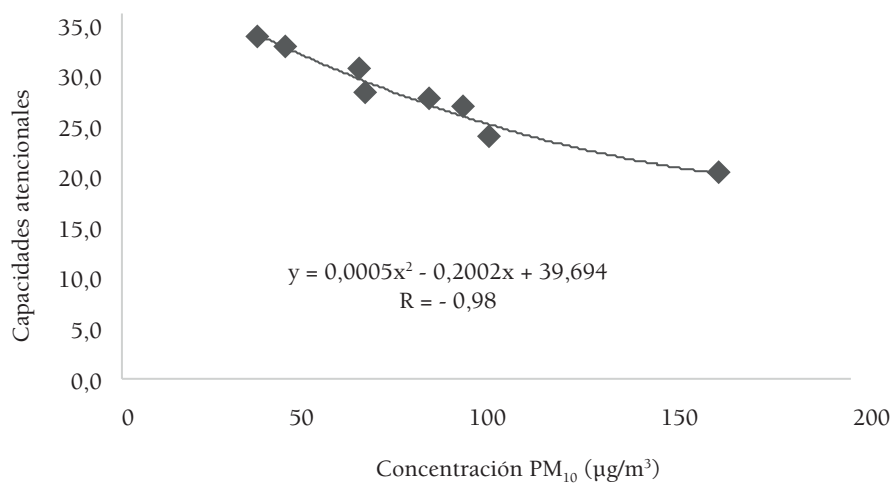


FIGURA 5. Función polinómica: concentración PM₁₀ vs. atención



La función polinómica describe mejor el comportamiento de las variables, con un factor de correlación de $R = -0,98$, lo cual indica una relación negativa muy fuerte y significativa entre las variables. Con un valor de $R^2 = 0,96$, que implica que el 96% del deterioro de la capacidad cognitiva de percepción y atención, se pueden explicar a partir de las variaciones de la concentración de PM₁₀.

En el Anexo F se muestran las correlaciones para los otros contaminantes evaluados.

Discusión

A partir de los resultados obtenidos, la concentración de CO influyó de manera negativa y moderada en las capacidades cognitivas de percepción y atención de los escolares. Este resultado fue avalado por los nuevos hallazgos en Europa occidental, respaldados por datos cuantitativos, y que revelan que la contaminación del aire, especialmente por gases de tráfico vehicular, como el CO, afecta negativamente a la salud cognitiva y respiratoria de los niños, reduciendo su rendimiento académico hasta en un 15% y aumentando su riesgo de enfermedades en la edad adulta en un 25%. La población de estudio fueron niños y adolescentes en edad escolar (de 5 a 18 años), independientemente de sexo, género, estado de salud y ubicación geográfica (SENAMHI, 2020).

La concentración de NO₂ presentó una relación débil y poco significativa para las capacidades perceptivas y atencionales, respectivamente. Este resultado contradice la investigación de Jiyeon Park *et al.*, quien planteó que la exposición prolongada a la presencia de óxido de nitrógeno (NO₂), dióxido de azufre (SO₂) y de PM₁₀ aumenta el riesgo de trastorno por déficit de atención/hiperactividad (TDAH). Sin embargo, aún se desconoce la asociación, pero se tiene el seguimiento de los ingresos hospitalarios con un diagnóstico principal de TDAH, en adolescentes entre las edades de 10 a 19 años, en 16 regiones de la República de Corea desde el 2013 al 2015. Los resultados indican que la exposición de dichos contaminantes con índice de confiabilidad del 95% pueden ser un factor de riesgo para la exacerbación de los síntomas del TDAH (Jiyeon *et al.*, 2020).

Asimismo, la exposición temprana a la contaminación del aire asociado a NO₂, PM_{2,5} e hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) se ha vinculado con trastornos del desarrollo neurológico en niños. En una revisión de treinta estudios, se evaluó la asociación entre la exposición prenatal y/o posnatal a contaminantes del aire y diversas habilidades neurodesarrolladas en niños en edad preescolar y escolar y se encontraron efectos perjudiciales en el funcionamiento intelectual global, la atención y funciones ejecutivas (Roche *et al.*, 2024).

Avalados por otros estudios, los metaanálisis respaldaron algunas asociaciones, principalmente en adultos mayores de 40 años. Se observó que un aumento de 1 µg/m³ en NO₂ se asoció con un rendimiento cognitivo reducido ($\beta = -0,02$), se relacionó significativamente con una menor fluidez verbal (-0,05 palabras) y una disminución en el rendimiento de la función ejecutiva (-0,02 puntos) (Stenson *et al.*, 2021). Tal es así que para García y Donoso “la interacción social de todos los agentes culturales que enseñan la condición primaria de eficiencia es la calidad atencional” (García y Donoso, 2023).

Los últimos estudios, asociados a la exposición especialmente de partículas finas y NO_x, están vinculados a déficits cognitivos subclínicos en niños, así como a síntomas de trastorno por déficit de atención con hiperactividad (TDAH) y problemas de conducta. Esta exposición también se ha asociado con indicadores de mala salud, como el asma y la mortalidad infantil. Aunque los mecanismos biológicos exactos no están completamente claros, se sugiere que el estrés oxidativo, la inflamación y los cambios epigenéticos pueden desempeñar un papel en el deterioro cognitivo (Wodtke *et al.*, 2022).

Además, la exposición a la contaminación del aire ha demostrado tener efectos en la estructura cerebral, como un espesor cortical reducido y una materia gris más fina, lo que puede influir en

procesos cognitivos como el procesamiento de la información, el aprendizaje y la memoria. Estos hallazgos subrayan la importancia de abordar la contaminación del aire para proteger la salud cognitiva y el desarrollo infantil, destacando la necesidad de políticas y medidas efectivas para reducir la exposición a los contaminantes atmosféricos (Wodtke *et al.*, 2022).

Los resultados mostraron que los niveles de concentración de $PM_{2.5}$ influyeron de manera negativa y moderada en las capacidades cognitivas de los escolares. Esto fue avalado por un estudio que reveló que la exposición a la contaminación del aire, por material particulado, podría afectar negativamente a la memoria. Un aumento de $1 \mu g/m^3$ en partículas con un diámetro menor a $2,5 \mu m$ ($PM_{2.5}$) disminuyó la puntuación de memoria en 0,274 (IC del 95 %: $-0,361$ a $-0,188$). El impacto de esta contaminación en la memoria fue en parte indirecto a través de la salud física más que mental. El efecto mediador de la autoevaluación de la salud fue de $-0,00667$, que representó el 2,430% del producto total (Yang *et al.*, 2023).

De la misma manera, los nuevos hallazgos concuerdan con los estudios que plantean que los niños que viven cerca de las centrales eléctricas de carbón están expuestos a la presencia de cenizas de carbón circundante, cuando se escapan como emisiones fugitivas de polvo hacia las comunidades cercanas. Las investigaciones previas sobre la contaminación por PM en el aire sugieren que la exposición puede estar asociada con un control cognitivo deficiente. El estudio fue realizado en 221 niños de 6 a 14 años, que viven cerca de las centrales eléctricas de carbón (Sears *et al.*, 2020).

Asimismo, un estudio con 2 253 participantes evaluó el impacto del contaminante del aire $PM_{2.5}$ en el deterioro cognitivo. Se encontró una relación entre $PM_{2.5}$ y el deterioro cognitivo, con un aumento del riesgo del 81% hasta cierto nivel de exposición. Sin embargo, por encima de ese nivel, no se observó un aumento adicional del riesgo. Además, la presencia de enfermedades cerebrovasculares aumentó aún más el riesgo en un 6% (IPN, 2019). Los estudios recientes sugieren un vínculo entre la exposición a largo plazo a contaminantes atmosféricos y un mayor riesgo de demencia. Sin embargo, la evidencia sobre el impacto en el deterioro cognitivo aun es ambigua, y se necesita más investigación para comprender completamente cómo la contaminación del aire puede influir en el declive cognitivo y si las enfermedades cerebrovasculares pueden mediar este efecto (Grande *et al.*, 2021).

Otros estudios nos revelan que la exposición a contaminantes como $PM_{2.5}$ y NO_x se asoció con un deterioro cognitivo en niños, especialmente en la función ejecutiva y la memoria de trabajo. Por ejemplo, un aumento de $1 \mu g/m^3$ en $PM_{2.5}$ se relacionó con una disminución significativa en fluidez verbal y rendimiento en tareas de funciones ejecutivas en niños (Faria *et al.*, 2020).

La presente investigación demostró que el nivel de concentración de PM_{10} influyó de manera negativa y significativa en las capacidades cognitivas de percepción y atención de los escolares. Esto fue corroborado por una investigación de estudios epidemiológicos, que refiere una asociación entre la exposición a contaminantes y los efectos cognitivos en la salud a lo largo de la vida. Es probable que la exposición prenatal a contaminantes del aire, como el PM, hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), NO_2 y COP, tenga un impacto cognitivo adverso, y la evidencia se ve reforzada por las investigaciones emergentes sobre neuroimagen. La mayoría de los estudios también informan de un impacto cognitivo adverso de la exposición posnatal a contaminantes del aire en niños, especialmente TRAP, COP e ISOFORONA. Estas asociaciones han sido validadas mediante

pruebas cognitivas, estudios de neuroimagen e investigaciones sobre marcadores neuroinflamatorios (Ulanova *et al.*, 2019).

Asimismo, los últimos estudios demuestran que una fuente relevante de contaminación química del aire es el tráfico motorizado que produce PM de tamaño variable, NO₂, carbono elemental y negro (CE y BC), HAP y COVT, provenientes de la combustión de combustibles fósiles. Además, los PM también se producen por el uso de frenos, por la erosión de la superficie de la carretera y por desgaste de las ruedas de los vehículos (OMS, 2020). Tal es así que los estudios de Peters *et al.*, 2015, plantearon la hipótesis de que las partículas inhaladas suspendidas en el aire pueden llegar al cerebro, ya sea a través de los pulmones o directamente a través del bulbo olfativo. Estos estudios longitudinales informaron de cierta asociación entre la exposición a partículas contaminantes del aire y el deterioro de la cognición.

Conclusiones

Este estudio avalado en los resultados de la investigación, en las revisiones bibliográfica y en las pruebas experimentales que se detallan en los mismos demuestra que hay una influencia negativa significativa acerca de la contaminación química del aire y la deficiencia en las capacidades cognitivas, para los contaminantes de CO, SO₂ y PM_{2,5} y PM₁₀, que terminan generando un problema de aprendizaje.

Los niños en edad escolar de 10 a 12 años que cursan el 6.º grado de primaria, expuestos de manera crónica y prolongada a la contaminación química del aire, experimentan menor capacidad cognitiva tanto perceptivas como atencionales, de acuerdo con la evaluación realizada a nivel de Lima Metropolitana.

Los niños que viven en zonas urbanas, expuestos al tráfico vehicular, presentan mayor exposición crónica a niveles medios y bajos de CO en aire respirable, con problemas de déficit en memoria, atención y concentración, generando un deterioro cognitivo progresivo. El CO se une a las enzimas del grupo Hem de la hemoglobina, generando un complejo que se denomina carboxihemoglobina, que dificulta el transporte de oxígeno a las células y tejidos, pudiendo ocasionar problemas a las células del cerebro, que son extremadamente sensibles a la falta de oxígeno.

Se sugiere realizar investigaciones en colegios ubicados en zonas rurales, cercanas a yacimientos mineros, ya que los estudios recientes muestran su alta exposición a contaminantes neurocognitivos, como la presencia de metales pesados como plomo, mercurio, arsénico, cadmio, etc., y material particulado.

Es importante profundizar los estudios de investigación para las partículas ultrafinas (UFP) a nivel molecular, por su alta difusividad en el ambiente y su efecto en las funciones cognitivas de memoria, atención y concentración. La presencia de PM en el aire es una fuente persistente de neuroinflamación y especies reactivas de oxígeno (ROS); procesos que son fuertemente relacionados con la patogénesis de las enfermedades del sistema nervioso central (SNC). Este último contribuye a trastornos del neurodesarrollo y son neurodegenerativos.

Para ello se recomienda realizar una investigación longitudinal de cohorte retrospectivo, tomando en cuenta 3 criterios: las fuentes de emisión (ya que permanecen hasta 2 días cerca de ellas), su grado de toxicidad (deterioro cognitivo puede causar daño constante al ADN y riesgo de desarrollar cáncer por alteración de genes, etc.) y su grado de exposición: alta, media y baja.

Se sugiere, como medida preventiva, para corroborar de manera eficaz la presencia de los contaminantes químicos en los estudiantes, que se realice un análisis de laboratorio utilizando biomarcadores de exposición y de efecto en muestras biológicas: sangre, orina, tejido o aire exhalado, etc., dependiendo de la naturaleza del contaminante. Los cuales podrían ser analizados por “espectrofotometría de absorción atómica, uno de los métodos de análisis más usados para metales” (Martínez *et al.*, 2020) y por espectrofotometría UV/VIS (Díaz, 2021) (Peters *et al.*, 2015).

Referencias bibliográficas

- Argumedos De la Ossa, C., Ramírez-Giraldo, A. F., Arroyo-Alvis, K., Marrugo-Negrete, J. y Díez, S. (2023). Neuropsychological effects and cognitive deficits associated with exposure to mercury and arsenic in children and adolescents of the Mojana region, Colombia. *Environmental Research*, 216(3). <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114467>
- Boda, E., Rigamonti, A. E. y Bollati, V. (2020). Understanding the effects of air pollution on neurogenesis and gliogenesis in the growing and adult brain. *Current Opinion in Pharmacology*, 50, 61-66. <https://doi.org/10.1016/j.coph.2019.12.003>
- Castagna, A., Mascheroni, E., Fustinoni, S. y Montirosso, R. (2022). Air pollution and neurodevelopmental skills in preschool- and school-aged children: A systematic review. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 136. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2022.104623>
- Castillo Bautista, J. C. y Sánchez-Suricaday, A. (2023). Intervenciones eficaces para la mejora de las habilidades sociales en personas con trastorno del espectro autista de alto funcionamiento: Una revisión sistemática. *Bordón, Revista de Pedagogía*, 75(3), 27-43. <https://doi.org/10.13042/Bordon.2023.95609>
- Chandra, M., Rai, C. B., Kumari, N., Sandhu, V. K., Chandra, K., Krishna, M., Kota, S. H., Anand, K. S. y Oudin, A. (2022). Contaminación del aire y deterioro cognitivo a lo largo del curso de la vida en humanos: una revisión sistemática con enfoque específico en el nivel de ingresos del estudio área. *Revista Internacional de Investigación Ambiental y Salud Pública*, 19(3), 1405. <https://doi.org/10.3390/ijerph19031405>
- Díaz Fonseca, O. (2021). *Impacto de la contaminación producto del tráfico vehicular sobre los niveles de carboxihemoglobina y la respuesta respiratoria en ciclistas urbanos de la Universidad Nacional de Colombia-sede Bogotá* (Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia). <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/79955>
- Edgerton, E. y McKechnie, J. (2023). The relationship between student's perceptions of their school environment and academic achievement. *Frontiers in Psychology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.959259>
- Faria, T., Martins, V., Correia, C., Canha, N., Diapouli, E., Manousakas, M., Eleftheriadis, K. y Almeida, S. M. (2020). Children's exposure and dose assessment to particulate matter in Lisbon. *Building and Environment*, 171. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106666>
- García Carrasco, J. y Donoso González, M. (2023). La atención y la emergencia de la experiencia cultural humana. *Bordón, Revista de Pedagogía*, 75(1), 51-64. <https://doi.org/10.13042/Bordon.2023.95530>

- Grande, G., Wu, J., Ljungman, P. L. S., Massimo, S., Tom, B. y Debra, R. (2021). Exposición a largo plazo a PM_{2.5} y deterioro cognitivo: un estudio poblacional longitudinal. *Journal of Alzheimer's Disease*, 80, 591-599. <https://doi.org/10.3233/JAD-200852>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) (2018). Informe técnico de estadísticas ambientales, mes de mayo (Informe n.º 5). Lima. https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/informe-tecnico-n05_estadisticas-ambientalesabril2018.pdf
- Instituto Politécnico Nacional (2019). Partículas contaminantes en el aire afectan capacidad cognitiva. *Neurotoxicity Research*. <https://conexion.cinvestav.mx/Publicaciones/part237culas-contaminantes-en-el-aire-afectan-capacidad-cognitiva>
- Jiyeon, P., Ji, H. S., Sung, J. C., Hwa, Y. S., Il-Ung, H., Yun-Chul, H. y Kyoung-Nam, K. (2020). Association between short-term air pollution exposure and attention-deficit/hyperactivity disorder-related hospital admissions among adolescents: A nationwide time-series study. *Environmental Pollution*, 266. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115369>
- Khan, K. M., Weigel, M., Yonts, S., Rohlman, D. y Armijos, R. (2019). Residential exposure to urban traffic is associated with the poorer neurobehavioral health of Ecuadorian schoolchildren. *NeuroToxicology*, 73, 31-39. <https://doi.org/10.1016/j.neuro.2019.02.018>
- Klausen, F. B., Amidi, A., Kjærgaard, S. K., Schlünssen, V., Ravn, P., Østergaard, K. y Sigsgaard, T. (2023). The effect of air quality on sleep and cognitive performance in school children aged 10-12 years: A double-blinded, placebo-controlled, crossover trial. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*, 36(2), 177-191. <https://doi.org/10.13075/ijomeh.1896.02032>
- Lopuszanska, U. y Samardakiewicz, M. (2020). The relationship between air pollution and cognitive functions in children and adolescents: A systematic review. *Cognitive and Behavioral Neurology: Official Journal of the Society for Behavioral and Cognitive Neurology*, 33(3), 157-178. <https://doi.org/10.1097/WNN.0000000000000235>
- Miller, S. J. y Vela, M. A. (2014). *The effects of air pollution on educational outcomes: Evidence from Chile*. LACEA. https://tendencias21.levante-emv.com/la-contaminacion-puede-reducir-el-rendimiento-academico-de-los-ninos_a38496.html
- Ministerio del Ambiente (2023). *Estándares de calidad ambiental*. Sistema Nacional de Información Ambiental. <https://www.gob.pe/766-sistema-nacional-de-informacion-ambiental-sinia>
- Nyarku, M., Buonanno, G., Ofosu, F., Jayaratne, R., Mazaheri, M. y Morawska, L. (2019). Schoolchildren's personal exposure to ultrafine particles in and near Accra, Ghana. *Environment International*, 133. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105223>
- Organización Mundial de la Salud (2020). *La OMS publica estimaciones nacionales sobre la exposición a la contaminación del aire y el impacto en la salud*. Ginebra, Suiza. <https://www.who.int>
- Parra, S., De la Fuente-Mella, H., González-Rojas, A. y Bravo, M. A. (2024). Exposure to environmental pollution in schools of Puchuncaví, Chile: Characterization of heavy metals, health risk assessment, and effects on children's academic performance. *Sustainability*, 16(6). <https://doi.org/10.3390/su16062518>
- Pereira, E. C., Piai, K. de A., Salles, F. J., Silva, A. S. da y Olympio, K. P. K. (2024). A comprehensive analysis of children's blood lead levels in Latin America and the Caribbean over the last eight years: Progress and recommendations. *Science of the Total Environment*, 928. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2024ScTEn.92872372P>
- Peters, R., Peters, J., Booth, A. y Mudway, I. (2015). Is air pollution associated with increased risk of cognitive decline? A systematic review. *Age and Ageing*, 44(5), 755-760. <https://doi.org/10.1093/ageing/afv087>

- Portal de la Unidad Estadística Educativa del MINEDU (2023). *Estadística de la calidad educativa – SCALE*. Servicios Educativos. Lima. <http://escale.minedu.gob.pe/web/inicio/padron-de-iiiee>
- Qiu, Y., Yang, F. A. y Lai, W. (2019). El impacto de la contaminación del aire interior en los resultados de salud y las capacidades cognitivas: evidencia empírica de China. *Population and Environment*, 40, 388-410. <https://doi.org/10.1007/s11111-019-00317-6>
- Roche, I. V., Ubalde-López, M., Daher, C., Nieuwenhuijsen, M. y Gascón, M. (2024). The health-related and learning performance effects of air pollution and other urban-related environmental factors on school-age children and adolescents: A scoping review of systematic reviews. *Current Environmental Health Reports*, 11(4), 300-316. <https://doi.org/10.1007/s40572-024-00431-0>
- Sears, C., Sears, L. y Zierold, K. M. (2020). Sex differences in the association between exposure to indoor particulate matter and cognitive control among children (age 6-14 years) living near coal-fired power plants. *Neurotoxicology and Teratology*, 78, 106855. <https://doi.org/10.1016/j.ntt.2020.106855>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) (2020). Informe de vigilancia de la calidad del aire en el área metropolitana de Lima y Callao. *Boletín de marzo*. https://repositorio.senamhi.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12542/688/Vigilancia-de-la-calidad-del-aire-Lima-Metropolitana-mar_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Stenson, C., Wheeler, A. J., Carver, A., Donaire-Gonzalez, D., Alvarado-Molina, M., Nieuwenhuijsen, M. y Tham, R. (2021). The impact of traffic-related air pollution on child and adolescent academic performance: A systematic review. *Environment International*, 155. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106696>
- Thompson, R., Smith, R. B., Bou Karim, Y., Shen, C., Drummond, K., Teng, C. y Toledano, M. B. (2023). Air pollution and human cognition: A systematic review and meta-analysis. *Science of the Total Environment*, 859(Part 2). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160234>
- Thurstone, L. L., Yela, M. y Caras, R. (2019). *Test de percepción de diferencias*. 13.^a ed. rev. TEA Ediciones. https://www.researchgate.net/publication/333732471_Test_de_Percepcion_de_Diferencias_CARAS_-_R_2019_Capitulo_de_Tipificacion_Peruana
- Ulanova, T. S., Nurislamova, T. V., Karnazhitskaya, T. D., Popova, N. A., Maltseva, O. A., Chinko, T. V. y Permyakova, T. S. (2019). El estudio de las concentraciones interiores de compuestos orgánicos en las aulas escolares y los niveles xenobióticos acumulados en sangre en niños. *Salud Pública y Medio Ambiente de Vida (PH&LE)*, 12, 15-19. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2019-321-12-15-19>
- Villanueva, F., Tapia, A., Lara, S. y Amo-Salas, M. (2018). Indoor and outdoor air concentrations of volatile organic compounds and NO₂ in schools of urban, industrial, and rural areas in Central-Southern Spain. *Science of the Total Environment*, 622-623, 222-235. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.274>
- Wodtke, G. T. y et al. (2022). Concentrated poverty, ambient air pollution, and child cognitive development. *Science Advances*, 8, eadd0285. <https://doi.org/10.1126/sciadv.add0285>
- Yang, Z., Qi, Y. y Song, Q. (2023). Association between exposure to air pollution and memory: The mediating effect of health. *Journal of Public Health*. <https://doi.org/10.1007/s10389-023-01875-8>
- Zhang, X., Wargocki, P., Lian, Z. y Thyregod, C. (2017). Effects of exposure to carbon dioxide and bioeffluents on perceived air quality, self-assessed acute health symptoms, and cognitive performance. *Indoor Air*, 27(1), 47-64. <https://doi.org/10.1111/ina.12284>

Zou, M.-L., Huang, H.-C., Chen, Y.-H., Jiang, C.-B., Wu, C.-D., Lung, S.-C. C., Chien, L.-C., Lo, Y.-C. y Chao, H. J. (2023). Sex-differences in the effects of indoor air pollutants and household environment on preschool child cognitive development. *Science of the Total Environment*, 860.

Anexos

ANEXO A. Muestra por grupo estratificado en cada punto de monitoreo

Puntos de monitoreo	Estudiantes de 6.º grado		Grupos a evaluar *
	Población	Muestra	
Villa María del Triunfo	166	53	2
Breña	46	15	1
Ate	226	72	2
Santa Anita	75	24	2
El Agustino	42	13	1
San Martín de Porres	276	88	3
Carabayllo	130	41	2
Puente Piedra	139	44	1
Total	1.101	350	14

Nota. Se considera que por cada grupo de 6.º grado hay entre 20-30 alumnos.

ANEXO B. Indicadores de bienestar social por punto de monitoreo

Puntos de monitoreo distrital	Población	N.º de hogares	Ingreso familiar per cápita (S/.)	Índice de desarrollo humano (IDH)	Índice pobreza monetaria (%)
Breña	75.598	25.494	1.868,7	0,8121	4,0
Santa Anita	229.835	55.636	1.571,8	0,7347	9,6
San Martín de Porres	739.416	176.653	1.554,7	0,7420	10,3
El Agustino	203.380	51.766	1.428,9	0,6971	16,7
Ate vitarte	684.922	164.985	1425,4	0,6890	17,2
Villa María del Triunfo	452.660	103.277	1.409,8	0,6800	16,8
Puente piedra	383.699	87.287	1.289,5	0,6633	22,7
Carabayllo	356.854	86.847	1.246,5	0,6499	19,2

Nota. INEI. Censo de población y vivienda, ENAHO-2019.

ANEXO C. Estándares nacionales de calidad ambiental para aire

Parámetros	µg/m ³	Periodos	Criterios de evaluación
Dióxido de azufre (SO ₂)	250	24 horas	NE más de 7 veces al año
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	200	1 hora	NE más de 24 veces al año
	100	Anual	Media aritmética anual
Monóxido de carbono (CO)	30.000	1 hora	NE más de 1 vez al año
	10.000	8 horas	Media aritmética móvil
Material particulado con diámetro menor a 10 micras (PM ₁₀)	100	24 horas	NE más de 7 veces al año
	50	Anual	Media aritmética anual
Material particulado con diámetro menor a 2,5 micras (PM _{2,5})	50	24 horas	NE más de 7 veces al año
	25	Anual	Media aritmética anual

Nota. D.S N.º 003 (2017) MINAM.

ANEXO D. Encuesta de la condición física y neurológica de los estudiantes

Punto de monitoreo	¿Su niño estudió en el colegio desde los 6 años?		¿El niño sufre o sufrió de anemia en los últimos 6 años?		¿Su niño ha sido diagnosticado con TDHA u otra enfermedad en los últimos 6 años?	
	Sí	No	Sí	No	Sí	No
Villa María del Triunfo	81%	19%	2%	98%	2%	98%
Puente Piedra	75%	25%	0%	100%	0%	100%
Ate	79%	21%	3%	97%	0%	100%
Carabayllo	71%	29%	3%	98%	5%	95%
Santa Anita	92%	8%	0%	100%	4%	96%
El Agustino	77%	23%	0%	100%	8%	92%
San Martín de Porres	86%	14%	0%	100%	0%	100%
Breña - Campo de marte	80%	20%	0%	100%	0%	100%
Total promedio	80%	20%	1%	99%	2%	98%

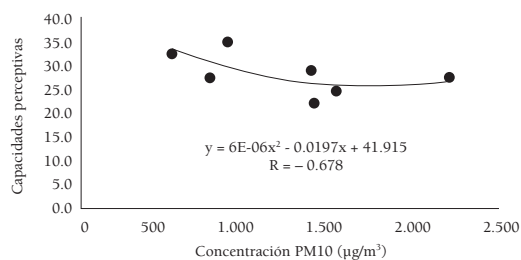
Nota. Encuesta realizada a padres y/o tutores de niños encuestados.

ANEXO E. Cantidad de colegios según su eneatispo

Nivel	Eneatispo	N.º colegios
Regular	3	3
Medio	4-5-6	10
Medio-alto	7	1

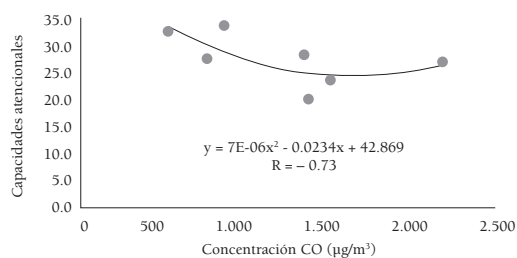
ANEXO F. Correlaciones de los contaminantes químicos del aire

FIGURA 1. Concentración CO vs. Percepción



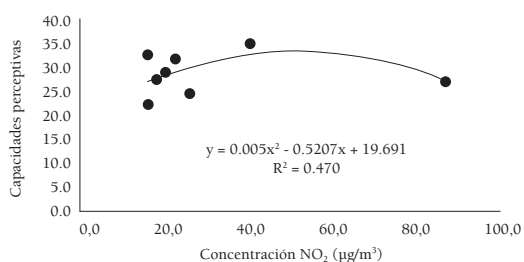
Nota. Preparado por los autores según resultados.

FIGURA 2. Concentración CO vs. Atención



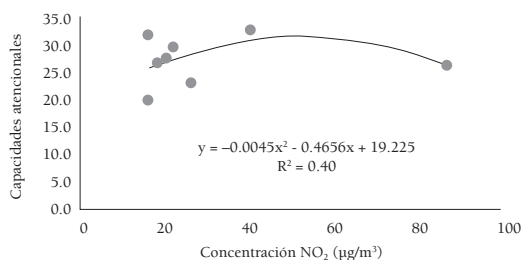
Nota. Preparado por los autores según resultados.

FIGURA 3. Concentración NO₂ vs. Percepción



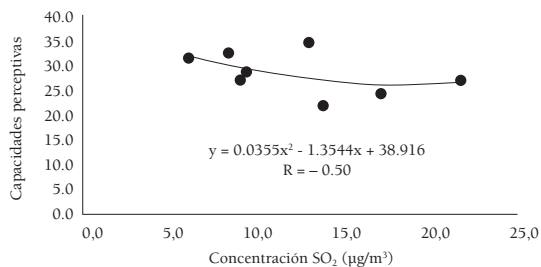
Nota. Preparado por los autores según resultados.

FIGURA 4. Concentración NO₂ vs. Atención



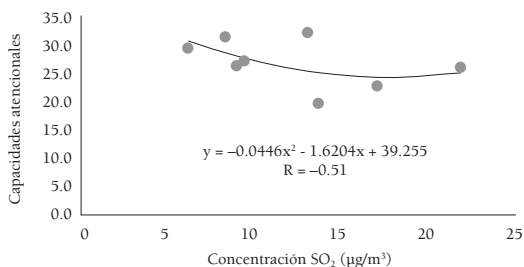
Nota. Preparado por los autores según resultados.

FIGURA 5. Concentración SO₂ vs. Percepción



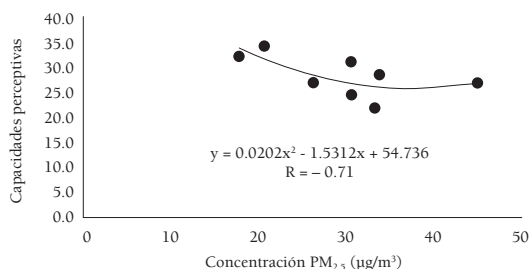
Nota. Preparado por los autores según resultados.

FIGURA 6. Concentración SO₂ vs. Atención



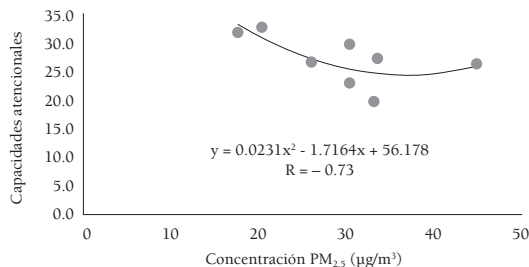
Nota. Preparado por los autores según resultados.

FIGURA 7. Concentración $PM_{2.5}$ vs. Percepción



Nota. Preparado por los autores según resultados.

FIGURA 8. Concentración $PM_{2.5}$ vs. Atención



Nota. Preparado por los autores según resultados.

Abstract

Influence between chemical air pollution and cognitive abilities of school-age children in Metropolitan Lima

INTRODUCTION. Air pollution of chemical nature is a daily problem, due to the constant chronic and prolonged exposure to external factors, such as vehicular congestion and the existence of industrial zones, exceeding in many occasions the allowed pollution index, regulated by the environmental quality standards. The purpose of the study was to show the influence of the level of chemical air pollution on the cognitive abilities of schoolchildren. The most important air pollutants were evaluated through eight monitoring stations in Metropolitan Lima. These pollutants include carbon monoxide (CO), nitrogen dioxide (NO_2), sulfur dioxide (SO_2), and particulate matter ($PM_{2.5}$ and PM_{10}). **METHODS.** The research is quantitative, non-experimental and ex post facto. The sample consisted of 350 students of both sexes, from 10 to 12 years of age; 47% of the students were girls and 53% were boys. The average age was 10.88 years and a standard deviation of 0.824, from the 6th grade of primary school in private schools, distributed in eight monitoring points in Metropolitan Lima. A neuropsychological test known as the Test of Perception of Differences: CARAS-R was applied, where perceptual and attentional abilities were evaluated, validated by national and international scales. **RESULTS.** The PM_{10} concentration presented a negative and significantly strong correlation with $R = -0.98$, with a 95% CI for perceptual and attentional capacities. CO and $PM_{2.5}$ had a moderate negative relationship with an average value of $R = -0.72$ (CI: 95%). NO_2 , presented a weak and insignificant correlation, for perception and attention, with a correlation factor $R = 0.44$. **DISCUSSION.** School children aged 10 to 12 years in the 6th grade of primary school, chronically and prolonged exposed to chemical air pollution, experience lower cognitive capacity, both perceptual and attentional.

Keywords: Cognition, Impairment, Pollutant, Perception, Attention.

Résumé

L'impact de la pollution chimique de l'air sur les capacités cognitives des enfants d'âge scolaire dans la région métropolitaine de Lima

INTRODUCTION. La pollution chimique de l'air est un problème qui se produit quotidiennement, en raison d'une exposition constante, chronique et prolongée à des facteurs externes, tels que les embouteillages et l'existence de zones industrielles, dépassant souvent le taux de pollution autorisé, réglementé par les normes de qualité environnementale. Le but de cette étude est de montrer l'impact du niveau de pollution chimique de l'air sur les capacités cognitives des écoliers. Les polluants atmosphériques les plus importants ont été évalués à partir des données des huit stations de surveillance de la région métropolitaine de Lima. Entre ces polluants se trouvent le monoxyde de carbone (CO), le dioxyde d'azote (NO₂), le dioxyde de soufre (SO₂) et les particules (PM_{2,5} et PM₁₀). **MÉTHODE.** La recherche est quantitative, non expérimentale et ex post facto. L'échantillon est composé de 350 élèves des deux sexes, âgés entre 10 et 12 ans, dont 47% de filles et 53% de garçons. L'âge moyen est de 10,88 ans avec un écart type typique de 0,824. Provenant d'écoles privées de la région métropolitaine de Lima, les élèves sont dans leur 6^{ème} année de primaire. Un test neuropsychologique connu sous le nom de Test de Perception des Différences : CARAS-R a été appliqué, afin d'évaluer les capacités de perception et d'attention, à son tour, validées par des échelles nationales et internationales. **RÉSULTATS.** La concentration de PM₁₀ présente une corrélation négative et significativement forte avec $R = -0,98$, avec un IC : 95 % pour les capacités perceptuelles et attentionnelles. Le CO et les PM_{2,5} ont une relation négative modérée avec une valeur moyenne de $R = -0,72$ (IC : 95 %). Le NO₂ présentant une corrélation faible et non significative pour la perception et l'attention, avec un facteur de corrélation $R = 0,44$. **DISCUSSION.** Les écoliers âgés d'entre 10 et 12 ans en 6^{ème} année du primaire, exposés de manière chronique et prolongée à la pollution chimique de l'air, présentent des capacités cognitives plus faibles, tant perceptuelles qu'attentionnelles.

Mots clés : *Cognition, Détérioration, Polluant, Perception, Attention.*

Perfil profesional de los autores

Miriam Bravo-Orellana (autora de contacto)

Doctora en Educación Superior por la Universidad de San Martín de Porres (2023), magíster en Ingeniería Industrial con mención en Gestión de Operaciones y Productividad (2011), ingeniero químico con experiencia laboral en Gestión de Plantas Industriales. Amplia experiencia en gestión de laboratorios, uso y manejo de equipos de laboratorio. Docente universitario de Pregrado y posgrado a nivel superior, experiencia en temas de investigación científica, con conocimientos de metodologías activas, *software* de laboratorio y manejo de TIC.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9971-6874>

Correo electrónico de contacto: miriam.bravo@upn.edu.pe

Dirección para la correspondencia: Los Naturalistas 118-Santa Felicia-La Molina-Lima (Perú).

César-Augusto Bravo-Orellana

Egresado de Doctorado en Educación, contador público profesional titulado, con estudios de Maestría en Tributación, complementados con estudios técnicos en Administración, con experiencia de trabajo en diversas áreas como contabilidad general, tesorería, almacén (inventarios físicos) y auditoría interna y externa de gestión, con capacidad en el uso de *software* contable, manejo de NIC. y TIC.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0413-487X>

Correo electrónico de contacto: cesar_bravo1@usmp.pe / cesar_uigv@hotmail.com

Ángel Ramón Velázquez Fernández

Doctor en Ciencias Económicas, Universidad de La Habana, 199. Licenciado en Economía, Universidad Humboldt, Berlín, 1982. Docente universitario de pregrado y posgrado en temas de investigación científica, diseño y evaluación curricular, economía de la educación, gestión educativa y gestión universitaria.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5293-3353>

Correo electrónico de contacto: avelasquezf@usmp.pe / avelazquez0702@gmail.com

Jhelly-Reynaluz Pérez-Núñez

Licenciada en Computación Científica (UNMSM). Magíster en Matemática Aplicada con mención en matemática computacional (UNMSM). Estudiante de Doctorado en Ingeniería de Sistemas (UNMSM). Docente de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Ganadora del premio Sofía Kovalevskaya en el año 2018.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0717-8277>

Correo electrónico de contacto: jrperez@ulima.edu.pe / Jhelly.perez@unmsm.edu.pe