



REVISTA
INVESTIGACIÓN EN SALUD
UNIVERSIDAD DE BOYACÁ

ISSN: 2389 - 7325 Versión impresa
ISSN: 2539-2018 Versión electrónica en línea

PRÓXIMA PUBLICACIÓN EN LÍNEA

El Comité Editorial de la Revista de Investigación en Salud de la Universidad de Boyacá ha aprobado para publicación este manuscrito, teniendo en cuenta los conceptos de los pares evaluadores y la calidad del proceso de revisión. Se publica esta versión en forma provisional, como avance en línea de la última versión del manuscrito vinculada al sistema de gestión, previa a la estructura y composición de la maquetación y diagramación, como elementos propios de la producción editorial de la revista.

Esta versión se puede descargar, usar, distribuir y citar como versión preliminar tal y como lo indicamos, por favor, tenga presente que esta versión y la versión final digital e impresa pueden variar.

Productividad laboral y rendimiento cognitivo de trabajadores expuestos a ambientes laborales con contaminación del aire. Revisión narrativa de la literatura

Andrés Santiago Garzón-Pedraza¹, Nicol Daniela Sierra-Durán², Deisy Lorena Salamanca-Pinto³, Juan Pablo Cruz-Delgado⁴

Autor de correspondencia: Juan Pablo Cruz Delgado. Correo electrónico:

jpcruz@uniboyaca.edu.co

¹ Universidad de Boyacá (Tunja, Colombia). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1852-864X>

² Universidad de Boyacá (Tunja, Colombia). ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-6334-8812>

³ Universidad de Boyacá (Tunja, Colombia). ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-6858-1883>

⁴ Universidad de Boyacá (Tunja, Colombia). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3529-5051>

RESUMEN

Introducción: Diversas investigaciones sobre la contaminación en entornos laborales han identificado efectos adversos en la salud mental de los trabajadores. **Objetivo:** Analizar las investigaciones que informan sobre el impacto en el rendimiento cognitivo y la productividad laboral de trabajadores expuestos a la contaminación del aire de ambientes laborales contaminados. **Materiales y métodos:** Revisión narrativa de la literatura, que analizó las investigaciones sobre el tema en diferentes bases de datos. Se implementó el método PRISMA para el proceso de selección de la información, teniendo en cuenta criterios de exclusión e inclusión, para el análisis se utilizó el *software* ATLAS.ti., como base exclusiva de la gestión de datos conceptuales. **Discusión y resultados:** Se evidenció una asociación entre las investigaciones consultadas, focos de interés analítico en común respecto a seis categorías temáticas identificadas (productividad laboral, rendimiento cognitivo, psicopatologías, contaminación del aire, agentes neurotóxicos y trabajadores expuestos), con un grado de coocurrencia investigativa y acuerdo parcial entre los resultados encontrados de la relación entre la contaminación y la productividad laboral, los procesos cognitivos y las psicopatologías. **Conclusión:** La exposición a la contaminación del aire influye de forma significativa en la salud mental y cognitiva, según sea la labor que se desarrolle. Esta exposición en el entorno laboral puede afectar el funcionamiento cognitivo y de procesos como la memoria, la capacidad de atención y el aprendizaje, así como aumentar la predisposición a trastornos psicológicos.

Palabras clave: enfermedad laboral; contaminación del aire; disfunción cognitiva; salud mental.

Work Productivity and Cognitive Performance of Workers Exposed to Work Environments with air Pollution

ABSTRACT

Introduction: Research on pollution in work environments reports adverse effects on the mental health of workers. **Objective:** To analyze research that reports on the impact on cognitive performance and work productivity of workers exposed to air pollution from contaminated work environments. **Materials and methods:** Narrative review of the literature, which analyzed research on the topic in different databases. The PRISMA method was implemented for the information selection process, taking into account exclusion and inclusion criteria. For the analysis, the ATLAS.ti software was used as the exclusive basis for conceptual data management. **Discussion and results:** An association was found between the consulted research, common analytical interests regarding six identified thematic categories (work productivity, cognitive performance, psychopathologies, air pollution, neurotoxic agents and exposed workers), with a degree of research co-occurrence and partial agreement between the results found on the relationship between pollution and work productivity, cognitive processes and psychopathologies. **Conclusion:** Exposure to air pollution has a significant impact on mental and cognitive health, depending on the work carried out. This exposure in the work environment can affect cognitive functioning and processes such as memory, attention span and learning, as well as increase the predisposition to psychological disorders.

Keywords: occupational diseases; air pollution; cognitive dysfunction; mental health.

INTRODUCCIÓN

Los trabajadores u otras personas que se ven expuestos a la contaminación del aire, a agentes neurotóxicos y especialmente a partículas finas presentan efectos negativos en su salud relacionados con enfermedades respiratorias, cardiovasculares y cáncer (1). Así mismo, la literatura sobre el tema respalda que los agentes mencionados contribuyen a alteraciones en la plasticidad cerebral, llevan a muerte neuronal, hacen que se pierda la capacidad de reparación neuronal y producen déficits neurológicos y cognitivos en los mecanismos de aprendizaje y memoria (2). Ello influye de forma directa en la salud humana, porque aumentan la incidencia de enfermedades crónico-degenerativas, los trastornos psiquiátricos o las afectaciones a la salud mental (3). Dichos impactos negativos en la cognición humana perjudican la funcionalidad normal y la productividad laboral, y ello es un tema que se ha abordado en distintas investigaciones y en diversos reportes de la literatura.

Por todo lo anterior, existe un interés creciente respecto a los vínculos entre la exposición a la contaminación del aire y una variedad de resultados negativos en la salud mental de los trabajadores. Este se ha convertido en objeto de estudio en las últimas décadas, al ser un problema de salud pública que afecta a millones de personas en todo el mundo, que menoscaba el bienestar y el desempeño laboral óptimo y que genera gastos organizacionales imprevistos (4).

Durante los procesos industriales y artesanales se liberan gran cantidad de pequeñas partículas que ingresan principalmente al cuerpo a través del tracto respiratorio (5), lo que resulta en la acumulación de metales o sustancias no deseadas en el cuerpo (6). Según estudios, los metales neurotóxicos que reportan mayor frecuencia de ingresar al cuerpo del trabajador expuesto son: aluminio, hierro, cobre, zinc, manganeso, litio, cromo, cobalto, plomo, cadmio, arsénico y mercurio (7). Estos elementos, al ser material particulado muy

fino, ingresan por medio de la circulación aérea y llegan por el bulbo olfatorio a las áreas corticales frontales del cerebro (8).

La acumulación excesiva de estos agentes en el sistema nervioso central puede predisponer a un deterioro de las funciones cognitivas (9) y ocasionar, a largo plazo, disfunción social o laboral, e incluso efectos como demencia, ya que la neurotoxicidad de muchos metales está relacionada con enfermedades neurodegenerativas y deterioro cognitivo (10). A su vez, la exposición a otros elementos en cantidades elevadas de partículas finas predispone a mayor ansiedad y depresión (11,12).

Entre los elementos más destacados se encuentra el aluminio, que se utiliza en la producción industrial y en la vida diaria. Algunos estudios encontraron que el aluminio y sus compuestos eran neurotóxicos (13). Este puede inhibir los nervios del hipocampo y causar enfermedades neurodegenerativas similares a la enfermedad de Alzheimer (14). Por otra parte, las concentraciones de humo de manganeso en la zona de respiración mostraron resultados que confirman deterioro neuroconductual y neurocognitivo en los trabajadores expuestos (15). Otros resultados mostraron que el ozono a dosis bajas se asocia con enfermedades del tracto respiratorio, lo que provoca pérdida de la plasticidad sináptica, al producirse un estado de estrés oxidativo crónico por la inhalación (16). La aparición y progresión de enfermedades neurodegenerativas se puede presentar si hay una exposición de manera prolongada (3).

En Colombia se encuentran reportes acerca de la contaminación del aire y del agua, al igual que del manejo de residuos en el entorno laboral, relacionados con actividades económicas como la minería de carbón, ferroníquel, explotación de esmeraldas, oro, entre otros (17). El sector minero e industrial en Colombia ha desempeñado un papel importante en el plano socioeconómico; sin embargo, contaminan el aire, por la producción de agentes

neurotóxicos y gases (18). Así mismo, se reporta la contaminación del agua, por partículas finas y contaminantes arrojados producidos por las industrias y procesos tanto legales como ilegales (19).

Por todo lo anterior, es importante comprender el panorama del fenómeno de investigación y explorar qué investigaciones existen acerca del impacto de la contaminación del aire en el lugar de trabajo sobre el desempeño cognitivo de los empleados. Para ello, la revisión tuvo como objetivo analizar las investigaciones que informan sobre el impacto en el rendimiento cognitivo de trabajadores expuestos a la contaminación del aire en su entorno laboral.

MATERIALES Y MÉTODOS

A través de una revisión narrativa, los cuatro autores revisaron, interpretaron y analizaron las investigaciones acerca del tema en las bases de datos Pubmed, Lilacs, SciELO, ScienceDirect, Ovid, Psycodoc, BVSalud, de las cuales se recolectó información acerca del problema planteado, utilizando descriptores en ciencias de la salud DeCS y MeSH (contaminación/pollution, cognición/cognition, rendimiento cognitivo/cognitive performance, agentes neurotóxicos/neurotoxic agents y trabajadores/workers). Con ellos se identificaron los estudios relevantes de manera sistemática en fuentes confiables para asegurar la validez de la investigación.

Los criterios de selección permitieron refinar la búsqueda de información y nominar artículos que fueran de utilidad para la investigación. Se incluyeron estudios de tipo experimental correlacionales y no experimental: exploratorios, descriptivos, transversales, estudios de caso, mixto, piloto, revisiones sistemáticas y metanálisis. Se excluyeron estudios mayores a quince años desde la fecha en que se definió la búsqueda (de agosto a octubre de

2023), otros que no abordaron rendimiento cognitivo o que se centraron en factores laborales o de salud que no estaban directamente relacionados con contaminación en el aire o exposición a agentes neurotóxicos, y estudios no disponibles de texto completo. De esta manera, se mantuvo la calidad en la revisión llevada a cabo.

Posteriormente, los cuatro autores implementaron el método PRISMA, como estrategia de selección detallada de los artículos; además, en una matriz de Excel se exploraron y eligieron artículos relevantes y coherentes con la investigación, descartando aquellos estudios que no cumplieran con los objetivos de la revisión. Estos procesos identificaron más de 2700 artículos, de los cuales se seleccionaron 61 que cumplieran todos los criterios de inclusión y con el fin investigativo. Como plan de análisis, los documentos se organizaron en una matriz de Excel que contenía: año, base de datos consultada, tipo de estudio, país, idioma, título y resumen. Posteriormente, se realizó un análisis estadístico exploratorio (tablas 1, 2 y 3).

Tabla 1. Años de publicación de los artículos seleccionados

Años	Frecuencia	Porcentaje
2009-2012	10	16,4
2013-2016	11	18,0
2017-2020	19	31,1
2021-2023	21	34,4

Tabla 2. Base de datos de publicación de los artículos seleccionados

Bases de datos	Frecuencia	Porcentaje
Ovid	19	30,6
ScienceDirect	16	25,8
Pubmed	15	24,2
BVSsalud	10	16,1
Psycodoc	1	1,6
Lilacs	1	1,6

Tabla 3. Tipo de estudio de los artículos seleccionados

Tipo de estudio	Frecuencia	Porcentaje
E. experimental, correlacional y transversal	26	42,6
Revisiones sistemáticas y metanálisis	24	39,3
E. exploratorios y descriptivos	6	9,8
E. de caso, mixto y piloto	5	8,2

Buscando establecer relación entre las investigaciones, focos de interés analítico en común, coocurrencia investigativa y acuerdo o diferencia entre los diversos resultados expuestos por los autores, se usó el *software* ATLAS.ti 23, versión libre, aunque tradicionalmente se utiliza para gestión especialmente de datos de investigaciones cualitativas que contengan narrativas originales de participantes de diferentes enfoques cualitativos, otra de sus funciones es el apoyo a investigadores para las revisiones de literatura ya que admite amplia compatibilidad de diversos tipos de archivos, por ello en la presente revisión se consideró este software como base exclusiva de la *gestión de datos conceptuales*, lo cual permitió estratégicamente determinar sobre el contenido de los estudios incluidos, la organización de las categorías temáticas principales y su coocurrencia (tabla 4).

Tabla 4. Coocurrencia de categorías temáticas

Categorías	Procesos cognitivos	Rendimiento cognitivo	Psicopatologías
Contaminación	108	67	69
Productividad laboral	290	56	34
Trabajadores expuestos	53	51	17

Estas categorías temáticas (deductivas) se determinaron con base en los términos más comunes hallados en los antecedentes de la investigación y los términos más frecuentes encontrados en el análisis exploratorio en el programa ATLAS.ti. Cada categoría contenía sus respectivos conceptos (códigos), en idioma inglés por su naturaleza de publicación, presentes a continuación:

- Rendimiento cognitivo/*cognitive performance (cognitive performance, cognitive impairment, behavioral, neuropsychological, neurodegeneration)*.
- Psicopatologías/*psychopathologies (brain damage, depression, anxiety, stress, Alzheimer's, mental health)*.
- Procesos cognitivos/*cognitive processes (central nervous system, cognitive functions, learning, cognition, memory, attention, language, processing speed)*.
- Productividad laboral/*work productivity (working, work productivity, productivity)*.
- Trabajadores expuestos/*exposed workers (occupational exposure, exposed workers, occupational risk)*.
- Contaminación/*pollution (work environment, neurotoxicity, negative effects, neurotoxic agents, particulate matter, fine particles, pesticides)*.

RESULTADOS

A los 61 artículos se les realizó un análisis estadístico inicial para establecer una comprensión del material de trabajo de la revisión. Se encontró que el año de publicación más antiguo era 2009, y el más reciente, 2023. Desde 2017, como lo afirman King et al. (4), se evidencia un interés creciente entre la exposición a la contaminación del aire y los impactos en la salud de los trabajadores. Con un pico de interés investigativo desde 2021, se encontró que el 34,4 % de las publicaciones reafirman que la temática está en crecimiento, por su importancia en el ámbito laboral, la salud pública y el bienestar ocupacional de los trabajadores, así como de la población en general, por el impacto ambiental.

La mayor cantidad de artículos se publicaron en las bases de datos Ovid, ScienceDirect y Pubmed, enfocadas en temas de la salud, de acceso abierto y en idioma inglés. Estos

resultados evidencian el impacto investigativo en otros países, donde se ha abordado esta temática por su valor e importancia, contrario a los países hispanohablantes, donde las investigaciones aún son escasas y se hacen necesarios proyectos que exploren estos temas (17).

La mayoría (42,6 %) de los 61 artículos seleccionados son estudios experimentales mayormente correlacionales, en los que se asocian las variables de exposición a agentes tóxicos en el entorno laboral con los efectos cognitivos. En esta misma línea, destacan las revisiones sistemáticas y metanálisis en la que se evalúan las investigaciones acerca del tema (39,4 %). Y otras tipologías de estudios en menor porcentaje, todos ellos detallados en la Tabla 5. Esto nos indica que la asociación entre la contaminación y el rendimiento cognitivo en el entorno laboral ha sido un tema de interés en el campo investigativo, por ser una temática reciente.

Tabla 5. Tipo de estudio de los artículos seleccionados

Tipo de Estudio		
	Frecuencia	Porcentaje
E. Exploratorios y Descriptivos	6	9,8 %
E. de Caso, Mixto y Piloto	5	8,2 %
Revisiones Sistemáticas Y Metaanálisis	24	39,3 %
E. Experimental, Correlacional y Transversal	26	42,6 %

A partir del análisis exploratorio conceptual en ATLAS.ti, los términos más frecuentes se relacionaban con *exposición, salud, cognición, trabajadores, contaminación, efectos*, entre otros, que coincidían con los términos más comunes encontrados en los antecedentes de la investigación (figura 1).

- Rendimiento cognitivo. Implica un funcionamiento adecuado, eficiente y eficaz de las capacidades y procesos cognitivos de cada individuo. Los artículos en los que se evidencian estas categorías son 1, 44-61.
- Psicopatologías. Se consideran los trastornos mentales y fenómenos psíquicos anormales de los procesos mentales del individuo. Los artículos en los que se evidencian estas categorías son: 5, 12, 62-72.
- Trabajadores expuestos. Entendidos como aquellos miembros de una estructura organizacional que se encuentran en contacto con agentes físicos, químicos o biológicos en su entorno laboral, lo que puede representar un riesgo para su salud. Los artículos en los que se evidencian estas categorías son aquellos numerados entre 21 y 32.
- Contaminación. Se refiere a la presencia de agentes físicos, químicos o biológicos en el ambiente de trabajo que pueden ser perjudiciales para la salud de los trabajadores. Los artículos en los que se evidencian estas categorías son 1, 33-43, 44-61, 62-72.

Durante el análisis de categorías temáticas desde los estudios incluidos, se evidenció una asociación de alto grado entre la productividad laboral y la contaminación con los procesos cognitivos. De estos últimos, memoria, atención, aprendizaje y velocidad de procesamiento son los procesos más referidos que se ven implicados con alteraciones en la productividad de los trabajadores. El análisis también mostró que la contaminación tiene un papel importante en el rendimiento y deterioro cognitivo, relacionado con el desarrollo o presencia de psicopatologías como estrés y depresión, que afectan la salud mental de los trabajadores expuestos. Con todo lo anterior, se afirma la relación entre los estudios seleccionados respecto a focos de interés analítico e investigativo.

DISCUSIÓN

Contaminación y rendimiento cognitivo

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud, la exposición a la contaminación del aire reduce la esperanza de vida promedio en un 66 %, y las partículas finas, que son el contaminante más dañino, pueden provocar problemas de salud física, así como un deterioro en el funcionamiento cognitivo a causa del estrés oxidativo sistémico y la inflamación. Lo anterior provoca déficits en el rendimiento cognitivo y problemas de salud mental al aumentar el riesgo de Parkinson, demencia y disminuir el rendimiento de las funciones ejecutivas (1,44-48).

Se encontró relación entre las categorías temáticas de rendimiento cognitivo y contaminación, esto quiere decir que existe una gran cantidad de literatura que establece un vínculo entre la exposición a agentes contaminantes y los efectos cognitivos (49-53). Se ha evidenciado, por ejemplo, una relación entre la exposición a partículas finas y una disminución en el aprendizaje, en la memoria de trabajo y en la orientación, ya que por cada aumento de 10 partes por billón en el ozono, empeoran la fluidez verbal y la función ejecutiva (53-55). De igual forma, otros estudios confirman la asociación entre la exposición a la contaminación en el aire y los efectos psicológicos y fisiológicos, como disminución de la calidad del sueño y de la capacidad funcional de las personas, debido al aumento de la concentración del dióxido de carbono, mercurio y arsénico en ambientes laborales (57-61).

Contaminación del aire y productividad laboral

La contaminación del aire mostró un impacto sobre el bienestar afectivo y el funcionamiento cognitivo, y ello determina una reducción en la productividad laboral del 57 %, al aumentar el índice de incapacidad laboral, debido a síntomas gripales, respiratorios y cardiacos. Así

mismo, al estar los trabajadores sometidos a concentraciones moderadas o altas de contaminación, se reducen las horas laborales, dada la contaminación del lugar de trabajo (21-23). La contaminación del aire disminuye la productividad y aumenta el presentismo (24,25). Se evidenció que existe una correlación negativa de -1 entre los cambios en la productividad laboral y el rendimiento cognitivo de los trabajadores, debido a la exposición a contaminantes en el aire. Entre mayor sea la contaminación, menor será el rendimiento cognitivo y, por lo tanto, la productividad laboral (26-32).

Procesos cognitivos y contaminación

En relación con la cognición y las sustancias neurotóxicas, se identificaron estudios que evidencian el impacto en el sistema nervioso central (33-35). En un estudio de 2018, realizado por Ma et al. (36), se comprobó que la exposición al manganeso altera las concentraciones de GABA en el cerebro, al hallar un aumento significativo en un 45 % de los sujetos analizados. Otros estudios respaldan la evidencia encontrada y refieren que partículas como el carbono negro y el dióxido de nitrógeno se encuentran entre los contaminantes del aire más importantes. Ello demuestra un vínculo entre la exposición a estos y la disminución del rendimiento cognitivo, debido a que ocasionan estrés oxidativo, neuroinflamación sistémica y daños vasculares (37-39). De igual manera, para Clifford et al. (40) fue clara la asociación entre la exposición a partículas en el aire con el lenguaje y la memoria verbal.

Asimismo, Wang et al. (41) demostraron que la exposición a elementos como el cadmio puede ocasionar deterioros persistentes en las formas de aprendizaje y memoria dependientes del hipocampo (42). Bajo esta misma conclusión, otros autores relacionan las consecuencias de la exposición al plomo en el aprendizaje y la memoria dependientes del hipocampo al

afectar la neurogénesis (43). Se evidenció que este elemento afecta la supervivencia y proliferación de células madre neurales subventriculares, al inhibir la neurogénesis en el hipocampo y el bulbo olfatorio (37).

Psicopatologías y trabajadores expuestos

En cuanto a psicopatologías y trabajadores expuestos, en el estudio de Shi et al. (12) se documentó una asociación significativa entre las partículas finas de carbono orgánico, carbono elemental, cobre, níquel y zinc con la ansiedad y la depresión. La exposición a la contaminación mostró relación con el estrés que afecta la salud mental de los trabajadores, quienes presentan preocupaciones por enfermedades laborales; además, la interacción entre síntomas del estrés generó consecuencias fisiológicas sobre la fluidez de las palabras y el procesamiento sensoriomotor y cambios en la eficiencia del sueño. Se contempla la relación con factores como el entorno laboral, las regulaciones, los horarios de trabajo y las jornadas laborales más largas, pero concluyen que el estrés puede causar respuestas emocionales, cognitivas, conductuales y físicas (62).

Por otra parte, en el estudio de Bjørklund et al. (63) con trabajadores ocupacionalmente expuestos al mercurio se informó de la presencia de ansiedad y depresión por la exposición y manejo de este material en sus jornadas laborales. Mostovenko et al. (64) asocian la neurotoxicidad inducida por nanopartículas con trastornos neurodegenerativos. Entre tanto, Shang et al. (5) indican que la exposición ocupacional al plomo está relacionada con enfermedades neurodegenerativas y que el aluminio podría predisponer incluso a la enfermedad de Alzheimer (65).

Según sean las concentraciones sanguíneas de zinc, magnesio, plomo, litio e incluso hierro, estas pueden influir en el estado de ánimo y los niveles de ansiedad, lo que respalda

la posibilidad de que una gama más amplia de nanopartículas metálicas puede generar consecuencias neuroconductuales (66,67). La exposición ocupacional a metales puede causar disfunción cognitiva, que puede ser sutil, por lo que son necesarias pruebas cognitivas al inicio de la actividad laboral y en intervalos regulares durante el periodo de trabajo (68,69).

Aunque los hallazgos de los estudios muestran efectos de la exposición a contaminantes en el lugar de trabajo, es necesario monitorear los sistemas de seguridad y salud en el trabajo, controlar los niveles de exposición a sustancias y el impacto en la salud laboral. Aunque no se evidencian efectos visibles inmediatos, a largo plazo pueden ser una preocupación grave que no solo reduce la productividad, sino que también aumenta la carga financiera para el empleador y disminuye la calidad de vida del empleado, al incrementarse el riesgo de contraer enfermedades psicológicas y fisiológicas como las ya mencionadas (70-72).

CONCLUSIONES

La contaminación del aire se ha convertido en una de las mayores amenazas para la salud pública; además, la contaminación ejerce un papel determinante en el rendimiento y deterioro cognitivo, relacionado con el desarrollo o presencia de psicopatologías que afectan la salud mental de los trabajadores expuestos. El análisis bibliográfico mostró que la exposición a la contaminación del aire influye de manera significativa en la salud mental y cognitiva, según sea la labor que se desarrolle. Esta exposición en el entorno laboral puede ocasionar inflamación y estrés oxidativo en el cerebro, que afectaría el funcionamiento cognitivo y procesos como la memoria, la capacidad de atención y el aprendizaje, así como aumentaría la predisposición a trastornos psicológicos.

Sin embargo, se necesitan más investigaciones, en especial en los países latinoamericanos, pues las pruebas aún no son concluyentes, por la mínima cantidad y calidad de estudios presentes en bases de datos científicas importantes.

Entre las limitaciones para el desarrollo de la investigación, estuvieron aquellos documentos no disponibles en texto completo y la poca disponibilidad de investigaciones realizadas en la región latinoamericana.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece principalmente a la Universidad de Boyacá, por el apoyo brindado en el ámbito académico y técnico para la realización de esta revisión.

FINANCIACIÓN

La financiación se obtuvo por parte de los autores y apoyo técnico por parte de la Universidad de Boyacá.

ASPECTOS ÉTICOS

Se respetaron los derechos de autor de las investigaciones revisadas.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores en la presente revisión no presentan conflictos de intereses.

REFERENCIAS

1. Qi H, Ji X. The labor productivity consequences of exposure to particulate matters: evidence from a Chinese National Panel Survey. *Int J Environ Res Public Health*. 2021 Dec 6;18(23):12859-9. <https://doi.org/10.3390/ijerph182312859>
2. Calderón-Garcidueñas L, Stommel EW, Ravi Philip Rajkumar, Mukherjee PS, Ayala A. Particulate air pollution and risk of neuropsychiatric outcomes: what we breathe, swallow, and put on our skin matters. *Int J Environ Res Public Health*. 2021 Nov 3;18(21):11568-8. <https://doi.org/10.3390/ijerph182111568>
3. Bello-Medina PC, Rodríguez-Martínez E, Prado-Alcalá RA, Selva Rivas-Arancibia. Contaminación por ozono, estrés oxidativo, plasticidad sináptica y neurodegeneración. *Neurología*. 2022 May 1;37(4):277-86. <https://doi.org/10.1016/j.nrl.2018.10.003>
4. King JD, Zhang S, Cohen A. Air pollution and mental health: associations, mechanisms and methods. *Curr Opin Psychiatry*. 2021 Dec 24;35(3):192-9. <https://doi.org/10.1097/YCO.0000000000000771>
5. Shang N, Zhang L, Wang S, Huang T, Wang Y, Gao X, et al. Increased aluminum and lithium and decreased zinc levels in plasma is related to cognitive impairment in workers at an aluminum factory in China: a cross-sectional study. *Ecotoxicol Environ Saf*. 2021 May;214:112110. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112110>
6. Popp W, C. Vahrenholz, Schmieding W, E. Krewet, K. Norpoth. Investigations of the frequency of DNA strand breakage and cross-linking and of sister chromatid exchange in the lymphocytes of electric welders exposed to chromium- and nickel-containing fumes. *Int Arch Occup Environ Health*. 1991 Jun 1;63(2):115-20. <https://doi.org/10.1007/BF00379074>

7. González-Domínguez R, García-Barrera T, Gómez-Ariza JL. Characterization of metal profiles in serum during the progression of Alzheimer 's disease. *Metallomics*. 2014 Jan 1;6(2):292-300. <https://doi.org/10.1039/C3MT00301A>
8. Mora A. Contaminación atmosférica y su relación con enfermedades del cerebro [internet]. 2020. Disponible en: <https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/9382819b-5140-4cba-8504-7d584c320f54/content>
9. Garza-Lombó C, Posadas Y, Quintanar L, Gonsebatt ME, Franco R. Neurotoxicity linked to dysfunctional metal ion homeostasis and xenobiotic metal exposure: redox signaling and oxidative stress. *Antioxid Redox Signal*. 2018 Jun 20;28(18):1669-703. <https://doi.org/10.1089/ars.2017.7272>
10. Mezzaroba L, Frizon Alfieri D, Colado Simão AN, Vissoci Reiche EM. The role of zinc, copper, manganese and iron in neurodegenerative diseases. *NeuroToxicology*. 2019 Sep 1;74:230-41. <https://doi.org/10.1016/j.neuro.2019.07.007>
11. Kim H, Kim HS, Kim S, Hwang J, Lee H, Park B, et al. Effects of vitamin D on associations between air pollution and mental health outcomes in Korean adults: results from the Korea National Health and Nutrition Examination Survey (KNHANES). *J Affect Dis*. 2023 Jan 1;320:390-6. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2022.09.144>
12. Shi W, Li T, Zhang Y, Sun Q, Chen C, Wang J, et al. Depression and anxiety associated with exposure to fine particulate matter constituents: a cross-sectional study in North China. *Environ Sci Technol*. 2020 Dec 4;54(24):16006-16. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c05331>

13. Xu S, Zhang Y, Ju X, Gao D, Yang H, Wang L, et al. Cross-sectional study based on occupational aluminium exposure population. *Environ Toxicol Pharmacol*. 2021 Apr 1;83:103581-1. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2020.103581>
14. Couette M, Boisse MF, Maison P, Brugieres P, Cesaro P, Chevalier X, et al. Long-term persistence of vaccine-derived aluminum hydroxide is associated with chronic cognitive dysfunction. *J Inorg Biochem*. 2009 Nov 1;103(11):1571-8. <https://doi.org/10.1016/j.jinorgbio.2009.08.005>
15. Mehrifar Y, Bahrami M, Sidabadi E, Pirami H. The effects of occupational exposure to manganese fume on neurobehavioral and neurocognitive functions: An analytical cross-sectional study among welders. *EXCLI J*. 2020 Jan 1;19:372-86. <https://doi.org/10.17179/excli2019-2042>
16. Gharibi H, Entwistle MR, Ha S, Gonzalez M, Brown P, Schweizer D, Cisneros R. Ozone pollution and asthma emergency department visits in the Central Valley, California, USA, during June to September of 2015: a time-stratified case-crossover analysis. *J Asthma*. 2018 Oct 9;56(10):1037-48. <https://doi.org/10.1080/02770903.2018.1523930>
17. Mayorga-Ruge LA. Exposición a monóxido de carbono, alteraciones clínicas y funcionamiento neuropsicológico en trabajadores de minas de carbón subterráneas en Cundinamarca, 2018 [tesis de maestría en internet]. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia; 2019 [citada 2023 oct 20]. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/75588/1022327168.2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
18. Ministerio para la Transición Ecológica de España. Monóxido de carbono [internet]. Disponible en: <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion->

ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/calidad-del-aire/salud/monoxido-carbono.html

19. Ministerio de Minas y Energía de Colombia. Política minera de Colombia: bases para la minería del futuro [internet]. Bogotá: Ministerio; 2016. Disponible en: https://www.minenergia.gov.co/documents/2423/Pol%C3%ADtica_Minera_de_Colombia_final.pdf
20. Oxford Advanced Learner's Dictionary. Definition [internet] 2023 [citado 2023 di 5]. Disponible en: <https://www.oxfordlearnersdictionaries.com/definition/english/dictionary>
21. Fadeyi MO, Tham KW, Wu WY. Impact of asthma, exposure period, and filters on human responses during exposures to ozone and its initiated chemistry products. *Indoor Air*. 2014 Oct 14;25(5):512-22. <https://doi.org/10.1111/ina.12161>
22. Maula H, Hongisto V, Naatula V, Haapakangas A, Koskela H. The effect of low ventilation rate with elevated bioeffluent concentration on work performance, perceived indoor air quality, and health symptoms. *Indoor Air*. 2017 May 2;27(6):1141-53. <https://doi.org/10.1111/ina.12387>
23. Lee SJ, Nam B, Harrison RJ, Hong O. Acute symptoms associated with chemical exposures and safe work practices among hospital and campus cleaning workers: a pilot study. *Am J Ind Med*. 2014 Sep 15;57(11):1216-26. <https://doi.org/10.1002/ajim.22376>
24. Realyvásquez-Vargas A, Maldonado-Macías AA, Cortés-Robles LJ, Blanco-Fernández J. Structural model for the effects of environmental elements on the psychological characteristics and performance of the employees of manufacturing systems. *Int J Environ Res Public Health*. 2016 Jan 5;13(1):104-4. <https://doi.org/10.3390/ijerph13010104>

25. Wolkoff P, Azuma K, Carrer P. Health, work performance, and risk of infection in office-like environments: the role of indoor temperature, air humidity, and ventilation. *Int J Hyg Environ Health*. 2021 Apr 1;233:113709-9. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2021.113709>
26. Lu JG. Air pollution: a systematic review of its psychological, economic, and social effects. *Curr Opin Psychol*. 2020 Apr 1;32:52-65. <https://doi.org/10.1016/j.copsyc.2019.06.024>
27. Andrade V, Serrazina DC, Mateus ML, Batoréu C, Aschner M, Santos. Multibiomarker approach to assess the magnitude of occupational exposure and effects induced by a mixture of metals. *Toxicol Appl Pharmacol*. 2021 Oct 1;429:115684-4. <https://doi.org/10.1016/j.taap.2021.115684>
28. Materu SF, Sway GG, Mussa BS. Workplace concentrations of particulate matter and noise levels among stone quarry and soil brick-making workers in Tanzania. *J Occup Environ Hyg*. 2023 Aug 16;20(12):1-11. <https://doi.org/10.1080/15459624.2023.2249520>
29. van der Plaat DA, Vonk JM, Terzikhan N, de Jong K, de Vries M, La Bastide-van Gemert S, et al. Occupational exposure to gases/fumes and mineral dust affect DNA methylation levels of genes regulating expression. *Hum Mol Genet*. 2019 Aug 1;28(15):2477-2485. <https://doi.org/10.1093/hmg/ddz067>
30. Thompson R, Smith RB, Karim YB, Shen C, Drummond K, Teng C, Toledano MB. Air pollution and human cognition: A systematic review and meta-analysis. *Sci Total Environ*. 2023 Feb 1;859:160234-4. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160234>
31. Allen JG, MacNaughton P, Satish U, Santanam S, Vallarino J, Spengler JD. Associations of cognitive function scores with carbon dioxide, ventilation, and volatile organic

- compound exposures in office workers: a controlled exposure study of green and conventional office environments. *Environ Health Perspect.* 2016 Jun 1;124(6):805-12. <https://doi.org/10.1289/ehp.1510037>
32. Roels H, Bowler RM, Kim Y, Birgit Claus Henn, Mergler D, Hoet P, et al. Manganese exposure and cognitive deficits: A growing concern for manganese neurotoxicity. *NeuroToxicology.* 2012 Aug 1;33(4):872-80. <https://doi.org/10.1016/j.neuro.2012.03.009>
33. Gangemi S, Miozzi E, Teodoro M, Briguglio G, Annamaria De Luca, Alibrando C, et al. Occupational exposure to pesticides as a possible risk factor for the development of chronic diseases in humans. *Mol Med Rep.* 2016 Oct 10;14(5):4475-88. <https://doi.org/10.3892/mmr.2016.5817>
34. Steckling N, Dietrich Plaß, Blüml S, Kobal AB, Krämer A, Hornberg C. Disease profile and health-related quality of life (HRQoL) using the EuroQol (EQ-5D + C) questionnaire for chronic metallic mercury vapor intoxication. *Health Qual Life Outcomes.* 2015 Dec 1;13(1). <https://doi.org/10.1186/s12955-015-0388-0>
35. Bhat AR, Wani MA, Kirmani AR. Brain cancer and pesticide relationship in orchard farmers of Kashmir. *Indian J Occup Environ Med.* 2010 Jan 1;14(3):78-8. <https://doi.org/10.4103/0019-5278.75694>
36. Ma RE, Ward EJ, Yeh CL, Snyder S, Long Z, Gokalp Yavuz F, et al. Thalamic GABA levels and occupational manganese neurotoxicity: Association with exposure levels and brain MRI. *NeuroToxicology.* 2018 Jan 1;64:30-42. <https://doi.org/10.1016/j.neuro.2017.08.013>
37. Zare Sakhvidi MJ, Yang J, Lequy E, Chen J, de Hoogh K, Letellier N, et al. Outdoor air pollution exposure and cognitive performance: findings from the enrolment phase of the

- CONSTANCES cohort. *Lancet Planet Health*. 2022 Mar 1;6(3):e219-29. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(22\)00001-8](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(22)00001-8)
38. Iversen IB, Mohr MS, Vestergaard JM, Stokholm ZA, Kolstad HA. Associations of occupational styrene exposure with risk of encephalopathy and unspecified dementia: a long-term follow-up study of workers in the reinforced plastics industry. *Am J Epidemiol*. 2020 Aug 17;190(2):288-94. <https://doi.org/10.1093/aje/kwaa170>
39. Alarcón R, Giménez B, Hernández AF, López-Villén A, Parrón T, García-González J, et al. Occupational exposure to pesticides as a potential risk factor for epilepsy. *NeuroToxicology*. 2023 May 1;96:166-73. <https://doi.org/10.1016/j.neuro.2023.04.012>
40. Clifford A, Lang L, Chen R, Anstey KJ, Seaton A. Exposure to air pollution and cognitive functioning across the life course: a systematic literature review. *Environ Res*. 2016 May 1;147:383-98. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2016.01.018>
41. Wang H, Zhang L, Abel GM, Storm DR, Xia Z. Cadmium exposure impairs cognition and olfactory memory in male c57BL/6 mice. *Toxicol Sci*. 2017 Sep 25;161(1):87-102. <https://doi.org/10.1093/toxsci/kfx202>
42. Selinheimo S, Vuokko A, Sainio M, Karvala K, Suojalehto H, Järnefelt H, et al. Comparing cognitive-behavioural psychotherapy and psychoeducation for non-specific symptoms associated with indoor air: a randomised control trial protocol. *BMJ Open*. 2016 Jun 1;6(6):e011003-3. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2015-011003>
43. Thomson R, Parry G. Neuropathies associated with excessive exposure to lead. *Muscle Nerve*. 2006 Jan 1;33(6):732-41. <https://doi.org/10.1002/mus.20510>
44. Fu M, Wang H, Ma Y, Du J, Niu Q, Nie J. Urinary polycyclic aromatic hydrocarbon metabolites, plasma p-tau231 and mild cognitive impairment in coke oven workers.

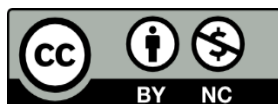
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135911>

45. Tanner CM, G. Webster Ross, Jewell SA, Hauser RA, Jankovic J, Factor SA, et al. Occupation and risk of Parkinsonism. *Arch Neurol.* 2009 Sep 1;66(9). <https://doi.org/10.1001/archneurol.2009.195>
46. Golding J, Jones R, Preece A, Bruné MN, Pronczuk J. Choice of environmental components for a longitudinal birth cohort study. *Paediatr Perinat Epidemiol.* 2009 May 19;23(s1):134-53. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3016.2009.01014.x>
47. Lin YH, Guo Y, Chen P, Liu JH, Wu H, Hwang YH. Associations between petrol-station density and manganese and lead in the cord blood of newborns living in Taiwan. *Environ Res.* 2011 Feb 1;111(2):260-5. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2011.01.001>
48. Zhao Y, Qu Y, Ou Y, Zhang Y, Tan L, Yu J. Environmental factors and risks of cognitive impairment and dementia: a systematic review and meta-analysis. *Ageing Res Rev.* 2021 Dec 1;72:101504-4. <https://doi.org/10.1016/j.arr.2021.101504>
49. Letellier N, Gutiérrez L, Pilorget C, Artaud F, Descatha A, Ozguler A, et al. Association between occupational exposure to formaldehyde and cognitive impairment. *Neurology.* 2021 Dec 22;98(6):e633-40. <https://doi.org/10.1212/WNL.00000000000013146>
50. Anger WK, Farahat FM, Lein PJ, Lasarev MR, Olson JR, Farahat TM, et al. Magnitude of behavioral deficits varies with job-related chlorpyrifos exposure levels among Egyptian pesticide workers. *NeuroToxicology.* 2020 Mar 1;77:216-30. <https://doi.org/10.1016/j.neuro.2020.01.012>
51. Shehab M, Pope FD. Effects of short-term exposure to particulate matter air pollution on cognitive performance. *Sci Rep.* 2019 Jun 3;9(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-44561-0>

52. Menezes-Filho JA, Bouchard M, Sarcinelli PdeN, Moreira JC. Manganese exposure and the neuropsychological effect on children and adolescents: a review. *Rev Panam Salud Pública*. 2009 Dec 1;26(6):541-8. <https://doi.org/10.1590/S1020-49892009001200010>
53. Deschamps F, Lesage FX, Chobriat J, Py N, Novella J. Exposure risk assessment in an aluminium salvage plant. *J Occup Environ Med*. 2009 Nov 1;51(11):1267-74. <https://doi.org/10.1097/JOM.0b013e3181bc2d35>
54. Llango SD, Gonzalez K, Gallo LC, Allison M, Cai J, Isasi CR, et al. Long-term exposure to ambient air pollution and cognitive function among Hispanic/Latino adults in San Diego, California. *J Alzheimer's Dis*. 2021 Feb 16;79(4):1489-96. <https://doi.org/10.3233/JAD-200766>
55. Bagepally BS, Balachandar R, Kalahasthi R, Tripathi R, Haridoss M. Association between aluminium exposure and cognitive functions: A systematic review and meta-analysis. *Chemosphere*. 2021 Apr 1;268:128831-1. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128831>
56. Suresh S, Singh S A, Vellapandian C. Bisphenol A exposure links to exacerbation of memory and cognitive impairment: A systematic review of the literature. *Neurosci Biobehav Rev*. 2022 Dec 1;143:104939-9. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2022.104939>
57. Wlazło Ł, Nowakowicz-Dębek B, Chmielowiec-Korzeniowska A, Maksym P, Pawlak H, Kapica J. Assessment of the level of organic dust and mould spores in the work environment of baker. *Indian J Occup Environ Med*. 2020 Sep-Dec;24(3):137-41. https://doi.org/10.4103/ijocem.IJOEM_51_19

58. Quandt SA, Jones BT, Talton JW, Whalley LE, Galván L, Vallejos QM, et al. Heavy metals exposures among Mexican farmworkers in eastern North Carolina. *Environ Res.* 2010 Jan 1;110(1):83-8. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2009.09.007>
59. Moreton F, Brenner R, Lazarus J, Davenport R. Clinicopathological case: progressive cognitive decline with gait disturbance in a steel worker. *Pract Neurol.* 2017 Apr;17(2):159-66. <https://doi.org/10.1136/practneurol-2016-001527>
60. Vehviläinen T, Lindholm H, Rintamäki H, Pääkkönen R, Hirvonen A, Niemi O, et al. High indoor CO₂ concentrations in an office environment increases the transcutaneous CO₂ level and sleepiness during cognitive work. *J Occup Environ Hyg.* 2016 Jan 2;13(1):19-29. <https://doi.org/10.1080/15459624.2015.1076160> 48
61. Ovadje L, Calys-Tagoe B, Clarke E, Basu N. Registration status, mercury exposure biomarkers, and neuropsychological assessment of artisanal and small-scale gold miners (ASGM) from the Western Region of Ghana. *Environ Res.* 2021 Oct 1;201:111639-9. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111639>
62. Fimm B, Sturm W, Esser A, Schettgen T, Willmes K, Lang J, et al. Neuropsychological effects of occupational exposure to polychlorinated biphenyls. *NeuroToxicology.* 2017 Dec 1;63:106-19. <https://doi.org/10.1016/j.neuro.2017.09.011>
63. Bjørklund G, Hilt B, Dadar M, Lindh U, Aaseth J. Neurotoxic effects of mercury exposure in dental personnel. *Basic Clin Pharmacol Toxicol.* 2019 Mar 12;124(5):568-74. <https://doi.org/10.1111/bcpt.13199>
64. Mostovenko E, Canal CG, Cho MJ, Sharma K, Erdely A, Campen MJ, et al. Indirect mediators of systemic health outcomes following nanoparticle inhalation exposure. *Pharmacol Therapeut.* 2022 Jul 1;235:108120-0. <https://doi.org/10.1016/j.pharmthera.2022.108120>

65. Inan-Eroglu E, Ayaz A. Is aluminum exposure a risk factor for neurological disorders? *J Res Med Sci*. 2018 Jun 6;23:51. https://doi.org/10.4103/jrms.JRMS_921_17
66. Cipriani G, Danti S, Carlesi C, Borin G. Danger in the air: air pollution and cognitive dysfunction. *Am J Alzheimers Dis Other Demen*. 2018 Sep;33(6):333-341. <https://doi.org/10.1177/1533317518777859>
67. Bevan R, Ashdown L, McGough D, Huici-Montagud A, Levy LS. Setting evidence-based occupational exposure limits for manganese. *NeuroToxicology*. 2017 Jan 1;58:238-48. <https://doi.org/10.1016/j.neuro.2016.08.005>
68. Mohammed RS, Ibrahim WH, Sabry D, El-Jaafary SI. Occupational metals exposure and cognitive performance among foundry workers using tau protein as a biomarker. *NeuroToxicology*. 2020 Jan 1;76:10-6. <https://doi.org/10.1016/j.neuro.2019.09.017>
69. Dobbs M. Toxic encephalopathy. *Sem Neurol*. 2011 Apr 1;31(02):184-93. <https://doi.org/10.1055/s-0031-1277989>
70. Gaikwad AS, Mahmood R, Ravichandran B, Panjakumar Karunamoorthy, Venugopal Dhananjayan. Mitochondrial DNA copy number and cytogenetic damage among fuel filling station attendants. *Environ Mol Mutagen*. 2020 Sep 2;61(8):820-9. <https://doi.org/10.1002/em.22404>
71. Labaki WW, Rosenberg SR. Chronic obstructive pulmonary disease. *Ann Int Med*. 2020 Aug 4;173(3):ITC17-32. <https://doi.org/10.7326/AITC202008040>
72. Oddone E, Scaburri A, Bai E, Modonesi C, Stracci F, Marchionna G, Crosignani P, Imbriani M. Occupational brain cancer risks in Umbria (Italy), with a particular focus on steel foundry workers. *G Ital Med Lav Ergon*. 2014 Apr-Jun;36(2):111-7.



Esta obra está bajo una licencia internacional
[Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)