





Exposición temprana al flúor y desarrollo cognitivo: una revisión de la evidencia actual

Early exposure to fluoride and cognitive development: a review of current evidence

Nardy Omarys Pineda-Ramírez^{1,2}, Sofía Daniela Legarda-Cisneros¹, Nathalie Steffy Ponce-Reyes¹, Miryan Margarita Grijalva-Palacios¹

¹Universidad Regional Autónoma de los Andes, Ecuador.

Recibido: 17 de febrero de 2026

Aprobado: 2 de abril de 2026



RESUMEN

El flúor es ampliamente utilizado en odontología por sus beneficios en la prevención de caries dentales; sin embargo, su exposición excesiva, especialmente durante el embarazo y la infancia, ha generado preocupación debido a posibles efectos neurotóxicos y su asociación con la fluorosis dental y la disminución del coeficiente intelectual. Por la importancia del tema se propone analizar la evidencia científica actual sobre la relación entre la exposición al flúor en etapas tempranas de la vida y su impacto en el desarrollo cognitivo infantil. Para ello se realizó una búsqueda sistemática en bases de datos académicas (PubMed, ScienceDirect, Scielo, Google Scholar, Springer y BioMed) utilizando palabras clave como “flúor”, “coeficiente intelectual”, “desarrollo cognitivo” y “neurotoxicidad”. Se seleccionaron estudios relevantes publicados en los últimos años, con enfoque en investigaciones epidemiológicas, clínicas y experimentales que examinaran la asociación entre niveles de exposición al flúor y cambios en el coeficiente intelectual. La evidencia sugiere que la exposición prenatal e infantil a concentraciones elevadas de flúor puede afectar negativamente el neurodesarrollo, posiblemente mediante mecanismos como el estrés oxidativo, la disfunción colinérgica y la alteración de la función tiroidea materna. Estudios reportan reducciones promedio de hasta 4,68 puntos en el CI en niños expuestos a altos niveles de flúor. Algunos trabajos no hallaron asociaciones significativas en contextos de exposición baja y aunque el flúor sigue siendo clave en la prevención de caries, es urgente reevaluar los niveles seguros de exposición, considerando el neurodesarrollo infantil. Se requieren investigaciones más rigurosas que controlen factores confusores y exploren mecanismos biológicos, para equilibrar sus beneficios odontológicos con la protección de la salud cognitiva.

Palabras clave: COGNICIÓN; EFECTOS TARDÍOS DE LA EXPOSICIÓN PRENATAL; FLÚOR; FLUOROSIS DENTAL; INTELIGENCIA.

Descriptor: FLUOROSIS DENTAL; EFECTOS TARDÍOS DE LA EXPOSICIÓN PRENATAL; COGNICIÓN.

SUMMARY

Fluoride is widely used in dentistry for its benefits in preventing dental caries; however, excessive exposure, especially during pregnancy and childhood, has raised concerns due to potential neurotoxic effects and its association with dental fluorosis and decreased IQ. Due to the importance of the topic, it is proposed to analyze the current scientific evidence on the relationship between fluoride exposure in early life and its impact on children's cognitive development. For this purpose, it was carried out a systematic search was conducted in academic databases (PubMed, ScienceDirect, SciELO, Springer, and BioMed) using keywords such as "fluoride," "IQ," "cognitive development," and "neurotoxicity." Relevant studies published in recent years were selected, focusing on epidemiological, clinical, and experimental research that examined the association between fluoride exposure levels and changes in IQ. The evidence suggests that prenatal and childhood exposure to high concentrations of fluoride can negatively affect neurodevelopment, possibly through mechanisms such as oxidative stress, cholinergic dysfunction, and altered maternal thyroid function. Studies report average reductions of up to 4.68 points in IQ scores in children exposed to high levels of fluoride. Some studies found no significant associations in low-exposure settings and while fluoride remains key in preventing cavities, it is urgent to reassess safe exposure levels, considering children's neurodevelopment. More rigorous research is needed to control for confounding factors and explore biological mechanisms, in order to balance its dental benefits with the protection of cognitive health.

Keywords: COGNITION; LATE EFFECTS OF PRENATAL EXPOSURE; FLUORIDE; DENTAL FLUOROSIS; INTELLIGENCE.

Descriptors: FLUOROSIS, DENTAL; PRENATAL EXPOSURE DELAYED EFFECTS; COGNITION.

Translated into English by:
Julio César Salazar Ramírez



Citar como: Pineda-Ramírez NO, Legarda-Cisneros SD, Ponce-Reyes NS, Figueredo-Pérez MC, Grijalva-Palacios MM. Exposición temprana al flúor y desarrollo cognitivo: una revisión de la evidencia actual. Revista Electrónica Dr. Zoilo E. Marinello Vidaurreta. 2026; 51(Esp): e3983. Disponible en: <https://revzoilomarinellosld.sld.cu/index.php/zmv/article/view/3983>.

INTRODUCCIÓN

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), la fluorosis se ha convertido en un importante problema de salud en todo el mundo, ya que más de 260 millones de personas beben agua de fuentes con altas concentraciones de flúor.

Aunque este se ha utilizado de manera extensiva en la prevención de caries dentales, hay preocupaciones crecientes sobre sus posibles efectos adversos en la salud, especialmente en el desarrollo cognitivo de los niños. Diversos estudios han sugerido que la exposición de altas concentraciones al flúor durante la infancia podría estar asociada con una disminución en el coeficiente intelectual. ⁽¹⁾

La exposición a altas concentraciones de flúor, conocida como fluorosis dental, es una alteración que afecta la coloración y estructura del esmalte dentario, y cuya existencia fue documentada en 1888 en ciertas zonas de México. Esta asociación entre el flúor y la fluorosis fue posteriormente confirmada en 1931 por investigadores en Estados Unidos y África, quienes observaron que el consumo de agua con diferentes concentraciones de flúor producía distintos grados de severidad de la enfermedad. La relación inversa entre la frecuencia de caries y el contenido de fluoruros en el agua potable, se establece a partir de los mecanismos de prevención, que se basan en la ingesta de flúor durante la formación de los dientes (en los primeros 15 años de vida) o por vía tópica después de su erupción.

Actualmente, se observa una tendencia mundial a la disminución de la caries dental, atribuida a factores como el aumento del nivel socioeconómico, ⁽²⁾ la presencia de programas de fluoración de las aguas y la sal, la exposición a diversas fuentes de flúor (pastas, geles, barnices), cambios en los hábitos de consumo de carbohidratos, la difusión masiva del uso de cepillos y cremas dentales con flúor, programas preventivos escolares y la transformación de la práctica odontológica, de curativa a preventiva.

Los niños que han estado expuestos al flúor durante tiempo prolongado y en altas concentraciones desde una edad temprana, muestran un rendimiento cognitivo inferior en comparación con aquellos que no estuvieron expuestos o tuvieron niveles de exposición más bajos. ⁽³⁾ Este hallazgo ha generado inquietud, ya que el flúor no solo podría causar fluorosis al rebasar la dosis requerida y con ello afectar la salud dental, sino también influir en el funcionamiento del cerebro. En particular, se ha observado que el flúor altera mecanismos bioquímicos clave, como la neurotransmisión colinérgica, un proceso esencial para el aprendizaje y la memoria, lo que podría explicar el deterioro en las funciones cognitivas. ⁽⁴⁾

Las Directrices de la OMS establecen un límite considerado aceptable para el flúor en agua potable, que oscila entre 0,7 y 1,0 mg.L⁻¹. Sin embargo, en algunos países, la concentración de fluoruro puede alcanzar hasta 20 mg.L⁻¹.

Los estudios epidemiológicos muestran que las poblaciones en áreas con altos niveles de fluoruro tienen vulnerabilidad neurológica o intelectual. ⁽⁵⁾ Por ejemplo en Sri Lanka, los recursos de agua subterránea que superan la directriz de calidad del agua de la Organización Mundial de la Salud (OMS) de 1,5 mg de fluoruro (F)/L están muy extendidos en la zona seca y se denominan zonas de «fluorosis endémica».

La fluorosis ha prevalecido durante mucho tiempo entre la población de la mayor parte de la zona seca, como resultado del consumo de agua subterránea natural que contiene un alto nivel de fluoruro. Casi el 80 % de los niños que viven en las zonas secas de Sri Lanka se ven afectados por formas leves a graves de fluorosis clínicamente detectable en sus dientes; la mayoría presenta formas más leves. ⁽⁶⁾

Estudios recientes sugieren que la relación entre la fluorosis dental y el rendimiento cognitivo podría estar influida por la acumulación de flúor en el sistema nervioso central y sus efectos en procesos neuronales. ⁽⁷⁾ Investigaciones en animales han mostrado que el flúor puede llegar al cerebro atravesando la barrera hematoencefálica, acumulándose en áreas críticas como el hipocampo, que es clave para la memoria y el aprendizaje. Esta acumulación puede generar desequilibrios químicos, como el estrés oxidativo, que daña las células cerebrales y afecta su funcionamiento. ⁽⁸⁾ Sin embargo, aún queda mucho por explorar sobre cómo estos procesos ocurren en humanos y cómo la exposición prolongada al flúor podría influir en el desarrollo cognitivo en diferentes contextos.

La conciencia de los problemas ambientales relacionados con el flúor en el agua potable ha aumentado, en particular debido a su asociación con anomalías esqueléticas y fluorosis dental. Sin embargo, las complicaciones y los riesgos asociados con los altos niveles de flúor superan con creces sus beneficios, que incluyen posibles complicaciones óseas, riesgo de cáncer, daño renal, disfunción tiroidea y deterioro cerebral.

Las concentraciones de flúor en las fuentes de agua potable (como pozos y manantiales) pueden variar significativamente según el tipo de fuente, la estación y los procesos de tratamiento. La población de países como Argelia, Turquía, China, Jordania, India e Irán ha sufrido fluorosis debido al consumo de sustancias ricas en flúor. ⁽⁹⁾

La principal fuente de fluoruro que ingresa al sistema hidrológico es la actividad volcánica, que contribuye a la formación de fisuras y a la meteorización química de las rocas volcánicas. La absorción de fluoruro depende en gran medida del pH.

El movimiento del fluoruro en los suelos es complejo, y existen factores clave que influyen en sus niveles en las soluciones del suelo, entre ellos los minerales arcillosos, las concentraciones de calcio y fósforo, el pH y los óxidos de hierro (Fe) y aluminio (Al). ⁽¹⁰⁾ De ahí que se trace como objetivo: analizar la evidencia científica actual sobre la relación entre la exposición

al flúor en etapas tempranas de la vida y su impacto en el desarrollo cognitivo infantil.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se recopiló información de fuentes científicas entre los meses de abril a julio del 2025 que investigan la asociación entre el consumo o exposición al fluoruro y su impacto en el desarrollo cognitivo, específicamente en el coeficiente intelectual. Este estudio se enmarca dentro de una revisión narrativa, analizando la evidencia científica disponible sobre el tema. Se utilizaron herramientas tecnológicas para la búsqueda y revisión de literatura en bases de datos académicas como PubMed, Springer, ScienceDirect, BioMed, Scielo, Google Scholar, las palabras clave utilizadas en la búsqueda incluyeron: "flúor", "coeficiente intelectual", "desarrollo cognitivo", y "neurotoxicidad". La selección de los artículos se basó en criterios de relevancia, calidad metodológica y rigor científico, centrándose en estudios que examinan la relación entre niveles de exposición al fluoruro y cambios en el coeficiente intelectual, tanto en contextos clínicos como epidemiológicos.

Criterios de inclusión utilizados en la búsqueda:

- Artículos publicados entre 2010 y 2025.
- Bibliografía básica referente a la fluorosis.
- Estudios que analicen específicamente la relación entre la exposición al fluoruro y el coeficiente intelectual.
- Investigaciones con acceso a texto completo.

DESARROLLO

La alteración del sistema colinérgico se ha propuesto como uno de los mecanismos por los cuales el flúor podría afectar la cognición.⁽¹⁰⁾ Este sistema, fundamental para la comunicación entre las neuronas, puede verse comprometido por el exceso de flúor, alterando el equilibrio bioquímico del cerebro. Sin embargo, aunque existe evidencia de que la exposición alta al flúor puede tener efectos perjudiciales, aún se sabe poco sobre el impacto de exposiciones bajas o moderadas en la función cognitiva y cómo esto se relaciona con la prevalencia de fluorosis dental (FD) y la disminución del coeficiente intelectual. La evidencia revisada sugiere que el fluoruro en concentraciones elevadas podría interferir en procesos de neurodesarrollo clave posiblemente mediante la alteración del metabolismo celular o el estrés oxidativo, sin embargo, este efecto podría variar considerablemente lo que podría atribuirse a diferentes metodologías contextos geográficos y niveles basales de exposición al flúor.

En los últimos años, se ha generado un creciente interés en la relación entre la exposición al fluoruro y sus efectos sobre el desarrollo cognitivo en la infancia. Estudios epidemiológicos han evidenciado que la exposición prolongada y excesiva al fluoruro, principalmente a través del agua potable, puede tener efectos adversos en las habilidades cognitivas de los niños, especialmente en el coeficiente intelectual (CI). Los hallazgos de Saeed, Malik y Kamal, señalan que, la exposición al fluoruro en

áreas endémicas está asociada con una disminución significativa en el CI de los niños, aunque los mecanismos exactos de la neurotoxicidad aún no se comprenden completamente.⁽¹¹⁾

Este resultado se complementa con lo reportado por Yani et al, quienes observaron que los niños que vivían en zonas con altos niveles de fluoruro presentaban un CI más bajo en comparación con aquellos que residían en áreas con bajo contenido de fluoruro.⁽¹²⁾ Asimismo, Wang et al relacionaron la exposición al fluoruro con disfunción del sistema colinérgico, lo que podría explicar parcialmente los efectos neurotóxicos observados. En su estudio, encontraron que la exposición a bajos y moderados niveles de fluoruro se asociaba con alteraciones en la actividad de la acetilcolinesterasa (AChE) y la acetilcolina (ACh), moléculas fundamentales para el correcto funcionamiento cerebral.⁽¹³⁾

Otros estudios como los de Xu et al y Ren et al refuerzan la hipótesis de que la exposición prenatal al fluoruro puede atravesar la placenta y afectar negativamente el desarrollo cerebral del embrión, lo que se traduce en puntuaciones de CI más bajas en la infancia.^(14,7) Además, Grandjean advierte que la neurotoxicidad por fluoruro es dependiente de la dosis, sugiriendo que los niveles actualmente aceptados podrían no ser completamente seguros para el desarrollo cognitivo infantil.⁽¹⁵⁾

Por otra parte, investigaciones como las de Kampouri et al y Farmus et al, destacan la importancia de las ventanas críticas de exposición. Los resultados sugieren que la exposición al fluoruro durante el embarazo y la infancia temprana tiene un impacto más significativo en el CI, especialmente en la función cognitiva no verbal y el riesgo de trastornos como el TDAH.^(16,17) Sin embargo, es importante señalar que algunos estudios, como el de Kampouri et al, no encontraron una asociación significativa entre la exposición al fluoruro y el CI en niños de 4 años, lo que resalta la necesidad de continuar con investigaciones que evalúen factores como la dosis, la duración y la susceptibilidad individual.

La evidencia actual sugiere que la exposición al flúor, especialmente durante el embarazo y la infancia, puede tener efectos negativos en el desarrollo neurológico y cognitivo de los niños. Por ejemplo, un estudio realizado por Malin y Till, encontró que la fluoración del agua está relacionada con una mayor prevalencia de trastorno de déficit de atención e hiperactividad (TDAH) en niños y adolescentes.⁽¹⁸⁾ Además, Veneri et al, reportaron que los niños que estaban expuestos a altos niveles de flúor en el agua potable presentaron una disminución promedio de 4,68 puntos en su coeficiente intelectual (CI).⁽¹⁹⁾ Esta tendencia es respaldada por Grandjean, quien revisó múltiples estudios epidemiológicos y concluyeron que la mayoría de ellos sugieren una conexión entre la exposición al flúor y una reducción en la inteligencia.⁽¹²⁾

Tuomivaara et al, observaron cambios en el proteoma del cordón umbilical que están relacionados con el estrés oxidativo y la inflamación,

lo que podría explicar algunos de los daños neurológicos observados. ⁽²⁰⁾ De manera similar, Ren et al, encontraron que la fluorosis crónica puede afectar la estructura del cerebro, provocando déficits en la memoria, el aprendizaje y la concentración, así como síntomas de ansiedad y depresión. ⁽⁷⁾

La interacción entre el flúor y el yodo ha sido destacada en la revisión de Griebel-Thompson et al, quienes advierten que el flúor podría interferir con la función tiroidea de las madres, lo que podría agravar los efectos de la deficiencia de yodo en el desarrollo fetal. ⁽²¹⁾ Krzeczowski et al también aportan más evidencia al encontrar que la exposición prenatal al flúor se asocia con una menor agudeza visual y disfunción del sistema nervioso autónomo en los infantes. ⁽²²⁾

No todos los estudios coinciden; Kumar et al, realizaron un meta-análisis y no encontraron diferencias significativas en el CI infantil entre niños expuestos a niveles de fluoración comunitaria y aquellos con menor exposición. Este estudio se centra en niveles de exposición más bajos, lo que sugiere que el impacto neurotóxico del flúor podría depender de la dosis. ⁽²³⁾ Fathima et ⁽²⁴⁾ al exploraron el papel de la proteína SIRT1 en la neurotoxicidad inducida por el flúor y otros metales pesados, sugiriendo que activar esta proteína podría ser una estrategia terapéutica prometedora para mitigar los efectos negativos en el neurodesarrollo.

El coeficiente intelectual (CI) es un rasgo complejo que resulta de la interacción dinámica entre factores genéticos y ambientales a lo largo del desarrollo humano. Estudios han demostrado que la heredabilidad del CI aumenta progresivamente con la edad —desde aproximadamente 0,30 en la primera infancia hasta superar 0,70 en la adolescencia—, mientras que la influencia del ambiente compartido (por ejemplo, el entorno familiar común) disminuye notablemente después de los 7 años. ⁽²⁵⁾ No obstante, el ambiente no compartido —incluyendo experiencias individuales, exposiciones tóxicas, nutrición diferencial y factores estocásticos— contribuye de forma predominante al cambio cognitivo entre edades. Importante también es el hallazgo de que la etiología del CI elevado (percentil 85 o más) no difiere cualitativamente de la del CI en la distribución general, lo que sugiere que los mismos factores genéticos subyacen al extremo superior del espectro cognitivo.

Estos datos respaldan la hipótesis de que el alto rendimiento intelectual representa una extensión cuantitativa, no cualitativa, de las influencias que modelan la inteligencia en la población general.

Paralelamente, diversos factores ambientales actúan durante ventanas críticas del neurodesarrollo —especialmente en la vida fetal y los primeros años de vida—, modulando la expresión genética y la función cerebral. Entre estos se incluyen la nutrición materna (deficiencias de folato, hierro o yodo), exposición a tóxicos como el flúor, alcohol, metales pesados o contaminantes atmosféricos, estrés psicosocial, infecciones perinatales y trastornos

psiquiátricos maternos. ⁽²⁶⁾ Estas exposiciones pueden desencadenar mecanismos comunes como la inflamación materna, el estrés oxidativo y alteraciones epigenéticas —por ejemplo, metilación del ADN— que afectan la neurogénesis, la mielinización y la conectividad sináptica. ⁽²⁷⁾

En particular, el flúor en dosis elevadas ha sido asociado con disfunción del sistema colinérgico, reducción del factor neurotrófico derivado del cerebro (BDNF) y alteraciones en el hipocampo, estructura clave para el aprendizaje y la memoria. ⁽¹¹⁾ Aunque los efectos del flúor a niveles comunitarios aún generan debate, la evidencia sugiere que su impacto neurotóxico es dependiente de la dosis, la ventana de exposición y la susceptibilidad individual, subrayando la necesidad de políticas preventivas que protejan al neurodesarrollo sin comprometer los beneficios odontológicos.

En odontología, el fluoruro de sodio (NaF) ha sido ampliamente utilizado para la prevención y tratamiento de lesiones iniciales de caries dental. Además, se ha promovido la utilización de diferentes estrategias para su administración a nivel comunitario (agua fluorada, sal de cocina, leche y enjuague bucal fluorado al 0,2 %), individual (uso de crema dental con fluoruro de sodio y enjuague bucal fluorado al 0,05 %), profesional (fluoruro de sodio en gel, barniz o espuma) y en combinaciones entre estas estrategias. Si bien en la literatura se ha demostrado que es altamente efectivo para la prevención de la caries dental también se han reportado efectos adversos relacionados con toxicidad aguda o crónica, principalmente cuando se administra por vía sistémica. ⁽²⁸⁾

La fluorosis dental se considera una afección relacionada a toxicidad crónica causada por la ingesta excesiva de múltiples fuentes sistémicas de flúor, la cual genera una hipomineralización de la estructura dental. Clínicamente, en estadios iniciales, las lesiones de fluorosis dental se observan como manchas blancas moteadas o lineales dispuestas a lo largo de la superficie del diente afectado en patrón homólogo.

En estadios avanzados se pueden presentar pérdidas estructurales, esmalte irregular y manchas café; dicho esmalte puede ser más susceptible a las lesiones de caries dental y a la incorporación de pigmentos extrínsecos. La fluorosis dental puede afectar ambas denticiones, siendo más prevalente y severa en la dentición permanente. Además, la complejidad para realizar el diagnóstico diferencial con otros defectos del esmalte y las características morfológicas de dicha estructura en la dentición decidua pueden dificultar y confundir su diagnóstico con otras lesiones. ⁽²⁹⁾

Considerando que la presencia de fluorosis dental un indicador de riesgo, será necesario e importante para el acompañamiento integral del paciente. Igualmente, es indispensable controlar las fuentes sistémicas de fluoruro y, consecuentemente, controlar y verificar las consecuencias sobre el coeficiente intelectual.

El desarrollo cognitivo, entendido como el conjunto de procesos mentales que permiten adquirir, organizar y adaptar la información a lo largo de la vida, transcurre por etapas secuenciales — sensoriomotriz, preoperacional, de operaciones concretas y formales— en las que la maduración neurológica, la interacción con el entorno y la experiencia social moldean progresivamente las capacidades intelectuales. De ahí que la exposición temprana al flúor, puede interferir en esos procesos fundamentales durante las ventanas críticas del neurodesarrollo, especialmente en la infancia.

Dado que el coeficiente intelectual (CI) es una medida estandarizada del rendimiento cognitivo, su disminución en contextos de exposición elevada al flúor sugiere una alteración en los mecanismos que sustentan el aprendizaje, la memoria y la atención, funciones que emergen precisamente durante las etapas tempranas. Así, una posible neurotoxicidad del flúor dentro del marco evolutivo del desarrollo cognitivo humano, subraya la vulnerabilidad del cerebro infantil en formación ⁽³⁰⁾ y la importancia de preservar condiciones ambientales seguras para el despliegue óptimo de las capacidades intelectuales.


REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:


1. Taylor K, Eftim SE, Sibrizzi CA, Blain RB, Magnuson K, Hartman PA; et al. Fluoride Exposure and Children's IQ Scores: A Systematic Review and Meta-Analysis. *JAMA pediatrics* [revista en internet]. 2025 [citado 1 de abril 2025]; 179(3): 282–292. Disponible en: <https://doi.org/10.1001/jamapediatrics.2024.5542>.
2. Sosa Rosales M. Capítulo 1. Epidemiología de las enfermedades bucales más frecuentes. En: González Naya G, Montero del Castillo ME. *Estomatología General Integral* [en línea]. La Habana: ECIMED; 2013 [citado 1 de abril 2025]. p. 9-11. Disponible en: <http://www.bvscuba.sld.cu/libro/estomatologia-general-integral/>.
3. Tang H, Wang M, Li G, Wang M, Luo Ch, Zhou G; et al. Association between dental fluorosis prevalence and inflammation levels in school-aged children with low-to-moderate fluoride exposure. *Environmental Pollution* [revista en internet]. 2023 [citado 1 de abril 2025]; 320. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120995>.
4. Milla Hernandez MN. Efecto del flúor sobre la atención y la memoria en escolares con fluorosis dental en la comunidad de San José de la Peñuela, del municipio de Colón [tesis]. Querétaro: Universidad autónoma de Querétaro; 2020 [citado 1 de abril 2025]. Disponible en: <https://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/1748>.
5. Ronconi Dondossola E, Damin Pacheco S, Casagrande Visentin S, Viel Mendes N, Leila Baldin S, Teza Bernardo H; et al. Prolonged fluoride exposure alters neurotransmission and oxidative stress in the zebrafish brain. *NeuroToxicology* [revista en internet]. 2022 [citado 1 de abril 2025]; 89: 92-98. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35065950/>.
6. Ranasinghe N, Kruger E, Tennant M. Spatial distribution of groundwater fluoride levels and population at risk for dental caries and dental fluorosis in Sri Lanka. *Internat Dental J.* [revista en internet]. 2019 [citado 1 de abril 2025]; 69(4): 295-302. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/idj.12476>.
7. Pardo Ruiz JE Torres Tabares F. Asociación entre la presencia de fluorosis dental y los niveles de coeficiente intelectual de niños escolares de Cartagena [tesis] Colombia: Universidad de Cartagena; 2015 [citado 1 de abril 2025]. Disponible en: <https://repositorio.unicartagena.edu.co/server/api/core/bitstreams/6c3c9efd-4a29-41f0-a2c1-f8041d7d9206/content>.
8. Ren C, Li HH, Zhang CY, Song XC. Effects of chronic fluorosis on the brain. *Ecotoxicol Environ Saf.* [revista en internet]. 2022 [citado 4 de abril 2025]; 244. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.114021>.
9. Asgari G, Salari M, Seidmohammadi A, Akbari Adergani B, Mahvi AH, Kamari N; et al. Investigation and risk assessment of fluoride concentration in drinking water, soil and food products in Hamedan rural areas. *Sci. Rep.* [revista en internet]. 2025 [citado 4 de abril 2025]; 15(1): 18458. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s41598-025-99462-2>.
10. Ramos-Martínez IE, Rodríguez MC, Cerbón M, Ramos-Martínez JC, Ramos-Martínez EG. Papel del reflejo antiinflamatorio colinérgico en las enfermedades del sistema nervioso central. *Int. J. Mol. Sci.* [revista en internet]. 2021 [citado 4 de abril 2025]; 22(24): 13427. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/ijms222413427>.
11. Saeed M, Malik RN, Kamal A. Fluorosis y desarrollo cognitivo entre niños (6-14 años de edad) en las áreas endémicas del mundo: una revisión y análisis crítico. *Environ Sci Pollut Res* [revista en internet]. 2020 [citado 4 de abril 2025]; 27(3): 2566–2579. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06938-6>.
12. Yani SI, Seweng A, Mallongi A, Nur R, Abdullah MT, Salmah U, et al. The influence of fluoride in drinking water on the incidence of fluorosis and intelligence of elementary school students in Palu City. *Gac. Sanit.* [revista en internet]. 2021 [citado 4 de abril 2025]; 35(Sup.2): S159–S163. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.gaceta.2021.07.010>.


13. Wang S, Zhao Q, Li G, Wang M, Liu H, Yu X, et al. The cholinergic system, intelligence, and dental fluorosis in school-aged children with low-to-moderate fluoride exposure. *Ecotoxicology and environmental safety* [revista en internet]. 2021 [citado 4 de abril 2025]; 228: 112959. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112959>.
14. Xu K, An N, Huang H, Duan L, Ma J, Ding J, et al. Fluoride exposure and intelligence in school-age children: evidence from different windows of exposure susceptibility. *BMC public health* [revista en internet]. 2020 [citado 4 de abril 2025]; 20(1): 1657. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s12889-020-09765-4>.
15. Grandjean P. Developmental fluoride neurotoxicity: an updated review. *Environ Health* [revista en internet]. 2019 [citado 4 de abril 2025]; 18. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s12940-019-0551-x>.
16. Kampouri M, Zander E, Gustin K, Sandin A, Barman M, Sandberg AS, et al. Associations of gestational and childhood exposure to lead, cadmium, and fluoride with cognitive abilities, behavior, and social communication at 4 years of age: NICE birth cohort study. *Environ Res.* [revista en internet]. 2024 [citado 4 de abril 2025]; 15 (263): 120123. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.120123>.
17. Farmus L, Till C, Green R, Hornung R, Martinez Mier EA, Ayotte P, et al. Critical windows of fluoride neurotoxicity in Canadian children. *Environ Res.* [en línea]. 2021 [citado 4 de abril 2025]; 200: 111315. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34051202/>.
18. Malin AJ, Till C. Exposure to fluoridated water and attention deficit hyperactivity disorder prevalence among children and adolescents in the United States: an ecological association. *Environmental Health.* [en línea]. 2015 [citado 5 de abril 2025]; 14(1): 17. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25890329/>.
19. Veneri F, Vinceti M, Generali L, Giannone ME, Mazzoleni E, Birnbaum LS, et al. Fluoride exposure and cognitive neurodevelopment: Systematic review and dose-response meta-analysis. *Environ Res.* [revista en internet]. 2023 [citado 5 de abril 2025]; 221: 115239. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.115239>.
20. Tuomivaara ST, Fisher SJ, Hall SC, Goin DE, Mattis AN, Den Besten PK. Cambios relacionados con el flúor en el proteoma de la sangre del cordón umbilical fetal; un estudio piloto. *Salud Ambiental* [revista en internet]. 2024 [citado 21 de mayo 2025]; 23; 23(1): 66. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s12940-024-01102-1>
21. Griebel-Thompson AK, Sands S, Chollet-Hinton L, Christifano D, Sullivan DK, Hull H, et al. A Scoping Review of Iodine and Fluoride in Pregnancy in Relation to Maternal Thyroid Function and Offspring Neurodevelopment. *Adv. Nutr.* [revista en internet]. 2023 [citado 21 de mayo 2025]; 14(2): 317-38. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.advnut.2023.01.003>.
22. Krzeczkowski JE, Hall M, Saint-Amour D, Oulhote Y, McGuckin T, Goodman C V, et al. Prenatal fluoride exposure, offspring visual acuity and autonomic nervous system function in 6-month-old infants. *Environ Int.* [revista en internet]. 2024 [citado 6 de agosto 2025]; 183: 108336. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2023.108336>.
23. Kumar JV, Moss ME, Liu H, Fisher-Owens S. Association between low fluoride exposure and children's intelligence: a meta-analysis relevant to community water fluoridation. *Public Health* [revista en internet]. 2023 [citado 6 de agosto 2025]; 219: 73-84. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.puhe.2023.03.011>.
24. Fathima A, Bagang N, Kumar N, Dastidar SG, Shenoy S. Role of SIRT1 in Potentially Toxic Trace Elements (Lead, Fluoride, Aluminum and Cadmium) Associated Neurodevelopmental Toxicity. *Biol. Trace Elem. Res.* [revista en internet]. 2024 [citado 6 de agosto 2025]; 202(12): 5395-412. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s12011-024-04116-5>.
25. Brant AM, Haberstick BC, Corley RP, Wadsworth SJ, DeFries JC, Hewitt JK. The developmental etiology of high IQ. *Behav Genet.* [revista en internet]. 2009 [citado 29 de junio 2025]; 39(4): 393-405. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10519-009-9268-x>.
26. Arroyo HA. Factores ambientales que influyen en los trastornos del desarrollo. *Medicina (B Aires).* [revista en internet]. 2022 [citado 7 de julio 2025]; 82(Supl.III): 35-39. Disponible en: <https://www.medicinabuenaaires.com/revistas/vol82-22/s3/35s3.pdf>.
27. Georgieff MK, Tran PV, Carlson ES. Atypical fetal development: fetal alcohol syndrome, nutritional deprivation, teratogens, and risk for neurodevelopmental disorders and psychopathology. *Dev. Psychopathol.* [revista en internet]. 2018 [citado 11 de julio 2025]; 30(3): 1063-1086. Disponible en: <https://doi.org/10.1017/s0954579418000500>.
28. Pérez Puello S, Henao Rodelo M, Montes Batista J, Palacio Quintero C, Herrera Barrios F. Fluorosis dental en la primera infancia: estado del arte. *Salud Uninorte* [revista en internet]. 2023 [citado 11 de julio 2025]; 39(1): 228-240. Disponible en: <https://doi.org/10.14482/sun.39.01.612.863>.

29. Pedroso Ramos L, Arias Zarragoitia D, González Rodríguez S, Reyes Suárez VO. Defectos del esmalte dentario en niños con dentición temporal. Medimay [revista en internet]. 2021 [citado: 15 de julio 2025]; 28(1): 29-37. Disponible en: <https://medimay.sld.cu/index.php/rcmh/article/view/1935>.
30. Ramírez-Trejo DA. Teoría del Desarrollo Cognitivo. prepa1 [revista en internet]. 2021 [citado 19 de julio 2025]; 4(7). Disponible en: <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/prepa1/article/view/7287>.

Contribución de los autores

Nardy Omarys Pineda-Ramírez |  <https://orcid.org/0009-0001-1632-4523>. Participó en: conceptualización e ideas; investigación; curación de datos; análisis formal; redacción del borrador original; redacción revisión.

Sofía Daniela Legarda-Cisneros |  <https://orcid.org/0009-0002-9874-7980>. Participó en: metodología, análisis, redacción del borrador.

Nathalie Steffy Ponce-Reyes |  <https://orcid.org/0000-0002-0496-2202>. Participó en: metodología, análisis formal; visualización; supervisión.

Miryan Margarita Grijalva-Palacios |  <https://orcid.org/0000-0003-4627-1650>. Participó en: metodología, análisis formal; visualización; supervisión.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

Este artículo está bajo una [licencia de Creative Commons Reconocimiento 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), los lectores pueden realizar copias y distribución de los contenidos por cualquier medio, siempre que se mantenga el reconocimiento de sus autores.