

Dulce Rosario Alberto Aguilar y Berenice Rojas Moranchel



La degradación ambiental de la Cuenca del Alto Atoyac y su impacto en la salud

La contaminación ambiental es un problema mundial con efectos negativos en la salud. Enfermedades crónicas no transmisibles –como la enfermedad renal crónica y la leucemia aguda– se han incrementado en los últimos años, lo que plantea interrogantes sobre el impacto macroambiental en el surgimiento de estas enfermedades. En México existen diversas regiones consideradas zonas de emergencia ambiental, entre ellas la Cuenca del Alto Atoyac. A continuación, se presenta un panorama general del contexto ambiental de esta zona y de sus implicaciones para la salud de los habitantes.

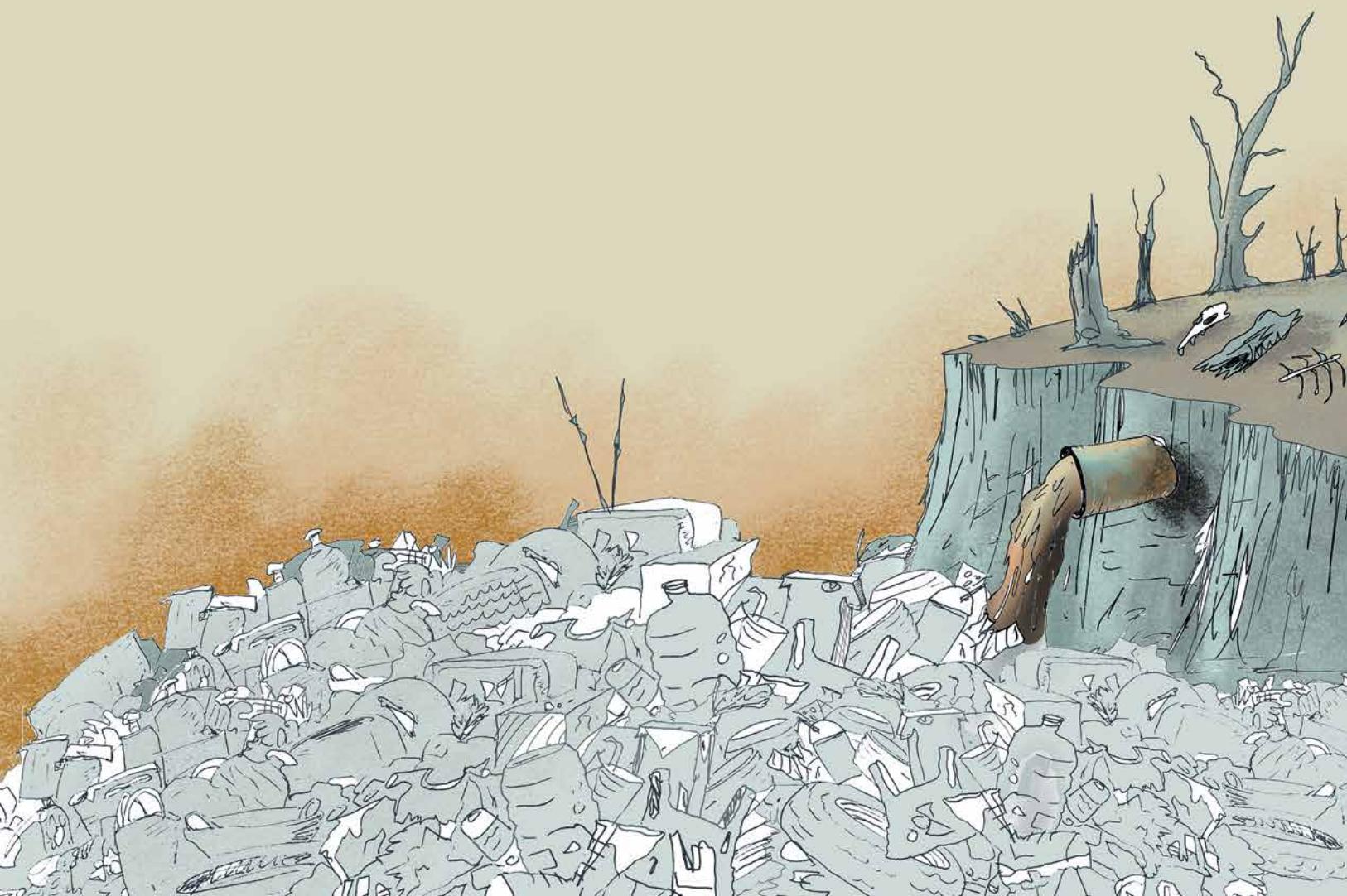
El entorno ambiental y los desafíos para la sostenibilidad

El entorno ambiental permite el desarrollo de las distintas formas de vida y sus interacciones; está constituido por organismos vivos, recursos naturales (agua, suelo, minerales) e incluso edificios y construcciones hechas por el hombre. El progreso de la sociedad ha traído consigo desarrollo, tecnología, conocimiento y mejoras en muchos ámbitos; sin embargo, también ha generado daños al medio ambiente, como la disminución de los recursos, el aumento en la cantidad de desechos, la pérdida de biodiversidad y la contaminación a escalas gigantescas. Esto altera el funcionamiento del entorno, afecta el desarrollo y la habitabilidad y provoca problemas de primer orden que repercuten en nuestra salud.

El medio ambiente es altamente sensible a estímulos externos; los cambios negativos más comunes se manifiestan en alteraciones físicas y químicas de los recursos disponibles (agua, suelo, aire, etc.), en un deterioro estructural constante, en la pérdida de flora y fauna y en cambios en los ecosistemas que conforman el entorno.

■ Contaminación y pérdida de biodiversidad

■ La contaminación ambiental se refiere a la presencia de agentes químicos o físicos extraños dentro de un entorno y el nivel de daño que ellos generan en los seres



vivos que allí habitan depende de su tipo, concentración y lugar donde se presentan. Esta contaminación tiene su origen principalmente en la actividad humana (materia orgánica, industria, ganadería, agricultura, entre otras). Por ejemplo, la industria textil libera sustancias como blanqueadores, colorantes, impermeabilizantes, suavizantes y fijadores; la industria química desecha compuestos comunes como cloro, pinturas, fármacos y detergentes, y la industria del papel puede verter peróxido de hidrógeno y compuestos derivados del azufre utilizados en la obtención de la pulpa de la madera.

En el aspecto biológico, la contaminación representa un riesgo en la calidad del entorno para animales, plantas y microorganismos, en tanto que para el sector económico representa una gran inversión monetaria el tratar de reparar los daños ya ocasionados.

Entre los principales tipos de contaminación podemos encontrar la del agua y del suelo, ambas caracterizadas por la incorporación de agentes externos –químicos, productos residuales, desechos industriales y residuos domésticos–. Muchas de las sustancias contaminantes distribuidas en suelos y aguas pueden incorporarse en plantas y animales de consumo humano y, por tanto, entrar a nuestro cuerpo, lo que termina repercutiendo en la salud. Por ello, la salud ambiental debe ser uno de los principales temas a abordar para prevenir un impacto negativo en las sociedades modernas. La Organización

Mundial de la Salud (oms) menciona que la salud ambiental requiere un clima estable donde el medio natural sea preservado y un adecuado acceso a servicios de agua, saneamiento e higiene (oms, 2025); pero, además, requiere protección ante la posible exposición a contaminantes ambientales o incluso a radiación dañina.

Algunos ejemplos de contaminantes ambientales son los compuestos químicos como nitratos, los plaguicidas, el plomo y otros metales pesados, los agentes microbiológicos patógenos, los desechos de la agricultura como biocidas fitosanitarios, los cov (compuestos orgánicos volátiles), las sustancias PBT (persistentes bioacumulables y tóxicas), presentes en ambientes terrestres y acuáticos.

Impacto ambiental en la salud humana

 El aumento de las actividades humanas y la generación de desechos ha llevado a la acumulación de sustancias tóxicas y contaminantes en el país, incrementando significativamente los riesgos ambientales y de salud, tanto a corto como a largo plazo. La relación entre contaminantes y enfermedades se ha estudiado muy de cerca. Hoy se sabe que diversas sustancias –incluidos los metales pesados–, pueden generar problemas de salud de distintos niveles de gravedad, dependiendo de la cantidad de las sustancias tóxicas incorporadas en el cuerpo. Los efectos pueden variar desde daños leves hasta graves, e incluso llevar a la muerte. El tipo de exposición es crucial en el resultado: la *exposición aguda* ocurre en períodos cortos, pero con dosis altas de la sustancia tóxica; mientras que la *exposición crónica* se presenta en períodos más largos y con dosis menos concentradas. La exposición aguda suele provocar efectos inmediatos, como irritación respiratoria o dérmica, náuseas, vómito, cefalea, alteraciones neurológicas e incluso toxicidad severa en órganos específicos dependiendo del compuesto. Estos efectos generalmente se manifiestan en minutos u horas tras el contacto. Por el contrario, la exposición crónica se asocia a efectos acumulativos y de largo plazo, como enfermedades respiratorias crónicas, alteraciones endocrinas, disfunción renal o hepática, disminución



Miembros del equipo del Instituto de Ingeniería procesando muestras *in situ*. Autoría: Roxana Martínez Navarro. <https://agua.conahcyt.mx/atoyac/galeria>

de la fertilidad, trastornos de neurodesarrollo, y aumento del riesgo de cáncer.

Los contaminantes pueden estar presentes en el aire, el suelo, el agua e incluso en los alimentos; por tanto, los mecanismos por los cuales estas sustancias pueden entrar al cuerpo son la inhalación, ingestión (alimentos) y la vía dérmica.

Como se mencionó, su potencial dañino es diverso y depende del tipo de contaminante al que estemos expuestos. Algunas categorías son: los carcinógenos y mutagénicos (provocan alteraciones en el material genético), los teratogénicos (causan daños al embrión durante el embarazo), los que causan disrupción hormonal (generando cambios en la producción hormonal), los neurotóxicos (producen daños neurológicos), los inmunotóxicos (que provocan daños a nivel del sistema inmune), y los que afectan la fertilidad y producen efectos a nivel dermatológico, respiratorio y cardiopulmonar (Moreno Sánchez, 2022).

En la mayoría de los países industrializados, cerca del 20 % de las enfermedades de la población pue-

den atribuirse a los desechos provenientes de distintos sectores. Por ejemplo, las enfermedades respiratorias (asma y alergias) se asocian a concentraciones elevadas de químicos como óxidos de nitrógeno y azufre, o al ozono en el aire. En cuanto a la contaminación del agua, el aumento de concentraciones de sustancias como nitratos, plaguicidas, plomo, arsénico y boro puede ocasionar desde intoxicaciones leves hasta enfermedades complejas –como padecimientos renales crónicos y distintos tipos de cáncer–. En 2019 la OMS indicó que cerca del 4 % de las muertes ocurridas en ese año se atribuyeron directamente a la exposición a contaminantes, principalmente en el caso de enfermedades cardiovasculares, cáncer y enfermedades pulmonares obstructivas (**Tabla 1**).

Alteración ambiental en la Cuenca del Alto Atoyac y sus repercusiones

La Cuenca del Alto Atoyac es uno de los afluentes con alto reporte de contaminación en el país. Esta cuenca es una zona conectada por cuerpos de agua

Enfermedad	Exposición						
	 Aguas negras	 Quema de combustibles	 Humo del tabaco	 Contaminación ambiental	 Sustancias químicas	 Radiación UV	 Ocupacional
Condición neonatal	✓	✓	✓	✓	✓		✓
Desnutrición proteico-calórica	✓						
Cánceres		✓	✓	✓	✓	✓	✓
Enfermedades cardiovasculares		✓	✓	✓	✓		✓
EPOC		✓	✓	✓			✓
Diabetes		✓	✓	✓			✓
Asma		✓	✓	✓	✓		✓

Tabla 1. Relación existente entre la exposición a distintos elementos y su asociación con el desarrollo de enfermedades neonatales, nutricionales y enfermedades no transmisibles. Se muestra que los elementos con mayor vinculación a las enfermedades son la quema de combustibles en interiores, la exposición pasiva al humo del tabaco, los contaminantes ambientales y la exposición que puede existir debido al tipo de ocupación que presente la persona. Las enfermedades que muestran más predominancia, independientemente del tipo de exposición, son las condiciones neonatales y los distintos tipos de cánceres (tabla modificada a partir de Moreno Sánchez, 2022).

ríos y lagos—cuyos caudales son compartidos entre Puebla, Tlaxcala y Estado de México. En su periferia habitan cerca de cuatro millones de personas, lo que la convierte en una de las áreas metropolitanas de mayor densidad del país y, consecuentemente, con una elevada cantidad de desechos orgánicos. Además, es una región con alta presencia de actividad industrial; a lo largo de su amplia extensión se ubican cerca de ocho mil empresas de diversos sectores, entre ellos el automotriz, textil, alimentario, farmacéutico y agrícola. En algunos casos, la infraestructura para la gestión de desechos puede no ser la óptima, lo que podría afectar la calidad del agua, del suelo y del aire (**Figura 1**). La cuenca enfrenta serios problemas de contaminación —principalmente del río Atoyac— y afecta a 69 municipios que conforman la Cuenca del Alto Atoyac.

En la actualidad, esta zona se está estudiando con detenimiento debido a las tasas crecientes de enfermedades crónicas no transmisibles (ECNT) que se han presentado no sólo en adultos, sino también en niños, adolescentes y jóvenes.

Las ECNT son enfermedades que no se contagian ni surgen por algún tipo de infección; entre los ejemplos más comunes de este tipo de padecimientos está el cáncer, la insuficiencia renal, las enfermedades cardiovasculares, la diabetes y las enfermedades respiratorias crónicas. Debido a ello, resulta alarmante cuando en una comunidad o zona determinada el número de casos de ECNT se incrementan, pues ello sugiere que algo en el entorno podría estar provocando dicho incremento.

Las tasas de incidencia y mortalidad por cada ECNT varía entre los estados, municipios e incluso entre localidades. Sin embargo, la región de la Cuenca del Alto Atoyac enfrenta problemáticas socioambientales y desafíos de salud que requieren atención integral. Por ejemplo, en Tlaxcala se reportan condiciones respiratorias que afectan principalmente a niños y adultos mayores, mientras que en Puebla se señala una mayor incidencia de cáncer en mujeres adultas. En la última década, se ha observado una tendencia al alza de estas enfermedades en la Cuenca del Alto Atoyac. Las cifras registradas indican



Figura 1. La contaminación en la Cuenca del Alto Atoyac y sus efectos en la salud. *a)* Los contaminantes ambientales como el arsénico y el plomo pueden ingresar al cuerpo a través del riego de pastizales con aguas residuales y la producción láctea (Castro-González y cols., 2018). En el mapa se destacan regiones industriales en la Cuenca del Alto Atoyac (construcción y manufactura: INEGI, 2025). *b)* Disposición de metales pesados en el organismo (Conahcyt, 2023). *c)* Incremento de enfermedades respiratorias crónicas (Tlaxcala) y cáncer de mama (Puebla) en zonas de emergencia ambiental (Pérez Castresana y cols., 2023).

una proporción considerable de defunciones asociadas a estas condiciones, lo que subraya la necesidad de esfuerzos coordinados por parte de autoridades y sectores públicos para abordar las problemáticas ambientales y de salud en Puebla, Tlaxcala y el país. Además, en la zona de la cuenca se reportan incrementos en casos nuevos de leucemia infantil y enfermedad renal crónica. A continuación se describen brevemente estas dos enfermedades, así como su posible relación con la contaminación ambiental.

Leucemia infantil

La leucemia es un tipo de cáncer que afecta la sangre y se caracteriza por una proliferación autónoma y anormal de células precursoras de las células sanguíneas (comportamiento tumoral). Debido a que estas células inmaduras ocupan la mayor parte del espacio en la médula ósea, el desarrollo de las células sanguíneas normales no se lleva a cabo de forma apropiada. Dicha escasez lleva a la manifestación de signos y síntomas como fatiga, debilidad, cansancio, anemia y sangrados inusuales.

En México este padecimiento representa la principal causa de muerte por cáncer a nivel infantil, especialmente en niños de 5 a 14 años. Desafortunadamente, ha habido un aumento progresivo. En el año 2000 esta enfermedad era la segunda con más número de muertes en niños de 5 a 9 años; sin embargo, para 2019 se convirtió en la causa número uno de muertes infantiles, seguida de los accidentes de distinta clase.

Por otro lado, se ha registrado la acumulación de metales y arsénico entre 2004 y 2021 en zonas de descarga al agua y alcantarillado de la región. Un caso particular es el municipio de San Martín Texmelucan, Puebla, que ha mostrado niveles elevados de contaminación por níquel y que, además, figura entre los municipios con mayor mortalidad por leucemias agudas en personas de 0 a 19 años.

Enfermedad renal crónica

La enfermedad renal crónica (ERC) es un padecimiento persistente e irreversible causado por el

daño progresivo de la función renal, que se expresa en alteraciones funcionales o estructurales de los riñones y se manifiesta durante un periodo superior a tres meses. Puede manifestarse con síntomas clínicos como anemia, edema e hipertensión, pero también presenta **efectos subclínicos** que afectan la calidad de vida, como fatiga. A pesar de la gravedad de esta condición para la población mexicana, su detección suele ocurrir en etapas avanzadas, cuando ya se presentan síntomas físicos, o a través de análisis clínicos que muestran cambios en parámetros de pruebas específicas. En etapas tempranas la enfermedad no suele presentar señales evidentes; de hecho, sólo alrededor del 5 % de los casos puede detectarse en esa fase.

Muchos metales pesados se acumulan en el riñón, produciendo inflamación y daño oxidativo, lo que puede ocasionar daño y falla en su adecuada función. En México el desarrollo de la enfermedad se asocia comúnmente con otros padecimientos, como diabetes tipo 2, hipertensión y **glomerulonefritis**. La ERC puede impactar negativamente la esperanza y calidad de vida del paciente, y tiene repercusiones económicas y familiares, pues aumenta la carga de cuidados y los gastos sanitarios (Yepes Delgado y cols., 2009).

En general, las ECNT causan deterioro progresivo e impactan en la calidad de vida de las personas y su entorno familiar, además del gasto económico y emocional que implica su tratamiento y cuidados paliativos.

Efectos subclínicos
Cambios fisiológicos, biológicos o patológicos que ocurren en un organismo por enfermedad o exposición a sustancias, pero que no se manifiestan claramente en el paciente.

Glomerulonefritis
Problema en uno o ambos riñones que ocurre cuando las unidades de filtración de éstos, llamadas glómerulos, se inflaman y dejan de funcionar correctamente.

Preservar el entorno para desarrollar el futuro: desafíos ambientales y respuestas sostenibles

El tratamiento de aguas residuales y disposición de desechos en el ambiente no son en la actualidad los más adecuados, no sólo en México, sino en todo el mundo. Los programas de disposición de residuos suelen ser ineficientes o, en muchos lugares, inexistentes. Para abordar estos problemas se necesita un mayor control por parte de las autoridades y una regulación adecuada de estos procesos; una política pública ambiental que garantice una mejor calidad en el aire, suelo y agua, así como una gestión eficaz de situaciones de alto riesgo ambiental

para aumentar el control sobre las emisiones de contaminantes.

Recientemente, se han coordinado esfuerzos para la ejecución de planes de mitigación y rescate de esta importante cuenca, con la participación de la Comisión Nacional del Agua y los gobiernos de los estados de Puebla y Tlaxcala. Las estrategias incluyen desazolve y limpieza profunda del cauce, instalación de sistemas de tratamiento con biodigestores, construcción de colectores sanitarios, alcantarillados y plantas de tratamiento, así como el establecimiento de brigadas técnicas para identificar riesgos y permitir la restauración del ecosistema. Todo ello de conformidad con el Plan Hídrico Nacional.

El Plan Nacional de Restauración para la Cuenca del Alto Atoyac en Puebla y Tlaxcala forma parte del Programa Nacional de Restauración Ambiental (PNRA) y está alineado con el Plan Nacional de Desarrollo 2025-2030, en busca del saneamiento y restauración del río.

Por otra parte, la investigación científica realizada con el mayor rigor metodológico podrá contribuir a generar conocimiento sobre los lugares de mayor exposición a contaminantes, a establecer registros y monitoreo de zonas, y a generar conciencia, programas de información y herramientas de soporte para los tomadores de decisiones (Téllez-Rojo y cols., 2023).

Con todas las medidas preventivas necesarias, las elevadas concentraciones de contaminantes en el entorno ambiental disminuirían, contribuyendo a reducir el riesgo de incidencia y mortalidad por enfermedades asociadas a estas sustancias.

Dulce Rosario Alberto Aguilar

Secihti, Centro de Investigación Biomédica de Oriente-IMSS.
dulce.alberto@secihti.mx

Berenice Rojas Moranchel

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
berenice.rojas@alumno.buap.mx

Referencias

- Castro-González, N. P., R. Moreno-Rojas, F. Calderón Sánchez, A. Moreno-Ortega y J. V. Tamariz-Flores (2018), “Metales pesados en leche de vacas alimentadas con alfalfa producida en suelos irrigados con aguas residuales en Puebla y Tlaxcala, México”, *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 9(3):466-485. Disponible en: <<https://doi.org/10.22319/rmcp.v9i3.4358>>, consultado el 18 de noviembre de 2025.
- Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (2023), *1^{er} informe estratégico Cuenca del Alto Atoyac (Tlaxcala y Puebla): Región de Emergencia Sanitaria y Ambiental; Problemática socioambiental y recomendaciones para su atención integral*.
- Indicador mensual de la actividad industrial por entidad federativa (IMAIEF) (2024), Instituto Nacional de Estadística y Geografía (117/24).
- INEGI (2025), “Economía y Sectores Productivos”, Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/temas/manufacturas/#informacion_general>, consultado el 18 de noviembre de 2025.
- Moreno Sánchez, A. R. (2022), “Salud y medio ambiente”, *Revista de la Facultad de Medicina*, 65(3):8-18. Disponible en: <<https://doi.org/10.22201/fm.24484865.e.2022.65.3.02>>, consultado el 18 de noviembre de 2025.
- OMS (2025), “Salud ambiental”, Organización Mundial de la Salud. Disponible en: <https://www.who.int/es/health-topics/environmental-health#tab=tab_1>, consultado el 18 de noviembre de 2025.
- Pérez Castresana, G., A. Romero Natale, R. Camacho Sanabria, A. Sánchez Porras y M. Ortúño Vilchis (2023), en A. Rojas Amador y A. López Varela (eds.), *Salud ambiental en la Cuenca del Alto Atoyac Ibero Puebla*, Instituto de Investigaciones en Medio Ambiente-Universidad Iberoamericana, Puebla.
- Téllez-Rojo, M. M., M. J. Ríos-Blancas, C. Lerma-Treviño, L. F. Bautista-Arredondo, S. Spearman y cols. (2023), “Análisis de la carga de enfermedad atribuible a los factores de riesgo ambientales en México en el periodo 1990-2021. Identificación de avances, rezagos y emergencias”, *Gaceta Médica de México*, 159(6). Disponible en: <<https://doi.org/10.24875/GMM.23000398>>, consultado el 18 de noviembre de 2025.
- Yepes Delgado, C.E., M. Montoya Jaramillo, B. E. Orrego Orozco, M. H. Cuéllar Santaella y cols. (2009), “Calidad de vida en pacientes con enfermedad renal crónica sin diálisis ni trasplante de una muestra aleatoria de dos aseguradoras en salud. Medellín, Colombia, 2008”, *Nefrología*, 29(6):548-556.