

# Análisis de la carga de enfermedad atribuible a los factores de riesgo ambientales en México en el período 1990-2021. Identificación de avances, rezagos y emergencias

Martha M. Téllez-Rojo<sup>1</sup>, María J. Ríos-Blancas,<sup>1,2</sup> Carolina Lerma-Treviño,<sup>1</sup> Luis F. Bautista-Arredondo,<sup>1</sup> Sandra Spearman,<sup>3</sup> Liz Marsh,<sup>3</sup> Katrin Burkart,<sup>3</sup> Jeff Stanaway,<sup>3</sup> Charlie Ashbaugh,<sup>3</sup> Michael Brauer<sup>3</sup> y Magali Hurtado-Díaz<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>Centro de Investigación en Nutrición y Salud, Instituto Nacional de Salud Pública, Cuernavaca, Morelos, México; <sup>2</sup>Fundación “Carlos Slim”, Ciudad de México, México; <sup>3</sup>Instituto para la Métrica y Evaluación de la Salud, Universidad de Washington, Seattle, Washington, Estados Unidos; <sup>4</sup>Centro de Investigación en Salud Poblacional, Instituto Nacional de Salud Pública, Cuernavaca, Morelos, México

## Resumen

**Antecedentes:** Se estima que los factores de riesgo ambientales (FRA) fueron responsables en 2019 de nueve millones de muertes en el mundo. **Objetivo:** A partir de datos del estudio Global Burden of Disease, se analizaron indicadores de pérdida de salud asociada a la exposición a FRA en México. **Material y métodos:** Se analizaron números absolutos y porcentajes poblacionales de muertes y años de vida saludable (AVISA) perdidos según sexo atribuidos a FRA seleccionados en los ámbitos nacional y estatal, así como las tendencias estandarizadas por edad de 1990 a 2021. **Resultados:** En 2021, la contaminación por material particulado en ambiente exterior mostró la mayor mortalidad y AVISA perdidos por los FRA seleccionados (42.2 y 38.1 %, respectivamente), seguida de la exposición a plomo (20.6 y 13.4 %) y temperatura baja (19.8 y 12.3 %). Ambos indicadores han disminuido en todos los FRA seleccionados, en magnitudes diferentes entre 1991 y 2021, excepto la temperatura alta. **Conclusiones:** A pesar de las disminuciones en los últimos 32 años, el material particulado en ambiente exterior mostró la mayor mortalidad y AVISA perdidos, seguido de la exposición a plomo. Es fundamental fortalecer las políticas de calidad del aire y exposición a plomo en México.

**PALABRAS CLAVE:** Años de vida saludable perdidos. Carga de la enfermedad. Contaminación ambiental. México. Mortalidad.

## Analysis of the burden of disease attributable to environmental risk factors in Mexico in the 1990-2021 period. Identification of advances, lags and emergencies

## Abstract

**Background:** It is estimated that environmental risk factors (ERF) were responsible for nine million deaths worldwide in 2019. **Objective:** Using data from the Global Burden of Disease study, indicators of health loss associated with exposure to ERF in Mexico were analyzed. **Material and methods:** Absolute numbers and population percentages of deaths and disability-adjusted life years (DALY) lost attributed to selected ERFs were analyzed at the national and state level and by sex, as well as age-standardized trends from 1990 to 2021. **Results:** In 2021, ambient particulate matter pollution showed the highest mortality and DALYs lost attributed to selected ERFs (42.2 and 38.1% respectively), followed by lead exposure (20.6 and 13.4%) and low temperature (19.8 and 12.3%). Both indicators have decreased for all selected ERAs by different magnitudes between

### \*Correspondencia:

Magali Hurtado-Díaz  
E-mail: mhurtado@insp.mx

Fecha de recepción: 22-09-2023

Fecha de aceptación: 01-11-2023

DOI: 10.24875/GMM.23000398

Gac Med Mex. 2023;159:549-559

Disponible en PubMed

www.gacetamedicademexico.com

0016-3813/© 2023 Academia Nacional de Medicina de México, A.C. Publicado por Permanyer. Este es un artículo open access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1991 and 2021, except for high temperature. **Conclusions:** Despite decreases in the last 32 years, outdoor environment particulate matter showed the highest mortality and DALYs lost, followed by lead exposure. It is essential to strengthen air quality and lead exposure policies in Mexico.

**KEYWORDS:** Burden of disease. Disability-adjusted life years. Environmental pollution. Mexico. Mortality.

## Antecedentes

Se estima que los factores de riesgo ambientales (FRA) fueron responsables de nueve millones de muertes en 2019 a nivel global, de las cuales 92 % se concentró en países de ingresos bajos y medianos. Esta pérdida de vidas es similar a la causada por el tabaquismo, incluso supera a la generada por la malaria, el virus de la inmunodeficiencia humana y la tuberculosis.<sup>1</sup> Para el mismo año, en América Latina y el Caribe, el riesgo asociado a estos factores fue dos, cuatro y hasta 26 veces mayor al asociado al consumo del alcohol, malnutrición y consumo de drogas, respectivamente.<sup>2,3</sup>

Los efectos en morbilidad asociados a FRA son diversos y han sido ampliamente documentados. La contaminación del aire se ha relacionado con eventos respiratorios, cardiovasculares e, incluso, cáncer.<sup>4</sup> La falta de saneamiento e higiene se han vinculado a infecciones intestinales.<sup>5</sup> La exposición a metales pesados se ha asociado a daño neurológico, reproductivo, cardiovascular y renal;<sup>6-8</sup> la exposición a radón, a cáncer de pulmón;<sup>9</sup> y los cambios extremos de temperatura, a enfermedad cardiovascular, respiratoria y renal, entre otras.<sup>10</sup>

La investigación en salud ambiental en México se ha desarrollado ampliamente desde la perspectiva epidemiológica en poblaciones y/o regiones específicas, pero con limitaciones para establecer diagnósticos de dimensión nacional. Si se considera que la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición (ENSANUT) es el principal instrumento de información nacional en salud, el único componente de salud ambiental considerado es la exposición a plomo.<sup>11</sup> México vive un proceso de urbanización creciente con todas las consecuencias ambientales que esto conlleva;<sup>12</sup> además, carece de regulación sobre exposiciones a sustancias químicas tóxicas y está inmerso, igual que el resto del planeta, en los efectos en salud del calentamiento global. Por esta razón, es necesario disponer de información e instrumentos que permitan conocer la situación nacional de la morbilidad asociada a los principales factores de riesgo, para informar las

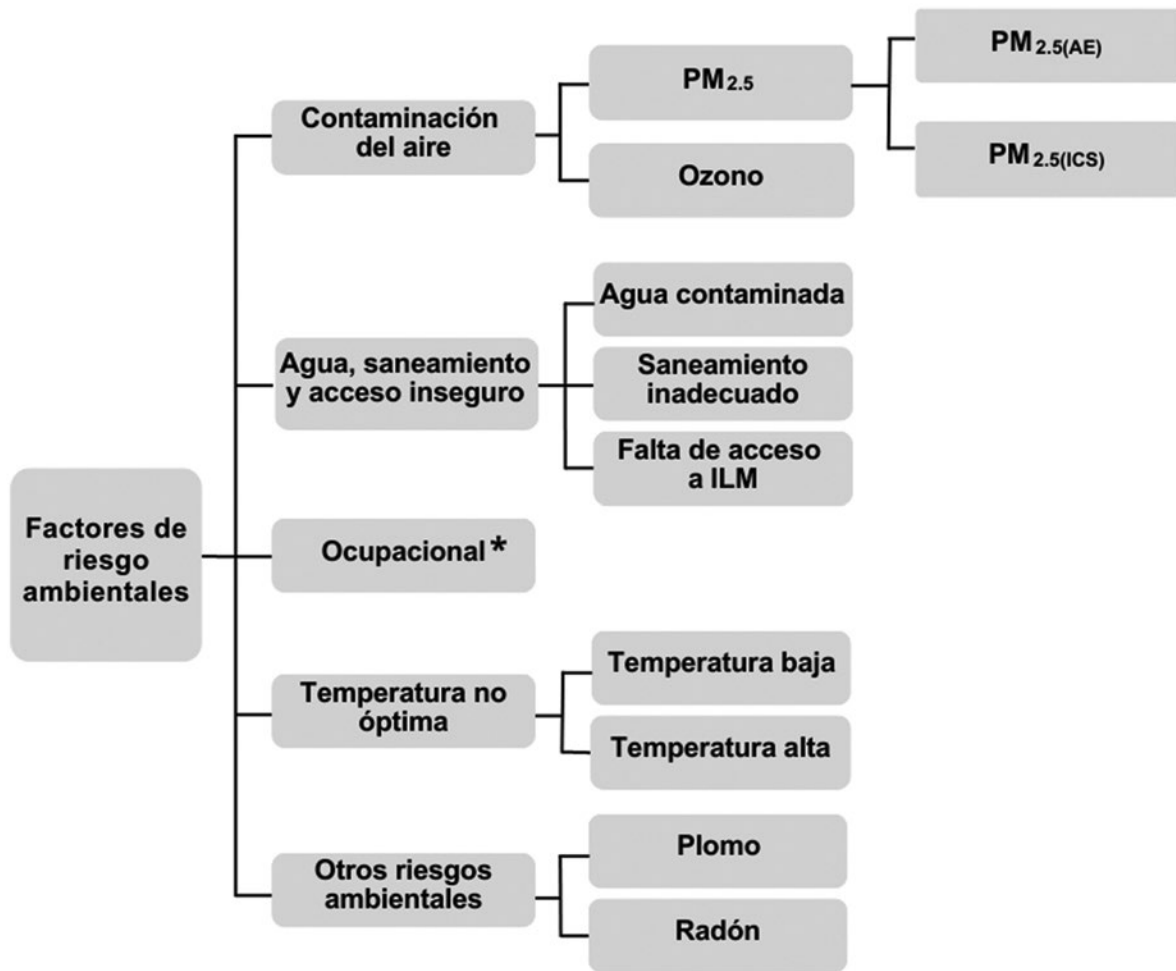
acciones de atención en salud, prevención y mitigación correspondientes.

El estudio Global Burden of Disease (GBD), realizado por el Instituto para la Métrica y Evaluación de la Salud de la Universidad de Washington, integra resultados de investigación epidemiológica con revisión por pares, con registros y estadísticas oficiales para estimar indicadores de pérdida de salud atribuibles a FRA, tanto por exposiciones tradicionales como modernas.<sup>1</sup> Al evaluar pérdida de salud en términos de mortalidad y años de vida saludable (AVISA) perdidos de manera estandarizada, el GBD permite establecer prioridades, analizar tendencias, realizar comparaciones entre países y, en el caso de México, en donde existe información subnacional, comparaciones estatales.<sup>13</sup> Por esta razón, este artículo tiene como objetivo analizar las estimaciones de mortalidad y AVISA perdidos en los ámbitos nacional y estatal asociadas a la exposición a FRA, así como analizar las tendencias correspondientes en el período de 1990 a 2021.

## Material y métodos

A partir de las estimaciones del GBD,<sup>14</sup> se analizaron los resultados de mortalidad y AVISA perdidos atribuidos a los FRA para México a nivel nacional y estatal en el período de 1990 a 2021. El GBD agrupa estos factores en cinco categorías, que a su vez se dividen en subcategorías a diferentes niveles (Figura 1). Para este estudio se consideraron las categorías definidas según el GBD 2019 y se excluyeron los riesgos ocupacionales, para enfocar las exposiciones que ocurren en la población general. Posteriormente, se organizaron los 10 FRA seleccionados en los siguientes cuatro niveles de agrupación:

- Grupo 1, contaminación del aire: material particulado en ambiente exterior ( $PM_{2.5(AE)}$ ), material particulado en intramuros generado por combustibles sólidos ( $PM_{2.5(ICS)}$ ) y ozono.
- Grupo 2, agua, saneamiento y acceso inseguro: agua contaminada, saneamiento inadecuado y falta de acceso a instalaciones para lavarse las manos con agua y jabón (falta de acceso a ILM).



**Figura 1.** Organización de los factores de riesgo ambientales incluidos en el estudio de la carga de la enfermedad; corresponde a la versión publicada de GBD 2019. ILM: instalaciones para lavarse las manos con agua y jabón;  $PM_{2.5}$ : material particulado;  $PM_{2.5(AE)}$ : material particulado en ambiente exterior;  $PM_{2.5(ICS)}$ : material particulado en intramuros generado por combustibles sólidos; \*Factor de riesgo excluido.

- Grupo 3, temperaturas no óptimas: bajas y altas.
- Grupo 4, otros factores ambientales: exposición a plomo y radón.

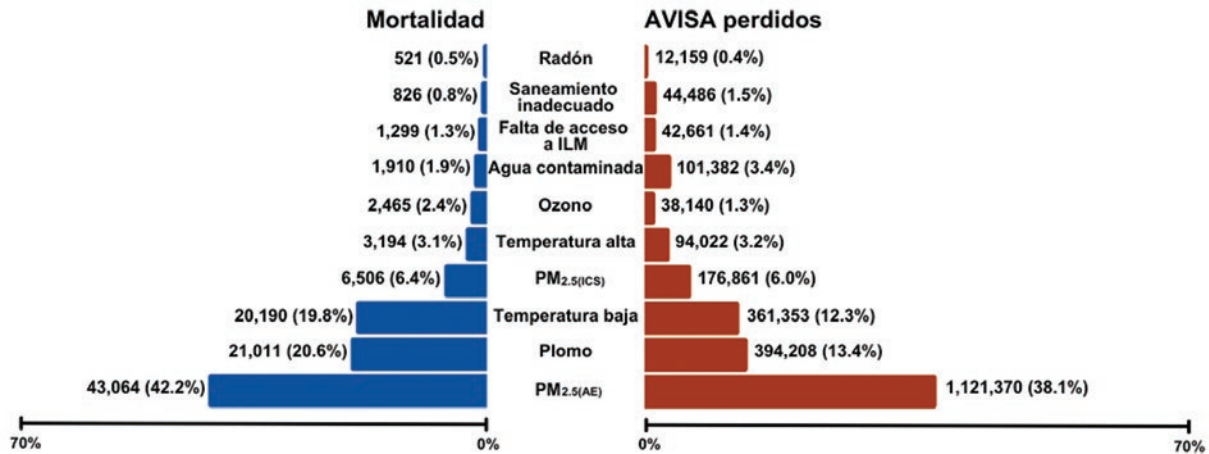
Para los análisis y reporte de resultados de este estudio se utilizaron exclusivamente las estimaciones de GBD 2021. Se seleccionaron dos indicadores de pérdida de salud:

- Mortalidad, cuyas estimaciones utilizan principalmente estadísticas vitales.
- AVISA perdidos, indicador compuesto por los años perdidos por muerte prematura (APMP) y los años vividos con discapacidad (AVD).

Estos indicadores se presentan en números absolutos, porcentaje poblacional y tasas estandarizadas por edad por cada 100 000 habitantes y por sexo.

Para obtener mayores detalles se sugiere consultar publicaciones anteriores.<sup>2,15-17</sup>

Primero se reportó la magnitud total del número de muertes y AVISA perdidos en México atribuibles al total de los FRA en 2021, incluyendo los riesgos ocupacionales, debido a que por la metodología del GBD no pueden ser excluidos al presentar el total de FRA. Se analizaron cada uno de los 10 FRA seleccionados, así como la distribución de la mortalidad y AVISA perdidos y se cuantificó el impacto relativo de cada uno de los 10 FRA seleccionados en términos absolutos y porcentuales respecto al total de los FRA. Se analizaron las tendencias de 1990 a 2021 de ambos indicadores asociados a los 10 FRA seleccionados, organizados en los cuatro grupos descritos. La variabilidad de las estimaciones se representa mediante



**Figura 2.** Número y proporción de muertes y AVISA perdidos atribuibles al total de factores de riesgo ambientales en población de todas las edades, para ambos sexos. México, 2021. El total de muertes (102 129) y AVISA perdidos (2 945 545) por factores de riesgo ambientales incluyó los riesgos ocupacionales. Los porcentajes no suman 100 % ya que existen muertes y AVISA perdidos que no pueden ser atribuidos a uno de los factores de riesgo ambientales o están atribuidos a más de un factor de riesgo ambiental específico. AVISA: años de vida saludable; ILM: instalaciones para lavarse las manos con agua y jabón; PM<sub>2.5(AE)</sub>: material particulado en ambiente exterior; PM<sub>2.5(ICS)</sub>: material particulado en intramuros generado por combustibles sólidos.

intervalos de incertidumbre de 95 (II 95 %), el cual indica un rango donde es altamente probablemente que se encuentre la estimación correcta de la métrica, considerando variabilidades y posibles errores, y es más amplio cuando no se cuenta con información suficiente. Finalmente, se evaluó la tasa de los cuatro grupos de FRA desagregada por sexo, tanto en el ámbito nacional como en el estatal.

## Resultados

En México, aproximadamente 102 129 muertes (II 95 % = 78 341-129,405) y 2 945 545 AVISA perdidos (II 95 % = 2 388 913.2-3 621 255.3) se atribuyeron a la exposición del total de FRA durante 2021, incluidos los riesgos ocupacionales; 9.8 % de estas muertes y 25 % de AVISA perdidos se asociaron a riesgos ocupacionales.

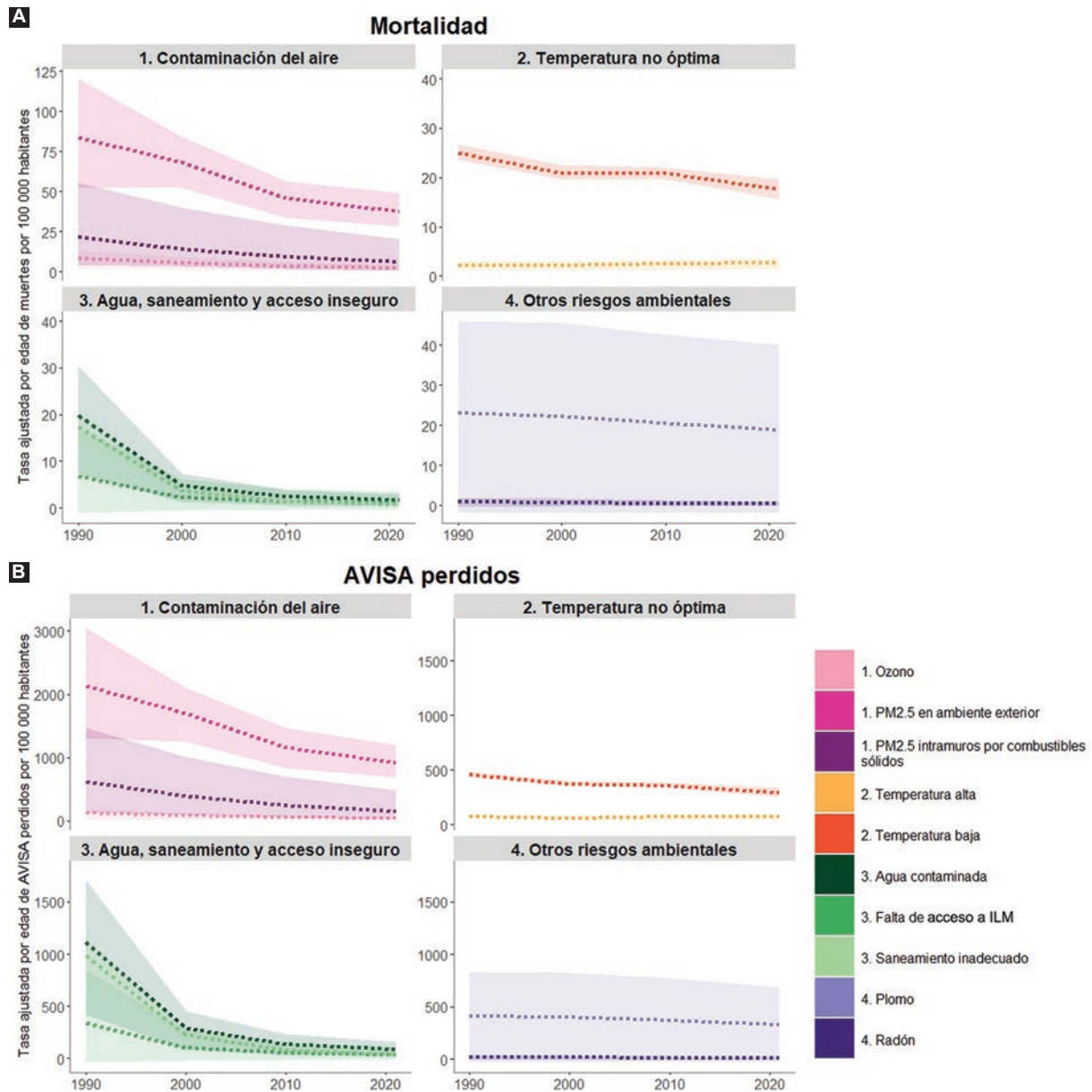
Entre los FRA seleccionados, la mayor mortalidad en 2021 se debió a PM<sub>2.5(AE)</sub>, responsable de 43 064 muertes (II 95 % = 32 829-56 754), que representaron 42.2 % del total de FRA; seguido de la exposición a plomo con 21 011 (20.6 %), temperatura baja con 20 190 (19.8 %) y PM<sub>2.5(ICS)</sub> con 6506 (6.4 %). El 10 % de las muertes restante se atribuyó a la exposición a temperatura alta, ozono, agua contaminada, falta de acceso a ILM, saneamiento inadecuado y exposición a radón. Se identificó una distribución similar en los AVISA perdidos, excepto por agua contaminada y

saneamiento inadecuado, cuya contribución fue mayor (Figura 2).

Las tendencias nacionales en el período de 1990 a 2021 se muestran en la Figura 3. La gráfica de contaminación del aire utiliza una escala de magnitud diferente con la finalidad de mostrar con mayor detalle los resultados de los factores de menor contribución. Las tasas de ambos indicadores para todos los FRA seleccionados disminuyeron en magnitudes diferentes en el período de 32 años; la única excepción fue la tasa de mortalidad atribuida a temperatura alta, que se incrementó 27.8 %.

La exposición a PM<sub>2.5(AE)</sub> se distinguió por la mayor tasa de mortalidad y AVISA perdidos durante todo el período de análisis. La tendencia mostró una disminución entre 1990 y 2021 en la mortalidad y en AVISA perdidos de 55.3 y 57.2 %, respectivamente, más pronunciada en el período previo a 2010. Las tasas de PM<sub>2.5(ICS)</sub> y ozono mostraron una mayor disminución constante en todo el período de análisis respecto a PM<sub>2.5(AE)</sub>, con reducciones de 73.0 y 72.5 % en mortalidad y 76 y 71.6 % en AVISA perdidos, respectivamente.

Las temperaturas bajas presentaron consistentemente mayor carga en comparación a las temperaturas altas. Las tasas de mortalidad y AVISA perdidos por este motivo disminuyeron 29.4 y 35.2 % entre 1990 y 2021, respectivamente, en contraste con las altas temperaturas, único FRA que mostró un aumento durante el período.



**Figura 3. (A y B)** Tendencia de la tasa estandarizada por edad (por 100 000 habitantes) de la mortalidad y AVISA perdidos para ambos sexos según diferentes factores de riesgo ambientales a nivel nacional entre 1990 y 2021. AVISA: años de vida saludable;  $PM_{2.5}$ : material particulado; ILM: instalaciones para lavarse las manos con agua y jabón.

Los indicadores asociados al agua contaminada, saneamiento inadecuado y falta de acceso a ILM fueron los FRA con las mayores reducciones en el período con descensos en la mortalidad de 91.4, 95.8 y 83.3 %, respectivamente. La mayor disminución se observó entre 1990 y 2000, y desde entonces esa tendencia fue marginal. Por otro lado, la carga atribuida a exposición a plomo mostró la menor reducción de los FRA: 18.4 % en mortalidad y 20.4 % en AVISA perdidos durante el período completo. Por su parte, el radón permaneció estable, con un ligero descenso entre 2000 y 2021.

Las Figuras 4 y 5 muestran las tasas estandarizadas por edad por 100 000 habitantes asociadas a cada FRA en los estados, clasificadas con un color diferente que identifica la posición del 1 al 10 que ocupan de acuerdo con la magnitud de mortalidad. En general, los FRA que predominaron en cada estado fueron  $PM_{2.5(AE)}$ , temperatura baja y plomo.

Al examinar los resultados por estado, se observó que  $PM_{2.5(AE)}$  presentó la mayor tasa de mortalidad y AVISA perdidos en la Ciudad de México (49 muertes,  $IL\ 95\% = 39-61$ ; 1155.7 AVISA perdidos,

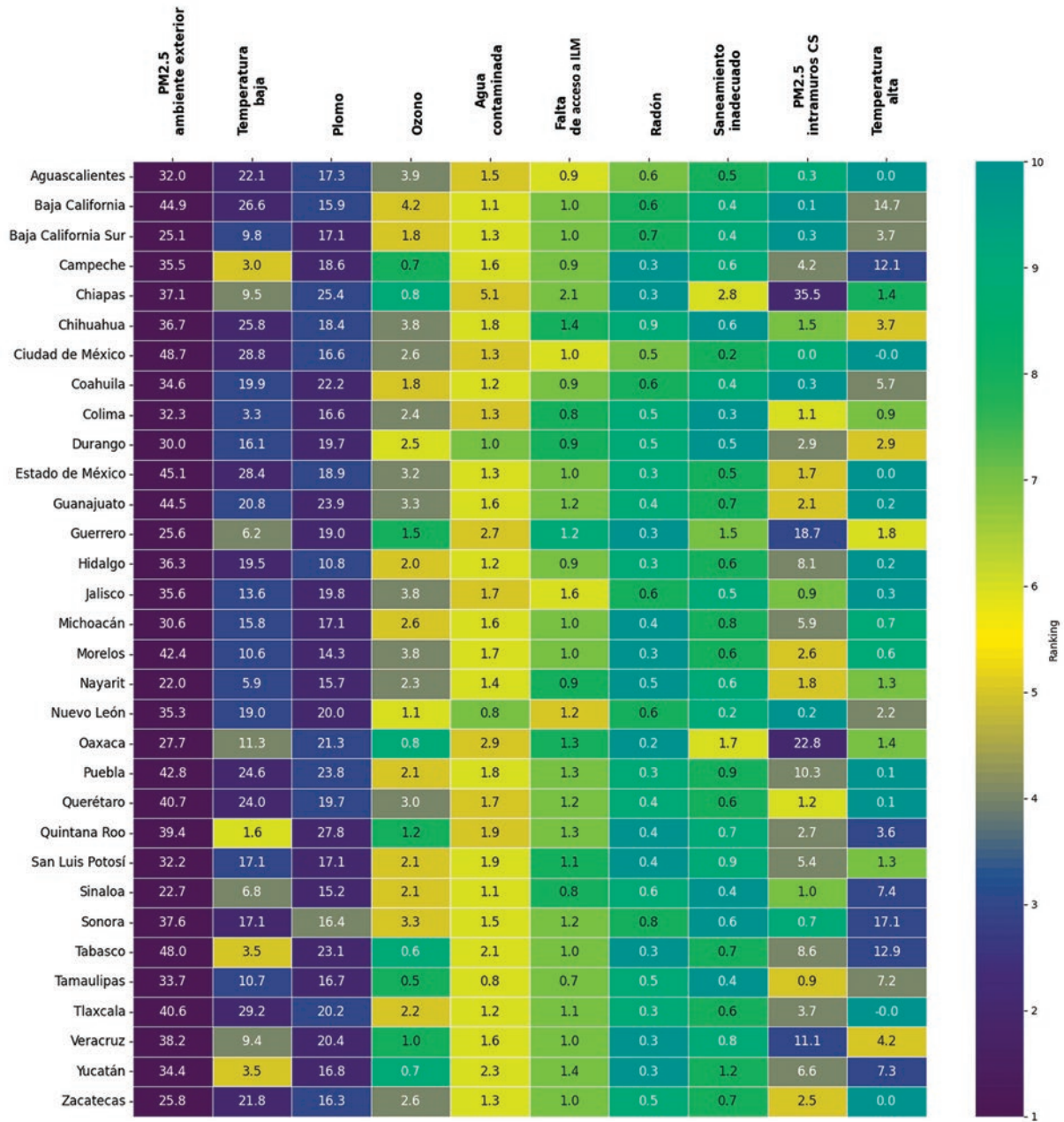


Figura 4. Mapa de calor de la tasa estandarizada por edad (por 100 000 habitantes) de la mortalidad según factores de riesgo ambientales seleccionados en población de ambos sexos en los estados de México en 2021. PM<sub>2.5</sub>: material particulado; ILM: instalaciones para lavarse las manos con agua y jabón.

Il 95 % = 903.3-1471.1) y Tabasco (48 muertes, Il 95 % = 22-78; 1158.4 AVISA perdidos, Il 95 % = 564.2-1848.8). Por su parte, el PM<sub>2.5(I)CS</sub> mostró las mayores tasas en Chiapas (35 muertes, Il 95 % = 7-77; 860.5 AVISA perdidos, Il 95 % = 214.8-1761.8) y Oaxaca (23 muertes, Il 95 % = 3-60; 578.7 AVISA perdidos, Il 95 % = 102.7-1376.5). En cuanto al ozono, Baja California (cuatro muertes, Il 95 % = 1-7; 60.3 AVISA

perdidos, Il 95 % = 12.8-102.0), Aguascalientes (cuatro muertes, Il 95 % = 0-8; 55.2 AVISA perdidos, Il 95 % = 11.7-117.0) y Chihuahua (cuatro muertes, Il 95 % = 1-7; 57.4 AVISA perdidos, Il 95 % = 12.3-106.1) presentaron la mayor carga en ambos indicadores. Los estados de Chiapas, Oaxaca y Guerrero registran los resultados más graves atribuidos al agua contaminada, saneamiento inadecuado y falta de acceso a

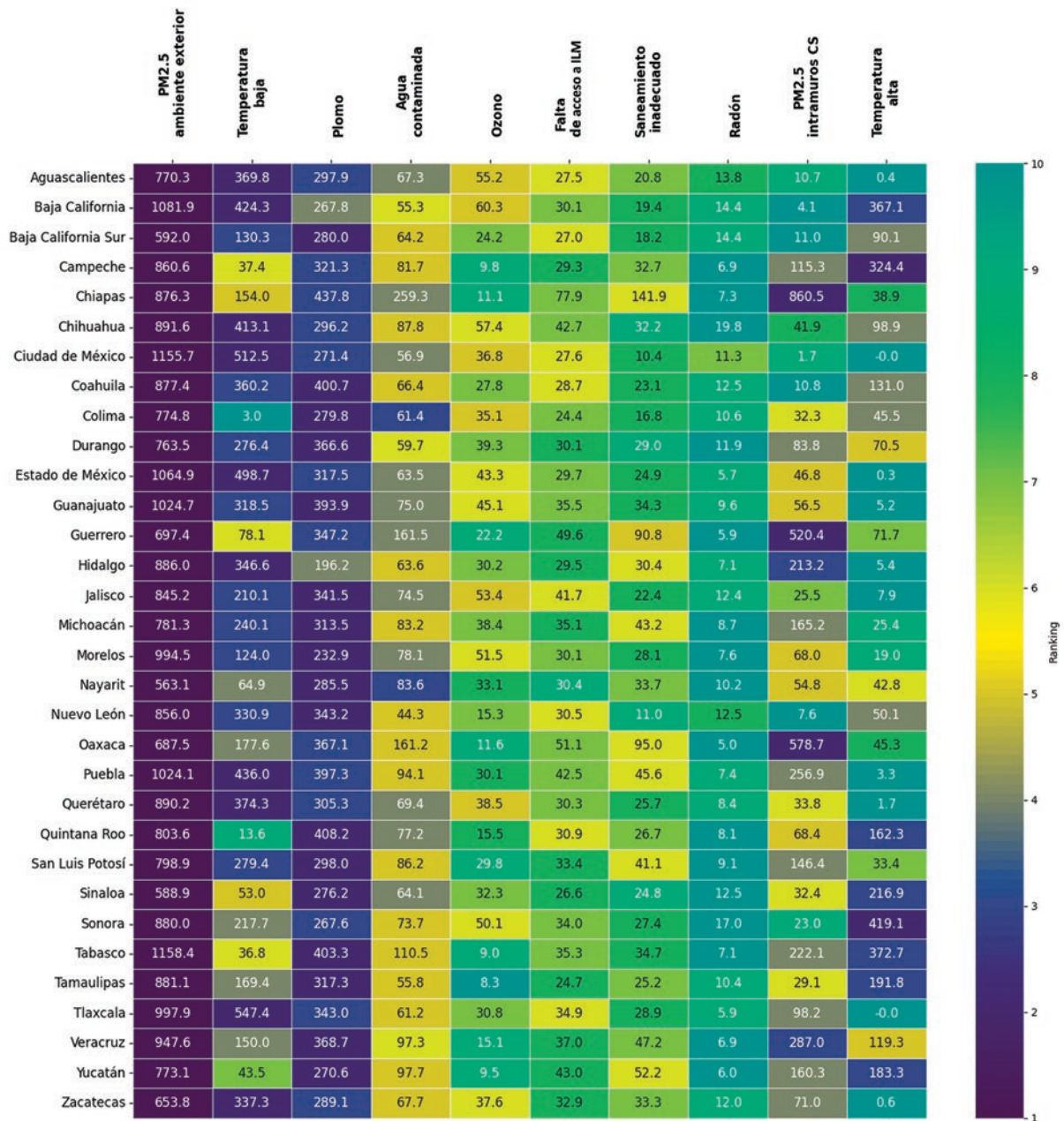


Figura 5. Mapa de calor de la tasa estandarizada por edad (por 100 000 habitantes) de AVISA perdidos según factores de riesgo ambientales seleccionados en población de ambos sexos en los estados de México en 2021. PM<sub>2.5</sub>: material particulado; ILM: instalaciones para lavarse las manos con agua y jabón.

ILM. La carga atribuible a temperaturas bajas mostró la mayor carga en Tlaxcala (29 muertes, II 95 % = 25-34; 547.3 AVISA perdidos, II 95 % = 471.3-650.9) y Ciudad de México (29 muertes, II 95 % = 24-36; 512.5 AVISA perdidos, II 95 % = 426.5-637.6); en tanto, las temperaturas altas afectaron notablemente a Sonora, Baja California y Tabasco. Finalmente, la pérdida de salud atribuible a la exposición a plomo fue

más crítica en Quintana Roo (28 muertes, II 95 % = -2-59; 408.2 AVISA perdidos, II 95 % = -34-865.8) y Chiapas (25 muertes, II 95 % = -2-53; 437.8 AVISA perdidos, II 95 % = -36.8-933.2). En cuanto al radón, los estados más afectados fueron Chihuahua (una muerte, II 95 % = 0-3; 19.7 AVISA perdidos, II 95 % = -7.1-74.3) y Sonora (una muerte, II 95 % = 0-3; 17.0 AVISA perdidos, II 95 % = -5.6-65.7).

En la Figura 6 se aprecia una mayor tasa de mortalidad en hombres en comparación con las mujeres a nivel nacional y en las cuatro categorías de agrupación de los FRA. Además, los estados presentaron un patrón similar en las categorías de contaminación del aire, temperatura no óptima y otros factores, con excepción de Chiapas para los dos primeros y Yucatán para el tercero. Sobre los AVISA perdidos, también fue más pronunciado en hombres que en mujeres a nivel nacional. Sin embargo, en Chiapas (agua contaminada, saneamiento y acceso inseguro) y Yucatán (otros riesgos ambientales), la tasa de este parámetro fue mayor en las mujeres.

## Discusión

En este artículo se presenta un análisis a nivel nacional y estatal de los últimos 32 años (1990-2021) de la carga atribuible y evitable por los FRA a los que está expuesta la población en general, seleccionando para ello los indicadores de mortalidad y AVISAS perdidos. Además, se describe la evolución de cada uno de los FRA en este período, lo que permite identificar avances, problemas emergentes y factores rezagados. Finalmente, se muestra un panorama estatal que busca contribuir a la definición de prioridades de los temas en los cuales convergen las Secretarías de Salud y Medio Ambiente en los ámbitos nacional y estatal.

El análisis indicó que la contaminación del aire ha sido, y sigue siendo, el FRA que ha contribuido en mayor medida a la carga de la enfermedad. La tendencia decreciente que documenta estimaciones más bajas de la carga de la enfermedad por  $PM_{2.5}$  podría estar relacionada con el decremento en la mortalidad y en las concentraciones de  $PM_{2.5}$  y ozono observadas de 1990 a 2010.<sup>2</sup> Dichas estimaciones incluyen las causas con mayor evidencia y contribución a la carga de la enfermedad, como las afecciones cardiovasculares, respiratorias y metabólicas, el cáncer de pulmón y los efectos adversos en el nacimiento; sin embargo, existen enfermedades asociadas a la contaminación del aire que actualmente no se incluyen, lo que podría subestimar los resultados presentados.<sup>18</sup>

La exposición a plomo fue el FRA que más contribuyó a la carga de la enfermedad después de la contaminación del aire. La mayor reducción en la mortalidad por este FRA se presentó en el período de 1990 a 2010 (10.5 %), que podría ser producto de la eliminación del plomo de la gasolina en 1997.<sup>19</sup> Actualmente, después de casi 25 años de esta intervención, sugiere la presencia tanto de exposiciones

basales que no han sido atendidas, como el uso de barro vidriado con plomo, ampliamente documentado,<sup>11,20</sup> así como los efectos de la exposición acumulada en personas de mayor edad, que puede estar contribuyendo a la mortalidad registrada por enfermedad cardiovascular.<sup>21</sup>

La pérdida de salud atribuible a las temperaturas extremas ha sido dominada por las temperaturas bajas, y si bien la carga atribuible a estas mostró una tendencia decreciente, la correspondiente a las temperaturas altas se ha incrementado, constituyéndose en el FRA emergente más importante.

Los FRA relacionados con el agua contaminada y saneamiento presentaron una reducción drástica entre 1991 y 2000, para posteriormente continuar con una tendencia decreciente, pero menos pronunciada. Este grupo de FRA constituye el de menor carga de manera sostenida, lo cual refleja el efecto de intervenciones exitosas en el período analizado. Sin embargo, existen nuevos tóxicos que afectan la calidad de agua para consumo que deben ser considerados en el futuro.<sup>22</sup>

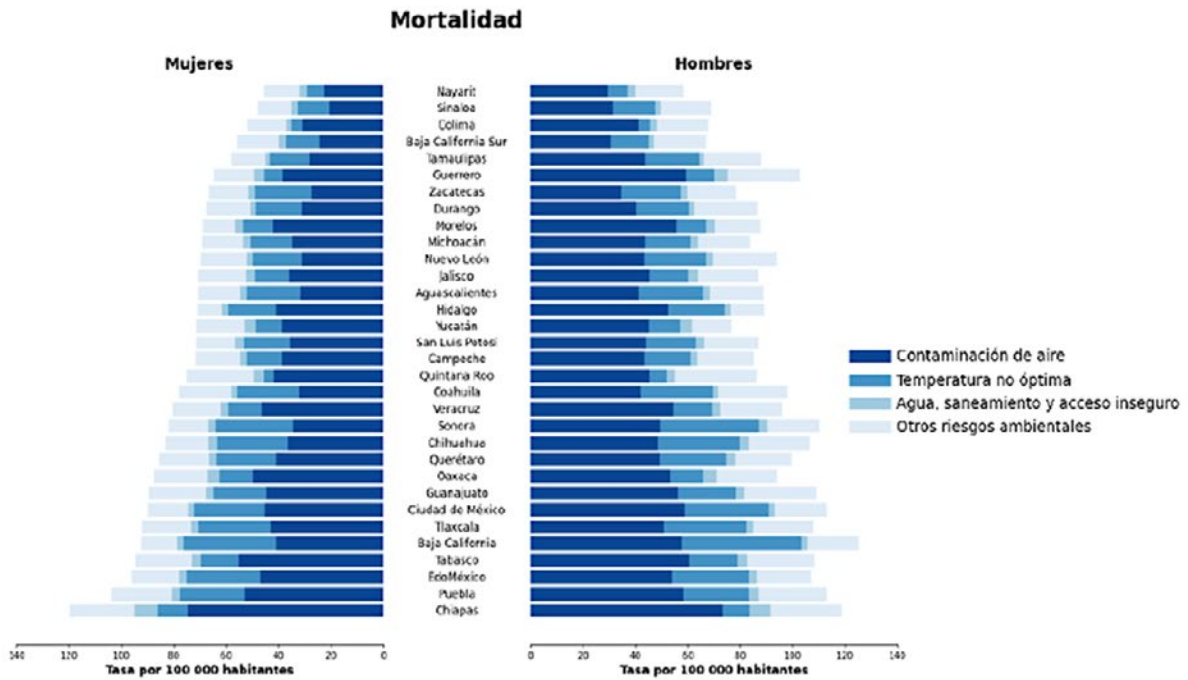
El radón es un gas tóxico desatendido, con una tendencia sin cambios a través del tiempo. Este problema se concentra en el norte del país, principalmente en Chihuahua, donde se han identificado concentraciones importantes de uranio,<sup>23</sup> elemento del que emana gas radón al sufrir desintegración radiactiva.<sup>24</sup> Además, las bajas temperaturas favorecen espacios más herméticos, lo que provoca una mayor concentración intramuros.<sup>25</sup>

A nivel nacional se identificó que la pérdida de salud por FRA en los indicadores analizados fue mayor en los hombres, aun después de excluir las exposiciones ocupacionales. Este efecto diferencial por sexo se ha reportado en estudios previos. Se ha documentado que el efecto de la contaminación del aire sobre el deterioro cognitivo es mayor en los varones que en las mujeres.<sup>26,27</sup> La mortalidad y los AVISA perdidos se concentraron principalmente en los hombres en otro estudio en el que se analizó la pérdida de salud debido al plomo.<sup>28</sup> Según un reporte de la OCDE de 2020, los países miembros implementaron una perspectiva de género en sus políticas medioambientales,<sup>29</sup> en la cual consideraron este impacto diferenciado de los FRA.

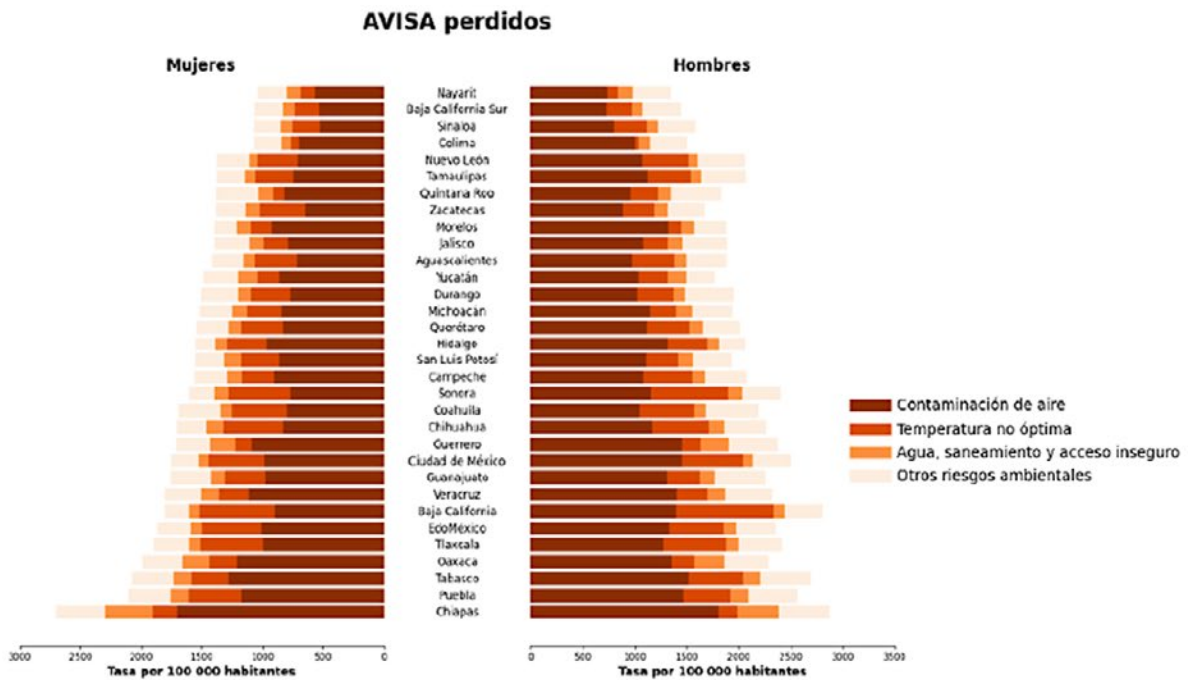
Los estados de Baja California, Chiapas, Tabasco, Puebla, Tlaxcala y Estado de México destacaron por presentar las tasas más altas de mortalidad y AVISA perdidos asociados a FRA. Oaxaca se encontró en el grupo de entidades con más AVISA perdidos por



**A**



**B**



**Figura 6. (A y B)** Tasa estandarizada por edad (por 100 000 habitantes) de mortalidad y AVISA perdidos atribuibles a cuatro grupos de factores de riesgo ambientales seleccionados en mujeres y hombres en los estados de México en 2021. AVISA: años de vida saludable.

**Tabla 1. Recomendaciones para políticas públicas e investigación**

Fortalecimiento de las políticas públicas	Es fundamental que se fortalezcan las políticas públicas relacionadas con la calidad del aire. A pesar de los avances en los últimos 30 años, la contaminación del aire sigue siendo un factor de riesgo ambiental alarmante en México. Las autoridades deben considerar la implementación de medidas más estrictas para controlar las emisiones contaminantes, especialmente en áreas urbanas densamente pobladas y zonas industriales.
Investigación y monitoreo del plomo	Es crucial que se realicen investigaciones más detalladas sobre sus fuentes de exposición en el país. Además, establecer programas de monitoreo y concientización para educar a la población sobre los riesgos asociados con esta exposición.
Preparación ante cambio climático	La carga asociada a las altas temperaturas es un riesgo emergente. Las autoridades, investigadores y actores clave deben trabajar conjuntamente para desarrollar estrategias de adaptación y mitigación ante los impactos del cambio climático. Esto podría incluir la creación de infraestructuras resilientes a temperaturas extremas, estrategias de protección ante temperaturas altas y bajas e impulso en investigación sobre el impacto del cambio climático en la salud pública. Además, enfrentar las causas primordiales del cambio climático como diseñar estrategias para la reducción de gases de efecto invernadero y preservación de la biodiversidad.

estos factores, pero no así en la mortalidad. Como contraparte, Baja California Sur, Sinaloa, Nayarit, Colima, Zacatecas y Yucatán constituyeron las entidades con menor impacto de FRA en relación con los indicadores analizados.

Una limitación consiste en que este artículo analizó los FRA considerados por el GBD, sin embargo, para abarcar la totalidad de la carga de la enfermedad asociada a factores ambientales sería necesario incorporar otros metales pesados no esenciales y sustancias químicas tóxicas de las que existe evidencia creciente de sus efectos en salud.<sup>30-32</sup>

La asociación entre rezago social y exposición a FRA ha sido ampliamente documentada.<sup>33</sup> En este trabajo se confirmó que la carga de la enfermedad asociada a la exposición a agua contaminada, falta de acceso a ILM, saneamiento inadecuado y PM<sub>2.5(IQS)</sub> se concentra mayoritariamente en los estados con mayor marginación como Chiapas, Oaxaca y Guerrero,<sup>34</sup> donde las condiciones asociadas al rezago pueden agudizar los efectos adversos a la salud (Material Suplementario).<sup>35</sup> La relevancia de

este tema justifica un análisis enfocado exclusivamente en ello, que debería realizarse en un futuro próximo.

Es fundamental ampliar la recolección de fuentes de información empíricas para abordar el problema y diseñar programas y políticas oportunas, lo cual incluye mejorar las redes de monitoreo de calidad de aire y expandirlas en más ciudades, además de fortalecer el biomonitoreo de plomo en sangre en la ENSANUT, considerando otros metales como cadmio, mercurio y otras sustancias químicas tóxicas. En la Tabla 1 se detallan recomendaciones adicionales basadas en los hallazgos.

### Agradecimientos

Los autores agradecen a la Fundación Bill y Melinda Gates por el financiamiento que brinda al Instituto para la Métrica y Evaluación de la Salud.

### Financiamiento

Para este estudio se recibió financiamiento de la Fundación Bill y Melinda Gates.

### Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses en el presente estudio.

### Responsabilidades éticas

**Protección de personas y animales.** Los autores declaran que para esta investigación no realizaron experimentos en seres humanos ni en animales.

**Confidencialidad de los datos.** Los autores declaran que en este artículo no aparecen datos de pacientes.

**Derecho a la privacidad y consentimiento informado.** Los autores declaran que en este artículo no aparecen datos de pacientes.

**Uso de inteligencia artificial para generar textos.** Los autores declaran que no utilizaron ningún tipo de inteligencia artificial generativa en la redacción de este manuscrito ni para la creación de figuras, gráficos, tablas o sus correspondientes pies o leyendas.

### Material suplementario

El material suplementario se encuentra disponible en DOI: 10.24875/GMM.23000398. Este material es provisto por el autor de correspondencia y publicado

online para el beneficio del lector. El contenido del material suplementario es responsabilidad única de los autores.

## Bibliografía

- Fuller R, Landrigan PJ, Balakrishnan K, Bathan G, Bose-O'Reilly S, Brauer M, et al. Pollution and health: a progress update. *Lancet Planet Health*. 2022;6(6):e535-47. DOI: 10.1016/S2542-5196(22)00090-0
- Murray CJL, Aravkin AY, Zheng P, Abbafati C, Abbas KM, Abbasi-Kangevari M, et al. Global burden of 87 risk factors in 204 countries and territories, 1990-2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *Lancet*. 2020;396(10258):1223-49. DOI: 10.1016/S0140-6736(20)30752-2
- IHME [Internet]. Seattle, Washington, Estados Unidos: GBD Compare. Institute for Health Metrics and Evaluation. Disponible en: <http://vizhub.healthdata.org/gbd-compare>
- Husaini DC, Reneau K, Balam D. Air pollution and public health in Latin America and the Caribbean (LAC): a systematic review with meta-analysis. *Beni-Suef Univ J Basic Appl Sci*. 2022;11(1):122. DOI: 10.1186/s43088-022-00305-0
- Lin L, Yang H, Xu X. Effects of water pollution on human health and disease heterogeneity: a review. *Front Environ Sci*. 2022;10. Disponible en: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenvs.2022.880246>
- Sulaiman R, Wang M, Ren X. Exposure to aluminum, cadmium, and mercury and autism spectrum disorder in children: a systematic review and meta-analysis. *Chem Res Toxicol*. 2020;33(11):2699-718. DOI: 10.1021/acs.chemrestox.0c00167
- Guo X, Su W, Li N, Song Q, Wang H, Liang Q, et al. Association of urinary or blood heavy metals and mortality from all causes, cardiovascular disease, and cancer in the general population: a systematic review and meta-analysis of cohort studies. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2022;29(45):67483-503. DOI: 10.1007/s11356-022-22353-w
- Yang AM, Lo K, Zheng TZ, Yang JL, Bai YN, Feng YQ, et al. Environmental heavy metals and cardiovascular diseases: status and future direction. *Chronic Dis Transl Med*. 2020;06(04):251-9. DOI: 10.1016/j.cdtm.2020.02.005
- Riudavets M, García-de Herreros M, Besse B, Mezquita L. Radon and Lung cancer: current trends and future perspectives. *Cancers*. 2022;14(13):3142. DOI: 10.3390/cancers14133142
- Wu Y, Li S, Zhao Q, Wen B, Gasparrini A, Tong S, et al. Global, regional, and national burden of mortality associated with short-term temperature variability from 2000-19: a three-stage modelling study. *Lancet Planet Health*. 2022;6(5):e410-21. DOI: 10.1016/S2542-5196(22)00073-0
- Téllez-Rojo MM, Bautista-Arredondo LF, Trejo-Valdivia B, Tamayo-Ortiz M, Sánchez DE, Kraiem R, et al. Análisis de la distribución nacional de intoxicación por plomo en niños de 1 a 4 años. Implicaciones para la política pública en México. *Salud Publica Mex*. 2020;62(6):627-36. DOI: 10.21149/11550
- Raihan A, Tuspekova A. Towards sustainability: dynamic nexus between carbon emission and its determining factors in Mexico. *Energy Nexus*. 2022;8:100148. DOI: 10.1016/j.nexus.2022.100148
- IHME [Internet]. Seattle, Washington, Estados Unidos: Global Burden of Disease [Internet]. Institute for Health Metrics and Evaluation; 2014. Disponible en: <https://www.healthdata.org/gbd>
- IHME [Internet]. Seattle, Washington, Estados Unidos: Data sources. Institute for Health Metrics and Evaluation. Disponible en: <https://www.healthdata.org/data-tools-practices/data-sources>
- Zheng P, Afshin A, Biryukov S, Bisignano C, Brauer M, Bryazka D, et al. The burden of proof studies: assessing the evidence of risk. *Nat Med*. 2022;28(10):2038-44. DOI: 10.1038/s41591-022-01973-2
- Wang H, Abbas KM, Abbasifard M, Abbasi-Kangevari M, Abbastabar H, Abd-Allah F, et al. Global age-sex-specific fertility, mortality, healthy life expectancy (HALE), and population estimates in 204 countries and territories, 1950-2019: a comprehensive demographic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *Lancet*. 2020;396(10258):1160-203. DOI: 10.1016/S0140-6736(20)30977-6
- Vos T, Lim SS, Abbafati C, Abbas KM, Abbasi M, Abbasifard M, et al. Global burden of 369 diseases and injuries in 204 countries and territories, 1990-2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *Lancet*. 2020;396(10258):1204-22. DOI: 10.1016/S0140-6736(20)30925-9
- Hu H, Landrigan PJ, Fuller R, Lim SS, Murray CJL. New Initiative aims at expanding Global Burden of Disease estimates for pollution and climate. *Lancet Planet Health*. 2018;2(10):e415-6. DOI: 10.1016/S2542-5196(18)30189-X
- Cortez-Lugo M, Téllez-Rojo MM, Gómez-Dantés H, Hernández-Ávila M. Tendencia de los niveles de plomo en la atmósfera de la zona metropolitana de la Ciudad de México: 1988-1998. *Salud Publica Mex*. 2003;45:196-202. DOI: 10.1590/S0036-36342003000800005
- Bautista-Arredondo LF, Trejo-Valdivia B, Estrada-Sánchez D, Tamayo-Ortiz M, Cantoral A, Figueroa JL, et al. Intoxicación infantil por plomo en México: otras fuentes de exposición más allá del barro vidriado (Ensanut 2022). *Salud Publica Mex*. 2023;65:s197-203. DOI: 10.21149/14798
- Lanphear BP, Rauch S, Auinger P, Allen RW, Hornung RW. Low-level lead exposure and mortality in US adults: a population-based cohort study. *Lancet Public Health*. 2018;3(4):e177-84. DOI: 10.1016/S2468-2667(18)30025-2
- Scanlon BR, Fakhreddine S, Rateb A, de Graaf I, Famiglietti J, Gleeson T, et al. Global water resources and the role of groundwater in a resilient water future. *Nat Rev Earth Environ*. 2023;4(2):87-101. DOI: 10.1038/s43017-022-00378-6
- Bazán Barrón S. Génesis y deposición de los yacimientos de molibdeno y uranio del Distrito de Villa Aldama, Chihuahua. *Bol Soc Geol Mex*. 1978;39(2):25-33. DOI: 10.18268/BSGM1978v39n2a3
- National Research Council (US) Committee on Health Risks of Exposure to Radon (BEIR VI). Health effects of exposure to radon: BEIR VI. Washington, Estados Unidos: National Academies Press; 1999. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK233262>
- Lerma-Treviño C, Rubio-Arias H, Colmenero-Sujo LH, De Lourdes-Villalba M, Ochoa-Rivero JM. Indoor radon gas (222Rn) levels in homes in Aldama, Chihuahua, Mexico, and the risk of lung cancer. *Int J Environ Res Public Health*. 2018;15(7):1337. DOI: 10.3390/ijerph15071337
- Zhang X, Chen X, Zhang X. The impact of exposure to air pollution on cognitive performance. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2018;115(37):9193-7. DOI: 10.1073/pnas.1801137115
- UNEP [Internet]. Gigiri Nairobi, Kenia: Nuevo estudio vincula la contaminación del aire con la pérdida de inteligencia UNEP; 2018. Disponible en: <http://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/nuevo-estudio-vincula-la-contaminacion-del-aire-con-la-perdida-de>
- Zhou N, Huang Y, Li M, Zhou L, Jin H. Trends in global burden of diseases attributable to lead exposure in 204 countries and territories from 1990 to 2019. *Front Public Health*. 2022;10:1036398. DOI: 10.3389/fpubh.2022.1036398
- OECD [Internet]. París, Francia: Global Forum on Environment: Mainstreaming Gender and Empowering Women for Environmental Sustainability. Disponible en: <https://www.oecd.org/env/global-forum-on-environment-mainstreaming-gender-and-empowering-women-for-environmental-sustainability.htm>
- Perng W, Cantoral A, Soria-Contreras DC, Betanzos-Robledo L, Kordas K, Liu Y, et al. Exposure to obesogenic endocrine disrupting chemicals and obesity among youth of Latino or Hispanic origin in the United States and Latin America: a lifecourse perspective. *Obes Rev*. 2021;22(Suppl 3):e13245. DOI: 10.1111/obr.13245
- Gunier RB, Deardorff J, Rauch S, Bradshaw PT, Kogut K, Sagiv S, et al. Residential proximity to agricultural pesticide use and risk-taking behaviors in young adults from the CHAMACOS study. *Environ Res*. 2022;215:114356. DOI: 10.1016/j.envres.2022.114356
- Hart LB, Walker J, Beckingham B, Shelley A, Alten Flagg M, Wischusen K, et al. A characterization of personal care product use among undergraduate female college students in South Carolina, USA. *J Expo Sci Environ Epidemiol*. 2020;30(1):97-106. DOI: 10.1038/s41370-019-0170-1
- Marmot M. The social environment and health. *Clin Med*. 2005;5(3):244-8. DOI: 10.7861/clinmedicine.5-3-244
- CONEVAL [Internet]. México: Medición de la pobreza. Índice de rezago social 2020. Disponible en: [https://www.coneval.org.mx/Medicion/IRS/Paginas/Indice\\_Rezago\\_Social\\_2020.aspx](https://www.coneval.org.mx/Medicion/IRS/Paginas/Indice_Rezago_Social_2020.aspx)
- Aschner M, Paoliello MM, Tsatsakis A, Bowman AB, Dorea JG, Hartung T, et al. Social Injustice in Environmental Health: A Call for Fortitude. *Environ Res*. 2021 Mar;194:110675. DOI: 10.1016/j.envres.2020.110675