

Aproximación Psicosocial al estudio de la calidad del aire:

Ambiente, Salud y Sociedad
de tres zonas de la Megalópolis

Karina Landeros Mugica. Editora





Sociedad Mexicana de Psicología Social, A. C. (SOMEPSO)

Héctor Manuel Cappello García
Presidente Honorario

Manuel González Navarro
Presidente

Ma. Irene Silva Silva
Secretaria de Finanzas

Salvador Arciga Bernal
Secretario de Organización

Jorge Mendoza García
Secretario de Relaciones Públicas

Juan Soto Ramírez
Secretario de Publicaciones

CONSEJO ACADÉMICO, DE INVESTIGACIÓN y ESTUDIOS PROFESIONALES

Salvador Iván Rodríguez Preciado
Pablo Fernández Christlieb
J. Octavio Nateras Domínguez

Aproximación psicosocial al estudio de la calidad del aire: ambiente, salud y sociedad de tres zonas de la Megalópolis



CONAHCYT
CONSEJO NACIONAL DE HUMANIDADES
CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS



Somepso®



Los derechos exclusivos de la presente edición quedan reservados para todos los países de habla hispana. Queda prohibida su reproducción, parcial o total, por cualquier medio conocido o por conocerse sin el consentimiento por escrito de los legítimos poseedores de derechos.

Sello editorial: Sociedad Mexicana de Psicología Social (SOMEPSO)

Primera edición: abril, 2025

D. R. © 2025 Karina Landeros Mugica

D. R. © 2025 Sociedad Mexicana de Psicología Social (SOMEPSO)

Altar 55, Col. Prados de Coyoacán, Delegación Coyoacán, C.P. 04810, Ciudad de México, México

Diseño editorial e impresión: TINTA NEGRA EDITORES

Formación: Héctor Astorga

Corrección: Ana M. Cadena

Supervisión de producción: Ernesto Iván Mendoza

Avenida del taller 96-28 Col. Tránsito, Alcaldía Cuauhtémoc, C.P. 06820 Ciudad de México

tneditores@gmail.com

ISBN libro impreso 978-607-98044-5-9

ISBN libro digital 978-607-98044-6-6

El presente libro ha sido dictaminado de manera positiva por pares académicos ciegos y externos a través del comité editorial de la Sociedad Mexicana de Psicología Social, quien lo liberó para su publicación al cumplir a cabalidad con los requerimientos académicos establecidos en sus Lineamientos Editoriales.

Fecha de recepción: 20 de enero de 2025
Aprobado para publicación: 24 de abril de 2025

Impreso y encuadernado

Hecho en México

Contenido

Presentación	11
Introducción	15
<i>Karina Landeros Mugica</i>	
SECCIÓN I	
LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN TRES ZONAS METROPOLITANAS DE LA MEGALÓPOLIS: CARACTERÍSTICAS, QUÍMICA ATMOSFÉRICA, PROBLEMÁTICA ACTUAL E IMPACTO A LA SALUD	
1. Contaminantes atmosféricos y gestión de la calidad del aire en México	21
<i>Violeta Mugica Álvarez</i>	
2. Tres zonas metropolitanas de la Megalópolis: Valle de México, Valle de Toluca y Cuernavaca	57
<i>Alma Angélica Neria Hernández, Fernando Millán Vázquez y Alhelí Brito Hernández</i>	
3. Epidemiología. Padecimientos asociados a la contaminación atmosférica en la Zona Metropolitana del Valle de Toluca	89
<i>Víctor Manuel Torres Meza, Ignacio Miranda Guzmán, María de Jesús Mendoza Sánchez, Luis Esteban Hoyo García de Alba y Marco Antonio Montes de Oca González</i>	

4. Enfoques metodológicos para el estudio de la contaminación del aire y la salud poblacional: aplicaciones en la Megalópolis 123
Magali Hurtado Díaz, Eunice E. Félix Arellano, Pamela E. Zúñiga Bello, Julio C. Cruz de la Cruz y Horacio Riojas Rodríguez

SECCIÓN II

DIMENSIONES PSICOSOCIALES DE LA CALIDAD DEL AIRE: PERCEPCIÓN DEL RIESGO, ATRIBUCIÓN CAUSAL, POLÍTICAS PÚBLICAS Y PARTICIPACIÓN CIUDADANA

5. Percepción del riesgo como construcción social. Una mirada a la contaminación ambiental 151
Laura Andrea Sánchez de Jesús
6. Diseño, construcción y aplicación de un instrumento de medición para la percepción social de la calidad del aire 179
Karina Landeros Mugica
7. Percepción psicosocial de la contaminación del aire en tres zonas metropolitanas de la Megalópolis: un estudio aplicado 221
Diana I. Angeles Hernández, Saúl O. Sánchez Carmona, José Manuel Meza Cano y Karina Landeros Mugica
8. De la percepción a la conciencia. Construyendo ciudadanía ambiental ante la contaminación 257
Manuel González Navarro y Javier Rincón Salazar

SECCIÓN III

COMUNICACIÓN Y PARTICIPACIÓN COMUNITARIA: ACCIONES DE MITIGACIÓN Y PROTECCIÓN A LA SALUD FRENTE A LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

9. Elementos de comunicación para promover conductas responsables por la calidad del aire en la Megalópolis del Valle de México 291
Javier Urbina Soria e Isaías Lara Klahr

10. Comunicación digital para una vida mejor en la Megalópolis: calidad del aire y salud	327
<i>Yadira Alatraste Martínez, Miguel Torres Rodríguez, Óscar Hernández Castillo y María Elena Chávez Solís</i>	
11. La promoción de la salud ante la contaminación atmosférica: una propuesta de diseño participativo de materiales con especialistas de salud de la ZMVT	355
<i>Mario Castillo González, Karina Landeros Mugica y Josue Chispán Ornelas</i>	
12. Enseñanza y divulgación de la ciencia: una experiencia educativa en torno al tema de la contaminación atmosférica en el bachillerato	387
<i>Martha Elena Díaz Murillo y Karina Landeros Mugica</i>	
13. La calidad del aire como punto de encuentro entre el derecho a un ambiente sano y el bienestar en infancias y adolescencias de Toltenco	413
<i>Leslie Alicia González Martínez, Leticia Báez Pérez y Karina Landeros Mugica</i>	
Aprendizajes y conclusiones	445

SECCIÓN I

La contaminación atmosférica en
tres zonas metropolitanas de la
Megalópolis: características, química
atmosférica, problemática actual e
impacto a la salud



Fotografía: Karina Landeros Mugica

CAPÍTULO 4

Enfoques metodológicos para el estudio de la contaminación del aire y la salud poblacional: aplicaciones en la Megalópolis

Magali Hurtado Díaz

Instituto Nacional de Salud Pública

Eunice E. Félix Arellano

Instituto Nacional de Salud Pública

Pamela E. Zúñiga Bello

Instituto Nacional de Salud Pública

Julio C. Cruz de la Cruz

Instituto Nacional de Salud Pública

Horacio Riojas Rodríguez

Instituto Nacional de Salud Pública

INTRODUCCIÓN

A diferencia de la investigación clínica, los estudios de salud ambiental investigan los efectos de la población; dicha exposición se puede experimentar a corto plazo (en horas o días) o a largo plazo (durante meses, años o décadas). Estos estudios responden a la pregunta: ¿las sustancias son riesgosas? y, en su caso, a la pregunta ¿de qué magnitud es ese riesgo?

Una de las mayores preocupaciones es la contaminación del aire, debido a sus impactos ambientales, económicos y sociales, entre los que destaca la salud humana. En México, este problema cobró notoriedad desde los años 80, principalmente en la Ciudad de México (CDMX, en ese entonces Distrito Federal) y su zona conurbada; primero por la escasa visibilidad debido a una inusual nube de humo gris o amarillento que cubría la ciudad, y después porque cientos de pájaros cayeron muertos en el asfalto de diversos puntos de la ciudad. Entonces se comenzó a cuestionar si el “smog” también causaba la muerte de niños y ancianos (*El Universal*, 2013, 2019).

A partir de esta preocupación se comenzaron a desarrollar estudios que vinculan los contaminantes del aire, primero, con ausentismo escolar (Romieu *et al.*, 1992) y, después, con síntomas respiratorios (Castillejos *et al.*, 1992), visitas a la sala de urgencia (Romieu *et al.*, 1995), salud respiratoria en niños con asma (Romieu *et al.*, 1996), función pulmonar (Castillejos *et al.*, 1995) y, finalmente, a mediados de los años 90, con un incremento en el riesgo de mortalidad (Borja-Aburto *et al.*, 1998; Borja-Aburto *et al.*, 1997; Castillejos *et al.*, 2000; Loomis *et al.*, 1999; Loomis *et al.*, 1996).

Actualmente, la investigación en estudios de contaminación del aire en México ha avanzado considerablemente, siguiendo dos grandes enfoques para estimar su impacto en la salud poblacional:

1. Estudios epidemiológicos
2. Evaluación de riesgos

Por ello, en este capítulo se presentarán los abordajes utilizados para estimar el impacto de la calidad del aire en la salud de la población, con ejemplos de estudios desarrollados en la Megalópolis del Valle de México.

4.1 ESTUDIOS EPIDEMIOLÓGICOS

La epidemiología ambiental estudia la forma en que los factores relacionados con el entorno o el ambiente, que pueden ser de tipo químico, físico o biológico, afectan a la salud de las poblaciones. Por ello, los estudios epidemiológicos tienen como propósito identificar las condiciones que pueden ser calificadas como “causas” de las enfermedades (Hernández-Ávila, 2017). En este sentido, los estudios epidemiológicos en contaminación del aire se centran en la exposición a sustancias tóxicas en el aire como factor de riesgo a la salud.

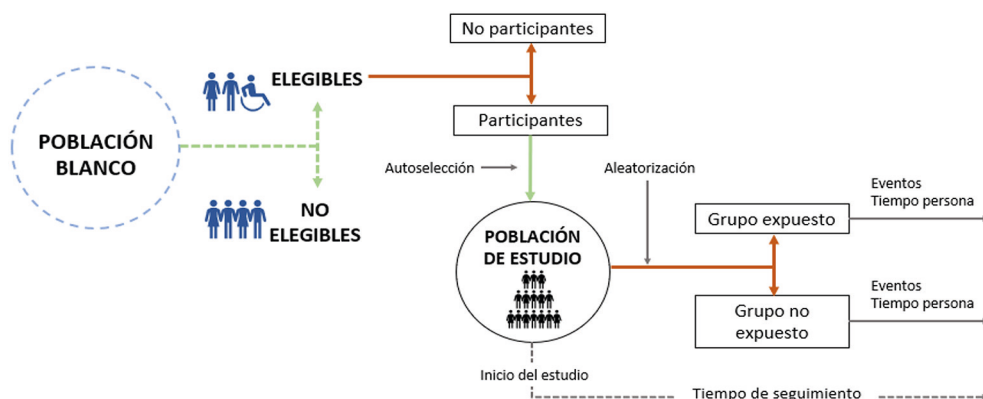
Ensayos clínicos aleatorizados

En términos de validez para evaluar una asociación de causa-efecto, los estudios experimentales o clínicos del tipo “ensayos aleatorizados” proporcionan el máximo grado de evidencia, ya que son prospectivos y controlados, lo que hace posible prevenir múltiples “errores” y lograr alta validez. El objetivo de los ensayos clínicos aleatorizados es estimar la eficacia o efectividad de una exposición o tratamiento potencialmente benéfico para la población.

Para ello, primero se define la población blanco, que es aquella sobre la cual se pretende extrapolar los resultados del estudio. Con esta población definida, se aplica los criterios de inclusión establecidos por el investigador para definir a la población elegible y en ella seleccionar a los participantes, mediante el muestreo representativo de la población blanco. Posteriormente, a los individuos de la población de estudio se les proporciona de manera aleatoria un tratamiento o placebo, en función de la exposición asignada (figura 4.1).

De este modo, se conforman grupos de personas expuestas (tratamiento) o no expuestas (placebo) a las que se les sigue en el tiempo para documentar la ocurrencia del evento de interés y los posibles cambios en otras características (Lazcano-Ponce *et al.*, 2004).

Figura 4.1. Ensayos clínicos aleatorizados



Fuente: adaptado de Hernández-Ávila (2017).

En la epidemiología ambiental, los ensayos clínicos aleatorizados son poco frecuentes y, por lo general, se utilizan para evaluar intervenciones orientadas a

reducir los efectos adversos de las exposiciones ambientales. Un ejemplo de ensayo comunitario aleatorizado fue el estudio llevado a cabo por Romieu *et al.* (2009) en el estado de Michoacán, ubicado en el centro occidente de México, en donde se evaluó el impacto en la salud por la reducción de la contaminación del aire en interiores. El estudio consistió en la asignación aleatoria al tratamiento, que en este caso fue recibir la estufa Patsari, un modelo que reduce las emisiones de contaminantes y ahorra leña, o mantener su fogón tradicional.

Al inicio del estudio se aplicaron cuestionarios, espirometrías y pruebas clínicas para conocer la situación basal de las participantes. Después, durante el periodo de seguimiento, en visitas mensuales, se obtuvo información de signos y síntomas respiratorios de los últimos 15 días por medio de cuestionarios y se aplicaron pruebas espirométricas para obtener mediciones de la función pulmonar. Los resultados mostraron que las mujeres que usaron principalmente la estufa Patsari tuvieron un riesgo significativamente menor de sufrir síntomas respiratorios en comparación con las no usuarias (Romieu *et al.*, 2009).

Estudios observacionales de cohorte

Después de los ensayos clínicos, los *estudios observacionales* de cohorte se consideran los más adecuados para hacer inferencias causales por la temporalidad entre la ocurrencia de la exposición y la observación de la ocurrencia del evento. Los estudios de cohorte pueden ser prospectivos o retrospectivos.

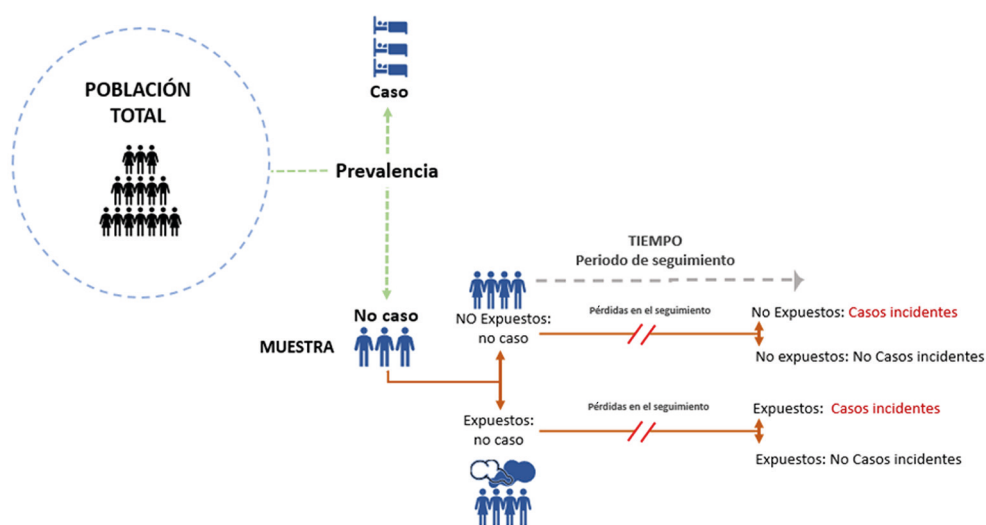
La observación de forma prospectiva es la característica principal del estudio clásico de cohorte, pero existe también el diseño de cohorte retrospectivo. En los estudios de cohorte retrospectiva, o también llamada histórica, se reconstruye la experiencia de una cohorte en el tiempo a partir de datos medidos en el pasado, sin embargo, su empleo es poco común, ya que la validez del estudio depende en gran medida de la existencia y calidad de los datos disponibles; por otra parte, en las cohortes prospectivas, los datos se recolectan para que el investigador pueda controlar la calidad de las mediciones y de la exposición del evento (Hernández-Ávila, 2017).

En los estudios de cohorte la unidad de observación y análisis es el individuo; se caracterizan porque la selección de los sujetos en riesgo de padecer el evento de interés se realiza en función de la presencia o ausencia de la exposición. Es decir, se selecciona a un grupo expuesto y a un grupo no-expuesto y ambos se siguen en el tiempo para comparar la ocurrencia del evento de interés (figura 4.2).

Las cohortes prospectivas son semejantes a los ensayos clínicos aleatorizados, en el sentido de que los sujetos de estudio se siguen en el curso de la exposición

hasta la aparición del evento que interesa, pero, a diferencia del ensayo clínico aleatorizado, donde el investigador asigna la exposición, en los estudios de cohorte el investigador observa a los sujetos después de ocurrida la exposición (Hernández-Ávila, 2017).

Figura 4.2. Estudio de cohorte prospectiva



Fuente: elaboración propia.

La CDMX tiene una larga y rica historia de estudios de cohorte, como el estudio ELEMENT (Early Life Exposures In Mexico To Environmental Toxicants) que inició hace 30 años con una cohorte de nacimiento para estudiar los efectos del plomo en la salud materno-infantil (Perng *et al.*, 2019). Al presente, ELEMENT ha seguido a tres cohortes de nacimiento en la CDMX. El estudio PROGRESS (Programming Research in Obesity, Growth, Environment and Social Stressors) es otra cohorte que se lleva a cabo desde 2007 en la CDMX, mediante una colaboración entre investigadoras e investigadores de los Institutos Nacionales de Salud Pública (INSP) y Perinatología (INPer) de México y la Escuela de Medicina Icahn en Mount Sinai de Estados Unidos (National Institute of Environmental Health Sciences, 2020).

En el estudio PROGRESS se reclutaron 1,054 mujeres embarazadas que acudieron a unidades médicas del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) y se han seguido en el tiempo junto con sus hijos; actualmente, sus hijos son adolescentes.

En cada periodo de seguimiento se ha recolectado la información sociodemográfica, antropométrica y/o muestras biológicas de los binomios madre-hijo.

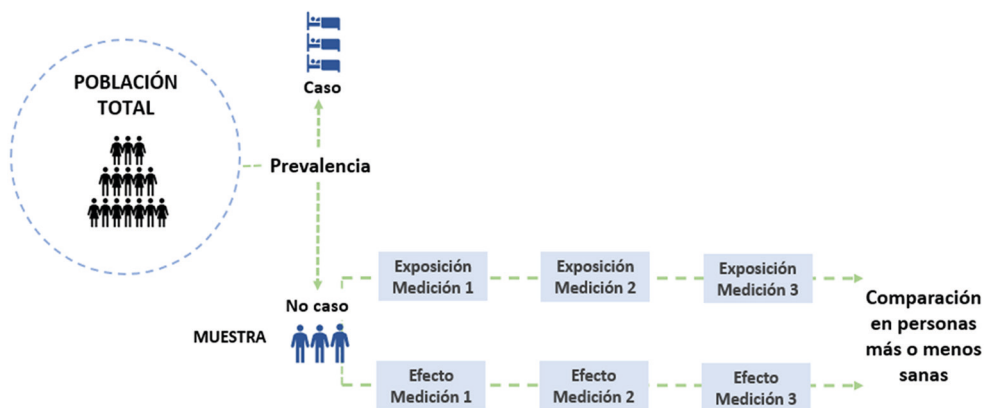
Con datos de PROGRESS, Hurtado-Díaz y colaboradores (Hurtado-Díaz *et al.*, 2021) evaluaron la asociación entre la exposición prenatal a partículas $PM_{2.5}$ y el neurodesarrollo de niños a los dos años. Para ello, se estudiaron 740 binomios madre-hijo que cumplieron con determinados criterios de inclusión, como tener la estimación de la exposición a $PM_{2.5}$ de la madre durante el embarazo y al menos una prueba de neurodesarrollo en el niño (aplicada desde los seis meses y cada semestre hasta los dos años de edad); se observó que el incremento en la exposición a $PM_{2.5}$ en el embarazo disminuyó los componentes de desarrollo cognitivo, de lenguaje y motor en sus hijos.

Estudios de panel

Son una variante de los estudios de cohorte; su principal diferencia radica en el tiempo de seguimiento y el número de mediciones del evento de interés y/o de la exposición que se realizan. Mientras que en los estudios de cohorte los individuos se siguen durante años, en los estudios de panel el tiempo de seguimiento suele ser más corto, los individuos se siguen durante meses o inclusive semanas. Asimismo, en los estudios de panel se realizan mediciones individuales repetidas para observar cómo el evento en salud cambia en función de la variación en la exposición (figura 4.3). Este diseño es adecuado para el estudio de efectos agudos o de problemas de salud con cortos periodos de latencia y de exposiciones ambientales que varían en el tiempo (Hernández-Ávila, 2017).

Un ejemplo es el Estudio de Emisiones Vehiculares y Asma (EVA), un estudio de panel dinámico conformado entre junio de 2003 y junio de 2005 por escolares con asma y sin asma, residentes en la zona sureste de la CDMX. Su propósito fue evaluar el efecto de la exposición a contaminantes atmosféricos relacionados con el tráfico, como $PM_{2.5}$, dióxido de nitrógeno (NO_2) y carbono elemental (CE) en la inflamación e hiperreactividad de las vías respiratorias. Entre otros resultados, se observó que la exposición a $PM_{2.5}$ se asocia a la inflamación aguda de las vías respiratorias y a una disminución de la función pulmonar en niños con y sin asma (Barraza-Villarreal *et al.*, 2008).

Figura 4.3. Estudio de panel



Fuente: elaboración propia.

Estudios de casos y controles

En los estudios de casos y controles se selecciona una muestra de la población de estudio con base en la presencia (caso) o ausencia (control) del evento en salud de interés (Tenny *et al.*, 2023).

La diferencia entre el estudio de casos y controles y el de cohorte es que en los primeros se parte del evento y no de la exposición. La exposición se reconstruye de manera retrospectiva. Una vez establecidos ambos grupos, los investigadores analizan de forma retrospectiva una o más exposiciones presentadas en ambos grupos; esto a fin de encontrar aquellas de mayor frecuencia en los casos en comparación con los controles y, posteriormente, plantear la hipótesis relacionada al evento de interés (Tenny *et al.*, 2023). El estudio de casos y controles se emplea con mayor frecuencia en el abordaje de enfermedades poco comunes (Alexander *et al.*, 2008; Soto y Cvetkovic-Vega, 2020).

A diferencia de los estudios de cohorte, el estudio de casos y controles se basa en la selección de los sujetos de estudio con base en la presencia o ausencia del evento de interés y no en relación con la exposición (figura 4.4) (Lazcano-Ponce *et al.*, 2001). Su realización tiene desventajas: demanda de tiempo y recursos financieros considerables; se puede presentar sesgo de recuerdo y sesgo de selección; y no es un estudio apropiado para exposiciones raras (Lutsey, 2023; Soto y Cvetkovic-Vega, 2020).

Figura 4.4. Estudio de casos y controles



Fuente: elaboración propia.

Pérez-Padilla *et al.* (1996) utilizaron el diseño de casos y controles para evaluar el riesgo de cocinar con estufas de leña tradicionales en la ocurrencia de bronquitis crónica y de la obstrucción crónica de las vías respiratorias de mujeres mayores de 40 años. Se obtuvieron los casos de sujetos que acudieron al hospital de alta especialidad de enfermedades respiratorias en la CDMX; se observó que el riesgo de estos padecimientos se incrementa con las horas-año de cocinar con una estufa de leña (Pérez-Padilla *et al.*, 1996).

Respecto al uso de este diseño en estudios de contaminación del aire ambiente, Chilian-Herrera *et al.* (2021) desarrollaron un análisis de casos y controles con datos provenientes de la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición (ENSANUT) realizada en 2012 (Gutiérrez *et al.*, 2012) y un estudio de diseño transversal que se discutirá en la siguiente sección.

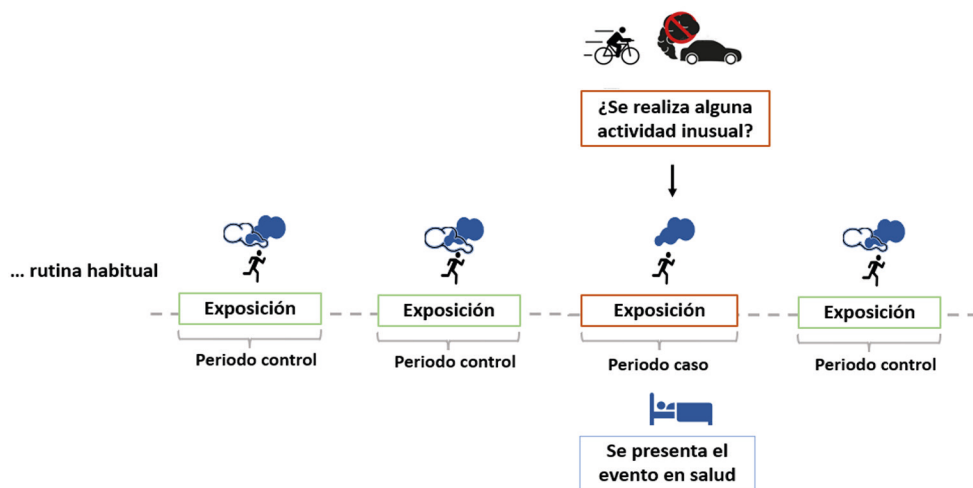
Los autores seleccionaron 121 casos de sujetos ≥ 20 años que informaron en la encuesta haber tenido un diagnóstico de diabetes mellitus (DM); para cada caso se seleccionaron cuatro controles (480 controles en total) de la misma base poblacional sin diagnóstico de DM. Los casos y los controles se parearon por edad (+ 1 año) y sexo sin reemplazo y se analizó su exposición a $PM_{2.5}$ como factor de riesgo para DM tipo II. La exposición se estimó mediante un modelo híbrido satelital considerando la fecha de diagnóstico. Los resultados mostraron asociaciones positivas,

pero no estadísticamente significativas entre los niveles de $PM_{2.5}$ y el riesgo de padecer DM (Chilian-Herrera *et al.*, 2021).

Estudios de casos cruzados (*case-crossover*)

Una variante de los estudios de casos y controles son los estudios de casos cruzados, en los que el individuo-caso es su propio control. Consisten en realizar la comparación de la exposición del individuo en diferentes momentos en el tiempo, previo al desarrollo del evento (periodo control) y durante el intervalo de tiempo en que ocurrió el evento (periodo caso) (figura 4.5). De esta manera cada individuo es su propio control y lo que varía es el momento de la exposición. Este diseño se utiliza en exposiciones que cambian en el tiempo y de corta duración (Hernández-Ávila, 2017).

Figura 4.5. Estudio de casos cruzados (*case-crossover*)



Fuente: elaboración propia.

Un ejemplo de ello es el estudio de Carbajal-Arroyo *et al.* (2011), en el que evaluaron la asociación entre la exposición a partículas PM_{10} y ozono (O_3) en infantes residentes de la CDMX y la mortalidad (por todas las causas y por causas respiratorias) ocurrida entre enero de 1997 y diciembre de 2005, observando un incremento en el riesgo de mortalidad asociado a dichas exposiciones, principalmente por

causas respiratorias en infantes de niveles socioeconómicos medio y bajo (Carbal-Arroyo *et al.*, 2011).

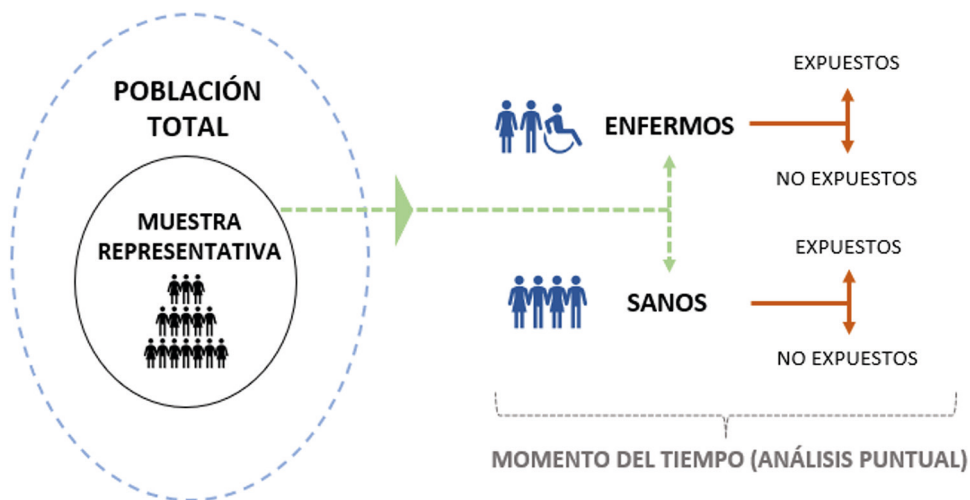
También, Gutiérrez-Ávila *et al.* (2023) utilizaron este diseño para evaluar la ocurrencia de 1,479,950 muertes y la exposición a $PM_{2.5}$ estimada con un modelo satelital, entre 2004 y 2019 en la Zona Metropolitana de la CDMX. Este estudio asoció la exposición a $PM_{2.5}$ con causas de mortalidad específicas, que incluyen los sistemas cardiovascular, respiratorio, digestivo y genitourinario (Gutiérrez-Ávila *et al.*, 2023).

Estudios transversales

También llamados encuestas transversales, son un diseño observacional que selecciona una muestra representativa de una población de estudio para obtener información y medir una o más características o enfermedades en un punto específico en el tiempo. En el caso de un diseño de investigación transversal descriptivo se estudia la frecuencia y distribución de un evento de salud, mientras que en los estudios transversales analíticos se tiene una variable de resultado (evento en salud) y una o más variables de exposición que se determinan de manera simultánea en los sujetos de estudio, con el propósito de explorar hipótesis de investigación (figura 4.6) (Hernández Ávila, 2007; Hernández y Velasco-Mondragón, 2000).

Los estudios transversales permiten visualizar y valorar tendencias; facilitan la generación de hipótesis sobre exposición a mala calidad del aire asociadas a eventos en salud; resultan ideales para el estudio de enfermedades crónicas frecuentes; su costo es bajo; son fácilmente reproducibles; y no suelen generar problemas éticos. Por otro lado, no son útiles para enfermedades raras; se basan en casos prevalentes; pueden no ser representativos de la práctica clínica habitual; podrían generar confusión en la dirección de la asociación; son sensibles al sesgo de selección y memoria; y pueden subestimar o sobrestimar la prevalencia del evento en salud de interés (Álvarez-Hernández y Delgado-De la Mora, 2015; Conejero y García, 2023).

Figura 4.6. Estudios transversales



Fuente: elaboración propia.

En el contexto de calidad del aire y salud pública, se caracteriza por analizar la exposición a determinado contaminante del aire y la ocurrencia de un evento en salud, como la mortalidad o morbilidad; una vez identificada la población de análisis, se hace una medición en el tiempo en cada sujeto dentro del estudio. Un ejemplo del diseño transversal acotado al ámbito de la salud pública y la calidad del aire es el desarrollado por Téllez-Rojo *et al.* (2020) con datos de la ENSANUT de los años 2006 y 2012 para analizar la asociación entre la exposición a $PM_{2.5}$ derivada de datos satelitales y síntomas respiratorios agudos (SRA) en niños ≤ 9 años residentes en la Zona Metropolitana de la CDMX. Los resultados sugieren que las $PM_{2.5}$ son un factor de riesgo para la prevalencia de SRA en niños (Téllez-Rojo *et al.*, 2020).

Estudios ecológicos

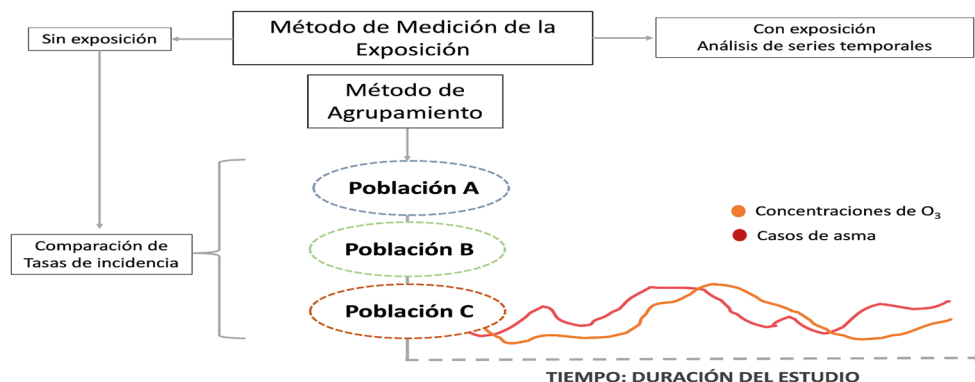
Como hemos visto hasta ahora, la unidad de análisis en los diseños de estudios epidemiológicos experimentales (ensayo clínico aleatorizado) y observacionales (cohorte, casos y controles, y transversales) es el individuo. A diferencia de estos diseños, en los estudios ecológicos la unidad de observación y análisis es grupal, es decir, que las características de interés (enfermedades, exposiciones u otras) se

analizan a nivel agregado, como es el caso de población con base en el lugar de residencia o lugar de nacimiento, a su nivel socioeconómico u ocupación. El objetivo de los estudios ecológicos es investigar la frecuencia de enfermedades u otros eventos en salud en varios grupos de individuos, o en el mismo grupo, a través del tiempo (Borja-Aburto, 2000).

Los estudios ecológicos pueden ser exploratorios o analíticos. En los primeros no se incluye la exposición y se comparan tasas de enfermedad en un mismo periodo. Mientras que los analíticos usualmente comparan las distribuciones y correlacionan variables de exposición con causas de enfermedad o muerte en un grupo de individuos a través del tiempo (figura 4.7). A estas variables agregadas se les conoce como medidas ecológicas, las cuales se pueden obtener a partir de medidas individuales expresadas en conjunto (promedios, proporciones, prevalencias, etc.); por medio de mediciones ambientales (e.g. niveles de exposición o concentración a un agente); o como medidas globales (e.g. densidad poblacional o tasas de eventos de salud). Dependiendo de si las medidas ecológicas se complementan o no con información individual, el análisis de los datos da lugar a clasificaciones:

- Análisis completamente ecológico, el cual sólo incluye medidas ecológicas sin detalle a nivel individual. Por ejemplo, estudio en el que se tienen variables agregadas, como conteos diarios de mortalidad por municipio y exposición a contaminantes atmosféricos agregada por municipio.
- Análisis parcialmente ecológico, en los que se cuenta con información de algunas variables a nivel individual, pero es mayoritariamente agregada. Por ejemplo, estudio en el que se tienen variables de edad, sexo u otras variables a nivel individual, pero con exposiciones a contaminantes atmosféricos de manera agregada por municipio.
- Análisis multinivel, en el que se tiene información agrupada e individual con la que se pueden examinar las relaciones conjuntas a ambos niveles.

En cualquiera de estas tres clasificaciones se generan hipótesis sobre la asociación entre exposiciones y eventos en salud, pero no se hacen inferencias a nivel individual (Hernández-Ávila, 2007).

Figura 4.7. *Estudios ecológicos de series de tiempo*

Fuente: elaboración propia.

Estudios ecológicos de series de tiempo

Cuando un estudio ecológico tiene su unidad de análisis identificada en el tiempo, se construyen *series de tiempo* que muestran la correlación entre las variables de interés, con la finalidad de identificar variaciones estacionales y tendencias, así como predicciones futuras del comportamiento de las variables (figura 4.7).

Un ejemplo es el Estudio de Salud y Contaminación del Aire en Latinoamérica (ESCALA), uno de los primeros estudios multi-ciudad que incluye la CDMX, Monterrey y Toluca. Su objetivo fue examinar la asociación entre la exposición a PM_{10} y O_3 , y la mortalidad por todas las causas no accidentales y por causas específicas en diferentes grupos de edad, utilizando protocolos para estandarizar los métodos y obtener información comparable y sujeta a actualización. Los resultados confirmaron la asociación positiva y estadísticamente significativa entre las PM_{10} y la mortalidad por todas las causas, por causas cardiovasculares y Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC), además de que las personas de menor nivel socioeconómico presentaron un mayor riesgo de muerte por causas respiratorias, particularmente EPOC (O'Neill *et al.*, 2008).

4.2 ESTUDIOS DE EVALUACIÓN DE RIESGOS

Evaluación de riesgos para la salud

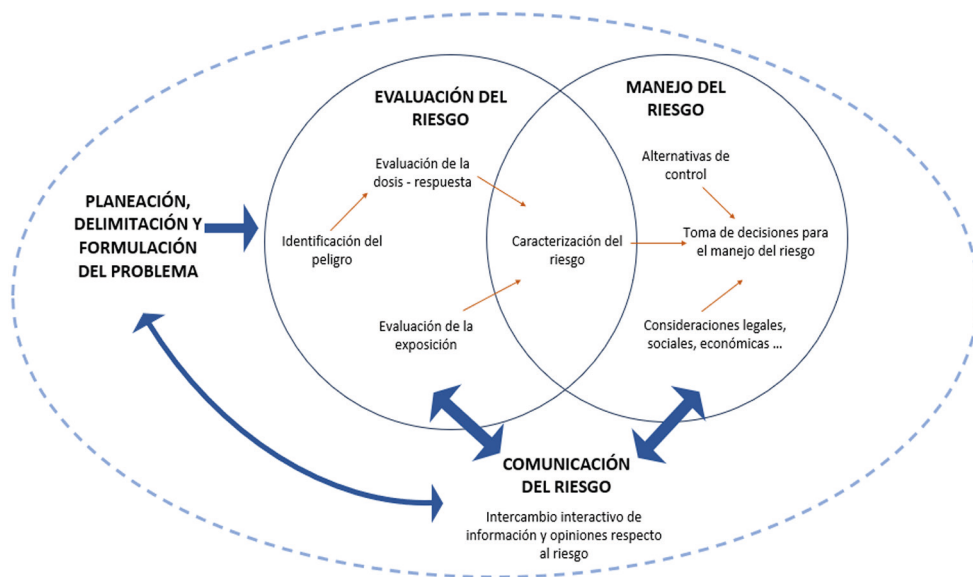
Mientras que en los estudios epidemiológicos se cuantifica el riesgo de desarrollar un efecto adverso en salud por la exposición a un contaminante atmosférico, al compararlo con un grupo no expuesto o de menor exposición (Franco & Napoli, 2017), en la evaluación de riesgos para la salud se compara la exposición de la población contra un parámetro de exposición aceptable; es decir, una concentración a la que la población, incluidos los subgrupos sensibles, puede exponerse y es poco probable que presente efectos adversos durante toda la vida (US Environmental Protection Agency [USEPA], 2016). En estos casos, se utiliza información que proviene de estudios epidemiológicos y toxicológicos, en los que las asociaciones ya están establecidas.

La evaluación de riesgos para la salud es un proceso que permite la “caracterización sistemática y científica de los potenciales efectos adversos en la salud resultantes de la exposición humana a agentes o situaciones peligrosas”¹ (Faustman y Omenn, 2015). En este sentido, permite estimar la naturaleza y la probabilidad (y la magnitud) de los efectos adversos para la salud de la población, derivados de la exposición presente o futura a la contaminación del aire (USEPA, 2017).

Antes de iniciar la evaluación de riesgos es necesario realizar la *Planeación, delimitación y formulación del problema* (figura 4.8) para definir el contexto y la preocupación de interés (e.g. exposición a uno o más contaminantes atmosféricos), los actores o partes que deben participar, el tiempo y los recursos necesarios, así como el alcance de la evaluación (qué se incluirá y qué no se incluirá) y el uso previsto de sus resultados. Incluye la construcción de un modelo conceptual para representar la relación entre el factor estresante y sus efectos en la salud; éste será la base para el plan de análisis de la evaluación (e.g. métodos, insumos, resultados previstos) (USEPA, 2002, 2014).

¹ Peligros ambientales como agentes o estresores químicos, físicos, biológicos, etcétera.

Figura 4.8. Paradigma de la evaluación de riesgos para la salud



Fuente: adaptado de (USEPA, 2023).

La evaluación de riesgos inicia con la *identificación del peligro*, que permite establecer si la exposición a un agente puede ocasionar daños a la salud humana y, de ser así, en qué circunstancias. Se basa en la recopilación y revisión de la información científica disponible (e.g. epidemiológica, toxicológica), así como la ponderación de su calidad e identificación de incertidumbres² (Evans *et al.*, 2010; Suter *et al.*, 2017; USEPA, 2022).

Posteriormente, en la *evaluación de la dosis-respuesta o concentración-respuesta*³ se identifican cuáles son los efectos salud (respuestas) a diferentes niveles de exposición al agente (dosis o concentración), es decir, que consiste en la determinación numérica de la relación entre una exposición y sus efectos. Esta información puede estar disponible en el Sistema Integrado de Información de Riesgos (IRIS) de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA). Dado que con

² Entendida como la ausencia de información, que puede obtenerse o no; está relacionada con la falta de conocimiento sobre uno o más componentes de la evaluación.

³ Cuando la exposición es una concentración (e.g. concentraciones de contaminantes en el aire), la relación se denomina "concentración-respuesta".

frecuencia no se cuenta con datos de dosis o concentración-respuesta para humanos, se hace uso de los datos disponibles en animales para hacer inferencias sobre el peligro potencial para los humanos (extrapolaciones), con su respectiva descripción de incertidumbres (USEPA, 2022).

En la *evaluación de la exposición* se determina la magnitud, frecuencia y duración de la exposición al agente, así como la caracterización de los tipos de poblaciones humanas expuestas; se identifican las fuentes de dónde proviene el agente, las rutas (camino del agente desde el origen hasta que hace contacto con las personas) y vías de exposición (medios por los cuales entra el cuerpo), así como la incertidumbre en la evaluación. Además, combina la información de escenarios de exposición, concentraciones, patrones de actividad y otros factores de exposición para obtener una estimación cuantitativa de la exposición (USEPA, 2019, 2022).

La *caracterización del riesgo* integra las etapas anteriores para estimar la probabilidad de que ocurra un efecto adverso identificado (cancerígenos y/o no cancerígenos) en la población expuesta. Debe reafirmar el alcance de la evaluación, expresar los resultados claramente, describir las suposiciones e incertidumbres, así como incluir interpretaciones alternativas razonables (USEPA, 2022).

El *manejo del riesgo* se basa en los resultados de la caracterización del riesgo para la propuesta y evaluación de alternativas para proteger la salud pública; asimismo, integra otras consideraciones legales, económicas, sociales y tecnológicas en la toma de decisiones sobre la necesidad y la viabilidad de implementar la(s) alternativa(s) para la reducción de riesgos (USEPA, 2023).

En la figura 4.8, se observa la *comunicación del riesgo* en la planeación, evaluación y manejo de riesgos; está orientada para abordar las necesidades y objetivos de los actores o partes (comunidades, individuos, empresas, tomadores de decisiones, etc.) y mejorar la evaluación. Además, contribuye a que los tomadores de decisiones comprendan y utilicen mejor los resultados y emitan juicios informados sobre los riesgos para la salud de la población y el ambiente (USEPA, 2014).

Vega *et al.* (2022) realizaron una evaluación de riesgos para la salud por la exposición a benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos (BTEX) a través del aire, en el estado de Hidalgo (Jasso y Tepeji) y en la CDMX (Merced y Pedregal) en 2006. De acuerdo con el Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer (IARC), el benceno es un carcinógeno del Grupo 1 y el etilbenceno un posible carcinógeno del Grupo 2B, por lo que se estimó el riesgo de cáncer de por vida para estos compuestos, en tanto que los riesgos no cancerígenos se evaluaron para todos los BTEX; ambas estimaciones se realizaron en adultos y niños.

El estudio siguió los métodos de la EPA y sus recomendaciones de un límite de seguridad aceptable para el riesgo de cáncer de por vida (LCR) inferior a

10×10^{-6} y un límite de riesgo umbral superior a 1.0×10^{-4} como LCR inaceptable. Entre los resultados, los autores reportan que el rango de LCR para el benceno fue de 1.8×10^{-6} a 1.5×10^{-5} para niños, y de 7.3×10^{-6} a 6.1×10^{-5} para adultos, considerando todos los sitios de muestreo; es decir, que se excedió el nivel de riesgo mínimo aceptable, pero no representan un riesgo de cáncer inaceptable (Vega *et al.*, 2022).

Finalmente, la evaluación de riesgos para la salud presenta limitaciones al condensar datos con incertidumbres y hacer suposiciones a partir de las cuales se establecen inferencias para toda una población. No obstante, sus resultados se basan en la mejor información científica disponible, por lo que constituyen una herramienta útil para la toma de decisiones (Evans *et al.*, 2010).

Evaluación de impacto en salud

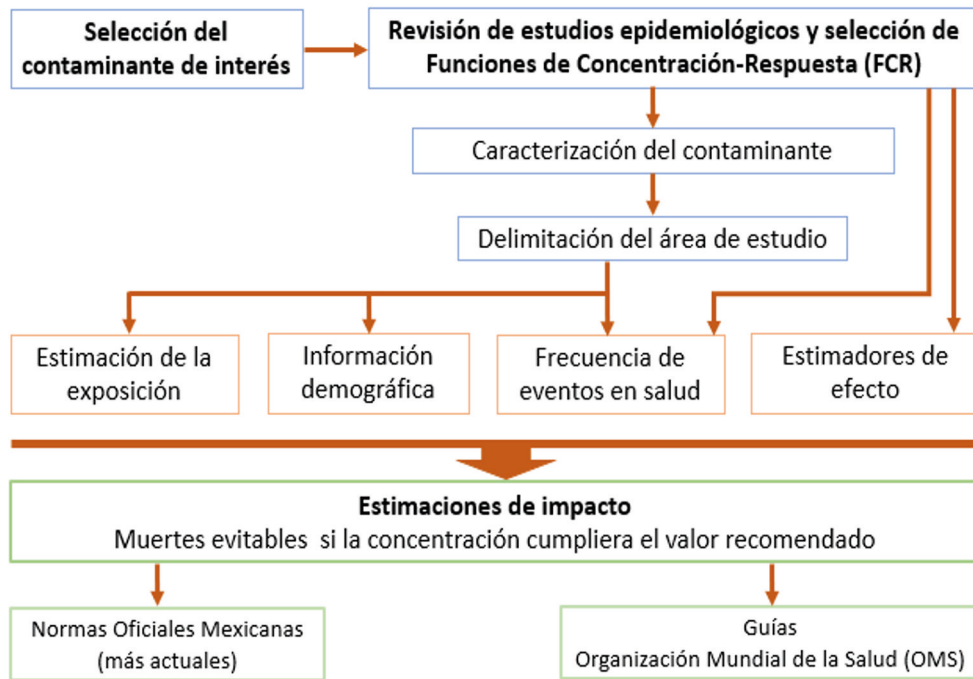
La evaluación de impacto en salud (EIS) es “una combinación de procedimientos, métodos y herramientas que permiten evaluar los potenciales efectos de una política, un programa o proyecto en la salud de una población, y la distribución de los potenciales efectos dentro de ella” (World Health Organization [WHO], 2024b). Su propósito principal es generar recomendaciones útiles sobre las alternativas y mejoras en la prevención de enfermedades y promoción de la salud (Medina *et al.*, 2013). En sentido estricto, la EIS es una modalidad de evaluación de riesgos que es utilizada frecuentemente en los programas de gestión de calidad del aire, incluyendo el establecimiento de normas y metas.

En el ámbito de calidad del aire y salud pública, la EIS inicia con la selección del contaminante a evaluar (e.g. PM_{10} , $PM_{2.5}$, O_3) y un efecto en salud de interés (e.g. mortalidad). Después se realiza una búsqueda y revisión de estudios epidemiológicos para seleccionar una Función Concentración-Respuesta (FCR), que es una estimación derivada de estudios epidemiológicos que asocian el cambio en el número de casos de efectos adversos para la salud en una población por cada unidad de cambio en la concentración de contaminantes observado en esa población (Boldo *et al.*, 2011). Posteriormente, se define la zona de estudio; su delimitación puede estar restringida por la cobertura y el monitoreo del contaminante.

El siguiente paso consiste en estimar los datos de exposición para la población de estudio. Los datos de exposición y frecuencia del evento en salud, al igual que los datos poblacionales (e.g. información demográfica para el periodo de estudio) se integrarán en una base de datos con el propósito de calcular la mortalidad atribuible y la evitable bajo diferentes escenarios de exposición, por ejemplo, si la población no estuviera expuesta a concentraciones por arriba de los valores esta-

blecidos en las Normas Oficiales Mexicanas o en el valor guía recomendado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) (Boldo *et al.*, 2011; WHO, 2000).

Figura 4.9. *Evaluación de Impacto en Salud*



Fuente: elaboración propia con base en WHO (2000).

Un ejemplo de EIS es la desarrollada por Texcalac-Sangrador *et al.* (2021) para estimar el impacto en salud de la exposición O_3 en 14 ciudades mexicanas para el año 2015. En este análisis se estudió la exposición a largo plazo a O_3 troposférico y la mortalidad por enfermedad respiratoria en personas mayores de 30 años. De acuerdo con los autores, 627 muertes se pudieron evitar en el área de estudio, si la población nunca hubiera estado expuesta, en el año 2015, a concentraciones por arriba de 35 ppb (partes por billón), que es la directriz de la OMS (Texcalac-Sangrador *et al.*, 2021). La OMS cuenta con una herramienta para la EIS denominada AirQPlus. Con ella se pueden realizar cálculos de mortalidad evitable relacionada con contaminantes atmosféricos, siempre y cuando se cuente con datos confiables de exposición y frecuencia del evento en estudio (WHO, 2024a).

REFLEXIONES FINALES

La epidemiología ambiental, con el uso de sus diferentes diseños, ha sido una poderosa herramienta para generar evidencia científica sobre el riesgo en salud asociado a la exposición a los contaminantes atmosféricos, especialmente sobre los grupos más vulnerables.

En México, se ha generado este tipo de conocimiento desde hace más de 30 años, principalmente acerca de los contaminantes criterio como PM_{10} , $PM_{2.5}$, O_3 , dióxido de nitrógeno (NO_2) y dióxido de azufre (SO_2), pero también de otros como carbono negro o BTEX. Esto ha contribuido a confirmar la asociación entre la exposición a corto y largo plazo a la contaminación del aire y el desarrollo o exacerbación de enfermedades agudas y crónicas, así como la mortalidad por causas respiratorias (e.g. infecciones respiratorias agudas, asma y EPOC) y cardiovasculares (e.g. enfermedades isquémicas del corazón o accidentes cerebrovasculares).

También se ha desarrollado investigación de frontera que ha aportado nuevo conocimiento sobre los efectos de los contaminantes del aire en enfermedades crónicas como la obesidad, diabetes, neurodesarrollo, presión arterial en la primera infancia, lesión renal en niños, función renal preadolescente, ansiedad, depresión y temperamento infantil o adolescente, síndrome metabólico, entre otros. Especialmente la Zona Metropolitana del Valle de México ha sido escenario para el desarrollo de muchos de estos estudios. Los estudios de cohorte, así como los de series de tiempo y las Evaluaciones de Impacto en Salud, han contribuido al conocimiento global de este fenómeno y han estimulado la investigación en otras ciudades y países de Latinoamérica.

Independientemente de los eventos en salud y del diseño de estudio utilizado, los primeros estudios de calidad del aire y salud estimaron la exposición con datos registrados por estaciones de las redes locales de monitoreo de calidad del aire. Con el tiempo se desarrollaron modelos de regresión de uso de suelo que explican la variabilidad de las mediciones de contaminantes en las estaciones de monitoreo, utilizando variables predictoras como la intensidad del tráfico, la distancia a las principales carreteras, la densidad de población, la velocidad del viento, etc., bajo el supuesto de que las concentraciones de un contaminante dependen de características ambientales del área circundante. En los últimos años, la disponibilidad de datos satelitales ha incorporado a estos modelos una mejor representación del área (Zou *et al.*, 2009).

Las características inherentes a cada diseño de estudio epidemiológico aunado a estimaciones más precisas de la exposición a contaminantes del aire y a la recolección de datos de salud a escala individual y/o a una menor escala de agregación

espacio-temporal, contribuyen a tener inferencias más sólidas. Esto se vuelve relevante porque los hallazgos de estudios epidemiológicos de calidad del aire junto con los estudios de evaluación de riesgos brindan conocimiento útil para la formulación de políticas públicas ambientales o de salud.

En este sentido, los estudios epidemiológicos aportan información sobre las concentraciones a las que se expone la población de estudio y su riesgo asociado para la salud. Esta información es relevante en la actualización de las Normas Oficiales Mexicanas para evaluar la calidad del aire ambiente de contaminantes criterio, así como en otros instrumentos de gestión de calidad del aire como el Índice Nacional de Aire y Riesgos a la Salud y los Programas de Gestión de Calidad del Aire (ProAires). Y es de importancia, porque como se explicó a lo largo del capítulo, la causalidad de los diseños de estudio epidemiológicos es diferente y en la toma de decisión tienen más relevancia los estudios de mayor causalidad.

Adicionalmente, las evaluaciones de riesgos realizadas por la EPA han contribuido a la toma de decisiones relacionadas con estándares de calidad del aire, normas de emisión de contaminantes atmosféricos peligrosos, restricciones en el uso de pesticidas, remediación de sitios de desechos peligrosos, regulación del uso, almacenamiento y disposición de materiales peligrosos, criterios de calidad para aguas superficiales, entre otros (USEPA, 2014).

La investigación en epidemiología ambiental enfrenta nuevos retos. Esto incluye evaluar los efectos de la exposición a mezclas de contaminantes, la interacción entre los contaminantes atmosféricos y el cambio climático, avanzar en el conocimiento sobre los efectos en salud como disruptores endócrinos, asociación con cáncer en diferentes aparatos y sistemas, estimación de años de vida saludables perdidos, efectos en siguientes generaciones, exposición a partículas ultrafinas, desarrollo de sistemas de vigilancia, evaluación de políticas y programas, entre otros. De ahí la necesidad de continuar con la formación de recursos humanos en esta área, así como la de contar con recursos suficientes, incluyendo el fortalecimiento de laboratorios en toxicología ambiental.

REFERENCIAS

- Alexander, L., Lopes, B., Ricchetti-Masterson, K. y Yeatts, K. (2008). Case-Control Studies. *ERIC Notebook*. UNC Gillings School of Global Public Health.
- Álvarez-Hernández, G., y Delgado-De la Mora, J. (2015). Diseño de Estudios Epidemiológicos. I. El Estudio Transversal: Tomando una Fotografía de la Salud y la Enfermedad. *Bol Clin Hosp Infant Edo Son*, 32(1), 26–34.

- Barraza-Villarreal, A., Sunyer, J., Hernandez-Cadena, L., Escamilla-Nunñez, M. C., Sienna-Monge, J. J., Ramírez-Aguilar, M., Cortez-Lugo, M., Holguin, F., Diaz-Sánchez, D., Olin, A. C. y Romieu, I. (2008). Air pollution, airway inflammation, and lung function in a cohort Study of Mexico City Schoolchildren. *Environmental Health Perspectives*, 116(6), 832–838. <https://doi.org/10.1289/ehp.10926>
- Boldo, E., Linares, C., Lumberras, J., Borge, R., Narros, A., García-Pérez, J., Fernández-Navarro, P., Pérez-Gómez, B., Aragonés, N., Ramis, R., Pollán, M., Moreno, T., Karanasiou, A. y López-Abente, G. (2011). Health impact assessment of a reduction in ambient PM_{2.5} levels in Spain. *Environment International*, 37(2), 342–348. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2010.10.004>
- Borja-Aburto, V. (2000). Estudios ecológicos. *Revista de Salud Pública de México*, 42(6), 533–538.
- Borja-Aburto, V., Castillejos, M., Gold, D., Bierzwinski, S. y Loomis, D. (1998). Mortality and ambient fine particles in southwest Mexico City, 1993-1995. *Environ Health Perspect.*, 106(12), 849–855. <https://doi.org/10.1289/ehp.106-1533229>
- Borja-Aburto, V. H., Loomis, D. P., Bangdiwala, S. I., Shy, C. M. y Rascon-Pacheco, R. A. (1997). Ozone, Suspended Particulates, and Daily Mortality in Mexico City. *American Journal of Epidemiology Copyright C*, 145(3), 258–268. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aje.a009099>
- Carbajal-Arroyo, L., Miranda-Soberanis, V., Medina-Ramón, M., Rojas-Bracho, L., Tzintzun, G., Solís-Gutiérrez, P., Méndez-Ramírez, I., Hurtado-Díaz, M., Schwartz, J. y Romieu, I. (2011). Effect of PM₁₀ and O₃ on infant mortality among residents in the Mexico City Metropolitan Area: A case-crossover analysis, 1997-2005. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 65(8), 715–721. <https://doi.org/10.1136/jech.2009.101212>
- Castillejos, M., Borja-Aburto, V. H., Dockery, D. W., Gold, D. R. y Loomis, D. (2000). Airborne coarse particles and mortality. *Inhalation Toxicology*, 12(SUPPL. 1), 61–72. <https://doi.org/10.1080/0895-8378.1987.11463182>
- Castillejos, M., Gold, D. R., Damokosh, A. I., Serrano, P., Allen, G., McDonnell, W. F., Dockery, D., Ruiz Velasco, S., Hernández, M. y Hayes, C. (1995). Acute Effects of Ozone on the Pulmonary Function of Exercising Schoolchildren from Mexico City. *Am J Respir Crit Care Med*, 152, 1501–1507. <https://doi.org/10.1164/ajrccm.152.5.7582284>
- Castillejos, M., Gold, D. R., Dockery, D., Tosteson, T., Baum, T. y Speizer, F. E. (1992). Effects of Ambient Ozone on Respiratory Function and Symptoms in Mexico City Schoolchildren 1-4. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 145, 276–282. https://doi.org/10.1164/ajrccm/145.2_Pt_1.276

- Chilian-Herrera, O. L., Tamayo-Ortiz, M., Texcalac-Sangrador, J. L., Rothenberg, S. J., López-Ridaura, R., Romero-Martínez, M., Wright, R. O., Just, A. C., Kloog, I., Bautista-Arredondo, L. F. y Téllez-Rojo, M. M. (2021). PM_{2.5} exposure as a risk factor for type 2 diabetes mellitus in the Mexico City metropolitan area. *BMC Public Health*, 21(1). <https://doi.org/10.1186/s12889-021-12112-w>
- Conejero, A. M. y García, M. A. (2023). Epidemiological studies or how should we design our research? (part one). *Angiología*, 75(5), 321–325. <https://doi.org/10.20960/angiologia.00543>
- El Universal. (2019, May 13). *¿Recuerdas cuando en 1987 murieron pájaros en el DF por contaminación?* <https://www.eluniversal.com.mx/metropoli/recuerdas-cuando-en-1987-murieron-pajaros-en-el-df-por-contaminacion/>
- Environmental Protection Agency (EPA). (2023). *Risk Management*. <https://www.epa.gov/risk/risk-management>
- Evans, J., Fernández Bremauntz, A., Ize Lema, I., Yarto Ramírez, M. A., y Zuk, M. (Eds.) (2010). *Introducción al análisis de riesgos ambientales*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales e Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.
- Faustman, E. y Omenn, G. (2015). *Risk assessment*. In Casarett & Doull's *Essentials of Toxicology*. McGraw-Hill Education.
- Franco, F. y Napoli, A. Di. (2017). A Brief Guide to the Measures of Impact Used in Epidemiology and Public Health. *Giornale di Tecniche Nefrologiche e Dialitiche*, 29(3), 207–210. <https://doi.org/10.5301/GTND.2017.17468>
- Gutiérrez-Ávila, I., Riojas-Rodríguez, H., Colicino, E., Rush, J., Tamayo-Ortiz, M., Borja-Aburto, H. y Just, A. C. (2023). Daily exposure to PM_{2.5} and 1.5 million deaths: A time-stratified case-crossover analysis in the Mexico City Metropolitan Area. *MedRxiv*. <https://doi.org/10.1101/2023.01.15.23284576>
- Gutiérrez, J., Rivera-Dommarco, J., Shamah-Levy, T., Villalpando-Hernández, S., Franco, A., Cuevas-Nasu, L., Romero-Martínez, M. y Hernández-Ávila, M. (2012). *Encuesta Nacional de Salud y nutrición 2012. Resultados Nacionales*. Instituto Nacional de Salud Pública.
- Hernández-Ávila, M. (2007). *Epidemiología. Diseño y análisis de estudios*. Editorial Médica Panamericana.
- Hernández, B. y Velasco-Mondragón, H. E. (2000). Encuestas transversales. *Revista de Salud Pública de México*, 42(5), 447–455.
- Hurtado-Díaz, M., Riojas-Rodríguez, H., Rothenberg, S. J., Schnaas-Arrieta, L., Kloog, I., Just, A., Hernández-Bonilla, D., Wright, R. O. y Téllez-Rojo, M. M. (2021). Pre-natal PM_{2.5} exposure and neurodevelopment at 2 years of age in a birth cohort from Mexico City. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 233. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2021.113695>

- Lazcano-Ponce, E., Salazar-Martínez, E., Gutiérrez-Castrellón, P., Ángeles-Llerenas, A., Hernández-Garduño, A. y Luis Viramontes, J. (2004). Ensayos clínicos aleatorizados: variantes, métodos de aleatorización, análisis, consideraciones éticas y regulación. *Salud Pública de México*, 46(6), 559–584.
- Lazcano-Ponce, E., Salazar-Martínez, E. y Hernández-Ávila, M. (2001). Estudios epidemiológicos de casos y controles. Fundamento teórico, variantes y aplicaciones. *Salud Pública de México*, 43(2), 135–150.
- Loomis, D. P., Borja-Aburto, V. H., Bangdiwala, S. I. y Shy, C. M. (1996). Ozone exposure and daily mortality in Mexico City: a time-series analysis. *Research Report (Health Effects Institute)*, 75(75), 1–37. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/8916289/>
- Loomis, D., Castillejos, M., Gold, D. R., McDonnell, W. y Hugo Borja-Aburto, V. (1999). Air Pollution and Infant Mortality in Mexico City. Source: *Epidemiology*, 10(2), 118–123.
- Lutsey, P. L. (2023). Case-control studies: Increasing scientific rigor in control selection. *Research and Practice in Thrombosis and Haemostasis*, 7(2), 1–3. <https://doi.org/10.1016/j.rpth.2023.100090>
- Medina, S., Ballester, F., Chanel, O., Declercq, C. y Pascal, M. (2013). Quantifying the health impacts of outdoor air pollution: Useful estimations for public health action. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 67(6), 480–483. <https://doi.org/10.1136/jech-2011-200908>
- National Institute of Environmental Health Sciences. (2020, December 23). *The Programming Research in Obesity, Growth, Environment and Social Stress (PROGRESS) Cohort*. <https://www.niehs.nih.gov/research/supported/epidemiology/maintaining-cohorts/grantees/progress>
- O'Neill, M. S., Bell, M. L., Ranjit, N., Cifuentes, L. A., Loomis, D., Gouveia, N. y Borja-Aburto, V. H. (2008). Air pollution and mortality in Latin America: The role of education. *Epidemiology*, 19(6), 810–819. <https://doi.org/10.1097/EDE.0b013e3181816528>
- Pérez-Padilla, R., Regalado, J., Vedal, S., Paré, P., Chapela, R., Sansores, R. y Selman, M. (1996). Exposure to biomass smoke and chronic airway disease in Mexican women. A case-control study. *Am J Respir Crit Care Med*, 154, 701–706. <https://doi.org/https://doi.org/10.1164/ajrccm.154.3.8810608>
- Perng, W., Tamayo-Ortiz, M., Tang, L., Sánchez, B. N., Cantoral, A., Meeker, J. D., Dolinoy, D. C., Roberts, E. F., Martínez-Mier, E. A., Lamadrid-Figueroa, H., Song, P. X. K., Ettinger, A. S., Wright, R., Arora, M., Schnaas, L., Watkins, D. J., Goodrich, J. M., Garcia, R. C., Solano-Gonzalez, M., ... Peterson, K. E. (2019). Early Life Exposure in Mexico to Environmental Toxicants (ELEMENT) Project. *BMJ Open*, 9(8), e030427. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2019-030427>

- Romieu, I., Lugo, M. C., Ruiz Velasco, S., Sanchez, S., Meneses, F. y Hernandez, M. (1992). Air Pollution and School Absenteeism among Children in Mexico City. *American Journal Of Epidemiology*, 136(12), 1524–1531. <https://doi.org/https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aje.a116474>
- Romieu, I., Meneses, F., Jose, J., Sienra-Monge, L., Huerta, J., Velasco, S. R., White, M. C., Etzel, R. A. y Hernandez-Avila, M. (1995). Effects of Urban Air Pollutants on Emergency Visits for Childhood Asthma in Mexico City. *American Journal of Epidemiology*, 141(6), 546–553. <https://doi.org/https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aje.a117470>
- Romieu, I., Meneses, F., Ruiz, S., Sienra, J. J., Huerta, J., White, M. C. y Etzel, R. A. (1996). Effects of air pollution on the respiratory health of asthmatic children living in Mexico City. *American journal of respiratory and critical care medicine*, 154(2), 300-307. <https://doi.org/10.1164/ajrccm.154.2.8756798>
- Romieu, I., Riojas-Rodríguez, H., Marrón-Mares, A. T., Schilman, A., Perez-Padilla, R. y Masera, O. (2009). Improved biomass stove intervention in rural Mexico: Impact on the respiratory health of women. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 180(7), 649–656. <https://doi.org/10.1164/rccm.200810-1556OC>
- Sánchez, C. (2013, 28 de julio). Smog: viejo enemigo de la Ciudad. *El Universal*. <https://archivo.eluniversal.com.mx/ciudad-metropoli/2013/smog-viejo-enemigo-de-la-ciudad-938785.html>
- Soto, A. y Cvetkovic-Vega, A. (2020). Estudios de casos y controles. *Revista de La Facultad de Medicina Humana*, 20(1), 138–143. <https://doi.org/10.25176/rfmh.v20i1.2555>
- Suter, G., Cormier, S. y Barron, M. (2017). A weight of evidence framework for environmental assessments: Inferring qualities. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 13(6), 1038. <https://doi.org/10.1002/IEAM.1954>
- Téllez-Rojo, M. M., Rothenberg, S. J., Texcalac-Sangrador, J. L., Just, A. C., Kloog, I., Rojas-Saunero, L. P., Gutiérrez-Avila, I., Bautista-Arredondo, L. F., Tamayo-Ortiz, M., Romero, M., Hurtado-Díaz, M., Schwartz, J. D., Wright, R. y Riojas-Rodríguez, H. (2020). Children's acute respiratory symptoms associated with PM2.5 estimates in two sequential representative surveys from the Mexico City Metropolitan Area. *Environmental Research*, 180. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108868>
- Tenny, S., Kerndt, C. y Hoffman, M. (2023). *Case Control Studies*. In StatPearls [Internet]. StatPearls Publishing.
- Texcalac-Sangrador, J. L., Hurtado-Díaz, M., Félix-Arellano, E. E., Guerrero-López, C. M. y Riojas-Rodríguez, H. (2021). Health and economic impacts assessment of O3 exposure in Mexico. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(21). <https://doi.org/10.3390/ijerph18211646>

- US Environmental Protection Agency (US EPA). (2002). *Lessons Learned on Planning and Scoping for Environmental Risk Assessments*. <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/P1008PP7.PDF?Dockkey=P1008PP7.PDF>
- US Environmental Protection Agency (US EPA). (2014). *Framework for Human Health Risk Assessment to Inform Decision Making*. <https://www.epa.gov/sites/default/files/2014-12/documents/hhra-framework-final-2014.pdf>
- US Environmental Protection Agency (US EPA). (2016). *Risk Communication, Attachment - 6: Useful Terms and Definitions for Explaining Risk*. <https://semspub.epa.gov/work/11/176250.pdf>
- US Environmental Protection Agency (US EPA). (2017). *Introduction to Risk Assessment and EPA's Office of Research and Development*. <http://slideplayer.com/slide/18082896/>
- US Environmental Protection Agency (US EPA). (2019). *Guidelines for Human Exposure Assessment*. In *Risk Assessment Forum*. https://www.epa.gov/sites/default/files/2020-01/documents/guidelines_for_human_exposure_assessment_final2019.pdf
- US Environmental Protection Agency (US EPA). (2022, June). *Conducting a Human Health Risk Assessment*. <https://www.epa.gov/risk/conducting-human-health-risk-assessment#tab-2>
- US Environmental Protection Agency (US EPA). (2023). *The NRC Risk Assessment Paradigm*. <https://www.epa.gov/fera/nrc-risk-assessment-paradigm>
- Vega, E., Ramírez, O., Sánchez-Reyna, G., Chow, J. C., Watson, J. G., López-Veneroni, D. y Jaimes-Palomera, M. (2022). Volatile Organic Compounds and Carbonyls Pollution in Mexico City and an Urban Industrialized Area of Central Mexico. *Aerosol and Air Quality Research*, 22(6), 210386. <https://doi.org/10.4209/AAQR.210386>
- World Health Organization (WHO). (2000). Evaluation and use of epidemiological evidence for environmental health risk assessment. *Environmental health perspectives*, 108(10), 997-1002.
- World Health Organization (WHO). (2024a). *AirQ+ software tool for health risk assessment of air pollution*. <https://www.who.int/europe/tools-and-toolkits/airq---software-tool-for-health-risk-assessment-of-air-pollution>
- World Health Organization (WHO). (2024b). *Health impact assessment*. https://www.who.int/health-topics/health-impact-assessment#tab=tab_1
- Zou, B., Wilson, J. G., Zhan, F. B. y Zeng, Y. (2009). Air pollution exposure assessment methods utilized in epidemiological studies. *Journal of Environmental Monitoring*, 11(3), 475–490. <https://doi.org/10.1039/B8138>

SECCIÓN II

Dimensiones psicosociales
de la calidad del aire: percepción
del riesgo, atribución causal, políticas
públicas y participación ciudadana



Fotografía: Alma Angélica Neria Hernández