

¿Cuánto nos cuesta la contaminación del aire en México?

Impactos en salud y en productividad para 34 ciudades mexicanas

Anexo metodológico

24 de septiembre, 2013



Instituto Mexicano para la Competitividad A.C.

Índice

1. Introducción y objetivos	2
2. Tamaño de la muestra	2
2. Selección del contaminante	2
3. Datos y fuentes	3
4. Supuestos principales	4
5. Funciones concentración-respuesta	5
5.1 Metodología propia para estimar el riesgo relativo	6
5.2 Literatura epidemiológica	7
5.3 Construcción de escenarios	8
6. Cálculo de impactos atribuibles a la contaminación	9
7. Resultados	10
8. Ventajas y limitaciones del modelo	12

1. Introducción y objetivos

El Instituto Mexicano para la Competitividad A.C. (IMCO) desarrolló una calculadora para cuantificar los costos que genera la mala calidad del aire en las ciudades mexicanas. El principal objetivo de esta herramienta es contribuir, con base en evidencia sólida, al debate sobre la urgencia de impulsar políticas públicas para mejorar la calidad del aire en las ciudades de nuestro país.

El enfoque del estudio se centra en los daños a la salud de los habitantes, así como en los costos asociados para el sistema de salud y la pérdida de productividad de los trabajadores. La perspectiva de IMCO es que dichos impactos limitan la competitividad de las ciudades, pues afectan la calidad de vida de los ciudadanos, ahuyentan al talento y, por tanto, pueden incluso limitar la llegada de nuevas inversiones.

Otras instituciones como la Organización Mundial de la Salud (OMS), el Instituto de Métricas de Salud y Evaluación (IHME) de la Universidad de Washington y el Instituto Nacional de Salud Pública (INSP) han cuantificado los impactos en salud atribuibles a la contaminación del aire. Sin embargo, nuestro estudio es único por dos razones. Primero, asocia los impactos en salud con las pérdidas económicas que éstos implican. Segundo, presenta indicadores desagregados para 34 ciudades mexicanas, siendo que el resto de los estudios se enfocan en resultados para todo México o para la Zona Metropolitana del Valle de México.

2. Tamaño de la muestra

Este estudio analiza a las 34 ciudades con más de 500,000 habitantes: Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), Guadalajara, Monterrey, Puebla-Tlaxcala, Toluca, Tijuana, León, Ciudad Juárez, La Laguna, Querétaro, San Luis Potosí-Soledad, Mérida, Mexicali, Aguascalientes, Cuernavaca, Acapulco, Tampico, Culiacán, Chihuahua, Morelia, Saltillo, Veracruz, Hermosillo, Villahermosa, Reynosa-Río Bravo, Tuxtla Gutiérrez, Cancún, Xalapa, Oaxaca, Celaya, Durango, Irapuato, Poza Rica y Pachuca.

De acuerdo con la NOM-156-SEMARNAT-2012 “Establecimiento y operación de sistemas de monitoreo de la calidad del aire”, que entró en vigor en julio de este año, todas las ciudades de la muestra deberán contar con un sistema de monitoreo.

2. Selección del contaminante

Este estudio toma a las partículas con un diámetro menor a 10 micrómetros (PM₁₀) como un indicador de la contaminación del aire. Este contaminante se emite con la combustión en los automóviles, actividades industriales, re-suspensión de polvo, quema agrícola y algunos factores naturales como incendios forestales y emisiones volcánicas. Este tipo de partículas no sólo se han asociado con padecimientos respiratorios y cardiovasculares, sino también con muertes prematuras.

3. Datos y fuentes

Las Tablas 1 y 2 muestran las variables en las que se basa este estudio, así como sus respectivas fuentes y año de observación.

Tabla 1. Variables por ciudad

Variable	Fuente	Año
Población	INEGI – Censo 2010 CONAPO – Delimitación de zonas metropolitanas	2010
Concentración promedio anual de PM ₁₀	Para la ZMVM, Guadalajara, Puebla-Tlaxcala, Toluca, Tijuana, León, Cuernavaca, Chihuahua, Celaya e Irapuato se tomó información proveniente de los sistemas de monitoreo, la cual se procesó de acuerdo a las especificaciones de la norma oficial mexicana. Para Monterrey se tomó el promedio que reporta el Estado de Nuevo León. ⁱ Para Mexicali se tomó el valor de 2009 reportado en el Compendio de Estadísticas Ambientales 2012 de SEMARNAT. ⁱⁱ	2010
Muertes totales (excluyendo accidentales y violentas)	INEGI – Sistema Estatal y Municipal de Bases de Datos (SIMBAD) Datos desagregados por municipio	2010
Egresos hospitalarios por infecciones y enfermedades respiratorias y enfermedades cardiovasculares	Secretaría de Salud – Boletín de Información Estadística Datos desagregados por estado	2010
Casos por asma, enfermedades isquémicas del corazón y enfermedades respiratorias agudas	Secretaría de Salud – Sistema Único de Información para la Vigilancia Epidemiológica (SUIVE)	2010

Nota: Para simplificar los cálculos, no se consideran grupos de edad para los indicadores de salud.

Tabla 2. Parámetros y variables económicas

Parámetros y variables	Fuente	Año
Concentración objetivo (promedio anual PM ₁₀): 20µg/m ³	Valor guía recomendado por la Organización Mundial de la Salud (OMS)	2005 (vigente)
Salario diario: \$164 Salario anual: \$59,040	INEGI – Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo (ENOE)	2010 (promedio 4 trimestres)
Porcentaje de familias donde ambos padres trabajan: 39%	INEGI – Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares (ENIGH)	2012
Población asegurada: 46%	INEGI – Censo 2010	
Costo de hospitalización diario para asegurados: \$5,156	IMSS (para hospitales de 2° y 3° nivel). Se asume que el ISSSTE y PEMEX enfrentan costos similares	2011
Costo de hospitalización diario para no asegurados: \$3,867	Siguiendo las diferencias que marca César et al., 2002 ⁱⁱⁱ	
Días promedio de hospitalización • Infección respiratoria: 4.96	Secretaría de Salud – Boletín de Información Estadística	2010

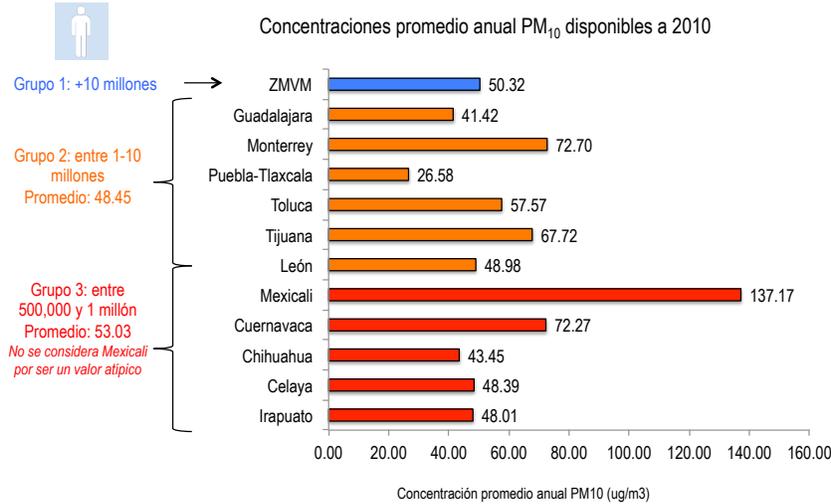
Parámetros y variables	Fuente	Año
<ul style="list-style-type: none"> • Enfermedad cardiovascular: 5.88 • Enfermedad respiratoria: 4.52 		
Precio por consulta familiar: \$505	COFEPRIS	2010
Vida productiva: 50 años (de los 15 a los 65)	IMCO	
Proporción de muertes por grupo de edad	INEGI – Registros Administrativos a nivel nacional	2010
Objetivo inflación: 3%	Banco de México	
Tasas de crecimiento poblacional	CONAPO	2010-2018
Tasa de descuento: 12%	SHCP	

4. Supuestos principales

A continuación se presenta una lista de los supuestos principales en los que se basa el estudio:

1. El número de casos registrados en el SUIVE equivale por lo menos a una consulta familiar, razón por la cual fueron contabilizados. No se encontraron registros para determinar cuántos de estos casos pasaron a consulta de especialidades, análisis de laboratorio u hospitalización.
2. Las consultas y los egresos hospitalarios se distribuyen de forma homogénea en todo el estado. Como se menciona en la sección anterior, las consultas y los egresos hospitalarios se publican a nivel estatal. Este supuesto permite asignarle a cada zona metropolitana una parte proporcional de los indicadores, según el porcentaje que representa la población sobre el total del estado.
3. La población de las ciudades mexicanas tiene características y comportamientos similares. Este supuesto permite usar el mismo estimador de sensibilidad para todas las ciudades de la muestra.
4. Las concentraciones de partículas no cambian al interior de las ciudades, no hay diferencias geográficas. Por ello se asume una sola concentración base para cada ciudad.
5. Las concentraciones de partículas están relacionadas con el nivel poblacional de cada ciudad. Para definir el nivel base de concentraciones en las ciudades sin información, se hizo un promedio simple de las ciudades con datos a 2010, agrupando por tamaño de población (ver Figura 1). Es importante destacar que Mexicali es un valor atípico dentro de la muestra, por lo que no se consideró la calcular el promedio de concentración para las ciudades de menos de un millón de habitantes.
6. Las defunciones a nivel municipal se distribuyen igual que las defunciones a nivel nacional. Este supuesto permite captar de una forma simple las diferencias de edad de las muertes prematuras a partir de las cifras nacionales que se presentan en los registros administrativos del INEGI.

Figura 1. Niveles de contaminación por ciudad



Fuente: Elaboración IMCO con información de sistemas de monitoreo y SEMARNAT

5. Funciones concentración-respuesta

De acuerdo con el INE y la SEMARNAT, las funciones concentración-respuesta (FCR) son el componente más importante para estimar los impactos en salud atribuibles a la contaminación del aire. Éstas representan la probabilidad de que ocurra un impacto en salud a partir de un cambio en la concentración de un contaminante a la que está expuesta la población.^{iv} En otras palabras, estas funciones determinan qué tan sensible es la población a padecer efectos negativos a causa de la contaminación.

Las FCR son el resultado de estudios epidemiológicos y se encuentran expresados en la literatura científica en términos de riesgos relativos (RR). La fórmula del RR es:

$$RR = e^{\beta(\Delta conc)}$$

Donde β es el estimador y $\Delta conc$ es la diferencia entre la concentración base de la ciudad y la concentración objetivo.

En este tipo de estudios, los estimadores (β) son la mayor fuente de incertidumbre. Por ello, esta calculadora sólo considera dos escenarios con base en dos grupos de estimadores. El primer escenario se denomina IMCO, en él se incluyen estimadores que surgen a partir de una metodología propia, la cual se explica más adelante. El segundo escenario se denomina Publicaciones y surge a partir de una revisión de la literatura, así como pláticas con expertos del Instituto Nacional de Salud Pública (INSP).

5.1 Metodología propia para estimar el riesgo relativo

IMCO estimó el efecto que tiene un cambio en la concentración de partículas sobre las visitas al hospital y las muertes de todas las causas, basándose en una metodología común para la literatura epidemiológica. Para esto, se usó un diseño de tipo ecológico a través de modelos de series de tiempo Poisson. Estos modelos utilizan datos de conteo (ver Tabla 3) y suponen un riesgo homogéneo para toda la población.

Tabla 3. Variables para los modelos econométricos

Variables (series de tiempo)	Fuente	Periodo
Concentración de contaminantes (promedios diarios)	Red Automática de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México (RAMA)	2008-2011
Visitas a hospitales por causas respiratorias (datos diarios)	Registros médicos de 11 hospitales del IMSS del Distrito Federal	2008-2011
Defunciones por todas las causas (datos diarios)	Sistema Nacional de Información de Salud (SINAIS) para el Distrito Federal	2008-2011
Humedad y temperatura en el Distrito Federal (datos diarios)	Red de Meteorología y Radiación Solar (REDMET)	2008-2011

Para observar el efecto de la contaminación por partículas sobre las visitas al hospital por causas respiratorias se estimó la siguiente ecuación:

$$\log(\text{númerodevisitas}_i) = \alpha + \beta x_i + \gamma z_i + u_i$$

Donde la variable dependiente, o sea *númerodevisitas_i*, se refiere al número de visitas diarias al hospital por tipo de padecimiento (infecciones o enfermedades respiratorias). La variable independiente de interés, *x_i*, representa el promedio de las mediciones diarias de partículas PM₁₀ de todas las estaciones de monitoreo. Y *z_i*, representa un vector de variables de control que contiene las mediciones promedio diarias de humedad relativa y de temperatura mínima para todas las estaciones de monitoreo, así como *dummies* para controlar por fin de semana, estación del año (cálido –de abril a octubre– e invernal –de noviembre a marzo–), mes y el brote de influenza de abril de 2009.

Los tipos de padecimientos (*i*), infecciones y enfermedades respiratorias, se clasificaron según la Clasificación Internacional de Enfermedades CIE-10. Dentro de las infecciones respiratorias se incluyeron las visitas clasificadas con J00-J22. Dentro de las enfermedades respiratorias se incluyeron las visitas clasificadas con J30-J70.4.

Para observar el efecto de la contaminación por partículas sobre las muertes por todas las causas naturales se estimó la siguiente ecuación:

$$\log(\text{muertes}) = \alpha + \beta x_i + \gamma z_i + u_i$$

Donde la variable dependiente, o sea *muertes*, se refiere al número de defunciones diarias por todas las causas. La variable independiente de interés, *x_i*, representa el promedio de las

mediciones diarias de partículas PM_{10} de todas las estaciones de monitoreo. Y z_i , representa un vector de variables de control que contiene las mediciones promedio diarias de humedad relativa y de temperatura mínima para todas las estaciones de monitoreo, así como *dummies* para controlar por fin de semana, estación del año (cálido –de abril a octubre– e invernal –de noviembre a marzo–), mes y el brote de influenza de abril de 2009.

Siguiendo esta metodología, encontramos los estimadores (β) para calcular los egresos hospitalarios por causas respiratorias y las muertes atribuibles a la contaminación que se usan en el Escenario IMCO (optimista). La Tabla 4 resume estos resultados:

Tabla 4. Estimadores IMCO con intervalo de confianza al 95%

Impacto en salud	Estimadores		
	Media	Límite inferior	Límite superior
Hospitalizaciones por infecciones respiratorias	0.0027**	0.0011	0.0042
Hospitalizaciones por enfermedades respiratorias	0.0016*	-0.0001	0.0033
Muertes prematuras por todas las causas	0.0006**	0.0002	0.0010

*Nota: Los asteriscos denotan el nivel de significancia de los estimadores donde aquellos que tienen (**) son significativos al 5% y el que tiene (*) es significativo al 10%.*

Por la disponibilidad de información, estos modelos sólo se pudieron estimar para la Ciudad de México. Sin embargo, se asume que toda la población de las ciudades mexicanas tiene características y comportamientos similares (supuesto 3). Por ello, se usan estos estimadores para calcular las hospitalizaciones y muertes prematuras atribuibles a la contaminación en todas las ciudades de la muestra.

Por recomendación de expertos del INSP se hicieron varias pruebas estadísticas como controlar por otros contaminantes y ajustar los datos con otro tipo de modelos. Sin embargo, los resultados no fueron significativos.

5.2 Literatura epidemiológica

Además de las estimaciones propias, se hizo una revisión exhaustiva de la literatura epidemiológica. A partir de ésta se encontraron otros estimadores para hospitalizaciones por causas respiratorias y muertes totales, así como estimadores para hospitalizaciones por causas cardiovasculares y consultas por asma, infecciones respiratorias agudas y enfermedades isquémicas del corazón.

Cabe destacar que la literatura generalmente presenta riesgos relativos (RR) ante un determinado cambio en la concentración (el cambio más común es de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$). Sin embargo, para calcular los impactos atribuibles a la contaminación usando diferentes cambios en concentración es necesario encontrar el estimador en el que se basan dichos RR. Para ello, se usa la siguiente fórmula:

$$\beta = \frac{\ln(RR)}{\Delta conc}$$

Donde el $\Delta conc$ es el cambio en concentración que corresponde al RR reportado.

La Tabla 5 muestra los estimadores empleados para hacer los cálculos de este estudio, incluyendo la fuente y el intervalo de confianza.

Tabla 5. Estimadores de la literatura epidemiológica

Impacto en salud	Estimadores			Fuente
	Media	Límite inferior	Límite superior	
Consultas por asma	0.0037	0.0021	0.0052	Choudhury, Gordian & Morris, 1997 ^v
Consultas por infecciones respiratorias agudas	0.0017	0.0003	0.0029	Stieb et al., 2000 ^{vi}
Consultas por enfermedades isquémicas del corazón	0.0055	0.0017	0.0092	Stieb et al., 2000
Hospitalizaciones por causas respiratorias	0.0014	0.0012	0.0016	Rosales-Castillo et al., 2001 ^{vii}
Hospitalizaciones por enfermedades cardiovasculares	0.0012	0.0009	0.0015	Rosales-Castillo et al., 2001
Hospitalizaciones por enfermedades cardiovasculares*	0.0006	0.0003	0.0009	Le Tertre et al., 2002 ^{viii}
Muertes prematuras por todas las causas	0.0009	0.0007	0.0012	Romieu et al., 2012 ^{ix} (Proyecto Escala, promedio de las 3 ciudades mexicanas con el modelo ajustado por ozono)

Notas: Los estimadores para consultas se usan en los dos escenarios. () Estimadores que se usan en el Escenario IMCO. El resto de los estimadores para hospitalizaciones y muertes prematuras se usan en el Escenario Publicaciones Epidemiológicas.*

5.3 Construcción de escenarios

En resumen, la Tabla 6 muestra los diferentes estimadores que se usan en cada uno de los escenarios que maneja este estudio.

Tabla 6. Estimadores empleados en cada escenario

Impacto en salud	β Escenario 1: IMCO	β Escenario 2: Publicaciones
Muertes prematuras	0.0006	0.0009
Egresos hospitalarios por infecciones respiratorias	0.0027	0.0014
Egresos hospitalarios por enfermedades cardiovasculares	0.0006	0.0006
Egresos hospitalarios por enfermedades respiratorias	0.0016	0.0014
Consultas por infecciones respiratorias agudas	0.0017	0.0017

Impacto en salud	β Escenario 1: IMCO	β Escenario 2: Publicaciones
Consultas por asma	0.0037	0.0037
Consultas por enfermedades isquémicas del corazón	0.0055	0.0055

Generalmente, este tipo de estimadores se presentan junto con su intervalo de confianza al 95%. Con estos valores, se podría calcular los rangos en los que se encontraría el 95% de los impactos de la contaminación. Sin embargo, para simplificar la comunicación de los resultados, IMCO sólo considera la media de los estimadores.

6. Cálculo de impactos atribuibles a la contaminación

Para calcular las muertes, las hospitalizaciones y las consultas atribuibles a la contaminación del aire se siguió parte de la metodología de Riojas et al., 2012.^x Para el cálculo de muertes prematuras atribuibles a la contaminación (M_{AT}) se usó la siguiente fórmula:

$$M_{AT_i} = M_i \left(1 - \frac{1}{e^{\beta M(\Delta conc)}} \right)$$

Donde M son las muertes totales por ciudad y βM es el estimador para muertes prematuras por todas las causas naturales.

La pérdida en productividad por muertes prematuras se calculó en diferentes pasos. Primero, se dividió a las muertes por grupo de edad, siguiendo la distribución de las muertes a nivel nacional. Segundo, se identificó el remanente de los años de vida productiva (la cual empieza a los 15 años) para cada grupo de edad. Por ejemplo, 2% de las muertes corresponden al grupo de 20-24 años (edad promedio: 22), lo que implica que a este grupo le quedaba 43 años de vida productiva. Tercero, se multiplicaron estos años por el salario anual que marca la Tabla 2. Cuarto, se sumó la pérdida en productividad para todos los grupos de edad.

Para el cálculo de egresos hospitalarios atribuibles a la contaminación (E_{AT}) se usó la siguiente fórmula:

$$E_{AT_i}^n = E_i^n \left(1 - \frac{1}{e^{\beta E n(\Delta conc)}} \right)$$

Donde E_i^n son los egresos hospitalarios por ciudad por tipo de padecimiento, n es el tipo de padecimiento (infecciones respiratorias, enfermedades cardiovasculares y enfermedades respiratorias) y $\beta E n$ es el estimador para egresos por padecimiento.

Las hospitalizaciones tienen un costo para el sistema de salud, además de generar una pérdida en productividad por ausentismo laboral. Para los costos en salud se multiplicó E_{AT} por padecimiento, por el número de días de hospitalización promedio por padecimiento por el costo diario de hospitalización, separando entre población asegurada y no asegurada. Al final se sumó el total de los costos en salud por hospitalizaciones.

A su vez, para calcular las pérdidas en productividad por ausentismo laboral se multiplicó E_{AT} por el número de días de hospitalización promedio por padecimiento por el salario diario. Se consideró que en 39% de los casos que corresponden a menores de 15 años (7%), alguno de los padres debe faltar a trabajar para cuidar al hijo o familiar.

Para el cálculo de consultas atribuibles a la contaminación (C_{AT}) se usó la siguiente fórmula:

$$C_{AT_i}^n = C_i^n \left(1 - \frac{1}{e^{\beta C n (\Delta conc)}} \right)$$

Donde C_i^n son los casos por ciudad por tipo de padecimiento, n es el tipo de padecimiento (infecciones respiratorias agudas, asma y enfermedades isquémicas del corazón) y $\beta C n$ es el estimador para visitas al médico por padecimiento.

No es posible discernir qué tipo de tratamiento corresponde a los casos que reporta el SUIVE. Sin embargo, se puede asumir que todos estos casos se contabilizan debido a que por lo menos asistieron a una consulta familiar. Por ello, para calcular los costos en salud por consultas se multiplicó C_{AT} por el costo de una consulta familiar (Tabla 2). Asimismo, se consideró una pérdida en productividad por ausentismo laboral para acudir al médico, multiplicando C_{AT} por el salario diario.

Los impactos calculados a partir de las fórmulas descritas en los párrafos anteriores arrojan resultados anuales. Sin embargo, estos resultados se pueden proyectar para encontrar cuáles serían los costos acumulados al 2018, que es el año en que termina este sexenio. Esta estimación solamente se hizo a nivel nacional.

Para proyectar los impactos en salud, se usaron las tasas de crecimiento de la población de CONAPO para el periodo 2010-2018. Para conocer las cifras acumuladas sólo se sumaron los resultados para durante el sexenio (2012-2018).

Para proyectar los gastos en salud y la pérdida en productividad, se usó la tasa de inflación objetivo que marca el Banco de México y las tasas de crecimiento de la población de CONAPO para el periodo 2010-2018. Por simplicidad se asume que la concentración de partículas permanece constante. Después, para conocer el valor presente de estas cifras, se usó la tasa de descuento que marca la SHCP. Para conocer las cifras acumuladas durante el sexenio, se sumaron los valores descontados para el periodo 2012-2018.

7. Resultados

Los resultados principales se presentan en: www.imco.org.mx/calculadora-aire. En esta página se encuentra un mapa interactivo con los resultados nacionales y por ciudad. Asimismo, en esta liga es posible descargar el material del estudio: las fichas por ciudad (sólo con información del Escenario 1: IMCO) y un archivo en formato Excel con los cálculos para ambos escenarios.

Por cuestiones de comunicación, la página sólo despliega los resultados principales de la calculadora. Sin embargo, en el archivo en formato Excel se pueden ajustar otras variables. En este archivo es posible modificar los estimadores (para construir escenarios adicionales), el objetivo de concentración, las concentraciones base de partículas por ciudad y los supuestos económicos (ver Tabla 2).

En resumen, las Tablas 7 y 8 presentan los resultados por ciudad para el Escenario 1: IMCO y el Escenario 2: Publicaciones, respectivamente.

Tabla 7. Resultados principales para el Escenario 1: IMCO

Ciudad	Número de casos atribuibles a la contaminación (Escenario 1)			Tasa de casos atribuibles a la contaminación por cada 100,000 habitantes (Escenario 1)			Costos por contaminación		
	Muertes	Egresos	Consultas	Muertes	Egresos	Consultas	Gastos en salud	Pérdidas en productividad	Total
1 ZMVM	1,723	4,248	234,209	9	21	1,164	\$214,001,868	\$1,147,496,451	\$1,361,498,319
2 Guadalajara	249	860	40,103	6	19	904	\$39,430,251	\$166,830,730	\$206,260,981
3 Monterrey	541	1,789	107,675	13	44	2,622	\$94,712,088	\$366,039,914	\$460,752,002
4 Puebla-Tlaxcala	48	84	6,691	2	3	245	\$5,267,936	\$31,893,038	\$37,160,974
5 Toluca	169	201	25,811	9	10	1,333	\$17,526,602	\$112,804,769	\$130,331,371
6 Tijuana	176	566	23,056	10	32	1,316	\$24,405,788	\$117,413,392	\$141,819,180
7 León	106	337	21,307	7	21	1,324	\$18,268,905	\$71,884,275	\$90,153,180
8 Ciudad Juárez	110	402	20,566	8	30	1,544	\$19,405,925	\$74,479,375	\$93,885,300
9 La Laguna	99	472	23,723	8	39	1,951	\$22,519,871	\$67,773,032	\$90,292,902
10 Querétaro	79	135	17,163	7	12	1,564	\$11,711,084	\$53,604,332	\$65,315,416
11 San Luis Potosí-Soledad	80	257	14,691	8	25	1,412	\$13,149,641	\$53,628,802	\$66,778,443
12 Mérida	99	253	19,566	10	26	2,011	\$15,570,055	\$67,174,196	\$82,744,251
13 Mexicali	283	697	28,472	30	74	3,039	\$30,118,064	\$186,993,431	\$217,111,495
14 Aguascalientes	70	246	21,123	8	26	2,266	\$16,120,059	\$48,677,908	\$64,797,967
15 Cuernavaca	136	260	20,835	15	28	2,252	\$16,326,173	\$90,704,840	\$107,031,013
16 Acapulco	72	96	11,992	8	11	1,389	\$8,207,175	\$48,301,097	\$56,508,272
17 Tampico	81	245	12,147	9	29	1,413	\$11,651,997	\$54,162,704	\$65,814,700
18 Culiacán	52	290	16,453	6	34	1,916	\$14,842,143	\$36,514,789	\$51,356,932
19 Chihuahua	60	188	9,574	7	22	1,123	\$9,037,078	\$40,231,458	\$49,268,536
20 Morelia	68	125	11,043	8	15	1,331	\$8,373,611	\$45,303,055	\$53,676,666
21 Saltillo	64	313	16,002	8	38	1,944	\$15,099,525	\$43,942,605	\$59,042,130
22 Veracruz	90	147	8,400	11	18	1,035	\$7,552,443	\$58,973,658	\$66,526,101
23 Hermosillo	69	300	12,342	9	38	1,576	\$12,964,731	\$46,815,797	\$59,780,528
24 Villahermosa	63	168	13,259	8	22	1,755	\$10,458,391	\$42,822,734	\$53,281,126
25 Reynosa-Río Bravo	51	224	10,872	7	31	1,495	\$10,526,655	\$34,612,728	\$45,139,383
26 Tuxtla Gutiérrez	52	79	5,089	8	12	744	\$4,328,568	\$34,483,031	\$38,811,599
27 Cancún	33	134	10,018	5	20	1,479	\$8,024,226	\$23,040,158	\$31,064,384
28 Xalapa	63	120	6,898	10	18	1,035	\$6,201,981	\$41,932,168	\$48,134,149
29 Oaxaca	49	106	8,293	8	17	1,364	\$6,555,715	\$32,896,747	\$39,452,462
30 Celaya	44	124	7,813	7	21	1,298	\$6,699,404	\$29,670,091	\$36,369,495
31 Durango	45	243	11,898	8	42	2,043	\$11,396,862	\$30,754,504	\$42,151,366
32 Irapuato	38	107	6,781	7	20	1,281	\$5,813,961	\$25,871,877	\$31,685,838
33 Poza Rica	62	93	5,315	12	18	1,035	\$4,778,187	\$40,602,877	\$45,381,064
34 Pachuca	40	92	9,502	8	18	1,855	\$6,847,054	\$27,492,411	\$34,339,465
Total de la muestra	5,065	14,002	818,679	9	25	1,531	\$727,894,014	\$3,395,822,973	\$4,123,716,987
				<i>Tasa promedio por cada 100,000 habitantes</i>					

Tabla 8. Resultados principales para el Escenario 2: Publicaciones

Ciudad	Número de casos atribuibles a la contaminación (Escenario 2)			Tasa de casos atribuibles a la contaminación por cada 100,000 habitantes (Escenario 2)			Costos por contaminación		
	Muertes	Egresos	Consultas	Muertes	Egresos	Consultas	Gastos en salud	Pérdidas en productividad	Total
1 ZMVM	2,604	3,103	234,209	13	15	1,164	\$188,983,299	\$1,712,205,466	\$1,901,188,765
2 Guadalajara	376	625	40,103	8	14	904	\$34,320,022	\$248,610,384	\$282,930,406
3 Monterrey	814	1,267	107,675	20	31	2,622	\$83,267,821	\$541,304,390	\$624,572,211
4 Puebla-Tlaxcala	73	59	6,691	3	2	245	\$4,722,265	\$47,763,773	\$52,486,038
5 Toluca	255	142	25,811	13	7	1,333	\$16,234,154	\$168,030,634	\$184,264,788
6 Tijuana	266	409	23,056	15	23	1,316	\$20,975,675	\$174,728,172	\$195,703,848
7 León	160	234	21,307	10	15	1,324	\$16,003,241	\$106,673,083	\$122,676,323
8 Ciudad Juárez	167	284	20,566	13	21	1,544	\$16,817,970	\$110,561,870	\$127,379,840
9 La Laguna	150	329	23,723	12	27	1,951	\$19,393,093	\$100,117,660	\$119,510,753
10 Querétaro	119	95	17,163	11	9	1,564	\$10,843,119	\$79,472,803	\$90,315,923
11 San Luis Potosí-Soledad	120	175	14,691	12	17	1,412	\$11,370,222	\$79,636,537	\$91,006,759
12 Mérida	150	182	19,566	15	19	2,011	\$14,001,613	\$99,695,310	\$113,696,923
13 Mexicali	422	517	28,472	45	55	3,039	\$26,184,392	\$276,204,771	\$302,389,163
14 Aguascalientes	106	181	21,123	11	19	2,266	\$14,691,067	\$71,628,348	\$86,319,415
15 Cuernavaca	204	185	20,835	22	20	2,252	\$14,696,112	\$134,746,753	\$149,442,865
16 Acapulco	109	69	11,992	13	8	1,389	\$7,636,362	\$71,913,671	\$79,550,033
17 Tampico	122	175	12,147	14	20	1,413	\$10,125,015	\$80,662,655	\$90,787,670
18 Culiacán	79	211	16,453	9	25	1,916	\$13,106,098	\$53,612,348	\$66,718,446
19 Chihuahua	91	132	9,574	11	15	1,123	\$7,820,560	\$59,950,755	\$67,771,316
20 Morelia	102	92	11,043	12	11	1,331	\$7,651,871	\$67,446,574	\$75,098,444
21 Saltillo	97	221	16,002	12	27	1,944	\$13,086,985	\$64,854,216	\$77,941,201
22 Veracruz	135	109	8,400	17	13	1,035	\$6,734,228	\$88,309,976	\$95,044,204
23 Hermosillo	105	208	12,342	13	27	1,576	\$10,940,435	\$69,506,699	\$80,447,133
24 Villahermosa	95	120	13,259	13	16	1,755	\$9,412,938	\$63,484,667	\$72,897,605
25 Reynosa-Río Bravo	77	159	10,872	11	22	1,495	\$9,113,960	\$51,244,502	\$60,358,462
26 Tuxtla Gutiérrez	79	55	5,089	12	8	744	\$3,807,145	\$51,623,347	\$55,430,493
27 Cancún	50	94	10,018	7	14	1,479	\$7,157,082	\$33,887,753	\$41,044,835
28 Xalapa	96	90	6,898	14	13	1,035	\$5,530,072	\$62,703,973	\$68,234,045
29 Oaxaca	74	72	8,293	12	12	1,364	\$5,814,597	\$48,939,583	\$54,754,180
30 Celaya	67	86	7,813	11	14	1,298	\$5,868,051	\$44,125,212	\$49,993,263
31 Durango	67	166	11,898	12	29	2,043	\$9,722,077	\$45,313,627	\$55,035,705
32 Irapuato	58	74	6,781	11	14	1,281	\$5,092,196	\$38,481,795	\$43,573,990
33 Poza Rica	93	69	5,315	18	13	1,035	\$4,260,528	\$60,844,912	\$65,105,440
34 Pachuca	61	64	9,502	12	13	1,855	\$6,243,112	\$40,683,521	\$46,926,633
Total de la muestra	7,646	10,055	818,679	13	18	1,531	\$641,627,377	\$5,048,969,742	\$5,690,597,119

Tasa promedio por cada 100,000 habitantes

Para cualquier duda sobre la metodología que no sea resuelta en este documento, así como el uso del archivo en formato Excel, favor de contactar a Fátima Masse (fatima.masse@imco.org.mx).

8. Ventajas y limitaciones del modelo

La calculadora de impactos por contaminación del aire es una herramienta flexible que permite jugar con varios supuestos y parámetros para entender los costos que genera este problema ambiental en las ciudades mexicanas. Ésta arroja resultados desagregados para 34 zonas metropolitanas, cubriendo el 70% de la población urbana del país.

A pesar de estas ventajas, la calculadora presenta las siguientes limitaciones:

- El modelo sólo estima los impactos por partículas PM₁₀, sin captar el efecto de otros contaminantes atmosféricos como partículas PM_{2.5}, ozono (O₃), dióxido de azufre (SO₂) y monóxido de carbono (CO), entre otros.
- Se usan estimadores de exposición aguda para calcular los riesgos relativos, lo que podría estar sesgando los resultados a la baja.
- Por falta de información, sólo es posible estimar impactos por exposición anual. Si se tuvieran datos diarios, se podría hacer una estimación para el indicador de exposición promedio por 24-horas (como lo marca la norma oficial mexicana).
- Los resultados del modelo podrían estar subestimando los efectos, debido a que el modelo no capta:
 - Impactos en salud tratados en hospitales privados.
 - Gastos en medicinas, personal y equipo médico, entre otros.
 - Costos sociales de los padecimientos (afectaciones en la dinámica familiar, pérdidas en productividad por un menor rendimiento dadas ciertas enfermedades y disponibilidad a pagar por no enfermarse, entre otros).

ⁱ Concentraciones promedio anual 2010 para el Área Metropolitana de Monterrey, disponibles en: [http://www.nl.gob.mx/pics/pages/med_amb_mej_amb_sima_files_base/TABLA_GLOBALES\(2010\).pdf](http://www.nl.gob.mx/pics/pages/med_amb_mej_amb_sima_files_base/TABLA_GLOBALES(2010).pdf)

ⁱⁱ Concentración promedio anual 2009 para Mexicali, disponible en: http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/Compendio_2012/dgeiawf.semarnat.gob.mx_8080/ibi_apps/WFServletd9fc.html

ⁱⁱⁱ César, H., Borja-Aburto, V.H., Cicero-Fernández, P., et al. (2002). *Valoración económica del mejoramiento de la calidad del aire en la Zona Metropolitana del Valle de México*. Disponible en: http://www.sma.df.gob.mx/sma/download/archivos/ecosistema_urbano_y_salud_habitantes.pdf

^{iv} INE-SEMARNAT. (2011). *Guía para evaluar los impactos en la salud por la instrumentación de medidas de control de la contaminación atmosférica*. Disponible en: http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/consultaPublicacion.html?id_pub=682

^v Choudhury, A. H., Gordian, M. E., & Morris, S. S. (1997). "Associations between respiratory illness and PM10 air pollution". *Archives of Environmental Health: An International Journal*, 52(2), 113-117.

^{vi} Stieb, D. M.; Beveridge, R. C.; Brook, J. R.; Smith-Doiron, M.; Burnett, R. T.; Dales, R. E.; Beaulieu, S.; Judek, S.; Mamedov, A. (2000). "Air pollution, aeroallergens and cardiorespiratory emergency department visits in Saint John, Canada". *J. Exposure Anal. Environ. Epidemiol.* 10: 461-477.

^{vii} Rosales-Castillo, J.A., Torres-Meza, V.M., Olaiz-Fernández, G. & Borja-Aburto, V.H., (2001). "Los efectos agudos de la contaminación del aire en la salud de la población: evidencias de estudios epidemiológicos". *Salud Pública Mex* 43: 544-555.

^{viii} Le Tertre, A., Medina, S., Samoli, E., Forsberg, B., Michelozzi, P., Boumghar, A., Vonk, J.M., Bellini, A., Atkinson, R., Ayres, J.G., Sunyer, J., Schwartz, J. & Karsouyanni, K. (2002). "Short-term effects of particulate air pollution on cardiovascular diseases in eight European cities". *J. Epidemiol Community Health* 56: 773-9.

^{ix} Romieu, I., Gouveia, N., Cifuentes, L., Ponce de Leon, A., Junger, W., Miranda-Soberanis, V., Hurtado-Díaz, M., Vera, J., Rojas, L., Tzintzun-Cervantes, G., Schwartz, J. & Solis, P. (2012). "Multi-city study of air pollution and health effects in Latin America (ESCALA). *HEI Research Report*. Boston, MA: Health Effects Institute

^x Riojas, H., Álamo, U., Texcalac, J.L. & Romieu, I. (2012). "Evaluación de impacto en salud por exposición a ozono y material particulado (PM10) en la Zona Metropolitana del Valle de [México]". *INSP*. ISBN 978-607-511-028-8.