

INSTITUTO NACIONAL DE SALUD PÚBLICA  
ESCUELA DE SALUD PÚBLICA DE MÉXICO

Maestría en Salud Pública

Área de concentración en Salud Ambiental

Ciclo escolar:

2013-2015

**Título:**

*“EVALUACIÓN DE IMPACTO EN SALUD BAJO ESCENARIOS DE REDUCCIÓN DE LA  
CONTAMINACIÓN POR NO<sub>2</sub> EN AIRE AMBIENTE EN MÉXICO: INFORMACIÓN PARA LA  
TOMA DE DECISIONES”*

**Presenta:**

I.B.T. José Gerardo Rios Castillo

Cuernavaca, Morelos, abril de 2016



INSTITUTO NACIONAL DE SALUD PÚBLICA  
ESCUELA DE SALUD PÚBLICA DE MÉXICO

Maestría en Salud Pública

Área de concentración en Salud Ambiental

Ciclo escolar:

*2013-2015*

**Título:**

*“EVALUACIÓN DE IMPACTO EN SALUD BAJO ESCENARIOS DE REDUCCIÓN DE LA  
CONTAMINACIÓN POR NO<sub>2</sub> EN AIRE AMBIENTE EN MÉXICO: INFORMACIÓN PARA LA  
TOMA DE DECISIONES”*

**Presenta:**

I.B.T. José Gerardo Rios Castillo

**Comité asesor:**

M.C. José Luis Texcalac Sangrador

M.C. María Consuelo Escamilla Núñez

M.S.P Karla Cervantes Martínez

Cuernavaca, Morelos, abril de 2016

## **Agradecimientos**

- Agradezco al M.C. José Luis Texcalac Sangrador por la oportunidad que me dio para emprender este trabajo, a los conocimientos transmitidos y a su tiempo dedicado para el desarrollo de este proyecto.
- Agradezco a la M.C. María Consuelo Escamilla Núñez por integrarse al comité de este proyecto como asesora y por sus valiosas aportaciones para la elaboración de este trabajo.
- Agradezco a la M.S.P. Karla Cervantes Martínez por su colaboración como lectora del proyecto y por su asesoría para el desarrollo de este proyecto.
- Agradezco a la Dra. Leticia Hernández Cadena por sus aportaciones en la mejora en el contenido y presentación de este trabajo.
- Agradezco a la Ing. Sara Jane Velázquez Juárez por su apoyo en la aportación de información y asesoría en el uso del software QGIS 2.12.3-Lyon.

*“Y en agradecimiento especial a mi familia por su apoyo en todos los sentidos y sobre todo a mi hijo que fue y será mi motivo para continuar adelante en este proyecto de vida”*

# Contenido

<b>ANTECEDENTES.....</b>	<b>5</b>
CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA.....	5
<i>Contaminantes criterio</i> .....	6
DAÑOS A LA SALUD DEBIDO A LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA .....	7
LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE EN MÉXICO.....	8
NORMA OFICIAL MEXICANA PARA NO <sub>2</sub> .....	9
ANTECEDENTES DE LA EVALUACIÓN DE IMPACTO EN SALUD (EIS) EN MÉXICO.....	10
<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>10</b>
CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL NO <sub>2</sub> .....	10
<i>Mortalidad</i> .....	11
<i>Morbilidad</i> .....	12
EVALUACIÓN DE IMPACTO EN SALUD (EIS) .....	13
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>16</b>
<b>JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>17</b>
<b>OBJETIVO GENERAL .....</b>	<b>17</b>
OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	17
<b>MÉTODO.....</b>	<b>18</b>
REVISIÓN DE ESTUDIOS EPIDEMIOLÓGICOS Y SELECCIÓN DE FCR.....	19
CARACTERIZACIÓN DEL CONTAMINANTE DE INTERÉS .....	22
DELIMITACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO .....	22
FRECUENCIA DE EVENTOS EN SALUD.....	23
INFORMACIÓN DEMOGRÁFICA.....	23
ESTIMACIÓN DE LA EXPOSICIÓN .....	24
ESTIMACIÓN DE IMPACTOS (CALCULO DE MUERTES EVITABLES POR ESCENARIO) .....	26
<b>RESULTADOS .....</b>	<b>27</b>
REVISIÓN DE ESTUDIOS EPIDEMIOLÓGICOS Y SELECCIÓN DE FCR.....	27
CARACTERIZACIÓN DEL CONTAMINANTE NO <sub>2</sub> .....	27
DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO .....	28
ESTIMACIÓN DE IMPACTOS POR ESCENARIO (EVENTOS EN SALUD AGUDOS Y CRÓNICOS) .....	29
<i>Escenario (Horario-MEX)</i> .....	29
<i>Escenario (ANUAL-OMS)</i> .....	29
<i>Escenario (24hr-OMS)</i> .....	31
<i>Ninguna Estimación</i> .....	31

<b>DISCUSIÓN.....</b>	<b>32</b>
ESTIMACIÓN DE LAS MUERTES EVITABLES.....	33
<i>Anual-OMS</i> .....	33
<i>24hr-OMS</i> .....	35
<i>Situación con otros estudios en México.....</i>	36
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>36</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>37</b>
<b>CONSIDERACIONES ÉTICAS Y DE BIOSEGURIDAD .....</b>	<b>38</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>39</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>42</b>

## **Antecedentes**

A lo largo de nuestra vida podemos estar expuestos a contaminantes de diversas formas, siendo la contaminación atmosférica una de las principales formas de estar en contacto con los diversos contaminantes, por su complejidad han recibido la atención de diversos campos de estudio como la química atmosférica, la toxicología y la epidemiología por mencionar algunos. Se han realizado diversos estudios epidemiológicos en los que se han evaluado daños a la salud y sus impactos en la salud pública.(1)

El análisis de la calidad del aire atmosférico tomo mayor fuerza a partir de una serie de episodios que tuvieron lugar en los países industrializados, principalmente Europa, durante la primera mitad del siglo XX, teniendo como principal antecedente el episodio de Londres en diciembre de 1952. En este acontecimiento se reportó un aumento en la mortalidad y morbilidad en la población.(1)

### ***Contaminación atmosférica***

Se le llama contaminación atmosférica, a la excesiva cantidad de emisiones de compuestos peligrosos, los cuales sobrepasan la capacidad de los procesos naturales de la atmósfera para su transformación, deposición y eliminación del contaminante.(2)

La contaminación atmosférica representa un sistema complejo, sus características físico-químicas permiten la interacción entre dos o más contaminantes, los cuales están vinculados a diversos efectos adversos a la salud. Estas interacciones y efectos pueden variar dependiendo a la actividad industrial y emisiones de origen, a la estación del año, tránsito vehicular y dirección de vientos predominantes, entre otros. Las concentraciones promedio de los contaminantes pueden variar de un día a otro o de semana a semana dependiendo de la zona o cobertura espacial de análisis.(2)

Debido a las características físico-químicas de los contaminantes atmosféricos se pueden clasificar en Aerosoles, líquidos y gaseosos. Dentro de la clasificación de los aerosoles se encuentran las partículas totales suspendidas, constituidas principalmente por las MP<sub>10</sub> y MP<sub>2.5</sub>, contaminantes mezclados con partículas líquidas en un medio gaseoso. Los contaminantes líquidos se generan a partir de la solubilidad de contaminantes gaseosos o sólidos en un medio líquido, como por ejemplo la generación de lluvia acida a partir sulfatos y

óxidos de nitrógeno. Contaminantes gaseosos, de sus propiedades más importantes de estudio están la solubilidad en agua y la reactividad química, particularmente la solubilidad, es la propiedad que les confiere la capacidad para causar daño en el tracto respiratorio. Los gases solubles en agua son disueltos por el agua que se encuentra en las membranas mucosas de los pulmones, a medida que van avanzando. De lo contrario, los gases insolubles en agua, no son removidos por lo que llegarán hasta los alveolos, en los que se encuentran los NO<sub>x</sub>, grupo al que pertenece el NO<sub>2</sub>.(2)

### **Contaminantes criterio**

En México y otras partes del mundo esta clasificación sustenta la regulación legal en la que se incluyen a los siguientes contaminantes: monóxido de carbono (CO), plomo (Pb), ozono (O<sub>3</sub>), Material Particulado (MP<sub>10</sub> y MP<sub>2.5</sub>), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>).

Internacionalmente existen guías y leyes que regulan la calidad del aire, la OMS genera periódicamente las “*Guías de la Calidad del Aire*” (GCA). En los Estados Unidos, la Agencia para la Protección Ambiental (EPA por sus siglas en inglés) promulga y actualiza periódicamente los *National Ambient Air Quality Standards* (NAAQS) conforme a la ley de Aire Limpio.

En México existen diversos instrumentos enfocados a la gestión de la calidad del aire. Las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) se encargan de emitir los valores máximos permitidos de concentración de los contaminantes en la atmósfera y los procedimientos para la medición de los contaminantes. Los inventarios de emisión se encargan de ubicar las fuentes de emisiones, la cantidad y tipo de contaminantes en la atmósfera. Los Almanques de Datos sobre la Calidad del Aire son los instrumentos que se encargan de recopilar información estadística de las redes de monitoreo del país, procesando los datos para la determinación de las tendencias de los contaminantes, sirviendo como referencia para el sector público y privado en la elaboración y modificación de la política ambiental de México; y los Programas para la Mejora de la calidad del Aire (PROAIRES) que son los encargados de generar información científica capaz de sustentar la adecuación de gestión de la calidad del aire, mediante la propuesta de proyectos que integren desarrollo urbano, de transporte, actividades económicas y sociales para zonas que lo requiera. La vigilancia y/o cumplimiento de las metas de cada uno de los instrumentos de gestión se apoya de forma importante en las mediciones de la calidad

del aire realizadas por las redes de monitoreo del país. A través de estos instrumentos de gestión es como se integra la política de calidad del aire en México.(3–6)

### ***Daños a la salud debido a la contaminación atmosférica***

Varios estudios epidemiológicos han documentado los impactos derivados de la exposición humana a NO<sub>2</sub> en ambientes urbanos, entre los principales efectos se puede mencionar la reducción de la función pulmonar, enfermedades cardiovasculares, ataques de asma, bronquitis crónica, además del desencadenamiento de arritmias, infartos al miocardio y por último la muerte.(7,8)

En una cohorte realizada por Jerrett et. al. en Toronto, Canadá, en donde estudio la relación entre la exposición a contaminación de tráfico vehicular y mortalidad, determino el aumento de la mortalidad por todas causas (no accidentales) de un 17%, esto al aumentar en promedio 4ppb en la concentración de NO<sub>2</sub>. Y un aumento de la mortalidad por enfermedades del sistema circulatorio en un 40%.(9)

Monica C. et al. reporto en su estudio realizado en 10 ciudades de Italia, que al haber un aumento promedio de 10 µg/m<sup>3</sup> de NO<sub>2</sub>, aumentaba en un 2.09% la mortalidad por todas causas (no incluyendo las muertes por accidente); para el caso de muertes cardiacas estas aumentaban en un 2.63%; y para muertes por enfermedades respiratorias se reportó un aumento del 3.48%. Estas asociaciones incrementaban conforme los pacientes habían tenido una o más admisiones hospitalarias previamente y reporte en su expediente de problemas crónicos (enfermedades isquémicas del corazón, deterioro del sistema circulatorio pulmonar, insuficiencia cardiaca).(10)

Para el caso del estudio de Ghozikali et. al. realizado en Tabriz, Iran, reporto un aumento del riesgo del 0.9% conforme al incrementar de la concentración promedio en 10 µg/m<sup>3</sup> de NO<sub>2</sub>, para las admisiones hospitalarias por enfermedades pulmonares obstructivas crónicas.(11)

Mientras que Juan X. et al. determino en su estudio realizado en Shanghai, China, que por un aumento de 10 µg/m<sup>3</sup> en la concentración de NO<sub>2</sub> aumentaron 1.44% las admisiones hospitalarias por enfermedades del corazón, mostrando una mayor asociación en población mayor a los 60 años.(12)

La Organización Mundial de la Salud (OMS) reportó, que la contaminación de las zonas rurales y urbanas provocaron aproximadamente 3.7 millones de defunciones prematuras alrededor del mundo en el año 2012. De las muertes prematuras el 88% pertenecen a países de ingresos bajos y medianos, mientras que las mayores tasas de morbilidad se reportan en las regiones del pacífico Occidental y Asia Sudoriental de la OMS.(13)

La Agencia del Medio Ambiente Europea, por su lado, reportó que sólo en Europa, de las ciudades de más de 500 mil habitantes, entre el 70 a 80%, excedieron los niveles máximos recomendados por la OMS, para uno o más contaminantes, al menos una vez al año.(14)

### ***La contaminación del aire en México***

La contaminación atmosférica en México es un problema que se le atribuye principalmente a las grandes ciudades del país. Sin embargo, hoy en día el crecimiento demográfico, el desarrollo industrial, el elevado número de vehículos, el aumento del consumo de combustibles, entre otros, han propiciado a que el problema de la contaminación del aire se extienda a otras zonas (ciudades medianas) que anteriormente no sufrían de esta problemática.(2,4)

La Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), es responsable de la agenda de la gestión ambiental en materia de calidad del aire, desarrollando actividades encaminadas al monitoreo atmosférico, para la generación de los inventarios de emisiones y la elaboración de los PROAIRES. Finalmente, la adecuación de las Normas Oficiales Mexicanas (NOM), le compete a la Secretaria de Salud (SSA) para emitir la normatividad correspondiente en materia de calidad del aire y los límites máximos permisibles para la protección de la salud de la población.(15)

Para el año de 1984, en el Distrito Federal se inició con el monitoreo de la calidad del aire y para 1986 ya se contaba con la difusión de la información que se emitía de las 25 estaciones que conformaban la red de monitoreo atmosférico. En 1995 se instalaron redes de monitoreo y se publicaron los PROAIRES en Ciudad Juárez, Guadalajara, Monterrey y Toluca. Desde entonces y hasta el año 2000, el gobierno federal en conjunto con el Banco Mundial y la EPA, invirtieron más de dos millones y medio de dólares para la instalación de sistemas de monitoreo atmosférico en 25 estados del país.(6)

En nuestro país, el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), se monitorea en varias entidades del país, sin embargo, dada la calidad de la información es hasta el año 2009 que fue posible elaborar un diagnóstico de concentraciones para San Luis Potosí, Zona Metropolitana del Valle de México, Monterrey y Guadalajara. Dando como resultado que el Valle de México y Guadalajara fueron las ciudades con una mayores contaminaciones, a pesar de que se registró una disminución del 16% de la concentración en comparación del promedio anual del 2005 con el promedio del 2009.(6)

### **Norma Oficial Mexicana para NO<sub>2</sub>**

En nuestro país se han establecido normas que regulan los valores máximos permitidos para los contaminantes atmosféricos criterio (CO, Pb, MP<sub>10</sub>, MP<sub>2.5</sub>, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub>), con las que se busca proteger la salud de la población, incluyendo grupos susceptibles (niños, personas de la tercera edad, personas enfermas con enfermedades respiratorias crónicas, etc.). Para el caso del dióxido de nitrógeno se estableció la “Norma Oficial Mexicana NOM 023-SSA1-1993, Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al bióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>)”. En esta norma se establece que la concentración de bióxido de nitrógeno, como contaminante atmosférico, no debe rebasar el límite máximo de 0.21 ppm (395 µg/m<sup>3</sup>), en una hora una vez al año, como protección a la salud de la población susceptible. La última actualización de esta norma fue en el año de 1993. En la Tabla I podemos observar los valores establecidos por las Normas Oficiales Mexicanas, comparados con los valores emitidos por la OMS, UE y la EPA. En esta comparación se alcanza a visualizar que México aún está por arriba de las recomendaciones de la OMS. (16,17)

**Tabla I. Límites máximos permisibles por contaminante (México, OMS, UE, EPA)**

Contaminante	Promedio del periodo	Unidades	México	OMS	UE	EPA-US	EPA-California
NO <sub>2</sub>	Anual	µg/m <sup>3</sup>		40	40	100	57
		ppm		0.021	0.021	0.053	0.03
	1 hora	µg/m <sup>3</sup>	395	200	200	---	339
		ppm	0.21	0.106	0.106	---	0.18

Fuente: elaborada con datos de la norma internacionales: NOM, OMS, UE, EPA.

## ***Antecedentes de la Evaluación de Impacto en Salud (EIS) en México***

En los últimos años, distintos países en la Unión Europea y recientemente en América, encontrándose Estados Unidos como uno de los países pioneros, ha implementado el método de la Evaluación de impacto en Salud, con el fin de contar con información científica que respalde la toma de decisiones en la gestión ambiental.

En México a lo largo del tiempo se han implementado diversos métodos para la evaluación de impacto a contaminantes del aire. Estas evaluaciones han estado enfocadas al análisis de ozono, partículas y azufre, cuyos resultados han confirmado que mediante la disminución de las emisiones de contaminantes atmosféricos se beneficia a la calidad del aire. Como ejemplo se encuentra el estudio realizado por Bell M. et. al. en el cual se evaluaron tres zonas de estudio de América Latina Ciudad de México, México; Santiago, Chile; Sao Paulo, Brasil, bajo dos escenarios de reducción para O<sub>3</sub> y material particulado, de los que estimaron muertes evitables y admisiones hospitalarias durante el periodo del 2000-2020. Un segundo estudio realizado por Riojas et. al. en la Zona Metropolitana del Valle de México, en donde se determinaron los impactos en salud bajo la propuesta en la reducción de la concentración de PM<sub>10</sub> y O<sub>3</sub>, durante el año 2005, generando estimaciones de muertes evitables y admisiones hospitalarias. El estudio desarrollado por Cervantes M et. al. el cual evaluó los impactos en salud bajo la reducción a la exposición a benceno en la Ciudad de México y la propuesta para actualizar la norma, para mejorar la calidad de la salud poblacional. Trabajo sometido para su publicación como artículo.(18–20)

## **Marco teórico**

### ***Características generales del NO<sub>2</sub>***

Dentro de los contaminantes “criterio” del aire se encuentra el Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), gas soluble, irritante y oxidante que puede alcanzar los bronquiolos y los alveolos. Este contaminante se genera por la combustión a altas temperaturas y en fuentes generadoras de energía, por lo que es un contaminante medido en las redes de monitoreo atmosférico en México. Se ha observado, en estudios toxicológicos de exposición a NO<sub>2</sub>, reactividad bronquial después de inhalar concentraciones iguales o mayores a 1,800 µg/m<sup>3</sup>, en individuos sanos y en sujetos con asma o con enfermedades crónicas pulmonar obstructiva, se encontró una

reactividad a concentraciones de 200-500  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Para el caso de respuesta asmática se observa a concentraciones de 500  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  durante un periodo corto (15-30 min).(21)

La exposición a  $\text{NO}_2$  está relacionada con la presencia de síntomas como irritación de nariz y garganta, seguido de bronco-constricciones y disnea, especialmente en individuos asmáticos e incrementa la susceptibilidad a infecciones respiratorias. El  $\text{NO}_2$  inicia, reactiva y puede alterar la capacidad de respuesta de las células en el proceso inflamatorio, como sucede en las células polimorfas nucleares, macrófagos alveolares y los linfocitos, siendo más frecuente en casos de bronquitis crónica. La exposición crónica a este contaminante puede disminuir las defensas contra las infecciones respiratorias, dilatación en los tejidos de la garganta y vías respiratorias causando una acumulación de líquidos en los pulmones y la muerte. (8,18)

### **Mortalidad**

Diferentes estudios epidemiológicos han registrado fuertes asociaciones de mortalidad con exposiciones a corto y a largo plazo a  $\text{NO}_2$  atmosférico. Sáez M. y colaboradores, reportan que ante un incremento de 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en los niveles promedios por 24hrs se registra un 0.43% de aumento en el número diario por mortalidad por todas causas (a excepción por causa de accidentes) y un aumento del 1% de las muertes por complicaciones cardiovasculares. En el mismo estudio se encontraron diferencias entre los valores del *“Estudio Multi céntrico Español sobre la relación entre la Contaminación Atmosférica y la Mortalidad”* (EMECAM) y el estudio *“Air Pollution and Health: A European Approach”* (APHEA).(22,23)

Para las muertes por todas causas no accidentales, se registró un 2.5% de aumento en comparación con 1.3% reportado por el proyecto APHEA y para el caso de mortalidad cardiovascular se registró un aumento de 5% contra 1% para el proyecto APHEA, en referencia por cada 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en aumento de  $\text{NO}_2$  en 24hrs promedio. En un estudio realizado por Mills IC, et. al., determinaron que para cada 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de aumento en la concentración de  $\text{NO}_2$  en promedio 24hrs, el riesgo de muerte por todas las causas, aumento en 0.71%, 0.88% para muertes cardiovasculares, 1.99% para muertes respiratorias y para una menor asociación, se reportaron estimadores para enfermedades cardíacas, enfermedades crónicas obstructivas pulmonares (COPD), enfermedades isquémicas del corazón y accidentes cerebrovasculares. En el meta análisis desarrollado por Hamra G. et. al., reportaron que incidencia de la mortalidad por cáncer pulmonar aumenta en 4% por incremento en la concentración promedio de  $\text{NO}_2$  en

10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Mientras que los estimadores por separado que corresponden a Europa, Norte América y Japón, el incremento de la mortalidad por cáncer de pulmón correspondió a 2%, 7% y 11% respectivamente, todas bajo el mismo promedio de concentración de  $\text{NO}_2$  de 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Héroux M. et. al. publicó su estudio, donde por medio de un meta análisis desarrolla propuestas para la OMS, donde para la mortalidad para todas las causas aumenta un 0.27% por cada 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de cambio en la concentración de  $\text{NO}_2$ , para todas las edades. (24–27)

A causa de enfermedades respiratorias, por una exposición a  $\text{NO}_2$ . Cambra C. et. al. reporta en su estudio que los días que presentan aumento de los niveles medios diarios de  $\text{NO}_2$ , hay un aumento en la mortalidad a causa de enfermedades respiratorias, además de que, en la temporada de frío, la población mayor a los 70 años resulta ser más afectada. Lo mismo fue reportado por Samoli E. et. al. En estudios por Crouse D. et. al. encontró una fuerte asociación entre el aumento en la concentración de  $\text{NO}_2$  con la mortalidad respiratoria y mortalidad cardiovascular, estudio elabora en 10 ciudades de Canadá. (23)(21,23,28)

### ***Morbilidad***

Para el caso de morbilidad, en varios estudios se han determinado la asociación que existe entre la exposición a contaminantes atmosféricos, entre ellos al  $\text{NO}_2$ , con la atención médica a infecciones respiratorias agudas y otras enfermedades respiratorias en niños menores de 15 años, aún en concentraciones menores a los valores máximos permitidos por las normas oficiales. Ramírez H. et. al., reporto que durante el tiempo del estudio en su mayoría de las horas del día la concentración de  $\text{NO}_2$  no rebasó la norma, aun así, en los registros de concentraciones máximas del contaminante, determino que solo basta con una corta exposición al contaminante para aumentar el riesgo a presentar infecciones agudas en vías respiratorias. Mientras Mills IC. et. al. reporta que las admisiones hospitalarias por enfermedades respiratorias están relacionadas a la exposición con  $\text{NO}_2$  en promedio a 24hrs. Basándose en 15 estimadores establecidos por la OMS en cinco regiones, las admisiones hospitalarias por enfermedades respiratorias para todas las edades incrementan en 0.57%, para admisiones de niños con asma incrementa en 1.27%, para COPD con asma en adultos mayores las admisiones hospitalarias aumentan 1.42% y COPD para todas las edades aumentan en 1.24%, todas relacionadas con el incremento en la concentración promedio por 24hrs de  $\text{NO}_2$  en 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . En el caso de las recomendaciones elaboradas por Héroux M. et.

al. para la OMS, existe un aumento de 0.15% en las admisiones hospitalarias por enfermedades respiratorias para todas las edades, por cada 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de aumento en la concentración de  $\text{NO}_2$ . (25,29)

### ***Evaluación de Impacto en Salud (EIS)***

Derivado de la magnitud de los daños a la salud pública, provocados por desastres ambientales, se comenzó a generar lineamientos en los cuales se establecieron regulaciones ambientales para la protección de la salud poblacional. Dando pie al desarrollo de la Evaluación de Impacto, la cual sirvió como referencia para la creación de la Evaluación de impacto en Salud durante los años 90's donde se generó el Documento de Consenso de Goteborg, ver Figura 1, el cual definió a la EIS, como:

*“La combinación de procedimientos, métodos y herramientas por las cuales una política, programa o proyecto puede ser evaluada en función de sus potenciales efectos sobre la salud de la población”*. (OMS, 1999)

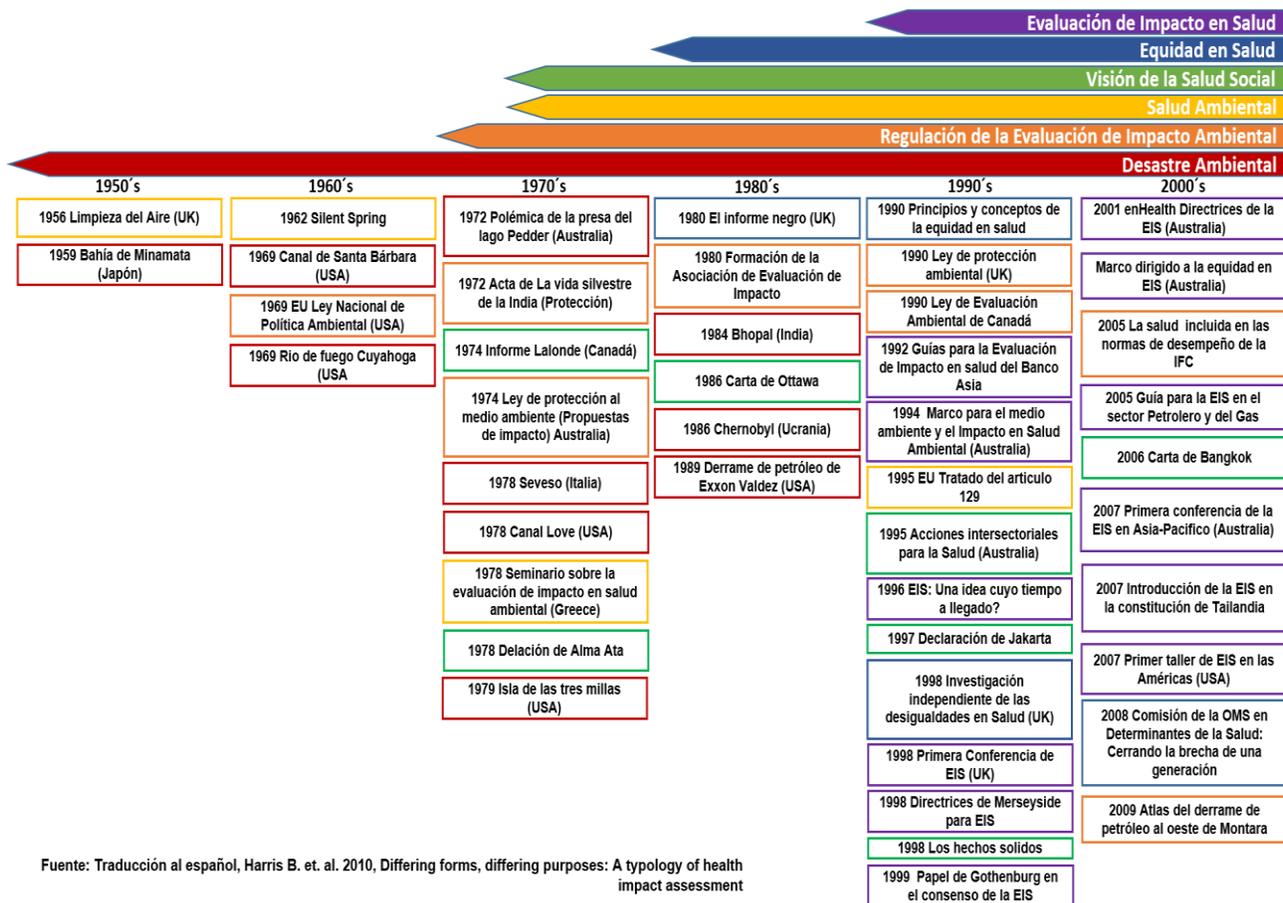
En el trabajo de Medina S. *et. al.* determina dos formas de establecer una EIS, la primera con un enfoque predictivo, donde se realizan proyecciones a futuro de los resultados por lo implementación de regulaciones ambientales, implementado supuestos datos a futuro de la calidad del aire y tendencias de la situación de la salud de la población, estableciendo un periodo necesario para disminuir la concentración de los contaminantes, obteniendo resultados tanto positivos como negativos. Y como segundo enfoque es el contra-factual, el cual utiliza datos reales de la concentración de los contaminantes atmosféricos y de la salud poblacional, en un determinado tiempo, estableciendo escenarios hipotéticos de reducción de la concentración del contaminante de estudio, estableciendo la carga real de eventos de salud atribuida a cierta concentración del contaminante de estudio, permitiendo la cuantificación de los beneficios en tema de salud, sirviendo como apoyo para generar o modificar la política pública en materia de salud pública.(30)

la EIS es el proceso de la información de estudios científicos, para exponer los efectos adversos a la salud de una población determinada expuesta a contaminantes atmosféricos, definido en el enfoque contra-factual, el cual se puede estimar la carga real de la contaminación atmosférica, utilizando conceptos de carga de enfermedad atribuida a cierta concentración de

contaminante. Este método se caracteriza en cuantificar los beneficios en temas de salud y económicos que se pueden alcanzar, al generar y modificar la gestión ambiental para la reducción de emisiones de contaminantes del aire. Por lo que nos permite, con fundamento científico, apoyar la toma de decisiones en favor la salud pública.(7,18,30)

La metodología de la EIS tiene la facilidad de adaptarse a cada caso en el que se aplica, y como resultado final es el conjunto de recomendaciones que buscan maximizar los beneficios de la salud pública y disminuir los posibles daños a la salud, basándose en la mejor evidencia cualitativa y cuantitativa disponible, por lo que, puede utilizarse para estimar los impactos negativos a la salud de una población expuesta a contaminantes del aire, así como, definir los impactos positivos esperados si dichos contaminantes disminuyeran su concentración en el ambiente. La EIS está basada en la aplicación de métodos para obtener el riesgo atribuible a factores específicos. Si se conoce la carga total de un problema de salud en una población específica, se pueden calcular los casos atribuibles a determinados problemas.(18,31)

Figura 1. Cronología del desarrollo de la Evaluación de Impacto en Salud (EIS)

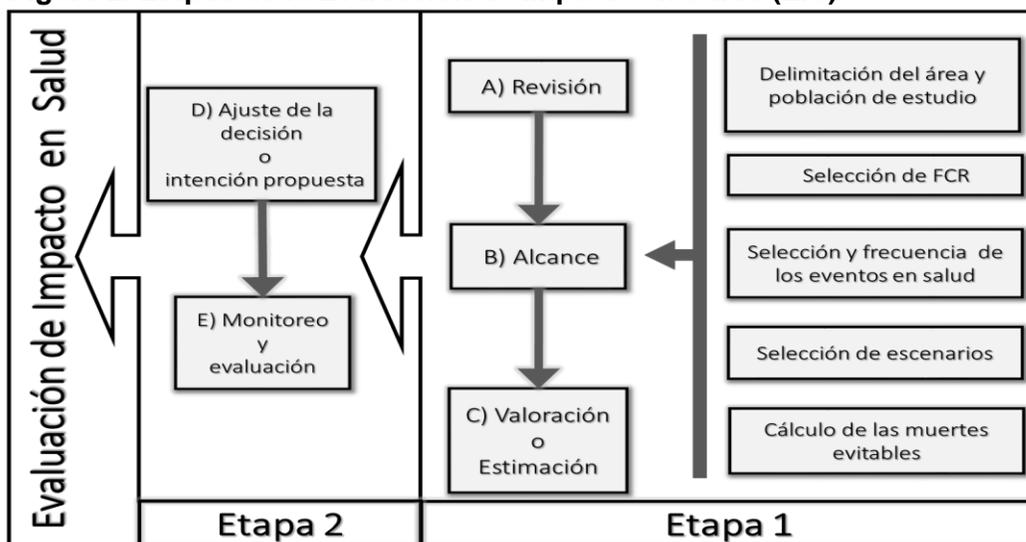


Fuente: Traducción al español, Harris B. et. al. 2010, Differing forms, differing purposes: A typology of health impact assessment

Debido a que generalmente se cuenta con los recursos económicos limitados y de la infraestructura escasa, se debe de tener la certeza de que las acciones a tomar son las adecuadas para la protección de la salud poblacional, por lo que, varios países, entre ellos México, han comenzado a incorporar la Evaluación de Impactos sobre la Salud como un soporte confiable en la toma de decisiones y evaluación de proyectos encaminados a la mejora de la calidad de la salud pública.(18,31)

La OMS propone una serie de pasos como base para la implementación de la EIS, ver Figura 2, donde se puede observar 2 etapas que definen el antes y después de la implementación de la EIS; Etapa 1: “Revisión”, paso en el que se definen si la intervención generara un beneficio a la salud poblacional tomando en cuenta los ventajas y desventajas que conllevan el utilizar la EIS; “Alcance”, paso en el que se define como se va a desarrollar, alcance y eventos en salud prioritarios que se requieran tomar en cuenta; “Valoración o estimación”, fase del estudio en donde se generan las estimaciones de mortalidad o morbilidad evitable, utilizando la información epidemiológica más sólida y actualizada. Etapa 2: “Ajuste de la decisión o intención propuesta”, fase de la evaluación en donde se exponen a los tomadores de decisiones, los resultados y beneficios en función de mejora de la salud pública, para incentivar la aplicación de las recomendaciones de la EIS; “Monitoreo y Evaluación”, paso en el que se le dan seguimiento a las propuestas implementadas y de cuáles fueron sus impactos, en caso de no alcanzar los resultados positivos, se evalúan las posibles causas por las que no se consiguieron los resultados esperados.(32)

**Figura 2. Etapas de la Evaluación de Impacto en Salud (EIS)**



Adaptado de la metodología de la EIS, propuesta por la OMS

## **Planteamiento del problema**

La contaminación del aire en México por NO<sub>2</sub>, representa un riesgo para la calidad de vida de la población. Los efectos adversos provocados por este contaminante pueden presentarse a bajas concentraciones en caso de exposiciones crónicas, a esto se le incluye, que la norma oficial mexicana no cuenta con una actualización desde el año de 1993 y que comparado con los valores recomendados por la OMS, en México el valor de la norma se encuentran aproximadamente al doble, por lo que para los días que reportan concentraciones elevadas de NO<sub>2</sub>, la OMS ya los reconoce como concentraciones peligrosas a la salud de la población expuesta, mientras que la norma en México por tener un límite alto, se sobre estima el peligro que representan estas concentraciones de NO<sub>2</sub> para la salud pública.(17)

En nuestro país, solo en 11 estados de la república mexicana, cuentan con estaciones de monitoreo atmosférico para la medición de la concentración de NO<sub>2</sub> emitidos a la atmósfera. Desde la creación de las redes de monitoreo, se han venido recopilando la mayor cantidad de datos para su procesamiento y uso. Sin embargo, esta información no se le ha aprovechado del todo para conocer los impactos a la salud de la población en México, en términos de mortalidad y morbilidad, que se generan por la exposición al NO<sub>2</sub>. Por lo que, se recurre a utilizar valores reportados en otros países, generando incertidumbre por la variabilidad de características entre territorios y población.

En México ya se han realizado estudios para la Zona Metropolitana del Valle de México, de los que se pueden tomar como referencia para iniciar nuevos estudios que involucren una mayor cobertura del país, no existe la suficiente evidencia de impacto en salud en México por NO<sub>2</sub> por lo que es necesario identificar el impacto que este contaminante provoca sobre la salud pública de la población mexicana, generando a su vez información científica que documente estos efectos y aporte evidencia para la instrumentación de medidas necesarias para la protección de la salud de la población.(17)

## **Justificación**

En México la norma regulatoria de los límites máximos permitidos de emisiones de NO<sub>2</sub> entro en vigor después de su publicación en el Diario Oficial de la Nación en el año de 1994, que hasta el momento no tenido alguna modificación y las evaluaciones de impacto en salud realizadas hasta la fecha no han contemplado el análisis de los efectos a la salud causados por NO<sub>2</sub> a pesar de estar incluido como uno de los contaminantes criterio, por lo que el presente estudio está encaminado a generar evidencia con sustento científico de los beneficios al disminuir los límites máximos permitidos a la exposición a NO<sub>2</sub>, considerando información de las redes de monitoreo del país e información de mortalidad que es recopilada, sistematizada y difundida por el sistema de salud de México, mediante el uso de la metodología de la EIS. De las metas primordiales del estudio a realizar es la de generar escenarios de reducción de NO<sub>2</sub>, que muestren la estimación de muertes evitables y que permitan visualizar propuestas y/o recomendaciones para los tomadores de decisiones en la actualización de la normatividad mexicana.

## **Objetivo general**

Generar escenarios de impacto en salud por exposición a NO<sub>2</sub> en aire ambiente en ciudades de México que monitorean este contaminante durante el año 2013, documentando los resultados como soporte científico para la implementación de política pública en la gestión de la calidad del aire.

## **Objetivos específicos**

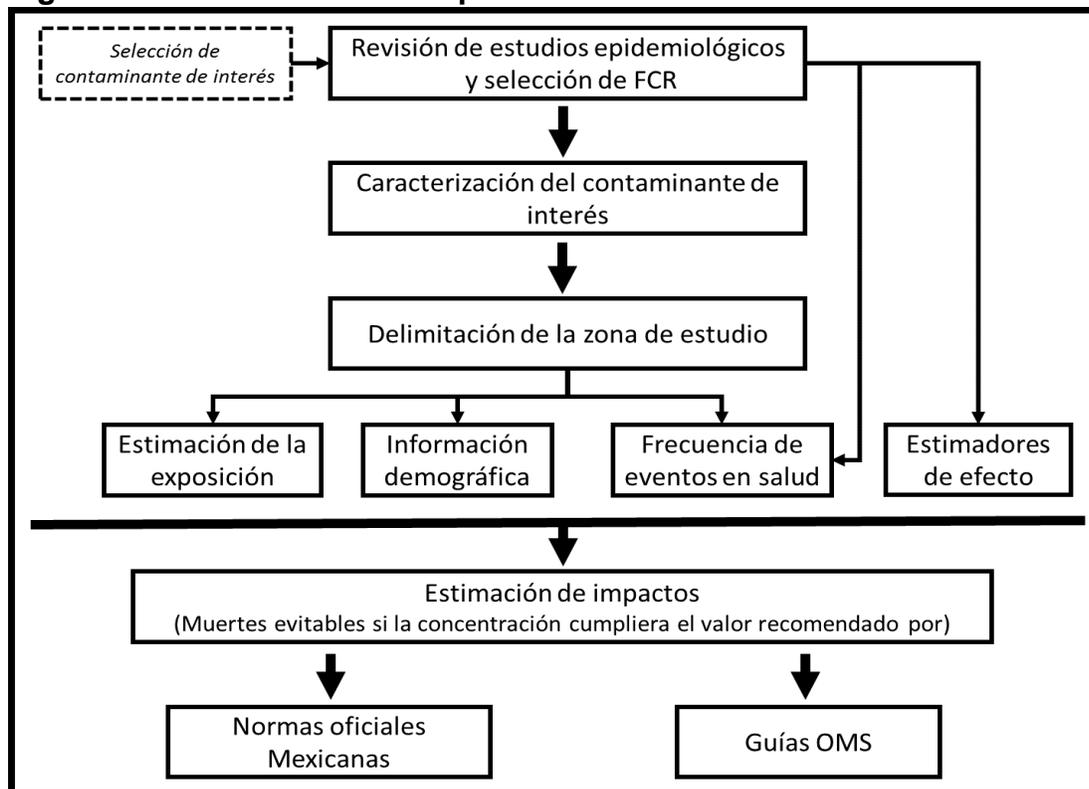
- Seleccionar los mejores estimadores de efectos en salud, asociados a la exposición de la población a NO<sub>2</sub> en aire ambiente.
- Estimar la exposición de la población de las ciudades de estudio.
- Evaluar el impacto en salud bajo diferentes escenarios de exposición.
- Generar un documento de referencia que sirva a los tomadores de decisión de soporte científico.

## Método

Se realizó una Evaluación de Impacto en Salud considerando el año 2013 como basal dado que eran los más actualizados que estuvieron disponibles para el contaminante de interés. De esta manera, toda la información demográfica y de salud fue procesada para este mismo año. La escala de agregación de este estudio es municipal debido a que la información de salud está disponible hasta este nivel de desagregación.

La metodología de la EIS se desarrolló de la manera en que se muestra en la Figura 3, donde se inició con la Revisión de estudios epidemiológicos de los cuales se seleccionaron las funciones de concentración respuesta (FCR), selección de los eventos en salud y los estimadores propuestos para la caracterización del NO<sub>2</sub>. Al caracterizar el contaminante se pudo delimitar la zona de estudio y junto con la frecuencia de eventos en salud se definió la población de estudio. Al tener delimitada la zona de estudio se generaron los promedios de exposición por escala de agregación. Finalmente, con los datos generados se realizó la estimación de las Muertes evitables para los tres escenarios hipotéticos propuestos (Horario-MEX, Anual-OMS, 24hrs-OMS).(17–19)

**Figura 3. Desarrollo de la EIS para el estudio**



### ***Revisión de estudios epidemiológicos y selección de FCR***

Las FCR seleccionadas provienen de estudios epidemiológicos que trabajaron con distintos grupos de población, algunos fueron realizados para población total y otros para grupos etarios específicos. Las estimaciones de impacto se realizaron utilizando la FCR y grupo o grupos de edad analizados en el estudio seleccionado. Los cálculos de las estimaciones de impacto se restringieron a las causas, FCR y grupos(s) de edad que cada uno de los estudios seleccionados analizó. En consecuencia, la descarga y gestión de los datos demográficos y de salud tuvieron que ajustarse a las distintas causas y grupos de edad analizados en cada uno de los estudios seleccionados.

La búsqueda de FCRs se realizó mediante la revisión de artículos científicos buscados en las bases de datos de MEDLINE-PubMed®, Scientific Electronic Library Online (SciELO), ScienceDirect®, de los cuales fueron estudios dedicados al análisis de la asociación existente entre la exposición a contaminantes atmosféricos y sobre todo relacionados con el NO<sub>2</sub>. Las FCRs se seleccionaron si cumplían con los siguientes criterios: Se seleccionaron estudios lo más recientes posibles (no mayores a 10 años); se les dio prioridad a los estudios de meta análisis debido a su rigor metodológico y estadístico; los grupos de estudios debieron de haber sido grandes, así se aseguraba una mayor representatividad de la población; los valores de las FCRs estuvieron expresados como riesgos relativos (RR), odds ratio (OR) o hazard ratio (HR), los cuales contaron con valores promedio mayores a 1 con intervalo de confianza del 95%. Los estudios que cumplieron con estos criterios se pueden observar en la Tabla II.(17–19)

**Tabla II. Selección de estudios que evaluaron la asociación de mortalidad con la exposición a NO<sub>2</sub>**

Estudio	Autor/Año	Diseño	Población	Periodo de estudio	Causa (mortalidad)	Estimador	FCR (RR, 95% IC) ajustadas a 10 µg/m <sup>3</sup>
Spatial Analysis of Air Pollution and Mortality in California	Jerrett M. 2013	Cohorte	73,711	1982-2000	Todas las causas de muerte	Promedio mensual	RR=1.031; IC= 1.008-1.056
					Enfermedades cardiovasculares		RR=1.048; IC= 1.010-1.087
					Enfermedades cardíacas isquémicas		RR=1.066; IC= 1.015-1.119
					Para cardíaco		RR=1.087; IC= 1.016-1.145
					Cáncer de pulmón		RR=1.111; IC= 1.020-1.210
Effects of long-term Exposure to Traffic-related air Pollution on respiratory and cardiovascular mortality in the Netherlands: The NLCS-AIR study	Brunekreef B. 2009	Cohorte	120,852 adultos/ 55-69 años	1987-1996	Causas naturales	Promedio 24hrs	RR=1.08; IC= 1.00-1.16
					Enfermedades Cardiovasculares		RR=1.07; IC= 0.94-1.21
					Enfermedades respiratorias		RR=1.37; IC= 1.00-1.87
					Cáncer pulmonar		RR=0.91; IC= 0.72-1.15
					No cardiopulmonar y no cáncer pulmonar		RR=1.09; IC= 0.98-1.21
A Combined Analysis of the Short-Term Effects of Photochemical Air Pollutants on Mortality within the EMECAM Project	Sáez M. 2002	Meta análisis	9 millones	1990-1996	Enfermedades respiratorias	Promedio 24hrs	RR=1.01822; IC= 0.91258-1.02389
					Enfermedades cardiovasculares		RR=1.01127; IC= 0.9994-1.2314
Meta-analysis of adverse health effects due to air pollution in Chinese populations	Lai H. 2013	Meta análisis	0.5-29 millones	1989-2010	Todas las causas de muerte	Concentración promedio anual	RR=1.0140; IC= 1.0106-1.0174
					Enfermedades cardiovasculares		RR=1.0162; IC= 1.0118-1.0205
					Enfermedades respiratorias		RR=1.0220; IC= 1.0156-1.0284
					Enfermedades cardiopulmonares		RR=1.0155; IC= 1.0049-1.0261

**Tabla II-b Selección de estudios que evaluaron la asociación de mortalidad con la exposición a NO<sub>2</sub>**

Estudio	Autor/Año	Diseño	Población	Periodo de estudio	Causa (mortalidad)	Estimador	FCR (RR, 95% IC) ajustadas a 10 µg/m <sup>3</sup>
Quantifying the health impacts of ambient air pollutants: recommendations of a WHO/Europe project	Héroux M. 2015	Meta análisis	Mayores de 30 años/52,000 adultos	1971-2009	Todas las causas de muerte	Concentración promedio anual	RR=1.055; IC=1.031-1.08
			Todas las edades		Todas las causas de muerte	1 hora promedio diario	RR=1.0027; IC=1.0016-1.0038
A Cohort Study of Traffic-Related Air Pollution and Mortality in Toronto, Ontario, Canada	Jerrett M. 2009	Cohorte	2,414 adultos/ 49, 60, 69 años	1992-2002	Todas las causas no accidentales	Concentración promedio anual	RR= 1.13; IC= 0.97-1.32
					Enfermedades sistema circulatorio		RR=1.39; IC= 1.05-1.85
					Todas las causas no accidentales menos las muertes circulatorias, respiratorias y cáncer pulmonar		RR=1.03; IC= 0.81-1.31
Within- and between-city contrasts in nitrogen dioxide and mortality in 10 Canadian cities; a subset of the Canadian Census Health and Environment Cohort (CanCHEC)	Crouse D. 2014	Cohorte	735,600 adultos/ Mayores de 24 años	1984-2006	Causas no accidentales	Concentración promedio anual	RR=1.05; IC= 1.04-1.07
					Enfermedades cardiovasculares		RR=1.03; IC= 1.01-1.06
					Enfermedades isquémicas del corazón		RR=1.05; IC= 1.02-1.08
					Enfermedades cerebro vasculares		RR=1.00; IC= 0.95-1.05
					Enfermedades respiratorias		RR=1.05; IC= 1.01-1.10
Health impact assessment of air pollution in megacity of Tehran, Iran	Naddafi K. 2012	Cohorte	8,700,000 población en general	2010-2011	Todas las causas de muerte	1 hora promedio diario	RR=1.003; IC= 1.002-1.004
					Enfermedades cardiovasculares		RR=1.004; IC= 1.003-1.005

### **Caracterización del contaminante de interés**

Se solicitaron al INECC las bases de datos de las estaciones de monitoreo que realizaron mediciones de NO<sub>2</sub> en México durante el año 2013. Dichas bases fueron depuradas y validadas mediante el uso del software R (©R Foundation for Statistical Computing. <https://www.r-project.org/>).

La limpieza de las bases de datos consistió en eliminar caracteres no numéricos y valores extremos (números negativos y valores altos atípicos) que pudieran generar resultados falsos en el momento de realizar los cálculos de los promedios de la concentración del contaminante. Seguido se validaron las bases, lo cual consistió en determinar qué estaciones de monitoreo contaron con una suficiencia mínima del 75% en los datos horarios registrados (Máximo en 24 horas y promedios anuales).

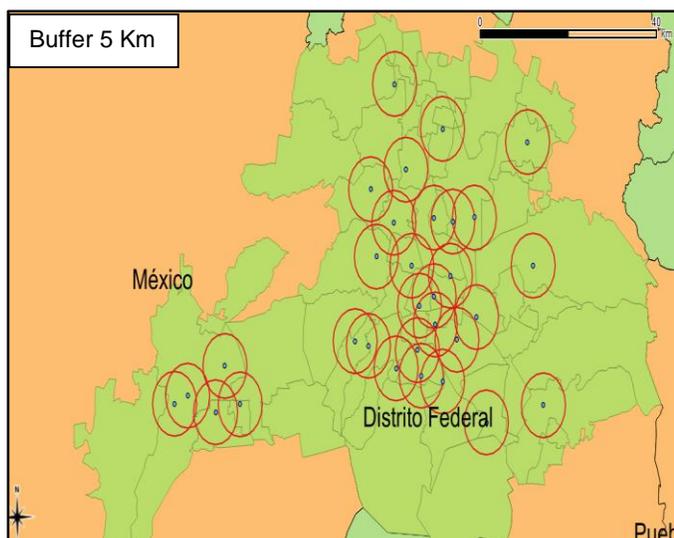
Se obtuvieron los valores máximos diarios, promedios de 24 horas y promedio anual para cada una de las estaciones de monitoreo. Los datos se validaron con un nivel de suficiencia del 75%. De esta manera, se obtuvo la concentración máxima diaria y se calculó el promedio de 24 horas cuando se contó con el 75% de los valores horarios. De igual forma, el valor anual fue calculado cuando se contaba con el 75% de los promedios diarios.

### **Delimitación de la zona de estudio**

El área de estudio y las estimaciones de impacto en salud se trabajaron, con ayuda del software QGIS® 2.12.3, a una escala de agregación municipal, esto a causa de que la información de las bases de datos de los eventos de salud de estudio en México, se encontró disponibles a esta escala como mínimo. La cartografía base utilizada para estos geoprocesos fue la de las estaciones de monitoreo y municipios del país. La delimitación de la cobertura de análisis se realizó a través de los siguientes procesos:

- Se generó un buffer de 5 km a partir de cada estación de monitoreo. Ver Figura 4.

**Figura 4 Selección de municipios en la Cd. de México y Estado de México.**



- Se superpusieron las capas de municipios y buffers de 5 km.
- Se seleccionaron los municipios que fueron intersectados por en la superposición de las capas de municipios y buffers de 5 km.
- Adicionalmente se exploró la posibilidad de ampliar la cobertura considerando buffers de 10km alrededor de cada una de las estaciones de monitoreo. Sin embargo, al realizar este geoproceso, se consideró que el incremento en el número de municipios de análisis no era significativo como para incluirlos en el estudio.

### ***Frecuencia de eventos en salud***

Después de haber seleccionado los estudios de Héroux M. et al. y Crouse D. et al., lo cuales presentaban las causas de mortalidad asociadas a la exposición de NO<sub>2</sub>, se realizaron las búsquedas de las bases de datos para las siguientes causas: Muertes por todas las causas, excluyendo las muertes accidentales, en todas las edades (ICD-10: A00-R99); Muertes por todas las causas, excluyendo las muertes accidentales, en población mayor de 30 años (ICD-10: A00-R99); enfermedades por infecciones respiratorias en población mayor de 24 años (ICD-10: J00-99); enfermedades Cardiovasculares en población mayor de 24 años (ICD-10: I20–I28, I30–I52, I60–I79) y enfermedades Isquémicas del corazón en población mayor de 24 años (ICD-10: I20–I25).(14,27,28)

Las bases de mortalidad se descargaron de los cubos dinámicos de la Dirección General de Información de Salud (DGIS), filtrando por las causas de muertes determinados por los estudios seleccionados, grupos de edad y zonas de estudios en donde se caracterizó el NO<sub>2</sub>. Todas las bases descargadas fueron las reportadas para el año del 2013, ver Tabla III y IV.

### ***Información demográfica***

Los grupos de población se determinado conforme a lo referente en los estudios seleccionados de Héroux M. et al. y Crouse D. et al., por lo que la búsqueda se filtró por población total, población mayor a 24 años y población mayor a 30 años. Además de seleccionar por grupos de edad también se delimito por las zonas de estudios. Las bases de datos se obtuvieron de proyecciones poblacionales del Consejo Nacional de Población (CONAPO), debido a que en el año 2013 no se realizó un censo poblacional. Ver Tabla III y IV. (17–19)

**Tabla III Población y tasa de mortalidad registrada para todas las causas de muertes (excepto muertes accidentales) en el 2013**

Zona Metropolitana	Todas las edades		Mayores de 30 años	
	Población	Tasa (1000 hab)	Población	Tasa (1000 hab)
<b>Guadalajara</b>	4,612,760	5	2,085,830	10
<b>Guanajuato</b>	1,771,929	5	764,336	10
<b>Monterrey</b>	4,254,986	5	2,059,074	9
<b>Puebla</b>	1,893,172	6	878,360	11
<b>Toluca</b>	12,760,553	4	5,995,097	7
<b>V. de México</b>	8,893,742	6	4,765,989	10

*Fuente: Dirección General de Información en Salud (DGIS) 2013*

**Tabla IV Población mayor de 24 años y tasa de mortalidad registrados en el año 2013**

Zona Metropolitana	Cardiovasculares		Infecciones respiratorias		Enfermedades isquémicas del corazón	
	Población	Tasa (1000 hab)	Población	Tasa (1000 hab)	Población	Tasa (1000 hab)
<b>Guadalajara</b>	2,485,367	2	2,485,367	1	2,485,367	1
<b>Guanajuato</b>	914,306	2	914,306	1	914,306	1
<b>Monterrey</b>	2,405,837	2	2,405,837	1	2,405,837	1
<b>Puebla</b>	1,037,291	2	1,037,291	1	1,037,291	1
<b>Toluca</b>	7,047,172	1	7,047,172	1	7,047,172	1
<b>V. de México</b>	5,494,348	2	5,494,348	1	5,494,348	2

*Fuente: Dirección General de Información en Salud (DGIS) 2013*

### ***Estimación de la exposición***

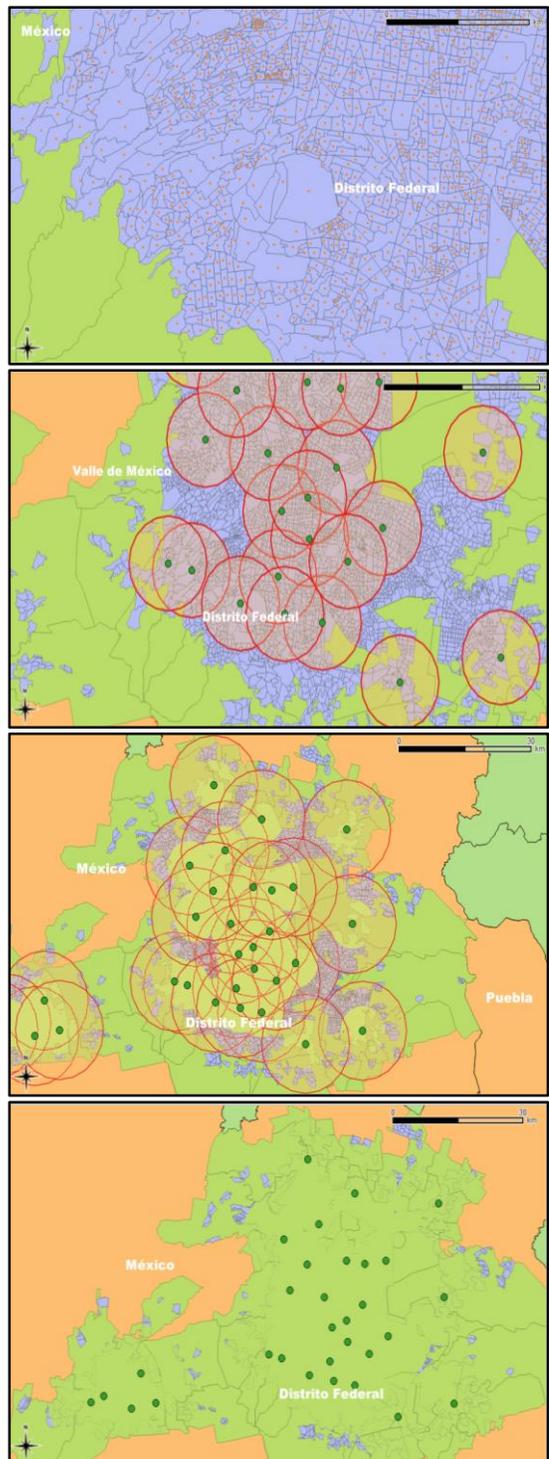
Este paso comprende en determinar la concentración promedio a la que se encuentra expuesta la población del área de estudio. Para este geoproceto primero se realizó la estimación de la concentración a escala de Área Geoestadística Básica (AGEB) y posteriormente se agregó el resultado por municipio. Se utilizó el inverso de la distancia ponderada al cuadrado (IDW por sus siglas en inglés) como método de cálculo de las estimaciones. (33,34)

Los geoprocetos se realizaron con el software R (@R Foundation for Statistical Computing. <http://www.R-project.org/>) cuyos procedimientos a continuación se detallan.

Se agregó la capa con los AGEBS de cada uno de los municipios de análisis y se generó una nueva capa con sus centroides respectivo.

- Se sobrepuso la capa de buffers de 5 km de las estaciones de monitoreo.
- Se seleccionaron todas los centroides de AGEB localizados dentro de las áreas de intersección de los buffers de 5 km. Ver Figura 5
- Dado que cada área de intersección estuvo constituida por la intersección de los buffers de dos o más estaciones, la concentración de cada uno de los centroides de AGEB se calculó promediando los valores de cada una de las estaciones de monitoreo del área de intersección. El valor promedio se calculó utilizando IDW como método de cálculo.
- Se repitió el geoproceso anterior con buffers de 10 km, esto permitió estimar la concentración en centroides de AGEB de los municipios que no habían sido estimados anteriormente por estar fuera de las áreas de intersección.
- Se asignó la concentración de la estación más cercana a cada una de los centroides de AGEB que se localizaron fuera de las áreas de intersección de los buffers de 5 km y 10 km.
- Por último, se promediaron las concentraciones por AGEB para asignar el valor final para cada municipio, para la asignación de la concentración de exposición.

**Figura 5 Estimación de la exposición por georreferencia.**



El cálculo del inverso de la distancia ponderada se realizó mediante la siguiente formula:

$$IDW = \frac{\sum[(\frac{1}{D}) (C_{est})]}{\sum(\frac{1}{D})}$$

Donde:

$IDW$  = Distancia inversa ponderada

$D$  = Distancia de centroides de AGEBS a la estación de monitoreo

$C_{est}$  = Concentración promedio de la estación de monitoreo

### ***Estimación de impactos (Calculo de muertes evitables por escenario)***

Las estimaciones de las muertes evitables se realizaron para tres escenarios propuestos. El primer escenario es bajo el valor establecido para los límites máximos permitidos (0.21ppm/max/hr/año) por la Norma Mexicana el cual se nombró como “Horario-MX”, estimaciones de muertes evitables por eventos de salud crónicos. Segundo escenario se definió bajo el valor propuesto por la OMS (0.021ppm anual), muertes evitables por eventos de salud crónicos. El tercer escenario se nombró “24hr-OMS”, este escenario se ajustó a la FCR propuesta por Héroux M. et. al. el cual maneja un estimador promedio máximo para 24 horas para todas las causas de muerte en todas las edades, para generar un promedio anual y comparar con el valor propuesto por la OMS, muertes evitables por eventos en salud agudos.

Los resultados para cada escenario de reducción de la contaminación por NO<sub>2</sub>, se expresan en casos prevenibles para el año del 2013, para cada evento de salud evaluado. Se puede estimar el número de casos evitables de la siguiente manera:

$$Casos\ evitables = numero\ de\ casos - \frac{numero\ de\ casos}{e^{[(\ln FCR\ corregido) * \Delta conc NO_2]}}$$

Donde:

*Casos evitables*: Número de muertes evitables durante el 2013 en referencia al escenario propuesto.

*Número de casos:* Casos observados durante el año del 2013, en el área de estudio para la causa y grupo etario evaluado

*FCR<sub>corregido</sub>:* Es el FCR expresado como el riesgo relativo por cada unidad de cambio de la concentración de NO<sub>2</sub> en la atmósfera.

*ΔconcNO<sub>2</sub>:* Cambio de la concentración de NO<sub>2</sub> para cada escenario.

## **Resultados**

### ***Revisión de estudios epidemiológicos y selección de FCR***

Se revisaron un total 41 artículos vinculados con la EIS y NO<sub>2</sub>, sin embargo, al revisar su contenido solo se seleccionaron 8 artículos que podrían cubrir los requisitos necesarios, de los cuales al final se determinó utilizar los estudios de Héroux M. et al. y Crouse D. et al. Estos estudios contaron con una mayor solidez epidemiológica y resumían información de múltiples estudios actualizados, ambos estudios cuentan con un periodo de trabajo de 30 años, Héroux M. et al. Implemento meta análisis, del cual se tomó como referencia la FCR para Todas las causas de muerte para todas las edades, Todas las causas de muerte para mayores de 30 años, mientras que Crouse D. et al. se trabajó bajo una cohorte, tomando la FCR de referencia para muertes por Enfermedades Cardiovasculares, muertes por Enfermedades Isquémicas del corazón y muertes por Enfermedades Respiratorias. Ver Tabla II. (27,28)

### ***Caracterización del contaminante NO<sub>2</sub>***

Después de haber estimado la suficiencia para las estaciones de monitoreo se graficaron las concentraciones diarias de NO<sub>2</sub> durante el 2013 y al compararlas con los límites permitidos por la norma nacional se puede observar que, en todas las ciudades, las concentraciones diarias NO<sub>2</sub> estuvieron por debajo de lo que establece la Norma Oficial Mexicana. Ver Anexo 1-6. En contraste cuando las comparamos con los límites propuestos por la OMS tan solo en 4 de los seis estados más del 80% de las concentraciones emitidas a la atmosfera durante el 2013, excedieron los niveles límites recomendados de acuerdo a la OMS y los dos restantes por arriba del 50%, durante el año. Ver Tabla V.

**Tabla V Total de días durante el 2013, que rebasaron los límites propuestos por la OMS.**

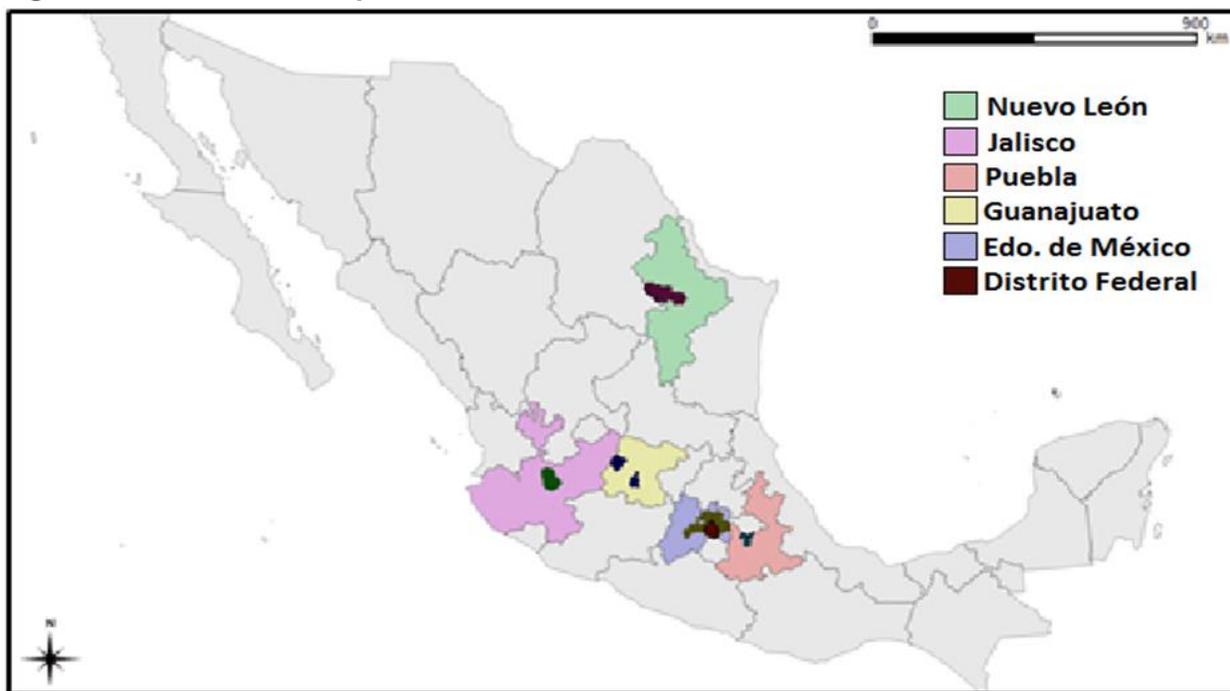
ZONA_CIUADAD	No. de estaciones	Días del año que rebasaron el valor de la OMS	
		Numero	%
Guadalajara	8	318	86.99%
Guanajuato	5	247	67.56%
Monterrey	8	197	53.94%
Puebla	1	302	82.74%
Toluca	5	306	83.84%
Valle de México	26	328	89.74%

***Delimitación del área de estudio***

En la Figura 6, se pueden observar la zona de estudio constituida por seis estados, los cuales tienen la característica de disponer de estaciones de monitoreo con bases de datos que satisficieron los criterios de validación al 75% de suficiencia. Los estados fueron: Distrito Federal, Guanajuato, Jalisco, Estado de México, Nuevo León y Puebla, los cuales contemplan en conjunto un total de 82 municipios y 54 estaciones de monitoreo, ver Tabla VI. En el Anexo 7 se muestran los nombres de los municipios incluidos al estudio.

Después de haber estimado la suficiencia para las estaciones de monitoreo se observaron las tendencias de las concentraciones de NO<sub>2</sub> durante el 2013, en donde se compararon los límites permitidos por la norma nacional y los límites permitidos propuestos por la OMS. Ver en Anexos 1-6.

**Figura 6. Estados de la república mexicana incluidos en el estudio 2013**



**Tabla VI Total de municipios y estaciones de monitoreo validadas en la República mexicana (2013).**

<b>Estado</b>	<b>Número de municipios/delegaciones</b>	<b>Estaciones Suficiencia 75%</b>
Distrito Federal	17	26
Estado de México	41	5
Guanajuato	2	6
Jalisco	6	8
Nuevo León	10	8
Puebla	6	1
<b>Total:</b>	<b>82</b>	<b>54</b>

***Estimación de impactos por escenario (eventos en salud agudos y crónicos)***

***Escenario (Horario-MEX)***

Para el caso de la estimación de las muertes evitables correspondientes al escenario 1 se le determino “Escenario Horario-MEX”, representado por el valor establecido por la norma mexicana, los valores medidos no rebasaron el limite permisible por lo que las estimaciones de muertes evitables para todos los eventos de salud seleccionados resultaron en cero.

***Escenario (ANUAL-OMS)***

***Estimación de impacto por enfermedades agudas***

En el caso de muertes por Infecciones Respiratorias, el estado que repunta con el mayor número de muertes evitables fue el Valle de México con un promedio de 3,646, seguido de Toluca con 501 muertes evitables, Guadalajara con 312 muertes evitables y 5 muertes evitables en Monterrey, observar la Tabla VII y Anexo 8.

**Tabla VII Infecciones respiratoria - Muertes evitables en el 2013**

<b>Ciudad</b>	<b>ME-Mínimas</b>	<b>ME-Promedio</b>	<b>ME-Máximas</b>
Guadalajara	68	312	564
Monterrey	1	5	9
Puebla	NE	NE	NE
Guanajuato	NE	NE	NE
Toluca	169	501	614
Valle México	1008	3646	5242

### *Estimación de impacto por enfermedades crónicas*

Bajo el escenario 2, representado como “Escenario Anual-OMS”, para el caso de las Enfermedades Isquémicas del corazón, solo en tres de los estados se pudo estimar el número de muertes evitables, sobresaliendo el Valle de México con un promedio de 253 muertes evitables, seguido de Toluca con 21, Guadalajara con 20 y Monterrey con un promedio de 1. Ver Tabla VIII y Anexo 9.

**Tabla VIII Enfermedades Isquémicas del corazón - Muertes evitables en el 2013**

<b>Ciudad</b>	<b>ME-Mínimo</b>	<b>ME-Promedio</b>	<b>ME-Máximo</b>
Guadalajara	8	20	30
Monterrey	NE	1	1
Puebla	NE	NE	NE
Guanajuato	NE	NE	NE
Toluca	12	21	24
Valle México	128	253	331

Con respecto a la estimación de muertes evitables por enfermedades Cardiovasculares, el mayor promedio se reportó en el Valle de México con 6,467, seguido de Toluca con 772 muertes evitables, Guadalajara 398 muertes evitables y Monterrey 11 muertes evitables. Ver Tabla IX y Anexo 10.

**Tabla IX Enfermedades Cardiovasculares – Muertes evitables en el 2013**

<b>Ciudad</b>	<b>ME-Mínimas</b>	<b>ME-Promedio</b>	<b>ME-Máximas</b>
Guadalajara	138	398	748
Monterrey	4	11	20
Puebla	NE	NE	NE
Guanajuato	NE	NE	NE
Toluca	339	772	1081
Valle México	2549	6467	10330

En el caso de Todas las causas para población mayor de 30 años, la mayor estimación de muertes evitables se reportó para el Valle de México con 38,518, seguido de Toluca con 4,777 muertes evitables, Guadalajara con 2,840 y Monterrey con 53. Puebla y Guanajuato reportaron cero muertes evitables. Ver Tabla X y Anexo 11.

**Tabla X Todas las causas mayores de 30 años – Muertes evitables en el 2013**

Ciudad	ME-Mínimas	ME-Promedio	ME-Máximas
Guadalajara	1683	2840	3930
Monterrey	31	53	74
Puebla	NE	NE	NE
Guanajuato	NE	NE	NE
Toluca	3586	4777	5387
Valle México	26028	38518	47321
<b>Muertes por todas las causas excluyendo las muertes por accidentes</b>			

**Escenario (24hr-OMS)***Estimación de impacto por enfermedades agudas*

Para el caso de muertes por todas las causas – todas las edades, el mayor número de muertes evitables se reportó en el Valle de México con 8,009, seguido de Monterrey con 2,297, Guadalajara con 2,334, Toluca con 992, Guanajuato con 661 por ultimo Puebla con 615. Ver Tabla XI. En los Anexos 12-17 se pueden observar las tendencias de muertes evitables por día correspondientes a cada ciudad de estudio.

**Tabla XI Todas las causas todas las edades – Muertes evitables en el 2013**

Ciudad	ME-Mínimas	ME-Promedio	ME-Máximas
Guadalajara	1370	2334	3238
Guanajuato	408	661	902
Monterrey	1347	2297	3236
Puebla	365	615	827
Toluca	590	992	1343
Valle de México	4537	8009	11475
<b>Muertes por todas las causas excluyendo las muertes por accidentes</b>			

**Ninguna Estimación**

Para los estados que reportaron Ninguna Estimación (NE), cabe aclarar que no se reportaron muertes evitables debido a que las deltas de cocentracion calculadas, no revasaron en promedio al valor establecido por la OMS, por lo que, las emisiones del contaminantes no representaban un riesgo para la salud publica, dando como resultado cero muertes evitables.

## Discusión

Derivado de los resultados obtenidos, podemos destacar que el Valle de México se comportó como la zona con mayor número de muertes evitables, para las diferentes causas de mortalidad en los distintos escenarios, seguido de Toluca, Guadalajara y Monterrey, los cuales variaban su posición dependiendo del evento en salud.

Para Enfermedades isquémicas del corazón, la cual, el promedio total del estudio fue de 295 muertes evitables, lo que en comparación con los resultados de los demás eventos de salud podría ser un valor bajo, sin embargo, en las estadísticas de mortalidad del INEGI para el 2013, las Enfermedades del corazón, en las que se encuentran las enfermedades isquémicas, obtuvieron el primer lugar dentro de las 20 principales causas de mortalidad en México. Por lo que de haber regulado las emisiones de NO<sub>2</sub> durante el año 2013 conforme a los límites que establece la OMS, se habría disminuido la mortalidad por enfermedades isquémicas del corazón.

Derivado de la poca cantidad de información y datos recopilados solo se llegó a trabajar con 6 de los 32 estados de la república mexicana, estrictamente hablando una cobertura del 18.75% de México. Sin embargo, al desagregar por municipios, observamos que la cantidad de estaciones que monitorean NO<sub>2</sub>, en el caso de Puebla solo cuenta con una estación, en lo que derivó en una cobertura menor en las estimaciones de muertes evitables.

Podemos rescatar en el estudio la presencia de los estados con mayor número de habitantes durante el 2013, como el Estado de México, Distrito Federal y Jalisco. Donde el Estado de México y Distrito Federal, ya han incursionado en varios estudios ambientales y actualización en políticas de la calidad del aire, lo que se traduce en un mayor número de estaciones de monitoreo instaladas.

La calidad de los datos de mortalidad está sujeta al reporte de las mismas por los servicios de salud de la República Mexicana, por lo que se debe de tener presente la existencia del sub registro, por lo cual, los resultados de las muertes evitables están subestimados, por tal motivo los resultados cuentan con cierta incertidumbre. Para lo que, se precisó de utilizar los estimadores más actualizados y confiables que existe en la literatura científica.(19)

### ***Estimación de las muertes evitables***

Después de los resultados, se observa que los límites permisibles establecidos por la norma mexicana para las emisiones de NO<sub>2</sub> están por encima de lo que establecen las normas internacionales, en este caso, los límites permitidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS), esto se refleja al haber graficado los resultados de las mediciones de la concentración atmosférica de NO<sub>2</sub> durante el año 2013 de todas las estaciones que fueron validadas para este estudio. Y como segunda evidencia, los resultados en las estimaciones de muertes evitables, donde la norma mexicana, representada como el “Anual-MX”, no se reportaron ninguna muerte evitable, aún para las concentraciones más altas registradas durante el año. En cambio, para las estimaciones para la norma de la OMS, representada como el “Anual-OMS”, se reportaron muertes evitables mínimas, máximas y en promedio por cada una de las causas de muertes seleccionadas previamente.

### ***Anual-OMS***

Para el caso de las muertes por todas las causas, excluyendo las muertes por accidentes, FCR reportada por Héroux M. et al. (27), para la zona metropolitana del Valle de México en promedio se habrían evitado 8,009 muertes, esto es una disminución del 15% de 53,493 muertes reportadas, por lo que la tasa de mortalidad habría pasado de 6 a 5 muertes por cada 1,000 habitantes; en la zona metropolitana de Guadalajara se habrían evitado 2,334 muertes lo que representa un 10% menos de las 24,393 muertes reportadas, la tasa de mortalidad de mantendría en 5 muertes por cada 1,000 habitantes; para la zona metropolitana de León en promedio se habrían evitado 661 muertes que representa el 8% menos de 8,375 de muertes reportadas, la tasa habría cambiado de 5 a 4 muertes por cada 1,000 habitantes, en la zona metropolitana Monterrey en promedio se habrían evitado 2,297 esto es el 11% menos de los 20,408 muertes reportadas, cambiando la tasa de 5 a 4 muertes por cada 1,000 habitantes, en la zona metropolitana de Puebla en promedio se habrían evitado 615 que representa el 6% menos de 11,105 muertes reportadas, manteniéndose la tasa de mortalidad en 6 muertes por cada 1,000 habitantes; en la zona metropolitana de Toluca en promedio se habrían evitado 992 muertes esto es el 2% menos de 45,496 muertes reportadas, cambiando la tasa de mortalidad de 4 a 3 muertes por cada 1,000 habitantes. Las muertes totales por cada zona metropolitana corresponden al año 2013.

Para el caso de las enfermedades Cardiovasculares la zona metropolitana de Guadalajara su promedio de muertes evitables sería de 398 siendo el 7.5% menos de las 5,299 muertes reportadas, sin presentar cambio en la tasa de mortalidad de 2 muertes por cada 1,000 habitantes; en la zona metropolitana de Monterrey el promedio de muertes evitables sería de 11 representando 0.2% menos de las 5,573 muertes reportadas, sin presentar cambios en la tasa de mortalidad de 2 muertes por cada 1,000 habitantes; para la zona metropolitana de Toluca su promedio de muertes evitables sería de 772, representando el 8.1% menos de las 9,532 muertes reportadas, sin tener cambios en la tasa de mortalidad de 1 muerte por cada 1,000 habitantes; para la zona metropolitana del Valle de México su promedio de muertes evitables sería de 6,467 lo cual es el 50.6% menos de las 12,788 muertes reportadas, presentando un cambio en la tasa de mortalidad de 2 a 1 muerte por cada 1,000 habitantes. Para el caso de las zonas metropolitanas de León, Salamanca y Puebla-Tlaxcala, no se reportaron muertes evitables. Las muertes totales por cada zona metropolitana corresponden al año 2013.

Para el caso de la zona metropolitana de Guadalajara el promedio de muertes evitables sería de 312, representando el 11.7% menos de las 2,657 muertes reportadas, con un cambio en la tasa de mortalidad de 11 a 9 muertes por cada 10,000 habitantes; en la zona metropolitana de Monterrey el promedio de muertes evitables sería de 5, representando el 0.3% menos de las 1,883 muertes reportadas, sin tener cambio en la tasa de mortalidad de 8 muertes por cada 10,000 habitantes; en la zona metropolitana de Toluca el promedio de muertes evitables sería de 501, representando el 12.6% menos de las 3,985 muertes reportadas, con un cambio en la tasa de mortalidad de 6 a 5 muertes por cada 10,000 habitantes; para la zona metropolitana del Valle de México el promedio de muertes evitables sería de 3,646, representando el 74% menos de las 4,926 muertes reportadas, con un cambio en la tasa de mortalidad de 9 a 2 muertes por cada 10,000 habitantes. Para el caso de las zonas metropolitanas de León, Salamanca y Puebla-Tlaxcala, no se reportaron muertes evitables. Las muertes totales por cada zona metropolitana corresponden al año 2013.

En el caso de enfermedades Isquémicas del corazón en la zona metropolitana de Guadalajara el promedio de muertes evitables es de 20, lo que representa 0.6% menos de las 3,242 muertes reportadas, permaneciendo la tasa de mortalidad en 13 muertes por cada 10,000 habitantes;

en la zona metropolitana de Monterrey el promedio de muertes evitables es de 1, representando 0.03% menos de las 3,608 muertes reportadas, sin cambio en la tasa de mortalidad de 15 muertes por cada 10,000 habitantes; en la zona metropolitana de Toluca el promedio de muertes evitables es de 21, representando el 0.4% menos de las 5,995 muertes reportadas, presentando un cambio en la tasa de mortalidad de 9 a 8 muertes por cada 10,000 habitantes; en la zona metropolitana del Valle de México el promedio de muertes evitables es de 253, representando el 3.1% menos de las 8,250 muertes reportadas, manteniendo una tasa de mortalidad de 15 muertes por cada 10,000 habitantes. Para el caso de las zonas metropolitanas de León, Salamanca y Puebla-Tlaxcala, no se reportaron muertes evitables. Las muertes totales por cada zona metropolitana corresponden al año 2013.

### **24hr-OMS**

En el caso para las muertes evitables por Todas las causas (no accidentales) mayores de 30 años, con FCR derivada de Héroux M.(27), se observó que para la zona metropolitana de Guadalajara el promedio de muertes evitables es de 2,840 que representa el 13% menos de 21,872 muertes reportadas, cambiando la tasa de mortalidad de 77 a 67 muertes por cada 1,000 habitantes; para la zona metropolitana de Monterrey el promedio de muertes evitables es de 53 que es igual al 0.3% de 18,775, la tasa de mortalidad de mantendría en 9 muertes por cada 1,000 habitantes; en la zona metropolitana de Toluca el promedio de muertes evitables es de 4,777 representando el 11.7% menos de 40,914 de las muertes reportadas, cambiando la tasa de mortalidad de 7 a 6 muertes por cada 1,000 habitantes; para la zona metropolitana del Valle de México el promedio de las muertes evitables es de 38,518, representando el 79% menos de 48,622 de las muertes reportadas, cambiando la tasa de mortalidad de 10 a 2 muertes por cada 1,000 habitantes y para el caso de las zonas metropolitanas de León, Salamanca y Puebla-Tlaxcala las muertes evitables dieron como resultado igual a cero. Las muertes totales por cada zona metropolitana corresponden al año 2013.

### ***Situación con otros estudios en México***

Uno de los estudios más recientes en México, en el que se utiliza la EIS, en el área Metropolitana de la Ciudad de México, fue el de Riojas H. et. al. (2014), evaluando la mortalidad a causa de enfermedades cardiopulmonares, enfermedades respiratorias, enfermedades cardiovasculares y enfermedades cerebrovasculares, asociadas a exposición de Ozono y PM<sub>10</sub>, obtuvieron en promedio 400 y 2,300 muertes evitables respectivamente para cada contaminante. Mientras que los resultados de nuestro estudio las muertes evitables resultaron mayores tomando solo en cuenta el Valle de México evaluando la mortalidad por enfermedades isquémicas del corazón, enfermedades respiratorias y cardiovasculares, los resultados fueron de 10,366 muertes evitables, un mayor número de muertes que las reportadas por Riojas H. et. al. Hay que tomar en cuenta que los contaminantes de interés son distintos, por lo que los valores de referencia de las FCR son desiguales, por lo tanto las comparaciones no se pueden tomar directamente, a lo que solo podemos observar el impacto de forma individual para cada contaminante.(18)

### **Conclusiones**

Es inevitable la exposición a la contaminación atmosférica por NO<sub>2</sub> para el desarrollo de las actividades humanas diarias, sin embargo, podemos realizar los esfuerzos necesarios para disminuir en la medida de lo posible las emisiones del contaminante, lo que se traduce en una mejora de la calidad de la salud pública.

Refiriéndonos al estudio de Riojas H. et. al. no podemos establecer una comparación directa debido a los diferentes valores utilizados, sin embargo, debemos de destacar el uso de la EIS, lo cual permite visualizar los impactos generados por la contaminación atmosférica y de los beneficios resultantes por la disminución de las concentraciones de los contaminantes atmosféricos. Los resultados de nuestro estudio pueden ser tomados como valores de referencia al igual los emitidos por Riojas H. et. al. ya que los daños a la salud provocados en alguno de los casos son los mismos. Dejando en claro que las muertes evitables no deben de sumarse entre los dos estudios, para esto se requiere realizar un modelo múltiple en donde se integren los valores de los contaminantes de interés.

Hoy en día existen diversas necesidades, las cuales resultaron en limitaciones en el estudio, iniciando con la poca cobertura que comprenden las diversas redes de monitoreo en el país,

sumando aquellas estaciones que indican medir el contaminante, pero por problemas técnicos en la medición de la concentración de NO<sub>2</sub> no cumplen con el número de datos suficientes y que por consecuencia no pudieron ser incluidas en el estudio, reduciendo el alcance del presente estudio.

De las bases de mortalidad emitidas por la Secretaría de Salud, se tuvo en cuenta que existe un posible sub registro de los datos, por lo que se tuvo presente una incertidumbre en el cálculo de la estimación de las muertes evitables, entendiendo que existe una subestimación de los resultados finales.

Podemos concluir, que por encima de las limitaciones, que la información generada en nuestro estudio, cuenta con los elementos técnicos suficientes para recomendar que sea actualice la norma vigente en México al valor recomendado por la OMS (0.21 a 0.021ppm/1hr/año), el cual ha tenido revisión en el 2005 y que en el 2015 se realizó una reunión con expertos en el tema de contaminación atmosférica, para comenzar en el año 2016 con la revisión de los avances logrados, en política de la calidad del aire, de los países miembros, y actualizar, si es necesario, las Guías de la Calidad del Aire para mantener la calidad de la salud pública.(35)

En la medida de lo posible y en el avance de los estudios realizados en nuestro país, se debe de tomar en cuenta de igual forma los eventos de morbilidad, ya que, si bien no puede compararse en severidad con la mortalidad, se pueden medir los efectos negativos en la deficiencia en la calidad de vida en la población, representado principalmente en años de vida potencialmente perdidos, resultando en la inversión de capital humano e insumos para la atención de los problemas de salud.

## **Recomendaciones**

- Actualizar la “*Norma Oficial Mexicana NOM 023-SSA1-1993, Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al bióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>)*”, y encaminarla hacia el valor recomendado por la OMS.
- Promover los recursos necesarios para el mantenimiento óptimo de las redes de monitoreo ambiental existentes, lo que permitirá generar más información de la calidad del aire y tendencias de las concentraciones del contaminante.

- Ampliar las redes de monitoreo, en la medida de lo posible, con más equipos de monitoreo ambiental, lo que se traduce en mayor cobertura de la población expuesta a la contaminación atmosférica.
- Establecer la estandarización de formatos de emisión de datos de monitoreo de las bases de datos de las redes atmosféricas.
- Para las anteriores recomendaciones es necesario tomar en cuenta la NOM-156-SEMARNAT-2015, la cual establece los criterios para dar prioridad a las zonas habitadas que aún no cuentan con una red de monitoreo atmosférico.
- Dar seguimiento y generar nuevos estudios, tanto de mortalidad como de morbilidad en nuestro país, con el afán de continuar y generar nueva información que sea representativa de la población y zonas geográficas de México.

### **Consideraciones éticas y de bioseguridad**

Para este estudio se determinó que, esta investigación es de riesgo nulo, conforme a lo establecido por el Reglamento de Investigación de la Ley General de Salud México, debido a que en el presente trabajo no se trabajó con la población directamente, tampoco se utilizaron expedientes médicos, ni mucho menos se trabajaron con información personal. La información a utilizada son bases de datos secundarios que se encontraron en acceso libre, emitidos por revistas científicas, portales de divulgación científicas, INEGI, CONAPO y la Secretaria de Salud, información que se limita a presentar solo número de muertes por diversas enfermedades, año, entidad, grupos de edades, entre otras, por lo que no se emiten datos personales de ninguna índole.

## Bibliografía

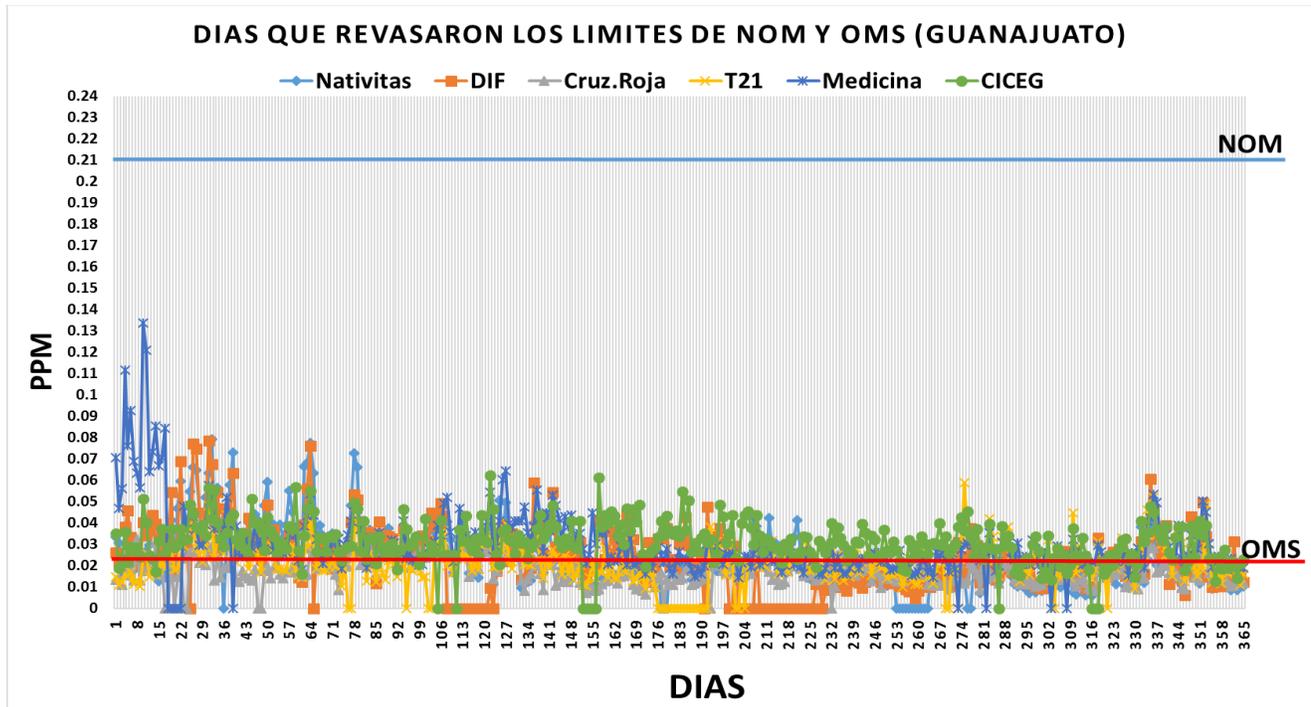
1. Ballester Díez F, Tenías JM, Pérez-Hoyos S. [The effects of air pollution on health: an introduction]. *Rev Esp Salud Pública*. 1999 Apr;73(2):109–21.
2. Yassi A, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Oficina Regional para América Latina y el Caribe, Organización Mundial de la Salud, Instituto Nacional de Higiene E y M, Ministerio de Salud Pública de Cuba. *Salud ambiental básica*. México: Oficina Regional de Cultura para América Latina y el Caribe; 2002.
3. SMAGDF, SMAGEM, SEMARNAT, COFEPRIS, AEQUUM. Programa para mejorar la calidad del aire de la Zona Metropolitana del Valle de México 2011-2020.
4. Riojas-Rodríguez H, Schilmann A, López-Carrillo L, Finkelman J. La salud ambiental en México: situación actual y perspectivas futuras. *Salud Pública De México*. 2013 Nov;55(6):638–49.
5. Bell M-L, Samet J-M, Organización Panamericana de la Salud (. *Salud Ambiental: de lo global a lo local*.
6. INECC, SENICA. Cuarto almanaque de datos y tendencias de la calidad del aire en 20 ciudades mexicanas (2000-2009). 2011.
7. Pérez L, Sunyer J, Künzli N. Estimating the health and economic benefits associated with reducing air pollution in the Barcelona metropolitan area (Spain). *Gac Sanit SESPAS*. 2009 Aug;23(4):287–94.
8. Brunekreef B, Holgate ST. Air pollution and health. *Lancet*. 2002 Oct 19;360(9341):1233–42.
9. Jerrett M, Finkelstein MM, Brook JR, Arain MA, Kanaroglou P, Stieb DM, et al. A Cohort Study of Traffic-Related Air Pollution and Mortality in Toronto, Ontario, Canada. *Environ Health Perspect*. 2009 May;117(5):772–7.
10. Chiusolo M, Cadum E, Stafoggia M, Galassi C, Berti G, Faustini A, et al. Short-Term Effects of Nitrogen Dioxide on Mortality and Susceptibility Factors in 10 Italian Cities: The EpiAir Study. *Environ Health Perspect*. 2011 May 17;119(9):1233–8.
11. Ghozikali MG, Mosaferi M, Safari GH, Jaafari J. Effect of exposure to O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, and SO<sub>2</sub> on chronic obstructive pulmonary disease hospitalizations in Tabriz, Iran. *Environ Sci Pollut Res*. 2015 Feb;22(4):2817–23.
12. Xie J, He M, Zhu W. Acute Effects of Outdoor Air Pollution on Emergency Department Visits Due to Five Clinical Subtypes of Coronary Heart Diseases in Shanghai, China. *J Epidemiol*. 2014;24(6):452–9.
13. OMS | Calidad del aire (exterior) y salud [Internet]. WHO. [cited 2015 Apr 27]. Available from: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/>

14. OMS | Guías de calidad del aire - actualización mundial 2005 [Internet]. WHO. [cited 2015 Apr 23]. Available from: [http://www.who.int/phe/health\\_topics/outdoorair\\_aqg/es/](http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair_aqg/es/)
15. Instituto Nacional de Ecología (México), México, Secretaría de Medio Ambiente RN y P. Sistema de indicadores ambientales y registro de emisiones y transferencias de contaminantes: logros y retos para el desarrollo sustentable, 1995-2000. México: SEMARNAP : Instituto Nacional de Ecología; 2000.
16. Perez-Duarte F. Norma Oficial Mexicana NOM-023-SSA1-1993, Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al bióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>). Valor normado para la concentración de bióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) en el aire ambiente como medida de protección a la salud de la población. de Enero de, 1994 p. 3.
17. Echániz-Pellicer G, Garibay-Bravo V. Guía para evaluar los impactos en la salud por la instrumentación de medidas de control de la contaminación atmosférica [Internet]. 2012. Available from: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/download/682.pdf>
18. Riojas-Rodríguez H, Álamo-Hernández U, Texcalac-Sangrador JL, Romieu I. Health impact assessment of decreases in PM<sub>10</sub> and ozone concentrations in the Mexico City Metropolitan Area: a basis for a new air quality management program. *Salud Pública México*. 2014 Dec;56(6):579–91.
19. Cervantes-Martínez K, Álamo- U, Texcalac-Sangrador JL, Riojas-Rodríguez H, Schilmann-Halbinger A. Evaluación de impacto en salud por la reducción de la contaminación del aire con benceno en la Ciudad de México. [Cuernavaca, Morelos, México]: Escuela de Salud Publica de México;
20. Bell ML, Davis DL, Gouveia N, Borja-Aburto VH, Cifuentes LA. The avoidable health effects of air pollution in three Latin American cities: Santiago, São Paulo, and Mexico City. *Environ Res*. 2006 Mar;100(3):431–40.
21. Samoli E. Short-term effects of nitrogen dioxide on mortality: an analysis within the APHEA project. *Eur Respir J*. 2006 Jun 1;27(6):1129–38.
22. Katsouyanni K, Zmirou D, Spix C, Sunyer J, Schouten JP, Pönkä A, et al. Short-term effects of air pollution on health: a European approach using epidemiological time-series data. The APHEA project: background, objectives, design. *Eur Respir J*. 1995 Jun;8(6):1030–8.
23. Cambra Contín K, Alonso Fustel E. [The short-term effects of air pollution on mortality: the results of the EMECAM project in greater Bilbao. Estudio Multicéntrico Español sobre la Relación entre la Contaminación Atmosférica y la Mortalidad]. *Rev Esp Salud Pública*. 1999 Apr;73(2):209–14.
24. Saez M, Ballester F, Barceló MA, Pérez-Hoyos S, Bellido J, Tenías JM, et al. A combined analysis of the short-term effects of photochemical air pollutants on mortality within the EMECAM project. *Environ Health Perspect*. 2002 Mar;110(3):221–8.

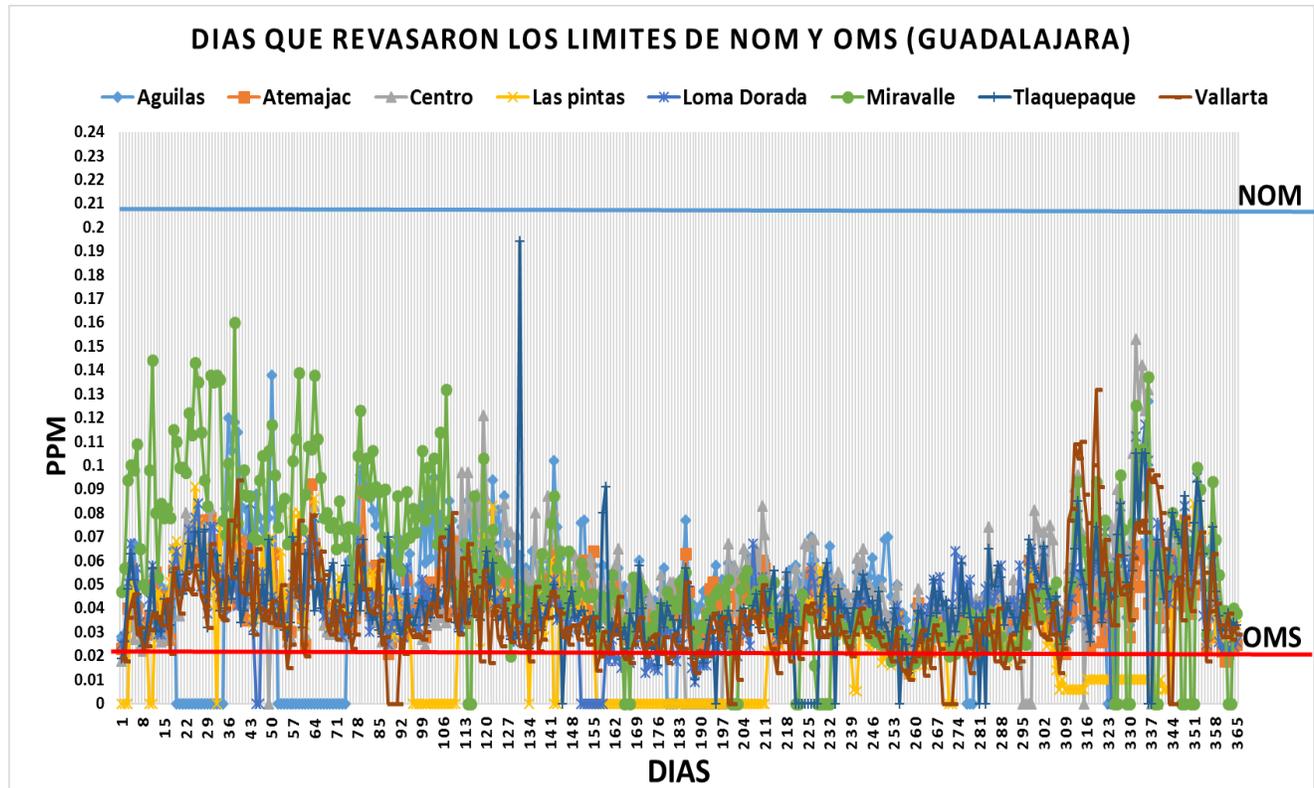
25. Mills IC, Atkinson RW, Kang S, Walton H, Anderson HR. Quantitative systematic review of the associations between short-term exposure to nitrogen dioxide and mortality and hospital admissions. *BMJ Open*. 2015;5(5):e006946.
26. Hamra GB, Laden F, Cohen AJ, Raaschou-Nielsen O, Brauer M, Loomis D. Lung Cancer and Exposure to Nitrogen Dioxide and Traffic: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Environ Health Perspect*. 2015 Apr 14;
27. Héroux M-E, Anderson HR, Atkinson R, Brunekreef B, Cohen A, Forastiere F, et al. Quantifying the health impacts of ambient air pollutants: recommendations of a WHO/Europe project. *Int J Public Health* [Internet]. 2015 May 30 [cited 2015 Jun 18]; Available from: <http://link.springer.com/10.1007/s00038-015-0690-y>
28. Crouse DL, Peters PA, Villeneuve PJ, Proux M-O, Shin HH, Goldberg MS, et al. Within- and between-city contrasts in nitrogen dioxide and mortality in 10 Canadian cities; a subset of the Canadian Census Health and Environment Cohort (CanCHEC). *J Expo Sci Environ Epidemiol*. 2015 Jan 21;
29. Ramirez-Sánchez HU, Andrade-García MD, González-Castañeda ME, Celis-de la Rosa A de J. [Air pollutants and their correlation with medical visits for acute respiratory infections in children less than five years of age in urban Guadalajara, Mexico]. *Salud Pública México*. 2006 Oct;48(5):385–94.
30. Medina S, Ballester F, Chanel O, Declercq C, Pascal M. Quantifying the health impacts of outdoor air pollution: useful estimations for public health action. *J Epidemiol Community Health*. 2013 Jun;67(6):480–3.
31. Künzli N. The public health relevance of air pollution abatement. *Eur Respir J*. 2002 Jul;20(1):198–209.
32. Boldo E, Aragonés N, Medina S. Evaluación de Impacto en Salud: una herramienta infrautilizada en salud pública. Ejemplo Aphis (Air Pollution and Health: a European Information System) [Internet]. [cited 2016 Apr 16]. Available from: <http://gesdoc.isciii.es/gesdoccontroller?action=download&id=06/03/2013-9bf3a16ce7>
33. Lloyd CD. *Local models for spatial analysis*. 2nd ed. Boca Raton, Fla: CRC Press; 2011. 336 p.
34. Lai PC, So FM, Chan KW. *Spatial epidemiological approaches in disease mapping and analysis*. Boca Raton: CRC Press; 2009. 174 p.
35. OMS. WHO Expert Consultation: Available evidence for the future update of the WHO Global Air Quality Guidelines (AQGs) [Internet]. Bonn, Alemania: World Health Organization; 2015 Oct. Report No.: 1. Available from: [http://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0013/301720/Evidence-future-update-AQGs-mtg-report-Bonn-sept-oct-15.pdf](http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0013/301720/Evidence-future-update-AQGs-mtg-report-Bonn-sept-oct-15.pdf)

# Anexos

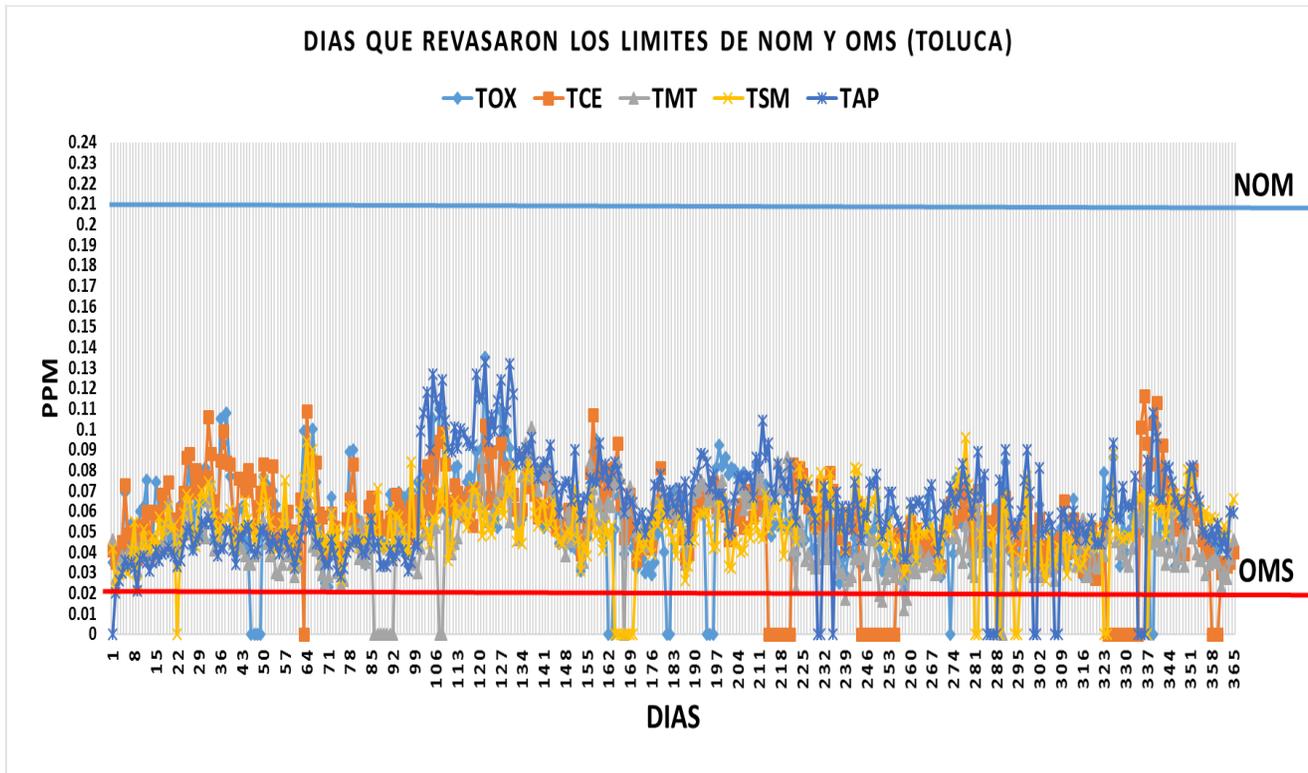
## Anexo 1 Tendencia del NO<sub>2</sub> y días que sobrepaso la Norma mexicana y la OMS (Guanajuato 2013)



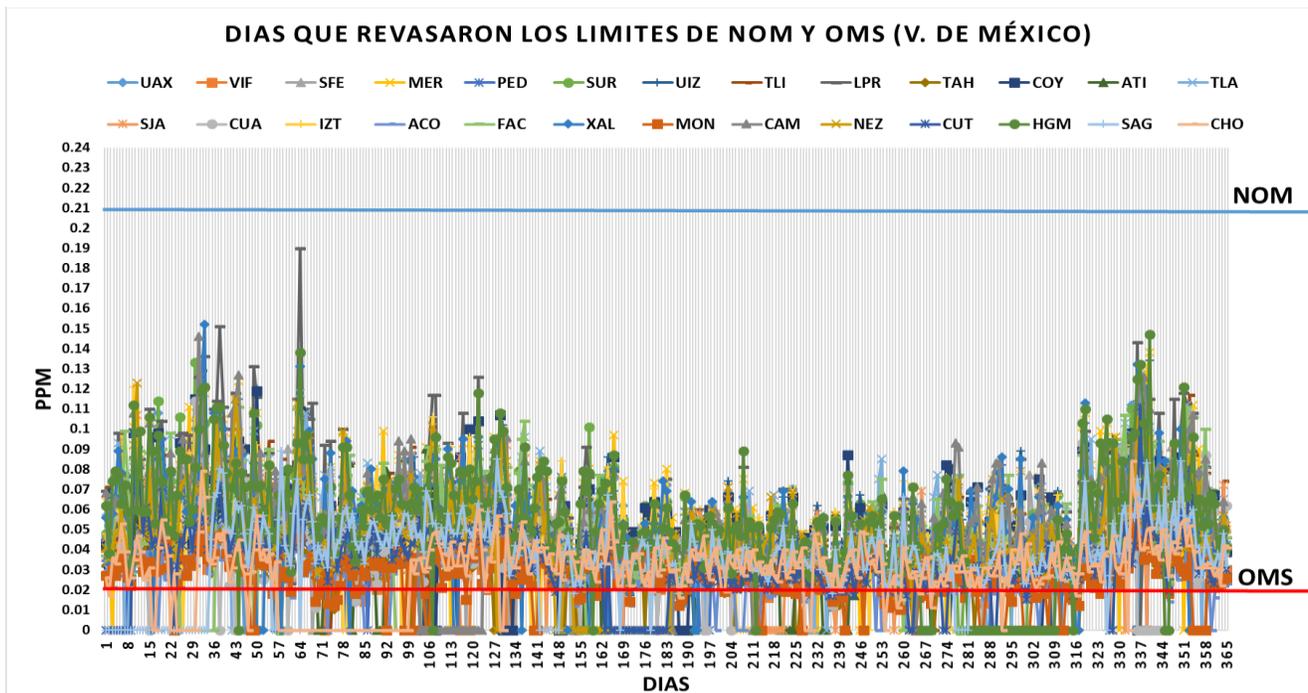
## Anexo 2 Tendencia del NO<sub>2</sub> y días que sobrepaso la Norma mexicana y la OMS (Guadalajara 2013)



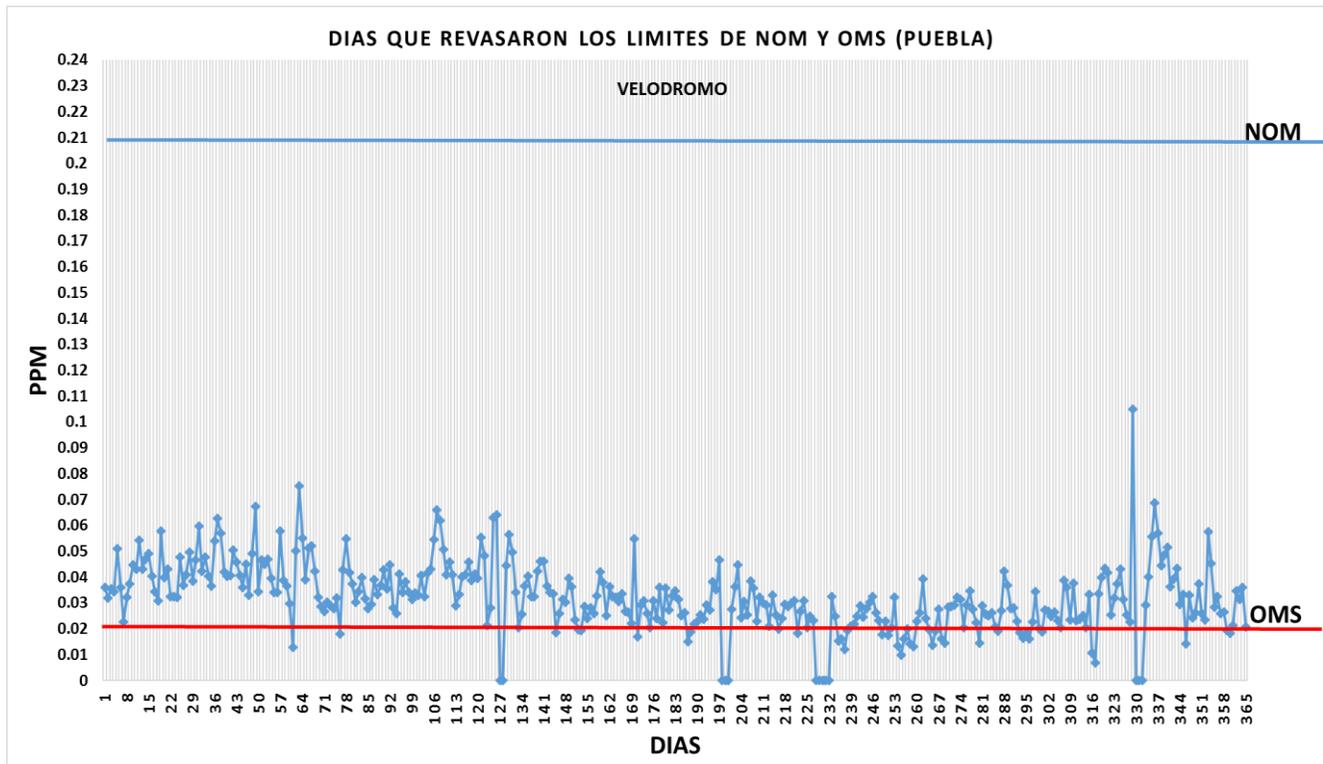
Anexo 3 Tendencia del NO2 y días que sobrepaso la Norma mexicana y la OMS (Toluca 2013)



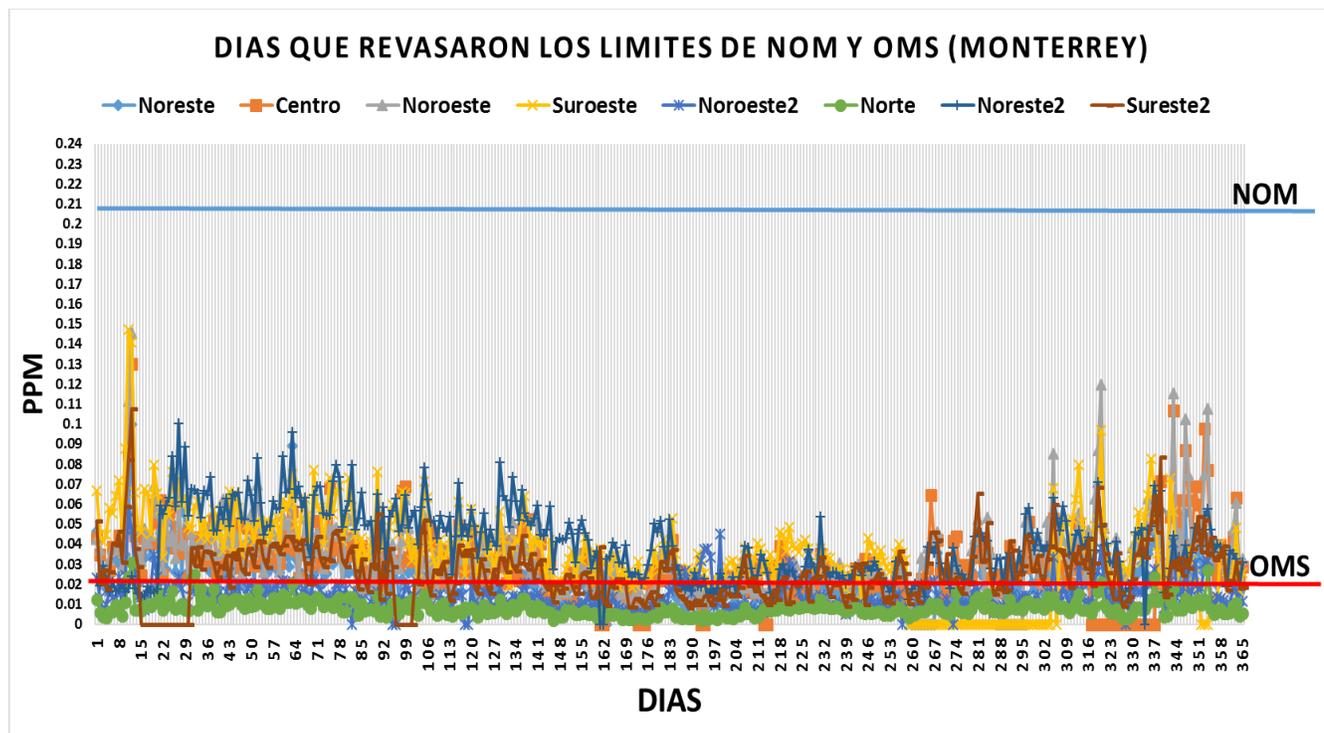
Anexo 4 Tendencia del NO2 y días que sobrepaso la Norma mexicana y la OMS (Valle de México 2013)



Anexo 6 Tendencia del NO2 y días que sobrepaso la Norma mexicana y la OMS (Puebla 2013)



Anexo 5 Tendencia del NO2 y días que sobrepaso la Norma mexicana y la OMS (Monterrey 2013)



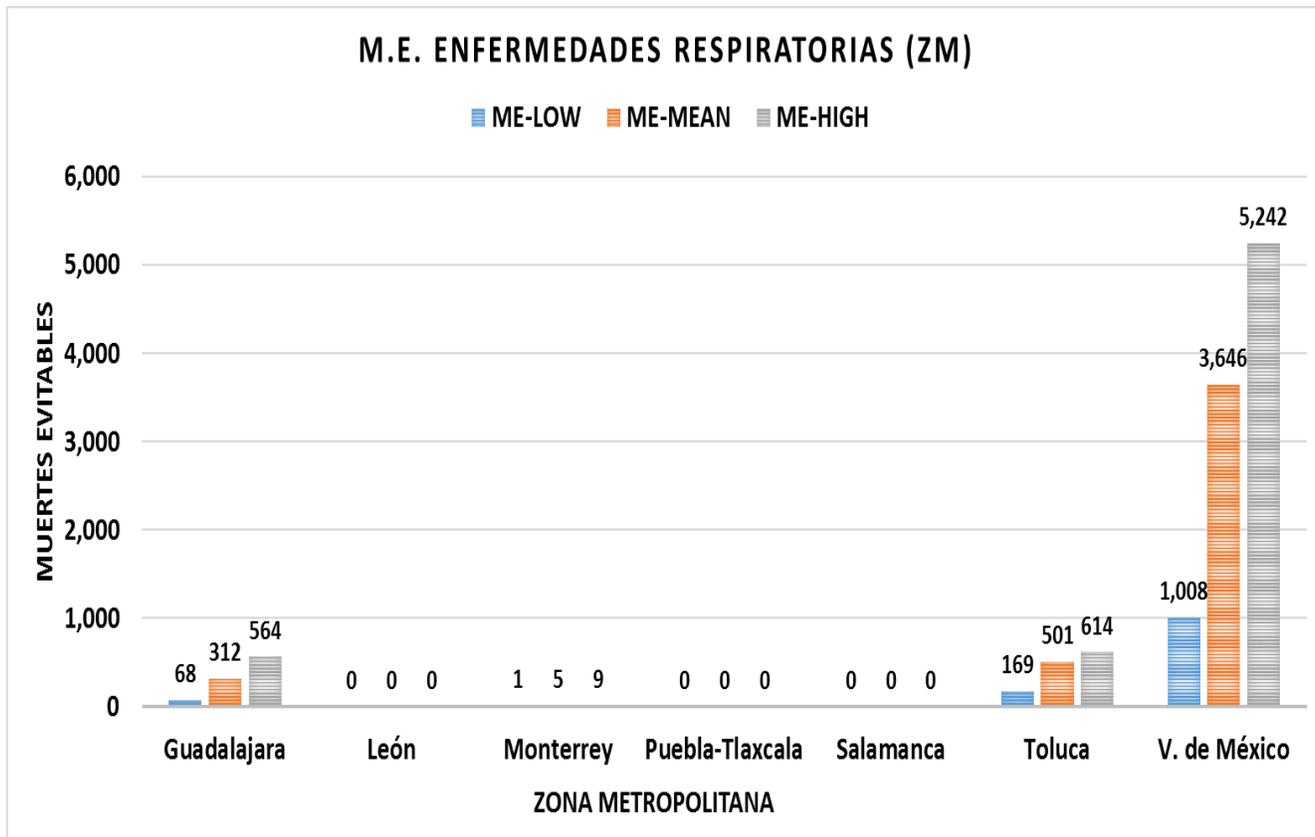
## Anexo 7 Municipios que estuvieron dentro de la cobertura de las estaciones de monitoreo

Nombre Zona Metropolitana	Nombre de la entidad	Clave del municipio	Nombre del municipio
Valle México	Distrito Federal	9002	Azcapotzalco
Valle México	Distrito Federal	9003	Coyoacán
Valle México	Distrito Federal	9004	Cuajimalpa de Morelos
Valle México	Distrito Federal	9005	Gustavo a. Madero
Valle México	Distrito Federal	9006	Iztacalco
Valle México	Distrito Federal	9007	Iztapalapa
Valle México	Distrito Federal	9008	La Magdalena Contreras
Valle México	Distrito Federal	9009	Milpa Alta
Valle México	Distrito Federal	9010	Álvaro Obregón
Valle México	Distrito Federal	9011	Tláhuac
Valle México	Distrito Federal	9012	Tlalpan
Valle México	Distrito Federal	9013	Xochimilco
Valle México	Distrito Federal	9014	Benito Juárez
Valle México	Distrito Federal	9015	Cuauhtémoc
Valle México	Distrito Federal	9016	Miguel Hidalgo
Valle México	Distrito Federal	9017	Venustiano Carranza
León	Guanajuato	11020	León
Salamanca	Guanajuato	11027	Salamanca
Guadalajara	Jalisco	14039	Guadalajara
Guadalajara	Jalisco	14070	El Salto
Guadalajara	Jalisco	14097	Tlajomulco de Zúñiga
Guadalajara	Jalisco	14098	Tlaquepaque
Guadalajara	Jalisco	14101	Tonalá
Guadalajara	Jalisco	14120	Zapopan
Valle México	México	15002	Acolman
Valle México	México	15011	Atenco
Valle México	México	15013	Atizapán de Zaragoza
Valle México	México	15020	Coacalco de Berriozábal
Valle México	México	15022	Cocotitlan
Valle México	México	15023	Coyotepec
Valle México	México	15024	Cuautitlán
Valle México	México	15025	Chalco
Valle México	México	15028	Chiautla
Valle México	México	15029	Chicoloapan
Valle México	México	15031	Chimalhuacán
Valle México	México	15033	Ecatepec de Morelos
Valle México	México	15037	Huixquilucan
Valle México	México	15039	Ixtapaluca
Valle México	México	15044	Jaltenco
Toluca	México	15051	Lerma
Valle México	México	15053	Melchor Ocampo
Toluca	México	15054	Metepec
Valle México	México	15057	Naucalpan de Juárez
Valle México	México	15058	Nezahualcóyotl
Valle México	México	15059	Nextlalpan
Valle México	México	15060	Nicolás Romero
Toluca	México	15062	Ocoyoacac
Valle México	México	15067	Otzolotepec
Valle México	México	15070	La Paz

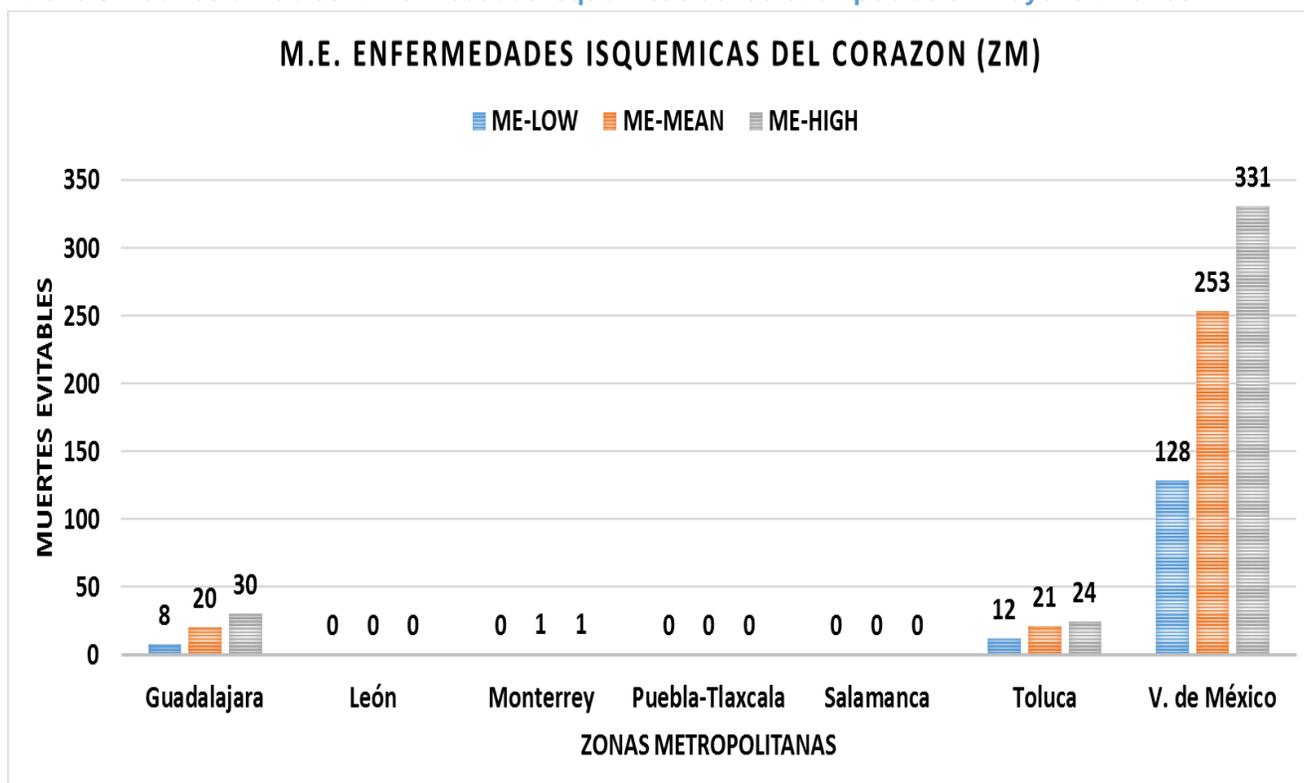
Anexo 7-B Municipios que estuvieron dentro de la cobertura de las estaciones de monitoreo

Valle México	México	15070	La Paz
Toluca	México	15076	San Mateo Atenco
Valle México	México	15081	Tecámac
Valle México	México	15083	Temamatla
Valle México	México	15091	Teoloyucan
Valle México	México	15092	Teotihuacán
Valle México	México	15095	Tepotzotlán
Valle México	México	15099	Texcoco
Valle México	México	15100	Tezoyuca
Valle México	México	15104	Tlalnepantla de Baz
Toluca	México	15106	Toluca
Valle México	México	15108	Tultepec
Valle México	México	15109	Tultitlan
Valle México	México	15118	Zinacantepec
Valle México	México	15121	Cuautitlán Izcalli
Valle México	México	15122	Valle de Chalco
Valle México	México	15125	Tonanitla
Monterrey	Nuevo León	19006	Apodaca
Monterrey	Nuevo León	19009	Cadereyta Jiménez
Monterrey	Nuevo León	19018	García
Monterrey	Nuevo León	19019	San Pedro Garza García
Monterrey	Nuevo León	19021	General Escobedo
Monterrey	Nuevo León	19026	Guadalupe
Monterrey	Nuevo León	19031	Juárez
Monterrey	Nuevo León	19039	Monterrey
Monterrey	Nuevo León	19046	San Nicolás de los Garza
Monterrey	Nuevo León	19048	Santa Catarina

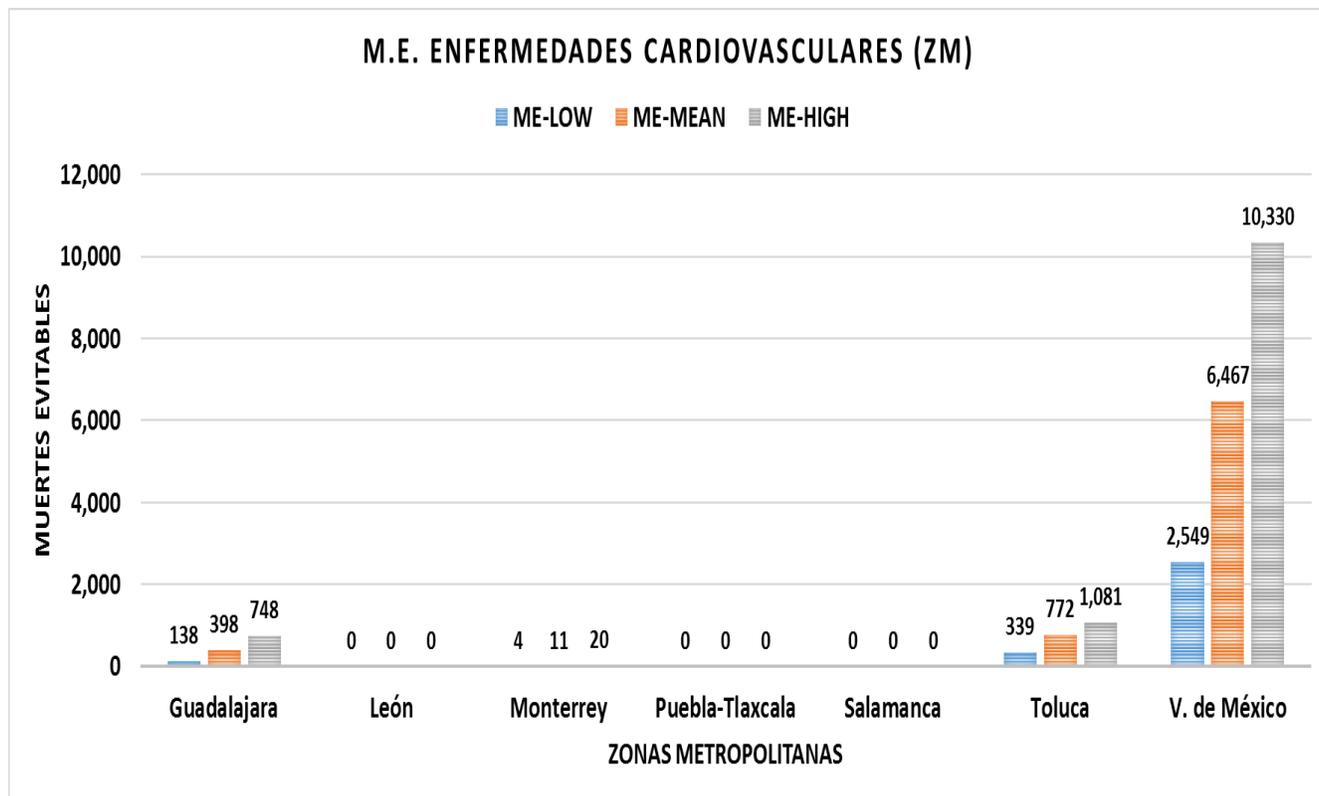
Anexo 8 Muertes evitables de Enfermedades Respiratorias en grupos etarios mayores de 24 años



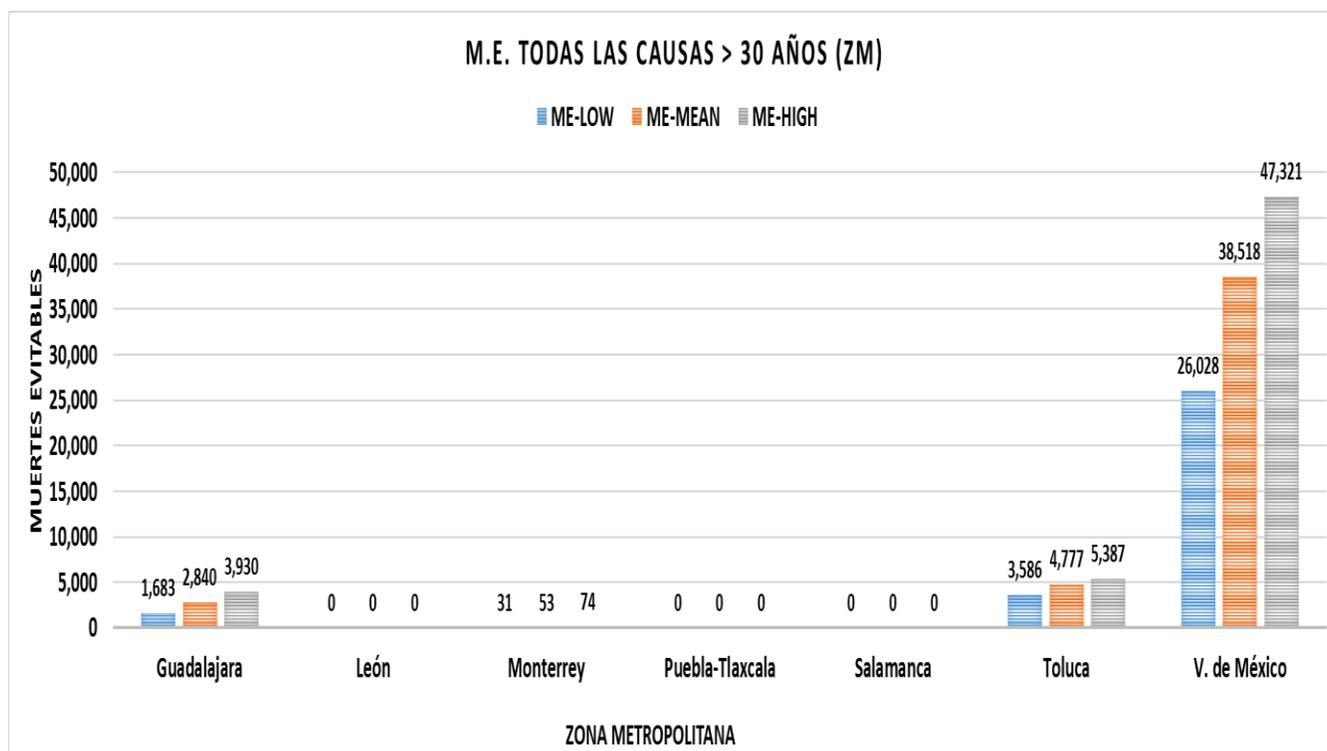
Anexo 9 Muertes evitables. Enfermedades Isquémicas del corazón población mayor a 24 años



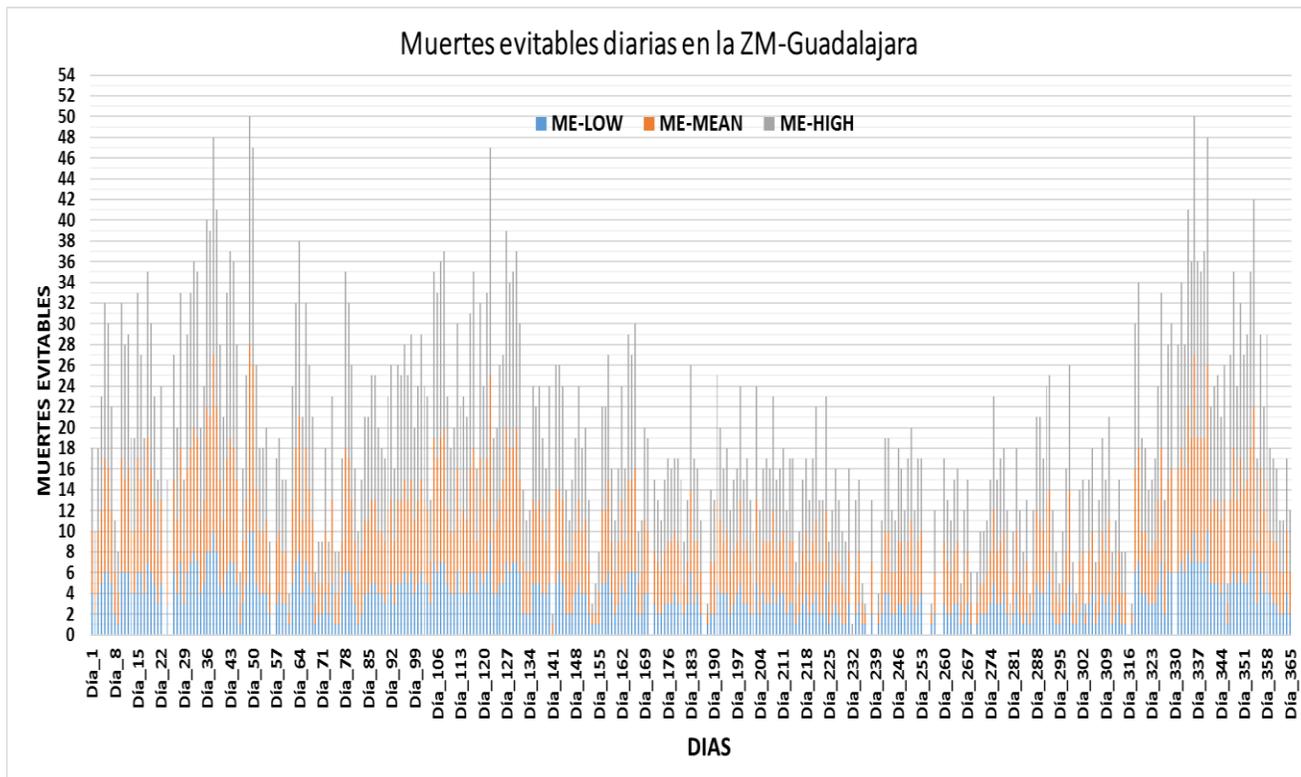
Anexo 10 Muertes evitables. Enfermedades Cardiovasculares en población mayor de 24 años



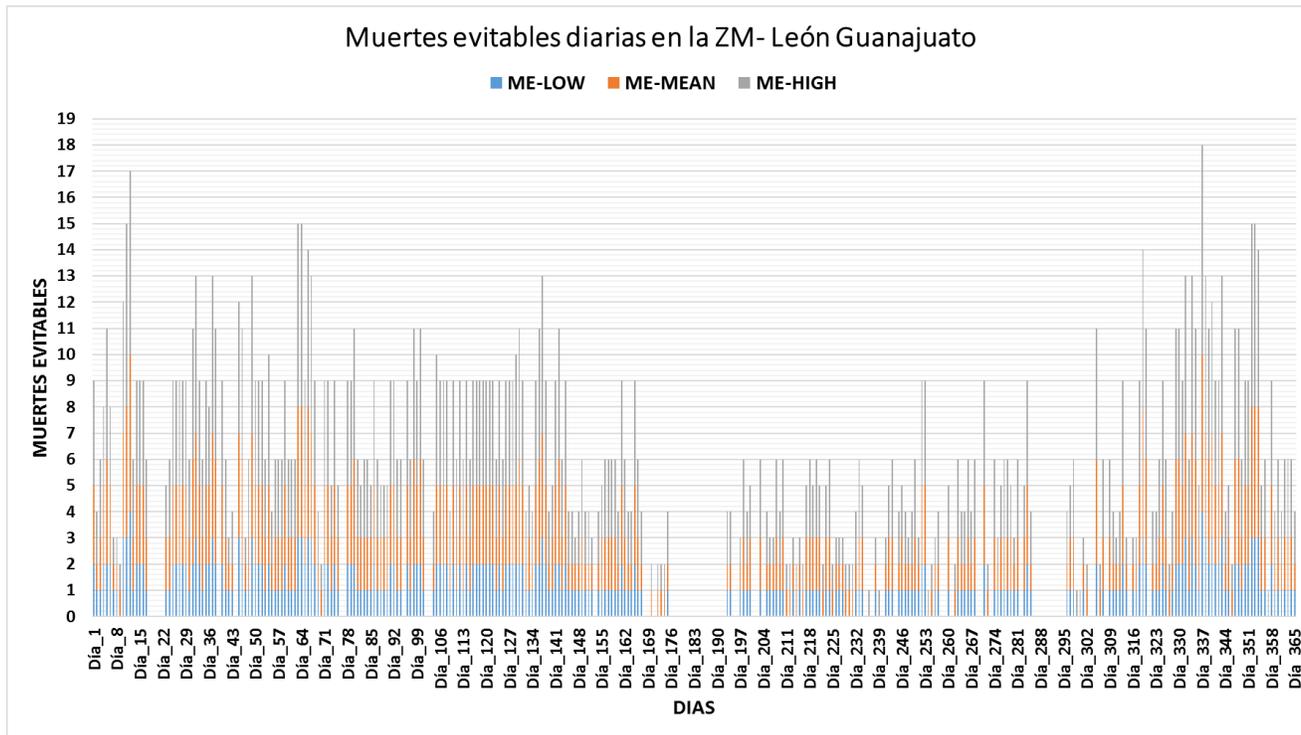
Anexo 11 Muertes evitables por Todas las causas (No accidentales) en población mayor de 30 años



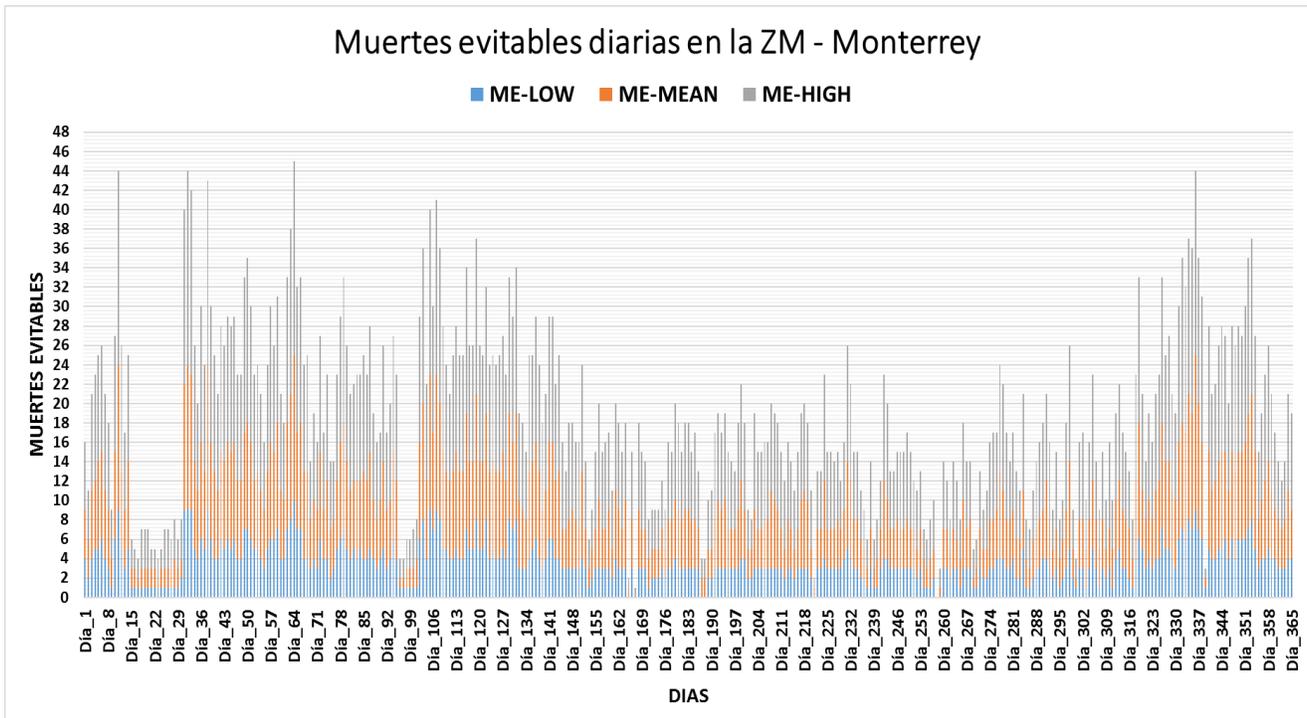
Anexo 12 Muertes evitables diarias para Todas las causas (No accidentales) todas las edades en la Zona metropolitana de Guadalajara.



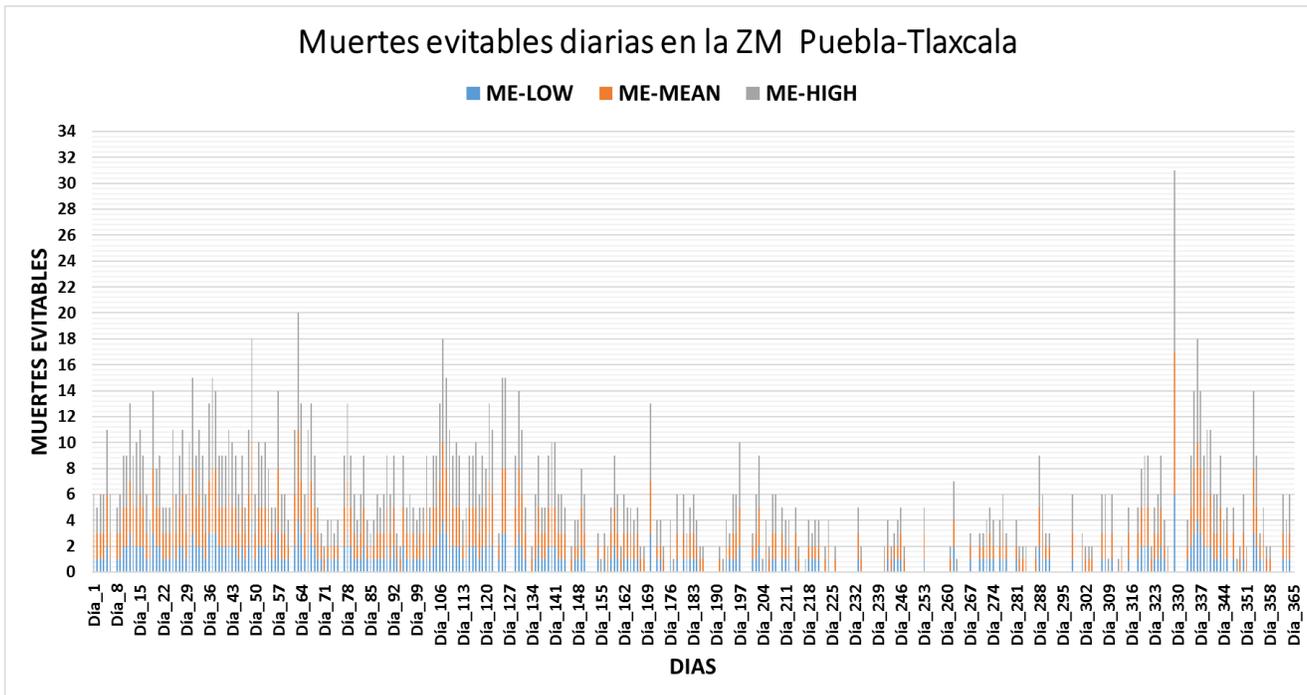
Anexo 13 Muertes evitables diarias para Todas las causas (No accidentales) todas las edades en la Zona metropolitana de León Guanajuato.



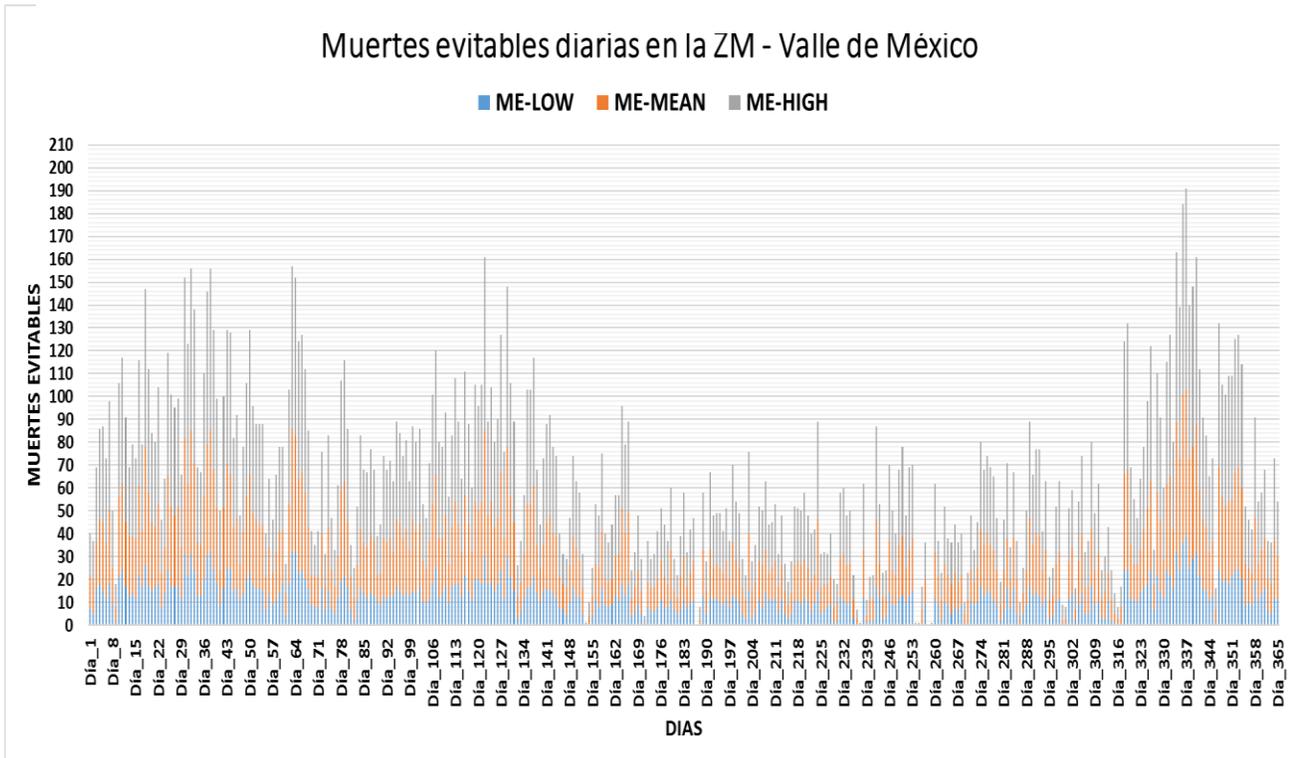
Anexo 14 Muertes evitables diarias para Todas las causas (No accidentales) todas las edades en la Zona metropolitana de Monterrey.



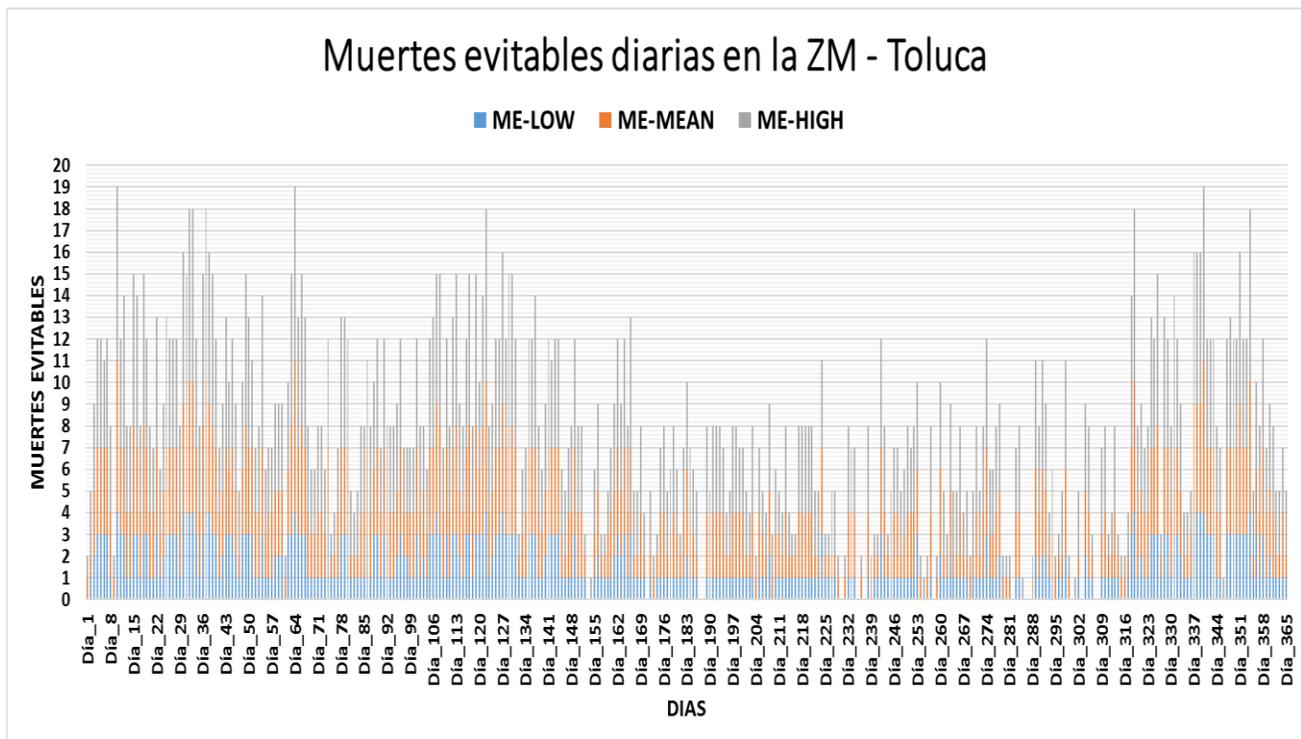
Anexo 15 Muertes evitables diarias para Todas las causas (No accidentales) todas las edades en la Zona metropolitana de Puebla-Tlaxcala.



Anexo 16 Muertes evitables diarias para Todas las causas (No accidentales) todas las edades en la Zona metropolitana del Valle de México.



Anexo 17 Muertes evitables diarias para Todas las causas (No accidentales) todas las edades en la Zona Metropolitana de Toluca



Anexo 18 Muertes evitables para Todas las causas (No accidentales) totales en el 2013.

