

Diagnóstico de la relación actual entre el deterioro de la calidad del aire y la salud pública en áreas prioritarias del país: estado del arte, tendencias y necesidades

Resumen ejecutivo



Derechos Reservados © 2018

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)

Montes Urales 440, Colonia Lomas de Chapultepec, Delegación Miguel Hidalgo, CP.11000, Ciudad de México.

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC)

Boulevard Adolfo Ruiz Cortines No. 4209, Colonia Jardines en la Montaña, Delegación Tlalpan, CP. 14210, Ciudad de México.

Todos los derechos están reservados. Ni esta publicación ni partes de ella (informes, mapas, bases de datos) pueden ser reproducidas, almacenadas mediante cualquier sistema o transmitidas, en cualquier forma o por cualquier medio, sea éste electrónico, mecánico, de fotocopiado, de grabado o de otro tipo, sin el permiso previo del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo y el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.

El análisis y las conclusiones aquí expresadas no reflejan necesariamente las opiniones del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, de su Junta Ejecutiva, de sus Estados Miembros, o del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.

Documento generado a partir de los resultados de la consultoría realizada por **Julia Griselda Cerón Bretón**, Número de Contrato IC-2016-126

Para mayor información sobre este estudio, consultar con la Coordinación General de Contaminación y Salud Ambiental del INECC.

Citar como:

INECC-PNUD México. 2017. *Diagnóstico de la relación actual entre el deterioro de la calidad del aire y la salud pública en áreas prioritarias del país: estado del arte, tendencias y necesidades*. Proyecto 85488 "Sexta Comunicación Nacional de México ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático", Julia Griselda Cerón Bretón, pp. 35, México.

Contenido

Palabras Clave	4
Siglas y acrónimos.	4
Glosario	6
1. Introducción.....	8
2. Metodología.....	8
2.1 Análisis de datos de Calidad del Aire	8
2.2 Análisis Estadístico Simple de Datos Epidemiológicos	9
2.3 Estimación de la asociación entre la contaminación atmosférica y la mortalidad/morbilidad diarias	11
3. Resultados.....	14
3.1 Resultados Sección A: Análisis de datos de calidad del aire.	14
3.2 Resultados Sección B: Análisis Estadístico Simple de Datos Epidemiológicos	17
3.3 Resultados Sección C: Relación entre la Contaminación Atmosférica y la mortalidad diaria	18
3.3.1 Análisis bi-variado, multivariado y de regresión múltiple de los datos de morbilidad diaria con las variables explicativas:	18
3.3.2 Resultados de la Estimación de los índices Relativos de Riesgo (IRR):	22
3.4 Resultados Sección D: Relación entre la Contaminación Atmosférica y la morbilidad diaria	24
3.4.1 Resultados del Análisis bi-variado, multivariado y de regresión múltiple de los datos de morbilidad diaria con las variables explicativas	24
3.4.2 Resultados de la Estimación de los índices Relativos de Riesgo (IRR):	27
4. Conclusiones	30
4.1 Calidad del Aire	30
4.2 Asociación entre contaminantes atmosféricos y mortalidad diaria.....	31
4.3 Asociación entre contaminantes atmosféricos y morbilidad diaria	32
5. Referencias	34

Palabras Clave

Palabras Clave: Calidad del aire, contaminación atmosférica, contaminantes criterio, mortalidad, morbilidad, índice de riesgo relativo.

Siglas y acrónimos.

ACF	Función de Autocorrelación
ACP	Análisis de Componentes Principales
APHEA	Air Pollution and Health: A European Approach
ARIMA	Autoregressive Integrated Moving Average
CIE-10	Clasificación Internacional de Enfermedades
CO	Monóxido de Carbono
CONAPO	Consejo Nacional de Población
DOF	Diario Oficial de la Federación
INECC	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático
EMECAM	Estudio Multicéntrico Español sobre la relación entre la Contaminación Atmosférica y la Mortalidad
INEGI	Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática
IMSS	Instituto Mexicano del Seguro Social
IRR	Índice de Riesgo Relativo
ISSSTE	Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado
LOWESS	LOcally WEighted regression Scatterplot Smoothing
NO ₂	Dióxido de Nitrógeno
NOM	Norma Oficial Mexicana
O ₃	Ozono
PM10	Partículas suspendidas con diámetros aerodinámicos menores de 10 µg/m ³
PM2.5	Partículas suspendidas con diámetros aerodinámicos menores de 2.5 µg/m ³

ppb	Partes por billón
ppm	Partes por millón
QGIS	Quantum GIS (Sistemas de Información Geográfica)
SAEH	Subsistema Automatizado de Egresos Hospitalarios
SEED	Subsistema Epidemiológico y Estadístico de Defunciones
SINAIS	Sistema Nacional de Información en Salud
SO ₂	Dióxido de Azufre
ZMVT	Zona Metropolitana del Valle de Toluca
µg/m ³	Microgramos sobre metro cúbico

Glosario

Análisis bivariado	En estadística se denomina Análisis Bivariado , ya que incluye una variable dependiente y al menos una variable independiente.
Análisis de Componentes Principales	Análisis que constituye un método para reducir la adimensionalidad de un arreglo de datos que considera diferentes variables interrelacionadas y permite una interpretación más simple de las fuentes de variación. Consiste en encontrar transformaciones ortogonales de las variables originales para conseguir un nuevo conjunto de variables correlacionadas, denominadas componentes principales.
Análisis multivariado	El Análisis Multivariado es el conjunto de métodos estadísticos cuya finalidad es analizar simultáneamente conjuntos de datos multivariados en el sentido de que hay varias variables medidas para cada individuo u objeto estudiado.
Colinealidad	La colinealidad existe cuando alguno de los coeficientes de correlación simple o múltiple entre algunas de las variables independientes es 1, es decir, cuando algunas variables independientes están correlacionadas entre sí.
Contaminantes criterio	Se les llamó contaminantes criterio porque fueron objeto de evaluaciones publicadas en documentos de calidad del aire en los Estados Unidos (EEUU), con el objetivo de establecer niveles permisibles que protegieran la salud, el medio ambiente y el bienestar de la población.
Estacionalidad	La estacionalidad es una característica de una serie temporal en el que los datos experimentan variaciones regulares y previsibles que se repiten cada determinado tiempo.
Estadística descriptiva	La estadística descriptiva es la rama de las Matemáticas que recolecta, presenta y caracteriza un conjunto de datos (por ejemplo, edad de una población, altura de los estudiantes de una escuela, temperatura en los meses de verano, etc.)
Heterocedasticidad	En estadística se dice que un modelo de regresión lineal presenta heterocedasticidad cuando la varianza de las perturbaciones no es constante a lo largo de las observaciones.
Índice de Riesgo Relativo	En estadística y epidemiología, el riesgo relativo es el cociente entre el riesgo en el grupo con el factor de exposición o factor de riesgo y el riesgo en el grupo de referencia (que no tiene el factor de exposición) como índice de asociación.
InfoStat	InfoStat es un software para análisis estadístico de aplicación general desarrollado bajo la plataforma Windows. Cubre tanto las necesidades elementales para la obtención de estadísticas descriptivas y gráficos para el análisis exploratorio, como métodos avanzados de modelación estadística y análisis multivariado. www.infostat.com
LOcally WEighted regression Scatterplot Smoothing	Análisis de regresión no paramétrico utilizado para suavizar las series de datos de morbilidad diaria y mortalidad diaria. Constituye un método por mínimos cuadrados para el ajuste de modelos sobre subconjuntos de datos, que genera una función que describe la variación de cada dato parte por parte.
Morbilidad	Cantidad de personas que enferman en un lugar y un período de tiempo determinados en relación con el total de la población.
Mortalidad	Cantidad de personas que mueren en un lugar y en un período de tiempo determinados en relación con el total de la población.
Outliers	Un valor más extremo (outlier) es un valor en un conjunto de datos que es muy diferente de los otros valores. Esto es, los outliers son valores excepcionalmente lejanos del centro. En la mayoría de los casos, los outliers tienen influencia en la media, pero no en la mediana, o la moda.
SAEH	Subsistema que contiene la información de cada individuo que ingresa a alguno de los hospitales de la Secretaría de Salud o los Servicios Estatales de Salud, y es el insumo indispensable para llevar a cabo la evaluación de las unidades.
SINAIS	Es el sistema el cual integra la información para elaborar las estadísticas nacionales en salud conformado por estadísticas de natalidad, mortalidad, morbilidad e invalidez; factores demográficos, económicos,

	sociales y ambientales vinculados a la salud y recursos físicos, humanos y financieros disponibles para la protección de la salud de la población.
Subsistema Epidemiológico y Estadístico de Defunciones	Subsistema que proporciona la recolección sistemática, análisis y difusión de la información de mortalidad de manera oportuna, permitiendo conocer la frecuencia de las enfermedades que se reportan como causa básica o asociada en los certificados de defunción y muerte fetal.
Tasa de morbilidad	La tasa morbilidad es un concepto epidemiológico que se refiere al número de personas que tienen una enfermedad (u otra condición) respecto a una población y período determinados.
Tasa de mortalidad	La tasa de mortalidad es la proporción de personas que mueren por una causa concreta en un período, en una población. Dependiendo de la intensidad se pueden expresar por mil, por diez mil o por cien mil habitantes.
Variable confusora	Es una variable o factor que distorsiona la medida de la asociación entre otras dos variables.
Variable de respuesta	Variable objeto del estudio y que sus resultados se pretenden explicar por medio de las variables llamadas explicativas o independientes.

1. Introducción

El objetivo del presente estudio fue estimar la asociación entre la contaminación atmosférica y la mortalidad y la morbilidad diarias en 43 municipios del país durante 2012-2015, considerando un análisis por todas las causas, estratificado estacionalmente (meses fríos y meses cálidos), por grupo de edad (de 0 a 59 años, y población >60 años) y por causa específica (enfermedades del sistema respiratorio y del sistema circulatorio). El presente estudio se dividió en 5 secciones de la siguiente manera, para cada una de las cuales se proporciona su informe completo, anexos, bases de datos y memorias de cálculo correspondientes:

- Sección A.- Análisis de Datos de Calidad del Aire.
- Sección B.- Análisis Estadístico Simple de Datos Epidemiológicos.
- Sección C.- Relación entre la Contaminación Atmosférica y la mortalidad diaria.
- Sección D.- Relación entre la contaminación atmosférica y la morbilidad diaria.
- Sección E.- Ruta Crítica y Directorio de Actores Relevantes

2. Metodología

2.1 Análisis de datos de calidad del aire

La información de calidad del aire y parámetros meteorológicos para el periodo 2012-2015 fueron proporcionados por el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) a través de la Coordinación General de Contaminación y Salud Ambiental. Para seleccionar los municipios a incluir en el estudio se tomaron dos criterios: el primero, fue con base a la disponibilidad de la información de calidad del aire en el periodo de estudio y al cumplimiento de dicha información con los criterios de inclusión (*Anexo A1 Criterios de inclusión, validación y tratamiento de información de calidad del aire*). El segundo criterio, fue con base a la clasificación de acuerdo a su tamaño de población (CONAPO, 2010) y teniendo como referencia los datos de población 2015 (INEGI, 2015): Zonas metropolitanas de más de cuatro millones de habitantes, Zonas metropolitanas y ciudades de más de un millón de habitantes y hasta cuatro millones, Zonas metropolitanas y ciudades de más de 500 mil habitantes y hasta un millón, Zonas metropolitanas y ciudades de hasta 500 mil habitantes. Se seleccionaron 43 municipios (incluyendo 11 delegaciones de la Ciudad de México) que cuentan con Sistemas de Monitoreo de la Calidad del Aire con información validada y disponible para el periodo de estudio. La información se presenta agrupada en 8 Estados de la República y/o Zonas Metropolitanas que cuentan con datos completos de al menos un año durante el periodo 2012-2015 con respecto a por lo menos uno de los siguientes contaminantes: PM10, PM2.5, O₃, NO₂, CO y SO₂. En conjunto, esto municipios agrupan a un total de 27 millones 7 mil novecientos veintiocho habitantes, lo que representa un 22.59 % de la población total del país para el año 2015 de acuerdo a la Encuesta Intercensal 2015 del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Se elaboraron las bases de datos de contaminantes criterio y parámetros meteorológicos por municipio y/o delegación,

considerando la información disponible en cada una de las estaciones de monitoreo durante el periodo 2012-2015. Las gráficas se construyeron a partir de las concentraciones promedio horarias, diarias y mensuales, representativas de cada ciudad o zona metropolitana. Los municipios y/o delegaciones que cumplieron los criterios de admisión en cuanto a suficiencia y disponibilidad de datos en el periodo de estudio son los siguientes: Ciudad de México (Álvaro Obregón, Azcapotzalco, Coyoacán, Cuajimalpa de Morelos, Cuauhtémoc, Gustavo A. Madero, Iztacalco, Iztapalapa, Tláhuac, Venustiano Carranza y Xochimilco); Estado de México (Acolman, Chalco, Coacalco de Berriozábal, Ecatepec de Morelos, Naucalpan de Juárez, Nezahualcóyotl, Texcoco, Tlalnepantla de Baz y Tultitlán de Mariano Escobedo); Guanajuato (Celaya, Irapuato, León, Salamanca, Silao de la Victoria); Jalisco (El Salto, Guadalajara, San Pedro Tlaquepaque, Tonalá y Zapopan); Michoacán de Ocampo (Morelia); Nuevo León (Cadereyta de Jiménez, García, General Escobedo, Guadalupe, Monterrey, Salinas Victoria, San Nicolás de los Garza y Santa Catarina); Puebla (Puebla de Zaragoza); Zona Metropolitana del Valle de Toluca (Metepéc, San Mateo Atenco y Toluca de Lerdo). Se evaluó el estado de la calidad del aire mediante la comparación con las normas vigentes y se llevó a cabo un análisis estadístico que incluyó 2 etapas: a) un análisis estadístico simple (descriptivo), y b) un análisis bivariado y multivariado:

- a) Análisis estadístico simple para los 43 municipios seleccionados durante el periodo de estudio (memoria de cálculo A1): Integración de las bases de datos crudas (subcarpeta A1-1); Concentrado de la disponibilidad de datos (subcarpeta A1-2); Base de datos con imputación usando la metodología NIPALS (subcarpeta A1-3); Estadística descriptiva, distribución temporal (series de tiempo) de los contaminantes criterio y parámetros meteorológicos) (subcarpeta A1-4); Valores medios de los contaminantes criterio por municipio para los meses cálidos (subcarpeta A1-4); Valores medios de los contaminantes criterio por municipio para los meses fríos (subcarpeta A1-4); Valores medios de los contaminantes criterio por municipio para el resto de los meses (subcarpeta A1-4); Estimación de la magnitud de la estacionalidad (subcarpeta A1-4); y Promedios móviles y Análisis de las excedencias a la Normatividad vigente de los contaminantes criterio (subcarpeta A1-5).
- b) Análisis estadístico bivariado y multivariado: Análisis bivariado de datos para estudiar la relación entre cada una de las variables medidas (contaminantes criterio y variables meteorológicas: temperatura y humedad relativa) (subcarpeta A2-1; Anexo A3); y Análisis multivariado de datos (Análisis de componentes principales) para estudiar la relación entre todas las variables medidas (contaminantes criterio y variables meteorológicas) (subcarpeta A2-2).

2.2 Análisis estadístico simple de datos epidemiológicos

Los datos epidemiológicos de mortalidad y morbilidad fueron obtenidos del Sistema Nacional de Información en Salud (SINAIS), este sistema es administrado por la Secretaría de Salud, por conducto de la Dirección General de Información en Salud (<http://www.dgis.salud.gob.mx>).

-Base de datos de Mortalidad: se utilizaron las bases de datos en formato estándar de las defunciones publicadas por el SINAIS, obtenidas mediante la aplicación tecnológica denominada Subsistema

Epidemiológico y Estadístico de Defunciones (SEED), que proporciona la frecuencia de las enfermedades que se reportan como causa básica o asociada en los certificados de defunción. Las variables seleccionadas para el estudio fueron: año, mes y día de ocurrencia, entidad y municipio de residencia, causa de la defunción, sexo y grupo de edad del fallecido.

-Base de datos de Morbilidad: se utilizaron los registros de ingresos hospitalarios contenidos en la base de datos sobre egresos hospitalarios del SIN AIS, la cual se obtiene mediante la aplicación tecnológica denominada Subsistema Automatizado de Egresos Hospitalarios (SAEH). La información del SIN AIS se encuentra dividida en dos secciones, Egresos Hospitalarios Secretaría de Salud (que incluye solo el número de egresos hospitalarios registrados en las unidades médicas de la Secretaría de Salud y los Servicios Estatales de Salud) y Egresos Hospitalarios Sectorial (son los registros de número de egresos hospitalarios registrados en las unidades médicas de las instituciones públicas como IMSS, ISSSTE, etc.). Sin embargo, para fines de este estudio, solo se utilizó la base de datos de la sección Egresos Hospitalarios Secretaría de Salud ya que cuenta con las variables que se requerían para la realización del estudio (fecha de ingreso del paciente, edad, municipio de residencia, etc.). A diferencia de la base de datos de Egresos hospitalarios Sectorial que registra un número limitado de variables tales como: motivo del egreso, afección principal y sexo.

Una vez seleccionadas las variables, se realizó un filtrado de datos, que consistió en identificar todos aquellos valores cuyos registros de año, mes y día de ocurrencia, estuvieran fuera del periodo analizado o que estuvieran incompletos, para ser eliminados del análisis. Posteriormente con la aplicación de tablas dinámicas en Excel, los registros fueron agrupados por municipio de residencia, sexo, grupos de edad (menor a 1 año, de 1 a 4 años, de 5 a 59 años, de 60 a 74 años y mayor a 75 años) y causa de la defunción o ingreso hospitalario. Cabe señalar que este estudio consideró 2 tipos de causas específicas de defunciones o ingresos hospitalarios: por enfermedades del sistema respiratorio y por enfermedades del sistema circulatorio de acuerdo a la clasificación internacional de enfermedades y problemas (CIE-10). El análisis estadístico simple aplicado a los datos de mortalidad y morbilidad diarias consistió en realizar el análisis gráfico y descriptivo univariado (series de tiempo, diagramas de medias, estadística descriptiva, diagramas de frecuencias) y en estimar las tasas de mortalidad. Una vez conformadas las bases de datos de mortalidad y morbilidad diarias, se realizaron los siguientes análisis para cada municipio durante el periodo 2012-2015:

a) Estadística descriptiva, diagrama de medias, distribución de frecuencia y distribución temporal (series de tiempo) de la mortalidad diaria e ingresos hospitalarios por todas las causas incluyendo toda la población. Estimación de la tasa de mortalidad por cada 1000 habitantes.

b) Estadística descriptiva, diagrama de medias, distribución temporal (series de tiempo) de la mortalidad diaria y de los ingresos hospitalarios por todas las causas considerando toda la población, para las estaciones del año (primavera, verano, otoño, e invierno) y estratos estacionales (meses fríos: noviembre, diciembre, enero y febrero; meses cálidos: mayo, junio, julio y agosto; y resto de los meses: marzo, abril, mayo y junio).

c) Estadística descriptiva, diagrama de medias, distribución temporal (series de tiempo) de la mortalidad diaria e ingresos hospitalarios por todas las causas considerando rango de edad (menores de 1 año, infantes de 1 a 4

años de edad, población de 5 a 59 años de edad, población de 60 a 74 años de edad y población de adultos de 75 años o más.

d) Estadística descriptiva, diagrama de medias, distribución temporal (series de tiempo) de la mortalidad diaria y de los ingresos hospitalarios por todas las causas considerando rango de edad por estaciones del año y por estratos estacionales (meses fríos, meses cálidos y resto de los meses).

e) Porcentaje de defunciones generales e Ingresos hospitalarios por todas las causas por género.

f) Distribución de frecuencias, distribución temporal (series de tiempo), estadística descriptiva y diagrama de medias de la mortalidad diaria e ingresos hospitalarios por enfermedades respiratorias y circulatorias considerando población total.

g) Distribución de frecuencias, distribución temporal (series de tiempo), estadística descriptiva y diagrama de medias de la mortalidad diaria e ingresos hospitalarios por enfermedades respiratorias y circulatorias considerando a la población por rango de edad.

2.3 Estimación de la asociación entre la contaminación atmosférica y la mortalidad/morbilidad diarias

A partir de una modelación preliminar, se obtuvo la ecuación para determinar la magnitud de la asociación entre la morbilidad y mortalidad diarias (por todas las causas, por estratos estacionales: meses fríos y meses cálidos, por grupo de edad y por causa específica) y la variación de los niveles promedio diarios de la contaminación atmosférica. Para llevar a cabo este análisis de regresión se consideraron las siguientes variables:

- a) *Variables de respuesta.*- número de ingresos hospitalarios y número de defunciones registradas para cada uno de los municipios o delegaciones comprendidos en el estudio.
- b) *Variables explicativas:*
 - Contaminantes criterio (variable explicativa cuantitativa).- Valores promedio diarios de O₃, SO₂, CO, NO₂, PM₁₀ y PM_{2.5} para cada uno de los municipios o delegaciones comprendidos en el estudio.
 - Variables meteorológicas (variable explicativa cuantitativa).- Valores promedio diarios de temperatura y humedad relativa para cada uno de los municipios o delegaciones que contaran con datos validados para estas variables.
- c) *Variables de control:*
 - Variables de control temporal (estacionalidad). El control de la estacionalidad se llevó a cabo introduciendo variables indicadoras para la estaciones del año considerando dos estratos, meses fríos y meses cálidos.
 - Variables confusoras: La humedad relativa y la temperatura media diaria (factores meteorológicos).

A continuación se describe la metodología aplicada para el pretratamiento de las Series Temporales:

-Pretratamiento de las variables confusoras: cabe señalar que no todos los municipios presentaron datos validados estas variables durante el periodo de estudio, ya que su relación con la morbilidad y la mortalidad diarias no es lineal, puesto que el efecto puede ser retardado. Así, por ejemplo, la temperatura de un día no tiene que estar necesariamente relacionada con un ingreso hospitalario o fallecimiento registrado el mismo día, sino que puede estarlo con una admisión o fallecimiento acontecidos los días siguientes. Para considerar esto dentro del modelo se calcularon los retardos a partir de un análisis de correlaciones cruzadas de las series (mortalidad y morbilidad vs temperatura, así como mortalidad y morbilidad vs humedad relativa), utilizando el software estadístico Infostat versión 2008 (Di Rienzo et al. 2008). Los retardos fueron seleccionados de acuerdo a su nivel de significancia.

-Pretratamiento de las series de datos epidemiológicos: antes de empezar a construir los modelos, se llevó a cabo el análisis de datos para conocer su tendencia central, su dispersión, la existencia de datos atípicos, su distribución (normalidad) y su estacionariedad. Las series de tiempo de datos epidemiológicos (mortalidad y morbilidad diarias) tienden a presentar varianzas variables, observaciones “raras” u outliers, colinealidad, relaciones no lineales con algunas variables (por ejemplo, con temperatura y humedad), entre otras limitaciones, que no son posibles de tratar con métodos paramétricos. De este modo, es necesario realizar una suavización de estas series de datos mediante métodos no paramétricos, por lo anterior, se decidió usar el método LOWESS (LOcally WEighted regression Scatterplot Smoothing). Este método tiene la ventaja de no proponer ninguna forma previa para la dependencia entre la variable de resultado y las variables explicativas. A diferencia de los métodos paramétricos, este método no estima parámetros y no impone una relación demasiado rígida entre las variables. El alisamiento permite mostrar la dependencia de una respuesta como función de un o varias variables explicativas. Una vez suavizada las series de tiempo, fue posible realizar la modelación de Poisson.

-Pretratamiento de las series de datos de calidad del aire: se llevó a cabo también el suavizado de estas series de tiempo mediante el método ARIMA (Autoregressive Integrate Moving Average), la cual es una técnica rigurosa para la predicción univariante (modelo Box-Jenkins) (Uriel, 1985).

Antes de calcular la correlación cruzada entre las dos series cronológicas, se probó la estacionariedad (que sus medias y varianzas sean independientes del tiempo) (Box y Jenkins, 1979). En cuanto a la normalidad de las series, en la determinación de la correlación cruzada, técnicamente no es necesario que lo sean, pero los residuales sí (Arnaus, 2001). Si además de estacionaria, los residuales son normales, las series son estrictamente estacionarias. Con el autocorrelograma se identificó si alguna de las series, era no estacionaria a partir de los coeficientes de autocorrelación. Identificada la condición de no estacionariedad en una o ambas series se logró su estacionariedad mediante regresión. En caso de existir heterocedasticidad (cambios en la varianza con el tiempo) se realizó una transformación logarítmica de la serie original, o bien se le aplicó la transformación de Box-Cox. De esta manera se calcularon los retardos de la temperatura y humedad promedios diarios, seleccionando los más significativos estadísticamente (si el coeficiente de regresión muestra una $p < 0.10$). De este modo, al introducir dichas variables al modelo Poisson, se lograron reducir los residuales de Pearson (autocorrelación residual), lo cual se manifiesta en la función de autocorrelación simple (ACF).

Análisis Multivariado: Se llevó a cabo un Análisis de Componentes Principales (ACP) y un Análisis e Regresión Lineal Múltiple (RLM). Un aspecto clave en ACP es la interpretación de los factores a partir de la relación de éstos con las variables iniciales, analizando tanto el signo como la magnitud de las correlaciones. La obtención de las componentes principales se realiza buscando aquella combinación lineal de las variables que maximiza la variabilidad (Hotelling, 1933; Jolliffe, 2002; Villardón, 2002) y mediante regresiones alternadas, aplicando el método Biplot (Gabriel, 1971). Se aplicó esta técnica a las series de datos promedio diarios de morbilidad, mortalidad, contaminantes criterio y variables meteorológicas. Se obtuvieron los componentes principales que contribuían al mayor porcentaje de variabilidad de los datos y se construyeron las gráficas biplot (mapa de los ejes F1 y F2) el cual muestra una proyección de las variables iniciales en el espacio factorial. Para confirmar que una variable se encontraba vinculada con un eje, se analizó la tabla de cosenos al cuadrado (cuanto mayor es el coseno al cuadrado, mayor es el vínculo con el eje correspondiente). Cada factor incluye una serie de variables que presentan un grado de asociación entre ellas, de las cuales se consideraron sólo las que mostraron mayor carga del factor y mayor significancia estadística. El criterio que se utilizó para incluir o no a una variable en el modelo fue el de lejanía o *deviance* cuando se obtiene una significancia de $p < 0.10$. Se realizó una aproximación a un modelo base incluyendo todas las variables a estudio para cada causa de ingreso hospitalario o de muerte, y por contaminante, por medio de regresión lineal múltiple (RLM), funciones de auto correlación entre residuos y de correlación cruzada. A partir de los resultados del ACP y de la RLM se identificaron las variables que aportaban información significativa para explicar la variabilidad de la variable dependiente (morbilidad y mortalidad diarias) y que fueron incluidas en el modelo de Poisson. Lo anterior, se realizó considerando todas las causas, análisis estratificado (meses fríos, meses cálidos), por grupo de edad y por causa específica (enfermedades del sistema respiratorio y del sistema circulatorio).

Índices de Riesgo Relativo (IRR) de la morbilidad/mortalidad diarias asociadas a la contaminación atmosférica:

Las series de datos diarios de morbilidad/mortalidad pueden considerarse como distribuida aproximadamente como una distribución Poisson con sobredispersión (es decir, la varianza es mayor que la media) y, habitualmente con autocorrelación. La sobredispersión y la estructura de autocorrelación suelen ser consecuencia de factores exógenos. El modelo de regresión de Poisson requiere una correcta especificación de la media condicional, razón por la cual fue necesario realizar la suavización de las series de tiempo de morbilidad/mortalidad diarias. El suavizado de la series temporales, el análisis de componentes principales, el análisis de regresión lineal múltiple y el análisis de regresión de Poisson se llevó a cabo usando el software estadístico para Excel (XLSTAT) en su versión 2017 (<https://www.xlstat.com/es/>). Así, para cada una de las series de morbilidad y mortalidad, se construyó un modelo de regresión de Poisson para explicar las fluctuaciones de la morbilidad y la mortalidad diarias con respecto a las variables explicativas y confusoras. Para especificar el modelo de Poisson se siguió una estrategia basada en las metodologías APHEA (Katsouyanni, 1996;) y EMECAN (Ballester et al. 2002). En primer lugar se identificó un modelo basal para cada una de las causas de ingresos hospitalarios y defunciones, a partir de las posibles variables de confusión. Una vez identificado el modelo basal, se procedió a extender este modelo a cada uno de los contaminantes y sus retardos. La construcción del modelo de regresión de Poisson autorregresivo permite determinar si la variable respuesta depende o no de otras variables. Si las variables independientes tienen un efecto significativo sobre la variable respuesta (para un intervalo de confianza del 95% y $p < 0.05$), este efecto es evaluado por el coeficiente beta de cada variable independiente en el modelo de

regresión de Poisson. El modelo lineal generalizado para relacionar la variable respuesta con diferentes variables independientes, está construido de la siguiente manera:

$$\ln(E_y) = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i x_{t,i}$$

Donde E_y es el número esperado de casos, β_0 , β_i son constantes del modelo y x_{ij} son las variables explicativas del modelo. Una vez realizada la regresión de Poisson, a partir del modelo base, se obtuvieron los valores de beta que se utilizaron para calcular el valor de riesgo relativo mediante la siguiente ecuación:

$$IRR_i = e^{\beta_i}$$

Donde IRR es el riesgo relativo asociado a la variable explicativa i por unidad de incremento de esta variable, y β_i es el coeficiente de regresión asociado a la variable explicativa i en el modelo. Posteriormente, se incrementó en un 10% la concentración de cada contaminante criterio considerado en el modelo por separado y cada una de las variables meteorológicas consideradas. A continuación se obtuvieron los parámetros de la regresión nuevamente, aplicando el modelo de distribución de Poisson considerando este incremento y manteniendo sin cambio el resto de las variables. Con los valores de beta obtenidos del modelo ajustado se procedió a calcular el valor del índice de riesgo relativo (IRR) para morbilidad y mortalidad con un incremento de 10% en las magnitudes de cada una de las variables explicativas para determinar el efecto sobre el índice de riesgo derivado de un incremento en las concentraciones de un contaminante atmosférico dado. Se realizó este procedimiento para cada contaminante y para cada uno de los municipios considerados en el estudio.

Mapeo de los índices de Riesgo Relativo (IRR's): Se realizó el mapeo de los índices de riesgo relativo (IRR) de morbilidad y mortalidad diarias por todas las causas asociado a cada contaminante atmosférico mediante el Sistema de Información Geográfica QGIS versión 2.14.7 (QGIS, 2017) a partir de datos espaciales de tipo vectorial incluyendo estados y municipios geográficamente referenciados. La información fue obtenida del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI, 2017). Los mapas se generaron por entidad federativa, a excepción de los mapas de la Zona Metropolitana de Toluca y los mapas del Estado de México los cuales pertenecen a la misma entidad pero son zonas metropolitanas diferentes.

3. Resultados

3.1 Resultados Sección A: Análisis de datos de calidad del aire.

Se evaluó el estado de la calidad del aire, el cumplimiento y número de excedencias con respecto a las normas oficiales mexicanas vigentes en la materia para cada municipio. A continuación se resumen los hallazgos más relevantes de esta evaluación:

Dióxido de Azufre (SO₂): Se contó con información validada para este contaminante en 34 de los 43 municipios (79% del total) considerados en el estudio. La delegación Azcapotzalco (Ciudad de México) con 0.0159 ppm y el municipio de Salamanca (Guanajuato) con 0.0127 ppm presentaron una mayor concentración promedio para este contaminante durante 2012-2015. Los municipios que presentaron la menor concentración promedio fueron Tonalá y Zapopan, ambos en el Estado de Jalisco (0.0024 ppm). Ninguno de los municipios considerados en el estudio rebasó los niveles máximos permisibles establecidos en la NOM- 022-SSA1-2010. El índice de estacionalidad para todos los municipios en conjunto fue de 1.38, indicando que las concentraciones más altas se encontraron durante los meses de invierno. La mayoría de los municipios analizados mostraron una tendencia decreciente en las concentraciones de 24 horas y anuales durante el periodo de estudio lo que permitió cumplir con el límite establecido en la norma. Sin embargo, existen algunos municipios que a pesar de que no exceden los límites máximos permisibles, mostraron una tendencia a incrementar sus concentraciones, tal es el caso de Azcapotzalco (Ciudad de México), Tlalnepantla (Estado de México), Irapuato y Salamanca (Guanajuato), y San Mateo Atenco (Zona Metropolitana del Valle de Toluca).

Monóxido de Carbono (CO): Se contó con información validada para este contaminante en 35 de 43 municipios considerados en el estudio (81% del total). Los municipios que presentaron una mayor concentración promedio para este contaminante durante el periodo de estudio fueron Puebla (1.7059 ppm), Guadalupe, Nuevo León (1.1636 ppm) y Cadereyta Jiménez, Nuevo León (1.1104 ppm). Acolman (Estado de México) fue el municipio que presentó la menor concentración promedio en el periodo de estudio (0.3791 ppm). Ninguno de los municipios considerados excedió el límite máximo permisible establecido en la NOM-021-SSA1-1993. El índice de estacionalidad para todos los municipios en conjunto fue de 1.46, indicando que las concentraciones más altas se encontraron durante los meses de invierno. La mayoría de los municipios analizados mostraron una tendencia decreciente en las concentraciones de este contaminante, lo que permitió cumplir con el límite establecido en la norma. Sin embargo, existen algunos municipios que a pesar de que no exceder los límites máximos permisibles, mostraron una tendencia a incrementar sus concentraciones, tal es el caso de León (Guanajuato), Salinas Victoria (Nuevo León) y Puebla (Puebla).

Dióxido de Nitrógeno (NO₂): Se contó con información validada para este contaminante en 39 de 43 municipios considerados en el estudio (91% del total). Los municipios que presentaron una mayor concentración promedio para este contaminante durante 2012-2015, fueron Venustiano Carranza (Ciudad de México) con 35.1252 ppb y Toluca de Lerdo ubicado dentro de la ZMVT con 36.3510 ppb. Celaya, Guanajuato fue el municipio que presentó la menor concentración promedio en el periodo de estudio (10.5634 ppb). Ninguno de los municipios considerados excedió el límite máximo permisible establecido en la NOM-023-SSA1-1993, excepto Morelia, Michoacán que excedió 7 veces el valor de referencia durante el periodo de estudio. El índice de estacionalidad para todos los municipios en conjunto fue de 1.37, indicando que las mayores concentraciones se encontraron durante los meses de invierno. La mayoría de los municipios analizados mostraron una tendencia decreciente en las concentraciones lo que permitió cumplir con el límite establecido en la norma. Sin embargo, existen algunos municipios que a pesar de no exceder los límites máximos permisibles establecidos, mostraron una tendencia a incrementar sus concentraciones, tal es el caso de la delegación Cuauhtémoc (Ciudad de México), Tlalnepantla (Estado de México), Toluca de Lerdo y San Mateo Atenco (ZMVT).

Ozono (O₃): Se contó con información validada para este contaminante en 41 de 43 municipios considerados en el estudio (95% del total). Las delegaciones de la Ciudad de México que presentaron una mayor concentración promedio para este contaminante fueron: Tláhuac (33.1720 ppb), Xochimilco (33.1720 ppb) y Cuajimalpa (32.4717 ppb). Tlaquepaque (Jalisco) fue el municipio que presentó la menor concentración promedio en el periodo de estudio (19.4793 ppb). Los 41 municipios que contaron con datos validados para este contaminante, excedieron el límite máximo permisible establecido en la NOM-020-SSA1-2014. En la Ciudad de México, de un total de 34, 659 excedencias a la norma, 3, 853 correspondieron a la delegación Álvaro Obregón, siendo esta delegación a nivel nacional la que presentó el mayor número de excedencias en el periodo 2012-2015. En el Estado de México se contabilizaron para este periodo, un total de 7, 530 excedencias a la normatividad, siendo registradas 1,407 y 1, 170 excedencias en los municipios de Nezahualcóyotl y Naucalpan de Juárez, respectivamente. En el Estado de Guanajuato, se registró un total de 1, 455 excedencias a la norma, correspondiendo a Irapuato, 884 excedencias. Jalisco, por su parte registró un total de 1, 051 excedencias a la norma, siendo Tonalá el municipio con mayor número de excedencias (305 veces). Morelia excedió el límite máximo permisible establecido en la normatividad vigente 216 veces. En el Estado de Nuevo León, se rebasó este límite en 2, 384 ocasiones, siendo García con 734 excedencias, el que contribuyó en mayor medida a este incumplimiento. En la ZMVT, Metepec fue el municipio que mayor número de excedencias a la normatividad registró (342 de un total de 725 veces). El índice de estacionalidad para todos los municipios en conjunto fue de 0.76, indicando que las concentraciones más altas se encontraron durante los meses de verano. La mayoría de los municipios analizados presentan uniformidad en los niveles de concentración de ozono durante el periodo de estudio. Sin embargo, existen algunos municipios que mostraron una tendencia a incrementar sus concentraciones, tal es el caso de las delegaciones Cuajimalpa y Álvaro Obregón (Ciudad de México), los municipios de Irapuato y Salamanca (Estado de Guanajuato) y el municipio de Metepec (ZMVT).

PM₁₀: Se contó con información validada para este contaminante en 38 de 43 municipios considerados en el estudio (88 % del total). Los municipios que presentaron una mayor concentración promedio para este contaminante durante fueron los municipios de García (88.4928 µg/m³) y Santa Catarina (81.2085 µg/m³), ambos en el Estado de Nuevo León. Cuajimalpa (Ciudad de México) fue la delegación que presentó la menor concentración promedio en el periodo de estudio (31.4172 µg/m³). 37 de los 38 municipios que contaron con datos validados para este contaminante, excedieron el límite máximo permisible establecido en la NOM-025-SSA1-2014. En la Ciudad de México, de un total de 638 excedencias a la norma, 191 correspondieron a la Venustiano Carranza durante el periodo 2012-2015. En el Estado de México se registraron 842 excedencias a la normatividad, siendo registradas 277 excedencias en el municipio de Coacalco. En el Estado de Guanajuato, se registró un total de 1, 171 excedencias a la norma, correspondiendo a Celaya, 518 excedencias. Jalisco, por su parte registró en un total de 1, 285 excedencias a la norma, siendo El Salto, el municipio con mayor número de excedencias (695 veces). En el Estado de Nuevo León, se rebasó el límite máximo permisible para PM₁₀ establecido por la norma en 4, 054 ocasiones, siendo García con 871 excedencias, el que contribuyó en mayor medida a este incumplimiento, tanto a nivel estatal como a nivel nacional. Metepec fue el municipio que mayor número de excedencias a la normatividad registró (377 de un total de 834 veces en la ZMVT). El índice de estacionalidad para todos los municipios en conjunto fue de 1.39, indicando que las concentraciones más altas se encontraron durante los meses de invierno. La mayoría de los municipios analizados muestra un

comportamiento uniforme en los niveles de concentración para este contaminante durante el periodo de estudio. Sin embargo, existen algunos municipios que mostraron una tendencia a incrementar sus concentraciones, tal es el caso de la delegación Venustiano Carranza (Ciudad de México), los municipios de Irapuato y Salamanca (Estado de Guanajuato), Acolman (Estado de México) y los municipios de Guadalupe y García (Nuevo León).

PM2.5: Se contó con información validada para este contaminante en 16 de 43 municipios considerados en el estudio (37 % del total). Los municipios que presentaron una mayor concentración promedio para este contaminante fueron Santa Catarina, Nuevo León (28.1231 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) y Metepec en la ZMVT (38.5116 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Los 16 municipios que contaron con datos validados para este contaminante, excedieron el límite máximo permisible establecido en la NOM-025-SSA1-2014. En la Ciudad de México, de un total de 384 excedencias a la norma, 83 correspondieron a la delegación Gustavo A. Madero. En el Estado de México se registraron un total de 135 excedencias a la normatividad, siendo registradas 65 excedencias en el municipio de Nezahualcóyotl. En el Estado de Nuevo León, se rebasó el límite máximo permisible para PM2.5 establecido por la norma en 91 ocasiones, siendo Santa Catarina con 82 excedencias, el que contribuyó en mayor medida a este incumplimiento. Metepec fue el municipio que presentó mayor número de excedencias a la normatividad (245 de un total de 567 veces en la ZMVT). El índice de estacionalidad para todos los municipios en conjunto fue de 1.2, indicando que las concentraciones más altas se encontraron durante los meses de invierno. La mayoría de los municipios analizados muestran un comportamiento uniforme de los niveles de concentración para PM2.5 durante el periodo de estudio. Sin embargo, existen algunos municipios que mostraron una tendencia a incrementar sus concentraciones, tal es el caso de las delegaciones Venustiano Carranza, Azcapotzalco y Cuajimalpa (Ciudad de México) y los municipios de Ecatepec (Estado de México) y Santa Catarina (Nuevo León).

3.2 Resultados Sección B: Análisis estadístico simple de datos epidemiológicos

Mortalidad: Se encontró que las tasas de mortalidad más elevadas para el periodo 2012-2015 se presentaron en las delegaciones Azcapotzalco (3.06 -3.19) y Venustiano Carranza en la Cd de México (2.98 - 3.31), y en los siguientes municipios: Guadalajara, Jalisco (2.61 - 2.83), Monterrey, Nuevo León (2.33 - 2.77), y Tlalnepantla, Estado de México (2.03 - 2.17). En la mayoría de los municipios y delegaciones considerados ocurrió un mayor número de defunciones diarias en mujeres mayores a 75 años, con excepción de Salinas Victoria, García y Santa Catarina en el Estado de Nuevo León; y de Silao en el Estado de Guanajuato, donde se registró un mayor número de defunciones en personas del sexo masculino. Los meses que presentaron los mayores valores de mortalidad diaria fueron diciembre y enero. El número de defunciones fue más bajo en el subgrupo de edad correspondiente a infantes de 0 a 4 años.

Morbilidad: Los valores de morbilidad promedio diarios más elevados se registraron en las delegaciones Gustavo A. Madero (5.73) e Iztapalapa (8.85) en la Ciudad de México; y en los municipios de Guadalajara (9.45) y Zapopan

(5.05) en el estado de Jalisco; Ecatepec (6.74) y Nezahualcóyotl (5.16) en el Estado de México; y León (5.73) en el Estado de Guanajuato. Las tasas de morbilidad más altas se registraron en la delegación Venustiano Carranza (2.01 - 2.39) en Cd de México; y en los siguientes municipios: Guadalajara, Jalisco (2.19 - 2.57), Nezahualcóyotl, Estado de México (1.69 - 1.93), y Silao, Guanajuato (2.36 - 2.91). Se registró un mayor número de ingresos hospitalarios en personas del sexo masculino entre 5 y 59 años, mientras que el menor número de admisiones hospitalarias se registró para los infantes de 0 a 4 años, las personas entre 60 y 74 años y los mayores de 75 años. En el caso de la morbilidad diaria por enfermedades del sistema circulatorio, presentó valores extremos durante meses fríos y meses cálidos, siendo más significativo en la población de 5 a 59 años. En el caso de la morbilidad por causas respiratorias, ésta fue más alta en los meses de invierno en población de 5 a 59 años. El registro de ingresos hospitalarios diarios por causa respiratoria, el subgrupo de 60 a 74 años y las personas mayores de 75 años fueron los que presentaron los valores más bajos.

3.3 Resultados Sección C: Relación entre la contaminación atmosférica y la mortalidad diaria

3.3.1 Análisis bi-variado, multivariado y de regresión múltiple de los datos de morbilidad diaria con las variables explicativas:

Ciudad de México: Se encontraron coeficientes de determinación altos (R^2) para la mortalidad diaria asociada a enfermedades del sistema respiratorio (siendo más evidente esta asociación durante los meses fríos y en el grupo de población mayor de 60 años). Se encontraron correlaciones significativas inversas entre la mortalidad diaria con la humedad y la temperatura. Los coeficientes de determinación obtenidos en las delegaciones estudiadas de la Ciudad de México fueron más bajos que los obtenidos en Monterrey y Guadalajara. Los mayores valores de R^2 (RLM) se encontraron en Álvaro Obregón, Gustavo A. Madero, Iztapalapa y Venustiano Carranza, considerando todas las causas y en población mayor de 60 años. Se encontró una mayor correlación entre mortalidad diaria y los contaminantes atmosféricos en Azcapotzalco (0 a 59 años, mayores de 60); en Gustavo A. Madero para SO_2 (enfermedades del sistema respiratorio y circulatorio), para CO (todos los estratos a excepción de los meses cálidos), para NO_2 (todos los estratos, a excepción de los meses cálidos y siendo particularmente alto en enfermedades del sistema respiratorio) y para $PM_{2.5}$ (meses fríos); en Iztapalapa para PM_{10} (0 a 59 años, mayores de 60 años, enfermedades del sistema respiratorio) y $PM_{2.5}$ (mayores de 60 años); y para PM_{10} en Iztacalco (mayores de 60 años, enfermedades del sistema respiratorio) y en Álvaro Obregón (mayores de 60 años). O_3 no presentó asociación importante en ninguno de los estratos y delegaciones considerados. Del ACP, se encontró que CO y NO_2 correlacionaron significativamente con la mortalidad diaria (todas las causas, todos los rangos de edad, enfermedades respiratorias y circulatorias, meses fríos) en Gustavo A. Madero. O_3 presentó asociaciones con mortalidad diaria en Azcapotzalco (todas las causas, rango de edad y enfermedades del sistema circulatorio) y en Iztacalco (0 a 59 años, y para enfermedades del sistema circulatorio y respiratorio). SO_2 presentó correlación significativa con las defunciones diarias en Azcapotzalco (meses fríos), en Álvaro Obregón

(meses cálidos), en Cuauhtémoc (enfermedades respiratorias), en Venustiano Carranza (enfermedades del sistema circulatorio) y en Iztapalapa (meses fríos).

Estado de México: Los mayores coeficientes de determinación (R^2) resultantes del análisis RLM se encontraron en Tlalnepantla y Naucalpan (todas las causas) y en Tlalnepantla y Tultitlán (durante los meses fríos). Chalco, Coacalco de Berriozábal y Tlalnepantla mostraron correlaciones significativas inversas con la humedad y la temperatura. Se obtuvieron valores de R^2 más altos y una asociación significativa entre mortalidad diaria y los contaminantes atmosféricos para todos los municipios en el grupo de población mayor de 60 años. Se encontraron mayores coeficientes de correlación de Pearson en Tlalnepantla (todas las causas y enfermedades del sistema respiratorio) y Tultitlán (enfermedades del sistema respiratorio) para SO_2 ; en Naucalpan (todas las causas, mayores de 60 años y enfermedades del sistema circulatorio), Nezahualcóyotl (todas las causas, mayores de 60 años, enfermedades del sistema respiratorio y circulatorio) y en Tlalnepantla (todas las causas y mayores de 60 años) para CO. NO_2 mostró una correlación significativa con las defunciones diarias en Ecatepec, Texcoco y Nezahualcóyotl (todas las causas, mayores a 60 años, enfermedades del sistema respiratorio y circulatorio), Naucalpan (todas las causas, mayores de 60 años y enfermedades del sistema circulatorio) y Tlalnepantla (todas las causas y personas mayores de 60 años). PM_{10} mostró una asociación significativa con las defunciones diarias para Ecatepec (todas las causas, de 0 a 59 años, mayores de 60 años, meses fríos y enfermedades del sistema circulatorio), Naucalpan (todas las causas, mayores de 60 años, meses fríos y enfermedades del sistema circulatorio), Tlalnepantla (todas las causas) y Chalco (personas de 0 a 59 años). Por otro lado, $PM_{2.5}$ únicamente correlacionó en Nezahualcóyotl durante los meses cálidos. Del ACP se encontró que Texcoco presentó el mayor número de correlaciones, con asociaciones significativas para NO_2 , O_3 , SO_2 , humedad y temperatura. Ecatepec presentó una asociación significativa entre las defunciones diarias y NO_2 , PM_{10} y $PM_{2.5}$ considerando todas las causas, con O_3 (para personas mayores de 60 años y enfermedades respiratorias) y con SO_2 cuando se consideraron enfermedades del sistema circulatorio. O_3 correlacionó de modo significativo con las defunciones diarias considerando todas las causas, en el rango de edad de 0 a 59 años, y enfermedades del sistema respiratorio y circulatorio en Tultitlán. SO_2 correlacionó significativamente con mortalidad diaria (0 a 59 años, meses cálidos) en Naucalpan. O_3 , Temperatura, humedad relativa y SO_2 presentaron asociación significativa con la mortalidad por para todas las causas en Tlalnepantla.

Estado de Guanajuato: Se obtuvieron mayores valores de R^2 en Irapuato (todas las causas, mayores a 60 años y enfermedades del sistema circulatorio), León (todos los estratos excepto durante los meses cálidos) y Celaya (todas las causas, mayores a 60 años y enfermedades del sistema respiratorio). La mortalidad mostró una correlación significativa inversa con la humedad y la temperatura, y mostró valores de R^2 significativos en población mayor de 60 años. SO_2 únicamente correlacionó de modo significativo en Celaya (todas las causas y mayores a 60 años), mientras que CO mostró una fuerte asociación con la mortalidad diaria en Irapuato (todas las causas, mayores de 60 años y durante los meses fríos). NO_2 presentó una correlación significativa (enfermedades del sistema respiratorio) en Irapuato y O_3 presentó coeficientes de correlación de Pearson elevados en Celaya e Irapuato (meses cálidos). PM_{10} correlacionó de modo significativo en Irapuato y León (todas las causas de muerte y mayores a 60 años), mientras que para $PM_{2.5}$ no se pudo realizar el análisis multivariado ya que no se tuvieron datos validados para este contaminante. Del ACP se encontró que Irapuato y León presentaron correlaciones significativas entre las defunciones diarias y los niveles de contaminantes. Irapuato

presentó altos coeficientes de correlación entre mortalidad diaria y CO (todas las causas, mayores de 60 años y enfermedades circulatorias), SO₂ y NO₂ (enfermedades circulatorias), O₃ (rango de edad de 0 a 59 años), PM10 (todas las causas, mayores de 60 años y enfermedades circulatorias), humedad (todas las causas) y temperatura (todas las causas y enfermedades del sistema circulatorio). En León, sólo se obtuvieron correlaciones significativas con O₃ (mayores de 60 años), CO durante los meses cálidos, PM10 (todas las causas, mayores de 60 años y enfermedades circulatorias), y temperatura (todas las causas, rango de edad de 0 a 59 años, enfermedades respiratorias y durante los meses fríos). En Celaya, PM10 (todas las causas) y la temperatura (para todos los rangos de edad y considerando tanto enfermedades del sistema respiratorio y circulatorio) correlacionaron de modo importante con las defunciones diarias. En Silao, la mortalidad correlacionó de modo significativo con la temperatura (todas las causas), con CO (mayores de 60 años y durante los meses cálidos) y con PM10 (enfermedades respiratorias).

Estado de Jalisco: Se halló que la mortalidad diaria y las concentraciones promedio diarias de contaminantes atmosféricos presentaron valores de R² significativos en Zapopan y Guadalajara (todas las causas de muerte, de 0 a 59 años, mayores de 60 años, y para enfermedades del sistema circulatorio y respiratorio). Los valores de R² obtenidos en Guadalajara fueron comparables a los obtenidos en Monterrey y mayores que los reportados en las 11 delegaciones de la Ciudad de México. Los valores de R² fueron significativamente más altos en personas mayores de 60 años. Se encontraron correlaciones significativas inversas entre las defunciones diarias con la humedad y la temperatura, siendo relativamente más elevados durante los meses fríos. SO₂ presentó correlaciones altas en Guadalajara y Zapopan para todos los estratos considerados; mientras que CO estuvo fuertemente correlacionado en Guadalajara (todos los estratos considerados), Tlaquepaque (todas las causas y de 0 a 59 años) y Zapopan (de 0 a 59 años). NO₂ únicamente correlacionó con las defunciones diarias en Tlaquepaque (todas las causas, de 0 a 59 años, mayores de 60 años y enfermedades respiratorias) y en Tonalá con todas las causas de muerte. En el caso del O₃, este contaminante no correlacionó con la mortalidad diaria en ninguno de los municipios ni estratos considerados. PM10 mostró una fuerte asociación la mortalidad diaria en Tlaquepaque (todas las causas, de 0 a 509 años) y Zapopan (todas las causas y mayores de 60 años). Para PM2.5 no fue posible estimar el grado de asociación ya que no se contó con datos disponibles validados para este contaminante. A partir del ACP se encontró que la mortalidad diaria correlacionó de modo significativo con CO, NO₂ y PM10 (considerando todas las causas, mayores de 60 años y enfermedades del sistema circulatorio) y con SO₂ (rango de edad de 0 a 59 años y enfermedades del sistema respiratorio) en el municipio de Guadalajara. Tlaquepaque, mostró correlaciones importantes con las defunciones diarias para CO, NO₂, PM10 y Temperatura (para todas las causas y para todos los rangos de edad) y para SO₂ (enfermedades del sistema circulatorio). Zapopan mostró coeficientes de correlación importantes con las defunciones diarias para NO₂, CO y Temperatura (de 0 a 59 años y en enfermedades respiratorias) así como para SO₂ y O₃ (de 0 a 59 años).

Morelia: Presentó coeficientes de determinación (R²) altos para el grupo de población mayor de 60 años, seguido por el estrato de meses fríos. La asociación entre la mortalidad diaria y los contaminantes atmosféricos fue significativamente más alta para las personas mayores de 60 años. Solo se contó con datos validados de calidad del aire para NO₂ y O₃ en este municipio. Estos contaminantes sólo correlacionaron significativamente cuando se consideró el grupo de población mayor de 60 años. El ACP fue aplicado considerando sólo dos contaminantes, ya que el resto de la información no estuvo disponible. NO₂ mostró coeficientes significativos con la mortalidad

diaria (todas las causas, enfermedades del sistema circulatorio y respiratorio, y meses cálidos) y O₃ presentó correlaciones importantes para todos los rangos de edad y durante los meses fríos.

Estado de Nuevo León: Los coeficientes de determinación más altos se encontraron en los municipios Guadalupe, Monterrey y Santa Catarina. Los mayores valores de estos coeficientes se registraron en Guadalupe, Monterrey y San Nicolás de los Garza durante los meses fríos, y en los municipios de Monterrey, Salinas Victoria, San Nicolás de los Garza y Santa Catarina durante los meses cálidos. Los contaminantes que más aportaron valores de significancia a la mortalidad fueron SO₂ y NO₂ para la mayoría de los municipios y estratos considerados. Los valores de R² obtenidos para la ciudad de Monterrey fueron comparables a los obtenidos a la ciudad de Guadalajara y más altos, inclusive, que las delegaciones estudiadas en la Ciudad de México. El grupo de población mayor de 60 años, presentó valores más altos de R² en Guadalupe, Monterrey, San Nicolás de los Garza y Santa Catarina, en comparación con el grupo de edad de 0 a 59 años, cuyos coeficientes más significativos se obtuvieron en Monterrey y Salinas Victoria. General Escobedo, Santa Catarina, Guadalupe y Monterrey mostraron los coeficientes de determinación más altos para la mortalidad asociada a enfermedades de los sistemas circulatorio y respiratorio para SO₂, CO y Temperatura. En la mayoría de los municipios y estratos considerados la mortalidad diaria tuvo una correlación significativa inversa con la temperatura. El ACP mostró correlaciones consistentes entre la mortalidad diaria con CO, O₃, Humedad y Temperatura (para todas las causas, mayores de 60 años, enfermedades del sistema respiratorio y circulatorio, y durante los meses fríos) y con PM_{2.5} durante los meses cálidos el municipio de Guadalupe. Esta misma comportamiento se observó en Monterrey, mostrando correlaciones significativas con CO, O₃ y temperatura (mayores de 60 años, enfermedades del sistema respiratorio y circulatorio), con NO₂ (meses cálidos) y con PM₁₀ (de 0 a 59 años). San Nicolás de los Garza, CO, NO₂ y temperatura formaron un componente principal con el número de muertes atribuidas a todas las causas, por enfermedades del sistema respiratorio, meses fríos, y para la población de mayores de 60 años. Santa Catarina presentó una buena asociación con SO₂, CO, PM₁₀ y PM_{2.5} durante los meses cálidos; mientras que García presentó altos coeficientes de correlación entre mortalidad y humedad-temperatura (todas las causas, mayores de 60 años, y con PM₁₀ (meses cálidos).

Puebla: Los mayores valores de R² (resultantes del análisis de RLM) se encontraron para los estratos de todas las causas, meses fríos, mayores de 60 años, por enfermedades de los sistemas respiratorio y circulatorio. El parámetro que más aportó información sobre la mortalidad fue NO₂ siendo más evidente en población mayor de 60 años y para enfermedades del sistema circulatorio. CO, presentó un coeficiente de correlación de Pearson altamente significativo con la mortalidad diaria, cuando se consideraron enfermedades del sistema respiratorio. El ACP fue aplicado considerando sólo dos contaminantes, ya que el resto de la información no estuvo disponible. NO₂ mostró coeficientes significativos con la mortalidad diaria (todas las causas, defunciones de mayores de 60 años, enfermedades del sistema circulatorio y durante los meses fríos); CO mostró correlaciones importantes para el rango de edad de 0 a 59 años, y con enfermedades del sistema respiratorio. No se observó ninguna correlación significativa entre las defunciones diarias y el estrato de meses cálidos.

ZMVT: Se obtuvieron valores de R² más altos para Toluca de Lerdo (todas las causas, de 0 a 59 años, población mayor de 60 años); mientras que los valores más bajos de este coeficiente se obtuvieron para San Mateo Atenco. El estrato denominado meses cálidos, no presentó correlaciones con ningún parámetro estudiado. Los

contaminantes que mostraron mayor correlación con la mortalidad, fueron CO, NO₂ y PM₁₀. La temperatura, mostró correlaciones inversas en todos los grupos. Del ACP, en el municipio de Metepec se observaron valores de R² significativos entre las defunciones diarias y CO, PM₁₀, PM_{2.5}, y humedad (todas las causas), y con temperatura (meses fríos). Toluca de Lerdo mostró una asociación importante entre defunciones diarias y O₃ (todas las causas y mayores de 60 años), humedad (todas las causas, todos los rangos de edad, y meses fríos), temperatura (enfermedades del sistema respiratorio y circulatorio) y CO (en el rango de edad de 0 a 59 años). San Mateo Atenco presentó una buena correlación con SO₂ durante los meses fríos. No se observó correlación significativa entre ninguno de los contaminantes y la mortalidad diaria durante los meses cálidos para ninguno de los municipios considerados.

3.3.2 Resultados de la estimación de los índices relativos de riesgo (IRR):

Ciudad de México: Se encontró una asociación significativa entre mortalidad diaria con CO (0.9996-1.0004), O₃ (0.9861-1.0091), PM₁₀ (0.9904-1.0141) y PM_{2.5} (0.9761-1.0176) para enfermedades del sistema circulatorio. Se encontraron asociaciones importantes entre mortalidad diaria y los contaminantes atmosféricos en Azcapotzalco, Cuauhtémoc, Venustiano Carranza, Álvaro Obregón, Gustavo A. Madero, Iztacalco y Tláhuac. Azcapotzalco mostró una asociación significativa entre la mortalidad diaria y NO₂ (0.9863-1.0151), O₃ (0.9875-1.0091) y PM₁₀ (0.9916-1.0149) para población mayor de 60 años, sugiriendo que este grupo de población es altamente vulnerable en esta delegación. Los valores de IRR's fueron altos para PM₁₀ (0.9917-1.0135) cuando se consideraron todas las causas. Cuauhtémoc mostró mayores valores de IRR's para CO (0.9993-1.0011), O₃ (0.9875-1.0212), PM₁₀ (0.9789-1.0294) y PM_{2.5} (0.9578-1.0348) cuando se consideró el rango de edad de 0 a 59 años, lo cual sugiere que la población en este rango de edad es más vulnerable a los efectos de la contaminación atmosférica en esta delegación. Se encontró una asociación importante entre mortalidad diaria con CO (0.9996-1.0004) y con NO₂ (0.9862-1.0127) para enfermedades del sistema circulatorio. PM_{2.5} y mortalidad diaria se relacionaron de manera significativa para personas mayores a 60 años (0.9880-1.0180) y para todas las causas (0.9885-1.0164). Venustiano Carranza presentó asociaciones significativas entre mortalidad diaria con SO₂ (0.9551-1.0389), CO (0.9992-1.0007), O₃ (0.9702-1.0191), PM₁₀ (0.9844-1.0250) y PM_{2.5} (0.9643-1.0332) para enfermedades respiratorias. Para todas las causas esta asociación sólo fue significativa para O₃ (0.9889-1.0099) y PM_{2.5} (0.9863-1.0160). En la delegación Álvaro Obregón se encontró que la población mayor de 60 años es la más vulnerable, con asociaciones significativas entre la mortalidad y SO₂ (0.9725-1.0258), CO (0.9995-1.0007), NO₂ (0.9808-1.0149) y PM_{2.5} (0.9891-1.0162) y también se observó una mayor asociación entre defunciones diarias con SO₂ (0.9716-1.0380) y con NO₂ (0.9839-1.02649) para el rango de edad de 0 a 59 años; y con SO₂ (0.9854-1.0190) para enfermedades del sistema circulatorio. NO₂ presentó una asociación significativa con mortalidad diaria en Iztacalco para todas las causas (0.9903-1.0169) y mayores de 60 años (0.9880-1.0168); mientras que en Tláhuac esta asociación se presentó para el grupo de edad de 0 a 59 años (0.9707-1.0238) y enfermedades del sistema respiratorio (0.9762-1.0261). Esta asociación fue importante durante meses fríos para CO, O₃ y PM₁₀ en Cuauhtémoc; para SO₂ y CO en Gustavo A. Madero; y para SO₂ y NO₂ en la delegación Venustiano Carranza; mientras que durante los meses cálidos fue significativa para SO₂ en la delegación Álvaro Obregón, para PM₁₀ y PM_{2.5} en Venustiano Carranza, y para NO₂ en la delegación Tláhuac.

Estado de México: Tlalnepantla fue el municipio que mostró una asociación significativa entre mortalidad diaria y los contaminantes atmosféricos. El estrato de población mayor de 60 años demostró ser el grupo más vulnerable, ya que todos los contaminantes atmosféricos mostraron una asociación significativa con la mortalidad diaria [SO₂ (0.9845-1.0155), CO (0.9995-1.0005), NO₂ (0.9853-1.0192), O₃ (0.9858-1.0111), PM10 (0.9903-1.0127) y PM2.5 (0.9796-1.0161)]. Para enfermedades del sistema circulatorio, se observó una correlación importante de la mortalidad diaria con O₃ (0.9861-1.0118) y PM10 (0.9929-1.0088); mientras que para enfermedades del sistema respiratorio, PM2.5 fue el que presentó una correlación significativa (0.9885-1.0073). CO (0.9996-1.0005), O₃ (0.9861-1.0097), PM10 (0.9911-1.0119) y PM2.5 (0.9815-1.0154) mostraron una asociación importante con la mortalidad por todas las causas. Naucalpan presentó un mayor riesgo por exposición a SO₂ en población mayor de 60 años (0.9845-1.0158); y por exposición a CO y PM10 por enfermedades del sistema respiratorio en rangos de valores de IRR de 0.9994 a 1.0005 y de 0.9925 a 1.0178, respectivamente. En Texcoco, el único contaminante que se asoció de modo significativo con la mortalidad diaria fue NO₂ [0 a 59 años (0.9784-1.0264) y mayores de 60 años (0.9931-1.0299)] y para enfermedades del sistema circulatorio (0.9925-1.0198). Chalco mostró una asociación significativa entre la mortalidad y los niveles de SO₂ para todas las causas (0.9821-1.0746), enfermedades del sistema respiratorio (0.9404-1.0843) y en el rango de edad de 0 a 59 años (0.8948-1.1424). En el grupo de edad de 0 a 59 años, esta asociación fue importante para O₃ (0.9797-1.0150) y PM10 (0.9942-1.0084). Al considerar enfermedades del sistema respiratorio, SO₂ (0.9584-1.0370) y NO₂ (0.9788-1.0363) presentaron asociaciones importantes entre las defunciones diarias en Ecatepec. Se obtuvieron IRR's significativos por exposición a CO en Nezahualcóyotl (0.9997-1.0003) y Coacalco (0.9996-1.0003) en el rango de edad de 0 a 59 años. Nezahualcóyotl mostró un riesgo significativo de morbilidad por enfermedades del sistema circulatorio para PM2.5 (0.9983-1.0045) y en Acolman se encontraron asociaciones importantes entre las defunciones diarias y CO (0.9994-1.0007) para enfermedades del sistema circulatorio y para NO₂ (0.9831-1.0299) por todas las causas de muerte. Las enfermedades del sistema respiratorio se asociaron de modo significativo con los niveles de ozono (0.9911-1.0119) en Tultitlán. Durante los meses fríos, se obtuvo una asociación importante entre mortalidad diaria y SO₂, CO y PM10 en Naucalpan, y con NO₂ en Acolman.

Morelia: Únicamente fue posible estimar los IRR's para NO₂ y O₃ puesto que no se tuvieron datos validados disponibles de otros contaminantes en la base de datos de calidad del aire. NO₂ mostró una asociación importante con las enfermedades del sistema respiratorio (0.9947-1.0031) y con los meses fríos (0.9762-1.0108); mientras que O₃ mostró una relación significativa (con índices de riesgo muy altos) para personas mayores de 60 años (1.0269-1.0289) y para los meses fríos (0.9985-1.0221).

Puebla: Únicamente fue posible estimar los IRR's para NO₂ y CO, puesto que no se tuvieron datos disponibles de otros contaminantes en la base de datos de calidad del aire. NO₂ mostró una asociación importante con las enfermedades del sistema circulatorio (1.0214-1.0366), con los meses fríos (1.0129-1.0322) y con el grupo de población mayor de 60 años (1.0164-1.0306). CO no mostró ninguna asociación significativa con la mortalidad diaria.

Estado de Guanajuato: Se observó que los IRR's más altos se encontraron para SO₂ (1.0071 – 1.0117) y O₃ (1.0013 – 1.0084), registrándose el valor más alto (1.0262) para NO₂. Irapuato, Celaya y León fueron los municipios que mostraron los mayores valores de IRR's. Irapuato presentó el índice más alto (IRR=1.0262) para las defunciones

correlacionadas con NO₂ en el estrato de enfermedades del sistema respiratorio, seguido de Celaya (IRR=1.0161) para la mortalidad diaria asociada con SO₂ durante los meses fríos y nuevamente Celaya (IRR=1.0117) bajo el mismo criterio que el anterior solo que en el grupo de los meses cálidos. Para O₃, el municipio que presentó el índice más alto fue Irapuato dentro del estrato de los meses cálidos (IRR=1.0084).

Estado de Jalisco: Derivado de un incremento de 10% en el promedio de las concentraciones de cada uno de los contaminantes considerados se encontró que existe un riesgo de incremento en mortalidad por exposición a SO₂ (1.0195–1.0570) y a O₃ (1.0014–1.0057). Guadalajara, Tlaquepaque y Zapopan presentaron valores de IRR's significativos para todos los estratos en general. Zapopan presentó los mayores valores de IRR para SO₂ en diferentes estratos, siendo más evidente para el grupo de población mayor de 60 años (IRR=1.0570), seguido del estrato de todas las causas (IRR=1.0541) y por enfermedades del sistema circulatorio (IRR=1.0535).

Estado de Nuevo León: Al realizar un incremento del 10% en las concentraciones de los contaminantes considerados, se obtuvieron mayores valores de IRR para SO₂ para todos los grupos de mortalidad estudiados, registrando un valor máximo de IRR en el municipio de Cadereyta Jiménez (IRR=1.1760) para el estrato de enfermedades del sistema respiratorio. Santa Catarina, mostró el mayor valor IRR para CO (IRR=1.0003) para todas las causas de muerte. San Nicolás de los Garza mostró un valor alto de IRR para NO₂, en el estrato estacional meses fríos (IRR=1.0086), y por PM10 en el grupo de mortalidad por causas del sistema respiratorio (IRR=1.0018). En los meses cálidos se dieron los valores máximos de IRR, para O₃ en el municipio Gral. Escobedo (IRR=1.0072), y para PM2.5 en el municipio Guadalupe (1.0048).

ZMVT: Derivado de un incremento de 10 % en las concentraciones promedio de los contaminantes atmosféricos, los mayores valores de IRR asociados a las defunciones diarias se encontraron en Toluca de Lerdo (IRR=1.00041) por exposición a SO₂ considerando todas las causas y defunciones de personas mayores de 60 años. Metepec (0-59 años), San Mateo Atenco (mayores de 60 años) y Toluca de Lerdo (todas las causas y mayores de 60 años) presentaron un valor de IRR=1.0001 por exposición a CO. Metepec, (todas las causas) obtuvo los más altos valores de IRR por exposición a O₃ (IRR=1.0012) y PM10 (IRR=1.0016). San Mateo Atenco tuvo un índice significativo en el grupo todas las causas (IRR=1.0010), mientras que NO₂ no mostró valores significativos para ningún municipio.

3.4 Resultados Sección D: Relación entre la Contaminación Atmosférica y la morbilidad diaria

3.4.1 Resultados del Análisis bi-variado, multivariado y de regresión múltiple de los datos de morbilidad diaria con las variables explicativas

Ciudad de México: En el análisis de RLM para ingresos hospitalarios, los mayores coeficientes de determinación se encontraron en Iztapalapa para enfermedades del sistema respiratorio y de 0 a 59 años; seguido en orden de

importancia por el estrato considerando todas las causas en Iztapalapa, Gustavo A. Madero y Álvaro Obregón. Indicando que estas delegaciones mostraron una mayor asociación entre la morbilidad diaria y los niveles diarios de contaminación atmosférica. Esta asociación fue más significativa para SO₂ en Álvaro Obregón, Azcapotzalco y Gustavo A. Madero; para CO en Iztapalapa y Gustavo A. Madero; para NO₂ en Xochimilco e Iztapalapa; para O₃ en Gustavo A. Madero, Xochimilco y Coyoacán; para PM10 en Iztapalapa y Xochimilco; y para PM2.5 en Iztapalapa y Gustavo A. Madero-Coyoacán. Del ACP se encontró que O₃ formó un factor principal con carga factorial significativa con la morbilidad diaria en todos los estratos analizados (meses fríos, meses cálidos, todas las causas, 0-59 años, >60 años, enfermedades respiratorias y del sistema circulatorio) en Azcapotzalco, Iztapalapa y Gustavo A. Madero. El SO₂ formó un grupo con carga factorial significativa con morbilidad diaria en Iztacalco (todas las causas, y en meses fríos y cálidos), y en Venustiano Carranza (meses cálidos, 0-59 años, enfermedades respiratorias). La morbilidad diaria formó componentes principales con carga factorial significativa con NO₂ (Álvaro Obregón) y PM10 (Cuajimalpa) para el estrato de enfermedades respiratorias.

Estado de México: Los mayores coeficientes de determinación resultantes del análisis de RLM se encontraron en Ecatepec para todas las causas, el rango de edad de 0-59 años y el grupo de población de mayores de 60 años, así como para enfermedades de los sistemas respiratorio y circulatorio. Indicando que este municipio mostró una mayor asociación entre la morbilidad diaria y los niveles diarios de contaminación atmosférica. La asociación entre el número de ingresos hospitalarios diarios y la contaminación atmosférica fue significativa en Chalco, Ecatepec de Morelos y Naucalpan de Juárez para SO₂; en Naucalpan de Juárez, Acolman y Tultitlán para CO; en Ecatepec de Morelos, Nezahualcóyotl, Naucalpan de Juárez y Texcoco para NO₂; en Nezahualcóyotl, Ecatepec de Morelos, Naucalpan de Juárez y Tultitlán para O₃; en Ecatepec y Naucalpan de Juárez para PM10; y en Ecatepec y Tlalnepantla de Baz para PM2.5. A partir del ACP, los contaminantes que mostraron una asociación significativa con la morbilidad diaria fueron O₃, SO₂ y NO₂. La morbilidad diaria y ozono fueron agrupadas en un componente principal con carga factorial significativa en Chalco, Ecatepec, Nezahualcóyotl y Tultitlán para todos los estratos considerados (meses fríos y cálidos, todas las causas, por rango de edad y enfermedades de los sistemas circulatorio y respiratorio). SO₂ mostró cargas factoriales significativas con morbilidad en Coacalco de Berriozábal para la mayoría de los estratos analizados. NO₂ también se asoció de manera significativa con la morbilidad diaria en Texcoco. Humedad Relativa mostró relación significativa con el número de ingresos hospitalarios diarios en Tlalnepantla para el grupo de población mayor de 60 años y Chalco presentó una asociación significativa entre PM10 y la morbilidad por enfermedades del sistema circulatorio.

Estado de Guanajuato: Existió una fuerte correlación entre la morbilidad diaria y la contaminación atmosférica en el periodo de estudio, lo cual se evidenció por altos coeficientes de determinación en el análisis de RLM, siendo más evidente en el estrato de rango de edad de 0-59 años y de enfermedades respiratorias para los municipios de Irapuato, León, y Celaya. Se encontró una relación significativa entre los ingresos hospitalarios diarios y los contaminantes atmosféricos en León e Irapuato para SO₂ (todos los estratos); en Irapuato, León y Salamanca para CO y Ozono; en Celaya, Salamanca y León para NO₂ y humedad relativa; en Celaya, Irapuato y Silao para PM10; y en Irapuato y Celaya para la temperatura promedio diaria. El ACP reveló que ninguno de los municipios estudiados formó componentes principales con la variable de morbilidad diaria considerando los estratos meses fríos, meses cálidos y enfermedades del sistema circulatorio. Los ingresos hospitalarios por enfermedades respiratorias y todas las causas formaron componentes principales con SO₂, CO, NO₂, PM10 y

temperatura promedio diaria en el municipio de Irapuato. Ozono formó un componente principal con carga factorial significativa con la morbilidad diaria por todas las causas, en grupo de edad de 0-59 años y en personas mayores de 60 años en los municipios de León, Celaya y Silao, respectivamente.

Estado de Jalisco: Presentó mayores coeficientes de determinación (a partir del análisis de RLM) en Guadalajara, considerando todas las causas, estratos estacionales (meses fríos y meses cálidos), grupos de edad (0 a 59 y mayores de 60 años) y enfermedades por causas del sistema respiratorio. La asociación entre morbilidad y los contaminantes atmosféricos fue importante en Guadalajara para CO, NO₂, PM10 y humedad relativa. Zapopan también presentó coeficientes altos, en los estratos de todas las causas, meses cálidos, meses fríos y en enfermedades del sistema respiratorio. Cabe mencionar que para este municipio, los ingresos hospitalarios, estuvieron relacionados con los niveles de CO, PM10 y la temperatura. San Pedro Tlaquepaque, mostró coeficientes de determinación altos en el análisis de morbilidad por todas las causas y enfermedades del sistema circulatorio para SO₂ y PM10.

Morelia: Los coeficientes de determinación mostraron relaciones significativas entre la morbilidad con NO₂ y O₃ en todos los estratos. Del ACP se encontró que el O₃ fue el que mostró una asociación significativa con la morbilidad diaria en la mayoría de los estratos estudiados (meses cálidos, rango de edad 0 a 59 años, rango de edad de mayores de 60 años, enfermedades de los sistemas respiratorio y circulatorio). NO₂ mostró relaciones significativas con los ingresos hospitalarios en los estratos de todas las causas, meses fríos, rango de edad de mayores a 60 años y las enfermedades del sistema circulatorio.

Estado de Nuevo León: Monterrey presentó valores altos del coeficiente de determinación para todas las causas, de 0 a 59 años y mayores de 60 años y enfermedades del sistema respiratorio; mostrando además una relación significativa con CO, NO₂, O₃, PM10, humedad relativa y temperatura. El municipio de Guadalupe presentó una asociación significativa entre la morbilidad diaria y los niveles de PM10 para los estratos de todas las causas, meses fríos, de 0 a 59 años y enfermedades del sistema respiratorio (valores altos de R²). Cadereyta Jiménez y Salinas Victoria, también presentaron coeficientes altos de determinación para meses cálidos con una relación significativa con los niveles de CO y PM10. Santa Catarina mostró un coeficiente de determinación alto para enfermedades del sistema circulatorio ante los niveles de NO₂ y temperatura promedio diaria.

Puebla: Los coeficientes de determinación mostraron relaciones significativas entre la morbilidad diaria y el CO en todos los estratos (todas las causas, meses fríos, meses cálidos, rango de edad de 0 a 59 años, rango de edad mayores de 60, enfermedades del sistema respiratorio y enfermedades del sistema circulatorio). Del ACP, se encontró que CO fue el único contaminante atmosférico que mostró una asociación significativa con la morbilidad diaria en todos los estratos estudiados, a excepción del estrato por enfermedades del sistema respiratorio donde, sólo en este caso, el NO₂ resultó ser el contaminante influyente.

ZMVT: Toluca de Lerdo fue el municipio que presentó los coeficientes de determinación más altos del análisis RLM en todos los estratos estudiados. Indicando así, que este municipio mostró una asociación entre la morbilidad diaria y los niveles diarios de contaminación atmosférica. Se encontraron asociaciones significativas en este municipio entre morbilidad y los contaminantes atmosféricos en Toluca de Lerdo para CO, O₃, PM10 y PM2.5. A partir del ACP se encontró que Toluca de Lerdo fue el único municipio que presentó componentes

principales con carga factorial significativa en todos los estratos, siendo el CO, O₃ y Humedad relativa las variables con mayor número de asociaciones significativas.

3.4.2 Resultados de la estimación de los índices relativos de riesgo (IRR):

Ciudad de México: La asociación encontrada entre morbilidad diaria y las concentraciones promedio diarias de los contaminantes atmosféricos fue más clara para SO₂, NO₂, PM10 y PM2.5, considerando todas las causas de ingresos hospitalarios. Un incremento diario del 10% en estos contaminantes condujo a mayores valores de IRR por morbilidad en la delegación Cuajimalpa, siendo la estimación de esta magnitud mayor para NO₂ durante meses fríos (1.0290), PM2.5 durante meses fríos (1.0256), SO₂ para el grupo de población de personas mayores de 60 años (1.0254) y PM2.5 para enfermedades del sistema respiratorio (1.0187). SO₂ mostró mayores valores de IRR en Cuajimalpa, Coyoacán y Gustavo A. Madero. La asociación entre morbilidad por todas las causas y CO fue más significativa en Álvaro Obregón, Cuauhtémoc e Iztapalapa; mientras que la relación entre morbilidad diaria y NO₂ fue más evidente en Cuajimalpa, Coyoacán e Iztacalco. O₃ presentó mayores índices de morbilidad diaria para admisiones hospitalarias por enfermedades del sistema circulatorio en Iztapalapa. PM10 presentó mayores valores de IRR en Iztapalapa, siendo más significativo en orden de importancia para el rango de edad de 0-59 años, por todas las causas y por enfermedades del sistema respiratorio. PM2.5 presentó mayores valores del índice de riesgo relativo en Cuajimalpa, siendo más significativo en orden de importancia en ingresos por enfermedades del sistema respiratorio, en el rango de edad de 0-59 años y por todas las causas.

Estado de México: La relación entre la morbilidad diaria y los niveles promedio diarios de los contaminantes atmosféricos fue más significativa para SO₂ y NO₂. Los mayores valores de IRR se encontraron para SO₂ en población mayor de 60 años en el municipio de Coacalco de Berriozábal (1.0105) y para todas las causas durante meses fríos en el municipio de Chalco (1.0220). NO₂ presentó los mayores valores del índice de riesgo relativo para todas las causas en el municipio de Coacalco de Berriozábal (1.0112) y durante los meses fríos en Acolman (1.0158). CO mostró una mayor asociación con la morbilidad diaria en el municipio de Coacalco de Berriozábal para el estrato de rango de edad de 0 a 59 años y no mostró correlación significativa (IRR<1.0000) con admisiones hospitalarias por enfermedades del sistema circulatorio. Las concentraciones promedio de ozono en el Estado de México mostraron una asociación significativa con la morbilidad diaria en el municipio de Acolman, para ingresos hospitalarios por enfermedades respiratorias (1.0021) y para todas las causas durante los meses fríos en el municipio de Naucalpan (1.0058). Ecatepec fue el municipio que mostró mayor asociación entre los niveles de PM10 y la morbilidad diaria, siendo más evidente para el rango de edad de 0 a 59 años (1.0048) y para el grupo de población mayor de 60 años (1.0048). PM2.5 mostró una relación significativa con las admisiones hospitalarias diarias en el municipio de Nezahualcóyotl para el grupo de población mayor de 60 años (1.0006) y en Tlalnepantla por ingresos por enfermedades del sistema circulatorio (1.0021).

Morelia: Únicamente se contó con datos validados para NO₂ y O₃. Los niveles promedio diarios de estos dos contaminantes en este municipio mostraron una asociación no significativa con los ingresos hospitalarios diarios (valores de IRR<1.0000) para todos los estratos analizados. El mayor valor de IRR para NO₂ fue encontrado para todas las causas en el rango de edad de 0 a 59 años (0.9988). Ozono mostró una asociación significativa con la

morbilidad diaria para los ingresos hospitalarios por enfermedades respiratorias (IRR=1.0009) y para todas las causas durante los meses fríos (IRR=1.0066).

Puebla: Sólo se contó con información validada para NO₂ y CO. El análisis de la relación entre la morbilidad diaria y los niveles de CO para este municipio reveló que esta asociación es no significativa para el rango de edad de 0-59 años, para el grupo de población mayor de 60 años, para el análisis por estrato estacional (meses fríos y meses cálidos) así como para ingresos por enfermedades del sistema respiratorio. Resultando únicamente significativa esta asociación para todas las causas (IRR=1.0001) y para ingresos por enfermedades del sistema circulatorio (IRR=1.0001). Para este municipio, NO₂ también mostró que su relación con la morbilidad diaria fue no significativa (valores de IRR < 1.0000) en todos los estratos analizados, excepto para ingresos hospitalarios por enfermedades del sistema circulatorio (IRR=1.0025).

Estado de Guanajuato: Derivado de un incremento del 10% en la concentración promedio de cada uno de los contaminantes estudiados, León fue el municipio que presentó los niveles de índice de riesgo más altos en la mayoría de los estratos de los contaminantes estudiados, siendo el SO₂ el contaminante con el IRR más elevado de este municipio en el estrato de meses fríos (IRR=1.0343). En cuestión al comportamiento de los contaminantes, el SO₂ presentó su valor más alto en estrato de meses fríos por el municipio de León (IRR=1.0343); el CO presentó su valor más alto en el estrato de enfermedades del sistema circulatorio por el municipio de Celaya (IRR=1.0022); el NO₂ presentó su valor más alto en el estrato de enfermedades del sistema respiratorio por el municipio de Celaya (IRR=1.0157); el O₃ presentó su valor más alto en el estrato de meses fríos por el municipio de Silao de la Victoria (IRR=1.0136) y PM10 presentó su valor más alto en el estrato de meses fríos por el municipio de Irapuato (IRR=1.0047). En cuestión a los estratos estudiados, los IRR's más altos por todas las causas se encontraron en León con NO₂ (IRR=1.0042); en el rango de edad de 0 a 59 años se dieron en el municipio de Celaya con NO₂ (IRR=1.0141); en el rango de edad de mayores de 60 se dieron en León con NO₂ (IRR=1.0018); en las enfermedades por el sistema respiratorio, los IRR's más altos se encontraron en Celaya con NO₂ (IRR=1.0157); en las enfermedades por el sistema circulatorio se encontraron en Celaya con CO (IRR=1.0022); en el estrato de meses fríos, los mayores valores de IRR se registraron en León con SO₂ (IRR=1.0343), y finalmente en el estrato de meses cálidos, los IRR's más altos se observaron en León con NO₂ (IRR=1.0056). Se concluye que el NO₂ presentó los índices de riesgo más altos en la mayoría de los estratos estudiados para los municipios del estado de Guanajuato.

Estado de Jalisco: A partir de un incremento del 10% en la concentración promedio de cada uno de los contaminantes estudiados, Guadalajara fue el municipio que presentó los valores de IRR más altos en la mayoría de los estratos estudiados. SO₂ presentó el valor más alto de IRR en este Guadalajara en el rango de edad de 0 a 59 años (IRR=1.0106). En Tonalá se presentaron valores altos de IRR para el estrato de meses cálidos para SO₂ (IRR=1.0384); en el estrato de enfermedades del sistema respiratorio para CO (IRR=1.0003); y en el estrato de meses cálidos para NO₂ (IRR=1.0100). O₃ presentó su valor más alto para enfermedades del sistema circulatorio en El Salto (IRR=1.0160) y PM10 presentó su valor más alto durante meses cálidos en San Pedro Tlaquepaque (IRR=1.0033). Los índices de riesgo relativo más altos en se observaron en los siguientes municipios: Guadalajara para SO₂ (IRR=1.0031) por todas las causas y en el rango de edad de 0 a 59 años (IRR=1.0106); en Tonalá para SO₂ (IRR=1.0283) para el rango de edad de mayores de 60 años; en Guadalajara para SO₂ (IRR=1.0082) para

enfermedades del sistema respiratorio; y en El Salto para O₃ (IRR=1.0160) para enfermedades del sistema circulatorio. Con respecto a los estratos estacionales, los IRR's más altos se observaron en Guadalajara para O₃ (IRR=1.0081) durante meses fríos y en Tonalá para SO₂ (IRR=1.0384) durante los meses cálidos. Se concluye que el SO₂ presentó los índices de riesgo más altos en la mayoría de los estratos estudiados para los municipios del estado de Jalisco.

Estado de Nuevo León: Ante el incremento del 10% en las concentraciones promedio de los contaminantes atmosféricos, se encontraron asociaciones significativas entre la morbilidad diaria y los contaminantes atmosféricos (valores de IRR >1.0000) en Salinas Victoria para SO₂ (de 0 a 59 años de edad, IRR=1.1050) y para O₃ (todas las causas, IRR=1.0861). El municipio de Monterrey mostró valores altos de IRR's para NO₂ (por todas las causas) en los meses cálidos (1.0133). PM10 mostró índices de riesgo relativo significativo en el estrato de meses fríos por todas las causas (1.0020) en el municipio de Guadalupe, mientras que PM2.5 mostró valores altos de IRR's para enfermedades del sistema circulatorio (1.0067) en el municipio de Santa Catarina.

ZMVT: Derivado de un incremento de 10 % en las concentraciones promedio de los contaminantes atmosféricos, se tuvo como resultado índices de riesgo relativo (IRR) altos en dos de los municipios de estudio. Toluca de Lerdo presentó valores de IRR altos en relación a los niveles de SO₂ y O₃ para las enfermedades del sistema circulatorio con valores de 1.0295 y 1.0000 respectivamente. Los niveles CO se asociaron en las enfermedades por todas las causas para el grupo de 0 a 59 años de edad con un índice de 1.0128. En el caso del NO₂ y la morbilidad diaria, se presentó un índice de riesgo relativo alto, ante el incremento de este contaminante, en el estrato de meses fríos por todas las causas (1.00169). En el municipio de Metepec, las partículas PM10 mostraron índices altos por morbilidad por todas las causas en población mayor de 60 años (1.0024) y el incremento en las concentraciones de PM2.5 representó también un riesgo significativo de morbilidad para el estrato de meses cálidos por todas las causas (1.0019).

4. Conclusiones

4.1 Calidad del aire

De los 6 contaminantes criterio considerados en el estudio, NO₂ y O₃ son los que presentan mayor porcentaje de información al ser monitoreados en 91 y 95% del total de los 43 municipios considerados en el estudio. Por otro lado, la disponibilidad de datos de contaminantes atmosféricos restringió el periodo de estudio y los municipios considerados, ya que no todas las ciudades cuentan con estaciones de monitoreo de calidad del aire, y en las ciudades que cuentan con redes de monitoreo, no todas las estaciones disponen de datos validados para todos los contaminantes.

Las concentraciones más altas para SO₂ se registraron en la delegación Azcapotzalco, Ciudad de México y Salamanca, Guanajuato y en general se presentaron durante los meses de invierno. Ninguno de los municipios considerados en el estudio rebasó los niveles máximos permisibles para SO₂ establecidos en la NOM-022-SSA1-2010 y en general existe una tendencia decreciente en las concentraciones de 24 horas y anuales de este contaminante (en el periodo de estudio).

Para el monóxido de carbono, los municipios que presentaron una mayor concentración promedio para este contaminante fueron Puebla, Puebla (1.7059 ppm), Guadalupe, Nuevo León (1.1636 ppm) y Cadereyta Jiménez, Nuevo León (1.1104 ppm), sin embargo, ninguno de los municipios considerados en el estudio excedió el límite máximo permisible establecido en la NOM-021-SSA1-1993. CO también muestra una tendencia decreciente en sus concentraciones durante el periodo de estudio en todos los municipios estudiados, excepto en León (Guanajuato), Salinas Victoria (Nuevo León) y Puebla de los Ángeles (Puebla).

NO₂ presentó mayores concentraciones promedio durante el periodo de estudio en la delegación Venustiano Carranza (35.1252 ppb) y Toluca de Lerdo (36.3510 ppb). Ninguno de los municipios considerados en el estudio, excepto Morelia, Michoacán excedió el límite máximo permisible establecido en la NOM-023-SSA1-1993. La mayoría de los municipios analizados muestran una tendencia decreciente en las concentraciones durante el periodo de estudio lo que permitió cumplir con el límite establecido en la norma, con excepción de Morelia, Michoacán.

Ozono presentó las mayores concentraciones promedio durante el periodo de estudio en las delegaciones Tláhuac (33.1720 ppb), Xochimilco (33.1720 ppb) y Cuajimalpa (32.4717 ppb). Los 41 municipios que contaron con datos validados para este contaminante, excedieron el límite máximo permisible establecido en la NOM-020-SSA1-2014. El mayor número de excedencias se presentó en la delegación Álvaro Obregón (3853), seguido de los municipios de Nezahualcóyotl (1,407) y Naucalpan de Juárez (1170), Irapuato (884), García (734) y Tonalá (305). Se observó que las delegaciones Cuajimalpa y Álvaro Obregón (Ciudad de México), y los municipios de Irapuato y Salamanca (Estado de Guanajuato) así como Metepec (ZMVT) muestran una tendencia incrementar las concentraciones para este contaminante.

PM10 presentó los mayores valores de concentración en García (88.4928 µg/m³) y Santa Catarina (81.2085 µg/m³), ambos en el Estado de Nuevo León. 97% de los municipios que contaron con datos validados para este contaminante, excedieron el límite máximo permisible establecido en la NOM-025-SSA1-2014. Los municipios que presentaron mayor número de excedencias a la normatividad fueron Venustiano Carranza (191), Coacalco de Berriozábal (277), Metepec (377), Celaya (518), El Salto (695) y García (871). Los municipios que mostraron

durante el periodo de estudio una tendencia a incrementar sus concentraciones, fueron la delegación Venustiano Carranza (Ciudad de México), Irapuato y Salamanca (Estado de Guanajuato), Acolman (Estado de México) y Guadalupe y García (Nuevo León). Por lo anterior, es necesario establecer medidas de control más estrictas enfocadas a reducir el número de excedencias a la normatividad para este contaminante, sobre todo en el municipio de Irapuato, Guanajuato.

PM_{2.5} presentó las mayores concentraciones promedio durante el periodo de estudio en Santa Catarina (28.1231 µg/m³) y Metepec (38.5116 µg/m³). Los 16 municipios que contaron con datos validados para este contaminante, excedieron el límite máximo permisible establecido en la NOM-025-SSA1-2014. El mayor número de excedencias se encontró para delegación Gustavo A. Madero (83), Nezahualcóyotl (65), Santa Catarina (82) y Metepec (245). A pesar de la importancia que representa desde el punto de vista de salud pública el monitoreo de partículas atmosféricas suspendidas fracción PM_{2.5}, sólo en 16 municipios de los 43 estudiados contaron con datos validados para este contaminante durante el periodo de estudio. Sin embargo, el objetivo de este estudio fue detectar precisamente las necesidades que se tienen en cuanto al monitoreo de datos de calidad del aire y el registro de información epidemiológica asociada a la contaminación atmosférica en las principales ciudades del país. Existen algunos municipios que mostraron una tendencia a incrementar sus concentraciones, tal es el caso de las delegaciones Venustiano Carranza, Azcapotzalco y Cuajimalpa (Ciudad de México), Ecatepec (Estado de México) y Santa Catarina (Nuevo León).

4.2 Asociación entre contaminantes atmosféricos y mortalidad diaria

En ninguno de los municipios estudiados, la concentración promedio de SO₂ excedió la NOM-022-SSA1-2010. Los índices de riesgo relativo y la asociación de SO₂ con la mortalidad fueron más significativos en Chalco, Estado de México; Celaya y León, en Guanajuato; Escobedo y Santa Catarina en Nuevo León.

A pesar de que ninguno de los municipios y delegaciones estudiados excedió los valores de referencia establecido en la NOM-021-SSA1-1993 para CO, se encontraron asociaciones significativas con la mortalidad diaria e índices de riesgo relativo más altos para Salamanca, Guanajuato y General Escobedo, Nuevo León.

En ninguno de los municipios y/o delegaciones se excedió el límite máximo permisible establecido en la NOM-023-SSA1-1993 para NO₂. Sin embargo, al evaluar la relación entre la mortalidad diaria y los niveles de NO₂, la magnitud de la asociación fue mayor en los municipios de Acolman, Texcoco y Nezahualcóyotl en el Estado de México, en Salinas Victoria, Nuevo León y en Puebla.

En lo que se refiere a las concentraciones de O₃, se tuvieron excedencias significativas a la NOM-020-SSA1-2014 en Álvaro Obregón, Nezahualcóyotl, Naucalpan, Metepec, Irapuato, Tonalá, Morelia y García. En cuanto a la asociación de entre la mortalidad diaria y O₃, a excepción de Texcoco, Tonalá y Morelia, ninguno de los municipios presentó índices de riesgo relativo significativos.

Para el caso de PM₁₀, se reportaron excedencias significativas a la NOM-025-SSA1-2014 en la delegación Venustiano Carranza, y en los municipios de Coacalco, Celaya, El Salto, García y Metepec. Por otro lado, los municipios y delegaciones en los cuales los índices de riesgo de mortalidad obtenidos resultaron significativos fueron Azcapotzalco, Ecatepec, Naucalpan, León, Celaya, Tonalá, Metepec y Toluca.

Finalmente, con respecto a PM_{2.5}, comparando con la NOM-025-SSA1-2014, se observó que los municipios y delegaciones que registraron excedencias significativas fueron Gustavo A. Madero, Nezahualcóyotl, Santa

Catarina y Metepec. La magnitud de la asociación entre mortalidad diaria y PM2.5 fue mayor para las delegaciones Cuauhtémoc, Álvaro Obregón y Venustiano Carranza, y para el municipio de San Mateo Atenco. Los contaminantes que presentaron mayores incrementos en los índices de riesgo de mortalidad como resultado de un incremento en un 10% de su concentración fueron SO₂, CO y NO₂. Con respecto a la estacionalidad, todos los contaminantes con excepción de O₃, mostraron concentraciones más elevadas durante los meses de invierno. Considerando el rango de edad, la mayoría de los contaminantes y municipios considerados presentó un mayor número de asociaciones y la magnitud de dicha asociación fue más significativa para el subgrupo de población de mayores de 60 años, sugiriendo que este subgrupo es más vulnerable a los efectos de la contaminación atmosférica. En general, se encontró un mayor número de asociaciones en el caso de enfermedades circulatorias como causa específica de muerte, y los valores obtenidos para los índices de riesgo relativo para este estrato muestran que la magnitud de la asociación entre la mortalidad diaria y los contaminantes atmosféricos fue mayor en comparación con las enfermedades respiratorias. Sin embargo, durante los meses fríos se observó que la asociación entre la mortalidad diaria y los contaminantes atmosféricos tiende a ser mayor cuando se consideraron las enfermedades del sistema respiratorio como causa específica de muerte.

4.3 Asociación entre contaminantes atmosféricos y morbilidad diaria

Los mayores índices de riesgo relativo por exposición a SO₂ se encontraron para el rango de edad de 0 a 59 años en Cuajimalpa, León, Guadalajara, Salinas Victoria y Toluca de Lerdo, y en personas mayores de 60 años en Coacalco y Tonalá. Al correlacionar con datos de morbilidad (ingresos hospitalarios diarios) se encontró que derivado de un incremento de 10% en sus concentraciones promedio diarias este contaminante representa un riesgo de incremento de morbilidad, siendo más evidente en las delegaciones Cuajimalpa (0.43%), Álvaro Obregón (0.22%) y Coyoacán (0.21%), Estado de México (Chalco: 0.95%), Jalisco (Guadalajara: 0.30%), Nuevo León (Guadalupe: 0.28%) y ZMVT (Toluca de Lerdo: 0.36%).

Los mayores índices de riesgo relativo por exposición a CO se encontraron en el rango de edad de 0 a 59 años Álvaro Obregón, Cuauhtémoc e Iztapalapa, Coacalco y Toluca de Lerdo, así como debido a enfermedades del sistema circulatorio en Puebla y Celaya, y por enfermedades del sistema respiratorio en Tonalá. Al correlacionar con los datos de morbilidad, se encontró que este contaminante muestra un mayor incremento en morbilidad diaria asociado a un incremento de 10% en los niveles promedio diarios en las delegaciones Álvaro Obregón (0.1%), Iztapalapa (0.02%) en la Ciudad de México y en la ZMVT en Toluca de Lerdo (0.03%).

Los mayores valores de índices de riesgo relativos se encontraron por exposición a NO₂ durante meses fríos en Acolman y Cuajimalpa, por todas las causas en Coacalco, León y Toluca, por enfermedades del sistema circulatorio en Puebla, Tonalá y Celaya y en rango de edad de 0 a 59 años en Morelia y Cuajimalpa. Al correlacionar los datos epidemiológicos diarios (morbilidad), se encontró que un incremento en un 10% en sus concentraciones promedio diarias significaría un incremento en el número de admisiones hospitalarias diarias por todas las causas en Ciudad de México (Coyoacán: 0.80%, Cuajimalpa: 0.73%), Estado de México (Coacalco: 1.12%, Ecatepec de Morelos: 0.60, Acolman: 0.52%), Guanajuato (León: 0.42%) y Nuevo León (Monterrey: 1.12%, San Nicolás de los Garza: 0.61%).

Los mayores valores de índices de riesgo relativo por exposición a ozono se encontraron debido a enfermedades respiratorias en Acolman, Naucalpan y Morelia; debido a enfermedades del sistema circulatorio en El Salto y Toluca, y en Salinas Victoria por todas las causas. No obstante, que ozono presentó el mayor número de

excedencias a la normatividad, al correlacionar con los datos epidemiológicos de morbilidad se encontró que un incremento en los niveles diarios de este contaminante no representó un riesgo significativo de incremento en la morbilidad diaria para la mayoría de los municipios estudiados, a excepción de Jalisco (El Salto: 0.08%, Guadalajara: 0.06%), y siendo esta respuesta más significativa en Nuevo León (Salinas Victoria: 8.61%).

Los mayores valores de índices de riesgo relativo por exposición a PM₁₀ se encontraron en el rango de edad de 0 a 59 años, para los meses fríos y en población mayor de 60 años en Ecatepec, Irapuato, Guadalupe y Metepec. Los mayores incrementos en morbilidad diaria derivados de un aumento en 10% en sus concentraciones promedio diarias se encontraron para Iztapalapa (0.67%), Ecatepec (0.47%) e Irapuato (0.32%).

Los mayores índices de riesgo relativo por exposición a PM_{2.5} se encontraron debido a enfermedades del sistema circulatorio y en población mayor de 60 años en Cuajimalpa, Tlalnepantla, Nezahualcóyotl y Santa Catarina. Los mayores incrementos en morbilidad que se estimaron derivados de un incremento en un 10% en las concentraciones de este contaminante se encontraron en Ciudad de México (Cuajimalpa: 1.48%) y en Nuevo León (Guadalupe: 0.12%).

Los contaminantes que presentaron mayores incrementos en los índices de riesgo de morbilidad como resultado de un incremento en un 10% de su concentración fueron SO₂, NO₂, PM₁₀ y PM_{2.5}. Con respecto a la estacionalidad, todos los contaminantes con excepción de O₃, mostraron concentraciones más elevadas durante los meses de invierno. Considerando el rango de edad, la mayoría de los contaminantes y municipios considerados presentó un mayor número de asociaciones y la magnitud de dicha asociación fue más significativa para el subgrupo de población de 0 a 59 años (por todas las causas), sugiriendo que este subgrupo es más vulnerable a los efectos de la contaminación atmosférica. En general, la asociación no mostró una tendencia en cuanto a la causa específica, puesto que los ingresos por enfermedades circulatorias fueron igual de significativos que las admisiones por enfermedades respiratorias. Durante los meses fríos se observó que la asociación entre la morbilidad diaria y los contaminantes atmosféricos fue mayor que durante los meses cálidos tanto para los ingresos hospitalarios por enfermedades del sistema respiratorio como del sistema circulatorio.

5. Referencias

- Arnaus, G. J. (Ed). 2001. Diseño de series temporales: Técnicas de Análisis.
- Ballester F, Saéz M, Perez-Hoyos S, Iñiguez C, Gandarillas A, Tobías A, et al. 2002. The EMECAM Project: a multi-center study on air pollution and mortality in Spain. Combined results for particulates and for sulphure dioxide. *Occup Environ Med*;59:300-8.
- Box, G.E.P. and Jenkins, G.M. 1979. Time series analysis: forecasting and control.
- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., González L., Tablada M., Robledo C.W. 2008. InfoStat, versión 2008, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Disponible en: <http://books.google.com> [Consultado: 15-1-2009]. Documento en Línea. Ediciones Universitat Barcelona. Barcelona, España.
- Ezequiel Uriel. 1985. Análisis de series temporales. Modelos ARIMA. Para-ninfo.
- Hotelling, H. 1933. Analysis of a Complex of Statistical Variables Into Principal Components. *Journal of Educational Psychology*, volume 24, pages 417-441 and 498-520.
- Jolliffe, I.T. 2002. Principal Component Analysis. Second Edition. Springer: New York, Inc.
- Katsouyanni, K, Schwartz, J, Spix C, Touloumi, Zmirou D, Zanobetti A, et al. 1996. Short.term effects of air pollution on health: European Approach using epidemiology time series data. The APHEA protocol. *J Epidemiol Community Health*; 50 (Sup. 1): SI O-SI 8.
- Norma Oficial Mexicana NOM-020-SSA1-2014, Salud ambiental. Valor límite permisible para la concentración de ozono (O₃) en el aire ambiente y criterios para su evaluación.
- Norma Oficial Mexicana NOM-021-SSA1-1993, Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al monóxido de carbono (CO). Valor permisible para la concentración de monóxido de carbono (CO) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población
- Norma Oficial Mexicana NOM-022-SSA1-2010, Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al dióxido de azufre (SO₂), Valor normado para la concentración de dióxido de azufre (SO₂) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población.
- Norma Oficial Mexicana NOM-023-SSA1-1993, Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al bióxido de nitrógeno (NO₂), Valor normado para la concentración de bióxido de nitrógeno (NO₂) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población".
- Norma Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-2014, Salud ambiental. Valores límites permisibles para la concentración de partículas suspendidas PM10 y PM2.5 en el aire ambiente y criterios para su evaluación.
- Villardón, J. L. V.; Galindo-Villardón, M. P. 2002. Biplot ajustados mediante modelos lineales generalizados alternados para la diagnosis de modelos Logit. XXVI Congreso Nacional de Estadística e Investigación Operativa.

Derechos Reservados © 2018

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC)

Boulevard Adolfo Ruiz Cortines No. 4209, Colonia Jardines en la Montaña,
Delegación Tlalpan, CP. 14210, Ciudad de México.

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)

Montes Urales 440, Colonia Lomas de Chapultepec,
Delegación Miguel Hidalgo, CP.11000, Ciudad de México.

Este trabajo se realizó con financiamiento del Fondo para el Medio Ambiente Mundial a través del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo para la Sexta comunicación Nacional ante la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.

