



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS

COLEGIO DE GEOGRAFÍA

**ÁREAS POTENCIALES DE EFECTOS A CORTO PLAZO POR
CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN DOS GRUPOS DE EDAD DE LA
ZONA METROPLITANA DE LA CIUDAD DE MÉXICO**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

LICENCIADO EN GEOGRAFÍA PRESENTA:

LUIS ÁNGEL RODRÍGUEZ SÁNCHEZ

ASESOR: MTRO. JOSÉ MAURICIO GALEANA PIZAÑA

CIUDAD UNIVERSITARIA, MÉXICO D.F FEBRERO 2015.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

A la **UNAM** por darme la oportunidad de realizar mis estudios de bachillerato y universidad en la máxima casa de estudios, me siento orgulloso de pertenecer a una universidad con tanto prestigio.

A la **Facultad de filosofía y Letras, y al Colegio de Geografía** por brindarme una educación con el principal objetivo de adquirir conocimiento académico, el cual considera que el conocimiento es lo más importante y está enfocado a producir más de este.

A mi **Asesor Mauricio Galeana Pizaña** le agradezco no solo la ayuda en la elaboración de la tesis, gracias a él aprendí lecciones importantes en mi formación académica y profesional, siempre estuvo cuando necesite de su ayuda, pero sobre todo agradezco su amistad.

A mis **Sinodales**, Carmen Juárez, Margarita Franco, Gabriel Ramos y Frank García que amablemente decidieron ayudarme con sus observaciones que fueron clave en la elaboración del documento.

A mi **Padre Gilberto Rodríguez Mejía** que siempre me brindo todos los recursos necesarios para realizar mis metas, jamás me faltó nada y eso realmente es un ejemplo a seguir.

A mi **Mama Rosa María Sánchez Olin** que durante mi vida siempre me impulso e hizo hasta lo imposible para que tuviera una vida feliz, su protección y amor me permitió ser el hombre que ahora soy. Gracias por tanto...

A mi **Familia y Hermano** que ha sido parte de toda mi vida, junto a ellos eh aprendido cosas de la vida y seguiré compartiendo grandes experiencias.

A **Anaid Ávila Mares** que su presencia y su particular forma de ser me permitió mejorar aspectos personales. Su cariño y alegría me animan el día a día.

A **Julio Violante** por su amistad y por compartir sus conocimientos, me abrió el panorama a otras formas de abordar mi investigación. Su participación en la tesis fue esencial.

A mis compañeros y amigos con los que me compartí risas y alegrías.

"Toda la ciencia no es más que un refinamiento del pensamiento cotidiano".

"Intenta no volverte un hombre de éxito, sino un hombre de valor".

Albert Einstein

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1 POSTURAS TEÓRICAS-CONCEPTUALES DEL ANÁLISIS ESPACIAL EN LA SALUD.....	6
1.1 Relación de la Geografía con la Salud y el Ambiente.....	6
1.2 La revolución cuantitativa en la geografía.....	7
1.3 El análisis espacial en los sistemas de información geográfica.....	11
1.4 Aplicación del análisis espacial en la salud.....	18
CAPÍTULO 2- DESCRIPCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN LA ZONA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MÉXICO.....	22
2.1- Contexto social demográfico de la ZMCM.....	23
2.2- Contaminantes atmosféricos y sus focos de contaminación fijos y móviles.....	28
2.3-Importancia del monitoreo atmosférico en la ZMCM.....	35
2.3.1- Contaminantes que superan las normas oficiales de salud ambiental.....	40
2.4-Daños a la salud por contaminación atmosférica.....	43
CAPÍTULO 3- ESTRATEGIA METODOLÓGICA DE LA INVESTIGACIÓN.....	47
3.1 Determinación temporal de la investigación.....	47
3.2 Modelos de los grupos vulnerables de edad.....	47
3.3 Modelos de la contaminación atmosférica y la evaluación multicriterio.....	50
3.4 Modelos espaciales de la mortalidad y riesgo.....	54
CAPÍTULO 4- RESULTADOS.....	56
4.1 Temporalidad de la investigación.....	56
4.2 Autocorrelación de los grupos vulnerables de edad.....	61
4.3 Emisión y distribución de los contaminantes y la evaluación multicriterio en función de los grupos vulnerables de edad.....	65
4.4 Relación mortalidad y riesgo.....	94
CONCLUSIONES.....	105
BIBLIOGRAFÍA.....	107
ANEXO 1 Contribución porcentual de emisiones de la ZMCM-2010 por categoría.....	113

ÍNDICE: CUADROS, FIGURAS E HISTOGRAMAS

Cuadro 1 Argumentos y posiciones adversas y favorables en cuanto a la geografía cuantitativa...	10
Cuadro 2 Población Total de la ZMCM 2010.....	24
Cuadro 3 Emisiones Anuales.....	31
Cuadro 4. Forma de medir los contaminantes.....	40
Cuadro 5 Contaminantes que cumplen las Normas Oficiales de Salud Ambiental.....	41
Cuadro 6 Escala de valores.....	53
Cuadro 7 Comparación de contaminantes.....	53
Cuadro 8 Porcentaje de emisión de cada sector por tipo de contaminante.....	71
Cuadro 9 EVM de la distribución de la contaminación para la población mayor a 60 años.....	83
Cuadro 10 EVM de la emisión de contaminantes para la población mayor de 60 años.....	84
Cuadro 11 EVM de la distribución de la contaminación para la población de 0 a 4 años.....	85
Cuadro 12 EVM de la emisión de contaminantes para la población de 0 a 4 años.....	86
Cuadro 13. Relación de las enfermedades con la contaminación atmosférica y total de defunciones por enfermedad.....	97
Cuadro 14 Principales causas de defunción en los municipios y/o delegaciones de la ZMCM en Noviembre-Diciembre 2010.....	100
Cuadro 15 Principales resultados de las zonas potenciales de efectos a corto plazo por contaminación atmosférica.....	103
Figura 1 Mapa cólera Londres.....	19
Figura 2 Estructura de la población en la ZMCM 2010	25
Figura 3 Tipo de vecindarios de autocorrelación	48
Figura 4 Grafico de dispersión de Moran de la población de 0 a 4 años	61
Figura 5 Grafico de dispersión de Moran de la población mayor de 60 años	63
Histograma 1 Defunciones 2010	56
Histograma 2 Defunciones de 0 a 4 años 2010.....	57
Histograma 3 Defunciones de 60 años y más 2010.....	57
Histograma 4 Contaminantes atmosféricos.....	58

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 1 Zona Metropolitana de la Ciudad de México.....	5
Mapa 2 Población total por localidad urbana en los municipios y/o delegaciones 2010.....	23
Mapa 3 Densidad de población ZMCM.....	27
Mapa 4 Principales vías de comunicación en la ZMCM.....	33
Mapa 5 Densidad Industrial en la ZMCM.....	34
Mapa 6 Laboratorios “RAMA”.....	38
Mapa 7 Laboratorios “REDMET”	39
Mapa 8 Dirección y velocidad del viento en la ZMCM. Noviembre y Diciembre 2010.....	60
Mapa 9 Autocorrelación de la población de 0 a 4 años.....	62
Mapa 10 Autocorrelación espacial de población mayor a 60 años.....	64
Mapa 11 Densidad de las fuentes por área.....	65

Mapa 12	Densidad de industrias que fabrican productos a base de minerales no metálicos.....	66
Mapa 13	Densidad de industria de papel.....	67
Mapa 14	Densidad de industria química.....	68
Mapa 15	Densidad de otras industrias.....	69
Mapa 16	Densidad de las principales vías de comunicación.....	70
Mapa 17	Zonas de emisión de dióxido de nitrógeno “NO ₂ ”	72
Mapa 18	Zonas de emisión de partículas menores a 2.5 micrómetros “PM _{2.5} ”	73
Mapa 19	Zonas de emisión de partículas menores a 10 micrómetros “PM ₁₀ ”	74
Mapa 20	Zonas de emisión de dióxido de azufre “SO ₂ ”.....	75
Mapa 21	Zonas de emisión de monóxido de carbono “CO”	76
Mapa 22	Distribución de dióxido de azufre “SO ₂ ” Noviembre-Diciembre 2010.....	77
Mapa 23	Distribución de dióxido de nitrógeno “NO ₂ ” Noviembre-Diciembre 2010.....	78
Mapa 24	Distribución de monóxido de carbono “CO” Noviembre-Diciembre 210.....	79
Mapa 25	Distribución de ozono “O ₃ ” Noviembre-Diciembre 2010.....	80
Mapa 26	Distribución de las partículas menores a 10 micrómetros “PM ₁₀ ” Noviembre-Diciembre 2010.....	81
Mapa 27	Distribución de las partículas menores a 2.5 micrómetros “PM _{2.5} ” Noviembre-Diciembre 2010.....	82
Mapa 28	Intensidad de emisión de contaminación que más afecta a la población mayor a 60 años.....	88
Mapa 29	Intensidad de emisión de contaminación que más afecta a la población de 0 a 4 años... ..	89
Mapa 30	Distribución de la contaminación que más afecta a la población de 0 a 4 años.....	90
Mapa 31	Distribución de la contaminación que más afecta a la población mayor a 60 años.....	91
Mapa 32	Zonas de emisión y distribución de la contaminación que más afecta a la población mayor a 60 años.....	92
Mapa 33	Zonas de emisión y distribución de la contaminación que más afecta a la población de 0 a 4 años.....	93
Mapa 34	Mortalidad por enfermedades relacionada por la contaminación atmosférica 2010....	94
Mapa 35	Mortalidad de la población mayor a 60 años por enfermedades relacionadas con la contaminación atmosférica. Noviembre- Diciembre 2010.....	95
Mapa 36	Mortalidad de la población de 0 a 4años por enfermedades relacionadas con la contaminación atmosférica. Noviembre- Diciembre 2010.....	96
Mapa 37	Zonas de riesgo y mortalidad de la población mayor a 60 años por contaminación atmosférica.....	102
Mapa 38	Zonas de riesgo y mortalidad de la población de 0 a 4años por contaminación atmosférica.....	104

Introducción

La idea de la investigación surge de la percepción y observación del espacio en el que vivo y me relaciono directamente por mi traslado en diferentes lugares de la ZMCM. De esta manera me involucro en el tema y me propongo a conocer por medio del método científico y del análisis espacial, a que se debe este fenómeno ambiental y cuáles son las repercusiones en la salud

La contaminación atmosférica es un tema de estudio de controversia actual, al comprobarse que genera un impacto ambiental que incide en las esferas social, política, económica y de salud, siendo este último el origen de diversos estudios orientados a la comprobación del nivel de afectación en los habitantes. Por ende, conocer las fuentes de emisión, las zonas de distribución de los contaminantes atmosféricos, los conglomerados de los grupos vulnerables de edad y los lugares de defunción por enfermedades relacionadas con la contaminación atmosférica son necesarios para determinar las áreas potenciales de efectos a corto plazo por contaminación atmosférica en los dos grupos de edad, derivado de una influencia espacial entre las zonas de mayor contaminación con los niveles de afectación a la salud de los habitantes. Por lo anterior surgen las siguientes preguntas que orientan esta investigación: ¿Cuál es la población más vulnerable a la contaminación?, ¿Cómo se debe modelar la contaminación atmosférica?, ¿Cómo afecta cada contaminante a corto plazo a cada grupo de edad?, ¿Cuál es la importancia de los métodos de análisis espacial?, ¿Cuál es la relación espacial entre el riesgo y la mortalidad por contaminación atmosférica?

La investigación se realizó para el año 2010, ya que se contaba con información precisa de la población, contaminación atmosférica y de salud. Los insumos que se utilizaron para conocer las fuentes de emisión de contaminación son las industrias que reportan contaminantes atmosféricos y las vías generales de comunicación, con los cuales se realizó un Kernel de densidad; también se contó con la información de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico que proporcionó la intensidad de contaminación de cada contaminante asociado, lo cual se modeló mediante un Kriging ordinario para determinar las zonas donde se encuentran los contaminantes. La unión de estos modelos se hizo mediante álgebra de mapas y evaluación multicriterio en relación a los grupos de edad vulnerables: < de 4 años y >60 años. Lo cual se relacionó con los conglomerados calientes o hot spots de estos grupos etarios, conglomerados obtenidos a partir de técnicas de autocorrelación espacial. Aunado al modelo anteriormente mencionado, se cruzó este resultado con la información de mortalidad que ofrece el Sistema Nacional de Información en Salud, en la que se registra la causa y lugar de defunción.

Los resultados muestran las zonas de riesgo a la salud de los grupos de edad vulnerables, siendo que para generar este, debe haber una amenaza, en este caso es la contaminación atmosférica y vulnerabilidad que son los grupos de edad vulnerables; que en conjunto de amenaza y vulnerabilidad se genera un riesgo. El resultado de la mortalidad funge para comprobar las zonas donde ocurren eventos de defunción por enfermedades relacionadas con la contaminación atmosférica; de este modo se determinó las áreas potenciales de efectos a corto plazo por contaminación atmosférica en los dos grupos de edad, demostrando que sí hay relación espacial

entre las zonas de riesgo y el número de defunciones, principalmente en la delegación Gustavo A. Madero.

Es primordial reconocer que la contaminación atmosférica afecta a la salud de la población en exposiciones a corto plazo en mayor medida en la época fría, la cercanía con los focos de contaminación y las zonas donde se localizan dichos contaminantes, llegando a ocasionar en algunos casos la muerte de los habitantes en condiciones de riesgo. Es fundamental para proteger la salud de la población la creación de una norma oficial de salud ambiental que determine un radio de distancia de los focos de contaminación con la población vulnerable.

Justificación

La importancia del monitoreo atmosférico ha permitido disminuir los niveles de contaminación por medio de las normas oficiales de salud ambiental, las cuales están en función de la cantidad de contaminación que afecta a la salud de los habitantes; esto permite que las investigaciones subsecuentes derivadas de esta información permitan generar nuevos paradigmas en el ámbito de la contaminación atmosférica y la salud de la población.

Este estudio aportará información basada en la exploración del comportamiento espacio-temporal de los efectos a corto plazo por la contaminación atmosférica en dos grupos de edad, sustentada en la sinergia que la Geografía tiene con la Medicina, el uso de sistemas de información geográfica y el análisis espacial. En México, generalmente la forma de abordar esta problemática es principalmente mediante informes estadísticos y mapas deficientes, sin implementar modelos espacio-temporales que integren la información referente a la contaminación atmosférica y las áreas potenciales donde existe mayor riesgo y mortalidad de los habitantes de la ZMCM.

Aunado a lo anterior la presente investigación contribuirá con el uso, enseñanza e importancia que tiene la revolución cuantitativa en Geografía y los sistemas de información geográfica, mostrando una metodología de análisis espacial que puede aplicarse en materias como Geografía Medica, Geografía Ambiental, Laboratorio de SIG, Sistemas de Información Geográfica I y II, Geografía y Derecho, Métodos de Análisis Regional, Geografía de los Riesgos y, Planeación General y Regional.

Los resultados brindarán cartografía que represente los patrones espaciales de las zonas que generan una amenaza por la contaminación atmosférica, su relación espacial con la población más vulnerable y la comprobación por medio de la mortalidad por enfermedades relacionadas con la contaminación atmosférica en estas zonas; para posteriormente integrar un reporte de la información resultante a las autoridades competentes, la cual puede fungir como un estudio de caso que pueda influir en la generación de medidas que mitiguen el riesgo a la salud como también para mejorar la calidad de la información espacial.

La hipótesis y los objetivos son los siguientes.

Hipótesis

Las zonas de mayor emisión y distribución espacial de contaminantes atmosféricos coinciden con las zonas de mayor concentración de grupos vulnerables y, por ende, tendrán asociación con la distribución de defunciones por enfermedades asociadas a la contaminación atmosférica.

Objetivo general

Zonificar las áreas potenciales de efectos a corto plazo por contaminación atmosférica en relación con los dos grupos de edad dentro de la zona metropolitana de la ciudad de México.

Objetivos particulares

- Conocer las posturas teóricas y conceptuales del análisis espacial en medicina.
- Señalar la temporalidad del estudio mediante la intensidad de la contaminación y la mortalidad de los grupos vulnerables.
- Evaluar la autocorrelación espacial de los grupos de edad vulnerables.
- Zonificar la emisión y distribución de la contaminación atmosférica.
- Determinar el nivel de afectación de los contaminantes en cada grupo de edad vulnerable.
- Generar modelos de riesgo y mortalidad en relación con los grupos de edad vulnerables.

La tesis consta de cuatro capítulos. El primero se refiere a las posturas teóricas y conceptuales que sostiene la investigación; comenzando con la relación que tiene la Geografía con la salud y el medio ambiente, posteriormente se describe a la Geografía cuantitativa como el detonante para realizar este tipo de investigación y se reconoce que gracias esta corriente de la Geografía se crearon los Sistemas de Información Geográfica (SIG), que son fundamentales para realizar el análisis espacial; finaliza con la importancia del análisis espacial con la medicina, en especial con la epidemiología, se mencionan los primeros análisis espaciales en esta disciplina científica y las aplicaciones tecnológicas en el análisis espacial en salud.

El segundo capítulo describe la contaminación atmosférica en la zona Metropolitana de la ciudad de México, comenzando con un análisis social demográfico de los habitantes de este lugar. Se describen los principales contaminantes atmosféricos que están presentes en la atmósfera y sus focos de emisión, posteriormente se reconoce la importancia del monitoreo atmosférico y la creación de las normas oficiales de salud ambiental, las cuales determinan un valor límite de contaminación atmosférica en el ambiente sin que afecte la salud de la población. Este capítulo finaliza mencionando algunos estudios que relacionan la salud de la población con la contaminación atmosférica, desde los primeros experimentos en animales y los últimos que

encuentran una relación estadística en los incrementos de la contaminación atmosférica con los egresos hospitalarios y defunciones.

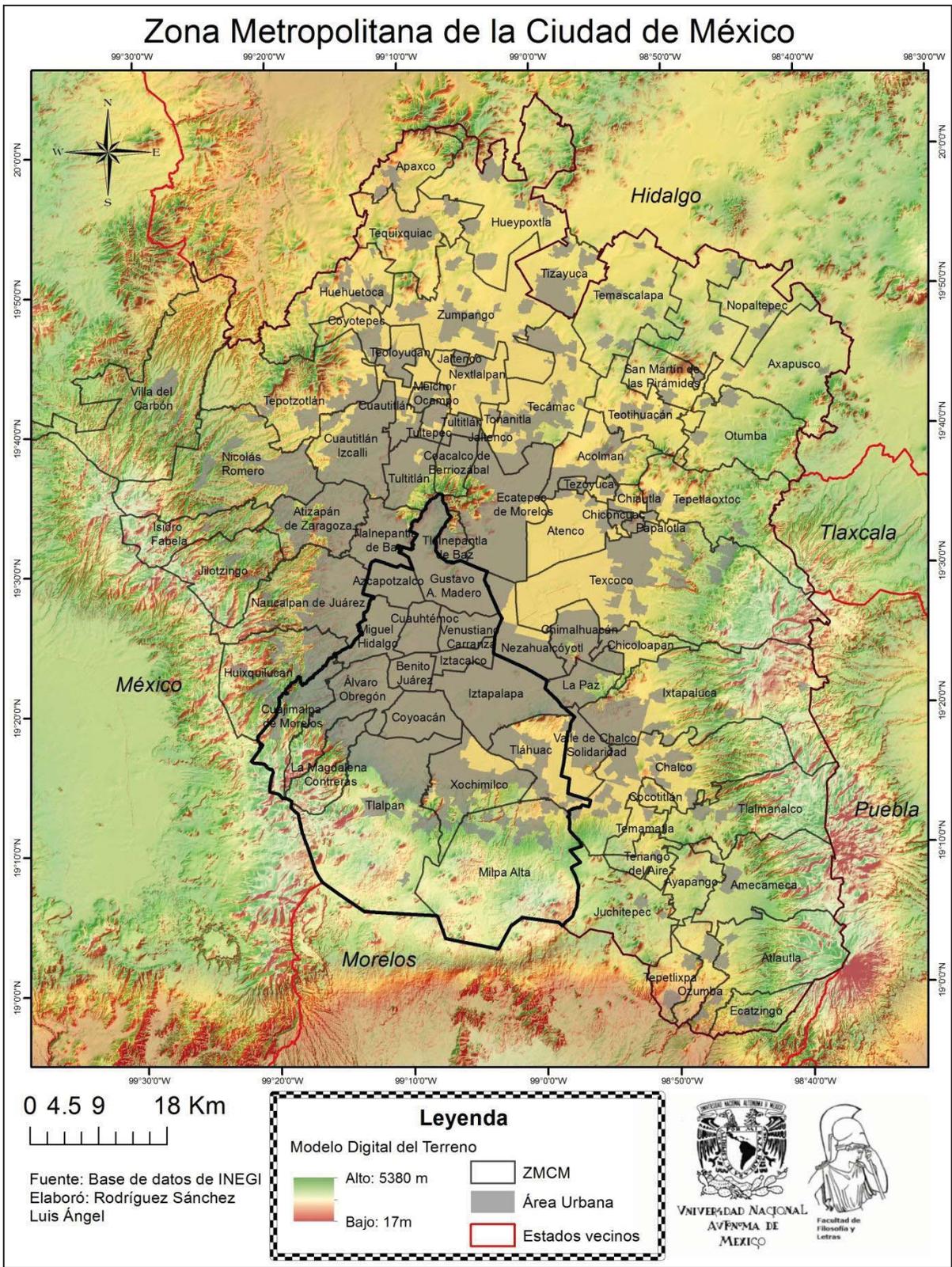
El tercer capítulo detalla la estrategia metodológica de esta investigación, explica como se determino la temporalidad del estudio y como se selecciono las enfermedades que tienen relación con la contaminación atmosférica. Posteriormente se detallan las herramientas, métodos y técnicas que se utilizaron para realizar los modelos espaciales que ilustraran de manera científica el análisis espacial; también se mencionan ejemplos de los usos de estas técnicas en investigaciones similares en cuestión de análisis espacial.

El cuarto capítulo describe e ilustra los resultados de la investigación, en la primera sección se muestran los histogramas de las defunciones y de los contaminantes atmosféricos, determinando la temporalidad de la investigación y la explicación física del fenómeno; seguido de los mapas con los conglomerados de los grupos de edad vulnerables y los mapas de los focos y distribución de la contaminación atmosférica. Los modelos consecuentes son resultado de la Evaluación Multicriterio, la cual determina el nivel de afectación de cada contaminante a cada grupo de edad vulnerable. Estos modelos se unieron a las defunciones, generando los mapas finales de la investigación.

Localización

La Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) se localiza en la cuenca de México la cual es resultado de miles de años de evolución geológica y biológica; colinda al Norte con Hidalgo, al Este con Puebla y Tlaxcala, al Sur con Morelos y al Oeste con el Estado de México. En total la conforman 76 Municipios y/o Delegaciones, 59 del Estado de México, 16 del Distrito Federal y 1 del Estado de Hidalgo, (Mapa 1).

La ZMCM está dentro de la provincia fisiográfica del eje neovolcánico y la subprovincia de lagos y volcanes de Anáhuac. De las principales topoformas que existen se distinguen las sierras, que dan la morfología a la cuenca de México; se localizan al Oeste, Sur y Este con una altura máxima de 5,380 msnm y conforman la división espacial de la ZMCM. El clima de esta zona es Frío y Semifrío subhúmedo, el uso de suelo es de Bosque en el que predomina el encino, oyamel y pino. De estas elevaciones nacen la mayoría de ríos que hay en la ZMCM. A menor altitud de las sierras, se localizan las topoformas de lomeríos y llanuras, zona que tiene la mayor área de la ZMCM y donde se localiza el área urbana y el área agrícola, siendo estas dos el principal uso de suelo debido al área que abarcan; otros tipos de uso de suelo son el pastizal y matorral. El clima es Semiseco templado y Templado subhúmedo.



Mapa 1. Zona Metropolitana de la Ciudad de México.

CAPÍTULO 1- POSTURAS TEÓRICAS-CONCEPTUALES DEL ANÁLISIS ESPACIAL EN LA SALUD.

1.1 Relación de la Geografía con la Salud y el Ambiente.

Para la maestra Tobyane Berenberg (2010), la Geografía “es la ciencia del espacio y del lugar. Su objeto de estudio lo conforman los fenómenos naturales y humanos que componen los ambientes y los lugares del mundo, sus practicantes describen los cambiantes patrones de los lugares en palabras y mapas... explican cómo estos patrones llegaron a ser e intentan descifrar su significado... la búsqueda constante de la Geografía es entender los rasgos físicos, culturales y entornos naturales sobre la faz de la tierra”

“La Geografía es algo más que una ciencia: es un modelo de entender la realidad existente, una manera de explicar cómo se relaciona el hombre con su medio natural y cómo se presentan estas relaciones en la superficie terrestre. Para ellos sirven paradigmas, métodos y técnicas distintas, pero el objetivo final siempre es el mismo” (Olcina, 1996).

Emmanuel D´Martone (citado por Arvizu 1996), describe a la Geografía como “*Ciencia cuyo objeto es la localización sobre la superficie terrestre, de los hechos y fenómenos físicos, biológicos y humanos, las causas que los originan y sus relaciones mutuas.*”, “*ciencia que estudia las variaciones de las distribuciones espaciales de los fenómenos de la superficie terrestre (abiótico, biótico y culturales), así como las relaciones del medio natural con el hombre y de la individualización y análisis de las regiones en la superficie terrestre*”.

Entre varias conclusiones de estas definiciones, se puede entender que el objeto de estudio de la Geografía lo conforma la relación espacial entre el ser humano y el medio natural; el Geógrafo analiza los lugares del mundo y, representa su trabajo en mapas y escritos.

Para ser más específicos de la relación entre el ser humano y el medio ambiente, se debe conocer que existen diferentes formas de abordar este tema, una de ellas es la ciencia de la salud ambiental. Se basa en esencia en dos aspectos: uno que estudia los peligros en el ambiente, sus efectos en la salud y las variaciones en la sensibilidad frente a las exposiciones dentro de las comunidades, y otro que explora el desarrollo de medios efectivos para la protección contra los peligros en el ambiente.¹

En la constitución de la Organización Mundial de la Salud (OMS), *la salud* se define como “un estado de completo bienestar físico, mental, y social y no meramente la ausencia de enfermedad o incapacidad” (1948). De manera similar, se han propuesto definiciones de *ambiente*, dentro del

¹ Yassi, A. *et al*; (2002). *Salud ambiental básica*. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. México D.F. pp 8.

marco de la salud. Fue definido como “Todo lo que es externo al individuo humano... cualquier cosa o todo lo que puede influir en la condición de salud de la población” (1995).²

“La salud ambiental comprende aquellos aspectos de la salud humana, incluyendo la calidad de vida, que son determinados por factores físicos, químico , biológicos, sociales y psicosociales del ambiente” (OMS, 1993).³

El objeto de estudio de la Geografía con el medio ambiente, lo describe Arcia (1994, citado por Ávila 2014) *“La geografía trata la relación de los sistemas medio natural y sociedad en el espacio y en el tiempo; posee capacidades de resolución de diversos aspectos de la problemática ambiental. Los principales aportes de la Geografía en tal dirección pueden definirse como el estudio de los aspectos espaciales del medio ambiente, su estado, su desarrollo y las posibilidades de optimización sobre la base de la investigación de la estructura y la dinámica del paisaje cultural”*

Una nueva disciplina surgió de la unión de los conocimientos de Geografía y salud, la Geografía Medica la cual se considera: *“Una rama de la geografía que se ocupa del estudio de los efectos del medio ambiente en la salud de las personas y de la distribución geográfica de las enfermedades incluyendo también el estudio de los factores ambientales que influyen en su propagación”* (Seguinot, 2012).

1.2 La revolución cuantitativa en la geografía.

En la década de los 40’s y 50’s, la Geografía se encontraba en diversas problemáticas, en Universidades de E.U.A comenzaban a quitar departamentos de Geografía así como la suspensión de programas de estudio (e.g. el programa de Geografía en la Universidad de Harvard en 1948); Lo anterior es propiciado por una visión de la Geografía como una disciplina descriptiva y sin rigor científico, debido a que no ofrecía explicación de cómo ocurrían los procesos y fenómenos; por lo que la Geografía sólo servía con fines de docencia y no en aplicaciones sociales. Un parteaguas en esta tendencia es el avance tecnológico originado de la Segunda Guerra Mundial derivando popularidad a la ciencia geográfica.⁴

Con estas necesidades se originó una nueva corriente científica en Geografía, la cual trajo consigo un dilema, que consiste en si realmente la geografía puede llegar a ser una ciencia.

“ciencias con objeto, método y leyes, tal como son indicadas en los manuales de Lógica, no existen fuera del dominio del mundo físico y orgánico. Las Ciencias Humanas, o las Ciencias de la Tierra que poseen también contenido humano, como la Geografía, son muchas veces variadas en el objeto y los métodos y rara vez conducen a leyes formuladas de manera concisa e invariablemente repetidas para explicar las relaciones de los fenómenos entre sí. ¿Dejan de ser, por ello, ciencias?”

² *Ibidem*, pp 12

³ Yassi, A. *et al*; (2002). *Op o cit*, pp 15.

⁴ Higuera A, *La Geografía en la encrucijada*, Departamento de Geografía y Ordenamiento territorial, Universidad de Zaragoza, 2002. P 24.

De forma constante se producen una objetividad, una precisión estableciendo aproximaciones y correlaciones entre lo que es vario, mutable y se puede combinar de maneras diversas e imprevistas. En nombre, precisamente del espíritu científico no se debe simplificar lo que es complejo ni considerar necesarias y previsibles las relaciones contingentes y variables con que se producen los hechos. La ciencia es una ACTITUD: Partiendo de la observación, ordenada y aproxima los hechos procurando encontrar un nexo explicativo y construye con ellos un relato coherente, navegando con prudencia en un mar de variables; esta es la manera de trabajar del geógrafo. ¿Acaso es más imprecisa que la de un naturalista?” (Olcina, 1996).

Geografía cuantitativa

A esta nueva corriente de la Geografía se le llamó Cuantitativa y tiene sus inicios desde el siglo XIX, pero se comienza a ejercer en la década de los treinta. *“Este enfoque, que tuvo su base en la corriente neopositivista surgida en Austria y Alemania, insistirá en la unidad de la ciencia y en la búsqueda de un lenguaje común, claro y riguroso; asimismo aceptará a las ciencias de la naturaleza como el modelo de toda científicidad y pondrá nuevamente énfasis en la explicación, es decir, en el establecimiento de leyes generales como vía para conseguir la meta de la ciencia: la predicción”* (Capel y Urtega, 1991, citado por Segreles, 2002).

La Geografía cuantitativa propuso cambios significativos, en términos del lenguaje y el método. *“El lenguaje, el medio utilizado por la ciencia moderna es la estadística. Con ella se ha aparcado el concepto de efecto inevitable que ha sido sustituido por el de tendencia probable. Y la Geografía se apunta a esta nueva metodología, más dúctil que el determinismo a la hora de explicar los procesos y resultados, tan complejos, propios de las ciencias humanas”*(Franco, 1988).

Adaptarse a esta nueva corriente del pensamiento geográfico no fue tan difícil, Higuera (2002) menciona que esto se debe a que la Geografía había intentado desde hace un par de siglos tener un lenguaje científico que validara las explicaciones del mundo y los fenómenos que en él ocurren; Alexander Von Humboldt, conocido como el padre de la ciencia geográfica, ayudó a que no sólo fuera descriptiva, sino que también aportó conocimientos científicos para la explicación de los fenómenos y prestó atención a la lógica de sus conceptos. Es entonces que muchos geógrafos pudieron comprender que pudiese existir un lenguaje diferente.

“La revolución cuantitativa propició la formación de una corriente de geógrafos preocupados por la definición y solución de problemas que requerían urgentemente del respaldo de teoría rigurosa para explicar y predecir fenómenos urbano-regionales, y enfrentar cuestiones asociadas a la ubicación de las actividades económicas en el espacio[...] La revolución se nutrió de importantes enfoques teóricos, como la teoría general de sistemas y la teoría análoga, que tendría como propósito la creación de modelos o formas hipotéticas de análisis geográfico” (Chorley, 1964, citado por Zapata 2008).

Si bien a esta nueva corriente se le llamó cuantitativa hubo quienes la nombraron teórica por sus métodos. *“La revolución cuantitativa surgió a partir de la unidad de metodología más que el desarrollo de una temática”* (Unwin, 1995). El desarrollo de metodologías aplicadas a las necesidades del geógrafo, aceleró la consolidación de esta revolución cuantitativa influyendo en diferentes Universidades e investigadores que aplicaron estos métodos; esto se puede contraponer con lo dicho por Chisholm (1975, citado por Santos, 1990), *“las raíces de la cuantificación en geografía no se hallan en la estadística moderna sino en el arte y en la ciencia de la cartografía”*. Como se menciona anteriormente, estas ideas podrían refutarse si es que tomamos a la cartografía como una temática.

Para que la revolución Cuantitativa y sus cambios adquirieran más auge entre los geógrafos, tuvieron que afrontar la realidad y adaptarla con la esencia y particularidad de la materia. Situación que señala Schafer (1988): *“el geógrafo se enfrenta a una tarea mucho más compleja que la de otros científicos sociales al tener que integrar hechos complejos de tipo muy diverso de carácter físico y humano”*. Por el objeto de estudio de carácter físico y humano, tendría más campo de aplicación una que la otra. Sin embargo, esta revolución desmembró a la Geografía. Segreles (2002) dice que la categorizó entre Humana y Física, esto se debe a que la Geografía Física comenzó a emplear el método científico acercándose más a la Geología y Biología, convirtiéndose en una rama científica con mayor exactitud. Al contrario de la Geografía Humana y Económica, que le costó un poco más de trabajo adaptarse a este nuevo enfoque pero con importantes aportaciones a las nuevas teorías de regionalización que derivaron de la revolución cuantitativa.

Actualmente la Geografía Cuantitativa no es la corriente que tiene mayor peso; Olcina (1997) explica que la revolución cuantitativa llevó a los geógrafos a pensar en nuevas corrientes del pensamiento geográfico, en mayor medida a los geógrafos con inclinación humanista, ya que ellos al tener dificultades para adaptarse a los métodos cuantitativos se vincularon en otras formas de explicar los fenómenos que ocurren en el espacio, como es el caso de las siguientes corrientes: La Geografía del comportamiento, Geografía del tiempo, Humanismo-Historicismo, Geografía radical, Realismo y posmodernismo .

Ventajas y desventajas

Si bien la Geografía cuantitativa aporta una gran baraja de métodos y lenguaje también tiene sus críticas, algunos geógrafos críticos dicen que carece de teoría por que utiliza exceso de información. El sociólogo Cuvillier (1953, citado por Santos, 1990) nos recuerda que *“nunca una acumulación de datos en bruto, nunca un simple registro de hechos concretos, constituyó una ciencia”* y Alfonso Aguilar (1966, citado por Santos, 1990) nos señala que *“el uso de métodos matemáticos no es el único camino para alcanzar el rigor científico”*. En el cuadro 2 se muestran algunos de los argumentos y posiciones con respecto a la cuantificación:

Cuadro 1 Argumentos y posiciones adversas y favorables en cuanto a la geografía cuantitativa.

Favorables	Adversos
La comprensión de la estadística elemental y su aplicación es necesaria en nuestros días.	Es difícil para muchos estudiantes y origina una barrera en el aprendizaje
La cuantificación es un aspecto esencial en la descripción.	Hace que las descripciones sean premiosas y aburridas.
Se ponen de un modo más claro las asociaciones y las distribuciones de los hechos geográficos.	Los números no se relacionan con la realidad y muchas veces las distribuciones que se describen son cuestionables.
Ayuda a los estudiantes a tomar decisiones con conocimiento de causa y con una visión más objetiva de los problemas.	La información cuantitativa es irrelevante y solo subraya lo que es objeto de medida.
Da satisfacción intelectual porque permite aplicar el método científico a algunos problemas.	Medir y calcular son pasatiempos innecesarios.
Mejora la sistematización de las ideas y programas y da más rigor al estudio	Se convierte en el centro dominante de la actividad estudiantil.
Los índices, coeficientes y la estadística inferencial son herramientas extraordinarias en el análisis geográfico.	Los test, así como la estadística inferencial, se enseñan mal y se emplean inadecuadamente.
Fuente: (Bosque y Estébanez, 1986) Elaboró: Luis Ángel Rodríguez Sánchez.	

Esta nueva Geografía intentaría remarcar su cientificidad mediante la formulación de leyes generales, con el fin de explicar mejor los fenómenos espaciales y, de esta manera, poder generar predicciones generales por medio de éstas.

“ La Geografía Sistemática es la que formula leyes que luego se aplican en el análisis regional. Desde luego, queda claro que estas leyes solo podrán formularse a partir del análisis de cierto número de regiones y no del examen de una sola... En realidad, la región es como el laboratorio en el que la validez de las leyes formuladas por el geógrafo sistemático ha de ser probada” (Shaefear, 1988).

“Las leyes que interesan a la Geografía se distinguen en tres tipos. En primer lugar las leyes que interesan a la Geografía física, que no son propiamente geográficas, sino tomadas de otras ciencias, en segundo lugar leyes humanas, que en parte son de interés común con la economía, como la teoría de la localización espacial, aunque la Geografía insistiría sobre todo en los aspectos morfológicos; por último, las leyes de procesos que pertenecen a todo el campo de las ciencias sociales. En cualquier caso, para que la Geografía tenga un carácter verdaderamente científico, las leyes que descubre y formula han de permitir realizar previsiones” (Idem).

Un ejemplo de la aplicación del análisis regional es la denominada primera ley de la Geografía: *“todo está relacionado con todo lo demás, pero las cosas más próximas tienen mayor relación que las cosas distantes”* (Tobler, 1970).

Si bien las leyes geográficas no son del todo aceptadas, ya que deben probarse científicamente, hay conductas poblacionales que no se pueden precisar, pero es un avance significativo para la comunidad geográfica y se espera que en el futuro estas leyes puedan comprobarse o complementarse para consolidarse dentro de la comunidad científica.

1.3 El análisis espacial en los sistemas de información geográfica.

El análisis espacial y los sistemas de información geográfica (SIG) funcionan como una importante sinergia para comprender y definir las múltiples variables que se interrelacionan en el estudio del espacio así como un marco de trabajo compuesto de métodos de análisis de sistemas y la construcción de modelos (Santos, 1990). Esto quiere decir que la aplicación de los sistemas puede realizar un análisis espacial más perfeccionado mediante la representación de modelos cartográficos. Este análisis representa la unión de dos fuerzas en el área de la investigación y aplicación; las cuales tienen sus inicios con la revolución cuantitativa y con la cual comenzó de forma aislada en una escuela de pensamiento recíproca.

Todos los elementos del mundo pueden definirse por su posición en el espacio y el tiempo, es entonces cuando la humanidad decide representar y/o simplificar estos elementos en un sistema, que mediante los avances tecnológicos es posible llevarlo a cabo.

“Para analizar los fenómenos que el propio desarrollo de la sociedad ha creado, es necesario contar con información objetiva, integrada y actual, que nos permita dar respuesta a las prioridades en salud, educación, infraestructura y bienestar social para un país, una región e incluso a nivel mundial. Hoy se han desarrollado diferentes tecnologías y metodologías que permiten analizar y visualizar estos fenómenos con mayor detalle, entre los cuales podemos mencionar los sistemas de información geográfica y su aplicación a través de soluciones geomáticas” (Gutiérrez, 2009).

Los Geógrafos realizan mapas para describir su entorno, pero la cartografía es muy amplia y se practica desde los inicios de la humanidad, con una diversidad de formas y visiones para realizarla. Se incluyen tres principales enfoques en la cartografía: el arte, la ciencia y la técnica que representa una solución de compromiso en la definición, ya que dentro del mundo cartográfico hay quienes favorecen y defienden una determinada corriente de pensamiento en el sentido de que la cartografía es fundamentalmente un arte. Para otros, en la cartografía todo es científico y muy poco hay de artístico, y para un tercer grupo, es más que todo una técnica, considerada esta como el conjunto de procedimientos asociados a un arte o ciencia. Los defensores del primer concepto aducen que con el fin de crear un mapa es necesario poseer un cierto sentido artístico para balancear la información representada, situar adecuadamente los rótulos, utilizar los colores y dibujar las líneas. Para el cartógrafo-artista la presentación del mapa es lo esencial y la información en sí es secundaria; sus productos tienen un carácter pictórico fundamental. En el

polo opuesto, los cartógrafos científicos defienden con celo la idea de que es necesaria una base científica para la creación de un mapa: matemáticas, geodesia, física, electrónica entre otras; sus productos son muy precisos, a veces en extremo y en ocasiones difíciles de interpretar en términos de información contenida. En el caso de los cartógrafos puramente técnicos, para producir un mapa basta con seguir una tecnología establecida, sin que sea necesario conocer su fundamento.⁵

En el siglo XIX la cartografía evolucionó fruto de la necesidad de encontrar respuestas espaciales dentro de estudios de diferentes campos. En 1826, Johann-Heinrich von Thunen investigó el equilibrio del uso del suelo con los costes del transporte, lo que implicó el desarrollo de las primeras aproximaciones analíticas. En 1854, el Dr. John Snow estudió la distribución espacial de los casos de cólera en Londres y determinó la causa de la epidemia, algunos autores la consideran como el primer caso de análisis espacial geográfico, como también el primer doctor en usar mapas en su investigación. En 1939 Walter Christaller, autor de la teoría de los lugares centrales, estudió la distribución y jerarquización de los lugares centrales en un espacio isótropo, es considerado de los pioneros de la revolución cuantitativa. En 1969, Ian McHarg demostró en su obra "Teoría de los lugares" que la superposición de capas es una técnica para conocer procesos de la naturaleza. En 1973, Torsten Hagerstrand desarrolló un modelo basado en la Geografía del tiempo y el espacio. Estos son ejemplos del comienzo del análisis espacial que propiciaron la creación de los SIG.

¿Qué es Análisis espacial?

Se tienen diferentes definiciones acerca de lo que significa el análisis espacial, a continuación cito algunas:

"se centra en el estudio, de manera separada, de los componentes del espacio, definiendo sus elementos constitutivos y la manera como éstos se comportan bajo ciertas condiciones. Para esto, el análisis espacial se vale de un conjunto de herramientas técnicas que, de acuerdo con lo anterior, sólo pueden dar respuesta a una parte de la dinámica del espacio, mas no a su totalidad" (Madrid, 2005).

"el conjunto de procedimientos de estudio de los datos geográficos, en los que se considera de alguna manera, sus características espaciales" (Bosque, 1986).

"el análisis espacial puede definirse como un momento dentro del proceso investigativo en el que se conjugan una serie de técnicas que buscan separar, procesar y clasificar los datos, para contribuir a la búsqueda de respuestas de un problema mayor. Implica descubrir las particularidades de un fenómeno para definir su participación dentro de la globalidad. Está en manos del investigador la elección de las herramientas a utilizar, para posteriormente encontrar en sus resultados las relaciones adecuadas para llegar a una visión integral" (Madrid, 2005).

⁵ Hansen F, "Apuntes de cartografía" INEGI p 8
[<http://www.inegi.org.mx/inegi/spc/doc/INTERNET/Apuntes%20de%20cartograf%C3%ADa.pdf>].

“El análisis espacial es el estudio de los componentes que tiene un lugar en el espacio, separando sus cualidades para poder relacionar dicha información y componer un diagnóstico en la totalidad de sus partes” (Idem).

Como lo mencionan estas definiciones, el análisis espacial es incapaz de poder analizar algo que no esté en el espacio, siendo la materia de estudio del geógrafo dado la relevancia de conocer la naturaleza de los lugares, la dinámica de la población, agentes transformadores, relaciones sociales, modos de producción, economía de los lugares, ciclo atmosférico; en si todo aquello que tenga referencia espacial.

Para estos datos se usan técnicas y métodos de análisis espacial, las cuales se pueden clasificar en cualitativas, cuantitativas y gráficas. Para Madrid y Ortiz (2005) las técnicas cualitativas, como su nombre lo indica, son las que describen las cualidades del fenómeno estudiado, dicha información se puede obtener mediante entrevistas, diarios de campo, observación e información documental, entre otros. Es el principal insumo para la Geografía Humana. También mencionan que las técnicas cuantitativas hacen referencia a cantidades y magnitudes de un fenómeno, lo que significó la consagración de la Geografía cuantitativa, a partir del análisis espacial con técnicas cuantitativas apoyado por los métodos estadísticos, sin embargo, no todo en la Geografía se puede hacer con el análisis espacial ya que hay variables humanas que no se pueden medir, por lo que deben adoptarse métodos y técnicas adecuadas de otras ciencias sociales como la Psicología. De hecho las representaciones gráficas son una abstracción de la realidad, toda representación gráfica tiene como objetivo hacer mucho más fácil e inteligible un fenómeno permitiendo la visualización de ciertas características que de otra forma son difícilmente perceptibles.

“la cuantificación debe llegar a ser instrumento privilegiado en toda investigación geográfica” (Racine, 1970 citado por Bosque 1986). Racine, un geógrafo formado en los métodos tradicionales y convertido al cuantitavismo, piensa que “la formulación cuantitativa es la única que permite utilizar plenamente los recursos de la teoría del análisis de los sistemas y, por consiguiente, del ordenador, que es en sí mismo un sistema”, y que además, “el método cuantitativo es el único que permite descubrir las relaciones que escapan a la observación empírica de manera tal que sea posible verificar su fiabilidad” (Bosque, 1986).

¿Que son los Sistemas de Información Geográfica?

Con la apertura de la nueva Geografía, los investigadores tenían que hacer notar el momento histórico en el que se encontraban, la tecnología determinaba la calidad de la investigación, siendo un requerimiento importante para todo científico; esto incide a pensar en la forma de analizar dicha información geográfica con la tecnología.

En los años cincuenta, Ludwig von Bertalanffy formuló la teoría general de sistemas, en la cual buscaba generar líneas de acción que pudiesen crear condiciones de aplicación a la realidad empírica; esto quiere decir que para estudiar las propiedades de un sistema, deben estar descritos en un entorno global y no en la reducción de sus partes separadas.⁶

Los sistemas se componen de una serie de requerimientos para poder funcionar como tal:

- Que sean un conjunto de elementos
- Deben estar dinámicamente relacionados
- Que formen una actividad
- Con la finalidad de alcanzar un objeto
- Operan sobre datos/energía/materia
- Para proveer información/energía/materia

Entonces un sistema es un conjunto de unidades recíprocamente relacionadas.⁷

“Todo lo que ocurre sobre un espacio geográfico determinado tiene consecuencias en la sociedad y viceversa, es decir, los hechos sociales y la interacción mutua entre el hombre y su entorno generan cambios como consecuencia de las transformaciones y desarrollo de las naciones. Para entender los procesos humanos de manera integral, es necesario ubicarlos espacialmente, combinando información derivada de distintas disciplinas... la información geográfica adquiere importancia como una herramienta básica para la toma de decisiones en distintos ámbitos de la actividad social, política, económica, ambiental, científica y tecnológica” (Gutiérrez, 2009).

La Información Geográfica, es información de los elementos de la superficie terrestre, debe tener su posición específica en el espacio. Así, se pudo llegar ciertas definiciones de los SIG:

“Un sistema de información geográfica es un sistema basado en el ordenador (CBS) que proporciona los cuatro siguientes conjuntos de capacidades para el manejo de datos georeferenciados: entrada de los datos, gestión de los datos (almacenamiento y recuperación), manipulación y análisis y salida de los datos” (Aronnof, 1991, citado por Lantada 2004).

“caja de herramientas... para recoger, almacenar, recuperar, transformar y visualizar datos del mundo real” (Burrough, 1986, citado por Landata 2004).

⁶ Pérez A. (coord.; 2011) Introducción a los sistemas de información geográfica y geotelemática, editorial UOC, 1° Ed. p 19.

⁷ Ramírez L. (2002) *Teoría de sistemas*, Universidad Nacional de Colombia. p 18.

Los elementos que componen un SIG son los siguientes:⁸

- Hardware- Es el equipo de computo
- Software- Es el programa del SIG, por ejemplo "Arc Gis"
- Datos espaciales- Es la información geográfica
- Humanware- Es el usuario que utiliza el SIG
- Métodos- Es la metodología y técnica que se emplean mediante los SIG

Conesa (2004), menciona algunas de las aplicaciones de los SIG : cuestiones forestales, cambios de uso de suelo, estudios de impacto ambiental, catastro, transporte, ordenamiento territorial, sistemas de navegación para automóviles, epidemiología, protección civil (riesgos, desastres naturales), análisis de mercado, planificación urbana y rural.

La historia de los SIG, está vinculada con los alcances tecnológicos de cada época y de las necesidades de la sociedad para graficar el método científico mediante el análisis espacial. La era de la innovación comenzó en la década de los cincuenta, en plena revolución cuantitativa con la aplicación por parte de meteorólogos suecos de mapas climáticos con ayuda de computadora. Si bien ya existían mapas climáticos, no había ninguno que se realizara con la ayuda de computadores. En 1957, estudiantes de geografía de la universidad de Washington incluyeron estadística espacial, operaciones analíticas y software de diseño asistido por computadora (CAD).⁹

En los años sesenta se da la primera innovación gracias a Roger Tomlinson, a quien se le considera el padre de los SIG, dado que creó el CGIS (Canadá Geographic Information System) con el fin de conocer el inventario de recursos naturales de su país. Creado a mediados de la década se considera como el primer SIG.¹⁰ En 1967, el departamento de Censos de EUA crea el DIME (Dual Independent Map Encoding) con el fin de construir mapas con las calles, direcciones y datos del censo. Esto también generó la primera base de datos espaciales abierta al público en general así como ser el primer SIG con elementos de topología geométrica.¹¹ A finales de la década, Howard Fisher, arquitecto norteamericano, empezó a trabajar con sistemas de mapas computarizados y estableció el primer laboratorio de gráficos informatizados y análisis espacial en la Universidad de Harvard. En 1969, dos estudiantes de este laboratorio formaron la empresa ESRI, hoy en día la mayor potencia mundial en proyectos SIG y monopolizadora de software en el mercado.¹²

En los años setenta se lanza el Landsat 1, primer satélite de teledetección de la superficie terrestre y a finales de la década se pone en órbita la constelación de satélites que dan apoyo a los GPS (Sistemas de Posicionamiento Global); con ello una gran base de datos geográficos que permitirían

⁸ Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (2006)
[<http://www.rlc.fao.org/es/prioridades/transfron/sig/intro/compo.htm>]

⁹ Pérez A. (coord.; 2011) *Op. Cit.* p 19

¹⁰ Coppock, J. T., and Rhind, D. W. 1991. The History of GIS. In *Geographical Information Systems: Principles and Applications*, vol. 1, ed. D. J. Maguire, M. F. Goodchild, and D. W. Rhind, pp. 29. New York: John Wiley and Sons.

¹¹ Pérez A. (coord.; 2011) *op cit.* P 20

¹² Coppock, J. T., and Rhind, D. W. (1991), *op cit.* P 29-30

el desarrollo de los SIG, como también la creación de software para el análisis de estas nuevas bases de datos, como la interpretación de imágenes Landsat por medio de sus múltiples bandas espectrales.¹³

En la década de los ochenta comienza la etapa de comercialización de los SIG, debido a la disminución del precio de los ordenadores y los diseños para minicomputadoras. Ejemplo de lo anterior queda plasmado en 1982, cuando se lanzó a la venta el primer software comercial diseñado para minicomputadoras llamado ARC-INFO por parte de ESRI. Los primeros clientes fueron empresas forestales y agencias de recursos naturales con el fin de conocer áreas potenciales y el impacto ambiental. Simultáneamente, en el sector académico se publicó el primer libro específico en SIG de Peter Burrough (Principles of Geographic Information Systems for Land Resources Assessment). En 1985, sale a la venta el primer GPS lo cual generó preocupación al departamento de defensa de los EUA ya que el sistema de posicionamiento y navegación podía traspasar las barreras del conocimiento espacial que el gobierno le permitió a la sociedad americana. En 1986, sale a la venta el primer software comercial diseñado para PC denominado Map Info, a partir de entonces el mundo comienza a utilizar los SIG y les permite ver sus posibles alcances. En 1988, se crea en Estado Unidos el National Center for Geographic Information and Analysis (NCGIA) y en Reino Unido el Regional Research Laboratory (RRL). Esto significó la creación de organizaciones especializadas en el análisis espacial.¹⁴

En la década de los noventa los SIG son vistos como un gran negocio. En 1991 ESRI lanza ARC VIEW, software que se ha mantenido en evolución, siendo influyente en la época contemporánea. En 1993 Europa establece una organización no gubernamental que representa la comunidad de información geográfica europea (EUROGI) con el objetivo de maximizar la disponibilidad y el uso efectivo de la información geográfica. En 1994 nace el consorcio OpenGIS, el cual propone la definición de estándares abiertos e interoperables dentro de los sistemas de información geográfica.¹⁵ La globalización en esta década comienza a despegar sin fronteras, y los SIG no podían pasar desapercibidos, en 1996 se establece el primer GIS en Internet, con tal apogeo, que a nivel mundial se establece el GIS DAY en 1998 (14 de Noviembre).

A partir del 2000, se da la explotación. En este año se estima que existen cerca de 1, 000,000 de usuarios núcleo y 5, 000,000 de usuarios casuales. Para el 2001 ESRI lanza ARC GIS, software líder contemporáneo. En 2009 se estima un mercado de 4.5 billones de dólares al año, 45% ocupado por EUA y Canadá.¹⁶

“Nos estamos moviendo hacia una sociedad rica en datos, con más información geoespacial y mayor acceso a esta información... va a ser utilizada para descubrimientos y análisis. Esto va a causar un aumento exponencial de alfabetización geoespacial en gente de todo el mundo... este conocimiento va a ser

¹³ Pérez A. (coord.; 2011) *op cit.* P 21

¹⁴ *Ibidem.* p 22-23

¹⁵ Coppock, J. T., and Rhind, D. W. (1991), *op cit.* P 31

¹⁶ Pérez A. (coord.; 2011) *op cit.* P 24

integrado en nuestro gobierno y nuestras empresas de negocio, dando beneficios en referencia espacial y análisis de estas organizaciones... va a desarrollarse rápidamente el concepto de GeoWeb, que va ser conducido por las necesidades y demandas de millones y millones de participantes” (Dangermond, 2005 citado por Pérez, 2011).

¿Qué fue primero, el análisis espacial o los SIG?

Una interrogante aún queda en el pensamiento de los geógrafos y de la comunidad científica, los SIG permitieron el análisis espacial o viceversa. “Se podría decir que los Sistemas de Información Geográfica cumplen a cabalidad con los dos objetivos del análisis espacial puesto que este último viene a ser el resultado del modelamiento basado tanto en los procesos de captación de información, abstracción de la misma y discretización del mundo real, estableciendo las relaciones entre los componentes del espacio. Además de permitir una construcción con patrones futuros de comportamiento de los fenómenos que se llevan a cabo en el territorio” (Madrid, 2005).

Se debe tener en cuenta que *“buena parte del análisis espacial se ha desarrollado mediante la importación de la metodología estadística y su adaptación al estudio de los datos espaciales. No obstante se incluyen en él ciertos procedimientos que analizan exclusivamente las características geométricas de los hechos geográficos”* (Bosque, 1992).

En la actualidad los investigadores siguen trabajando en técnicas y nuevas herramientas que puedan realizar representaciones graficas más cercanas a la realidad, siendo el reto acercarse a la modelación de datos en tiempo real. Trabajar con los SIG puede resultar muy fácil, sin embargo debemos tomar en cuenta que hay un mundo de trabajo interno que propicia la facilidad de estos softwares, los especialistas formulan las bases matemáticas para que funcionen los sistemas y los programadores lo desarrollan en los softwares para que posteriormente se pueda hacer el análisis espacial correspondiente utilizando los métodos y herramientas adecuadas.

“En las últimas dos décadas estos sistemas han sido utilizados cada vez más en diferentes ámbitos ya que permiten el análisis y procesamiento de grandes volúmenes de datos con mayor velocidad y precisión. Actualmente, numerosos proyectos de investigación se apoyan en estos sistemas porque facilitan el análisis de la información, su síntesis y la representación cartográfica geoespacial de los resultados obtenidos, la reducción de costos y mejoras en la capacidad de gestión, por lo que esta tecnología ha tenido gran aceptación en los distintos ámbitos de la investigación, tanto en el sector académico como gubernamental y empresarial” (Gutiérrez, 2009).

Para la Geografía el uso de los SIG y sus múltiples aplicaciones funge como un puente que permite a los practicantes de ésta aplicar la multidisciplinariedad, dado que el Mapa es el principal medio para representar el análisis espacial, *“el análisis de las realidades geográficas no puede ser válido si no posee un armamento teórico capaz de reconocer el valor de cada variable”* (Santos, 1990). En pleno año 2014 la tecnología y el internet han posicionado a los sistemas de información geográfica al alcance de la mayor parte de la población, siendo un medio de divulgación para la

utilización de mapas y que la sociedad interactuó con estos sistemas y derive conocimiento, se tiene esta tecnología al alcance del bolsillo y en cualquier lugar, de tal manera que para los geógrafos es una ventaja conocer y saber utilizar los SIG para incursionar en nuevos avances que aporten beneficios a la sociedad, así también como un generador de empleo.

1.4 Aplicación del análisis espacial en la salud.

Gutiérrez (2009) describe que en la historia del análisis espacial y los SIG hubo un sector de la investigación menos relacionado con el medio ambiente que utiliza sistemas de datos geográficos para la toma de decisiones. La epidemiología es una disciplina científica que estudia la distribución, frecuencia, determinantes, relaciones, predicciones y control de los factores relacionados con la salud y con las distintas enfermedades existentes en poblaciones humanas específicas. La epidemiología humana ocupa un lugar especial en la intersección entre las ciencias biomédicas y las ciencias sociales. Gracias a esta última, tiene una relación con la geografía y, por ende, se utiliza el análisis espacial para conocer las zonas epidemiológicas.

Uno de los primeros análisis espaciales de la historia se utilizó en la epidemiología en el año de 1832, el geógrafo Francés Charles Piquet representó los 48 distritos de París utilizando un gradiente de colores para simbolizar el porcentaje de muertes por cólera por cada 1, 000 habitantes; este trabajo es un avance significativo e importante para la historia de la cartografía ya que realiza un enfoque multidisciplinario utilizando métodos que siguen vigentes hoy en día, conjuntamente con la regionalización de las zonas más afectadas y, de este modo, realizar otra investigación de la zona con mayor mortalidad y por ende detectar el motivo de las muertes.¹⁷

Otro caso famoso de la importancia del análisis espacial en el sector salud es el mapa del Dr. John Snow, el cual significó la consolidación de la Medicina con la Geografía, considerándose el primer mapa de análisis espacial. Esta aplicación consistió en el mapeo de las muertes así como personas enfermas de cólera, los cuales fueron de cierta forma ubicados en un mapa de calles de Londres, dándose cuenta que la distribución de las muertes y los enfermos se concentraban en un área pequeña (cluster), lo que lo llevó a ubicar los pozos de agua asumiendo una propagación de la enfermedad mediante esta vía, lo que lo llevó a incidir en las autoridades para la clausura de las tomas de agua donde se presentaban mayores densidades y así impactar en la propagación del cólera.¹⁸

¹⁷ Carranza, J (2012) Cómo se utilizan los SIG en el sector de la Salud.
[<http://www.geocensos.com/2012/12/sig-en-salud.html>]

¹⁸ Alivoni, M (2009) Una epidemia de cólera y los mapas de John Snow
[<http://www.pagina12.com.ar/diario/suplementos/futuro/13-2179-2009-07-11.html>].

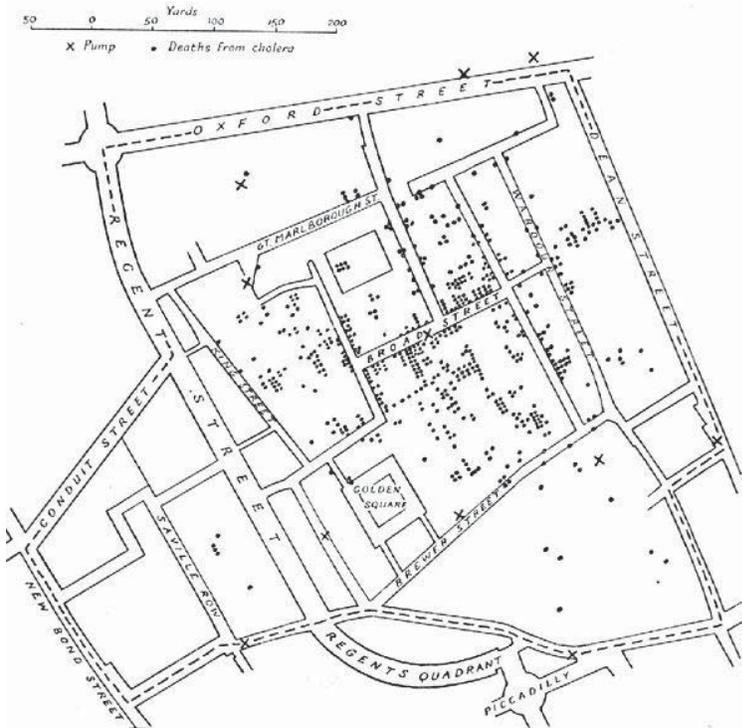


Figura 1. Mapa de cólera del Dr. John Smith (1854).

El mapa del Dr. John Snow (1854), contiene solo las calles de un distrito de Londres. Los puntos de color negro simbolizan los enfermos y las muertes por cólera y, las X los pozos de agua.

Desde entonces el uso de la cartografía para la medicina ha encontrado diversos usos.

“La representación gráfica de la distribución espacial de las enfermedades ha sido y es de un gran interés para: 1) mostrar geográficamente las tasas de incidencia o mortalidad con objetivos puramente descriptivos (mapas de enfermedades); 2) formular hipótesis relacionadas con la etiología de la enfermedad que se estudia; 3) documentar o establecer el marco de estudios de epidemiología ambiental y espacial” (López, 2002).

El término epidemiología espacial se emplea para describir estudios sobre las causas y prevención de las enfermedades, empleando diferentes perspectivas de análisis en las que la localización de los eventos es un componente fundamental (Thomas, 1990, citado por Gutiérrez 2009).

De acuerdo con López y Ortega (2002), de esto se desarrollaron nuevos métodos analíticos, los cuales se clasifican en función del tipo de datos espacial es: 1) los datos espacialmente contiguos (geoestadísticos), 2) los procesos puntuales y 3) los datos referidos a áreas (área data o letice data)

“En el campo de la salud pública [...] área de la medicina que dedicada a la epidemiología, que identifica y controla problemas de sanidad[...] los sistemas de información geográfica permiten establecer el alcance y la pertinencia de los resultados mediante dos procedimientos metodológicos concretos: 1) la degradación de los datos de unidades político administrativo a sectores, unidades censales, unidades básicas de información territorial, cuencas o subcuencas hidrológicas, áreas de salud, áreas tributarias de unidades de atención, micro áreas y otras; 2) la

localización de puntos o áreas de los eventos o procesos, sea desagregada o directa; lugar de residencia, ocurrencia de problemas de salud específicos, puntos críticos, fuentes de contaminación, áreas con desigual distribución de componentes del saneamiento y otros” (Gutiérrez, 2009).

El interés de la epidemiología y la salud pública en el estudio y análisis de la distribución geográfica de las enfermedades y su relación con factores de riesgo potenciales, ligado a la posibilidad de manejo de la dimensión espacial de los datos epidemiológicos a través de los SIG, ha impulsado el desarrollo de métodos estadísticos relevantes para ambas disciplinas, particularmente los métodos de estadística espacial (*Ídem*).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) es la autoridad directiva y coordinadora de la acción sanitaria en el sistema de las Naciones Unidas; es responsable de desempeñar una función de liderazgo en los asuntos sanitarios mundiales, de configurar la agenda de investigaciones en salud, establecer normas, articular opciones de política basadas en la evidencia, prestar apoyo técnico a los países y vigilar las tendencias sanitarias mundiales. Desde 1995, el Programa Espacial de Análisis en Salud (SHA) de la Organización Panamericana de la Salud (OPS) ha desarrollado un proyecto de cooperación técnica orientado a la disseminación y utilización de los sistemas de información geográfica para el análisis y solución de problemas en epidemiología y salud pública (*Ídem*). Como resultado, ha surgido toda una serie de aplicaciones tecnológicas como el caso de softwares especializados en el análisis espacial en temas de salud, dentro los que destacan por sus contribuciones en el área de la modelación:

- Epiinfo y Epimap son herramientas de análisis epidemiológico de bajo costo útiles en los servicios de salud pública, son fáciles de usar y despliegan sus resultados en forma espacial. Aunado a lo anterior permiten la georeferenciación de datos de individuos y eventos de salud a partir de variables con referente geográfico como es la dirección geográfica del evento (Martínez *et al.*, 2009).
- HealthMapper, de uso recurrente, el cual se desarrolló por CRS/OMS con el objetivo de mapear la enfermedad del gusano de Guinea, y así fortalecer la vigilancia epidemiológica de enfermedades transmisibles. El software es de fácil uso, dado que está elaborado para personal con capacitación básica. El programa cuenta con una base de datos de enfermedades de los países y de factores ambientales que pueden influir en éstos. Además de ofrecer la importación de datos geográficos directamente del GPS.¹⁹
- SIGEPI se desarrollo con el propósito de responder a los objetivos de fortalecer los análisis en epidemiología y salud pública. Es un SIG completo y tiene la capacidad de generar sus mismas tablas de atributos, generar cartografía base y exportar e importar capas con otros Softwares.

¹⁹ Martínez, R. *et al.*; (2009) “Paquetes de Programas y análisis espacial en Epidemiología y Salud Publica” Organización Panamericana de la Salud, Área de Análisis de Salud y sistemas de Información Sanitaria (AIS), p 12.

- GeoDa es un programa para el análisis de datos espaciales en forma de polígonos y puntos, ofrece importantes métodos estadísticos para el análisis de datos espaciales. Su objetivo principal es brindar un ambiente geográfico gráfico amigable comenzando con el mapeo y visualización simple para llegar al análisis de la autocorrelación espacial y regresión espacial. Fue desarrollado por el laboratorio de Análisis Espacial del departamento de Agricultura y Economía del consumidor, en la Universidad de Illinois en Urbana-Champaign. Es un esfuerzo entre los programas de SIG y programas estadísticos para conjuntar un programa que fuese capaz de visualizar los resultados en mapas.²⁰

El diseño consiste en un ambiente interactivo que combina mapas con gráficos estadísticos, usando tecnología de ventanas enlazadas dinámicamente. Sus funciones en SIG son limitadas pero es una herramienta eficaz para determinar la autocorrelación espacial. Responde a necesidades analíticas en epidemiología y en salud pública, ya que la autocorrelación espacial permite conocer lugares específicos donde se encuentra un determinante geográfico, dado que ayuda a estimar aquellos lugares donde hay mucho del fenómeno de estudio y contempla la cercanía.²¹

- Existen otros programas que necesitan de un SIG pero su capacidad de análisis estadístico de datos espaciales es importante como es el caso del SaTScan, que ha sido desarrollado para analizar datos de eventos de salud en tiempo y espacio utilizando el estadístico Scan. Basado en el modelo de distribución estadístico de Poisson, de acuerdo a un riesgo poblacional conocido en donde los datos están agregados geográficamente y otro basado en Bernoulli para datos de eventos individuales o por individuos con valores de 1 y 0 para identificar casos y controles.²²

Estos programas son un ejemplo del esfuerzo multidisciplinario que se hace para determinar y prevenir efectos nocivos para la salud, así como para impedir que se propaguen enfermedades y afecten a más sectores poblacionales. En México, la cooperación técnica con la OPS ha permitido el desarrollo e implementación de diversos sistemas de Información en salud orientados a la recopilación, tratamiento y publicación de datos. La Secretaría de Salud desarrolló el Sistema Nacional de Información en Salud (SINAIS), el cual se encarga de promover el establecimiento de un sistema nacional de información básica en materia de salud²³ mediante el almacenamiento de información de las enfermedades y datos específicos del enfermo entre otros registros; sin embargo, los datos de posición geográfica vienen por localidad siendo ésta una referencia limitada, ya que puede haber una localidad por municipio o en lugares rurales puede haber hasta 100 localidades.

²⁰ Martínez, R. *et al*; (2009); *Op o cit.*, p13

²¹ *Ibidem*, p 15

²² *Ibidem*; P 16

²³ Gutiérrez, M. (2009) "Geosalud, desarrollo y aplicación de sistemas de información geográfica en salud pública" Instituto nacional de cartografía y estadística, p 44-47.

CAPITULO 2- DESCRIPCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN LA ZONA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MÉXICO.

2.1- Contexto social demográfico de la ZMCM.

Para Unikel (1976), una metrópoli se puede definir como “la extensión territorial que incluye a la unidad político-administrativa que contiene a la ciudad central y a las unidades político-administrativas contiguas a ésta que tiene características urbanas, tales como sitios de trabajo, lugares de residencia de trabajadores dedicados a actividades no agrícolas, y que mantienen una interrelación socioeconómica directa, constante e intensa con la ciudad central y viceversa”. Las metrópolis son espacios estratégicos de vinculación entre las regiones del país y el resto del mundo, dado que se conforman por una estructura territorial compleja que comprende distintos componentes: la concentración demográfica, la especialización económica- funcional y la expansión física sobre ámbitos que involucran dos o más unidades político-administrativas, ya sean estatales, municipales, o en algunos casos desbordando las fronteras nacionales.²⁴

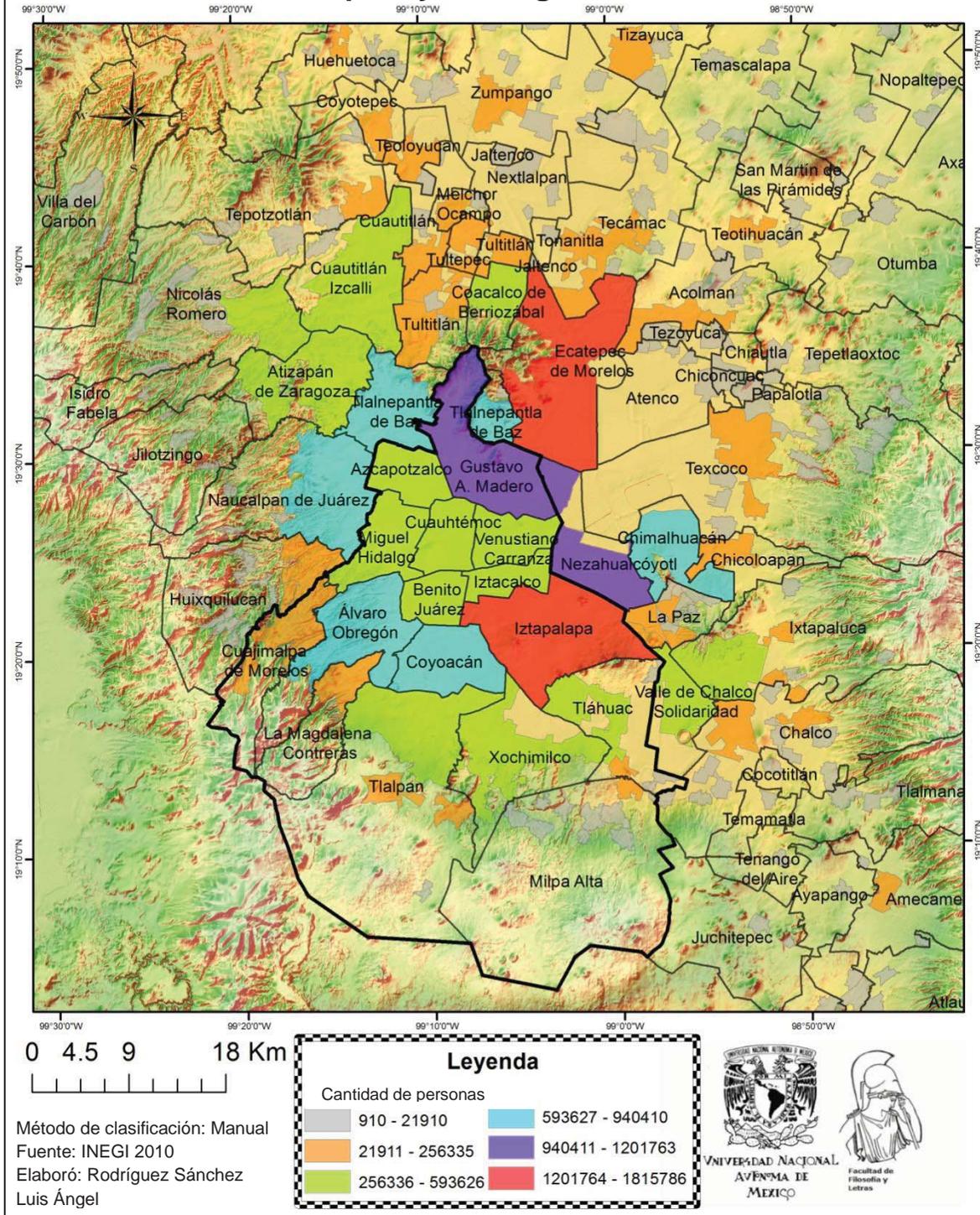
En tiempos prehispánicos, la cuenca de México alojó uno de los sistemas hidrológicos-urbanos mejor desarrollados por civilización alguna. En otros momentos de su historia, la ciudad construyó espacios de uso colectivo que conservan hasta hoy su función y monumentalidad, ennoblecidos por el paso del tiempo.²⁵ El crecimiento demográfico y la expansión urbana en la Ciudad de México se aceleraron en las décadas de los cuarenta y cincuenta; la producción nacional atendió la creciente demanda interna de bienes manufacturados de consumo final de alimentos y materias primas de origen primario; la industria y los servicios fueron los sectores más dinámicos. La mayor parte de la población se concentraba en el casco antiguo, es decir el espacio central del Distrito Federal constituido hoy en día por las delegaciones Cuauhtémoc, Venustiano Carranza, Benito Juárez y Miguel Hidalgo. El resto del espacio urbanizado estaba de manera dispersa, debido al fraccionamiento extensivo de terrenos que se iban ocupando de forma irregular. Los requerimientos del desarrollo industrial, propiciaron la construcción de las nuevas fabricas sobre amplias extensiones de tierra sin urbanizar, para esto se crearon normas para la localización de la industria, formando un arco en torno al casco antiguo. La estimulación política de instalación de industrias, las nuevas vías de comunicación como carreteras y el camino de las vías férreas así como también la inauguración de Ciudad Universitaria representaban polos de atracción para el crecimiento de colonias residenciales de clases media y alta.²⁶ Para el año 2010 la población total de la ZMCM era de 20, 111,842 siendo la metrópolis más grande en México respecto a expansión territorial y población (Mapa 2).

²⁴ Secretaría de Desarrollo Social, (2004) “Delimitación de las Zonas metropolitanas de México”, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, p 9.

²⁵ Revista de administración pública “Programa de desarrollo de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México y de la región centro”. P 195.

²⁶ Consejo Nacional de Población (1998) “Escenarios demográficos y urbanos de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, 1990-2010. Síntesis” primera edición. P 15-27

Población total por localidad urbana en los municipios y/o delegaciones 2010



Mapa 2. Población total por localidad Urbana en los municipios y/o delegaciones 2010.

Cuadro 2. Delegaciones y Municipios de la ZMCM con Población total (2010).

Población Total de la ZMCM 2010			
Delegación o Municipio	Población	Delegación o Municipio	Población
Estado de México	15,175,862	Ozumba	27,207
Acolman	136,558	Papalotla	4,147
Amecameca	48,421	Paz, La	253,845
Apaxco	27,521	San Martín de las Pirámides	24,851
Atenco	56,243	Tecámac	364,579
Atizapán de Zaragoza	489,937	Temamatla	11,206
Atlautla	27,663	Temascalapa	35,987
Axapusco	25,559	Tenango del Aire	10,578
Ayapango	8,864	Teoloyucán	63,115
Chalco	310,130	Teotihuacán	53,010
Chiautla	26,191	Tepetlaoxtoc	27,944
Chicoloapan	175,053	Tepetlixpa	18,327
Chiconcuac	22,819	Tepotzotlán	88,559
Chimalhuacán	614,453	Tequixquiac	33,907
Coacalco de Berriozábal	278,064	Texcoco	235,151
Cocotitlán	12,142	Tezoyuca	35,199
Coyotepec	39,030	Tlalmanalco	46,130
Cuautitlán	140,059	Tlalnepantla de Baz	664,225
Cuautitlán Izcalli	511,675	Tonanitla	10,216
Ecatepec de Morelos	1,656,107	Tultepec	131,567
Ecatzingo	9,369	Tultitlan	486,998
Huelhuetoca	100,023	Valle de Chalco Solidaridad	357,645
Hueyoxtlá	39,864	Villa del Carbón	44,881
Huixquilucan	242,167	Zumpango	159,647
Isidro Fabela	10,308	Distrito Federal	8,851,080
Ixtapaluca	467,361	Álvaro Obregón	727,034
Jaltenco	26,328	Azcapotzalco	414,711
Jilotzingo	17,970	Benito Juárez	385,439
Juchitepec	23,497	Coyoacán	620,416
Melchor Ocampo	50,240	Cuajimalpa de Morelos	186,391
Naucalpan de Juárez	833,779	Cuauhtémoc	531,831
Nextlalpan	31,691	Gustavo A. Madero	1,185,772
Netzahualcóyotl	1,110,565	Iztacalco	384,326
Nicolás Romero	366,602	Iztapalapa	1,815,786
Nopaltepec	8,895	La Magdalena Contreras	239,086
Otumba	34,232	Miguel Hidalgo	372,889
Fuente: "Conformación Zonas Metropolitanas" Estado de México INEGI-Censo de Población y Vivienda 2010 Elaboró: Rodríguez Sánchez Luis Ángel.		Milpa Alta	130,582
		Tláhuac	360,265
		Tlalpan	650,567
		Venustiano Carranza	430,978
		Xochimilco	415,007
		Hidalgo	2,665,018
		Tizayuca	97,461

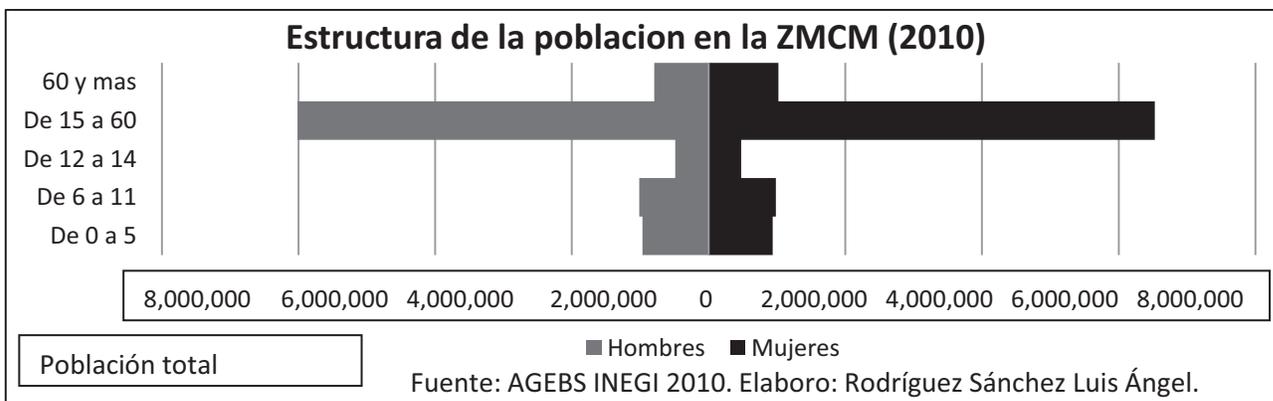


Figura 2. Estructura de la población en la ZMCM (2010).

El grupo de edad de 15 a 60 años conforma la mayor cantidad de población, los restantes grupos tienen valores similares y la población femenina supera a la masculina en el total de habitantes.

Tamayo (2004) dice que “el crecimiento de la ciudad hacia su periferia ha rebasado los límites políticos-administrativos que originalmente la contenían, integrando municipios vecinos, tanto en términos de contigüidad física como de funcionalidad espacial socioeconómica”. Pueden distinguirse dos grandes etapas en la evolución demográfica de la ZMCM; la primera comprende de los años cincuenta a los setenta, cuando la ciudad de México creció a tasas superiores a los promedios nacionales y llegó a ser una de las más pobladas del mundo. La segunda cubre las décadas de los ochenta y noventa, y en ellas se produce una desaceleración del crecimiento demográfico, como resultado de cambios en la tasa global de fecundidad y en los flujos migratorios.²⁷

Por lo general, las metrópolis no distinguen fronteras físicas, sociales, económicas y ambientales, en el caso de la ZMCM se ha encontrado una barrera natural en la expansión de la metrópoli, esta barrera comprende las elevaciones del relieve, mismas que dan la forma a la cuenca de México y que desde los inicios del poblamiento de esta zona se tiene dicha morfología, sin embargo los asentamientos humanos han cubierto gran cantidad de algunos cerros y en la mayoría de estas elevaciones se encuentran asentamientos hasta donde la pendiente lo permite o donde existe algún tipo de restricción o exclusión humana. La velocidad y la complejidad del proceso, han hecho difícil el ajuste de los usos y costumbres tradicionales a las nuevas dimensiones urbanas. Las formas de convivencia se construyen en la práctica cotidiana. Diluidos los papeles del antiguo vecindario, se perfilan ya nuevas formas de organización ciudadana. La magnitud de la concentración limita la capacidad para hacer frente a los grandes problemas urbanos que se generan. Algunos de ellos, como es el caso de la contaminación ambiental, afectan al conjunto de la población residente en el área.²⁸ Es necesario definir prioridades en función del interés colectivo para mejorar la calidad de vida en el conjunto del espacio metropolitano, sin embargo existe un problema de la ZMCM y se debe a la gestión de tres gobiernos estatales, quienes tienen la

²⁷ Consejo Nacional de Población (1998), *Op cit*; p 21-27

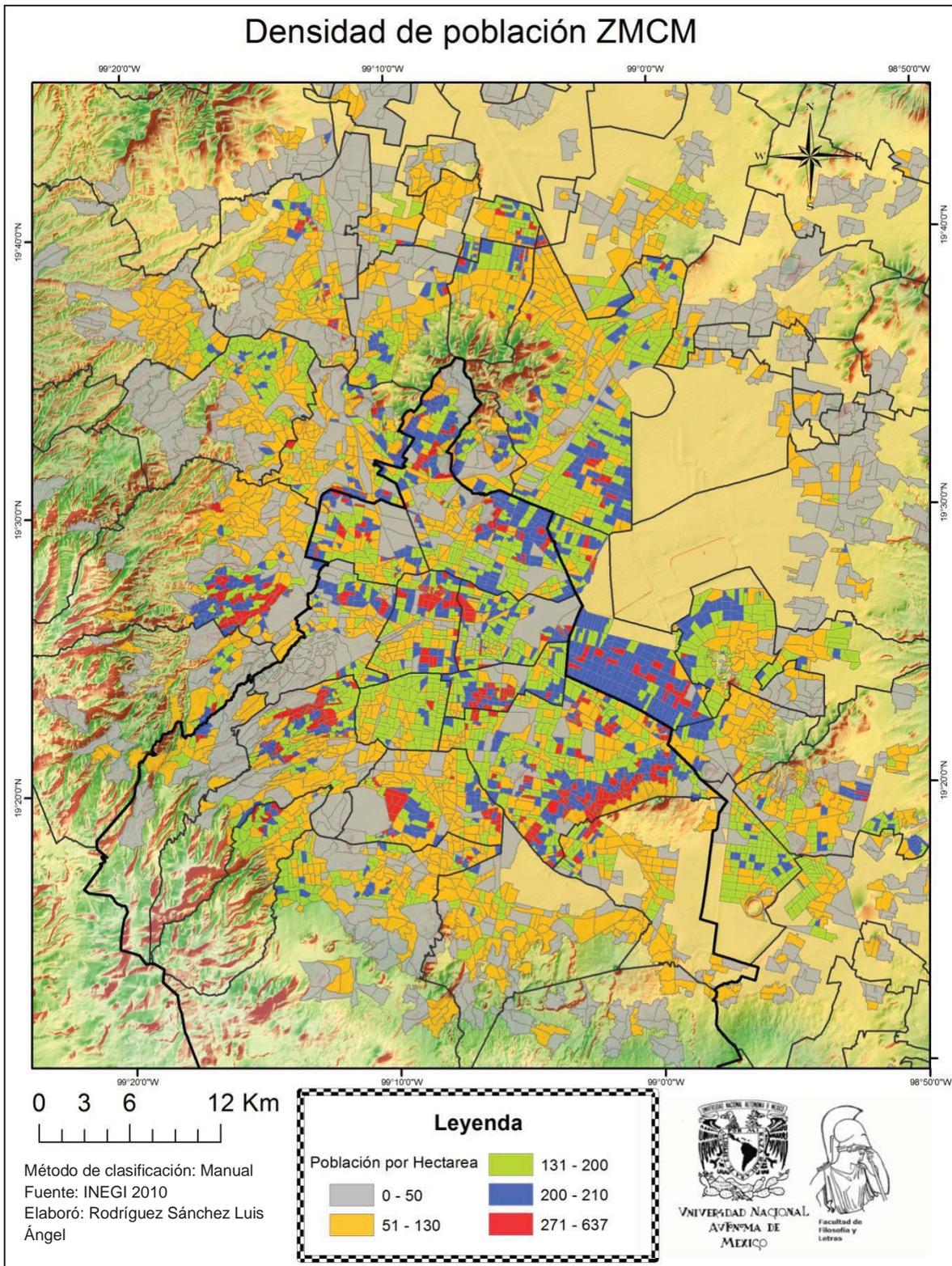
²⁸ Secretaría de Desarrollo Social, (2004). *Op cit*; p 195.

responsabilidad de generar acuerdos en la atención de problemas de la metrópolis, lo que representa serios obstáculos para el adecuado funcionamiento y desarrollo de la misma, principalmente en lo que se refiere a la planeación y regulación de su crecimiento físico, la provisión de servicios públicos y el cuidado de su entorno ambiental.

En el área urbana se generan nuevas opciones ocupacionales, el estancamiento de las actividades rurales expulsa grandes contingentes de trabajadores. Para estos migrantes llegar a la ciudad e instalarse precariamente en el medio urbano, ha constituido una alternativa de ocupación y, en algunos casos, de mejoría de sus condiciones de vida. Habitar la periferia, por más alejada que se encuentre, abre posibilidades de desempeñar alguna actividad remunerada y, sobre todo, de acceder a los servicios públicos y a los equipamientos colectivos. Las necesidades de la población en la ZMCM ha propiciado diversas dinámicas de cambio de uso de suelo en lugares centrales, convirtiéndose al sector terciario y no de uso habitacional como en un principio lo era, propiciando nuevas zonas de expansión urbana habitacional en lugares populares, lo que genera un alto índice en la densidad demográfica. El carácter segregado de la estructura urbana ha tendido a afirmarse y consolidarse en los últimos años, dificultando aún más las condiciones de vida de estos grupos sociales. En alguna medida el crecimiento urbano en la periferia se genera por desplazamientos de población de las áreas centrales, obligada a trasladarse por efectos de mejoras urbanas que realizan las autoridades.²⁹

La densidad demográfica se presenta diferencial (Mapa 3), por ejemplo, existe un alto nivel en zonas de Iztapalapa y de forma contigua con el municipio de Netzahualcóyotl, siendo esta zona del Este la que muestra una homogeneidad en sus índices demográficos; ejemplo de la unión del DF con el Estado de México, lo que se debe a la necesidad de lugares habitacionales, que ubicaron zonas populares y que en un principio se encontraban despobladas y alejadas de la zona central, pero muy rápidamente se convirtieron en todo lo contrario. En la zona del Noreste conformada por la delegación Gustavo A. Madero y el municipio de Ecatepec de Morelos que su poblamiento se debe al uso de suelo industrial y por ende a la demanda de trabajadores, lo que permitió que se alojaran en estas áreas de terrenos irregulares y en barrios populares. Aunado a los casos anteriormente mencionados de sinergias en la periferia del Distrito Federal y Estado de México, en las zonas centrales existen concentraciones demográficas con alta densidad como es la zona que queda al Este de Ciudad Universitaria, está formado principalmente de uso habitacional popular, a estos lugares llega la población por su bajo costo económico, al contrario de la zona Oeste y Norte a Ciudad Universitaria con zonas de alto nivel socioeconómico y una baja densidad demográfica. Otros lugares importantes por su densidad, son los que colindan con la salida hacia Toluca, llamada Santa Fe, que fue poblándose por la ubicación de la carretera y el ahora nuevo uso de suelo habitacional.

²⁹ Secretaría de Desarrollo Social, (2004). *Op cit*; p 195-225



Mapa 3. Densidad de Población en la ZMCM.

2.2- Contaminantes atmosféricos y sus focos de contaminación fijos y móviles.

El fenómeno anteriormente señalado incide directamente en la contaminación atmosférica de las metrópolis, en especial de la ZMCM, la cual *“es considerada una de las más contaminadas del mundo”* (Villegas, 1986 citado por Correa, 2004).

El aire, en sus propiedades naturales, es un fluido compuesto por nitrógeno (78.08%), oxígeno (20.95%), argón (0.93%) y otros elementos complementarios (0.04%); también contiene vapor de agua que varía según las circunstancias meteorológicas, así como de partículas de materia sólida en suspensión.³⁰ Debido a la atracción gravitatoria, el 98 % de los gases se mantiene hasta los 30 km de altitud, pero es en los primeros 10 km donde el aire mantiene características aproximadas de la mezcla de gases.³¹

“Las características actuales de nuestra atmosfera son resultado de largos procesos físicos y químicos, derivados de la formación de nuestro planeta, sin embargo las actividades humanas y naturales han determinado el comportamiento y composición de la atmosfera” (Aguilar, 2004).

“Desde el punto de vista físico, la contaminación atmosférica se define como la impurificación de la atmósfera por inyección y permanencia temporal en ella de materias – gaseosas, líquidas o sólidas- ajenas a su composición normal o en proporción claramente superior a la de ésta” (Puigcerver y Dolors, 2008).

Jiménez (2001), describe que existen diversas formas para clasificar los contaminantes: Según su origen, se pueden segmentar en naturales y antropogénicos. Los primeros se deben a fenómenos en los cuales no interviene el hombre, por ejemplo: erupciones, incendios naturales, producción de gases en pantanos y diseminación del polen por el viento, entre otras. En cambio, los antropogénicos se derivan de las actividades del hombre. Los principales contaminantes atmosféricos que están presentes en la ZMCM son los siguientes:

Ozono O₃

Es una molécula triatómica formado por átomos de oxígeno (O₃). En 1840, el químico Alemán Chistian Friedrich Schobein le dio el nombre de ozono, de la raíz griega ozein (olor) debido a su olor característico. El ozono es un componente natural, la mayor parte se encuentra a más de 10 km de altura, en una región de la estratosfera llamada ozonofera, donde se concentra más del 90% y forma una capa que limita el ingreso de radiación ultravioleta proveniente del sol. Al nivel de la superficie, el ozono es un contaminante del aire que provoca efectos nocivos en la salud humana, de plantas y animales. En ambientes urbanos, es el principal componente del smog

³⁰ INEGI (2002) *“AIRE” Estadísticas del medio ambiente del distrito federal y la zona metropolitana* [http://www.inegi.gob.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/integracion/so_ciodemografico/medioambdf/2002/archivo5.pdf]

³¹ Aguilar, A (2004) *“Características de la atmosfera” Geografía General*, Universidad de Guadalajara, segunda edición, p 136.

fotoquímico y se forma por reacciones entre los hidrocarburos y los óxidos de nitrógeno, en presencia de radiación solar. La mayor parte del ozono en la troposfera se produce cuando los óxidos de nitrógeno (NO_x), el monóxido de carbono (CO) y los compuestos orgánicos volátiles (COV) reaccionan en la atmósfera en presencia de la luz solar.³²

Monóxido de carbono, CO

El monóxido de carbono es un gas incoloro, inodoro, insípido y poco soluble en el agua. Se produce de la combustión parcial de los compuestos que contienen carbono, principalmente de los motores de combustión interna. En condiciones donde la disponibilidad de oxígeno es insuficiente, el monóxido de carbono se forma preferentemente a partir del dióxido de carbono. Es un compuesto altamente tóxico, sin embargo juega un papel importante en la síntesis y elaboración de una gran cantidad de productos. El origen del CO es diverso, entre las fuentes naturales que lo producen se encuentra la quema de biomasa y la oxidación de compuestos orgánicos como el isopreno y el metano.³³ El 98 % de las emisiones en la ZMCM se generan por los vehículos automotores, básicamente por autos particulares y el uso intensivo de vehículos dedicados al transporte de carga y de pasajeros. Debido a lo anterior, la distribución geográfica de las emisiones se realiza conforme a la distribución de la red vial.³⁴

Dióxido de nitrógeno, NO₂

Pertenece a los óxidos de nitrógeno (NO_x), es un gas de color rojo pajizo y olor irritante. El NO₂ es un gas de particular importancia en la atmósfera, no solo por sus efectos en la salud sino también porque absorbe luz visible contribuyendo a la disminución de la visibilidad, tiene un resultado directo en el efecto de cambio climático y desempeña un papel crítico en la producción de ozono en la troposfera debido a que su fotólisis es el factor inicial de la formación fotoquímica del ozono en ambientes contaminados y no contaminados.³⁵ Está involucrado en la formación de nuevos contaminantes que contribuyen a la producción de aerosoles ácidos, nitratos y diversos compuestos orgánicos nitrogenados. Es generado básicamente por los autos particulares, taxis, tractocamiones y autobuses.³⁶

Dióxido de azufre, SO₂

El dióxido de azufre es un compuesto producido durante la oxidación del azufre en presencia de oxígeno y pertenece a la familia de los óxidos de azufre (SO_x). Estos gases tienen una gran afinidad por el agua y se disuelven fácilmente. Es emitido a la atmósfera por varias fuentes naturales, la principal es la oxidación del material orgánico que contiene azufre durante la reducción del sulfato de hidrógeno en condiciones anaerobias. En ambientes proviene principalmente de la quema de

³². SIMAT [<http://www.calidadaire.df.gob.mx/calidadaire/index.php?opcion=4&opcionrecursostecnicos=11>]

³³ *Ídem*.

³⁴ Rodríguez, S y Ruiz, C (2012) "Inventario de emisiones de la zona metropolitana del valle de México" *Contaminantes criterio*, Secretaria del medio ambiente, Gobierno del Distrito Federal, Primera edición. P 29

³⁵ SIMAT; *Op o cit*.

³⁶ Rodríguez, S y Ruiz, C (2012) *op o cit*. P 31.

combustibles sólidos como el carbón vegetal y combustibles derivados del petróleo.³⁷ La mayoría de las emisiones en la ZMCM se generan por las industrias, en particular por la fabricación de productos a base de minerales no metálicos y en menor cantidad por la industria química y de papel.³⁸

Partículas

En contaminación atmosférica se reconoce como partícula cualquier material sólido o líquido con un diámetro que oscila entre 0.0002 y 500 micrómetros (μm). En conjunto se designan como partículas suspendidas totales (PST). Las fuentes de emisión pueden ser naturales o antropogénicas. Entre las primeras se encuentran: erosión del suelo, material biológico fraccionado, erupciones volcánicas e incendios forestales, entre otras. Las fuentes antropogénicas más comunes son las que se producen en la combustión de productos derivados del petróleo, por la quema en campos agrícolas y en diversos procesos industriales. Se clasifican de diferentes maneras: por su efecto en la salud humana, como producto derivado de un proceso natural o antropogénico y por sus características físicas.

Partículas menores a 10 micrómetros (PM_{10}) ($\leq 10 \mu\text{m}$). Son partículas de diámetro aerodinámico y se consideran perjudiciales para la salud debido a que no son retenidas por el sistema de limpieza natural del tracto respiratorio.

Partículas menores a 2.5 micrómetros ($PM_{2.5}$) ($\leq 2.5 \mu\text{m}$). Son partículas de diámetro que representan un mayor riesgo para la salud humana y pueden ser un factor de riesgo de muerte prematura en la población.³⁹

En la ZMCM las principales fuentes antropogénicas de partículas están vinculadas con los procesos de combustión interna de vehículos automotores, erosión de las vías de comunicación tanto pavimentadas como no pavimentadas, la industria de la construcción y la formación fotoquímica de aerosoles con contenido de nitrato y sulfato.⁴⁰ El cuadro 3, muestra el inventario de emisiones anuales de contaminantes y del sector de contaminación de manera general en el año 2010.

³⁷ SIMAT *op o cit.*

³⁸ Rodríguez, S y Ruiz, C (2012) *op o cit.* Pp 32

³⁹ SIMAT; *op o cit.*

⁴⁰ *Ídem*

Cuadro 3. Emisiones Anuales.

Emisiones al año								
Sector/categoría	[t/año] por contaminante							
	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COT	COV	NH ₃
Industrial	5,721	1,219	7,423	6,324	13,953	169,514	150,933	145
Fuentes móviles	3,720	2,769	411	1,587,662	169,005	200,010	188,414	4,448
Servicios y comercios	349	298	245	11,441	5,878	44,593	35,557	N/S
Habitacional	905	880	19	4,427	4,274	203,913	164,747	30,237
Construcción	845	607	N/S	4,767	12,001	1,441	1,381	N/S
Agrícola	2,300	652	8	1,746	4,683	529	491	2,182
Ganadero	112	13	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	4,824
Disposición de residuos	N/A	N/A	N/A	153	N/A	330,557	16,090	N/E
Vialidades sin/con pavimento	17,046	2,615	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Incendios	97	86	9	992	32	78	42	9
Vegetación	N/A	N/A	N/A	N/A	5,026	44,774	44,774	N/A
Erosión eólica del Suelo	511	108	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Total	31,606	9,247	8,115	1,617,512	214,852	995,409	602,429	41,845

Fuente: Rodríguez, S y Ruiz, C (2012).
Elaboró: Rodríguez Sánchez Luis Ángel.

Las fuentes puntuales aportan el 91.45% del SO₂, siendo la fabricación de productos a base de minerales no metálicos la principal con el 59.20%. Según el Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (2007), la fabricación de productos a base de minerales no metálicos comprende la elaboración de productos a base de arcillas y minerales refractarios; de vidrio y productos de vidrio; de cemento y productos de concreto; de cal; de yeso y productos de yeso. Además, esta clasificación incluye a las empresas dedicadas a la obtención de arcilla integrada con la fabricación de productos terminados y a la fabricación de vidrio de uso automotriz, entre otros.

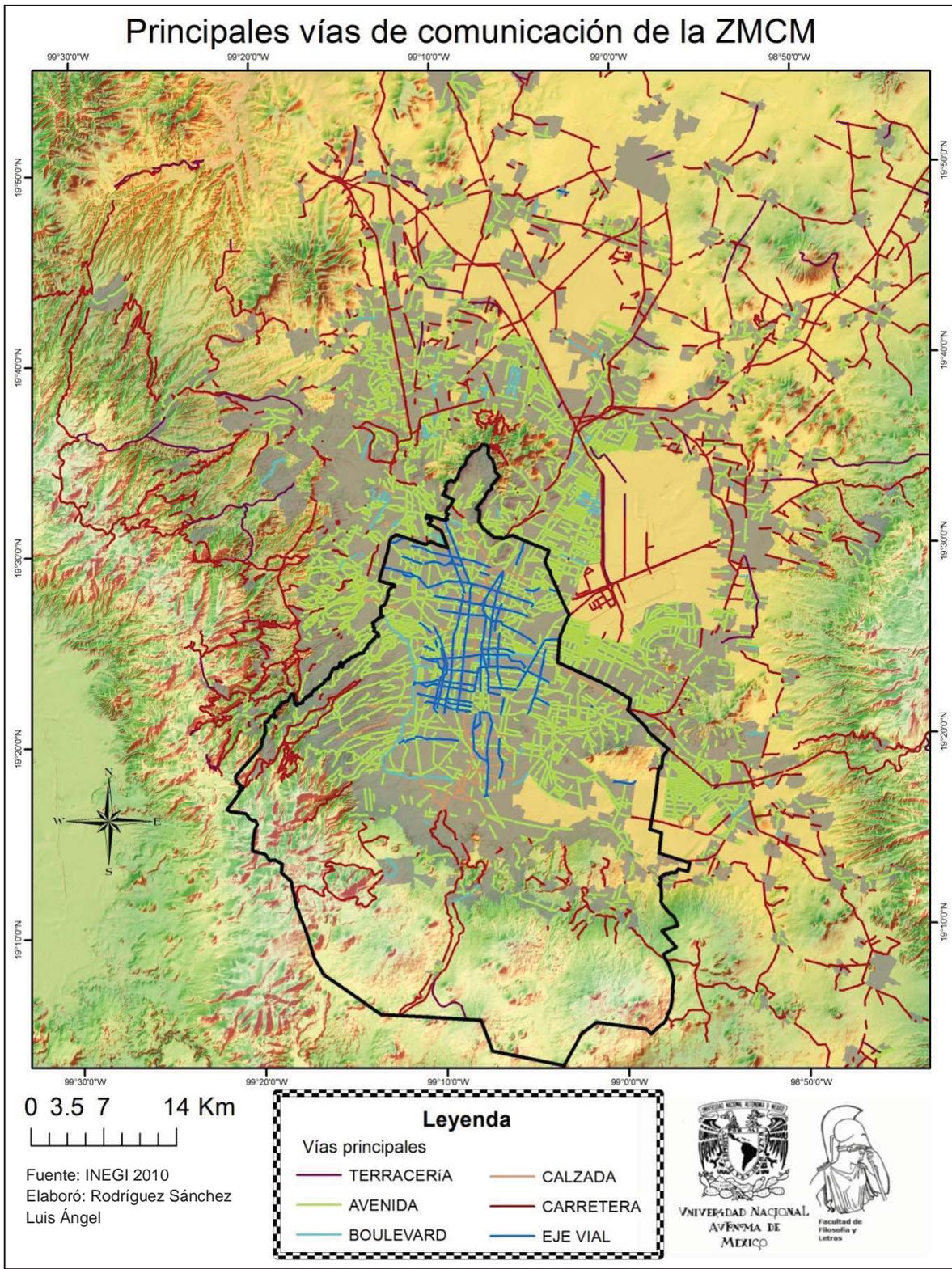
Las fuentes de área aportan gran cantidad en porcentaje de varios contaminantes, el 68.50 % de PM₁₀ y el 55.70 % de PM_{2.5}, siendo las vialidades pavimentadas y sin pavimentar las que contribuyen con el 53.93 % para PM₁₀ y 28.27 % para PM_{2.5}. Las fuentes móviles aportan el 98.17% de CO, los autos particulares el 26.55 %, los taxis un 13.96 %, Pick up y vehículos de carga hasta 3.8 ton. el 11.77 %, las camionetas particulares el 9.44 % y los vehículos de carga mayores a 3.8 ton. un 9.55 %. También las fuentes móviles aportan un 78.64 % de NO_x siendo los autos particulares los que aportan un 20.50 %, los taxis un 12.71 % y los autobuses el 11.78 %. Para conocer con mayor precisión el porcentaje y el sector de los focos de contaminación revisar el anexo 1.

Las vías de comunicación son un foco de contaminación importante, se consideran de área por las partículas generadas por la erosión del suelo, como también móviles, ya que en ellas circulan todos los tipos de vehículos que emiten contaminantes atmosféricos (Mapa 4). Las vías modeladas en este mapa son las principales en cuanto al número de carriles y flujo vehicular, ya que en ellas es donde realmente se producen los mayores niveles de contaminación derivadas de fuentes móviles; en ellas se traslada todo tipo de vehículos como los trasportes de carga y de pasajeros.

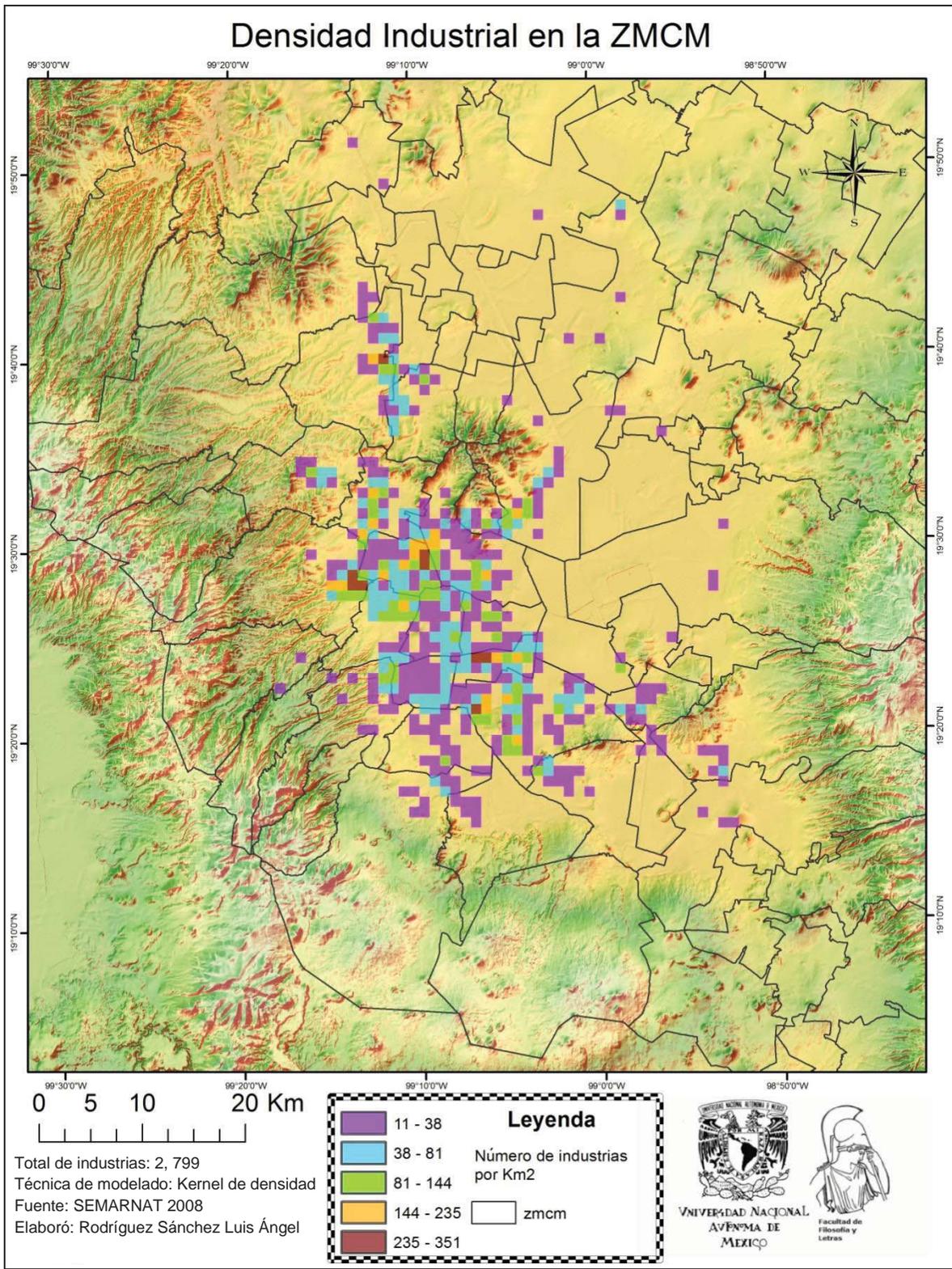
Las industrias, a diferencia de las vías de comunicación, tienen su posición puntual en el espacio y se conocen las horas en las que emiten contaminantes (Mapa 5, representación mediante kerneles de densidad). Las industrias modeladas son aquellas que proporciono SEMARNAT, las cuales reportan sus contaminantes a la dirección general de contaminación atmosférica, por que se conoce con exactitud su localización y el tipo de industria al que pertenecen.

La generación de contaminantes varía en intensidad conforme transcurre el día, ya que los contaminantes se generan de acuerdo con los horarios de actividad de la población. Se conocen cinco horas de máxima generación de emisiones, que contribuyen con el 29% de las emisiones diarias. Entre las 6:00 y 8:00 horas de la mañana, cuando inician los viajes escolares y laborales, se produce el 8% de las emisiones diarias. Según estadísticas del INEGI, aproximadamente el 27% de los viajes ocurren entre las 6:00 y las 8:00 horas, esto ocasiona una saturación de vialidades y disminución de la velocidad de tránsito, lo cual se ve reflejado en el aumento de la generación de emisiones durante las primeras horas de la mañana. La mayor cantidad de emisiones se genera entre las 13:00 y 14:00 horas en días laborales, coincidiendo principalmente con el horario de salida de las escuelas y horas de comida de los trabajadores. Otra emisión importante ocurre a las 18:00 horas, cuando se terminan las jornadas laborales.⁴¹

⁴¹ Rodríguez, S y Ruiz, C (2012), *op c ti*, p 27-28.



Mapa 4. Principales vías de comunicación en la ZMCM.



Mapa 5. Densidad Industrial en la ZMCM.

2.3-Importancia del monitoreo atmosférico en la ZMCM.

En la actualidad se cuenta con organismos que crean medidas para mitigar los altos niveles de contaminación, sin embargo el alto índice demográfico de la ZMCM genera elevados niveles de contaminación.

Después de la expansión inicial de la Revolución Industrial que comenzó a principios del siglo XIX, la contaminación llegó a convertirse en un problema serio; *“miles de fábricas que quemaban carbón de baja calidad empezaron a lanzar humo a la campiña. Los ingleses no se preocupaban por el problema, en realidad, acogieron bien el humo que salía de las chimeneas, era señal de prosperidad, decían que donde hay porquería, hay dinero. De esta revolución, la contaminación dio un paso gigantesco”* (Rico, 2001).

A nivel mundial, la llegada del siglo XX produjo los mayores aportes con el desarrollo del automóvil y los avances en la industria y agricultura. Con el tiempo no se hicieron esperar las consecuencias de todo ello:

1. Valle del río Mosa, Bélgica, diciembre de 1930. El humo generado por las fábricas, combinado con la niebla, formó una mezcla que afectó a miles de personas y causó la muerte de 70 de ellas en tres días.
2. Donora, Pensilvania, Estados Unidos, octubre de 1948. Las emisiones de una fundición de zinc y de una fábrica de alambre, acero y ácido sulfuroso, que quedaron retenidas en el valle a causa de inversión térmica, unidas a las emisiones producidas por la combustión del carbón que utilizaban las locomotoras afectaron a 42% de una población de 5 910 personas, quienes presentaron irritación de ojos, nariz y garganta, así como tos, dolor de cabeza, náusea y vómito. En este caso, el accidente de contaminación ocasionó la muerte de 20 personas.
3. Poza Rica, Veracruz, México, noviembre de 1950. En una planta petrolera de esta zona se produjo un accidente que ocasionó la liberación de sulfato de hidrógeno y debido a las condiciones meteorológicas, el gas no se dispersó, lo que provocó la muerte de 22 personas y la hospitalización de 320 más por dolor de cabeza, irritación de ojos, tos y problemas respiratorios. Además, murieron todos los canarios de la zona y alrededor del 50% de los pollos, gansos, ganado, cerdos y gatos.
4. Londres, Inglaterra, diciembre de 1952. Durante 5 días, la ciudad quedó envuelta en una nube de humo. Al término de nueve días hubo 2 851 muertes más de las previstas.
5. Los Ángeles, Estados Unidos, 1942, 1954 y 1955. Se registraron casos de asma, bronquitis y un aumento del índice de mortalidad de personas de más de 65 años, sobre todo de las enfermas del corazón o los pulmones. Para esas fechas, el químico Arie Jan haagen-Smith informó que la luz solar hacía que los hidrocarburos y los óxidos de nitrógeno reaccionaran

para formar ozono y otros oxidantes fotoquímicos, acuñándose el concepto de smog fotoquímico.⁴²

“Este nuevo aspecto de las agresiones al medio ambiente sobre los seres humanos infundió la urgencia de iniciar programas de evaluación y control. Los países industrializados fueron los primeros en sufrir las consecuencias de su desarrollo tecnológico, su incremento poblacional y su expansión urbana, y quizás por ello, fueron los primeros en asignar los recursos financieros necesarios para el desarrollo de programas” (Soto, 2010).

Los gobiernos latinoamericanos se preocuparon de la contaminación del aire al final de la década de los cincuenta, realizando algunas mediciones esporádicas de ciertos contaminantes, desarrolladas principalmente por universidades y servicios de salud ocupacional. En la Ciudad de México, por un lado, la Secretaría de Salubridad y Asistencia, utilizando métodos diseñados para estudios de higiene ocupacional en ambientes de trabajo, instaló cuatro estaciones de muestreo ubicadas en el Centro, Aeropuerto, Tacuba y Tlalnepantla, que registraban dióxido de azufre, y partículas suspendidas, debido a que se pensaba que estos eran los contaminantes de las zonas urbanas. Por otro lado, la torre de ciencias de la UNAM, Fomento Minero y la Comisión Hidrológica de la cuenca del Valle de la Secretaria de Recursos Hidráulicos realizaron estudios de los que consideraban los principales gases contaminantes (dióxido de azufre, óxidos nitrosos, ozono y aldehídos) e instalaron 227 estaciones de seguimiento para el estudio de las partículas. Las primeras sobre la contaminación atmosférica en la ciudad de México fueron encabezadas por Humberto Bravo, en el año de 1960, las cuales demostraban la existencia de contaminación.⁴³

Para fines de la década de los ochenta, se estableció la idea de que alrededor de la mitad de los sujetos fumadores de la Ciudad de México presentaban enfermedad de las vías aéreas periféricas y que uno de cada 10 habitantes presentaba cambios en su epitelio respiratorio del tipo de la metaplasia escamosa. Por esta época, no encontraban correlación entre la contaminación del aire y los problemas alérgicos.

En 1977, se desarrolla el Índice Mexicano del Calidad de Aire (IMEXCA) basado en el Pollutant Standard Index (PSI) norteamericano y en el concepto UNIPEX (SMA, 1979). Este índice estableció parámetros adimensionales de calidad de aire para CO, SO₂, O₃, PST y el producto SO₂ x PST en una escala de cero a 500. En 1982, se cambió el nombre del índice de la calidad del aire de IMEXCA al IMECA (Índice Metropolitano de la Calidad del Aire), en virtud de que se medía solamente en la cuenca de México, con difusión a la comunidad por la prensa y transmisiones de radio y televisión.

⁴⁴ Posteriormente el IMECA midió seis subíndices y los siguientes contaminantes: monóxido de carbono, ozono, bióxido de nitrógeno, partículas suspendidas totales, bióxido de azufre y el producto sinérgico de bióxido de azufre y partículas suspendidas totales, de estos seis

⁴² Rico F. (2001) Daños a la salud por contaminación atmosférica, IMSS, Universidad del Estado de México, Toluca, México. pp 47-48.

⁴³ Soto, N. (2010). *Op o cit*; pp 10

⁴⁴ Rico F. (2001). *Op o cit*; pp 58.

subíndices se relaciona el que presenta un valor máximo en el IMECA y se define la calidad del aire y el contaminante principal. Para 1990, entró en funcionamiento la Red Automática del Monitoreo Atmosférico (RAMA) con 25 estaciones para el reporte continuo 24 hrs, los 365 días del año, en comparación de la red manual que reportaba una vez cada seis días.⁴⁵ En el 2000, la Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal, a través de la Dirección General de Gestión Ambiental del Aire, inicia la Integración del Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México (SIMAT), con la finalidad de unificar los esfuerzos destinados a la medición de contaminantes atmosféricos y parámetros meteorológicos. La creación del SIMAT incorpora una visión de mejora continua de los productos y servicios que ofrece, por medio de la evaluación de su representatividad, la medición de partículas menores a 2.5 micrómetros e hidrocarburos, el acceso a bases de datos y la difusión de la información por medio de publicaciones e indicadores ambientales.⁴⁶ Actualmente el SIMAT cuenta con varios subsistemas, entre los que destacan dos:

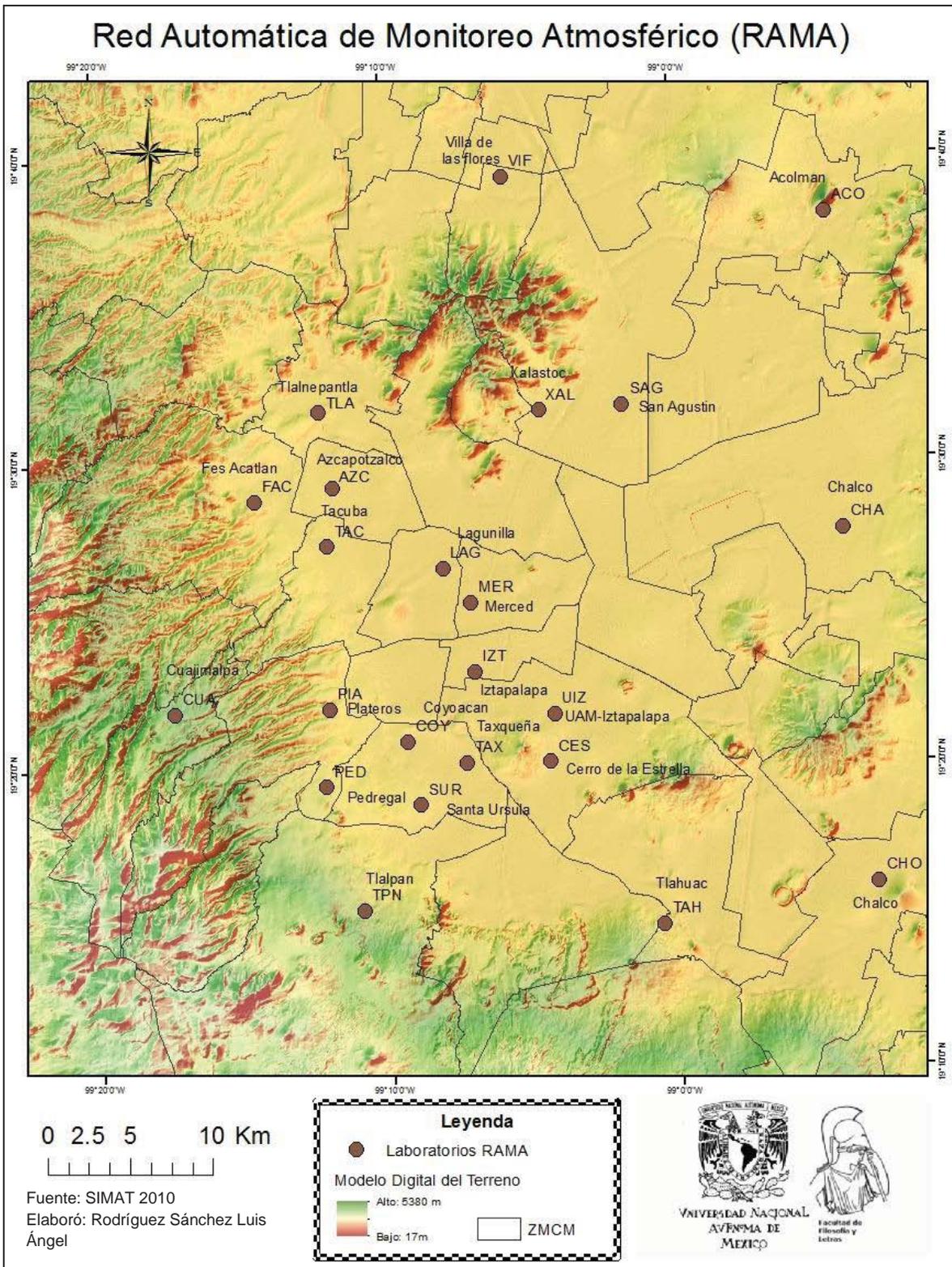
- 1) La Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA) es el subsistema del SIMAT que realiza mediciones continuas y permanentes de ozono (O₃), dióxido de azufre (SO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x), monóxido de carbono (CO), partículas menores a 10 micrómetros (PM₁₀) y partículas menores a 2.5 micrómetros (PM_{2.5}). La información que proporciona esta red es primordial en la evaluación oportuna de la calidad del aire en la Ciudad de México y su difusión mediante el IMECA. La rapidez con que se envía y recibe la información, permite la instrumentación inmediata del Programa de Contingencias Ambientales Atmosféricas (PCAA) en situaciones de riesgo para la salud de la población (Mapa 6).

En la actualidad la RAMA cuenta con 34 estaciones de monitoreo ubicadas en puntos estratégicos de la Ciudad de México, 21 están localizadas en el Distrito Federal y 13 en el Estado de México. Los criterios técnicos para la ubicación de las estaciones son: densidad de población, distribución de fuentes de emisión, meteorología y topografía. Para el año 2010 solo se encontraban en funcionamiento continuo 23 estaciones, las cuales están localizadas en el Mapa 6.

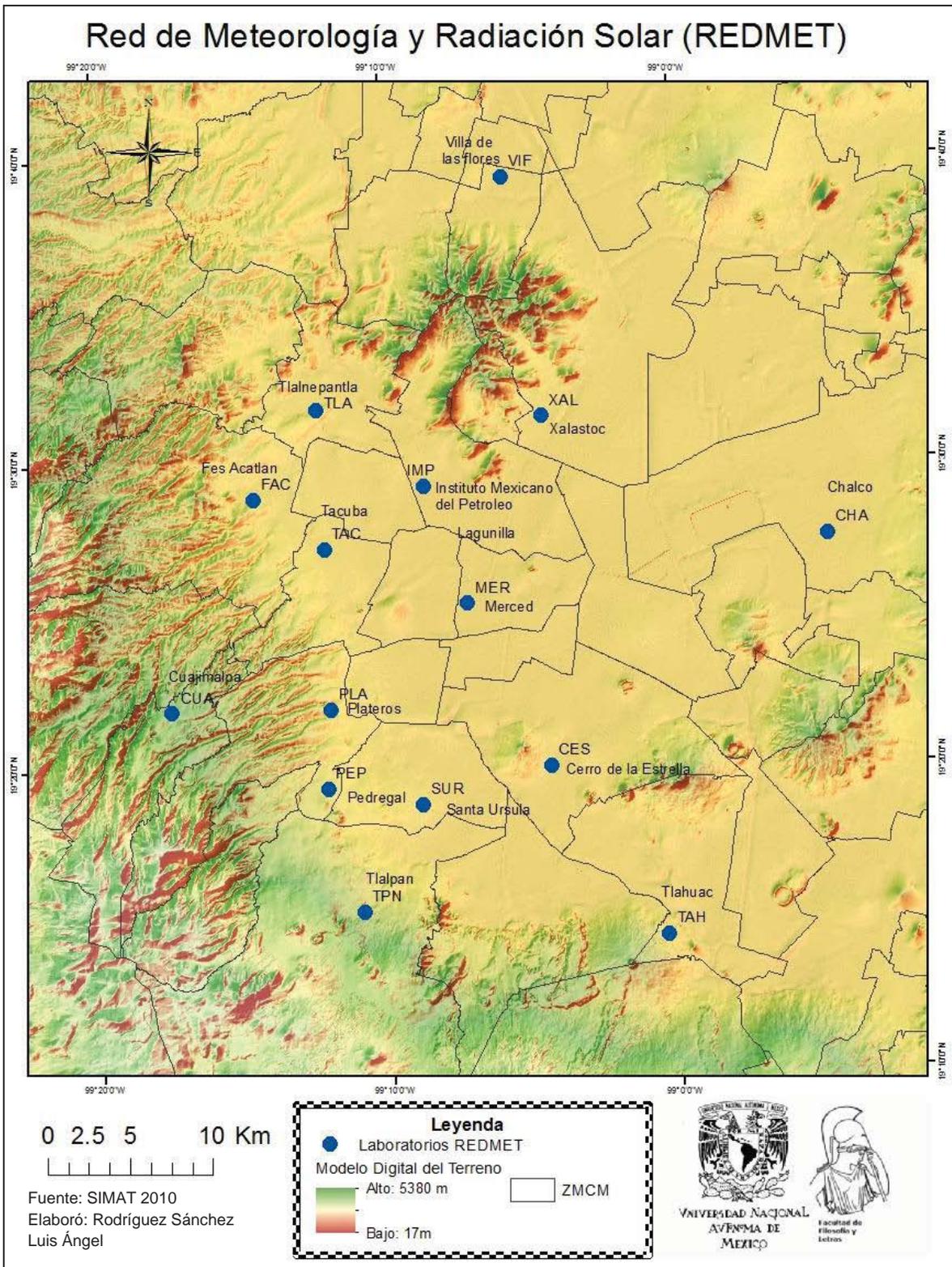
- 2) La Red de Meteorología y Radiación Solar (REDMET) es el subsistema del SIMAT que tiene como función principal proporcionar información de los parámetros meteorológicos para elaborar el pronóstico meteorológico y modelos de dispersión, con la finalidad de analizar el desplazamiento de los contaminantes a través del tiempo. Otra función primordial es la elaboración del Índice Ultravioleta (IUV) para informar a la población sobre la exposición saludable a los rayos del sol. La información recabada es almacenada para integrar bases de datos públicas (Mapa 7).

⁴⁵ Rico F. (2001). *Op o cit*; p 59.

⁴⁶ SIMAT. *Op o cit*.



Mapa 6. Laboratorios "RAMA".



Mapa 7. Laboratorios "REDMET".

2.3.1- Contaminantes que superan las normas oficiales de salud ambiental.

Para los contaminantes del aire se emplean como unidad de medida tanto microgramos/metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) como las partes por millón (ppm); el primero es el estandarizado por el Sistema Internacional de Medidas y el segundo es el más común. El término ppm se refiere al número de veces que un contaminante gaseoso se encuentra en un millón de partes de aire. Cuando se trata de dispersiones muy diluidas se emplean las partes por billón (ppb). Ambos términos se pueden referir tanto a volumen (litros) como a peso (gramos u onzas) siempre y cuando se apliquen las mismas unidades para las dos fases (dispersa y dispersante).⁴⁷ El SIMAT mide los contaminantes de la siguiente forma:

Cuadro 4. Forma de medir los contaminantes.

Forma de medir los contaminantes	
Contaminante (símbolo)	Unidades de medición
Ozono (O_3)	Ppm
Dióxido de Nitrógeno (NO_2)	Ppm
Óxidos de Nitrógeno (NO_x)	Ppm
Monóxido de Nitrógeno (NO)	Ppm
Dióxido de Azufre (SO_2)	Ppm
Monóxido de Carbono (CO)	ppm
Partículas menores a 10 micrómetros (PM_{10})	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
Partículas menores a 2.5 micrómetros ($\text{PM}_{2.5}$)	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
Simbología: ppm – partes por millón, $\mu\text{g}/\text{m}^3$ - microgramos/metro cúbico	
Fuente: SIMAT 2014	
Elaboró: Rodríguez Sánchez Luis Ángel	

La exposición a los contaminantes atmosféricos está en gran medida fuera del control personal y requiere medidas de las autoridades públicas a nivel nacional, regional e internacional. En la actualidad hay normas con valores recomendados para regular la exposición de los seres humanos a la contaminación atmosférica. México cuenta con un marco regulatorio vigente para la protección de la salud pública contra los efectos del deterioro ambiental. La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) señala que la calidad del aire debe ser satisfactoria en todos los asentamientos humanos y regiones del país. Asimismo, la Ley General de Salud establece que las autoridades sanitarias deberán proponer las normas necesarias que regulen los niveles de contaminantes ambientales y tomar medidas para proteger la salud humana ante riesgos asociados a la contaminación.⁴⁸ En este contexto, la Secretaría de Salud publicó las Normas Oficiales Mexicanas de salud ambiental (NOM), que establecen valores límite de protección a la salud de la población contra los daños provocados por los contaminantes ozono, dióxido de nitrógeno, monóxido de carbono, dióxido de azufre, plomo, partículas suspendidas

⁴⁷ Jiménez B. (2001) La contaminación ambiental en México: causas efectos y tecnología apropiada, Limusa, Colegio de Ingenieros Ambientales México, A.C, Instituto de Ingeniería de la UNAM. p 317.

⁴⁸ Retama A. y Granados G. (2010) "Calidad del aire en la ciudad de México: Informe 2010", la secretaria del medio ambiente del gobierno del distrito federal, Hecho en México; p 18.

totales, partículas menores a 10 micrómetros y partículas menores a 2.5 micrómetros.⁴⁹ Así como hay normas nacionales, también existen normas internacionales: los estándares de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y los estándares de la Agencia de Protección al Ambiente de los Estados Unidos (US EPA, por sus siglas en inglés).

Cuadro 5. Contaminantes que cumplen las Normas Oficiales de Salud Ambiental.

Contaminantes que cumplen las Normas Oficiales de Salud ambiental									
Contaminante	Valores								
		NOM			US EPA			OMS	
	Valor Recomendado	Valor 2010	Cumple	Valor Recomendado	Valor 2010	Cumple	Valor Recomendado	Valor 2010	Cumple
Dióxido de Azufre	0.130 ppm máximo promedio 24 h	0.076 ppm	Si	0.140 ppm promedio de 24h	0.076 ppm	Si	20 µg/m ³ promedio de 24h	156 µg/m ³	NO
	0.30 ppm promedio anual	0.010 ppm	Si	0.030 ppm promedio anual	0.010 ppm	Si	500 µg/m ³ promedio de 10 min	967 µg/m ³	NO
				0.075 ppm promedio trianual del percentil	0.194 ppm	No			
Dióxido de Nitrógeno	0.210 ppm máximo promedio horario	0.171 ppm	SI	0.100 ppm Promedio trianual del percentil 98	0.142 ppm	NO	200 µg/m ³ promedio de 1h	252 µg/m ³	NO
				0.053 ppm promedio anual	0.037 ppm	SI	40 µg/m ³ promedio anual	55 µg/m ³	NO
Monóxido de carbono	11.0 ppm máximo promedio de 8h	7.5 ppm	SI	9.0 ppm máximo diario de 8h	7.5 ppm	SI	10 000 µg/m ³ promedio diario de 8h	6 731 µg/m ³	SI
				35.0 ppm máximo promedio de 1h	11.3 ppm	SI	30 000 µg/m ³ promedio de 1h	10 142 µg/m ³	SI

⁴⁹ Retama A. y Granados G. (2010) *Op o cit.* p 19.

Contaminante		NOM			US EPA			OMS	
	Valor Recomendado	Valor 2010	Cumple	Valor Recomendado	Valor 2010	Cumple	Valor Recomendado	Valor 2010	Cumple
Ozono	0.110 ppm máximo promedio horario	0.208 ppm	NO	0.075 ppm promedio trianual del 4º máximo 8h	0.125	NO	100 µg/m³ máximo promedio de 8h	237 µg/m³	NO
	0.080 ppm quinto máximo anual de 8h	0.123 ppm	NO						
Partículas menores a 10 micrómetros	120 µg/m³ percentil 98 promedio de 24h	186 µg/m³	NO	150 µg/m³ promedio trianual del 2º máximo de 24h	189 µg/m³	NO	50 µg/m³ percentil 99, 24h	227 µg/m³	NO
	50 µg/m³ promedio anual	104 µg/m³	NO				20 µg/m³ promedio anual	104 µg/m³	NO
Partículas menores a 2.5 micrómetros	65 µg/m³ percentil 98 promedio de 24h	64 µg/m³	NO	35 µg/m³ promedio trianual del percentil 98, 24h	56 µg/m³	NO	25 µg/m³ percentil 99, 24h	64 µg/m³	NO
	15 µg/m³ promedio anual	25 µg/m³	NO	15 µg/m³ promedio trianual	26 µg/m³	NO	10 µg/m³ promedio anual	25 µg/m³	NO
Fuente: Retama A. y Granados G. (2010) Elaboro: Rodríguez Sánchez Luis Ángel									

Como se puede observar en el cuadro 5, son varios los contaminantes que superan los niveles sugeridos para regular la protección a la salud. El dióxido de azufre cumple con las NOM y con un rango aceptable, desafortunadamente para los límites de la OMS los sobrepasa por mucho. El dióxido de nitrógeno cumple con las NOM y sobrepasa por un poco los valores de las OMS y el promedio anual según el EPA US. El monóxido de carbono es el único contaminante que está por debajo de todos los valores establecidos, en el caso de algunos con un amplio margen. El Ozono supera todos los límites establecidos en la mayoría de los casos por más del doble, al igual que las partículas menores a 10 y 2.5 micrómetros.

2.4-Daños a la salud por contaminación atmosférica.

De acuerdo con Zapata (2000, citado por Rico 2001), el incremento exponencial de la producción y uso de químicos ha tenido un impacto profundo sobre el ambiente. La exposición humana a estos químicos, frecuentemente denominados xenobióticos, está relacionado con el aumento en la incidencia de varios eventos patológicos. La contaminación ambiental es un subproducto de la vida contemporánea y es un riesgo para la salud de los individuos expuestos a ella. La incidencia de episodios de contaminación ambiental fotoquímica se ha asociado con una variedad de efectos tóxicos sobre la salud del ser humano.

En la actualidad, hay datos y cifras que relacionan la salud de la población y la contaminación atmosférica, pero esto no fue siempre así, en un principio se hicieron experimentos con animales para asegurar que la contaminantes atmosféricos causan daños a la salud humana.

En 1987, Herkema y colaboradores realizaron un estudio utilizando monos, con la principal meta de establecer patrones de sensibilidad y respuesta de las diferentes regiones nasales, evaluando las respuestas morfológicas y morfométricas del epitelio nasal no olfatorio a la exposición de concentraciones ambientales de ozono. Utilizó 28 macacos divididos en cuatro grupos, donde el grupo 1 fue expuesto al aire limpio filtrado, el grupo 2 fue expuesto a concentraciones de ozono de 0.15 ppm. 8 hrs al día durante seis días, el grupo 3 estuvo expuesto a 0.15 ppm de ozono durante 8 hrs por 90 días y el grupo 4 a 0.30 ppm de ozono durante 8 hrs por 90 días. El estudio demostró que las exposiciones a las concentraciones ambientales de ozono durante seis a 90 días pueden inducir cambios morfológicos en el epitelio nasal respiratorio de los primates. Después de seis días de exposición, las lesiones del epitelio de la superficie en las porciones anteriores de la nariz se caracterizaron por hiperplasia de células secretoras, pérdida ciliar, necrosis de células secretoras e influxo de células inflamatorias.⁵⁰

En 1990 Johnson y colaboradores publicaron un estudio sobre la respuesta proliferativa del epitelio nasal de ratas a ozono. Integran su investigación exponiendo a su espécimen a concentraciones de ozono de 0.12, 0.27, 0.8 ppm durante 6 hrs al día durante 7 días. En dicha investigación se monitoreo la replicación de Ácido desoxirribonucleico (DNA) a través de la incorporación de bromodeoxiuridina, las células marcadas. Las investigaciones concluyeron que los datos observados, muestran que el epitelio nasal es sensible a un contaminante ambiental común (ozono) y que esta sensibilidad puede ser analizada midiendo la replicación de DNA.⁵¹

Posteriormente se realizaron estudios en seres humanos. *“Los humanos somos respiradores nasales por excelencia, los ritmos de ventilación a través de las vías nasales exceden los 10 000 por día, un promedio de aproximadamente 15 kg de aire todos los días. Por ser el humano un respirador nasal por naturaleza los volúmenes de aire inspirado contaminado entran en contacto primero con las células de revestimiento de la mucosa nasal”* (Zapata, 2000, citado por Rico, 2001).

⁵⁰ Rico F. (2001). *Op cit*; p 263.

⁵¹ *Ibidem*. p 164-265.

Muchos estudios relacionan a la contaminación atmosférica con las infecciones agudas de las vías respiratorias (IRAS). Las IRAS son una de las principales causas de consulta en los menores de 5 años. La complicación más grave de estas enfermedades puede llevar a la muerte a niños en pocas horas, ejemplo de lo anterior son la neumonía o pulmonía. También se pueden presentar otras complicaciones como la hipoacusia (pérdida de la audición) y la fiebre reumática (daño al corazón) como consecuencia de infecciones de oído y garganta, respectivamente. Dentro de las principales enfermedades se encuentran: Rinofaringitis, Faringoamigdalitis Congestiva, Faringoamigdalitis Purulenta, Otitis media y Neumonía.⁵²

Evidencia de lo anterior se puede ver en un estudio que explora la asociación de los contaminantes atmosféricos y las infecciones agudas de las vías respiratorias en niños de Guadalajara, Jalisco. Pese a que las concentraciones de contaminantes se mantienen por debajo de la norma oficial, el monóxido de carbono y el dióxido de nitrógeno inciden en la salud de la población infantil del área urbana de Guadalajara.⁵³

Las infecciones respiratorias agudas consideradas para ese estudio correspondieron a las codificadas en la Décima Clasificación Internacional de las enfermedades como rinofaringitis aguda, sinusitis aguda, faringitis aguda, amigdalitis aguda, laringitis y traqueítis aguda, laringitis obstructiva aguda y epiglotitis, infecciones agudas de las vías respiratorias superiores de sitios múltiples o no especificados. Asimismo, incluyeron neumonía viral no clasificada en otra parte, neumonía por organismo no especificado, bronquitis aguda y bronquiolitis aguda, consideradas infecciones agudas de las vías respiratorias inferiores. Analizando la asociación mediante el cálculo de coeficientes de correlación y determinación, regresión simple y múltiple, análisis de varianza (ANOVA) y prueba t de las infecciones agudas de las vías respiratorias con el monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno, ozono, partículas menores de 10 micras y dióxido de azufre, entre 2000 y 2002. El conjunto de pruebas mostró vínculos directos estadísticamente significativos ($r \geq 0.05$) con las infecciones agudas de las vías respiratorias en los niños menores de cinco años de $r = 0.05$ para el CO y $r = 0.09$ para el NO₂; por su parte, en los contaminantes O₃ ($r = 0.01$), PM₁₀ ($r = 0.02$) y SO₂ ($r = 0.04$) no se advierte relación alguna con las infecciones agudas de las vías respiratorias.⁵⁴

En otro estudio denominado “Efecto de la contaminación ambiental sobre las consultas por infecciones respiratorias en niños de la Ciudad de México”, se estudió la correlación entre la presencia de infecciones respiratorias altas y bajas con la exposición a ozono y bióxido de nitrógeno. Para modelar esta asociación se utilizó la técnica de regresión Poisson aplicada sobre modelos de riesgo lineal y no lineal con periodos de latencia entre las mediciones ambientales y la consulta de uno, dos y tres días, así como el promedio de las mediciones de los tres, cinco y siete días previos a la consulta. Esto resultó en estimaciones de un incremento de 50 ppb en el promedio horario de ozono de un día; al día siguiente, un incremento del 9.9% en las consultas de

⁵² Infecciones Respiratorias Agudas [<http://www.salud.gob.mx/unidades/conava/iras/faqiras.htm>].

⁵³ Ramírez, *et al*; (2006) “Contaminantes atmosféricos y su correlación con infecciones agudas de las vías respiratorias en niños de Guadalajara, Jalisco” Salud Publica México; Vol. 48. P 385-394.

⁵⁴ *Ibidem*, p 285-294.

urgencias por infecciones respiratorias altas en el periodo invernal, pudiendo incrementarse hasta en un 30% si el aumento se diera en cinco días consecutivos como promedio.⁵⁵ Las enfermedades consideradas para ese estudio fueron de acuerdo con la 9a. revisión de la Clasificación Internacional de Enfermedades, las siguientes: Rinofaringitis aguda, faringitis aguda, amigdalitis aguda, laringitis y traqueítis agudas; además de infecciones respiratorias de vías superiores de localización múltiple o no especificada. El correspondiente para vías respiratorias bajas comprendió los diagnósticos de bronquitis y bronquiolitis agudas, neumonía vírica, neumonía neumocócica, otras neumonías bacterianas, neumonía debida a otro microorganismo no especificado y asma. La población bajo estudio estuvo conformada por niños menores de 15 años.⁵⁶ Estos estudios relacionaron directamente a las enfermedades respiratorias con tres contaminantes principales que son: Ozono, bióxido de nitrógeno y monóxido de carbono en un periodo de tiempo a corto plazo.

En 2005, El Dr. Fustel realizó un estudio de la evaluación en cinco ciudades españolas del impacto en salud de la contaminación atmosférica por partículas, el cual dio como resultado que los niveles diarios de PM₁₀ por encima de 50 µg/m³ en Bilbao, Madrid y Sevilla son responsables de 1,4 muertes prematuras por 100.000 habitantes al año debido a sus efectos a corto plazo y de 2,8 muertes/100.000 en un periodo de hasta 40 días tras la exposición.⁵⁷ Los indicadores de salud que tomaron en cuenta fueron la mortalidad por todas las causas excluyendo externas, mortalidad cardiovascular, mortalidad respiratoria, ingresos hospitalarios urgentes cardiacas e ingresos hospitalarios por urgencias respiratorias.

En España se realizó en el proyecto EMECAS (2005) un protocolo del estudio multicriterio de los efectos a corto plazo de la contaminación atmosférica sobre la salud, en el que se tomaron en cuenta los siguientes contaminantes: partículas en suspensión, SO₂, NO₂, CO y O₃.⁵⁸

Las tasas diarias de mortalidad por todas las causas menos las externas oscilaron alrededor de las dos defunciones por 100.000 habitantes por día, correspondiente a 7,3 por 1000 habitantes al año. Los valores más altos los presentó Barcelona (2,6 por 100.000), ciudad con el mayor porcentaje de residentes mayores de 70 años (14,2%).

Las enfermedades que tomaron en cuenta para el estudio EMECAS fueron las siguientes: Todas las causas excluyendo las externas, todas las causas excepto externas en personas mayores de 70 años, todas las del aparato respiratorio, cerebrovasculares, cardiacas, isquémicas del corazón, enfermedades respiratorias, asma, enfermedad pulmonar obstructiva crónica.

⁵⁵ Téllez, et al; (1997) "Efecto de la contaminación ambiental sobre las consultas por infecciones respiratorias en niños de la Ciudad de México" Salud Publica México, vol. 39 n. 6 Cuernavaca. 11p

⁵⁶ Téllez, et al; (1997), *Op o cit.*, 11p.

⁵⁷ Fustel, et al; (2005) "Evaluación en cinco ciudades españolas del impacto en salud de la contaminación atmosférica por partículas. Proyecto europeo APHEIS" Departamento de Sanidad del Gobierno Vasco, Revista Española de Salud Publica, v. 79 n. 2.

⁵⁸ Ballester, et al; (2005) "El proyecto EMECAS: Protocolo del estudio multicriterio en España de los efectos a corto plazo de la contaminación atmosférica sobre la salud" Revista española de Salud Publica, v. 79 n. 2 Madrid.

En 2011, El Dr. Vargas llevó a cabo una revisión bibliográfica de los efectos de la fracción gruesa PM_{10} y $PM_{2.5}$ del material particulado sobre la salud humana, en donde resumió los efectos en la mortalidad, dicha revisión consistió en el análisis de 17 estudios publicados en la literatura que analizan la asociación de la mortalidad diaria y niveles diarios de particulado grueso. Los estudios muestran que incrementos del particulado presentan un efecto en la mortalidad, en especial en ciudades de clima seco y altura. El estudio más grande realizado comprende 47 ciudades norteamericanas encontrando un efecto estadísticamente significativo ajustado por particulado fino en mortalidad total, cerebrovascular y respiratorio del orden de 0.47 a 1.11 % por cada $\mu g/m^3$ de incremento.⁵⁹

Así mismo revisó 15 estudios que analizan diferentes indicadores de morbilidad con incrementos de la contaminación diaria del PM_{10} y $PM_{2.5}$. Los resultados sugieren un efecto adverso del material particulado grueso sobre distintos indicadores de morbilidad aguda.

Además de estas afectaciones a la salud se han realizado otros estudios que analizan la exposición de los contaminantes durante el embarazo y desarrollo prenatal y neonatal.

Espugles (2007) publicó un artículo espacial de exposición a contaminantes atmosféricos durante el embarazo, desarrollo prenatal y neonatal analizando el efecto en salud como crecimiento fetal y efectos reproductivos, así como problemas de salud infantil. Las variables de efecto relacionadas con el desarrollo fetal serán las utilizadas en otros estudios como el peso bajo al nacer (< 2.500 g), el retardo en el crecimiento intrauterino (peso por debajo del percentil 10, ajustado por tiempo de gestación y sexo) y el parto pretérmino (antes de la semana 37 de gestación). En cuanto a los efectos relacionados con la salud infantil, se valora la existencia de asma, infecciones, alergias, respuesta inmunitaria y desarrollo neurológico. Estos efectos se miden al año y a los 4 años de vida del niño mediante exploración clínica y psicológica, pruebas funcionales (*prick test*) y cuestionario estandarizado.⁶⁰

Otras conclusiones derivadas del estudio de Vargas (2011) , dan evidencia de la creciente relación de la contaminación ambiental del aire con una serie de resultados adversos, tales como parto prematuro, bajo peso al nacer o menor peso, recién nacidos pequeños para la edad gestacional y mortalidad perinatal especialmente postneonatal y anomalías congénitas. Cuarenta y un estudios revisados del $PM_{2.5}$ se asocian al parto prematuro, bajo peso al nacer y pequeños para la edad gestacional; así como el PM_{10} se correlaciona con pequeños para la edad gestacional.⁶¹

⁵⁹ Vargas, (2011) “Efectos de la fracción gruesa ($PM_{10-2.5}$) del material particulado sobre la salud humana. Revisión Bibliográfica”

⁶⁰ Espugles, *et al*;(2007) “Exposición a contaminantes atmosféricos durante el embarazo y desarrollo prenatal y neonatal: protocolo de investigación en el proyecto INMA (Infancia y Medio Ambiente)” Gaceta Sanitaria, v. 21 n. 2 Barcelona.

⁶¹ Vargas, (2011). *Op o cit*.

CAPITULO 3- ESTRATEGIA METODOLÓGICA DE LA INVESTIGACIÓN.

El análisis se llevó a cabo en cuatro etapas, la primera es la determinación de la temporalidad de la investigación, la segunda es el cálculo de la autocorrelación espacial de los grupos de edad vulnerables, la tercera es la modelación de los contaminantes y la evaluación multicriterio en función de los grupos de edad vulnerables y la cuarta son la mortalidad y su relación con el modelo propuesto.

3.1- Determinación temporal de la investigación.

Se determinó la temporalidad de la investigación de este estudio en relación con los niveles máximos de contaminación atmosférica y de la mortalidad por enfermedades relacionadas con la misma en un periodo a corto plazo, no mayor a 60 días, ya que no se consideraron enfermedades crónico degenerativas, solamente aquellas enfermedades y efectos que se producen por incrementos de la contaminación atmosférica. Las enfermedades que se consideraron en esta investigación tienen un respaldo en los estudios mencionados en el capítulo 2; sin embargo dichos estudios comentan algunas enfermedades de manera general, por lo que se necesitó del asesoramiento de médicos generales, en especial del Dr. Violante Huerta Julio Cesar, egresado de la Universidad Autónoma Metropolitana; con su ayuda se seleccionaron las enfermedades a utilizar en función de las enfermedades registradas en la base de datos del Sistema Nacional de información en Salud (SINAIS), la cual se toma como referencia para la clasificación general de enfermedades. El listado completo de las enfermedades seleccionadas se puede consultar en el cuadro 13 de la página 96.

La base de datos del SINAIS recopila la información de las defunciones de toda la República Mexicana para el año 2010; el dato espacial que toman en cuenta es la localidad, por lo que se realizó un filtrado tomando como base la información de localidades que están dentro de la ZMCM. A partir de las localidades filtradas, se hizo un histograma mediante la optimización de tablas dinámicas usando el programa Excel. El resultado tiene la función de mostrar los meses en los que se presentó la mayor cantidad de muertos por enfermedades relacionadas con la contaminación atmosférica. Posteriormente se realizó otro filtrado en función de los grupos vulnerables de edad seleccionados, que son de 0 a 4 años y mayores de 60 años, para conocer la temporalidad de los meses con mayor número de defunciones, con restricción a no exceder 2 meses.

3.2 Modelos de los grupos vulnerables de edad

Para conocer la auto-correlación espacial de los dos grupos de edad vulnerables se utilizó el índice de Moran, el cual tiene por objetivo determinar el grado de asociación existente entre las unidades espaciales vecinas. La asociación se presenta cuando existe una variación o patrón de comportamiento entre los valores de una variable a través del espacio (Anselin & Rey, 2010). Tiene su sustento en la primera ley de la geografía o el principio de auto-correlación espacial planteado por el Geógrafo Waldo Tobler en 1970 que dice: “todo está relacionado con todo pero las cosas que están más cercanas tienen mayor relación que las cosas más distantes” por lo que el Índice de

Moran representa un descriptor de proximidad de los objetos y una evaluación de la similitud de sus atributos (Anselin & Rey, 2010; Myint, 2010). Este varía de 1 a -1, igual que el coeficiente de Pearson. El valor 1 hace referencia a una perfecta auto-correlación espacial, donde las unidades espaciales vecinas presentan valores próximos, mientras que el valor de -1 representa una perfecta dispersión espacial, donde las unidades espaciales vecinas presentan valores muy diferentes. El cero significa que no existe patrón espacial, es decir, que las unidades vecinas presentan valores localizados en forma aleatoria. A continuación se muestra su expresión matemática (Myint, 2010).

$$I = \frac{n}{\sum_i \sum_j w_{ij}} \times \frac{\sum_i \sum_j w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_i (x_i - \bar{x})^2}$$

Donde:

n = número de unidades espaciales

indexados por i y j

x = Variable de interés

\bar{x} = Media de x

W_{ij} = Matriz de pesos espaciales

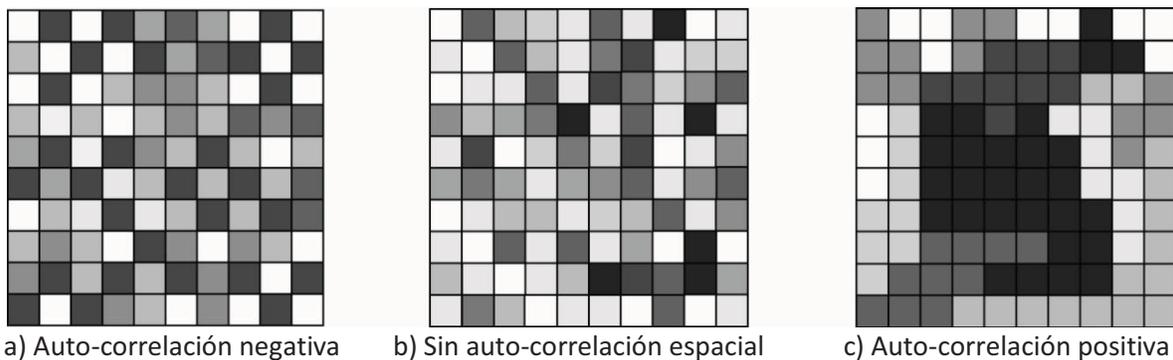


Figura 3. Tipo de vecindarios de autocorrelación.

Para la construcción de la matriz de pesos espaciales se utilizó el método basado en movimiento de Reina, este consiste en que si cualquier parte de los bordes o vértices que conforman las unidades territoriales se tocan son consideradas como vecinas.⁶² Existen dos tipos básicos de indicadores de autocorrelación espacial: (a) global, que mide la existencia de un patrón general de regionalización u organización espacial de datos; y (b) local o LISA (Local Indicator of Spatial Association), que evalúa la desagregación espacial de la I de Moran en cinco patrones espaciales en

⁶² Guía para estimar la pobreza infantil, UNICEF-CEPAL, Naciones Unidas. [<http://dds.cepal.org/infancia/guia-para-estimar-la-pobreza-infantil/guia-contenido-442.php>]

el interior de datos.⁶³ A continuación se muestra su expresión matemática del índice de Moran Local (Myint, 2010):

$$I_i = (z_i/m_2) \sum_{j=1}^n w_{ij}z_j, \quad j \neq i$$

Donde:

Z_i = es la desviación estándar del punto focal con respecto a la media local,

Z_j = es la desviación estándar del punto vecino con respecto a la media local,

m_2 = varianza local,

$W = [w_{ij}]$ es la matriz de pesos entre el punto focal y el punto vecino.

El Índice de Moran local puede reconocer cinco tipos de patrones espaciales:

- i) Alto-Alto: una unidad territorial con un valor de análisis por encima del promedio, rodeada significativamente por áreas vecinas que también se encuentran por sobre la media con respecto a la variable de interés. Estas unidades territoriales corresponden a los denominados conglomerados calientes (*hot spots*).
- ii) Bajo-Bajo: una unidad territorial con un valor de análisis inferior al promedio, rodeada por áreas vecinas que también se encuentran bajo la media en relación con la variable de interés. Estas unidades territoriales corresponden a los denominados conglomerados fríos (*cold spots*).
- iii) Bajo-alto: presencia de una unidad territorial con un valor de análisis bajo, rodeada significativamente por áreas vecinas con valores que se encuentran por sobre la media de la variable de interés.
- iv) Alto-Bajo: Presencia de una unidad territorial con un valor de análisis alto, rodeada significativamente por áreas vecinas con valores que se encuentran bajo la media de la variable de interés.
- v) Relación no significativa: presencia de unidades territoriales donde el valor de análisis de la variable de interés no se relaciona significativamente con los valores que presentan sus vecinos.⁶⁴

Se utilizó el software GeoDa desarrollado por el Dr. Luc Anselin, diseñado para poner en práctica las técnicas para el análisis exploratorio de datos espaciales y proporciona las estadísticas y modelos de autocorrelación espacial.⁶⁵ Con este método se determinaron los conglomerados calientes o hot spots de la población que principalmente está bajo riesgo en función de la edad de

⁶³ Rodríguez, R. (2013) Representación espacial y mapas. Cuadernos metodológicos, Centro de investigaciones sociológicas. España. P 24

⁶⁴ Guía para estimar la pobreza infantil, UNICEF-CEPAL, Naciones Unidas. *Op cit*

⁶⁵ ASU GeoDa center [<http://geodacenter.asu.edu/projects/opengeoda>]

la población, para lo cual se utilizó la información del censo de INEGI 2010 agregada en las Áreas Geoestadísticas Básicas (AGEB) de la población menor a 4 años (P_04) y la mayor a 60 años (P_23). Un ejemplo del uso de esta técnica para tratar información de población y salud es la que muestran Melo y Mathias ,(2010) de título “Distribución y auto-correlación espacial de indicadores de la salud de la mujer y del niño en estado de Paraná, Brasil”; donde como resultado encontraron explicaciones para la concentración de madres adolescentes, con baja escolaridad y alto número de hijos en las mismas regiones del Estado, esta distribución se confirmó por el análisis de auto-correlación, que fue positivo para el tipo “Alto-Alto”, o sea , municipios con altas proporciones hacen frontera con municipios que también poseen altas proporciones de esos indicadores.⁶⁶

3.3 Modelos de la contaminación atmosférica y la evaluación multicriterio

Esta parte de la investigación consistió en generar modelos espaciales de las emisiones de contaminantes y de la distribución de la contaminación, para posteriormente mediante un análisis multicriterio asignarle pesos a estas capas de información y así integrarlas en 2 capas donde se sintetice dicha información en función a los grupos de edad vulnerables.

Modelación de las emisiones de contaminación atmosférica

La modelación espacial de los focos de contaminación (emisiones de contaminación) se llevó a cabo de la estimación de densidad de las industrias que conforman la ZMCM (proporcionado por la SEMARNAT) mediante la técnica de kernels de densidad, la cual tiene la función de calcular una magnitud por unidad de área (densidad) a partir de entidades espaciales de puntos que se encuentran dentro de un radio de búsqueda alrededor de cada industria⁶⁷.

Estas industrias fueron reagrupadas por categoría acorde a la Clasificación Industrial de América del Norte, para que se relacionara directamente con el inventario de emisiones de la ZMCM. Se realizó una categorización de 6 tipos según el porcentaje de emisión, segmentándose en las categorías: Industria del papel, industria química, fabricación de productos a base de minerales no metálicos, fuentes de área, fuentes móviles y otras industrias. Cada resultado del kernel de densidad por categoría es una estructura cartográfica tipo Raster (matrices) el cual se normalizó con la siguiente fórmula: $(\text{capa raster} - \text{valor mínimo}) / (\text{valor máximo} - \text{valor mínimo})$, esto con el objetivo de que el valor de capa fuera de 0 a 1 y así poder llevar a cabo operaciones de álgebra de mapas (multiplicación) por el porcentaje de emisión por contaminante. Una vez efectuado lo anterior se sumaron las capas. Este proceso se hizo para los 6 contaminantes con sus valores correspondientes dando como resultado 5 capas raster de las zonas de intensidad de emisión por contaminante.

⁶⁶ Melo EC, Mathias TAF. Distribución y auto-correlación espacial de indicadores de la salud de la mujer y del niño en el estado de Paraná, Brasil. Rev. Latino-Am. Enfermagem.

⁶⁷ ArcGIS Resource Center Desktop 10 Densidad de punto (Spatial Analyst)
[<http://help.arcgis.com/es/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#//009z00000076000000>]

Modelación de la distribución de la contaminación atmosférica

En el caso de los modelos de la contaminación por distribución se empleó la base de datos SIMAT de los laboratorios del REDMET, enfocándose en los siguientes contaminantes: CO, NO₂, O₃, PM₁₀, PM_{2.5} y SO₂. Con el objetivo de tener un valor de cada uno de los contaminantes se utilizaron medidas de tendencia central y con el método de la media aritmética o promedio se conocieron los resultados de cada contaminante para los meses de mayores defunciones reportadas por el SINAIS.

En el caso de los laboratorios de la red RAMA, se procedió a la georeferenciación de los laboratorios, mismos que están localizados en el mapa ilustrado en el capítulo 2, por lo que a partir de los valores de contaminantes de cada laboratorio se utilizó la técnica geoestadística de Kriging, con el objetivo de generar superficies continuas a partir de los datos puntuales existentes (los laboratorios); Kriging presupone que la distancia y la dirección entre dos puntos de muestra, refleja una correlación espacial que puede utilizarse para explicar la variación en la superficie.⁶⁸

El método de interpolación Kriging ajusta una función matemática a partir de una cantidad específica de puntos o muestra de datos dentro de rangos espaciales para determinar el peso o influencia que tendrían cada uno de estos en la estimación de una posición donde no se tiene muestreado el fenómeno a estudiar, por lo que para la presente investigación se empleó en la generación de los modelos continuos de los contaminantes atmosféricos anteriormente señalados (Websters and Oliver, 2007). Kriging es un nombre genérico adoptado por las técnicas geoestadísticas, para referirse a un conjunto de algoritmos de regresión por mínimos cuadrados, que buscan el mejor estimador lineal para un conjunto de datos, a través de la combinación de pesos asignados a la información disponible (Ídem). Todos los estimadores kriging son variantes del estimador básico de regresión lineal:

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n w_i [Z(x_i) - m(x_i)]$$

Donde:

x_0 es el punto a estimar

w_i es el peso asignado a un punto $z(x_i)$ que está en función de la distancia

$m(x_i)$ es el valor esperado para la realización de la función aleatoria $Z(x_0)$.

$z(x_i)$ es la realización de la función aleatoria Z para los sitios x_i , $i = 1, 2, \dots, n$;

⁶⁸ ArcGIS Resource Center Desktop 10 ¿Cómo funciona Kriging? [<http://help.arcgis.com/es/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#//009z00000076000000>]

Este método de interpolación ha sido ampliamente usado, por ejemplo en un estudio realizado por Torrecilla *et al.*, (2010) se generaron interpolaciones con esta técnica aplicado a partículas atmosféricas en Madrid, en función de 25 estaciones desplegadas por toda la ciudad para el intervalo de tiempo de 1997-2006, en la que concluye que el método de interpolación Kriging presenta poca incertidumbre asociada a los errores de predicción en la generación de modelos espaciales de las zonas de mayor intensidad de partículas.⁶⁹ Con esta técnica se modelaron las zonas donde se encuentra la contaminación atmosférica, dando como resultado 6 modelos en formato raster con los niveles de contaminación.

Derivado de los dos procesos anteriormente señalados, se generaron 5 modelos raster por emisión de contaminación atmosféricas y 6 capas de distribución espacial de la contaminación atmosférica, en el caso de la información acerca del Ozono, contaminante que no está considerado en la emisión debido a que el origen de este contaminante es debido a las interacciones químicas y térmicas en la atmósfera

Evaluación multicriterio

Para conocer cómo afectan los contaminantes a los grupos de edad vulnerables se tienen varios criterios por contaminante, los cuales afectan de diferente forma al cuerpo humano, es por eso que se utilizó la evaluación multicriterio (EMC). Es una técnica que en combinación con los SIG constituyen una herramienta muy útil en la aplicación de los procesos de evaluación territorial.

De acuerdo con Barredo (1996, citado por Bosque, 1986) la evaluación multicriterio es un conjunto de técnicas utilizadas en la decisión multidimensional y los modelos de evaluación, dentro del campo de la toma de decisiones. Estas en combinación con los SIG, se basa en el supuesto de que cada factor este representado por una capa de información cartográfica, en la cual todos los puntos del territorio tomen un valor con respecto a la actividad objeto de decisión, esto bajo la asignación de pesos derivada de la importancia relativa asignada por expertos

Por lo que la EMC requiere realizar el proceso de análisis jerárquico (AHP), el cual fue desarrollado por Thomas L. Saaty (a, 1980) para resolver problemas complejos de criterios múltiples. El proceso requiere, que quien o quienes toman las decisiones, proporcionen evaluaciones subjetivas respecto a la importancia relativa de cada uno de los criterios considerados en la toma de decisión y que, después, especifiquen su preferencia con respecto a cada una de las alternativas de decisión y para cada criterio. El resultado del AHP es una jerarquización con prioridades que muestren la preferencia para cada una de las alternativas de decisión.⁷⁰

⁶⁹ Torrecilla, R *et al.* (2010). Interpolación espacial y visualización cartográfica para el análisis de la justicia ambiental: ensayo metodológico sobre contaminación por partículas atmosféricas en Madrid. Tecnologías de información geográfica. Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla.

⁷⁰ Gerard, B. Capítulo III Proceso de análisis jerárquico (AHP).

[http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/tesis/basic/toskano_hg/cap3.pdf]

Para esta jerarquización, se emplea la matriz de comparación por pares en la cual se introdujeron los tipos de contaminantes y se compararon entre los mismos, dos por cada vez, con el objetivo de la asignación de la importancia que cada uno tiene respecto a los grupos de edad de la población vulnerable. Esta asignación se efectúa por medio de la escala de valores que a continuación se muestra.

Cuadro 6. Escala de valores.

Importancia o preferencia	Valor cardinal	
Extrema	1/9	↑ Menos importantes
Muy Fuerte	1/7	
Fuerte	1/5	
Moderada	1/3	
Igual	1	
Moderada	3	↓ Mas importantes
Fuerte	5	
Muy Fuerte	7	
Extrema	9	

Posteriormente, esta asignación se normaliza para generar una nueva matriz, lo que se obtiene mediante la división de cada una de las asignaciones entre la suma de sus componentes, después se obtiene el vector principal, que resulta del promedio de cada fila de la matriz normalizada, vector que representa el peso de cada factor y en el caso de la presente investigación de cada contaminante asociado a cada grupo de edad considerado.

Cuadro 7. Comparación de contaminantes.

>60 años o 0 a 4 años	SO ₂	NO ₂	CO	PM ₁₀	PM _{2.5}	O ₃
SO ₂	1					
NO ₂		1				
CO			1			
PM ₁₀				1		
PM _{2.5}					1	
O ₃						1

Para la jerarquización de importancia de los contaminantes se empleó el conocimiento experto del Dr. Violente Huerta Julio Cesar, quien determinó su juicio de valor dependiendo estudios que relacionan la contaminación atmosférica con el daño que hace a cada grupo de edad vulnerable; propiciando dos matrices, una para mayores a 60 años y de 0 a 4 años.

A fin de conocer la coherencia de la asignación del juicio de valor, se estimó el Índice de consistencia (IC), con el propósito de que los resultados sean congruentes. Este indicador señala que los valores de 0.10 o menos son aceptables y si exceden son inconsistentes.⁷¹

El uso del método de análisis multicriterio ha sido documentado en los estudios de exposición de grupos vulnerables, ejemplo de lo anterior se ve descrito en el estudio realizado por Pietri (2011) denominado “Evaluación multicriterio de la exposición al riesgo ambiental mediante un sistema de información geográfica en Argentina”, el cual tuvo como objetivo la elaboración de un modelo espacial que integre los factores ambientales que constituyen una amenaza para la salud; los criterios que utilizó fueron: Agua, cloaca, electricidad, gas natural, recolección de residuos, industrias, basureros, estaciones de servicio y cementerios, como factores que impactan en el tipo de aptitud de residencia, obteniendo que las industrias representan la condición ambiental que más impacta la salud.⁷²

Los pesos obtenidos se multiplicaron por las capas resultantes de los modelos de emisión y distribución, posteriormente se normalizaron para generar una suma de éstas y por ende obtener representaciones espaciales que integren los componentes aislados de las fuentes de emisión de contaminantes y la distribución espacial de la presencia de los contaminantes. Como resultado de este proceso se obtuvieron 4 capas, 2 para las zonas donde se encuentra la contaminación y 2 para las zonas donde se emiten dichos contaminantes; las cuatro capas en función a los grupos de edad vulnerables.

Para el resultado final, los 2 modelos de contaminación se unieron y de esta forma se generó una sola capa por grupo vulnerable con las zonas o áreas potenciales de mayor exposición o susceptibilidad a la contaminación atmosférica; para lo cual se realizó la normalización de cada una de las capas y se multiplicó por 0.50 bajo el supuesto del mismo peso que contribuyen tanto las fuentes de emisión como la distribución espacial de los contaminantes, posteriormente se sumaron para los modelos finales.

De forma complementaria y para valorar la asociación con la dispersión y acumulación de la contaminación se utilizó la variable meteorológica del viento para estimar la probable incidencia en estos procesos. Esta información se basó en la registrada por el SIMAT y los laboratorios del REDMET, los cuales consideran en sus mediciones la velocidad y dirección del viento.

3.4 Modelos espaciales de mortalidad y riesgo.

Los modelos de mortalidad en la ZMCM se efectuaron con la información que se procesó anteriormente con el fin de determinar la temporalidad de la investigación. Para la construcción de estos se georeferenciaron los registros de defunciones hospitalarias del SIN AIS totales y por población de 0 a 4 años y mayores de 60, así como los correspondientes a los meses de noviembre y diciembre por localidad, relacionadas con muertes por contaminación atmosférica en la ZMCM.

⁷¹ Ordoñez, P. (2014) *op o cit.*

⁷² Pietri, D (2011) Evaluación multicriterio de la exposición al riesgo ambiental mediante un sistema de información geográfica en Argentina. Rev Panam. Salud Pública

Lo que permitió hacer mapas que representen las zonas de riesgo vis a vis con los modelos de autocorrelación de los grupos de edad vulnerables (hot spots), las zonas de emisión y distribución de la contaminación que más afecta a los grupos vulnerables se basa en la definición de riesgo de Fernández (1996), el cual formula que para que exista un riesgo debe haber tanto una amenaza (o, como algunos dirían, un peligro) como una población vulnerable a sus impactos, siendo la vulnerabilidad la propensión de sufrir daños que exhibe un componente de la estructura social o la naturaleza misma. El riesgo es, en consecuencia, una condición latente o potencial, y su grado depende de la intensidad probable de la amenaza y los niveles de vulnerabilidad existentes. En este caso la amenaza son la emisión y distribución de la contaminación y la vulnerabilidad son los grupos de edad.

El método que se empleó para unir la información y que diera como resultado las zonas de riesgo fue la aplicación de estadísticas zonales. Esta herramienta calcula una estadística para cada zona definida por un conjunto de zonas (Hot spots de las AGEBS), con base a los valores de otro conjunto de datos (fusión de los rasters de emisión y distribución espacial de los contaminantes atmosféricos). Como resultado se obtuvo un raster con valores de intensidad de las zonas de emisión y distribución de los contaminantes en los polígonos donde se encuentra la población vulnerable. A esta capa de información se añadió de fondo la información de la mortalidad por localidad de cada grupo de edad, mediante el visualizador de categorías por tamaño gradual, lo que quiere decir que el tamaño está definido por el número de muertes.

Con esta metodología se modelaron las áreas potenciales de efectos a corto plazo por contaminación atmosférica de los dos grupos de edad, mostrando que las áreas de riesgo son potenciales en función con la cercanía del número de defunciones por enfermedades relacionadas con la contaminación atmosférica.

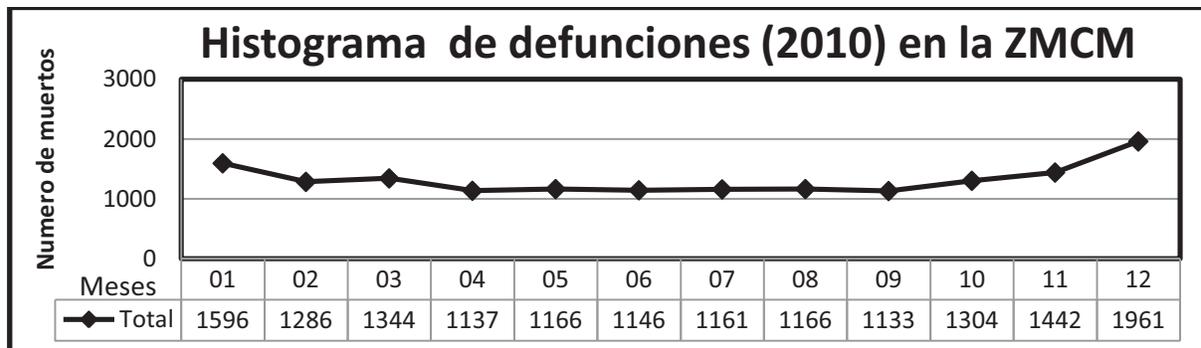
CAPÍTULO 4- RESULTADOS.

4.1 Temporalidad de la investigación.

En el 2010, la ZMCM registró de acuerdo al SINAIS un total de 97,602 defunciones de las cuales 19,599 son causadas por enfermedades relacionadas con la contaminación atmosférica, lo que equivale a un 20%. Si bien no se puede comprobar que las defunciones se deban únicamente por el causante de la contaminación atmosférica, se puede comprobar por medio de la revisión bibliográfica consultada, que en incrementos de los niveles de la contaminación hay influencia en la multicausalidad de las defunciones.

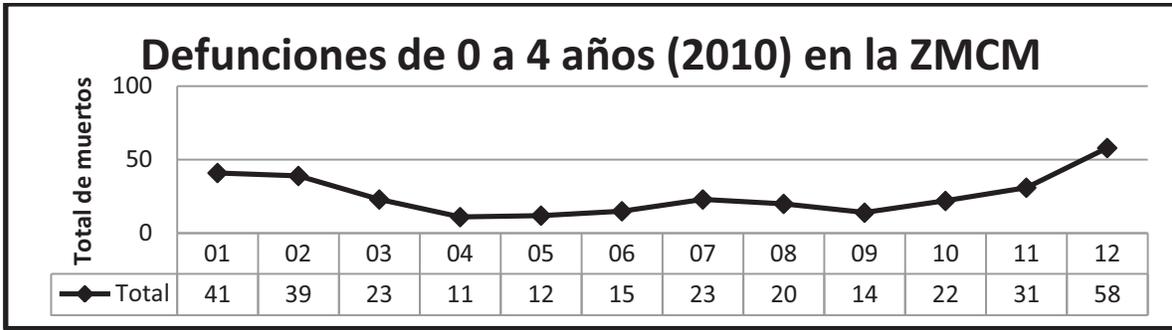
Las enfermedades fueron seleccionadas en función a una exposición a corto plazo de contaminantes atmosféricos que aumentaron sus niveles de concentración; corresponden a la clasificación internacional de enfermedades del capítulo IX enfermedades del sistema circulatorio, capítulo X enfermedades del sistema respiratorio, capítulo XV embarazo, parto y puerperio, capítulo XVI enfermedades del feto y recién nacido. Para conocer los nombres de las enfermedades seleccionadas revisar el cuadro 13 de la página 96.

Los meses que tienen mayor cantidad de defunciones son Noviembre, Diciembre y Enero, siendo Diciembre el mayor de todos con un total de 1,961 casos. La investigación se realiza en un periodo máximo de 60 días, es por eso que los meses consecutivos con el mayor número de casos son Noviembre y Diciembre, dado que se analizaron solamente los registros del SINAIS del año 2010.



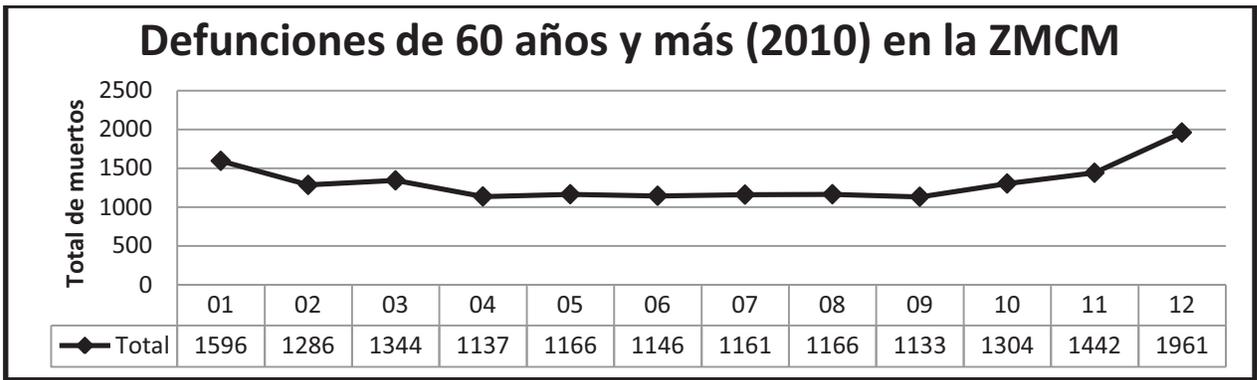
Histograma 1. Defunciones 2010.

De acuerdo a la revisión bibliográfica descrita en el apartado de daños a la salud por contaminación atmosférica, los dos principales grupos vulnerables son la población entre 0 y 4 años y los adultos mayores de 60 años y más, de los que se registró un total de 16,152 defunciones para el 2010, lo que corresponde a un 82.4% del total de mortalidad relacionado con la contaminación atmosférica en la ZMCM. De los cuales 310 son defunciones de 0 a 4 años (1.9%) y 15,843 de personas > 60 años (98.1%). Respecto a la temporalidad, en el caso de las defunciones de 0 a 4 años de edad, la mayor frecuencia de muertes se presentó en los meses continuos de noviembre y diciembre con 89 registros siendo el 28.7% del total de año, aunque cabe señalar que en los meses de enero y febrero también se tuvo un importante registro con 80 (25.8%).



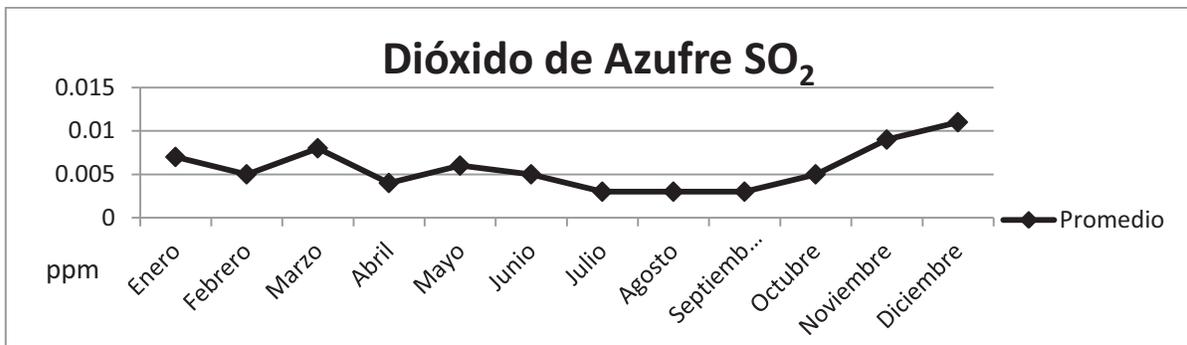
Histograma 2. Defunciones de 0 a 4 años en 2010.

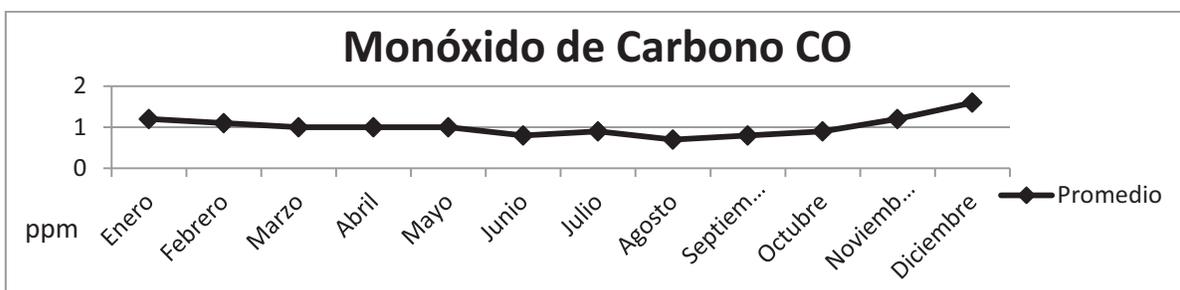
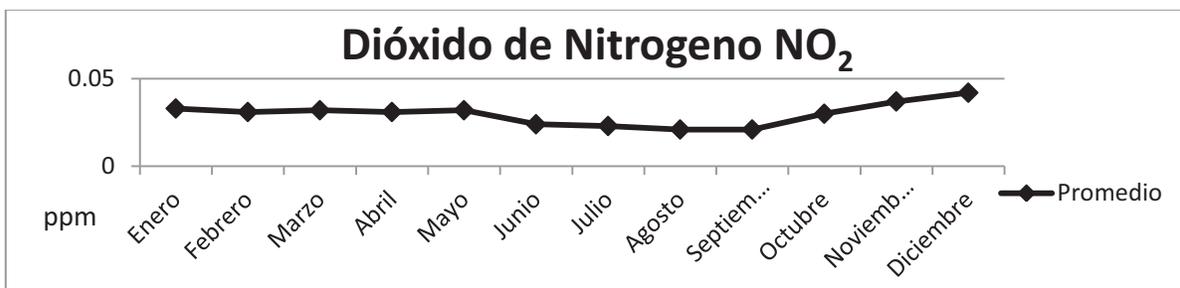
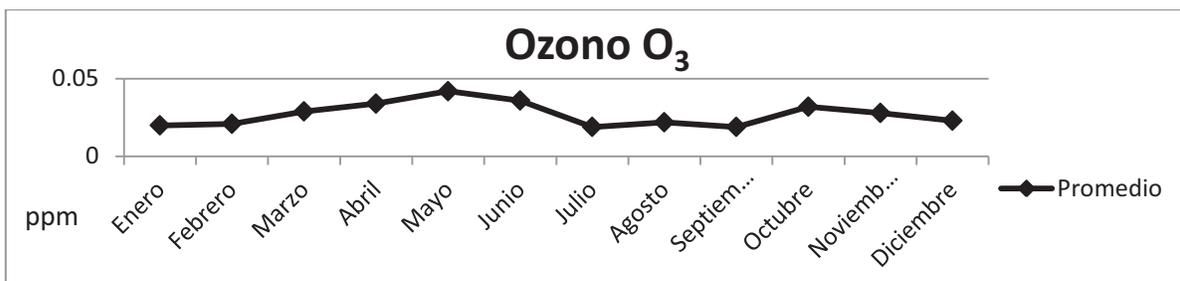
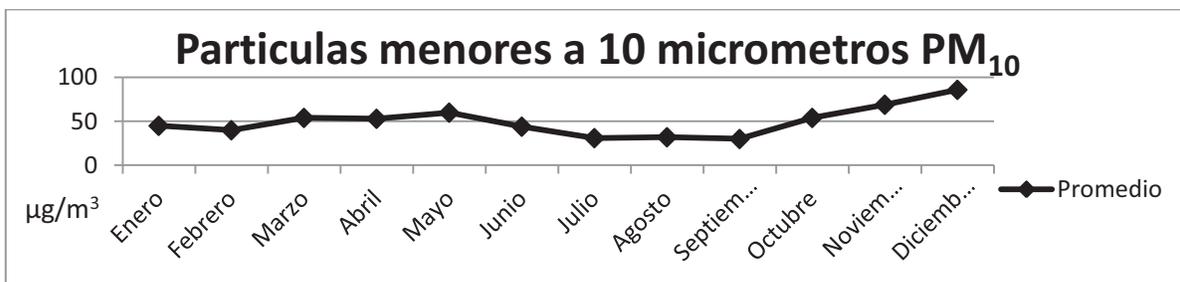
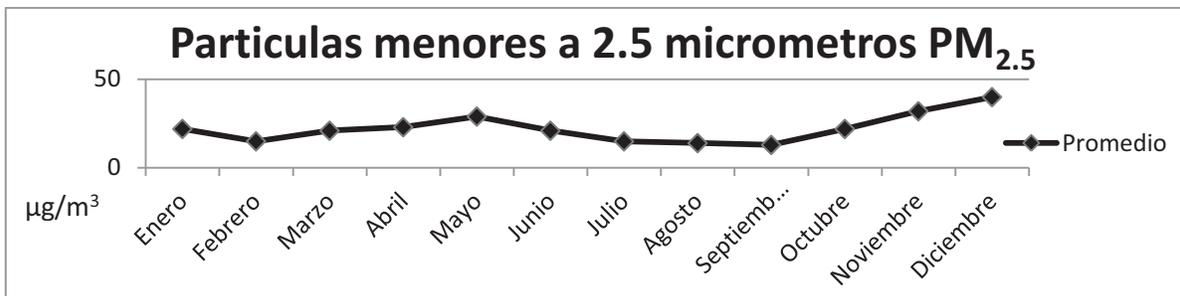
En el caso de los adultos mayores (> 60 años de edad), la mayor frecuencia de muertes se presentó en los meses continuos de noviembre y diciembre con 3,403 registros siendo el 21.5% del total del año, aunque cabe señalar que en los meses de enero y febrero también se tuvo un importante registro con 2882 (18.2%).



Histograma 3. Defunciones de 60 años y más en 2010.

Situación que coincide con los valores máximos de los contaminantes atmosféricos, con excepción del Ozono, debido a que éste necesita periodos largos de radiación solar. A continuación se ilustra la distribución de frecuencias promedio de cada mes de los contaminantes atmosféricos.





Histograma 4. Contaminantes atmosféricos.

El incremento en los niveles de contaminación atmosférica es debido a la inversión térmica, ya que la cuenca de México da condiciones ideales para que exista este fenómeno.

Normalmente en la atmosfera las capas de aire más frías se encuentran arriba y las más calientes abajo, en una inversión térmica la situación que se presenta es opuesta, es decir, que las capas de aire caliente se encuentran encima de las de aire frío. Los procesos que dan origen a esta inversión térmica pueden ocurrir durante la noche en ausencia del calentamiento del aire por parte del Sol, aunado a la pérdida de calor del suelo y del aire que se encuentra inmediatamente junto a él, provoca la formación de la capa de aire pesada y fría sobre la superficie o también cuando las laderas de los montes que circundan un valle o una cuenca, como en el caso de la ZMCM, se enfría durante la noche, el aire directamente encima de estas también lo hace y, por su mayor densidad, se desliza por las paredes de las montañas acumulándose en el fondo.⁷³ La inversión térmica se presenta y desaparece cada día en la ZMCM y se presenta en cualquier época del año, pero se hace más evidente durante los meses de noviembre, diciembre, enero y febrero, que es cuando tiene una mayor permanencia en el día.

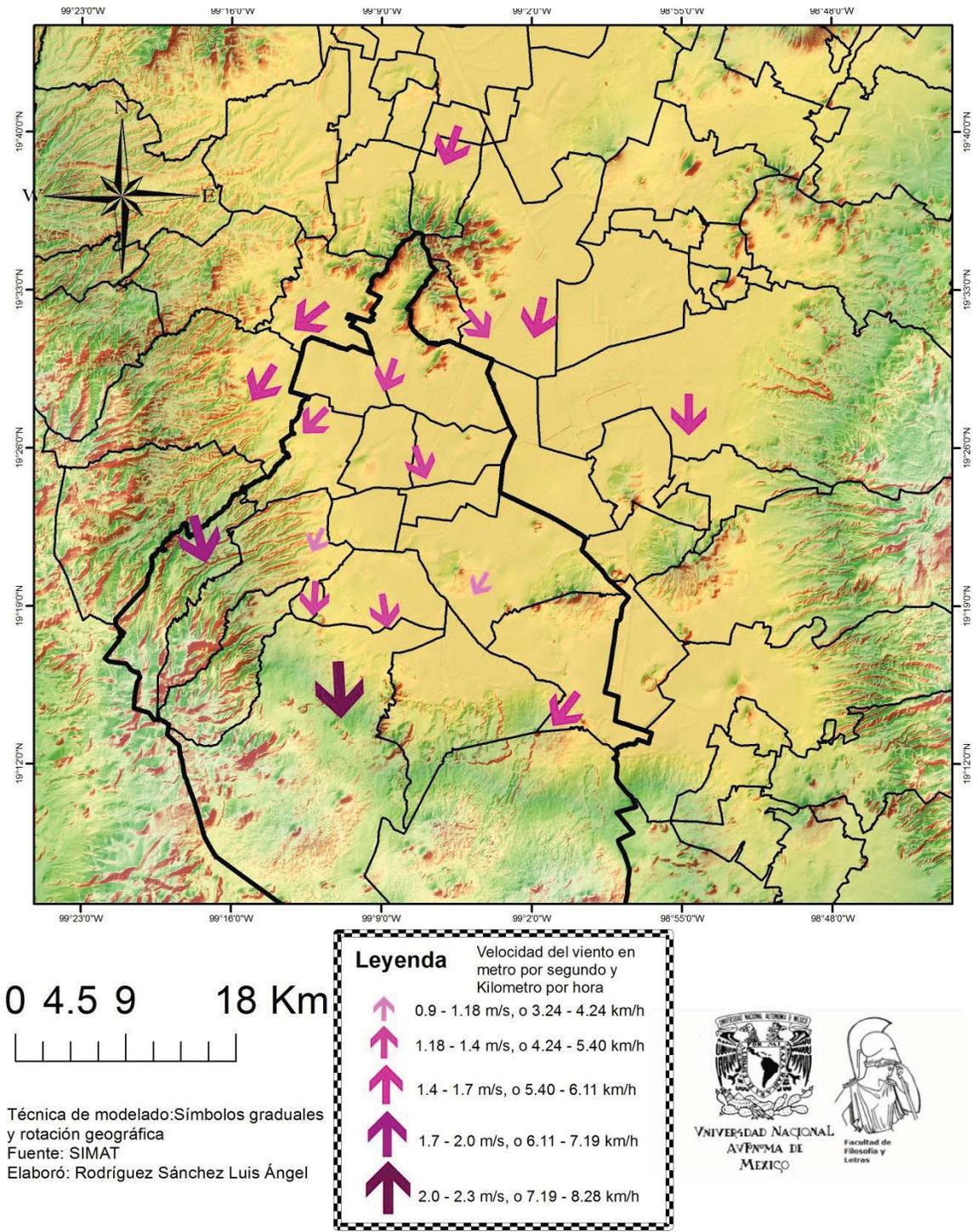
La velocidad del viento horizontal permite distribuir los contaminantes atmosféricos, sin embargo el promedio de velocidad del viento en los meses de noviembre y diciembre, y la morfología de la cuenca de México no permiten que se desplace a otros sitios; el mapa 8, representa un modelo de vientos en el que se puede apreciar la velocidad y dirección del viento dominante en la ZMCM en los meses de Noviembre y Diciembre. Los vientos que llegan a la ZMCM provienen principalmente del Norte con velocidades de hasta 6.11 Km/h, encontrando una barrera orográfica en la sierra de Guadalupe, propiciando una distribución con las mismas velocidades al Oeste en los municipios de Ecatepec de Mórelos y Texcoco, igual hacia el Este en Tlalnepantla de Baz y Naucalpan de Juárez. Al Sur de la sierra de Guadalupe al Centro-norte del DF disminuye la velocidad hasta 5.40Km/h y posteriormente vuelve a disminuir hasta 4.24 Km/h en las delegaciones Álvaro Obregón e Iztapalapa. Incrementa su velocidad máxima al Sur del DF en la delegación Tlalpan con velocidad de hasta 8.28 Km/h.

La inversión térmica, la acumulación de gases contaminantes y la presencia de una masa de aire sin posibilidades de movimiento puede ser perjudicial, porque las diferencias térmicas no permiten ascender al aire que se encuentra en las proximidades del suelo ni a los contaminantes; entonces los seres vivos se encuentran inmersos en una capa de aire saturada de gases dañinos.⁷⁴

⁷³ Jiménez B. (2001). *Op o cit.* P 354-355

⁷⁴ *Ídem*

Dirección y velocidad del viento en la ZMCM Noviembre-Diciembre 2010



Mapa 8. Dirección y velocidad del viento en la ZMCM. Noviembre y Diciembre 2010.

4.2 Autocorrelación de los grupos de edad vulnerables.

Con la técnica de autocorrelación espacial se encontraron las principales zonas donde se encuentran los conglomerados calientes o hot spots de los grupos vulnerables, tanto de 0 a 4 años y mayores a 60 años. Estos conglomerados muestran las AGEBS con valores por encima del promedio de las AGEBS que conforman la ZMVM y donde el promedio de las AGEBS vecinas también está por encima de la media y que presentan una significancia estadística.

El índice de Moran para la población de 0 a 4 años es de 0.4179, lo que significa una autocorrelación positiva significativa, es decir, que el fenómeno de análisis tiende a aglomerarse. Los conglomerados espaciales pueden verse en el mapa 8, resultando en que la distribución espacial de la población de 0 a 4 años tiende a concentrarse en las periferias del Distrito Federal, incluso a las orillas de los municipios del Estado de México que es donde predomina la mayor cantidad de zonas con esta población, destacándose los municipios de Netzahualcóyotl y Chimalhuacán.

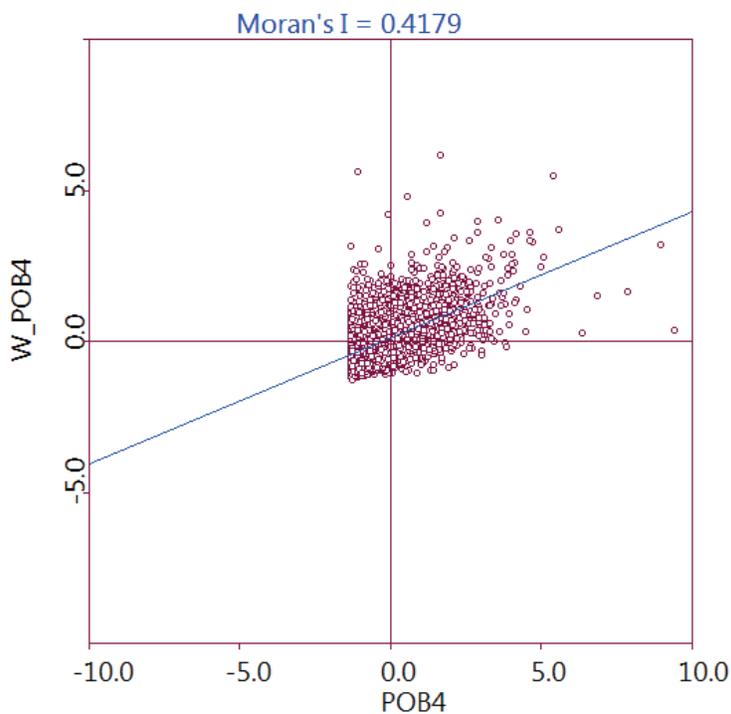
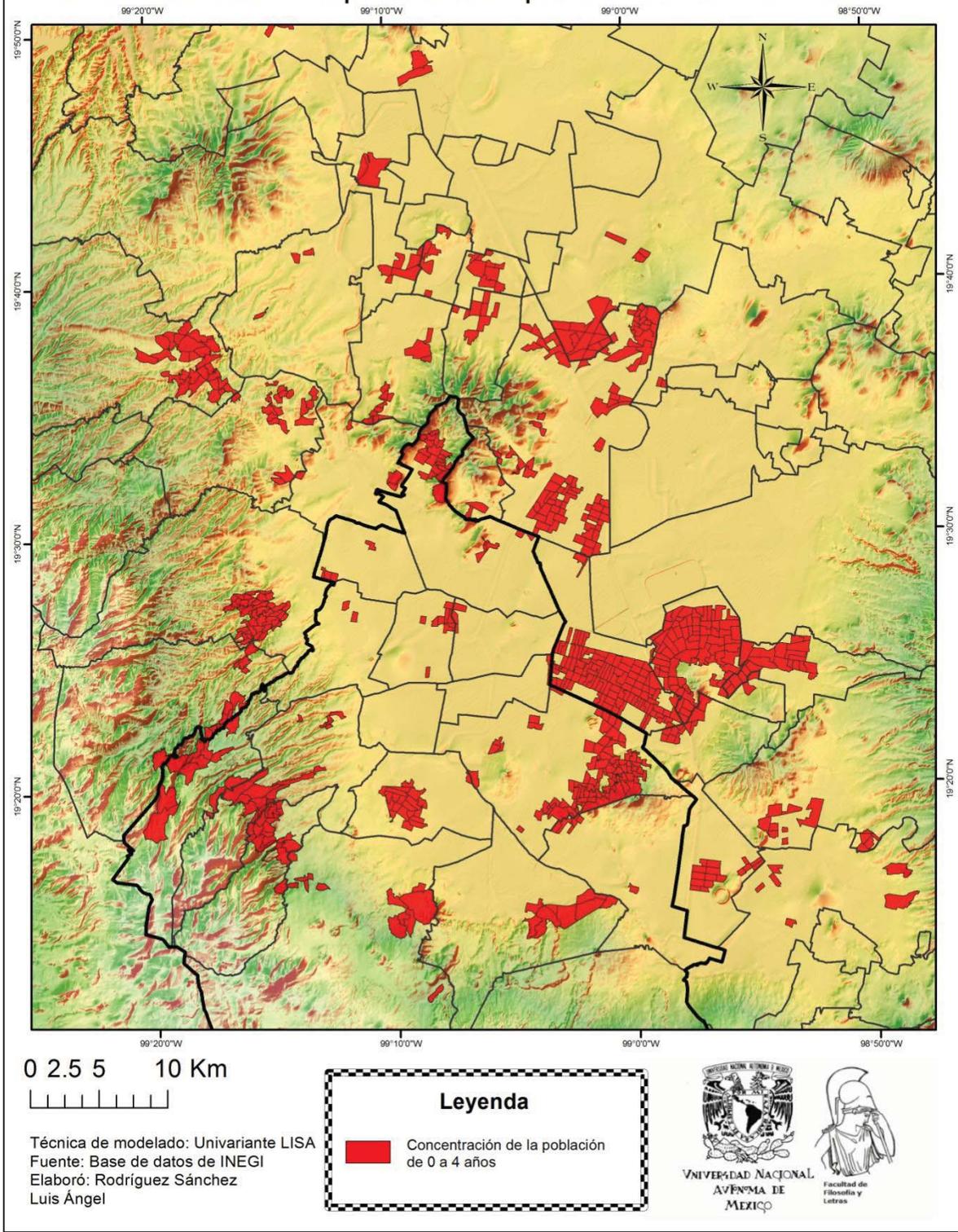


Figura 4. Gráfico de dispersión de Moran de la población de 0 a 4 años.

Autocorrelación espacial de la población de 0 a 4 años



Mapa 9. Autocorrelación espacial de la población de 0 a 4 años.

En el caso del índice de Moran de la población mayor a 60 años se obtuvo un valor de 0.4982, el cual fue mayor que el del grupo de 0 a 4 años; el mapa 10 muestra la población mayor a 60 años. Siendo el centro de la ZMCM las zonas donde se distribuyen, predominando las delegaciones Coyoacán, Benito Juárez, Azcapotzalco y el municipio de Netzahualcóyotl.

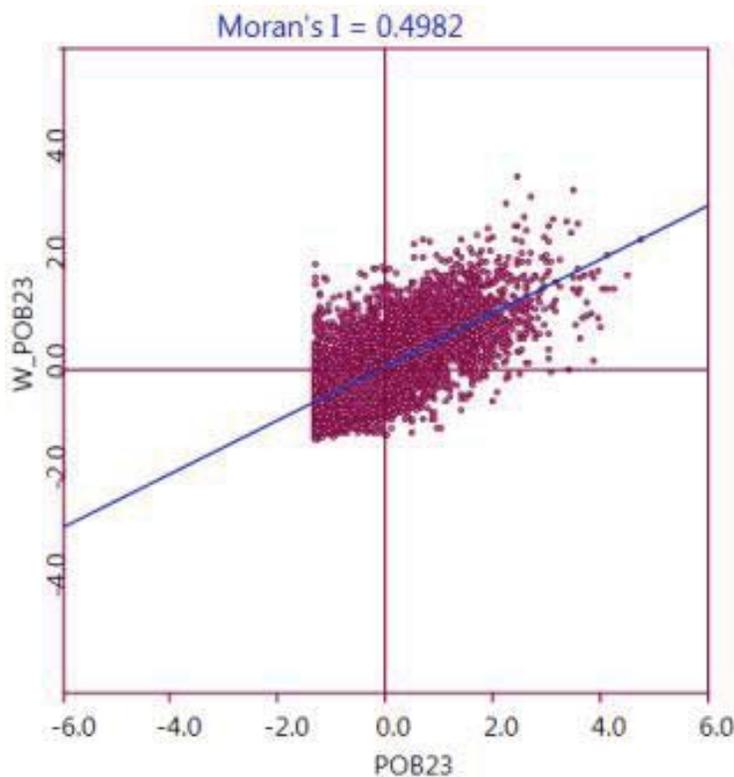


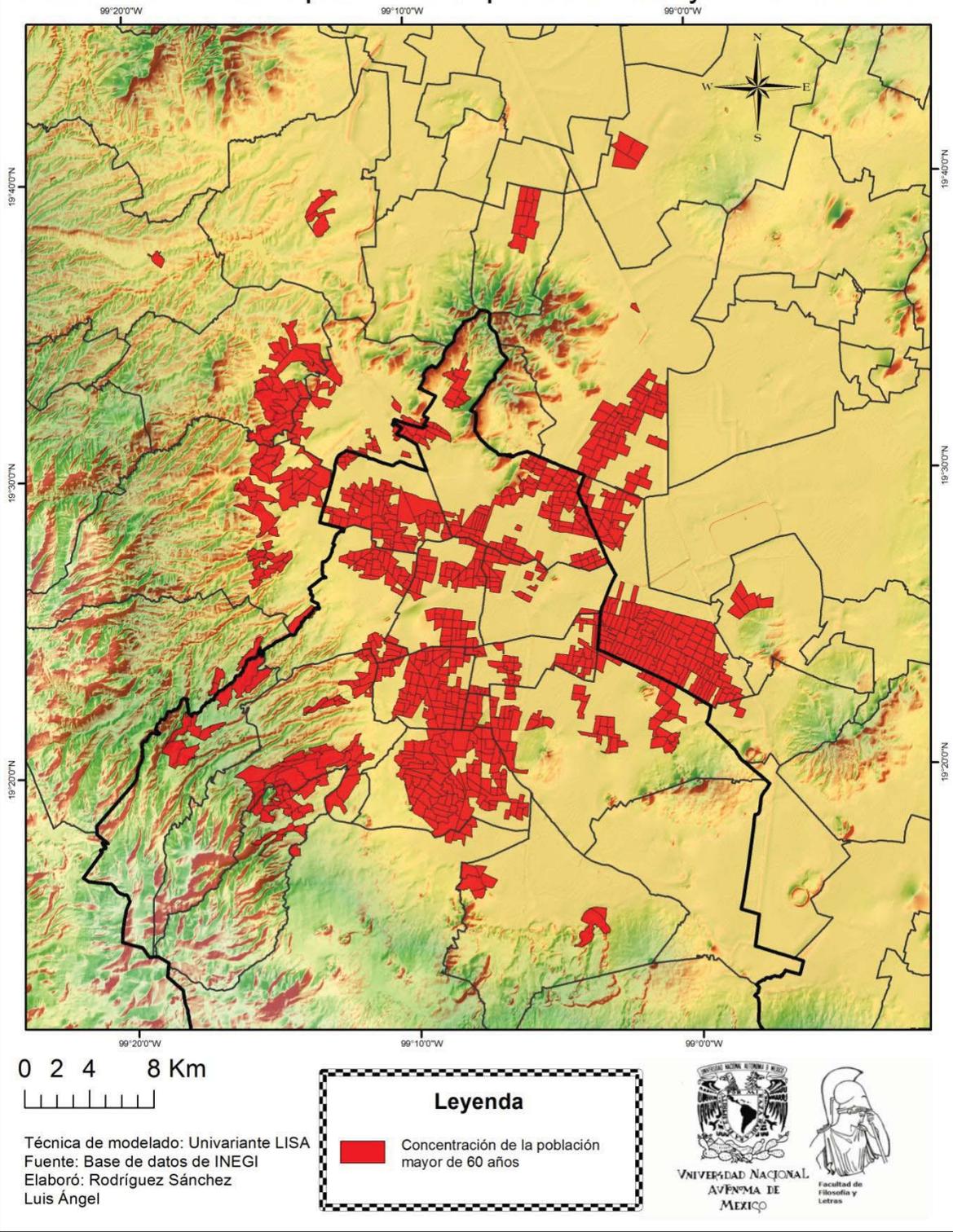
Figura 5. Gráfico de dispersión de Moran de la población mayor de 60 años.

Estos resultados se relacionan con el estudio de Miranda, (2010) donde menciona que la periferia de la Ciudad de México protagoniza los procesos urbanos de los últimos años, ya que aloja más de la mitad de la población total, perdiendo población de su área central. Esto debido al mercado inmobiliario que ha sido entregado al capital privado y al Estado que anuló las políticas habitacionales y facilitó el acceso a créditos, con lo que abrió paso a la especulación inmobiliaria de la periferia.⁷⁵

Debido a esto la población menor a 4 años se localiza en las periferias, lugares donde encuentran hogares para vivir las nuevas familias, mientras que la población mayor a 60 años se localiza en las zonas centrales de la Ciudad debido al tiempo que llevan viviendo ahí.

⁷⁵ Miranda, A. 2010. "La periferia conurbada de la Ciudad de México: movilidad cotidiana y manejo de tiempo de la población en unidades habitacionales de Ixtapaluca". Universidad de Berlín. P 3.

Autocorrelación espacial de la población mayor de 60 años

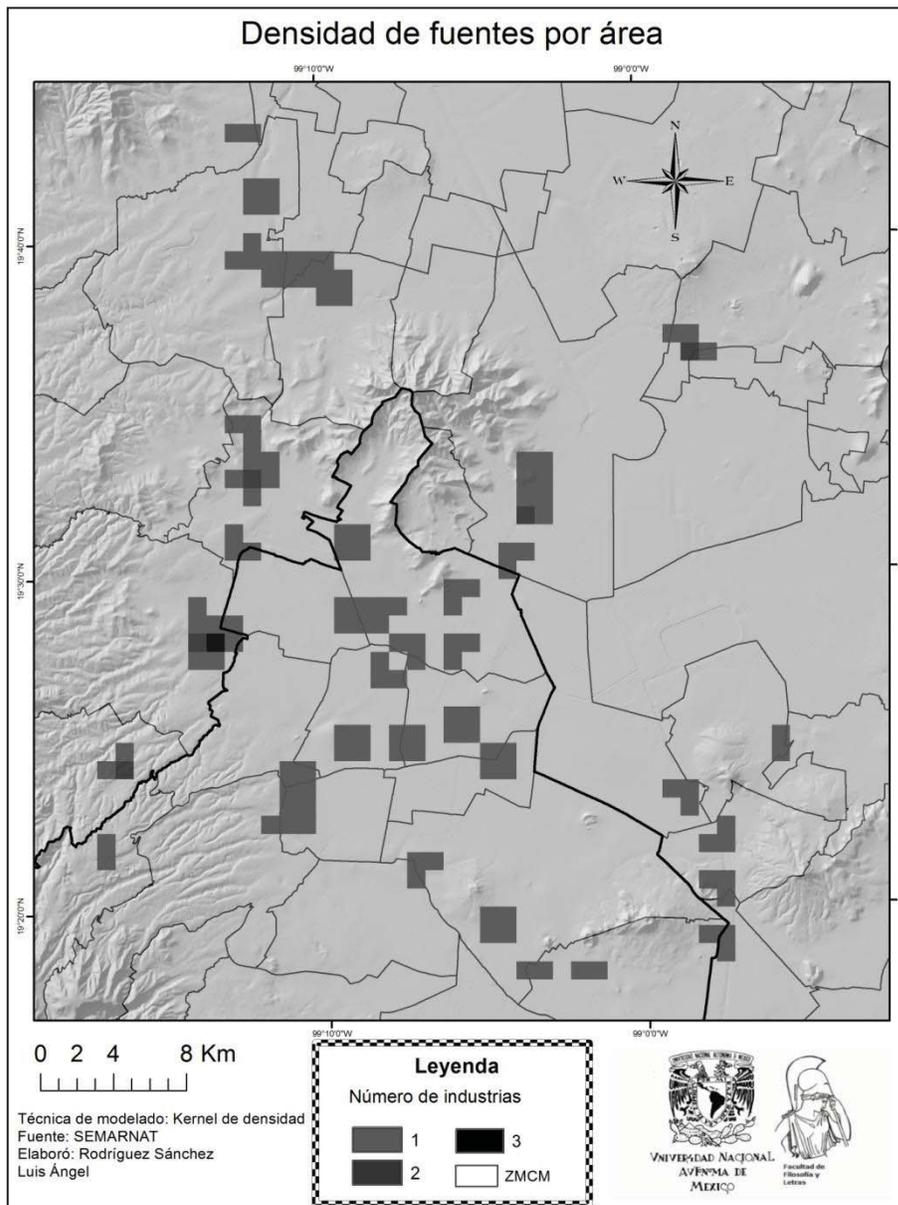


Mapa 10. Autocorrelación espacial de población mayor a 60 años.

4.3 Emisión y distribución de los contaminantes. Evaluación multicriterio en función de los grupos de edad vulnerables.

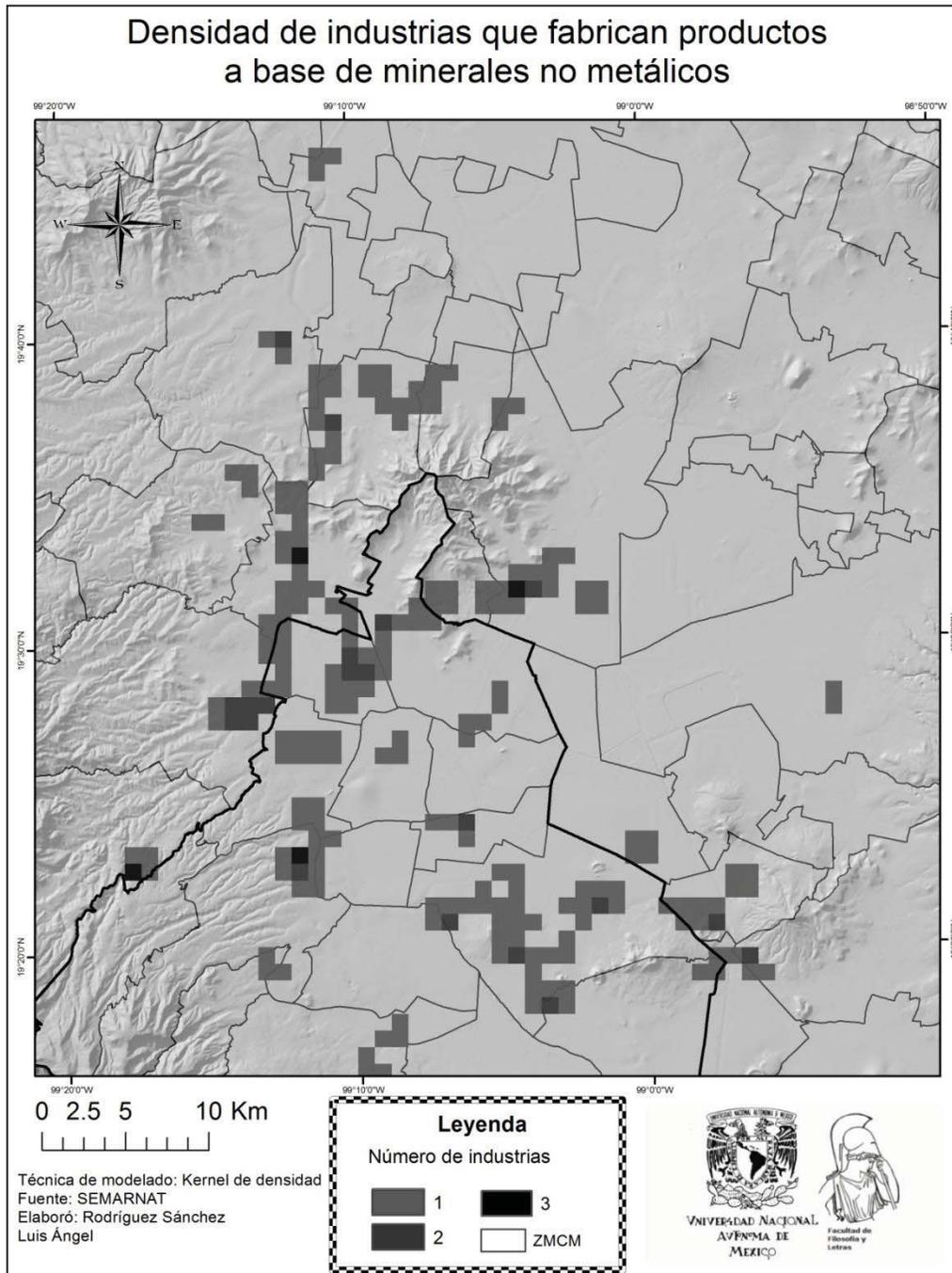
Emisión de la contaminación atmosférica

La distribución espacial de las fuentes de emisión de área que muestran una mayor densidad de emisión, se localizan al Oeste de la ZMCM, en el municipio de Naucalpan de Juárez, justo en el límite territorial con las delegaciones Azcapotzalco y Miguel Hidalgo. En total son 52 fuentes de contaminación por área, siendo los sectores de tratamiento y generadores de residuos peligrosos y/o riesgo los que tienen mayor número de fuentes con un total de 26.



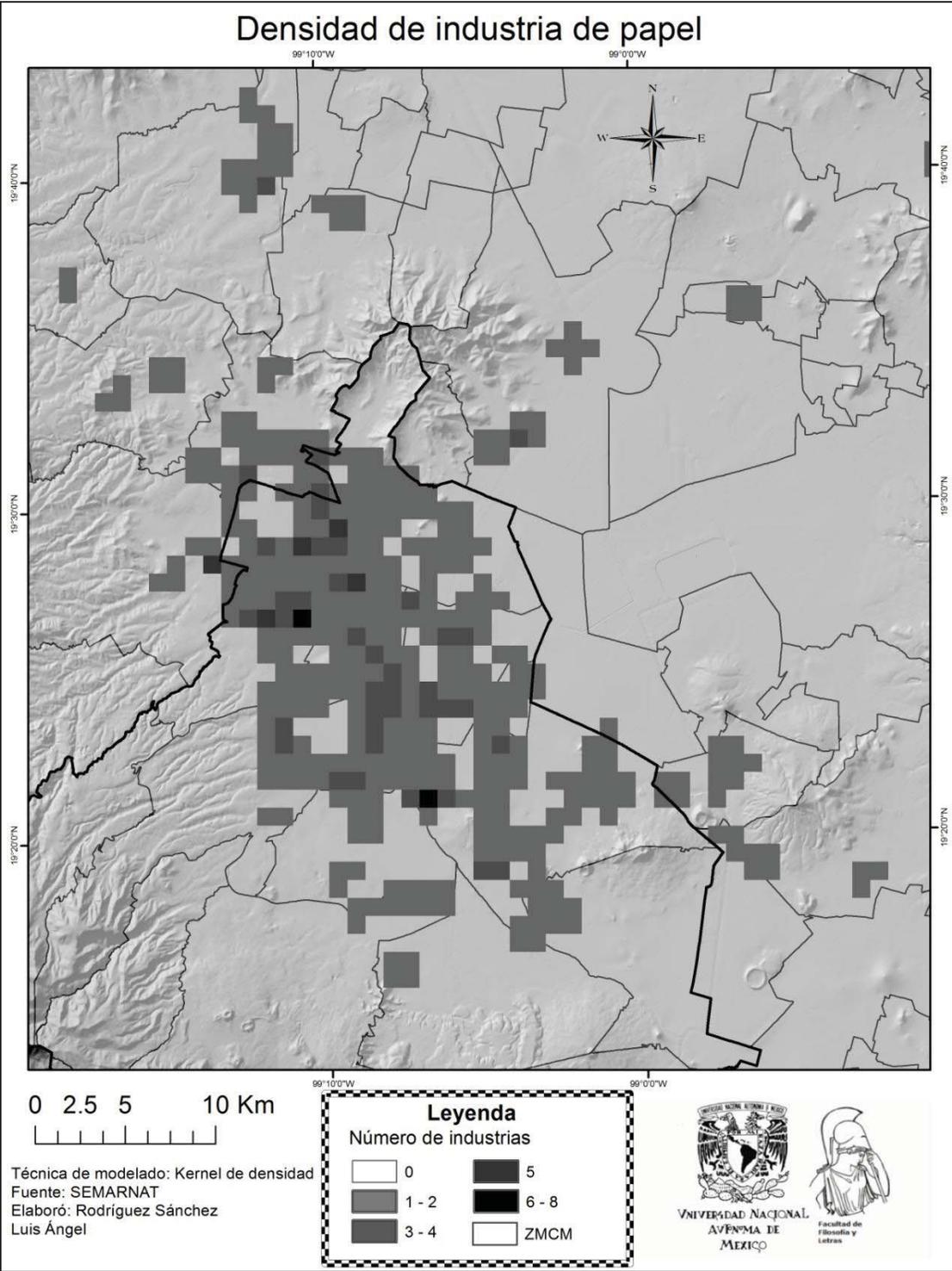
Mapa 11. Densidad de las fuentes por área.

La distribución de las industrias que fabrican materiales con base en minerales no metálicos se encuentra en mayor densidad al Noreste de la ZMVM, en el límite de Ecatepec de Morelos y Tlalnepantla de Baz justo en la colonia San Pedro Xalostoc. Otra zona de densidad está en la delegación Álvaro Obregón en el límite con la delegación Benito Juárez. En total son 117 industrias siendo las de cemento, cal y producción de concreto premezclado las que tienen mayor cantidad con 54.



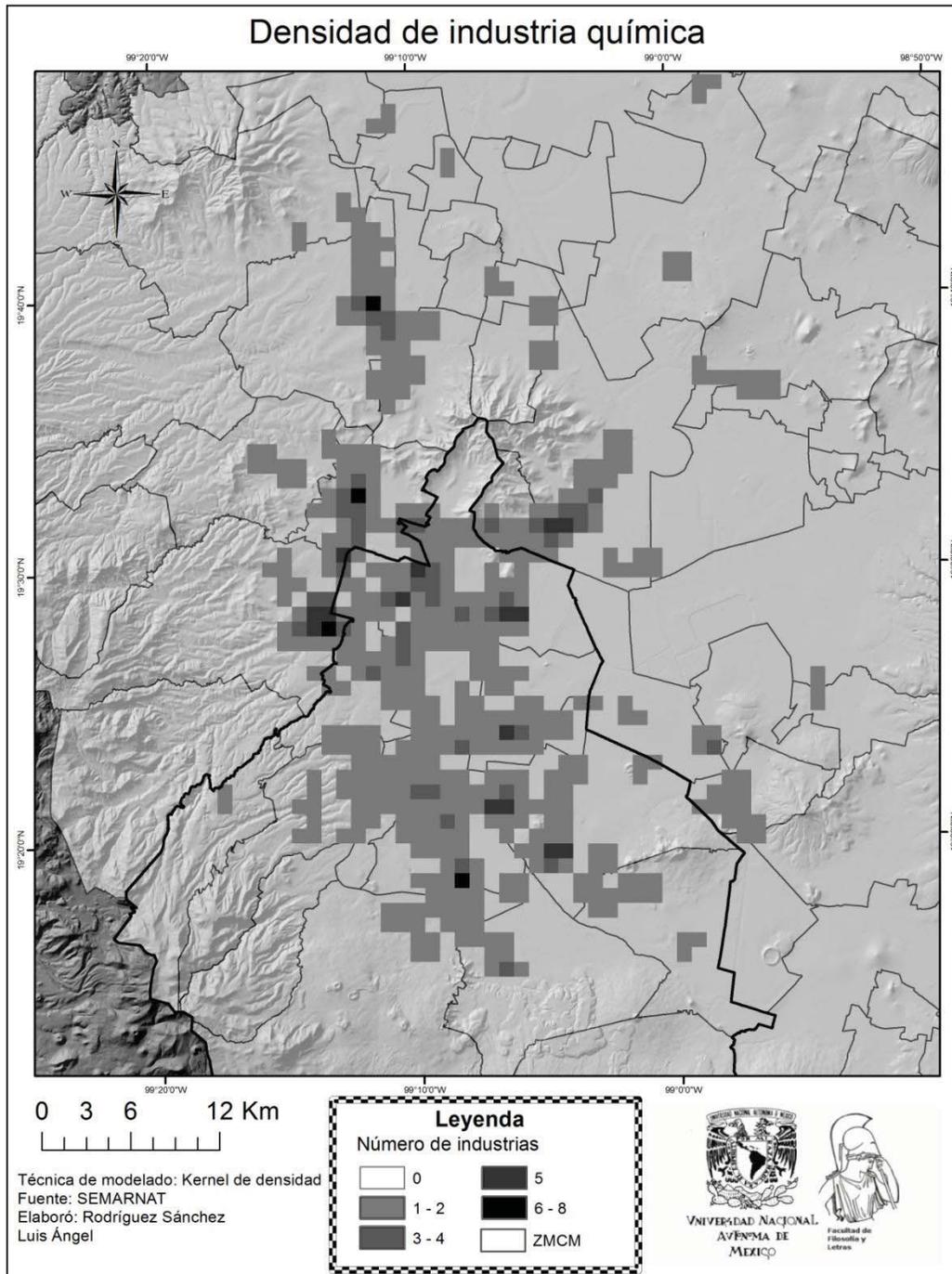
Mapa 12. Densidad de industrias que fabrican productos a base de minerales no metálicos.

La industria de papel tiene un total de 343, distribuyéndose principalmente en el DF. En las delegaciones donde se encuentran en mayor densidad son Iztapalapa, Cuauhtémoc, Azcapotzalco y Miguel Hidalgo. La industria que tiene mayor cantidad es la de celulosa y papel con 284.



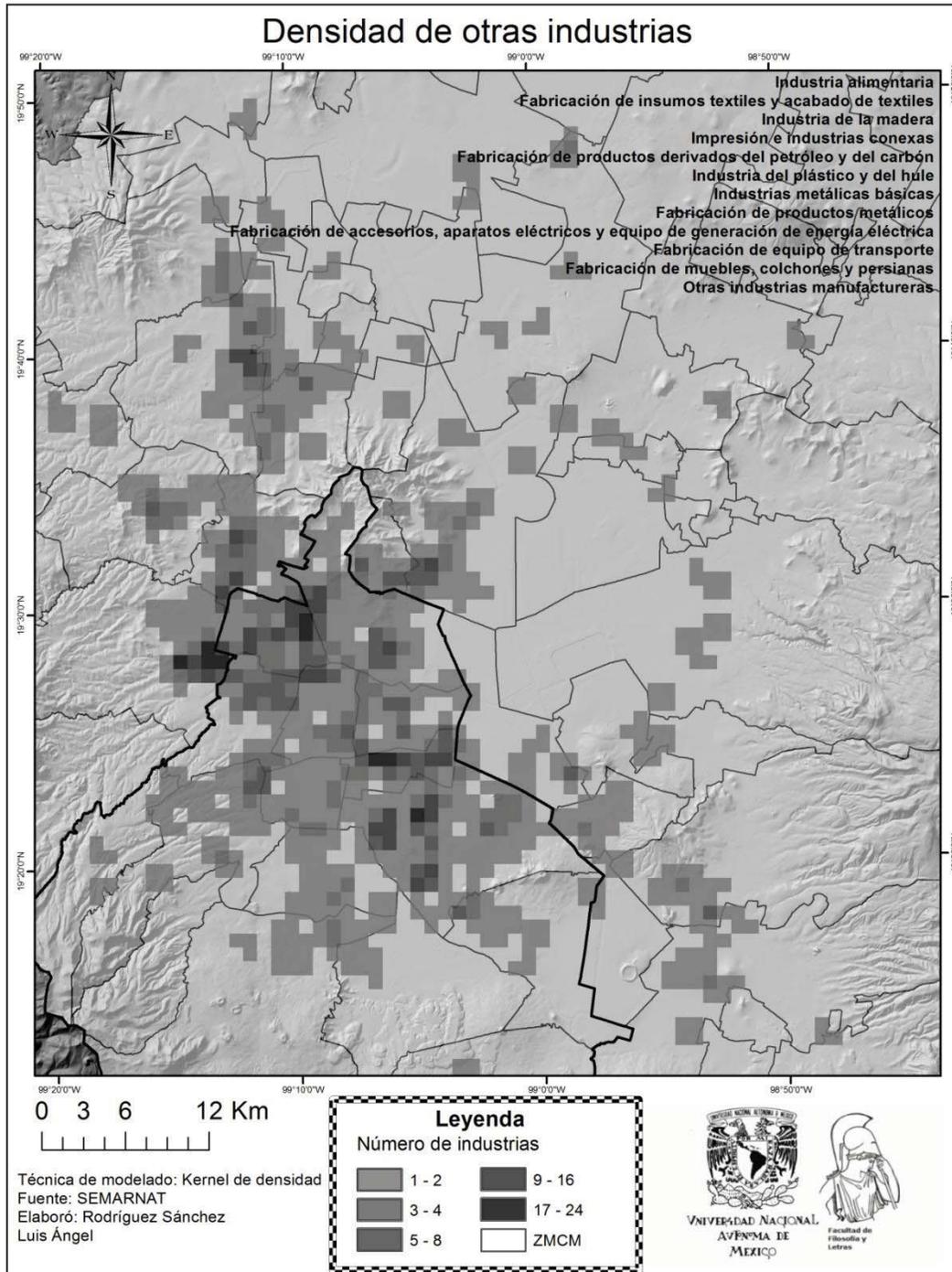
Mapa 13. Densidad de industria de papel.

La Industria química tiene un total de 489 fuentes, formando grandes zonas de concentración en diferentes lugares de la ZMCM, la densidad más significativa se encuentra al Oeste, en el municipio de Naucalpan de Juárez, otra zona se localiza al Centro-Noroeste en la delegación Azcapotzalco, como también al Noreste justo en el municipio de Ecatepec de Morelos en la Colonia San Pedro Xalostoc. La industria que tiene mayor cantidad es la química con un total de 393.



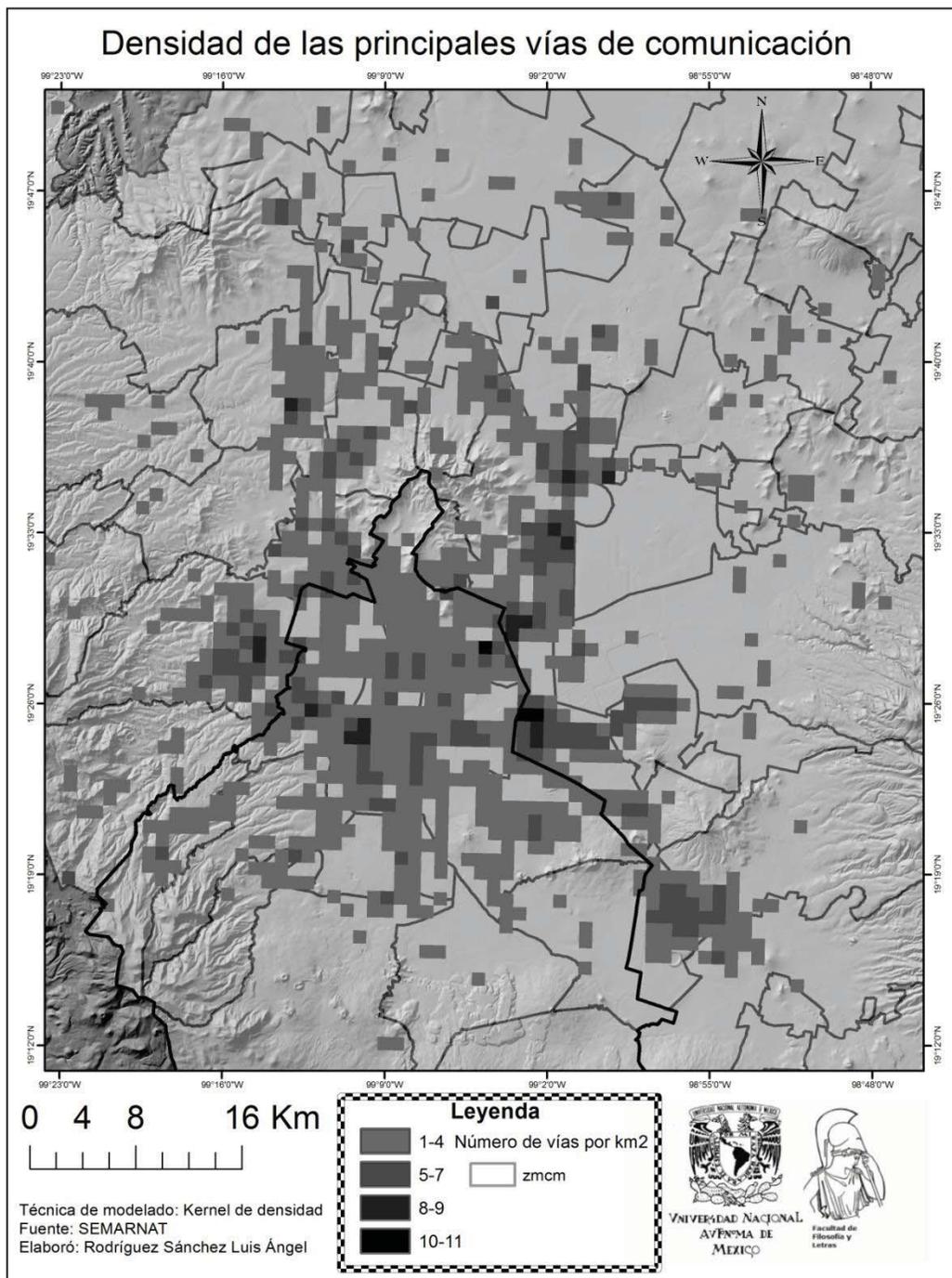
Mapa 14. Densidad de industria química.

El resto de las fuentes de emisión se agruparon en una sola, dado que su porcentaje de emisión era mínimo, estas aglomeraciones se localizan principalmente en el municipio de Naucalpan de Juárez, las delegaciones Iztacalco y Azcapotzalco. En total son 1,789 industrias siendo la de artículos y productos metálicos, alimenticio y/o de consumo humano las que tienen mayor cantidad con 572.



Mapa 15. Densidad de otras industrias.

El otro tipo de emisión principal son las fuentes móviles, siendo las vías de comunicación el insumo cartográfico. La densidad de mayor consideración se localiza en el municipio de Netzahualcóyotl y la delegación Gustavo A. Madero con zonas donde hay hasta 11 vías por km². El municipio de Ecatepec de Morelos tiene muchas zonas con alta densidad de vías, desde 8 hasta 11 por km². Por lo general estas vías se localizan en la zona urbana de la ZMCM.



Mapa 16. Densidad de las principales vías de comunicación.

A continuación se muestra el porcentaje de emisión de los sectores que mencionamos anteriormente.

Cuadro 8. Porcentaje de emisión de cada sector por tipo de contaminante.

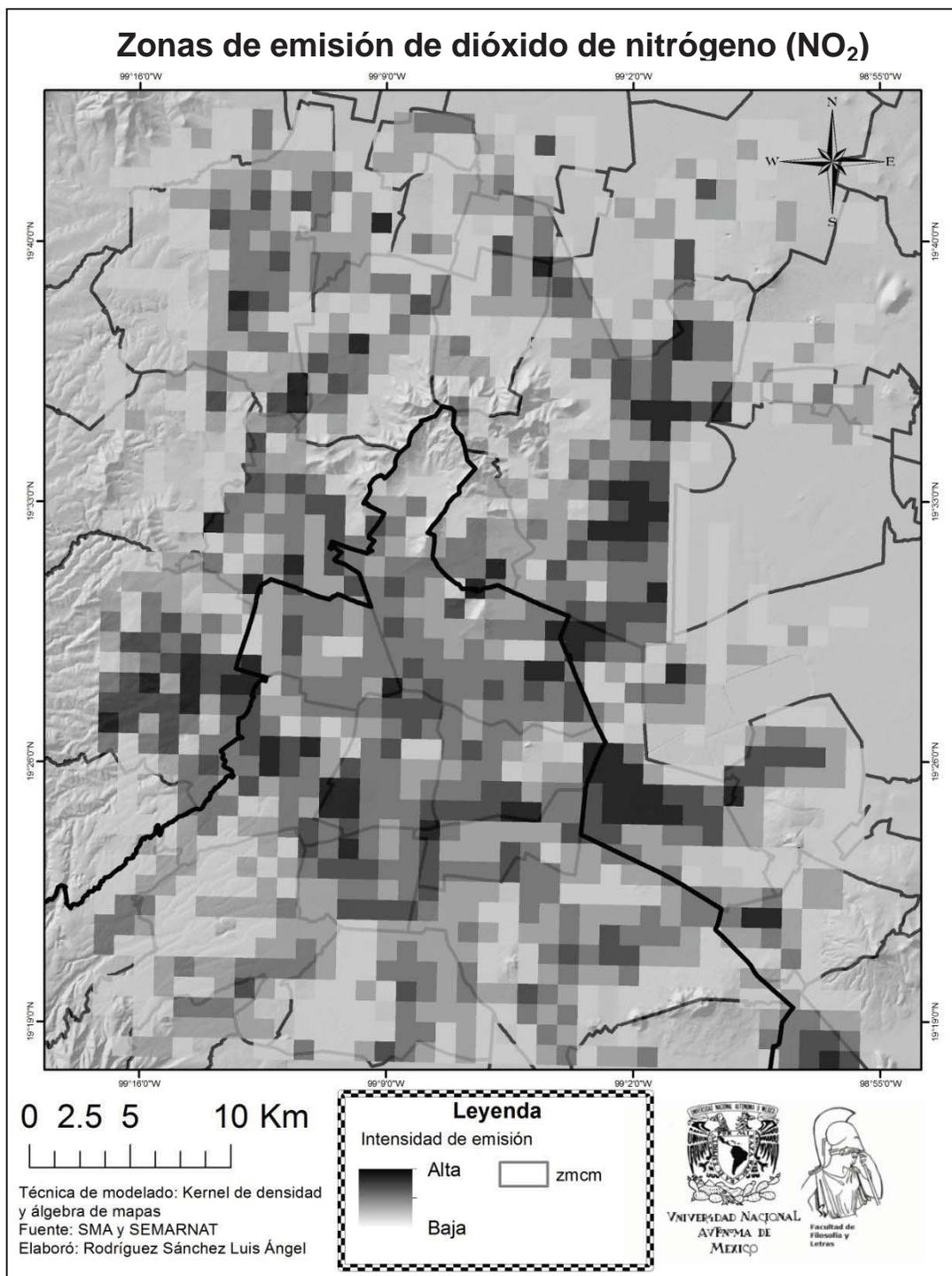
Sector	Porcentaje de emisión de cada sector por tipo de contaminante				
	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x
Otras industrias	9.12	5.81	11.96	0.01	5
	9.65	6.44	12.11	0	6.8
Industria del papel	0.31	0.58	8.33	0.03	0.5
	0	0	8.43	0	0
Industria química	3.88	2.69	10.73	0.02	0.49
	3.97	3.62	10.86	0	0
Fabricación de productos a base de minerales no metálicos	4.79	4.08	59.2	0.06	0.67
	4.9	4.52	59.9	0	0
Fuentes de área	4.54	19	3.45	1.46	12.5
	4.64	21.1	3.5	0	12.8
Fuentes móviles	75	58	5.05	98.17	78.64
	76.84	64.32	5.11	100	80.4
Total	97.64	90.16	98.72	99.75	97.8
	100	100	100	100	100
Los valores con números no sombreadas significan aquellos valores que asigno el SMA y los sombreados son la reasignación de valores para la multiplicación de las capas de información.					
Fuente: Rodríguez, S y Ruiz, C (2012).					
Elaboró: Rodríguez Sánchez Luis Ángel					

Los sectores se clasificaron de esta manera porque son los que tienen mayor porcentaje de emisión y se tiene una base cartográfica para su análisis espacial. La suma de los porcentajes no llega a 100%, lo cual es resultante a que hace falta lo correspondiente a los sectores que no se tienen cartografiados debido a que no se conoce su posición espacial.

Los porcentajes ilustrados en la tabla 8, son los valores que multiplicaron a las respectivas capas de densidad normalizadas para su posterior suma, dando como resultado los 5 modelos de emisión por contaminante, que a continuación se describen:

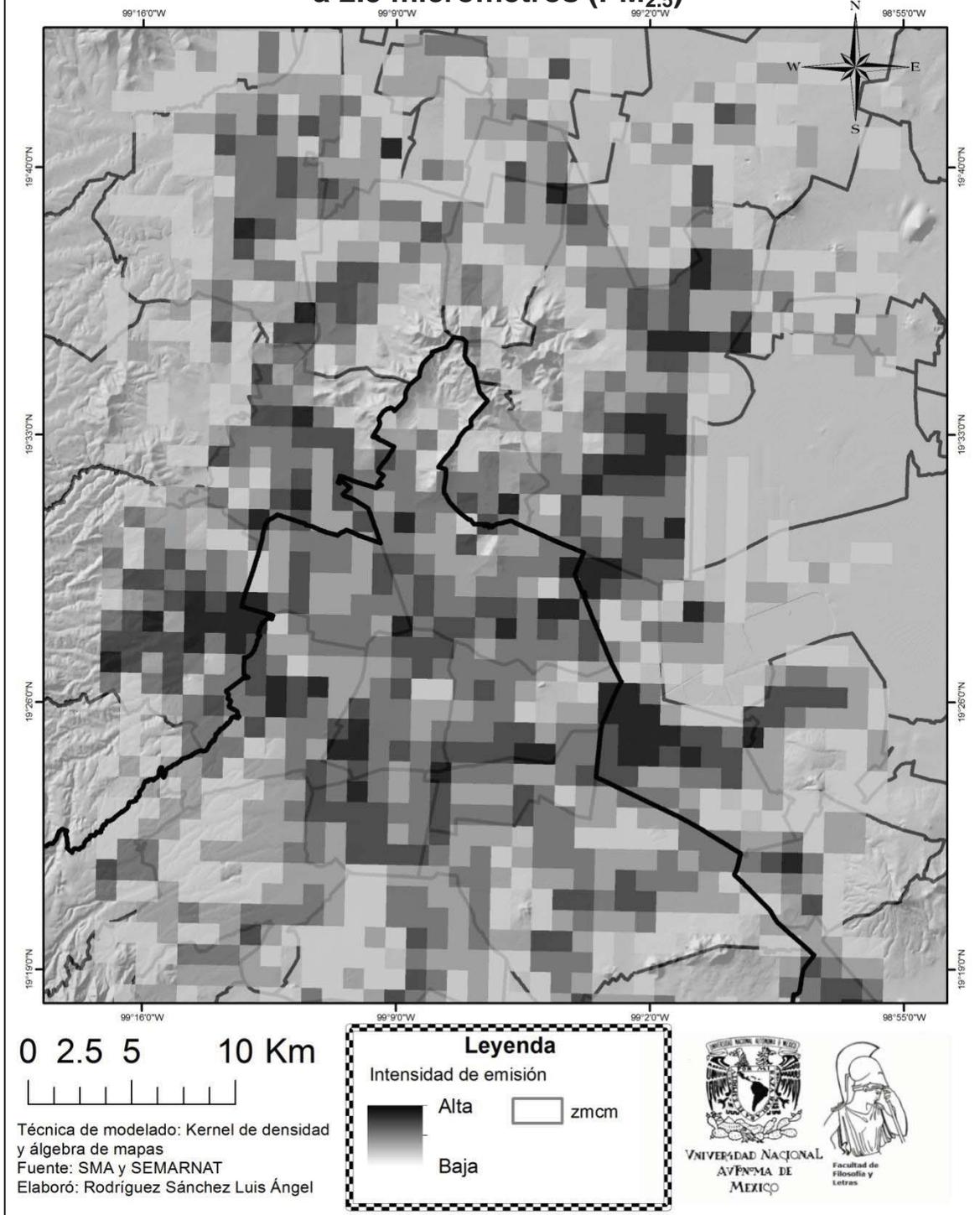
La emisión del dióxido de nitrógeno (NO₂), partículas menores a 2.5 y 10 micrómetros (PM_{2.5} y PM₁₀) tienen valores porcentuales de emisión muy similares, situación que hace que las zonas de intensidad de emisión de estos contaminantes se distribuyan espacialmente muy similares, teniendo diferencias en valores secundarios sin que cambie el patrón espacial de los valores altos. Estas zonas se localizan principalmente en los municipios de Netzahualcóyotl, Naucalpan de Juárez

y Ecatepec de Morelos, y se debe a que su principal fuente son las móviles y Netzahualcóyotl presenta gran densidad de vías de comunicación, sus otras fuentes son las de área y otras industrias, que al igual también se ubican densamente en Naucalpan y Ecatepec, por ende en estos municipios se concentran las zonas de emisión de estos contaminantes.

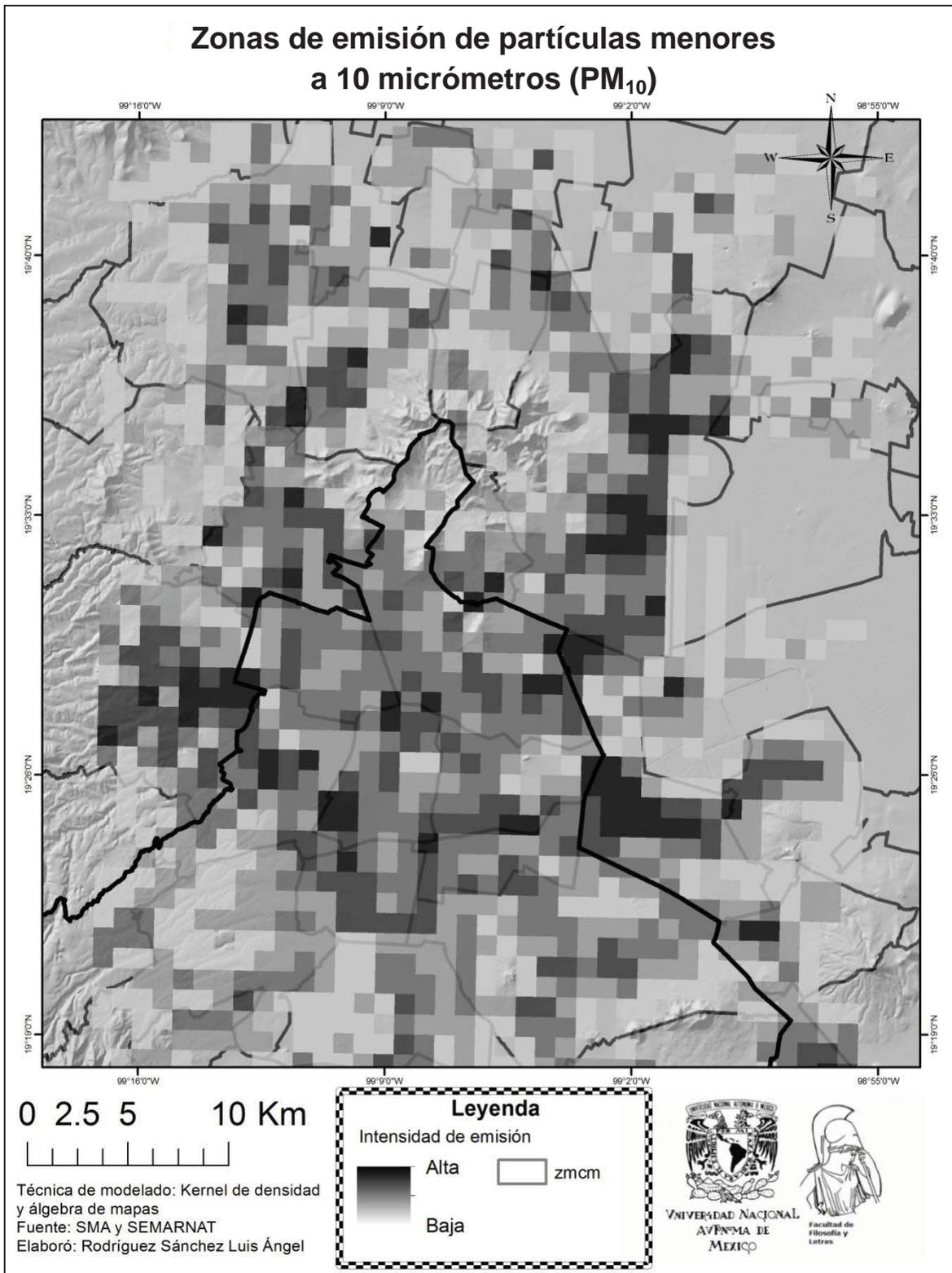


Mapa 17. Zonas de emisión de dióxido de nitrógeno (NO₂).

Zonas de emisión de partículas menores a 2.5 micrómetros (PM_{2.5})

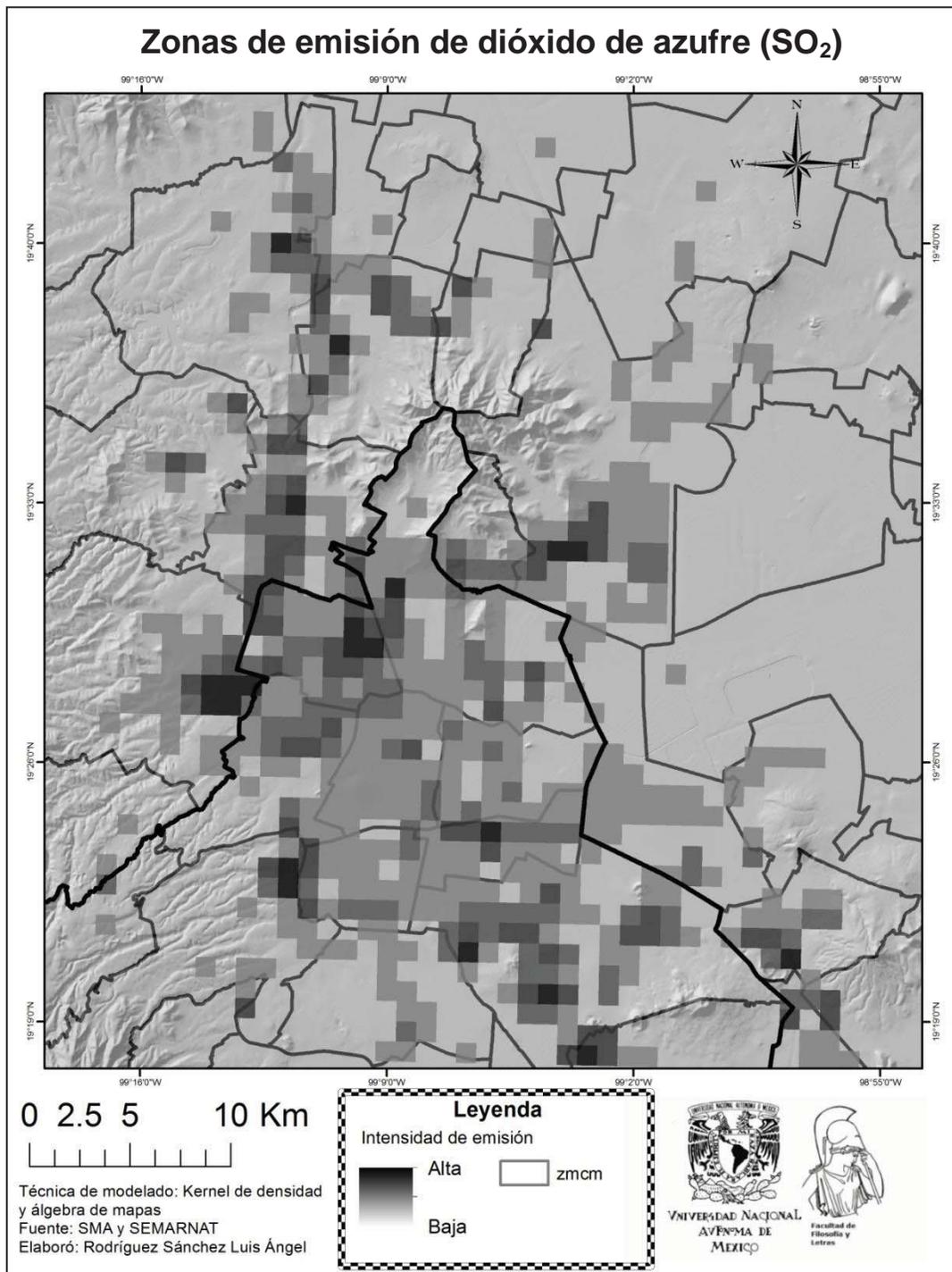


Mapa 18. Zonas de emisión de partículas menores a 2.5 micrómetros (PM_{2.5}).



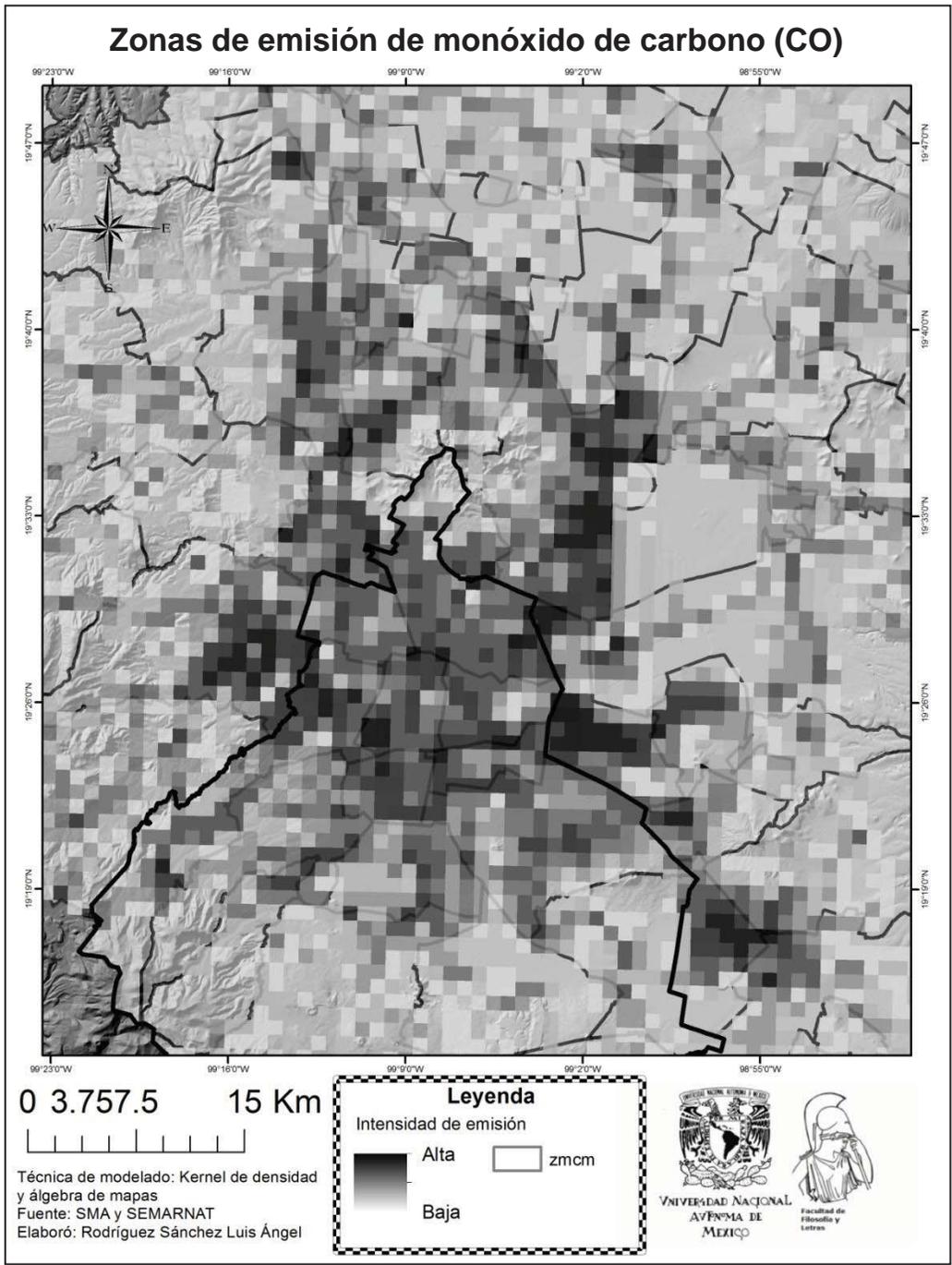
Mapa 19. Zonas de emisión de partículas menores a 10 micrómetros (PM₁₀).

El dióxido de azufre (SO₂) se emite principalmente en el municipio de Naucalpan de Juárez, Ecatepec de Morelos y la delegación Azcapotzalco; lo cual resulta de que su principal fuente es la fabricación de productos a base de minerales no metálicos, industria predominante en estas zonas.



Mapa 20. Zonas de emisión de dióxido de azufre (SO₂).

Por último, la zona de emisión de monóxido de carbono (CO) se encuentra justo donde está la mayor densificación de vías de comunicación, ya que las fuentes móviles aportan el 100% de este contaminante. Las zonas donde está la mayor intensidad de emisión son el municipio de Netzahualcóyotl, Ecatepec de Morelos, Ixtapaluca, Valle de Chalco Solidaridad, Naucalpan de Juárez y las delegaciones Gustavo A. Madero y Cuauhtémoc. Distribución espacial de los contaminantes en la ZMVM

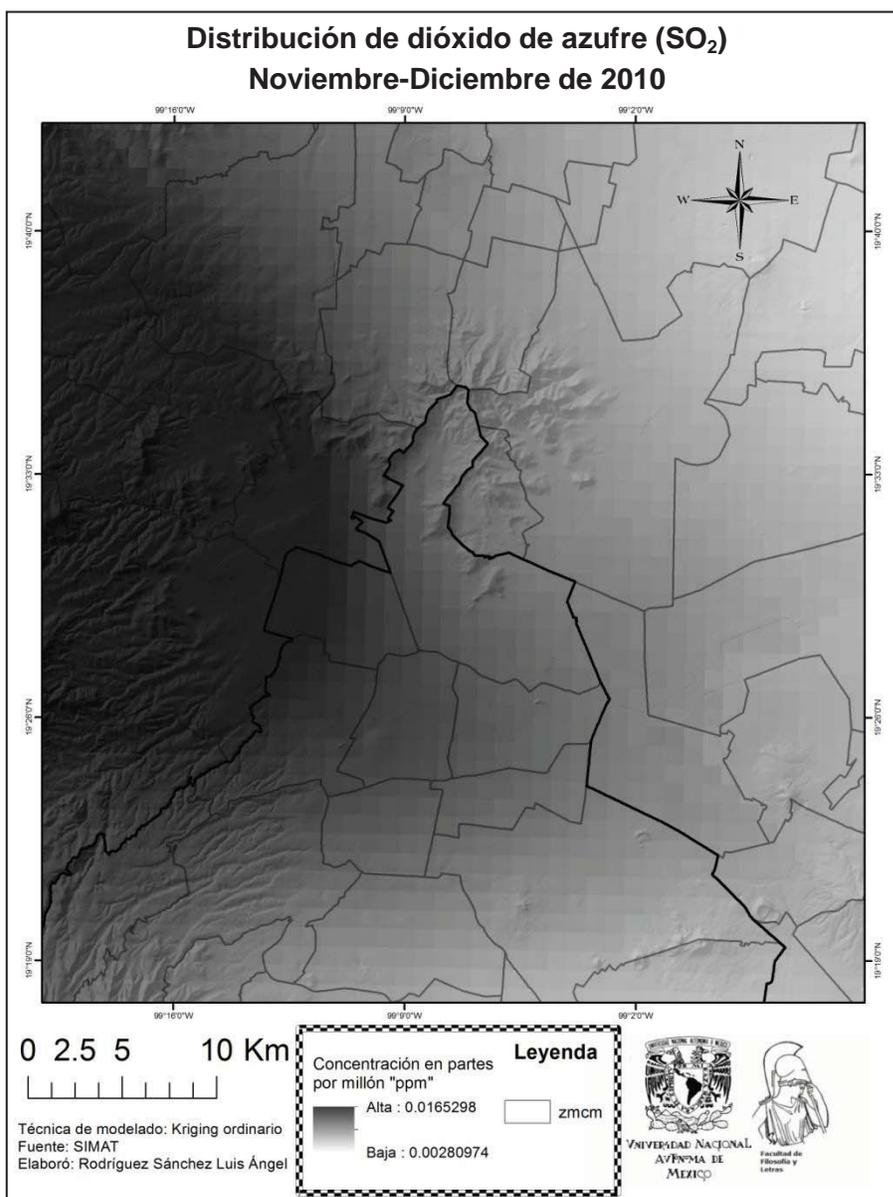


Mapa 21. Zonas de emisión de monóxido de carbono (CO).

Distribución de la contaminación atmosférica

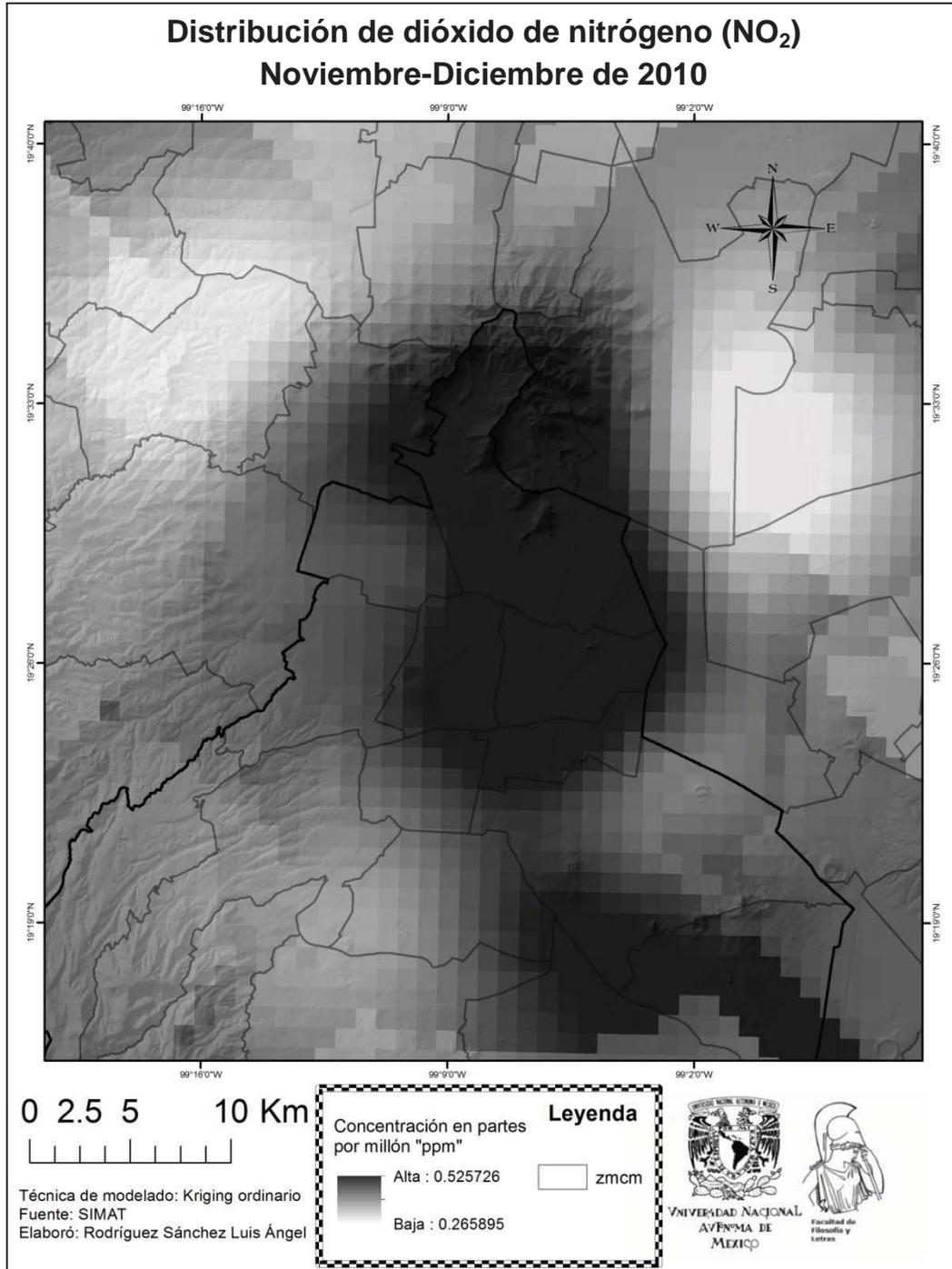
Las interpolaciones de los contaminantes registrados en la red de monitoreo RAMA, se acotaron sólo al comportamiento promedio de los meses de Noviembre y Diciembre, a continuación se ilustran las capas resultantes.

El mapa de dióxido de azufre presentó un valor máximo de 0.016 ppm, dato que se encuentra por debajo del valor recomendado que recomienda la norma oficial de salud ambiental NOM-022-SSA1-1993, que es de 0.30 ppm promedio anual; las zonas donde se encuentran estos valores son los municipios de Naucalpan de Juárez, Tlalnepantla de Baz, Atizapán de Zaragoza y Huixquilucan, y las delegaciones Miguel Hidalgo y Azcapotzalco.



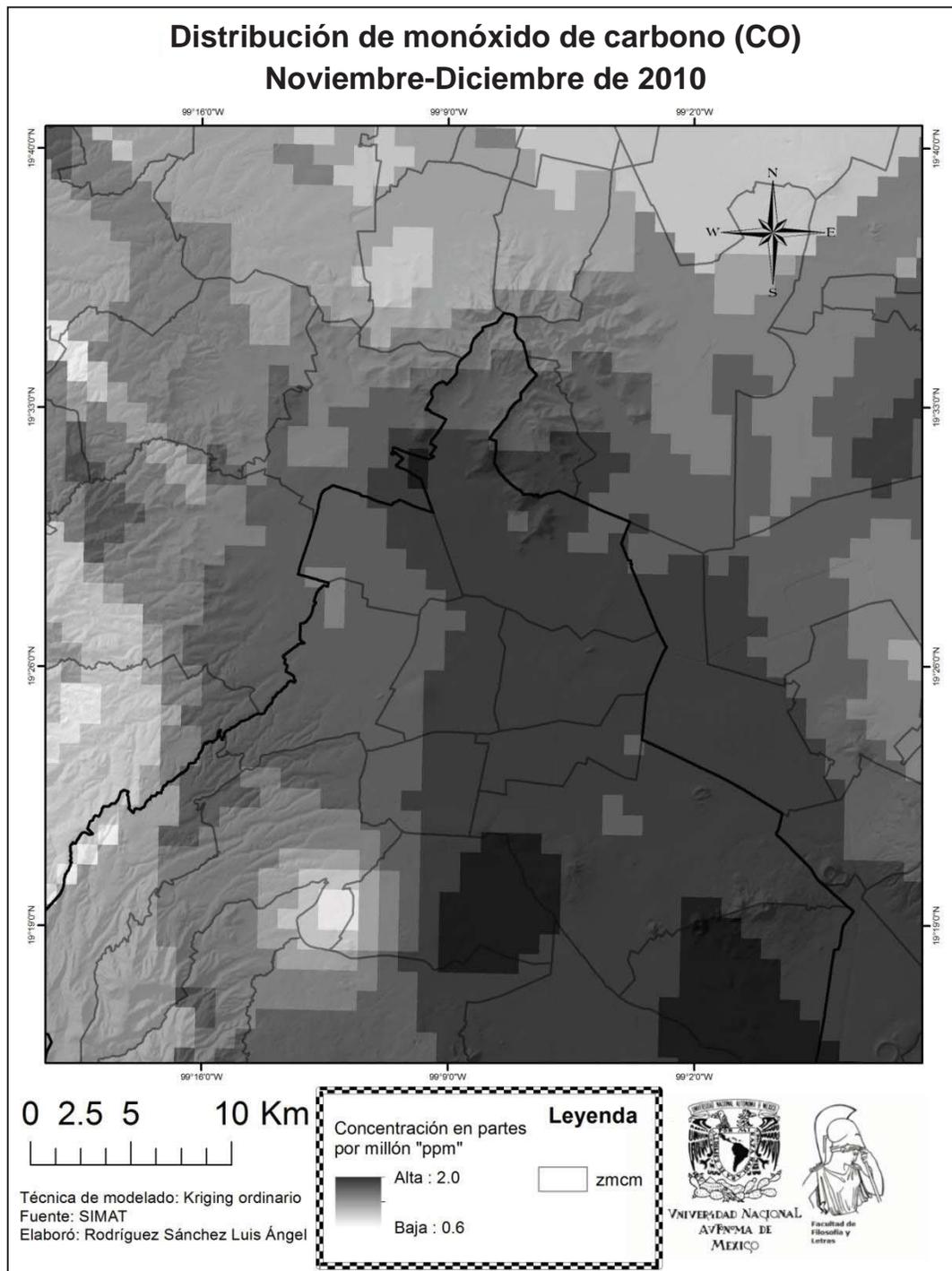
Mapa 22. Distribución de dióxido de azufre (SO₂) Noviembre-Diciembre 2010.

El mapa de dióxido de nitrógeno tiene valores máximos de 0.52 ppm estando por encima del que menciona la norma oficial de salud ambiental NOM-023-SSA1-1993, la cual recomienda no exceder el valor máximo de 0.21 ppm; las zonas donde se encuentran estos valores son las delegaciones Gustavo A. Madero, Venustiano Carranza, Iztacalco y el municipio de Tlalnepantla de Baz.



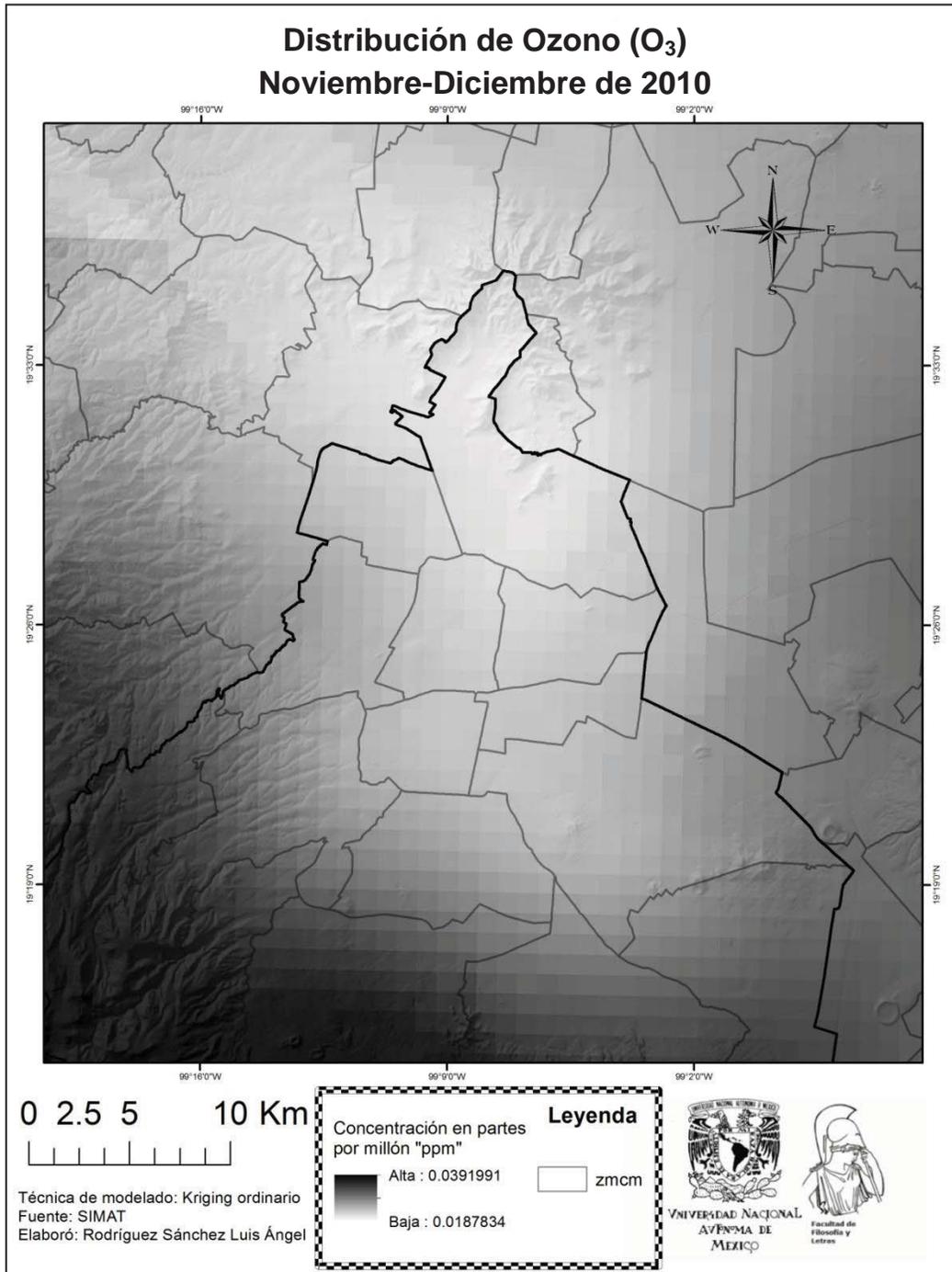
Mapa 23. Distribución de dióxido de nitrógeno (NO₂) Noviembre-Diciembre 2010.

En el mapa del monóxido de carbono los valores más altos registrados son de 2.0 ppm y de igual forma se encuentran por debajo de lo que recomienda la norma oficial de salud ambiental NOM-021-SSA1-1993, que es de 11.0 ppm máximo promedio de 8h; la delegación que tiene estos valores es Coyoacán, aunque en general toda el área central muestra valores parecidos.



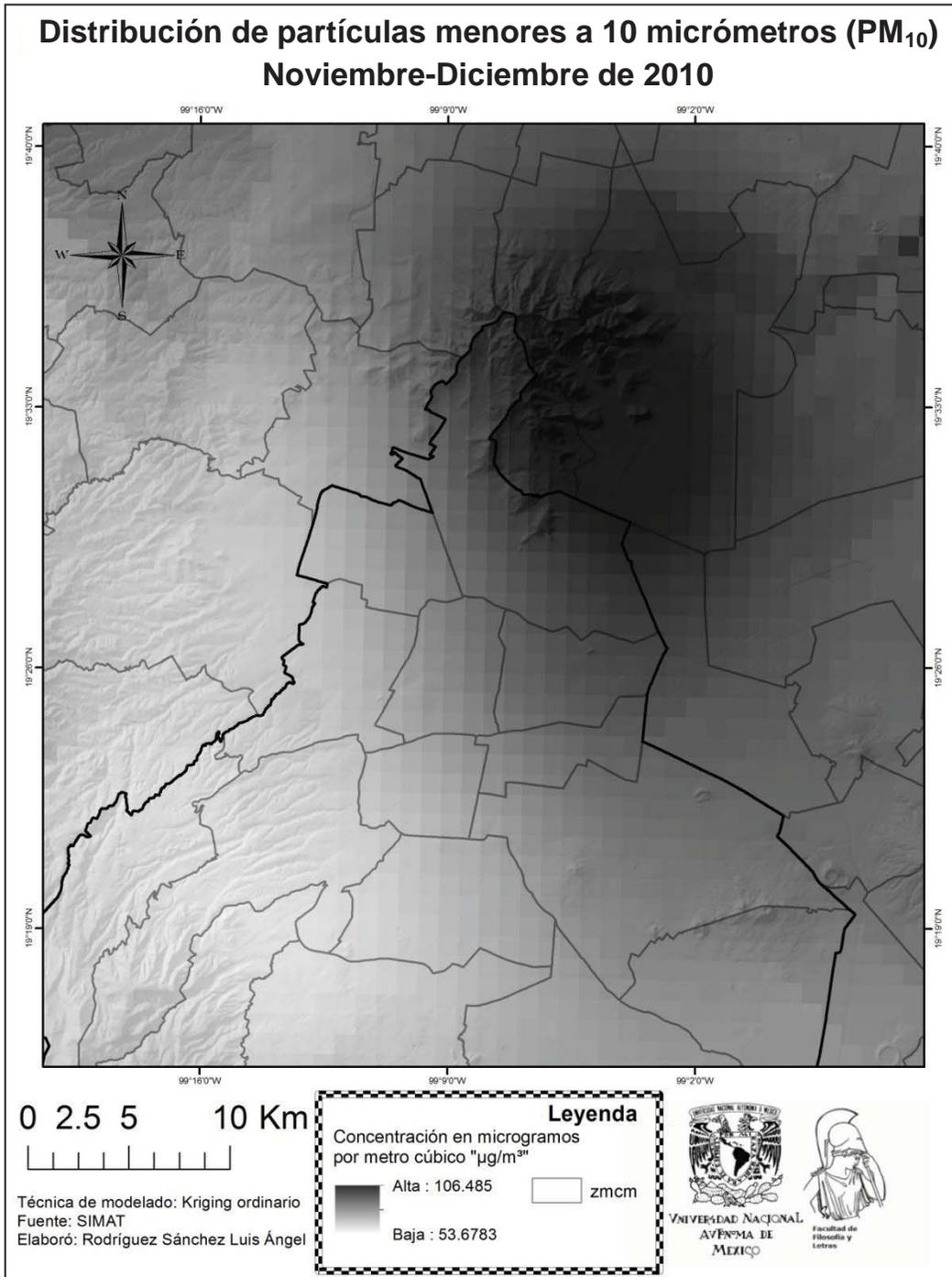
Mapa 24. Distribución de monóxido de carbono (CO) Noviembre-Diciembre 2010.

En cuanto al mapa de ozono, sus valores máximos 0.039 ppm, en esta época del año están por debajo de los valores recomendados por la norma oficial de salud ambiental NOM-020-SSA1-1993, que es de 0.110 ppm máximo promedio horario, y principalmente se distribuyen en el sur y suroeste de la ZMCM en las delegaciones Tlalpan, Milpa Alta, Magdalena Contreras, Álvaro Obregón y Cuajimalpa de Morelos.



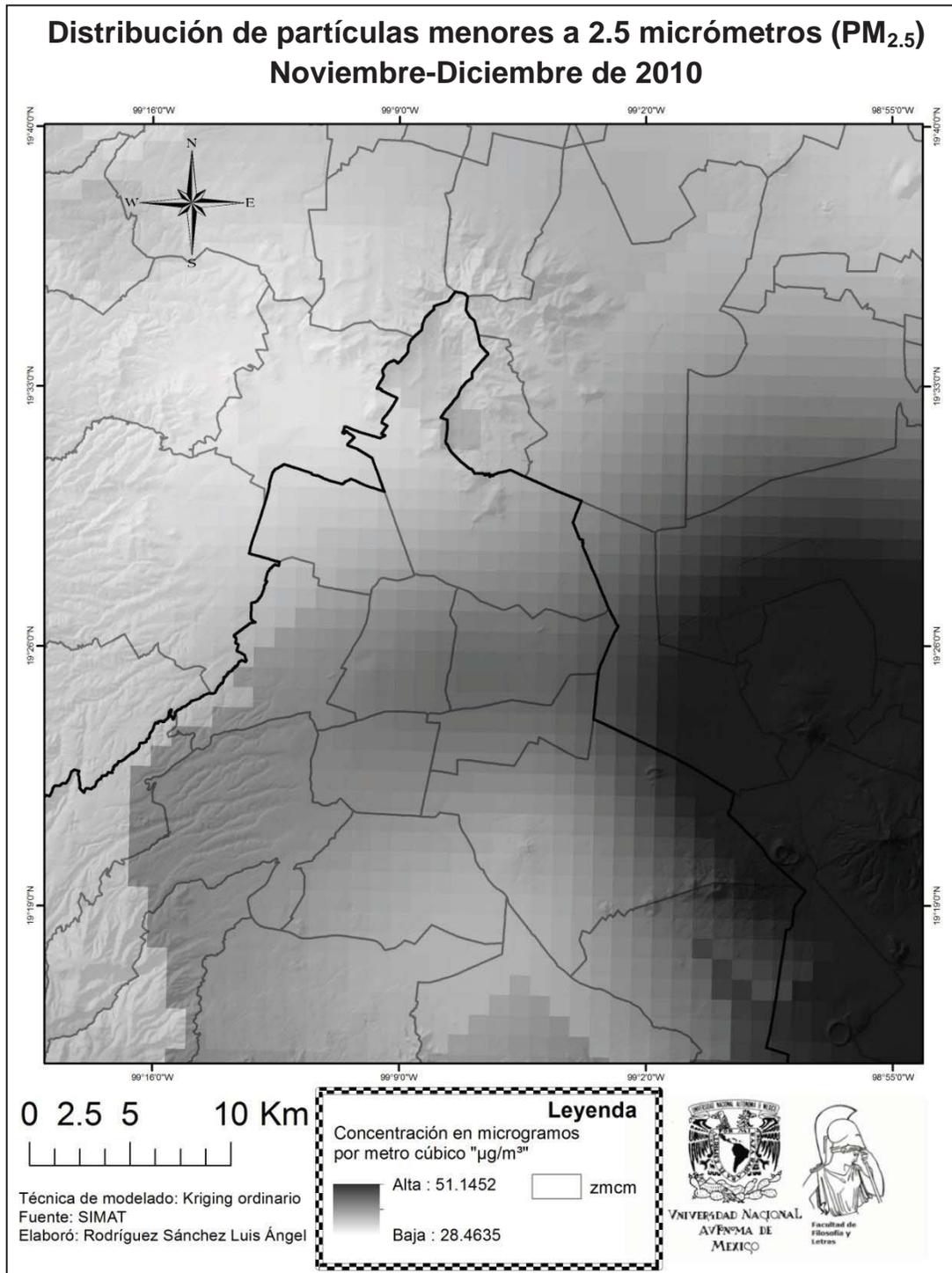
Mapa 25. Distribución de ozono (O₃) Noviembre-Diciembre 2010.

El mapa de partículas menores a 10 micrómetros tiene sus valores máximos alrededor de 106.85 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ estando por encima del límite que recomienda la norma oficial de salud ambiental NOM-025-SSA1-1993, que es de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ promedio anual, incluso los valores mínimos también superan esta recomendación; los municipios que tienen los valores más altos son Ecatepec de Morelos y Tlalnepantla de Baz.



Mapa 26. Distribución de las partículas menores a 10 micrómetros (PM₁₀) Noviembre-Diciembre 2010.

Por último, el mapa de partículas menores a 2.5 micrómetros mantuvo sus valores de 51.1452 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en estos meses, por encima de lo recomendado por la norma oficial de salud ambiental NOM-025-SSA1-1993, que es de 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ promedio anual; las zonas que tienen estos valores son los municipios de Netzahualcóyotl, Chimalhuacán, Ixtapaluca, La Paz y Valle de Chalco.



Mapa 27. Distribución de las partículas menores a 2.5 micrómetros ($\text{PM}_{2.5}$) Noviembre-Diciembre 2010.

Evaluación Multicriterio

Con la información antes descrita, se procedió a asignarle un valor a cada contaminante según su afectación a la salud sobre los grupos vulnerables de edad, esto mediante la EVM. Los resultados de esta EVM son 4 tablas de información, las cuales cuentan con su asignación de pesos comparativa por pares, la asignación de su respectivo peso a cada contaminante y el índice de consistencia para comprobar el grado lógico en la jerarquización de la asignación de los pesos.

Los contaminantes atmosféricos fueron analizados desde el punto de vista médico por el Dr. Violante Huerta Julio Cesar, en relación a su concentración ambiental, su efecto sobre el organismo y el tiempo requerido de exposición para generar un daño; se comparó uno contra otro para asignarle una jerarquía de patogenicidad en relación a cada grupo de edad y su efecto en el organismo, morbilidad y mortalidad asociada. Las Normas Oficiales de Salud Ambiental fueron la principal fuente bibliográfica para la toma de decisión de estos contaminantes.

Para la población mayor a 60 años, el orden de afectación de los contaminantes es la siguiente: CO, PM₁₀, NO₂, PM_{2.5}, O₃ y SO₂. Para el caso de emisión no se considera el O₃ así que el orden fue el siguiente para la emisión: CO, PM₁₀, NO₂, PM_{2.5} y SO₂.

Cuadro 9. EVM de la distribución de la contaminación para la población > a 60 años.

EVM de la distribución de la contaminación para la población mayor a 60 años							
> 60 años	SO2	NO2	CO	PM10	PM2.5	O3	
SO2	1	1/5	1/9	1/8	1/3	1/2	
NO2	5	1	1/4	1/3	3	4	
CO	9	4	1	2	6	7	
PM10	8	3	1/2	1	4	5	
PM2.5	3	1/3	1/6	1/4	1	3	
O3	2	1/4	1/7	1/5	1/3	1	
	28	8.78333333	2.17063492	3.908333333	14.66666667	20.5	
Normalizado							Promedio o peso
SO2	0.03571429	0.0227704	0.0511883	0.031982942	0.02272727	0.02439024	0.031462241
NO2	0.17857143	0.11385199	0.11517367	0.085287846	0.20454545	0.19512195	0.148758725
CO	0.32142857	0.45540797	0.4606947	0.511727079	0.40909091	0.34146341	0.41663544
PM10	0.28571429	0.34155598	0.23034735	0.255863539	0.27272727	0.24390244	0.271685144
PM2.5	0.10714286	0.03795066	0.07678245	0.063965885	0.06818182	0.14634146	0.08339419
O3	0.07142857	0.028463	0.06581353	0.051172708	0.02272727	0.04878049	0.048064261
							1
			Formula				
SO2	6.14379795		$\lambda_{\max} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{a_i \cdot w_i}{w_i}}{n}$		Donde:		
NO2	6.34067089					λmax= valor máximo	
CO	6.42051899					i= criterio	
PM10	6.44818116					a= valor del criterio	
PM2.5	6.10258897					w = valor ponderado de la alternativa	
O3	6.03011172					n = número de factores en la matriz	
suma	37.4858697					comparación	
media	6.24764495				CI= índice de consistencia		
CI	0.04952899		$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$				

Elaboró: Rodríguez Sánchez Luis Ángel

Cuadro 10. EVM de la emisión de contaminantes para la población > de 60 años.

EVM de la emisión de contaminantes para la población mayor de 60 años						
> 60 años	SO2	NO2	CO	PM10	PM2.5	
SO2	1	1/5	1/9	1/8	1/3	
NO2	5	1	1/4	1/3	3	
CO	9	4	1	2	6	
PM10	8	3	1/2	1	4	
PM2.5	3	1/3	1/6	1/4	1	
	26	8.53333333	2.02777778	3.70833333	14.3333333	
Normalizado					Promedio o peso	
SO2	0.038461538	0.0234375	0.05479452	0.033707865	0.02325581	0.034731448
NO2	0.192307692	0.1171875	0.12328767	0.08988764	0.20930233	0.146394566
CO	0.346153846	0.46875	0.49315068	0.539325843	0.41860465	0.453197005
PM10	0.307692308	0.3515625	0.24657534	0.269662921	0.27906977	0.290912568
PM2.5	0.115384615	0.0390625	0.08219178	0.06741573	0.06976744	0.074764414
						1
			Formula			
SO2	5.05740871		$\lambda_{\max} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{a_i \cdot W_i}{W_i}}{n}$	Donde:		
NO2	5.15466642			λ_{\max} = valor máximo		
CO	5.255484676			i = criterio		
PM10	5.27170076			a = valor del criterio		
PM2.5	5.029370295			w = valor ponderado de la alternativa		
suma	25.76863085			n = número de factores en la matriz		
promedio	5.15372617			comparación		
				CI = índice de consistencia		
CI	0.038431543		$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$			
				Elaboró: Rodríguez Sánchez Luis Ángel		

Para los adultos mayores (> 60 años) se asignó al dióxido de azufre como el de menor importancia, éste es absorbido principalmente por el sistema nasal, la exposición de altas concentraciones a cortos períodos de tiempo, puede irritar el tracto respiratorio, causar bronquitis y congestionar los conductos bronquiales de los asmáticos, su exposición aguda no genera cambios orgánicos a largo plazo, además que los niveles atmosféricos no sobrepasan, en la mayoría, los umbrales permitidos por las Normas Oficiales de Salud ambiental, aunque su efecto en el organismo no deja de ser tóxico, las manifestaciones de tipo respiratorio son transitorias.

Le sigue el Ozono que por su alta capacidad oxidativa resulta altamente tóxico y sus efectos en el organismo se manifiestan a corto plazo, pero es reversible la intoxicación al respirar oxígeno gaseoso nuevamente. Las PM_{2.5} al incluir agentes biológicos y metales pesados generan un efecto acumulativo e inmediato que daña tanto al sistema cardiovascular como respiratorio, su diminuto tamaño también permite la invasión alveolar lo que hace que el efecto sea más persistente y difícil de revertir, la principal afección que veremos en edades tardías serán manifestaciones cardiovasculares que más se asocian a la absorción de partículas suspendidas.

De mayor peso encontramos al dióxido de nitrógeno, el cual es precursor de agentes inflamatorios, su inhalación genera un efecto inmediato que se agrava con la persistencia,

desencadena una cascada inflamatoria endotelial, dando lugar a enfermedades de tipo coronario, pero a su vez, los derivados nitrogenados (nitratos, nitritos y óxido nítrico) por su reacción altamente inflamatoria y oxidativa a nivel mitocondrial son considerados como principales agentes en la oncogénesis, y se requiere una exposición a corto plazo y de manera constante para generar estos efectos. Le siguen las PM₁₀, por su tamaño son retenidas en las mucosas logrando una inflamación constante desde su instalación y posterior a su desecho, en caso de ser eliminados; se necesita poco tiempo de exposición para generar este cambio y las reacciones que genera requieren mucho más tiempo para ser neutralizadas.

El agente considerado como más tóxico fue el monóxido de carbono, fácilmente atraviesa la membrana alveolo capilar y se fija a la hemoglobina con mayor facilidad que el oxígeno, al competir con este, esta propiedad genera disminución de los niveles de oxígeno a nivel tisular, a mediano plazo y a corto plazo hay respuesta inflamatoria en el endotelio, dando lugar a patologías como la aterosclerosis, insuficiencia vascular, fragilidad capilar, trombosis, entre otras, todas ellas como principal factor de riesgo en enfermedades coronarias isquémicas. Además afecta el funcionamiento de cada órgano y sistema en el cuerpo, a pesar de que las manifestaciones a corto plazo son principalmente cardiorespiratorias el daño es a nivel celular en todo el organismo.

El índice de consistencia derivado de esta asignación para la emisión fue de 0.038 y para la distribución fue de 0.049, ambos estando dentro del umbral permisible de coherencia.

Para la población de 0 a 4 años, el orden de afectación de los contaminantes es: CO, PM_{2.5}, PM₁₀, O₃, SO₂ y NO₂. Al igual, para la emisión no se considera el O₃ así que el orden de emisión es: CO, PM_{2.5}, PM₁₀, SO₂ y NO₂.

Cuadro 11. EVM de la distribución de la contaminación para la población de 0 a 4 años.

EVM de la distribución de la contaminación para la población de 0 a 4 años							
0-4 años	SO2	NO2	CO	PM10	PM2.5	O3	
SO2	1	2	1/8	1/5	1/7	1/3	
NO2	1/2	1	1/9	1/6	1/8	1/4	
CO	8	9	1	4	3	6	
PM10	5	6	1/4	1	1/3	3	
PM2.5	7	8	1/3	3	1	5	
O3	3	4	1/6	1/3	1/5	1	
	24.5	30	1.98611111	8.7	4.801190476	15.5833333	
Normalizado							Promedio o pesos
SO2	0.04081633	0.06666667	0.06293706	0.02298851	0.029754525	0.02139037	0.04075891
NO2	0.02040816	0.03333333	0.05594406	0.01915709	0.02603521	0.01604278	0.028486772
CO	0.32653061	0.3	0.5034965	0.45977011	0.624845029	0.38502674	0.433278166
PM10	0.20408163	0.2	0.12587413	0.11494253	0.069427225	0.19251337	0.151139814
PM2.5	0.28571429	0.26666667	0.16783217	0.34482759	0.208281676	0.32085561	0.265696333
O3	0.12244898	0.13333333	0.08391608	0.03831418	0.041656335	0.06417112	0.080640005
							1
			Formula				
SO2	6.05896494		$\lambda_{\max} = \frac{\sum_{i=1}^n a_i w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} / n$				
NO2	6.16322054						
CO	6.69597248						
PM10	6.38256707						
PM2.5	6.69918317						
O3	6.10858164						
SUMATORIA	38.1084898						
Media	6.35141497						
			CI =				
CI	0.07028299		$\frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$				
					Donde:		
					λmax= valor máximo		
					i= criterio		
					α= valor del criterio		
					w= valor ponderado de la alternativa		
					n= número de factores en la matriz		
					comparación		
					CI= índice de consistencia		
					Elaboró: Rodríguez Sánchez Luis Ángel		

Cuadro 12. EVM de la emisión de contaminantes para la población de 0 a 4 años.

EVM de la emisión de contaminantes para la población de 0 a 4 años						
0-4 años	SO2	NO2	CO	PM10	PM2.5	
SO2	1	2	1/8	1/5	1/7	
NO2	1/2	1	1/9	1/6	1/8	
CO	8	9	1	4	3	
PM10	5	6	1/4	1	1/3	
PM2.5	7	8	1/3	3	1	
	21.5	26	1.81944444	8.36666667	4.60119048	
Normalizado					Promedio o pesos	
SO2	0.04651163	0.07692308	0.06870229	0.023904382	0.03104787	0.049417849
NO2	0.02325581	0.03846154	0.0610687	0.019920319	0.02716688	0.033974651
CO	0.37209302	0.34615385	0.54961832	0.478087649	0.65200517	0.479591603
PM10	0.23255814	0.23076923	0.13740458	0.119521912	0.07244502	0.158539776
PM2.5	0.3255814	0.30769231	0.18320611	0.358565737	0.21733506	0.278476121
						1
			Formulas		Donde:	
SO2	5.03474689		$\lambda_{\max} = \frac{\sum_{i=1}^n a_i w_i}{w_i} / n$		λmax= valor máximo	
NO2	5.09804624				i= criterio	
CO	5.52614705				a= valor del criterio	
PM10	5.18608149				w= valor ponderado de la alternativa	
PM2.5	5.50022552				n= número de factores en la matriz comparación	
SUMATORIA	26.3452472				CI= índice de consistencia	
Media	5.26904944		$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$		Elaboró: Rodríguez Sánchez Luis Ángel	
CI	0.06726236					

Para el caso de la población de 0 a 4 años, el contaminante que menos afecta es el NO₂, en el cuerpo humano, aunque constituye un riesgo para las vías respiratorias ya que se ha comprobado que: inicia, reactiva y puede alterar la capacidad de respuesta de las células en el proceso inflamatorio, como sucede con las células polimorfonucleares, macrófagos alveolares y los linfocitos, siendo más frecuente en casos de bronquitis crónica, sin embargo se requiere una exposición a corto plazo y de manera constante para generar estos efectos.

Se establece que la exposición en periodos cortos de tiempo a concentraciones altas de dióxido de azufre, afecta la capacidad ventilatoria, existe una relación entre exposición y respuesta para algunos individuos que se expresa principalmente en relación con las comorbilidades existentes, los niños menores de 4 años son más susceptibles a estas alteraciones, ya que el epitelio se encuentra constantemente en procesos inflamatorios debido al mecanismo inmunológico que se lleva a cabo para generar anticuerpos. Para el O₃ debido a su capacidad oxidativa, una exposición de corto tiempo es suficiente para generar un cambio en la función respiratoria, es por eso que las principales manifestaciones se presentan cuando los niveles de ozono aumentan aunado a la condición de baja temperatura. Su tamaño es la característica física más importante para determinar su toxicidad.

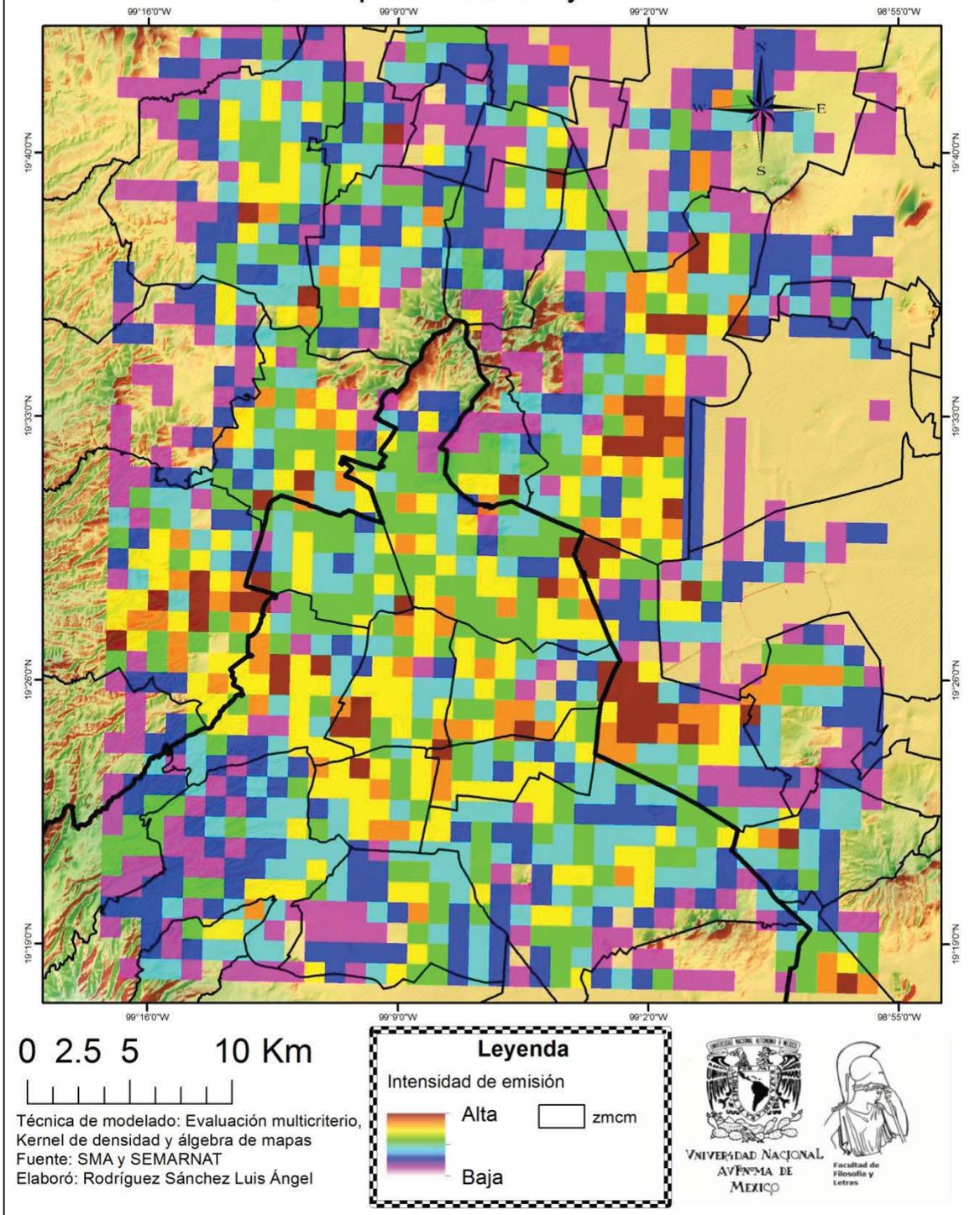
Las partículas que miden menos de 10 micrómetros se retienen básicamente en las vías respiratorias superiores. Se les considera capaces de bloquear los mecanismos de defensa del aparato respiratorio, a nivel de vías aéreas superiores y alveolos. Por su contenido de metales pesados, si es el caso, dan lugar a los cuadros específicos correspondientes. Las $PM_{2.5}$ Se asocian con mucha frecuencia con elementos ácidos con los que se sinergiza su efecto dañino potencial y finalmente pueden acarrear elementos biológicos que van desde pólenes hasta bacterias, hongos y virus. A nivel exposición aguda los factores microbiológicos se consideran de mayor peso que los agentes físicos, pues pueden incubarse y generar una infección en horas, al aprovecharse de las condiciones en las que se encuentra el tejido respiratorio y que en diversas ocasiones son estructuras tisulares dañadas por la exposición crónica a agentes físicos.

Por último, el efecto dañino principal del CO lo constituye su afinidad para combinarse con la hemoglobina dando lugar a una elevada formación de carboxihemoglobina y como consecuencia, disminuye la cantidad de oxihemoglobina y por ende la entrega de oxígeno a los tejidos. El monóxido de carbono es 40 veces más afín que el oxígeno a la hemoglobina. A nivel respiratorio los niveles elevados de monóxido de carbono en el ambiente generan aumento en la frecuencia respiratoria, síndrome de dificultad respiratoria aguda, taquipnea, somnolencia, cansancio, baja concentración y función mental alterada en exposiciones a periodos cortos, mientras que a exposiciones de periodos prolongados puede generar alteraciones en el crecimiento, alteraciones en el embarazo, alteraciones en la reproducción celular, alteraciones en la función celular, entre muchos efectos más. El índice de consistencia derivado de esta asignación para la distribución fue de 0.070 y de emisión fue de 0.067, ambos estando dentro del umbral permisible de coherencia.

Los modelos resultantes de la contaminación y la ponderación de pesos por medio de la EVM tienen valores dispersos en diferentes zonas de la ZMCM. En el mapa 28 se muestra la intensidad de emisión de contaminantes que más afecta a la población mayor a 60 años, y en el mapa 29 la emisión que más afecta a la población de 0 a 4 años, los valores resultantes de estos mapas son muy parecidos en sus intensidades altas, solo con mínimas variaciones en la intensidad media y baja. Las zonas de color rojo son aquellas donde hay mayor intensidad, estas se localizan en diferentes zonas, las áreas de mayor intensidad alta están en los municipios de Netzahualcóyotl y Ecatepec de Morelos; esto se debe a la gran densidad de población con valores de hasta 637 personas por hectárea siendo las más altas de la ZMCM y por ende se presenta una alta densidad de las vías de comunicación con valores de hasta 11 vías por Km^2 , con el fin de satisfacer sus necesidades de movilidad.

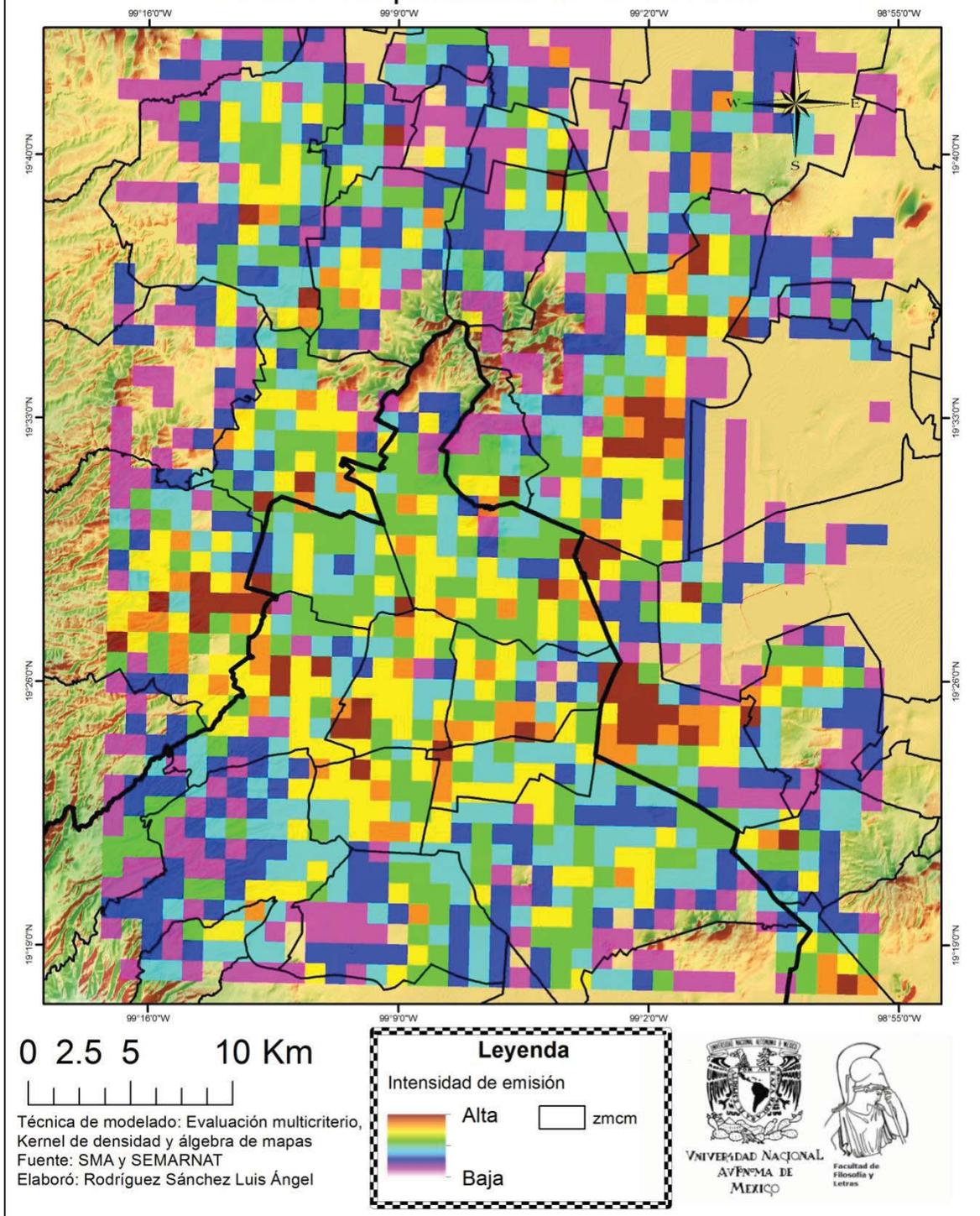
Con un poco menos de área pero igual en términos de intensidad, el municipio de Naucalpan de Juárez y la delegación Cuauhtémoc tienen alta densidad de vías de comunicación, que son las que emiten el CO que afecta a los dos grupos vulnerables. Aunado a ello los municipios de Ecatepec de Morelos y Naucalpan de Juárez también concentran gran cantidad de Industrias de todos los sectores, emisoras principalmente de SO_2 .

Intensidad de emisión de contaminación que más afecta a la población mayor de 60 años



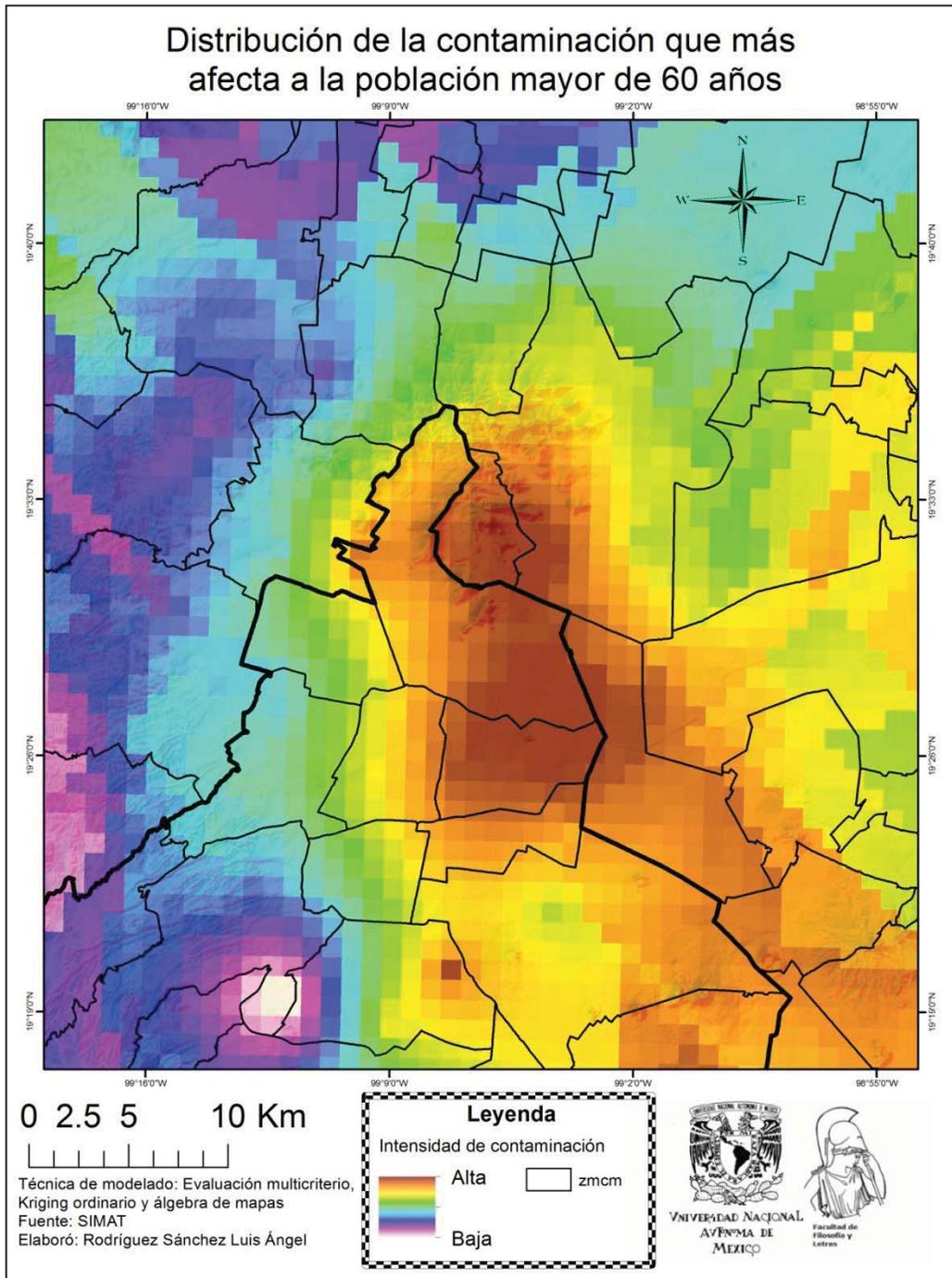
Mapa 28. Intensidad de emisión de contaminación que más afecta a la población mayor a 60 años.

Intensidad de emisión de contaminación que más afecta a la población de 0 a 4 años



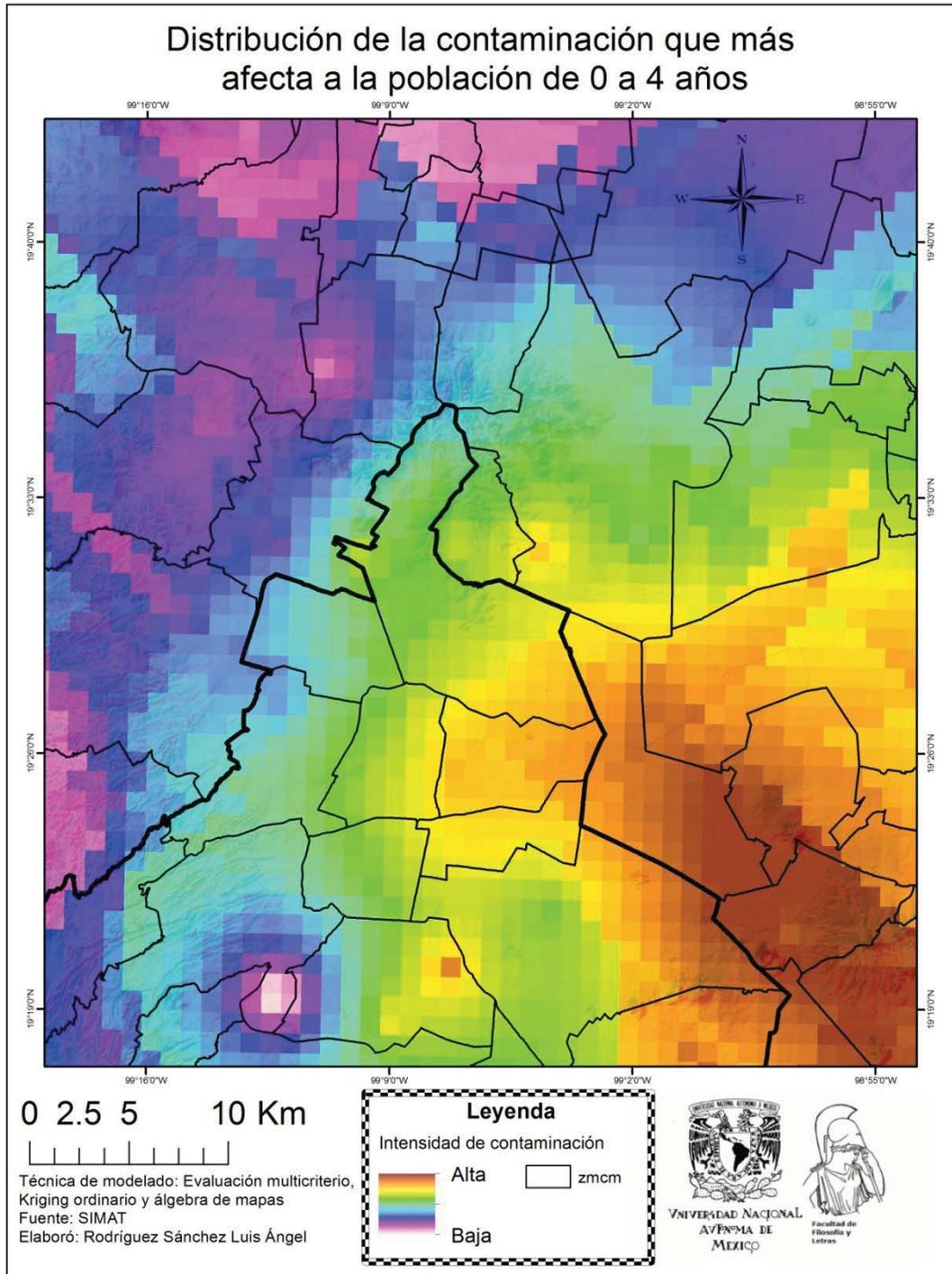
Mapa 29. Intensidad de emisión de contaminación que más afecta a la población de 0 a 4 años.

En el mapa 30 se ilustra la distribución de la contaminación que más afecta a la población mayor a 60 años, la intensidad alta de estos valores esta en color rojo y se localiza principalmente al centro Este de la ZMCM difuminándose en intensidad en dirección Sureste. Las delegaciones y/o municipios de Venustiano Carranza, Gustavo A. Madero, Tlalnepantla de Baz, Ecatepec de Morelos y Netzahualcóyotl concentran los valores más altos. Los principales contaminantes que afectan a este grupo de edad son el CO, PM₁₀ y NO₂.



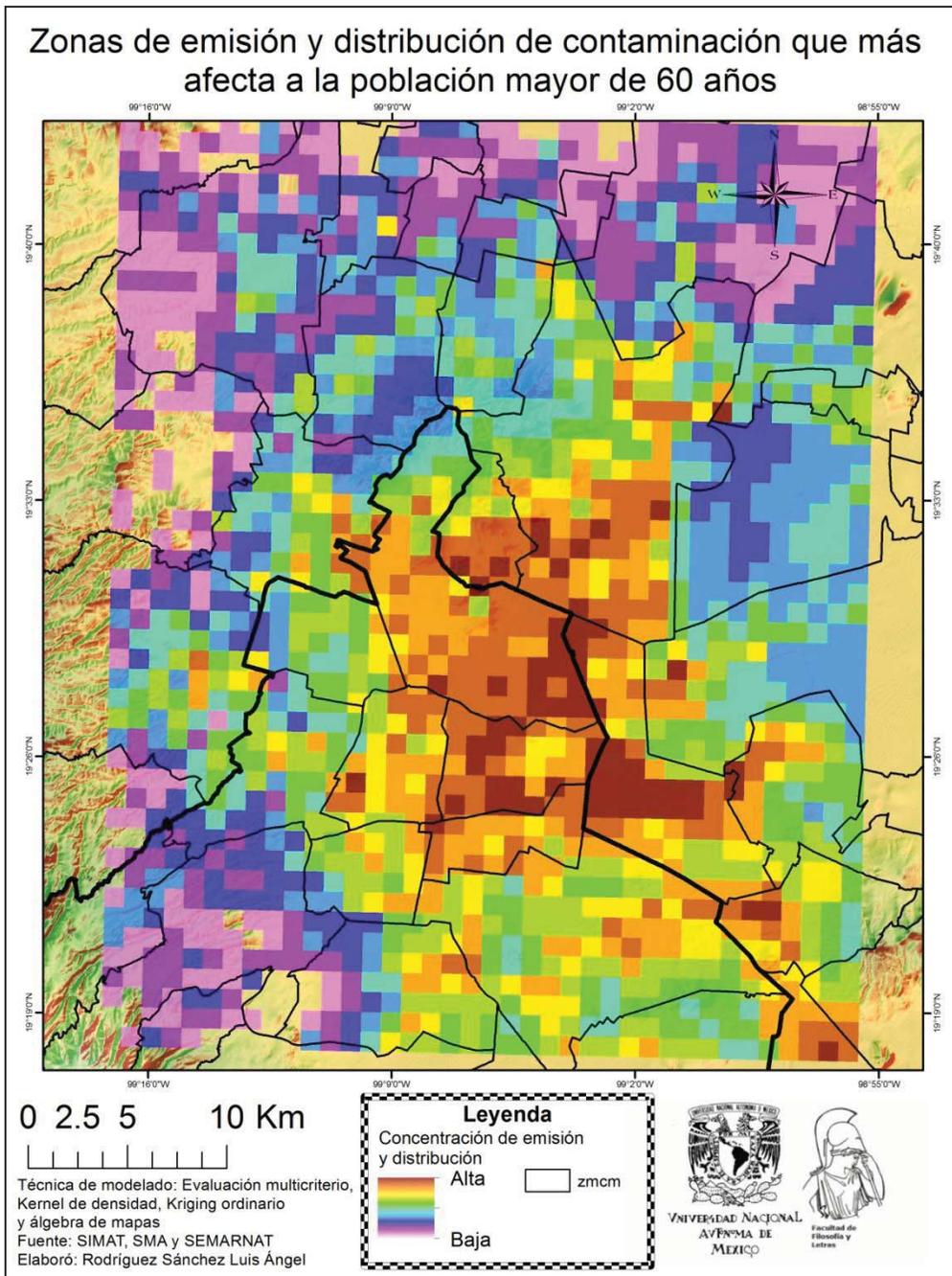
Mapa 30. Distribución de la contaminación que más afecta a la población mayor a 60 años.

El mapa 31 muestra la distribución de la contaminación que más afecta a la población de 0 a 4 años, situándose la mayor intensidad al Sureste de la ZMCM justo en los municipios de Netzahualcóyotl, Chimalhuacán, La Paz, Ixtapaluca, Valle de Chalco Solidaridad y la delegación Iztapalapa. El CO y PM_{2.5} son los contaminantes que más afectan a este grupo de edad vulnerable ubicados en estas zonas.



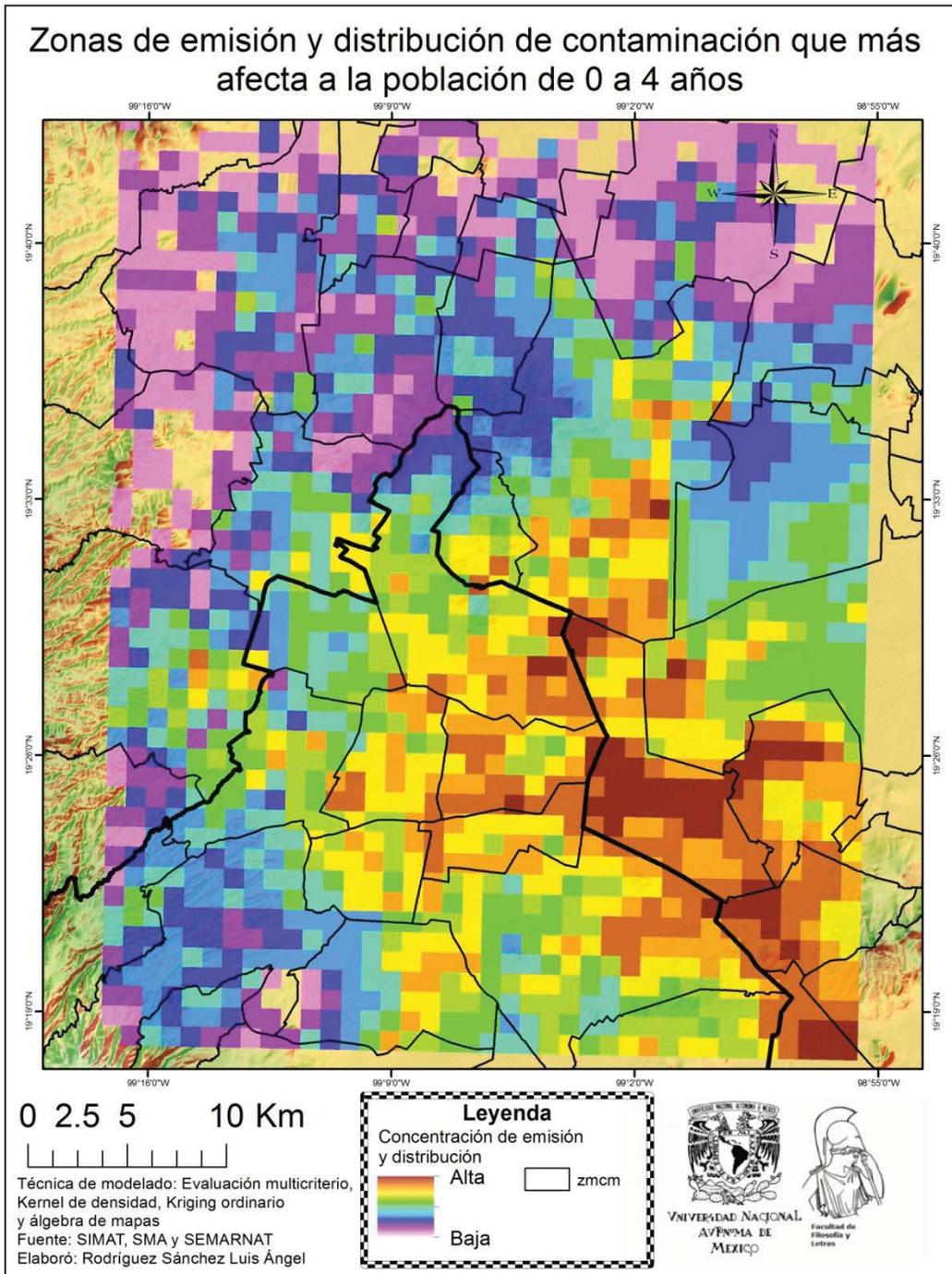
Mapa 31. Distribución de la contaminación que más afecta a la población de 0 a 4 años.

El resultado de unir las capa de intensidad de emisión y distribución de la contaminación muestra las zonas de mayor amenaza por contaminantes atmosféricos a la población mayor a 60 años ya que son en estos lugares donde se emite de mayor intensidad la contaminación. El mapa 32, muestra de color rojo las zonas donde se concentra la intensidad de afectación justo en los límites territoriales, al Norte y Centro del municipio de Netzahualcóyotl, Sur de los municipios de Ecatepec de Morelos y Tlalnepantla de Baz, al Este de las delegaciones Venustiano Carranza y Gustavo A. Madero.



Mapa 32. Zonas de emisión y distribución de la contaminación que más afecta a la población mayor a 60 años.

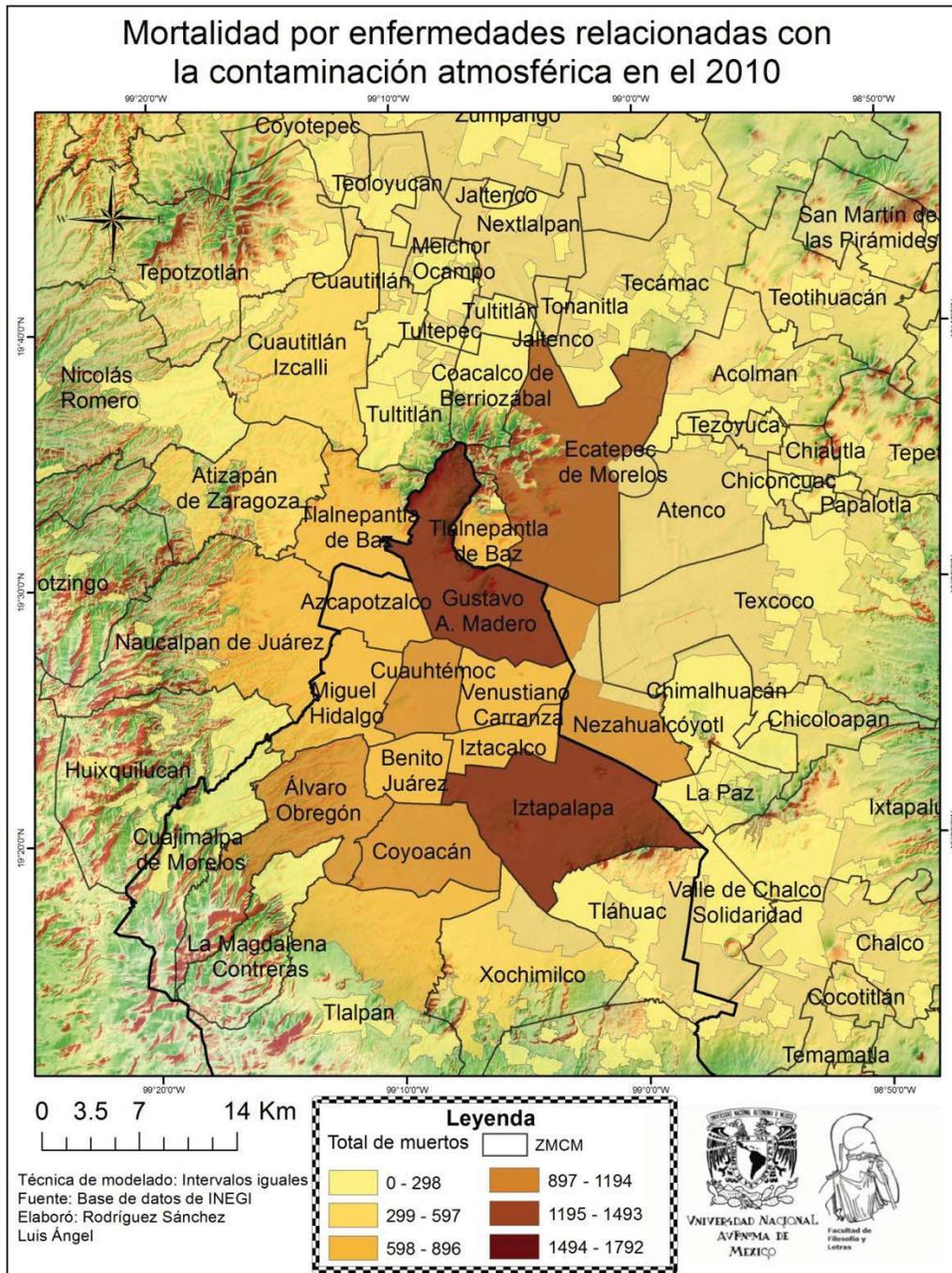
El mapa 33 se muestra la unión y distribución de los contaminantes que más afectan a la población de 0 a 4 años, siendo las zonas de color rojo donde hay mayor intensidad de amenaza a este grupo vulnerable. Esta intensidad se localiza al Sureste de la ZMCM, en los municipios de Netzahualcóyotl, Chimalhuacán, La Paz, Ixtapaluca, Valle de Chalco Solidaridad y la delegación Iztapalapa. De igual intensidad pero en menor área de amenaza en los límites territoriales de Ecatepec de Morelos y Gustavo A. Madero



Mapa 33. Zonas de emisión y distribución de la contaminación que más afecta a la población de 0 a 4 años.

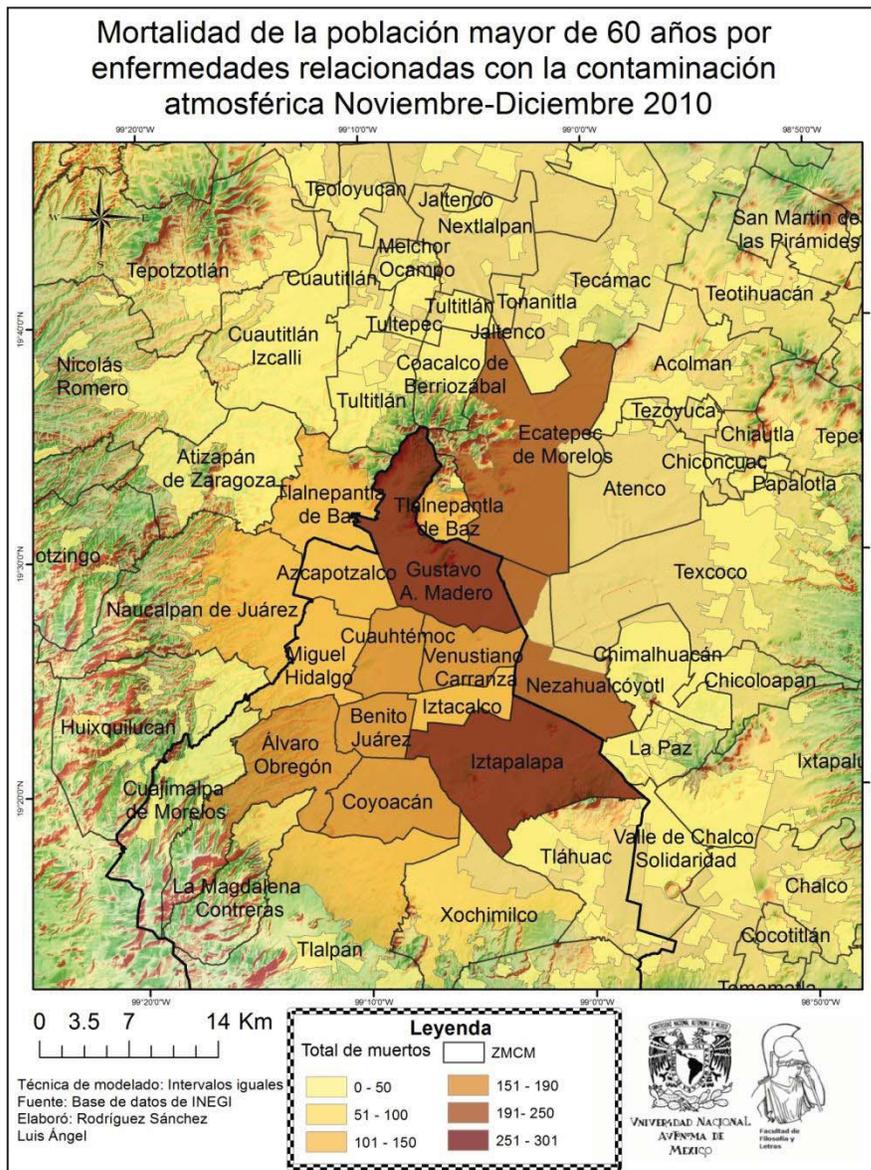
4.4 Relación mortalidad y riesgo

El mapa 34 muestra el total de muertes por enfermedades relacionadas con la contaminación atmosférica en el 2010; la delegación Iztapalapa registra el mayor número de muertos con un total de 1,792, le sigue Gustavo A. Madero con 1,723 y en el tercer lugar el municipio de Ecatepec de Morelos con un total de 1,309 defunciones. La causa principal de mortalidad en todo el año es la clasificada como Infarto agudo de miocardio con un total de 10,045 casos equivalente al 63.40%.



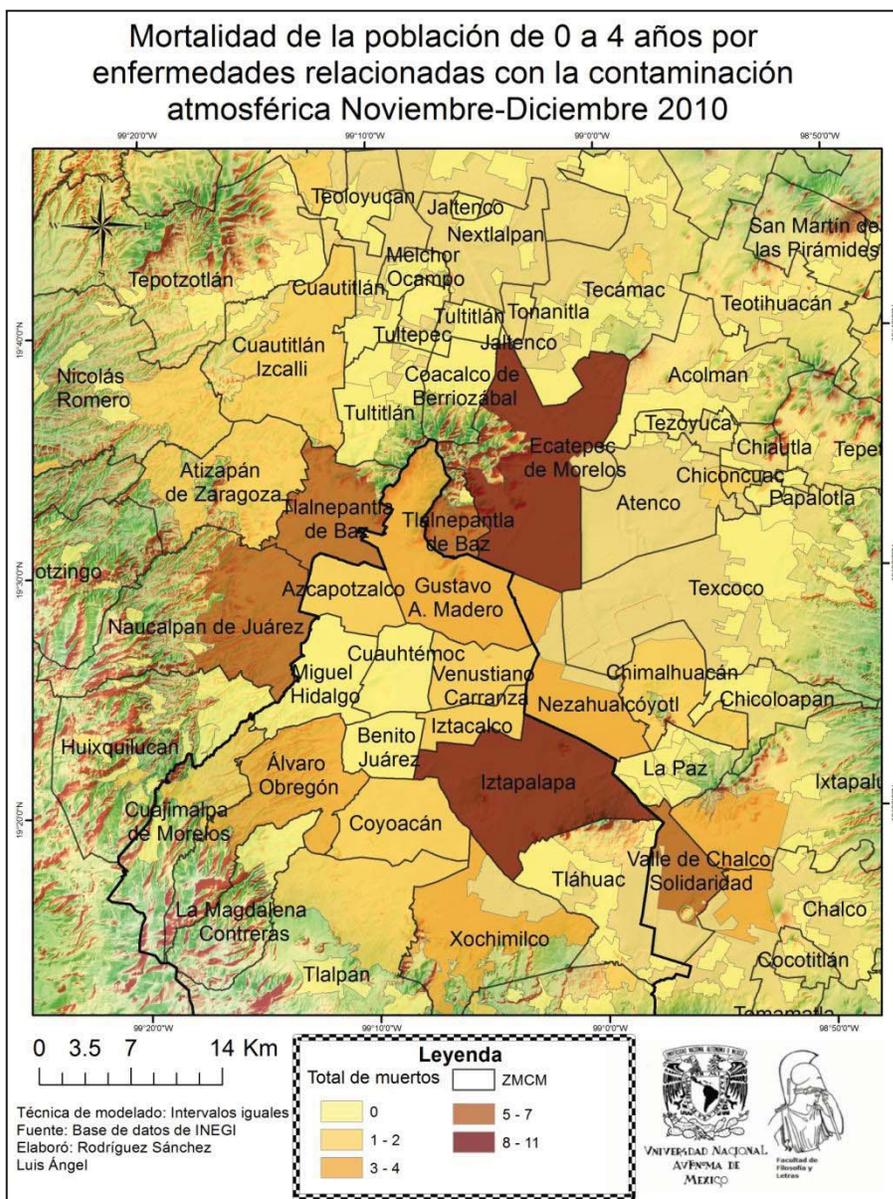
Mapa 34. Mortalidad por enfermedades relacionada por la contaminación atmosférica 2010.

De las defunciones para la población mayor a 60 años entre Noviembre y Diciembre se registraron un total de 3,403 defunciones relacionadas con la contaminación atmosférica. El mayor número de muertes corresponde a la clasificada como Infarto Agudo al Miocardio, con un total de 2,147 o 63% de las defunciones. Las otras causas con números considerables son las clasificadas como Otras enfermedades cerebrovasculares, Infarto cerebral y Apoplejía con un total de 279, 142 y 155, respectivamente. La enfermedad clasificada como Hipertensión arterial esencial (primaria) tiene un total de 151 defunciones y la Insuficiencia cardiaca tiene un total de 157 casos. En el mapa 35 se puede observar a las delegaciones con mayor número de defunciones, siendo Iztapalapa la que tiene el mayor número de casos con un total de 301, le sigue Gustavo A. Madero con 295, Ecatepec de Morelos registró 222 y Netzahualcóyotl 195 defunciones.



Mapa 35. Mortalidad de la población mayor a 60 años por enfermedades relacionadas con la contaminación atmosférica. Noviembre- Diciembre 2010.

El mapa 36 muestra las defunciones para la población de 0 a 4 años entre los meses de Noviembre y Diciembre con un total de 89 casos. La enfermedad que más tiene casos registrados en este periodo de tiempo es la clasificada como Bronquitis Aguda con 33 (36.6 %), una cantidad significativa. Las otras dos enfermedades que propiciaron mayor cantidad de muertes son las clasificadas Infecciones respiratorias superiores agudas de múltiples sitios y, Laringitis y traqueítis aguda con un total de 10 y 12 casos, respectivamente. El municipio de Ecatepec de Morelos registró el mayor número de muertes con 11, seguido de la delegación Iztapalapa con 10 defunciones. Con 5 defunciones están los municipios de Valle de Chalco, Tlalnepantla de Baz y Naucalpan de Juárez.



Mapa 36. Mortalidad de la población de 0 a 4 años por enfermedades relacionadas con la contaminación atmosférica. Noviembre- diciembre 2010.

El cuadro 13 muestra el total de defunciones por tipo de enfermedad y los principales contaminantes que afectan a cada enfermedad. El cuadro 14 enumera las delegaciones y/o municipios con las principales causas de defunción de Noviembre-Diciembre de 2010.

Cuadro 13. Relación de las enfermedades con la contaminación atmosférica y total de defunciones por enfermedad.

Clave de la enfermedad	Enfermedad	Contaminante que más afecta a la salud	Defunciones 2010 ,+ 60 y 0 a 4 años	Defunciones Nov-Dic + 60 años	Defunciones Nov-Dic 0-4 años
Capítulo IX Enfermedades del sistema circulatorio					
I10	Hipertensión arterial esencial(primaria)	CO, PM ₁₀	691	151	
I15	Hipertensión arterial secundaria	CO, PM ₁₀			
Enfermedades cardíacas isquémicas					
I20	Angina de pecho	CO, NO ₂ , PM ₁₀	34	3	
I21	Infarto agudo de miocardio	CO, PM ₁₀	10,045	2,147	
I22	Infarto agudo de miocardio posterior	CO, PM ₁₀	5	1	
I23	Ciertas complicaciones actuales seguidas de un infarto agudo de miocardio	CO, NO ₂ , PM ₁₀			
I24	Otras enfermedades cardíacas isquémicas agudas	CO, PM ₁₀	16	3	
Enfermedad cardíaca pulmonar y enfermedades de la circulación pulmonar					
I26	Tromboembolismo	CO, NO ₂	133	28	
I27	Otras enfermedades cardíacas pulmonares	CO, NO ₂ , O ₃ , SO ₂	145	34	5
I28	Otras enfermedades de los vasos pulmonares	CO, SO ₂ , NO ₂	2		
Otras formas de enfermedad del corazón					
I50	Insuficiencia cardíaca	CO, PM ₁₀ , NO ₂	777	157	1
I51	Complicaciones y descripciones de enfermedades de cardiopatías	CO, PM ₁₀ , NO ₂	64	12	1
Enfermedades cerebrovasculares					
I62	Otras hemorragias intracraneales no traumáticas	CO, NO ₂ , PM ₁₀	64	8	1
I63	Infarto cerebral	CO, NO ₂ , PM ₁₀	641	142	1
I64	Apoplejía, no específica como hemorragia o infarto	CO, NO ₂ , PM ₁₀	672	155	
I67	Otras enfermedades cerebrovasculares	CO, NO ₂ , PM ₁₀	1,394	279	
Enfermedades de arterias, arteriolas y capilares					
I70	Aterosclerosis	CO, PM ₁₀ , NO ₂	36	8	
I71	Aneurisma y disección aortica	CO, PM ₁₀ , NO ₂	84	15	
I72	Otros aneurismas	CO, PM ₁₀ , NO ₂	13	3	
I73	Otras enfermedades vasculares periféricas	CO, PM ₁₀ , NO ₂	81	19	
I74	Embolia arterial y trombosis	CO, NO ₂ , PM ₁₀	25	7	
I77	Otros trastornos de arterias y arteriolas	CO, PM ₁₀ , NO ₂	110	20	
I78	Enfermedades de capilares	CO, PM ₁₀ , NO ₂	1	1	
Enfermedades de vena, vasos linfáticos y nodos linfáticos, no clasificados en otra parte					
I81	Trombosis de la vena porta	CO, PM ₁₀			
I82	Otras embolias venosas y trombosis venosas	CO, PM ₁₀	6		1
Capítulo X Enfermedades del sistema respiratorio					
J00	Rinofaringitis aguda	PM _{2.5} , CO, SO ₂	6		2
J01	Sinusitis aguda	PM _{2.5} , CO, SO ₂			
J02	Faringitis aguda	PM _{2.5} , CO, SO ₂	17	1	3
J03	Amigdalitis aguda	PM _{2.5} , CO, SO ₂	1		

Clave de la enfermedad	Enfermedad	Contaminante que más afecta a la salud	Defunciones 2010 ,+ 60 y 0 a 4 años	Defunciones Nov-Dic + 60 años	Defunciones Nov-Dic 0-4 años
J04	Laringitis y traqueítis aguda	PM _{2,5} , CO, O ₃	32	1	12
J05	Laringotraqueobronquitis y epiglotis aguda	PM _{2,5} , CO, O ₃	1		
J06	Infecciones respiratorias superiores agudas de múltiples sitios.	PM _{2,5} , CO, O ₃	36	7	10
Gripe y neumonía					
J10	Gripe con neumonía, ortomixovirus identificado	PM _{2,5} , O ₃ , CO	1	1	
J11	Gripe con neumonía, virus no identificado	PM _{2,5} , O ₃ , CO	3	1	2
J12	Neumonía viral, no clasificada en otra parte	PM _{2,5} , O ₃ , CO	3	1	
J13	Neumonía debida al streptococcus pneumoniae	PM _{2,5} , O ₃ , CO	10	1	
J14	Neumonía debida al Haemophilus influenzae	PM _{2,5} , O ₃ , CO			
J15	Neumonía bacteriana, no clasificada en otra parte	PM _{2,5} , O ₃ , CO	75	16	2
Enfermedades respiratorias inferiores agudas					
J20	Bronquitis aguda	PM _{2,5} , O ₃ , CO	165	26	33
J21	Bronquiolitis aguda	PM _{2,5} , O ₃ , CO	20	1	4
J22	Infección respiratoria inferior aguda sin especificar	PM _{2,5} , O ₃ , CO	140	32	5
Otras enfermedades de las vías respiratorias superiores					
J30	Rinitis alérgica y vasomotora	PM _{2,5} , O ₃ , CO			
J34	Otros trastornos de la nariz y los senos nasales	PM _{2,5} , O ₃ , CO	1		
J35	Enfermedades crónicas de las amígdalas y las adenoides	PM _{2,5} , CO, PM ₁₀			
J36	Absceso peritonsilar	PM _{2,5} , O ₃ , CO	2		
J38	Enfermedades de las cuerdas vocales y la laringe, no clasificada en otra parte	PM _{2,5} , O ₃ , CO	4		
J39	Otras enfermedades del tracto respiratorio superior	PM _{2,5} , O ₃ , CO	4	1	
Enfermedades del pulmón debidas a agentes externos					
J60	Neumoconiosis de los mineros del carbón	PM ₁₀ , NO ₂			
J61	Neumoconiosis debida a asbestos y otras fibras minerales	PM ₁₀ , NO ₂	2	1	
J62	Silicosis	PM ₁₀ , NO ₂	4	2	
J63	Neumoconiosis debida a otro tipo de polvo inorgánico	PM ₁₀ , NO ₂			
J64	Neumoconiosis sin especificar	PM ₁₀ , NO ₂	17	4	
J65	Neumoconiosis asociada con tuberculosis	PM _{2,5} , PM ₁₀ , NO ₂	1		
J66	Enfermedades de las vías respiratorias debida a un tipo de polvo orgánico especificado	PM ₁₀ , NO ₂	1	1	
J67	Neumonitis hipertensiva debida a polvo orgánico	PM _{2,5} , PM ₁₀ , NO ₂	20	2	
J68	Condiciones respiratorias debidas a agentes químicos, gases, humos y vapores	PM ₁₀ , CO, NO ₂ , SO ₂	11	4	
J69	Neumonitis debido a sólidos y líquidos	PM ₁₀ , CO, NO ₂	32	4	3

Clave de la enfermedad	Enfermedad	Contaminante que más afecta a la salud	Defunciones 2010 ,+ 60 y 0 a 4 años	Defunciones Nov-Dic + 60 años	Defunciones Nov-Dic 0-4 años
J70	Condiciones respiratorias debidas a otros agentes externos	PM ₁₀ , O ₃ , SO ₂			
Otras enfermedades respiratorias principalmente afectando al intersticio					
J80	Síndrome de distrés respiratorio agudo	PM _{2.5} , CO, O ₃	20	5	2
J82	Eosinofilia pulmonar no clasificado	PM _{2.5} , SO ₂ , O ₃			
J84	Otras enfermedades pulmonares intersticiales	PM _{2.5} , O ₃ , SO ₂	461	96	
Capitulo XV Embarazo parto y puerperio					
Complicaciones del embarazo que requieren una atención a la madre					
O32	Atención materna por presentación anormal del feto, conocida o presunta	CO, PM ₁₀			
O35	Atención materna por anomalidad o lesión fetal, conocida o presunta	CO, PM ₁₀			
O41	Otros trastornos del liquido amniótico y de las membranas	CO, PM ₁₀ , NO ₂			
O42	Ruptura prematura de las membranas	CO, NO ₂ , PM ₁₀			
O44	Placenta previa	CO, NO ₂ , PM ₁₀			
O45	Desprendimiento prematuro de la placenta	CO, NO ₂ , PM ₁₀			
O47	Falso trabajo de parto	CO, NO ₂ , PM ₁₀			
Complicaciones del embarazo y el parto					
O61	Fracaso de la inducción del trabajo de parto	CO, NO ₂			
O61	Fracaso de la inducción del trabajo de parto	CO, NO ₂			
O62	Anormalidades de la dinámica del trabajo de parto	CO, NO ₂			
O67	Trabajo de parto y parto complicados por hemorragia intraparto, no clasificados en otra parte	CO, NO ₂			
O68	Trabajo de parto y parto complicados por sufrimiento fetal	CO, NO ₂			
O87	Complicaciones venosas en el puerperio	CO, NO ₂ , PM ₁₀			
O99	Otras enfermedades maternas clasificables en otra parte que complican del embarazo, parto y puerperio	CO, PM ₁₀			
Capitulo XVI Enfermedades del feto y recién nacido					
P01	Feto y recién nacido afectados por complicaciones maternas del embarazo	CO, PM ₁₀ , NO ₂	9		1
P04	Feto y recién nacido afectado por influencias nocivas transmitidas atreves de la placenta y leche materna.	CO, PM ₁₀ , NO ₂			
P05	Retardo del crecimiento fetal y desnutrición fetal	CO, PM ₁₀ , NO ₂	4		
Total			16,142	3,403	89
Fuente: SINAI 2010					
Elaboro: Rodríguez Sánchez Luis Ángel y Violante Huerta Julio Cesar.					

Cuadro 14. Principales causas de defunción en los municipios y/o delegaciones de la ZMCM en Noviembre-Diciembre 2010.

Principales causas de defunción en Noviembre-Diciembre de la ZMCM 2010					
Delegación o Municipio	Clave causa y cantidad de defunciones > 60 años	Clave causa y cantidad de defunciones 0 a 4 años	Delegación o Municipio	Clave causa y cantidad de defunciones > 60 años	Clave causa y cantidad de defunciones 0 a 4 años
Estado de México			Tecámac	I21-22	J22-1
Acolman	I21-8		Temamatla		
Amecameca	I21-3	J20-1	Temascalapa	I21-2	
Apaxco	I21-2		Tenango del Aire		
Atenco	I21-4	J20-1	Teoloyucán	I21-2	
Atizapán de Zaragoza	I21-30	J22-1	Teotihuacán	I21-3	
Atlautla	I21-4		Tepetlaoxtoc	I21-1	
Axapusco	I21-1		Tepetlixpa	I21-3	
Ayapango	I21-1		Tepotzotlán	I50-2	
Chalco	I21-12, I64-6	J02-2	Tequixquiac	I21-4	
Chiautla			Texcoco	I21-23	
Chicoloapan	I21-10		Tezoyuca	I21-1	
Chiconcuac	I21-2	J11-1	Tlalmanalco	I21-6	
Chimalhuacán	I21-28, J84-5	J20-2	Tlalnepantla de Baz	I21-68, I50-8	J20-3
Coacalco de Berriozábal	I21-19, I67-3		Tonanitla		
Cocotitlán			Tultepec	I21-4	
Coyotepec	I67-2	J80-1	Tultitlan	I21-28	
Cuautitlán	I21-6		Valle de Chalco Solidaridad	I21-19	J04-4
Cuautitlán Izcalli	I21-25	I82-1	Villa del Carbón		
Ecatepec de Morelos	I21-142, I67-21	J20-5, J04-2	Zumpango		
Ecatzingo	I21-4		Distrito Federal		
Huelhuetoca	I21-1	J20-1	Álvaro Obregón	I21-109, I50-9	J04-2, J02-1
Hueyoxtlá	I21-2		Azacapotzalco	I21-86, I67-11	J22-1
Huixquilucan	I21-27	J04-1	Benito Juárez	I21-116, I63-14	
Isidro Fabela			Coyoacán	I21-109, I67-15	J06-1, J20-1
Ixtapaluca	I21-13, I64-4	J20-3	Cuajimalpa de Morelos	I21-1	J20-2
Jaltenco	I21-2		Cuauhtémoc	I21-120, I67-16	
Jilotzingo	I21-3		Gustavo A. Madero	I21-184, I67-26, I50-16	J04-6
Juchitepec	I21-1		Iztacalco	I21-71, I67-14	J21-1, J69-1
Melchor Ocampo	I21-1		Iztapalapa	I21-184, I67-25	J06-3, J20-2
Naucalpan de Juárez	I21-72, I67-10	J20-3, I27-2	La Magdalena Contreras	I21-38	
Nextlalpan	I21-3		Miguel Hidalgo	I21-80, I63-7	
Netzahualcóyotl	I21-120, I67-24	J20-2, J04-1	Milpa Alta	I21-7,	J20-2, J15-1
Nicolás Romero	I21-20	I50-1, I51-1	Tláhuac	I21-33	
Nopaltepec			Tlalpan	I21-75, I67-8	J04-1, J20-1
Otumba	I21-1	J69-1	Venustiano	I21-112, I67-14	J06-1

			Carranza		
Ozumba		P01-1	Xochimilco	I21-55, I67-4	J20-4
Papalotla	I21-1		Hidalgo		
Paz, La	I21-12		Tizayuca	I21-6	J22-1
San Martín de las Pirámides	I21-1				
Fuente: SINAIS 2010, INEGI 2010. Elaboro: Rodríguez Sánchez Luis Ángel					

Con esta información se procedió a integrarlos en un modelo de representación que integra las AGEBS resultantes como conglomerados calientes de cada grupo vulnerable, los modelos integrados de emisión y distribución de los contaminantes así como el dato de las defunciones de ambos grupos de estudio. De este modo se obtuvieron los resultados de las áreas potenciales de efectos a corto plazo por contaminación atmosférica.

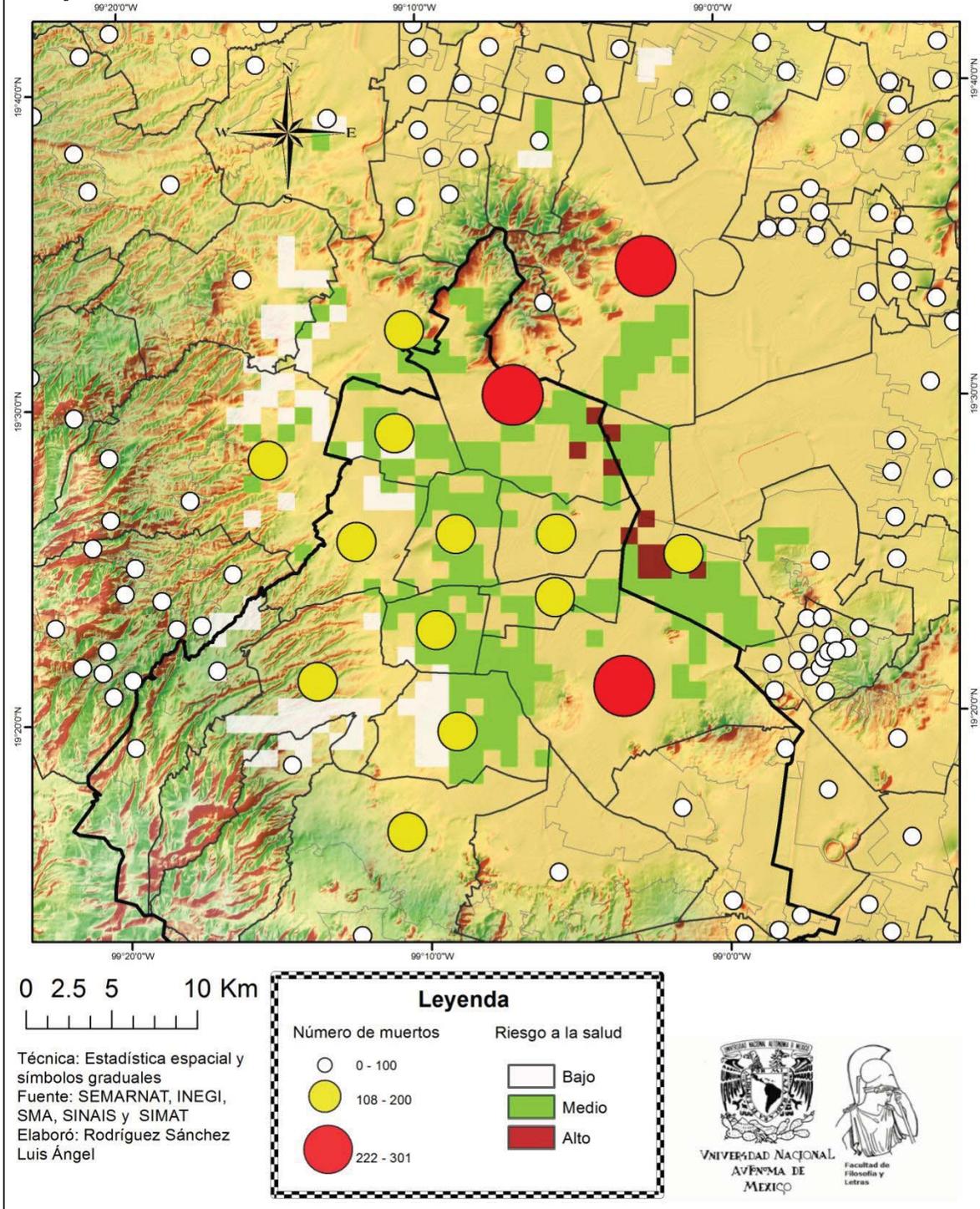
El mapa 37 muestra el resultado final para la población mayor de 60 años, donde de color rojo se identifica el riesgo alto, de color amarillo el riesgo medio y de blanco el riesgo bajo. El riesgo alto se localiza al Centro-Este de la ZMCM justo al Este de las delegaciones Gustavo A. Madero y Venustiano Carranza y, al Centro y Norte del municipio Netzahualcóyotl.

Para mayor precisión a continuación se muestran las colonias de los municipios y/o delegaciones con riesgo alto. En la delegación Gustavo A. Madero están: San Felipe de Jesús, Campestre de Aragón, Providencia, Casas Alemán, Jardines de Guadalupe, San Juan de Aragón, San Juan de Aragón 4ta, 5ta, 6ta y 7ma sección, Camino San Juan de Aragón, Infonavit Camino San Juan de Aragón, Los Olivos, Infonavit Loreto Favela, Hornos de Aragón, Malvinas Mexicanas, Villa de Aragón y Bosque de San Juan Aragón, De la delegación Venustiano Carranza las colonias son: Aeropuerto Internacional B Juárez, El Arenal 2da, 3ra y 4ta sección.

Al municipio de Netzahualcóyotl corresponden: Campestre Guadalupana, Providencia, Jardines de Guadalupe, El Sol, Ciudad del Sol, Maravillas, Estado de México, Virgencitas, Tamaulipas Sección Palmar, Las Flores, El Palmar y Agua Azul, Palmas, Agua Azul, Agua Azul Sección Pirules, Las Fuentes, Netzahualcóyotl, Pirules, Benito Juárez, Benito Juárez 1ra y 2da Sección.

Se puede ver en el mapa 37 que para el caso de la población mayor de 60 años se confirma la hipótesis, ya que la delegación Gustavo A. Madero presenta grandes zonas de riesgo muy alto y tiene un número elevado de muertes con un total de 295, siendo la principal área potencial de efectos a corto plazo por contaminación atmosférica. Esto quiere decir que sí existe una relación espacio-temporal entre los efectos a corto plazo por contaminación atmosférica con la población mayor de 60 años, justificado con las zonas de riesgo alto y el número de defunciones. El municipio Ecatepec de Morelos y la delegación Iztapalapa tienen un número de defunciones alto y riesgo medio en gran cantidad del área; al contrario del municipio de Netzahualcóyotl y la delegación Venustiano Carranza que tienen un riesgo alto pero las defunciones son medias. La zona que se localiza al Oeste y en la periferia de la ZMCM, también tienen relación espacial en el resultado, dado que presentan pocas muertes y el riesgo es bajo.

Zonas de riesgo y mortalidad de la población mayor de 60 años por contaminación atmosférica Noviembre-Diciembre 2010



Mapa 37. Zonas de riesgo y mortalidad de la población mayor de 60 años por contaminación atmosférica Noviembre-Diciembre 2010.

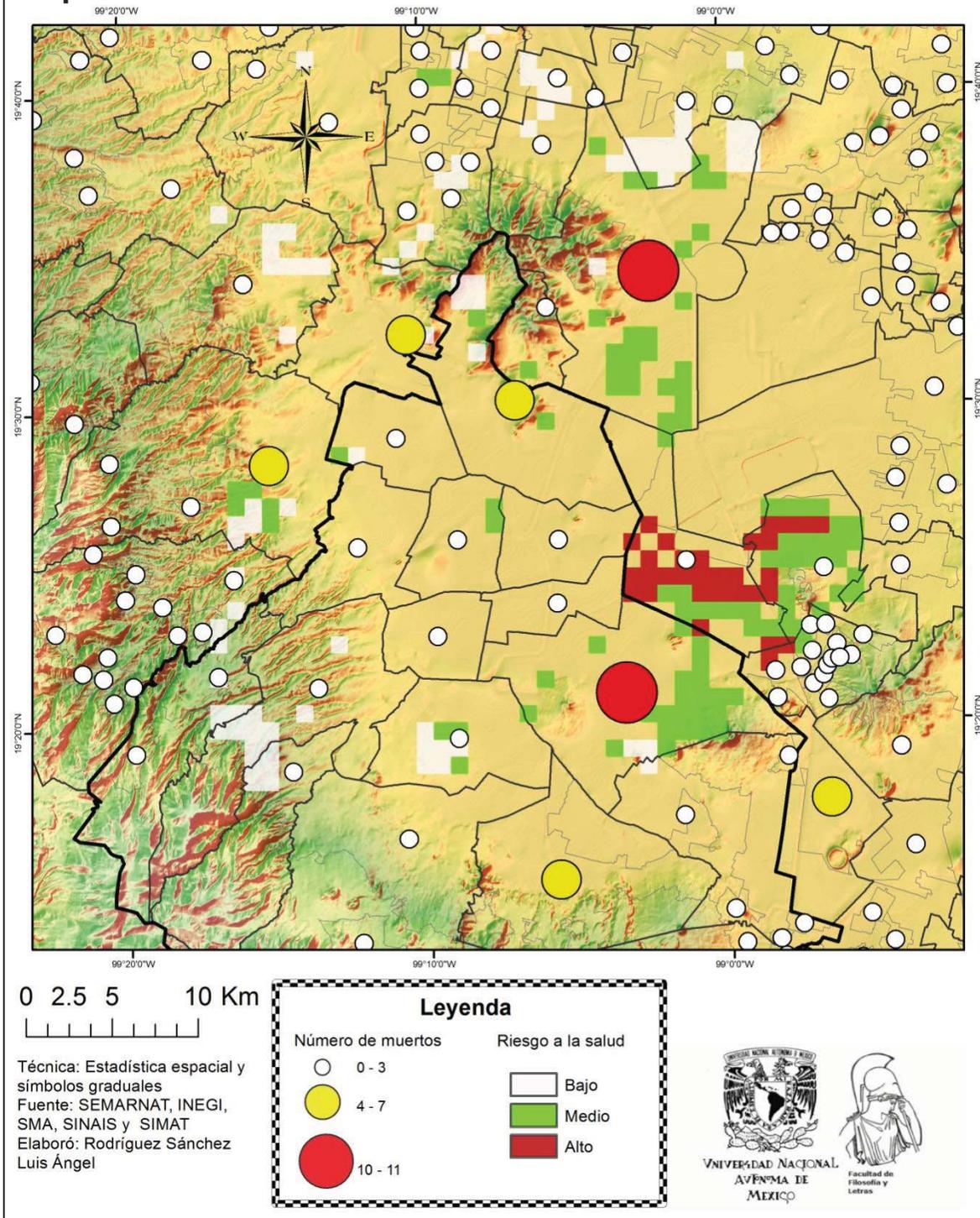
El mapa 38 muestra el modelo de representación para la población de 0 a 4 años, de color rojo están las zonas de riesgo alto, de amarillo riesgo medio y de color blanco el riesgo bajo. Las zonas de riesgo alto se localizan al Este del municipio La Paz, al centro de Chimalhuacán y también al centro de Netzahualcóyotl. Para mayor precisión estas son las colonias del municipio de Netzahualcóyotl donde hay un riesgo muy alto: El Sol, Ciudad del Sol, Maravillas, Estado de México, Las flores, virgencitas, Benito Juárez, Benito Juárez 1ra sección, Agua Azul, Palmas, Juárez Pantitlan, Netzahualcóyotl, Reforma. En el municipio de Chimalhuacán: Barrio Canasteros, Barrio Herreros, Barrio Artesanos, Barrio Mineros, Barrio Talladeros, Barrio Curtidores, Barrio Vidrieros, Barrio Talabareros, Barrio Plateros, Barrio Orfebres, Nueva Santa Cruz, Villa San Lorenzo Chimalco y La Joyita. En el municipio La Paz las colonias: Valle de los pinos, Valle de los Reyes, Ancon de los Reyes, Rincón de los Reyes, Cuchilla de Ancon y el Salado. La delegación Iztapalapa muestra solo una colonia Zona Urbana Santa Martha Acatitla Sur.

La relación del riesgo a la salud por contaminación atmosférica con el número de muertes de la población de 0 a 4 años, afirmó la hipótesis en mediana intensidad, ya que no hay la mayor relación espacial entre los altos niveles de contaminación y localización de la población vulnerable con el total de muertos. Si bien en la delegación Iztapalapa está el número de muertos más alto solamente una colonia tiene riesgo alto. En general, los altos niveles de riesgo no se relacionan con los números de mayor mortalidad, si se relaciona de manera media, ya que la delegación Iztapalapa y el municipio de Ecatepec de Morelos presentan áreas de riesgo medio y mortalidad alta. Estas son las principales áreas de efectos a corto plazo por contaminación atmosférica en la población de 0 a 4 años. Por otro lado, las zonas de riesgo bajo presentan un número de muertes mínimo o ninguna; el conjunto de resultados afirman la relación espacio-temporal de las zonas potenciales de efectos a corto plazo por contaminación atmosférica en la población de 0 a 4 años. El cuadro 14 muestra los principales resultados de relación espacial entre riesgo y mortalidad de los mapas finales.

Cuadro 15. Principales resultados de las zonas potenciales de efectos a corto plazo por contaminación atmosférica.

Riesgo	Grupo de edad vulnerable	Amenaza	Zonas potenciales	Cantidad de muertos	Relación espacial Riesgo-Mortalidad
Alto	> de 60 años	CO y PM ₁₀	Gustavo a madero	295	Alto-Alto
			Netzahualcóyotl	193	Alto-Medio
	0 a 4 años	CO, PM _{2.5}	Netzahualcóyotl	3	Alto-Bajo
			Chimalhuacán	2	Alto-Bajo
Medio	> de 60 años	NO ₂ y PM _{2.5}	Cuauhtémoc	175	Medio-Medio
			Ecatepec de Morelos	222	Medio-Alto
			Iztapalapa	301	Medio-Alto
	0 a 4 años	PM ₁₀ O ₃	Ecatepec de Morelos	11	Medio-Alto
			Iztapalapa	10	Medio-Alto
Bajo	> de 60 años	O ₃ y SO ₂	Álvaro Obregón	155	Bajo-Medio
			Naucalpan de Juárez	123	Bajo-Medio
			Atizapán de Zaragoza	50	Bajo-Bajo
	0 a 4 años	SO ₂ y NO ₂	Coyoacán	2	Bajo-Bajo
			Naucalpan de Juárez	7	Bajo-Madio

Zonas de riesgo y mortalidad de la población de 0 a 4 años por contaminación atmosférica Noviembre-Diciembre 2010



Mapa 38. Zonas de riesgo y mortalidad de la población de 0 a 4 años por contaminación atmosférica Noviembre-Diciembre 2010.

CONCLUSIONES

La presente investigación integra diferentes técnicas de análisis espacial, álgebra de mapas, kernels de densidad, autocorrelación espacial, métodos de interpolación Kriging y análisis multicriterio, los cuales resultaron muy valiosos para la modelación de las diferentes fases del proceso metodológico y por ende en la obtención de los resultados mostrados, lo que no se habría llevado a cabo sin el enfoque de una ciencia integradora como es el caso de la Geografía. La hipótesis que se comprobó es lógicamente pensable, pero un aporte que tiene el trabajo fue demostrarla, tanto que en la revisión bibliográfica que se realizó no se encontraron estudios que tuvieran los alcances aquí mencionados así como la integración de diversas técnicas de análisis espacial. La sinergia entre la Geografía y la Medicina aún es una aproximación poco utilizada en México, tanto en la comunidad geográfica como médica. De hecho la epidemiología es la rama de la medicina que más tiene relación con los patrones espaciales que la Geografía analiza por lo que se vuelve un área de oportunidad en el quehacer geográfico.

La contaminación atmosférica afecta a la salud de la población, esto en mayor intensidad con la cercanía de las zonas de emisión y distribución de los contaminantes atmosféricos con los grupos de edad vulnerables que son los que corren mayor riesgo de contraer enfermedades relacionadas con la contaminación, teniendo, relación importante con la primera ley de la geografía de Tobler. Esto se refleja en las zonas que presentan alto riesgo a la salud, las cuales también tienen registros altos de mortalidad; lo que resulta en una alta concentración espacial de población vulnerable, propiciando mayores niveles de exposición a los contaminantes atmosféricos y a la postre convirtiéndose en mortalidad si las condiciones de salud lo permiten.

Hay mucha población que está en riesgo y de no tomar medidas que ayuden a reducir estos valores de emisión, podrían convertirse en zonas de defunción previamente localizadas; esto se podría prevenir si se toman en cuenta las colonias que se mencionan anteriormente así como una generación de instrumentos de política ambiental como de campañas de salud que combatan las enfermedades que reduzcan por un lado la emisión y por otro el impacto de los contaminantes.

Las políticas de centralización del gobierno mexicano están orientadas a ocasionar que más población se asiente en la periferia de la ZMCM, esto propiciado por nuevas vías de comunicación que permiten conectar a la población con las zonas económicas potenciales, generando mayores niveles de contaminación por el desplazamiento de la población, así como la construcción de más industrias para solventar la cantidad de insumos que requiere la población y la construcción habitacional, propiciando el crecimiento del área urbana en zonas de conservación ambiental, reduciendo la superficie forestal que es la que provee el oxígeno; como ejemplo está el crecimiento desmedido en las pendientes de la Sierra de Guadalupe o en las elevaciones de la delegación Álvaro Obregón, Magdalena Contreras y Cuajimalpa de Morelos .

El principal contaminante que afecta a la salud de la población es el monóxido de carbono y este se produce en un 98% por vehículos automotores, lo que se podría mitigar en gran medida si se

mejora el sistema de transporte público, situación que podría tener un importante impacto por el menor uso de automóviles particulares.

Es importante tener una ley de protección a la salud de la población en función a la cercanía con los focos de contaminación, actualmente se cuenta con normas oficiales para la protección del ruido e incluso protección del paisaje, por lo que me parece aún más importante la creación de leyes acerca de la salud de la población. Los resultados de esta investigación podrían influir en estudios específicos para generar un radio de distancia de protección a los habitantes con respecto a los focos de contaminación. Esta ley debe ser emitida lo antes posible, ya que mientras más tiempo pase seguirá generando mortalidad y por ende pérdidas económicas a las familias y al estado por la sobreutilización en los centros de salud.

Cabe mencionar que en la Dirección General de Contaminación Atmosférica de SEMARNAT, el director de esta área mostró interés en la presente investigación, mencionando que ellos requieren de estudios que aporten información que les permita incidir en nuevos proyectos que ayuden a formular las próximas leyes ambientales.

Al igual que en sectores ambientales, el presente estudio puede contribuir con instituciones de salud, como es el caso de la Secretaría de Salud, incidiendo en su base de información del SINAI, dado que el insumo espacial que toman en cuenta es a nivel de localidad, influyendo en aproximaciones regionales, que al no ser una escala óptima, como podría ser a nivel de colonias o AGEBS, estos resultados puedan servir para que esta autoridad tome cartas en el asunto y tome información de la mortalidad a una escala más detallada, dado que los resultados a escalas más finas pueden ser fundamentales en estudios epidemiológicos del futuro y por ende, incidir de forma más eficaz en casos de mortandad.

Como perspectiva, una línea que se tendría que explorar es la ampliación del estudio en una línea de tiempo mayor, con el objetivo de profundizar no sólo en los patrones espaciales si no extender a patrones espacio-temporales.

Bibliografía

Aguilar, A (2004). *Características de la atmosfera, Geografía General*, Universidad de Guadalajara, segunda edición, 255 p.

Anselin, L. & Rey, S., (2010), *Perspectives on Spatial Data Analysis*. USA. Springer, 290 p.

Arvizu, E (1996), *Geografía General*, Editores Levi, México, 179p.

Ávila, A (2014), *La contribución del geógrafo a la evaluación de impacto ambiental de proyectos carreteros*. Universidad Nacional Autónoma de México, Colegio de Geografía. México. 90 p.

Ballester, F. Saez, M. Daponte, A. Ordoñez, M. (2005). *El proyecto EMECAS: Protocolo del estudio multicriterio en España de los efectos a corto plazo de la contaminación atmosférica sobre la salud*, Revista española de Salud Pública, v. 79 n. 2 Madrid.

Berenberg, T. (2010), *Espacio Geográfico*. Apuntes de clase. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Filosofía y Letras, Colegio de Geografía, México D.F, Apuntes no publicados.

Bernal, A. (2006), *Metodología de la investigación. Para administradores, economía, humanidades y ciencias sociales*, Cámara Nacional de la Industria Mexicana, Pearson Educación, México. 286 p.

Bosque, J. (1986), *Geografía Teórica y Cuantitativa: Concepto y métodos*. Grupo de métodos cuantitativos, Universidad de Oviedo. 321 p

Conesa, C, et al. (2004). *El empleo de los SIG y la Teledetección en Planificación Territorial*. Universidad de Murcia, Departamento de Geografía, España. 596 p.

Consejo Nacional de Población (1998). *Escenarios demográficos y urbanos de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, 1990-2010. Síntesis*, México, primera edición. 172 p.

Coppock, J. T., and Rhind, D. W. (1991). The History of GIS. In *Geographical Information Systems: Principles and Applications*, vol. 1, ed. D. J. Maguire, M. F. Goodchild, and D. W. Rhind, pp. 29. New York: John Wiley and Sons.

Espugles, A. Fernández, R. Aguilera, I. Iniguez, C. (2007). *Exposición a contaminantes atmosféricos durante el embarazo y desarrollo prenatal y neonatal: protocolo de investigación en el proyecto INMA (Infancia y Medio Ambiente)*, Gaceta Sanitaria, v. 21 n. 2 Barcelona.

Fernández, M. (1996). *Ciudades en riesgo: degradación ambiental, riesgos urbanos y desastres en América Latina*. Compiladora Lima: La red. 179 p.

Franco, T. (1988). *El pensamiento geográfico actual*, Revista de la Facultad de Geografía e Historia, num.3, pp 15-36

Fustel, E. Martinez, T. Cambra, K. Lopez, L. Boldo, E. (2005) *Evaluación en cinco ciudades españolas del impacto en salud de la contaminación atmosférica por partículas. Proyecto europeo APHEIS*, Departamento de Sanidad del Gobierno Vasco, Revista Española de Salud Publica, v. 79 n. 2.

Gracia, J y Martinez, J. (2004) *Aplicación de un sistema de evaluación multicriterio a la conservación de fauna silvestre mediante un SIG*. EGMASA-División de actuaciones en el medio natural.

Goodchild, M y Haining, R. (2005). "SIG y análisis espacial de datos: perspectivas convergentes", *Investigaciones Regionales*, núm. 6, Asociación Española de Ciencia Regional, pp. 175-201.

Gutiérrez, A. (2005). *Introducción a la metodología experimental*, Editorial limusa, S.A. de C.V, Grupo noriega Editores, México, D, F. 210 p.

Gutiérrez, M. (2009). *Geosalud, desarrollo y aplicación de sistemas de información geográfica en salud pública*, Instituto nacional de cartografía y estadística, p 44-47.

Higuera A, (2002). *La Geografía en la encrucijada*, Departamento de Geografía y Ordenamiento territorial, Universidad de Zaragoza, España. 2002. P 2- 42.

Jiménez B. (2001). *La contaminación ambiental en México: causas efectos y tecnología apropiada*, Limusa, Colegio de Ingenieros Ambientales México, A.C, Instituto de Ingeniería de la UNAM. 317 p.

Lantada, N. (2004) *Sistemas de Información Geográfica: Practicas con Arc View*. Edición de la Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona (España). 350 p.

López. G, Ortega. A, (2002). *Aplicación de técnicas de análisis espacial a la mortalidad en cáncer en Madrid*, Documentos Técnicos de Salud Publica, núm., 66, Comunidad de Madrid, 67 p.

Loyola, E. Salgado, C. Nájera, P. Mujica, o. (2002). "Los sistemas de información geográfica como herramienta para monitorear las desigualdades de salud", *Revista Panamericana de Salud Publica*, vol, 12 num. 6, Washington Dec, p 415-428.

Madrid, A. y Ortiz, L. (2005). *Análisis Espacial, Análisis y síntesis en cartografía: Algunos procedimientos*, Universidad nacional de Colombia, Facultad de ciencias humanas, Departamento de Geografía, Bogotá, p 17-24.

Martínez, R. (2009). *Paquetes de Programas y análisis espacial en Epidemiología y Salud Publica*, Organización Panamericana de la Salud, Área de Análisis de Salud y Sistemas de Información Sanitaria, (AIS), 18 p.

Melo, E. y Mathias, T. (2010). *Distribución y auto-correlación espacial de indicadores de la salud de la mujer y del niño en el estado de Paraná, Brasil*. Rev. Latino-Am. Enfermagem.

Miranda, A. (2010). *La periferia conurbada de la Ciudad de México: movilidad cotidiana y manejo de tiempo de la población en unidades habitacionales de Ixtapaluca*. Universidad de Berlín. 181 p.

Myint, S. (2010). Spatial Autocorrelation. GeoDa Center for Geospatial Analysis and Computation. Working paper, 27, 1-4.

NORMA Oficial Mexicana NOM-022-SSA1-2010, Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al dióxido de azufre (SO₂).

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-023-SSA1-1993. Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al bióxido de nitrógeno (NO₂).

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-021-SSA1-1993. Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al monóxido de carbono (CO).

MODIFICACION a la Norma Oficial Mexicana NOM-020-SSA1-1993, Salud ambiental. Criterios para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al ozono (O₃).

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-025-SSA1-1993. Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto a las partículas menores a 10 micras (PM10).

Olcina, J. (1996). "La geografía hoy: reflexiones sobre el pensamiento geográfico, la región y la docencia de la geografía", *Investigaciones geográficas*, núm. 16, España. p 93-114

Ordoñez, P. (2014). *Propuesta de metodología Geomatica basada en evaluación multicriterio para el trazado de ductos petroleros*. Instituto Nacional de Eficiencia energética y Energías Renovables. Unigis International, Ecuador. 18 p.

Ortega N. (1986). *Geografía teórica y cuantitativa: concepto y métodos*, Universidad complutense de Madrid, 321 p.

Pérez A. (2011). *Introducción a los sistemas de información geográfica y geotelemática*, editorial UOC, 1° Ed. 210 p.

Pietri, D (2011). *Evaluación multicriterio de la exposición al riesgo ambiental mediante un sistema de información geográfica en Argentina*. Rev Panam. Salud Pública

Ramírez, H. Andrade, M. Gonzales, M. Celis, A. (2006). "Contaminantes atmosféricos y su correlación con infecciones agudas de las vías respiratorias en niños de Guadalajara, Jalisco", *Salud Publica México*; Vol. 48. P 385-394.

Ramírez L. (2002). *Teoría de sistemas*, Universidad Nacional de Colombia. Colombia. 18 p.

Retama A. y Granados G. (2010). *Calidad del aire en la ciudad de México: Informe 2010*, Secretaria del medio ambiente del gobierno del distrito federal, Hecho en México; 166 p.

Rico F. (2001). *Daños a la salud por contaminación atmosférica*, IMSS, Universidad del Estado de México, Toluca, México. 487 p.

Rodríguez, R. (2013). *Representación espacial y mapas*. Cuadernos metodológicos, Centro de investigaciones sociológicas. España. 207 p.

Rodríguez, S y Ruiz, C (2012). *Inventario de emisiones de la zona metropolitana del valle de México, Contaminantes criterio*, Secretaria del medio ambiente, Gobierno del Distrito Federal, Primera edición. 108 p.

Salazar, A. (1999). "Sistemas de Información Geográfica en Salud Publica. Una herramienta para la vigilancia", *Boletín epidemiológico*, Vol., 7 núm.171181, Instituto San Carlos III, España, p 181-190.

Santos, M. (1990). *Por una Geografía Nueva*, Espasa –Calpe, Universidad, Madrid, España, 237 p.

Schaefer, K. (1988). *Excepcionalísimo en Geografía*. Departamento de Geografía de la Universidad de Barcelona, 6.ª edición castellana. 112 p

Secretaría de Desarrollo Social, (2004). *Delimitación de las Zonas metropolitanas de México*, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 110 p.

Segreles, J. (2002). *Geografía humana, fundamentos, métodos y conceptos*. Departamento de Geografía Humana, Universidad de Alicante. 263 p

Seguinot, B.(2012).. *Sistemas de Información Geográfica (SIG) aplicados a las Ciencias Ambientales y de la Salud* . Geonatura Publicaciones CD Inc. Bayamón.

Soto, N. (2010). *Medio siglo de monitoreo de la contaminación atmosférica en la ciudad de México 1960-2009. Aspectos científicos y sociales*. Instituto de Investigaciones filosóficas, Universidad Nacional Autónoma de México. 225 p.

Téllez, M. Romieu, I. Polo, M. Ruiz, S. (1997). *Efecto de la contaminación ambiental sobre las consultas por infecciones respiratorias en niños de la Ciudad de México*, Salud Pública México, vol. 39 n. 6 Cuernavaca, 11 p.

Tobler, W. (2004). *On the First Law of Geography: A Reply*. Annals of the Association of America Geographers. P 304-310.

Torrencilla, R. *et al.* (2010). " Interpolación espacial y visualización cartográfica para el análisis de la justicia ambiental: ensayo metodológico sobre contaminación por partículas atmosféricas en Madrid" *Tecnologías de información geográfica*. Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla. P 692-715

Vargas, (2011). *Efectos de la fracción gruesa (PM_{10-2.5}) del material particulado sobre la salud humana*. *Revisión Bibliográfica*. MINSAL, 37 p.

Websters, R., and Oliver, M., (2007). *Geostatistics for Environmental Scientists*. Great Britain. 2ª ed. John Wiley & Sons. 332p.

Yassi, A; Kjellstrom, T; Kok, T; Guidotti, T. (2002). *Salud ambiental básica*. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. México D.F. 551 p.

Zapata, S. (2008), *Ethos y praxis de la revolución cuantitativa en Geografía*. Revista- Bogotá, (Colombia), Vol. 3 Nº 1. P 190-202.

Fuentes electrónicas

Alivoni, M (2009) Una epidemia de cólera y los mapas de John Snow [http://www.pagina12.com.ar/diario/suplementos/futuro/13-2179-2009-07-11.html] Consultado el 23 de febrero de 2014.

ArcGIS Resource Center Desktop 10 [http://help.arcgis.com/es/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#//009z00000076000000] Consultado el 30 de septiembre de 2014.

ASU GeoDa center [http://geodacenter.asu.edu/projects/opengeoda] Consultado el 5 de marzo de 2014.

Bosque, S (2013), SIG y evaluación multicriterio. Universidad de Alcala. [http://www.geogra.uah.es/joaquin/ppt/Evaluacion-multicriterio.pdf] Consultado el 5 de octubre de 2014.

Carranza, J (2012) Cómo se utilizan los SIG en el sector de la Salud. [http://www.geocensos.com/2012/12/sig-en-salud.html] Consultado el 15 de marzo de 2014.

Guía para estimar la pobreza infantil, UNICEF-CEPAL, Naciones Unidas. [http://dds.cepal.org/infancia/guia-para-estimar-la-pobreza-infantil/guia-contenido-442.php] Consultado el 25 de septiembre de 2014.

Gerard, B. Capítulo III Proceso de análisis jerárquico (AHP). [http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/tesis/basic/toskano_hg/cap3.pdf] Consultado el 25 de octubre de 2014.

Hansen F, "Apuntes de cartografía" INEGI p 8 [http://www.inegi.org.mx/inegi/spc/doc/INTERNET/Apuntes%20de%20cartograf%C3%ADa.pdf]. Consultado el 25 de agosto de 2014.

INEGI (2002) "AIRE" Estadísticas del medio ambiente del distrito federal y la zona metropolitana [http://www.inegi.gob.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/integracion/sociodemografico/medioambdf/2002/archivo5.pdf] Consultado el 20 de mayo de 2014.

IRAS [http://www.salud.gob.mx/unidades/conava/iras/faqiras.htm]. Consultado el 15 de junio de 2014.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (2006) [<http://www.rlc.fao.org/es/prioridades/transfron/sig/intro/compo.htm>] Consultado el 25 de abril de 2014.

Revista de administración pública "*Programa de desarrollo de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México y de la región centro*". P 148-246. [<http://www.juridicas.unam.mx/publica/librev/rev/rap/cont/61/pr/pr17.pdf>] Consultado el 22 de mayo de 2014.

SIMAT

[<http://www.calidadaire.df.gob.mx/calidadaire/index.php?opcion=4&opcionrecursostecnicos=11>] Consultado el 25 de enero de 2014.

Tamayo, I. (2004), "Zona Metropolitana de la Ciudad de México" Centro de investigación en Geografía y Geomatica, [<http://www.centrogeo.org.mx/geocm/GeoTexto/0102.htm>] Consultado el 25 de abril de 2014.

Anexo 1 Contribución porcentual de emisiones de la ZMCM-2010 por categoría

Contribución porcentual de emisiones de la ZMVM-2010 por categoría								
Sector	Emisiones [t/año]							
	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COT	COV	NH ₃
Fuentes puntuales	18.10	13.16	91.45	0.41	6.47	14.18	22.69	0.83
Industria alimentaria	2.60	1.19	1.34	0.01	0.34	0.52	0.82	0.01
Fabricación de insumos textiles y acabado de textiles	1.32	0.15	1.75	0.01	0.09	1.03	1.70	N/S
Industria de la madera	0.40	0.28	1.66	0.00	0.01	0.18	0.29	N/S
Industria del papel	0.31	0.58	8.33	0.03	0.50	1.43	2.35	0.03
Impresión e industrias conexas	0.10	0.01	N/S	0.0	0.01	0.96	1.46	N/S
Fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón	0.09	N/S	0.18	0.00	0.01	0.29	0.46	N/S
Industria química	3.88	2.69	10.73	0.02	0.49	4.22	6.73	0.02
Industria del plástico y del hule	0.47	0.06	0.18	0.01	0.09	3.10	5.08	0.00
Fabricación de productos a base de minerales no metálicos	4.79	4.08	59.20	0.06	0.67	0.11	0.15	0.05
Industrias metálicas básicas	0.92	0.83	4.35	0.06	0.96	0.20	0.25	0.01
Fabricación de productos metálicos	0.72	0.29	1.55	0.02	0.19	0.46	0.76	0.00
Fabricación de accesorios, aparatos eléctricos y equipo de generación de energía eléctrica	0.37	0.09	0.16	0.01	0.11	0.24	0.39	0.01
Fabricación de equipo de transporte	0.89	0.45	0.59	0.03	0.08	0.59	0.93	N/S
Fabricación de muebles, colchones y persianas	0.08	0.03	N/S	0.00	0.00	0.26	0.43	N/S
Generación de energía eléctrica	0.63	2.15	0.20	0.14	2.79	0.03	0.02	0.20
Otras industrias manufactureras	0.53	0.28	1.23	0.01	0.13	0.56	0.87	0.01
Fuentes de área	68.50	55.70	3.45	1.46	12.50	61.23	38.58	89.01
Combustión de equipos agrícolas	0.00	0.01	N/S	0.00	0.01	0.00	0.00	N/S
Operación de aeronaves	0.12	0.38	2.99	0.38	1.97	0.20	0.31	N/E
Recubrimiento de superficies industriales	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.53	0.87	N/A
Pintura automotriz	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.51	0.84	N/A
Recubrimiento de superficies	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	3.59	5.60	N/A

arquitectónicas								
Limpieza de superficie industrial	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2.31	1.50	N/A
Lavado en seco	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2.08	1.99	N/A
Artes graficas	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.54	0.90	N/A
Distribución y almacenamiento de gas LP	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.39	0.64	N/A
Fugas e instalación de GLP	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	3.45	4.63	N/A
HCNQ en la combustión de gas LP	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	3.47	5.63	N/A
Rellenos sanitarios	N/A	N/A	N/A	0.01	N/A	32.84	2.11	N/E
Vialidades pavimentadas	20.34	16.79	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Vialidades sin pavimentar	33.59	11.48	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Productos de cuidado personal	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2.30	2.62	N/A
Productos de consumo domestico	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2.18	2.48	N/A
Plaguicidas	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2.65	2.88	N/A
Productos para el cuidado automotriz	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1.89	2.17	N/A
Maquinaria	2.15	6.77	0.09	0.36	7.75	0.17	0.27	N/E
Asados al carbón	0.77	2.11	N/A	0.29	0.11	N/S	N/S	N/A
Agricultura	6.64	5.02	N/A	N/A	N/A	0.02	0.03	5.21
Ganadería	0.35	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.53
Otras fuentes de área	4.54	13.00	0.37	0.42	2.66	1.42	2.19	72.27
Fuentes móviles	11.75	29.75	5.05	98.17	78.64	20.09	31.28	10.64
Autos particulares	1.74	2.74	1.87	26.55	20.50	5.83	9.25	5.23
Camiones particulares SUV	0.49	0.83	0.60	9.44	6.56	1.73	2.74	1.36
Taxis	0.63	0.99	0.60	13.96	12.71	1.78	2.83	1.98
Vagonetas y combis	0.16	0.30	0.23	5.66	3.13	0.81	1.22	0.41
Microbuses	0.25	0.62	0.42	7.85	4.08	1.40	2.04	0.33
Pick up y vehículos de carga hasta 3.8 ton.	0.40	0.78	0.55	11.77	5.31	2.11	3.22	0.88
Tractocamiones	4.35	13.14	0.05	1.41	6.60	0.40	0.64	0.04
Autobuses	1.18	3.56	0.14	2.87	11.78	0.72	1.13	0.08
Vehículos de carga mayores a 3.8 ton.	2.14	6.19	0.49	9.55	6.13	1.38	2.09	0.24
Motocicletas	0.38	0.72	0.10	9.10	1.69	3.92	6.11	0.09
Metrobús	0.03	0.08	N/S	0.01	0.15	0.01	0.01	N/S
Fuentes naturales	1.62	1.17	N/A	N/A	2.34	4.50	7.43	N/A
Vegetación	N/A	N/A	N/A	N/A	2.34	4.50	7.43	NA
Erosión eólica del suelo	1.62	1.17	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Total	100	100	100	100	100	100	100	100
Fuente: Rodríguez, S y Ruiz, C (2012). Elaboro: Rodríguez Sánchez Luis Ángel.								