



Revista de economía

ISSN: 2395-8715

Facultad de Economía, Universidad Autónoma de Yucatán

Galán González, José Raymundo; Martínez Herrera, Jorge Raúl; Chapa Cantú, Joana Cecilia; Ramírez Díaz, Karla Ivonne; Hutchinson Tovar, Sara

La contaminación del aire y su efecto en el precio de la vivienda del AMM

Revista de economía, vol. 38, núm. 96, 2021, Enero-Junio, pp. 9-46

Facultad de Economía, Universidad Autónoma de Yucatán

DOI: <https://doi.org/10.7440/res64.2018.03>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=674070860001>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org



La contaminación del aire y su efecto en el precio de la vivienda del AMM Air pollution and its effect on the price of housing in the MAM

José Raymundo Galán González¹ Jorge Raúl Martínez Herrera² Joana Cecilia Chapa Cantú³
Karla Ivonne Ramírez Díaz⁴ Sara Hutchinson Tovar⁵

Resumen

Se determinan los efectos de los cambios en los niveles de la contaminación del aire en el precio de la vivienda del área metropolitana de Monterrey (AMM) mediante la aplicación del modelo de precios hedónicos. La muestra está compuesta por 1,722 viviendas que se encontraban en venta durante el periodo abril 2017 a marzo de 2018 en el AMM. Entre los principales resultados se encuentra que un aumento de 10% en el porcentaje de días en el año por encima de la norma establecida para partículas menores a 2.5 micras reduce el precio de la vivienda 0.347%; lo que implica una disminución de 1,239 dólares en el precio de la vivienda promedio. En términos agregados, el incremento en 10% de partículas PM2.5 (Partículas menores a 2.5 micras) equivale a una pérdida de 1,572 millones de dólares para el AMM.

Palabras Clave: contaminación del aire, modelo de precios hedónicos, mercado de vivienda.

Clasificación JEL: Q53, Q51, C21, R31.

Abstract

The effects of changes in air pollution levels on the price of housing in the Metropolitan Area of Monterrey (AMM) are determined by applying the hedonic pricing model. The sample consists of 1,722 homes that were for sale during the period April 2017 to March 2018 in the AMM. Among the main results is that an increase of 10% in the percentage of days in the year over the standard established for particles smaller than 2.5 microns (PM2.5) reduces the price of housing by 0.347%;

- 1- Facultad de Economía, Universidad Autónoma de Nuevo León, México. Correo electrónico: jose.galangn@uanl.edu.mx
 <https://orcid.org/0000-0001-7846-4719>
- 2- Facultad de Economía, Universidad Autónoma de Nuevo León, México. Correo electrónico: jorgemtzh@hotmail.com
 <https://orcid.org/0000-0003-3758-5658>
- 3- Facultad de Economía, Universidad Autónoma de Nuevo León, México. Correo electrónico: joana.chapacn@uanl.edu.mx
 <https://orcid.org/0000-0001-7646-925X>

- 4- Facultad de Economía, Universidad Autónoma de Nuevo León, México. Correo electrónico: karla.ramirezdz@uanl.edu.mx

-  <https://orcid.org/0000-0003-1511-7124>

- 5- Banco de México, México.
Correo electrónico: shutchinsont@banxico.org.mx

-  <https://orcid.org/0000-0002-5436-6820>

RECEPCIÓN: 3 de mayo de 2020 ACEPTACIÓN: 26 de junio de 2020
REVISTA DE ECONOMÍA: Vol. 38- Núm 96 ENERO A JUNIO DE 2021: Págs. 9-46

• • • •

which implies a decrease of 1,239 dollars in the price of the average house. In aggregate terms, the 10% increase in PM2.5 particles amounts to a loss of \$ 1,572 million for the AMM.

Keywords: air pollution, hedonic models, real estate market.

JEL Classification: Q53, Q51, C21, R31.

1. Introducción

La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OECD por sus siglas en inglés) estima que alrededor de 1.5 millones de individuos mueren por exposición a partículas contaminantes cada año, cantidad mayor a los que mueren de malaria o por agua no apta para consumo humano. Ante el alza en niveles de contaminación, la OCDE destaca que dicha cifra pudiera sobrepasar los 3.5 millones de muertes al año para el 2050, donde la mayoría de dichas muertes ocurrirían en países con ritmo acelerado de contaminación como la India y China (OECD, 2012).

En el caso de México, el Instituto Nacional de Salud Pública (2016) con datos del Instituto para la Medición y Evaluación de la Salud (IHME, por sus siglas en inglés) estiman para México que en el año 2015 cerca de 29,000 muertes y casi 558,000 DALY (años de vida ajustados por discapacidad) serían atribuibles a la mala calidad del aire. A su vez, establecen que, de reducirse significativamente las concentraciones de contaminantes en la región centro, se podrían evitar cerca de 12 mil muertes anuales y generar, a su vez, un beneficio social de aproximadamente 20 mil millones de pesos del 2014. La contaminación del aire por partículas se sitúa como el quinto factor de riesgo a la salud por su contribución al número de muertes prematuras mundiales. De acuerdo con el Banco Mundial, la contaminación del aire es responsable de la muerte de 33,000 mexicanos cada año. Aproximadamente, 20,000 de las muertes se dan a causa de contaminación exterior generada en las ciudades. Por su parte, las 13,000 muertes remanentes son generadas en las comunidades rurales, toda vez que una de cada ocho personas en México usan madera y/o carbón como principal fuente de combustible para cocinar (Larsen, 2015).

Para el caso mexicano, Arceo, Hanna y Oliva (2012) encuentran efectos significativos de la contaminación sobre la mortalidad infantil en la Ciudad de México. Específicamente, observan que un incremento de uno por ciento en Partículas Menores a 10 micras (PM10) en el último año genera un aumento de 0.42% en mortalidad infantil, mientras que un aumento de uno por ciento en Monóxido de Carbono (CO) resulta en un aumento de 0.23 por ciento. A su vez, Riojas *et al.* (2014) realizan una evaluación de impacto que documenta los beneficios en la salud ante reducciones en los niveles de contaminantes en el Valle de la Ciudad de México. Encuentran que reducciones de PM10 a 20mg/m³ (microgramos por metro cúbico) y de O₃ (Ozono) a 0.50 ppm (partes por millón) evitarían, respectivamente, cerca de 2,300 y 400 muertes por año. Destacan que el mayor impacto es observado en el grupo de más de 65 años de edad, así como en la mortalidad por causas cardiopulmonares y cardiovasculares.

Lo anterior ha llevado a una acumulación de evidencia sobre el efecto de la calidad del aire en la valoración de mejores condiciones ambientales vinculadas a la ubicación de las viviendas.

Esto es, debido a los daños que causa sobre la salud, es de esperarse que los individuos valoren negativamente vivir cerca de donde se genera la contaminación. De tal forma, los niveles de contaminación podrían afectar la decisión de las personas de dónde vivir, o bien, su disposición a pagar por viviendas que se encuentren localizadas cerca de la industria.

Uno de los primeros estudios que documentan la relación entre la calidad del aire y el precio de propiedades residenciales es el de Ridker y Henning (1967). Usando datos para el área metropolitana de St. Louis, en Estados Unidos, analizan el efecto de variaciones en niveles de contaminación sobre el valor de las propiedades familiares en la zona urbana. De acuerdo con el estudio, el coeficiente referente a niveles de contaminación resulta igual de importante que el de accesibilidad a vías rápidas, y más importante que el de tiempo de traslado en camión al centro de negocios en hora pico. Finalmente, los autores concluyen que una disminución de 0.25 mg/100 cm²/día (micro gramos por cada cien centímetros cuadrados por día) incrementaría el valor de las viviendas entre 83 y 245 dólares de 1960. Al encontrar una relación negativa entre los niveles de contaminación (medidos con sulfato) y el valor de las propiedades, el trabajo de Ridker y Henning motivó los modelos conceptuales de Rosen (1974) y Freeman (1979) que sirvieron para establecer el modelo de precios hedónicos casi una década después (Smith y Huang, 1993).

El modelo de precios hedónicos (Rosen, 1974) asume que toda vez que los consumidores adquieren bienes comerciables, adquieren implícitamente otros no comerciables. En el caso de las viviendas, al ser adquiridas, el consumidor recibe la vivienda, su vecindario y sus características ambientales. De tal manera que, del precio observado derivado de la transacción de compra de la vivienda, se puede extraer la contribución al precio de los bienes no comerciables, como es el caso de la calidad del aire (Boyle y Kiel, 2001). Smith y Huang (1993) realizan un meta análisis donde concluyen el efecto negativo de los niveles de contaminación sobre la valoración de bienes inmuebles. Es decir, mayores niveles de contaminación en el aire se relacionan con una pérdida de valor en las propiedades. Analizan 37 estudios que utilizan al menos una medida de contaminación. Así mismo, destacan que el uso de modelos de precios hedónicos ha respaldado de manera exitosa la relación entre la calidad del aire y los precios de vivienda.

Más recientemente, Saputyningsih (2013) en su análisis para la zona de Yogyakarta en Indonesia encuentra que las variaciones en los niveles de contaminación del aire generan cambios en el comportamiento de los hogares de tal manera, que se ven dispuestos a ofrecer mayores recursos por una vivienda localizada en áreas con mejores condiciones ambientales. Concluye al encontrar que, un aumento de uno por ciento en niveles de CO, reducen el precio de la vivienda en 1.375 por ciento, en promedio. Por el contrario, observan rendimientos marginales en precios ante mejoras en calidad ambiental. Específicamente, una reducción de uno por ciento en índices de CO, aumenta el precio de una propiedad en 0.349 por ciento.

Para el Área Metropolitana de Monterrey, si bien existen estudios que han utilizado el modelo de precios hedónicos para identificar los determinantes del precio de la vivienda (Moreno y Alvarado, 2011; Rojas, 2010; Moreno, 2009; López, 2006; Scherenberg, 2006), solo se tiene conocimiento de una investigación que trata la contaminación como factor que determina el precio de la vivienda. Este estudio es de Zorrilla (1983), quien no observa relación entre las emisiones de PM10 y el precio de la vivienda del área metropolitana de Monterrey.

En este contexto, el objetivo de la presente investigación es determinar los efectos de los cambios en los niveles de la contaminación en el precio de la vivienda del área metropolitana

de Monterrey, mediante la aplicación del modelo de precios hedónicos. El tema es oportuno debido a que en diferentes estudios (ver López y Pérez, 2014, IMCO, 2017) y con base en las mediciones realizadas por el gobierno del estado de Nuevo León, se ha identificado que el área metropolitana de Monterrey (AMM) muestra altos niveles de contaminación, en particular de partículas menores a 10 micras (PM10).

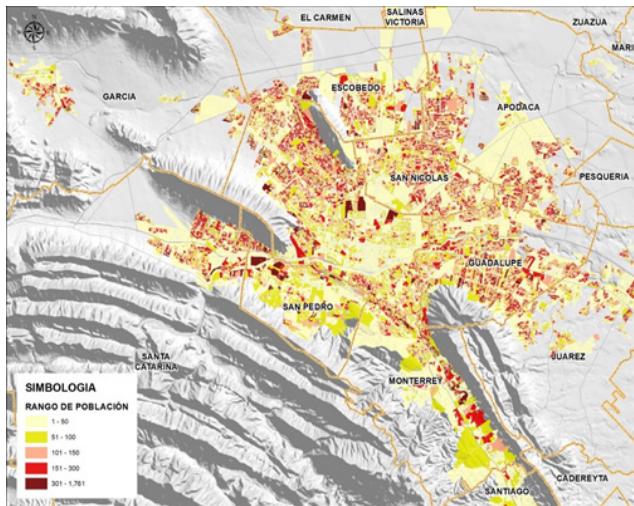
El contenido del estudio es el siguiente. Después de la introducción, en el apartado dos se estudia el crecimiento poblacional y urbano del AMM, para después realizar un análisis descriptivo de las emisiones de contaminantes poniendo especial atención a la cantidad de días que las emisiones se encuentran por encima de la norma ambiental. Enseguida, en el apartado 4, se presenta el modelo de precios hedónicos, su sustento teórico, la especificación empírica y los principales resultados de las estimaciones. Se finaliza con una sección de conclusiones e implicaciones de política ambiental.

2. Crecimiento poblacional y urbano de la zona metropolitana de Monterrey

La zona metropolitana de Monterrey (ZMM)² contaba en 1980 con casi dos millones de habitantes; para la década de los noventa se incrementa a 2 millones 573 mil habitantes. En 2000, la población de la zona asciende ya a 3 millones 299 mil habitantes; para el 2005, es de 3 millones 738 mil, en 2010 de 4 millones 106 mil y, con base en el dato oficial más reciente, la ZMM en 2015 está conformada por 4 millones 689 mil habitantes (ver mapa 2.1 y cuadro 2.1).

Es interesante observar el comportamiento de los diferentes municipios a través del tiempo, ya que como se muestra en el cuadro 2.2., los municipios “más jóvenes” del AMM, crecían a tasas por encima de la media del área, hasta el año 2000 e incluso el 2005; a partir de ese momento son los municipios recién incorporados a la ZMM los que muestran tasas de crecimiento poblacional muy superiores al resto; destacan El Carmen, Pesquería, Salinas Victoria, Ciénega de Flores y General Zuazua. Lo anterior, explica porque la población se cuadruplicó entre 1980 y 2015 en los municipios periféricos; mientras que la población de la ZMM poco más que se duplicó en ese mismo período.

² Definida por la Conapo por los siguientes municipios: Abasolo, Apodaca, Cadereyta, Ciénega de Flores, El Carmen, García, General Escobedo, General Zuazua, Guadalupe, Hidalgo, Juárez, Monterrey, Pesquería, Salinas Victoria, San Nicolás de los Garza, San Pedro Garza García, Santa Catarina y Santiago.

Mapa 2.1. Distribución poblacional de la ZMM

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 2.1. Población en los municipios de la ZMM, 1980 - 2015

Municipio	1980	1990	1995	2000	2005	2010	2015
Apodaca	37,181	115,913	219,153	283,497	418,784	523,370	597,207
García	10,434	13,164	23,981	28,974	51,658	143,668	247,370
General Escobedo	37,756	98,147	176,869	233,457	299,364	357,937	425,148
Guadalupe	370,908	535,560	618,933	670,162	691,931	678,006	682,880
Juárez	13,490	28,014	50,009	66,497	144,380	256,970	333,481
Monterrey	1,090,009	1,069,238	1,088,143	1,110,997	1,133,814	1,135,550	1,109,171
San Nicolás de los Garza	280,696	436,603	487,924	496,878	476,761	443,273	430,143
San Pedro Garza García	81,974	113,040	120,913	125,978	122,009	122,659	123,156
Santa Catarina	89,488	163,848	202,156	227,026	259,896	268,955	296,954
AMM*	1,988,012	2,573,527	2,988,081	3,243,466	3,598,597	3,930,388	4,245,510
Abasolo	712	1,373	1,945	2,514	2,746	2,791	2,639
Cadereyta Jiménez	45,147	53,582	62,440	75,059	73,746	86,445	95,534
Carmen	3,931	4,906	6,168	6,644	6,996	16,092	38,306
Ciénega de Flores	5,075	6,708	8,586	11,204	14,268	24,526	42,715
General Zuazua	4,045	4,647	5,276	6,033	6,985	55,213	67,294
Pesquería	6,963	8,188	9,359	11,321	12,258	20,843	87,168
Salinas Victoria	9,189	9,518	15,925	19,024	27,848	32,660	54,192
Hidalgo	10,949	11,668	13,552	14,275	15,480	16,604	13,836
Santiago	28,585	30,182	34,187	36,812	37,886	40,469	42,407
Periféricos	114,596	130,772	157,438	182,886	198,213	295,643	444,091
ZMM**	1,988,012	2,573,527	3,038,193	3,299,302	3,738,077	4,106,054	4,689,601
Nuevo León	2,513,044	3,098,736	3,550,114	3,834,141	4,199,292	4,653,458	5,119,504

Fuente: Censos de Población y Vivienda, INEGI, 1980, 1990, 2000 y 2010; Conteos de Población, INEGI, 1995 y 2005; Encuesta Intercensal, INEGI, 2015. *En 1980, el área metropolitana de Monterrey estaba constituida por los municipios de Apodaca, Escobedo, Guadalupe, Monterrey, San Nicolás, San Pedro y Santa Catarina, a partir de 1988 se incorporan Juárez y García. ** La ZMM, en 1980 y 1990 estaba constituida por los municipios del AMM, para 1995, se incorporan Salinas Victoria y Santiago, en 2005 se agrega El Carmen, en el 2010, lo hacen Cadereyta Jiménez y para el 2015 se incluyen Abasolo, Ciénega de Flores, General Zuazua, Pesquería e Hidalgo.

Cuadro 2.2. Tasas de crecimiento anual promedio de los municipios, 1990-2015

Municipio	1990-1980	1995-1990	2000-1995	2005-2000	2010-2005	2015-2010
Apodaca	11.4	12.7	5.1	7.8	4.5	2.6
García	2.3	12.0	3.8	11.6	20.5	10.9
General Escobedo	9.6	11.8	5.6	5.0	3.6	3.4
Guadalupe	3.7	2.9	1.6	0.6	-0.4	0.1
Juárez	7.3	11.6	5.7	15.5	11.5	5.2
Monterrey	-0.2	0.4	0.4	0.4	0.0	-0.5
San Nicolás de los Garza	4.4	2.2	0.4	-0.8	-1.5	-0.6
San Pedro Garza García	3.2	1.3	0.8	-0.6	0.1	0.1
Santa Catarina	6.0	4.2	2.3	2.7	0.7	2.0
AMM	2.6	3.0	1.6	2.1	1.8	1.5
Abasolo	6.6	7.0	5.1	1.8	0.3	-1.1
Cadereyta Jiménez	1.7	3.1	3.7	-0.4	3.2	2.0
Carmen	2.2	4.6	1.5	1.0	16.7	17.3
Ciénega de Flores	2.8	4.9	5.3	4.8	10.8	11.1
General Zuazua	1.4	2.5	2.7	2.9	41.3	4.0
Pesquería	1.6	2.7	3.8	1.6	10.6	28.6
Salinas Victoria	0.4	10.3	3.6	7.6	3.2	10.1
Hidalgo	0.6	3.0	1.0	1.6	1.4	-3.6
Santiago	0.5	2.5	1.5	0.6	1.3	0.9
Periféricos	1.3	3.7	3.0	1.6	8.0	8.1
ZMM	2.6	3.3	1.6	2.5	1.9	2.7
Nuevo León	2.1	2.7	1.5	1.8	2.1	1.9

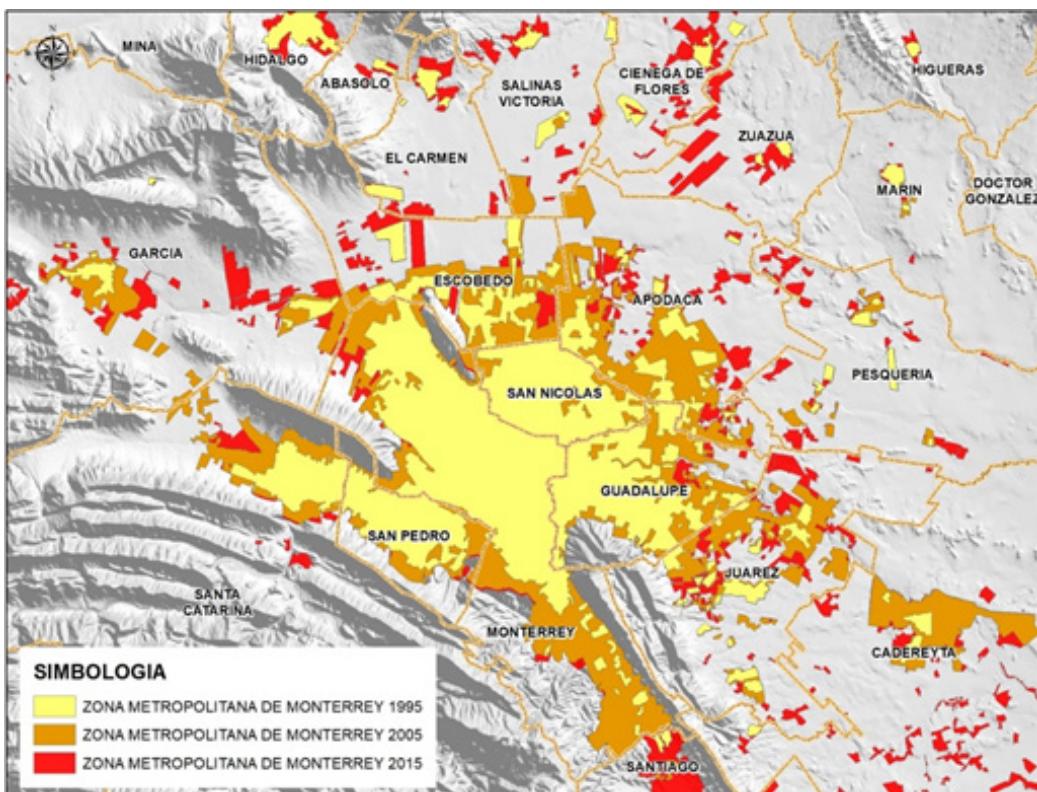
Fuente: Cálculos propios, con base en los censos de población y vivienda de INEGI, 1980, 1990, 2000 y 2010; conteos de población, INEGI, 1995 y 2005; encuesta intercensal, INEGI, 2015.

Un fenómeno que acompañó este crecimiento poblacional es el incremento del área urbana ya que, entre 1995 y 2015, creció 2.4 veces, al pasar de 42,588 hectáreas en 1995 a 101,701 hectáreas en 2015, tal como se muestra en el cuadro 2.3. y el mapa 2.2. Al incrementarse la mancha urbana más que la población, la densidad (habitantes por hectárea) disminuyó, al pasar de 71 a 46 entre 1995 y 2015 (ver cuadro 2.3.). La densidad poblacional es considerada como una medida de eficiencia de la ciudad, ya que una menor densidad implica una mayor dispersión de la población, lo que, a su vez, está relacionado con problemas de movilidad al incrementarse las distancias y tiempos de traslado.

Cuadro 2.3. Área urbana, población y densidad en la ZMM, 1995-2015

Año	Hectáreas	Población	Densidad (hab/has)
1995	42,588.50	3,038,193	71.34
2000	55,421.50	3,299,302	59.53
2005	75,948.16	3,738,077	49.22
2010	82,568.95	4,106,054	49.73
2015	101,701.13	4,689,601	46.11

Fuente: Censos de Población y Vivienda, INEGI 2000 y 2010; Conteos de Población INEGI 1995 y 2005; Encuesta Intercensal INEGI 2015; Secretaría de Desarrollo Sustentable de Nuevo León.

Mapa 2.2. Área urbana de la ZMM, 1995-2015

Fuente: Elaboración propia.

3. La contaminación por emisión de contaminantes en el área metropolitana de Monterrey

En la medida que la AMM se ha extendido, tanto el medio físico natural como el construido se ven modificados; ya sea por la disminución de áreas verdes, deforestación, cambios en usos de suelo, modificación de cauces, instalación de industria y aumento en el número de viajes, con la consecuente generación de contaminantes. Es evidente que todos estos factores incrementarán los contaminantes en el ambiente. Con el fin de observar dicho comportamiento se analiza la información disponible, la cual, básicamente, se puede dividir en el inventario de emisiones disponible; así como la medición de la generación diaria de contaminantes, misma que se realiza por parte del estado de Nuevo León de manera automatizada desde 1992.

3.1. Inventario de emisiones

En el año 2013 se realizó un inventario de emisiones con base en la información disponible de la Secretaría de Desarrollo Sustentable y del Consejo Estatal de Transporte y Vialidad, ambas dependientes del gobierno del estado de Nuevo León; de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) y la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa), ambas del Gobierno Federal; así como de la empresa *LT Consulting*. Para la elaboración del inventario se siguieron las metodologías y procedimientos de cálculo consensuados con Semarnat y el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC).

Las emisiones se dividen en: a) fuentes fijas o puntuales (establecimientos industriales); 2) fuentes móviles carreteras y no carreteras (vehículos que circulan por carretera y aquellos utilizados en las actividades de la construcción y agrícola, además de la actividad aeroportuaria, ferroviaria, marítima y recreativa), 3) fuentes de área (actividad habitacional, comercial y de servicios), 4) fuentes naturales (incluye las emisiones provenientes de las fuentes biogénicas y erosivas).

Los resultados muestran que las fuentes fijas son las principales emisoras de dióxido de azufre (SO_2), ya que generan 99% del total; de manera similar ocurre con las partículas menores a 2.5 micras (PM2.5) y las menores a 10 micras (PM10), ya que las fuentes fijas aportan 63% y 42%, respectivamente. En su mayoría son emitidas por la industria de petróleo y petroquímica, así como la generación de energía eléctrica. Finalmente, las fuentes fijas aportan 38% de los óxidos de nitrógeno (NO_x), la cual proviene, en gran medida, de la industria de la metalurgia (ver cuadro 3.1).

Cuadro 3.1. Inventario de Emisiones para el estado de Nuevo León (2013)

Fuente de emisión	Mg/año						
	PM10	PM2.5	SO ₂	CO	NO _x	COV	NH ₃
Fijas	7,792.50	6,055.20	36,639.80	8,366.20	19,618.50	7,998.30	172.30
Área	16,476.00	4,423.10	176.40	9,984.40	4,061.00	69,088.00	19,146.30
Móviles Carreteras	772.20	728.40	341.50	285,305.80	35,097.10	27,033.80	1,092.90
Móviles no Carreteras	64.60	59.30	94.10	1,932.80	2,760.00	233.40	0.10
Naturales	NA	NA	NA	NA	68,737.70	146,333.50	NA
Total	25,105.40	11,265.90	37,251.90	305,589.20	130,274.30	250,686.90	20,411.60

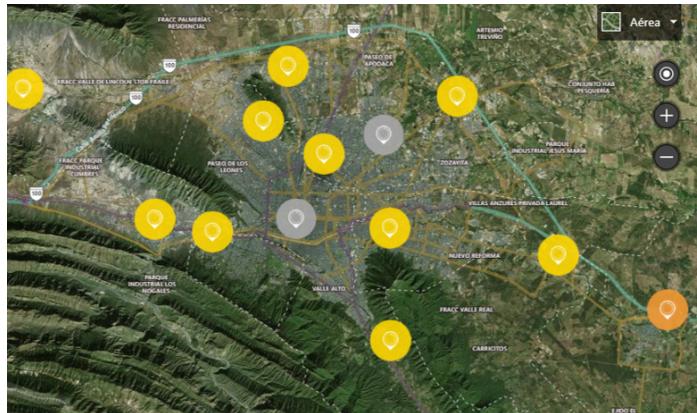
Fuente: Secretaría de Desarrollo Sustentable (2016). Nota: NA=No aplica.

Las fuentes de área contribuyen con 95% del amoniaco (NH₃) generado por la actividad ganadera; los compuestos orgánicos volátiles (COV), 70%, por el uso de solventes y las partículas PM10 y PM2.5 que aportan 54% y 31%, respectivamente, en su mayor parte debido a los caminos no pavimentados y la extracción de minerales no metálicos. Con respecto a las fuentes móviles, estas son el principal emisor de monóxido de carbono (CO) al generar 93%, 54% de los óxidos de nitrógeno (NO_x) y 22% de los compuestos orgánicos volátiles (COV). Estos contaminantes provienen, principalmente, del uso de combustibles fósiles en los vehículos. Finalmente, se debe tomar en cuenta que existen diferencias entre los contaminantes aportados al inventario por fuente y el resultado que tienen en la atmósfera. Por ejemplo, una proporción del SO₂ y de los NO_x que emiten los vehículos, se convierten en la atmósfera en PM2.5, lo que hace que, de manera indirecta, los vehículos aporten a los PM2.5, algo que no se refleja de manera directa en el inventario de emisiones.

3.2 El sistema de monitoreo ambiental

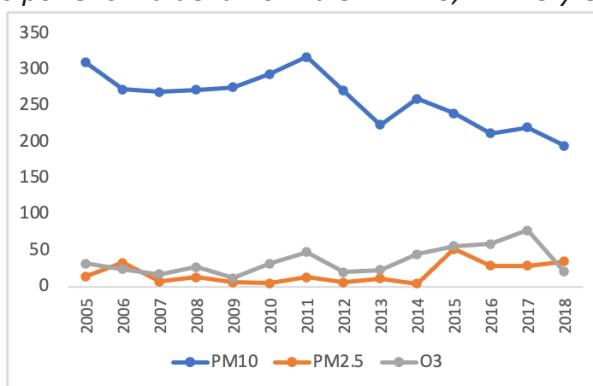
En el estado de Nuevo León en 1970 se inició con el primer sistema manual de monitoreo atmosférico, el cual fue sustituido por uno automatizado a partir de 1992 al poner en operación las primeras cinco estaciones; para el año 2003 se actualizan y adquieren dos unidades más. Desde el año 2009 a la fecha se han ido incorporando nuevos equipos, actualmente se cuenta con 13 estaciones de monitoreo atmosféricos fijos, distribuidos a lo largo de los municipios del AMM (ver mapa 3.1.).

• • • •

Mapa 3.1. Ubicación de las estaciones de medición

Fuente: Elaboración propia.

Las estaciones miden diferentes contaminantes las 24 horas del día, los 365 días del año, y las normas están establecidas con base en las reglamentaciones federales dictadas por la SEMARNAT. Para el caso del AMM destacan los contaminantes de PM2.5, PM10 y Ozono (O_3), ya que, como se observa en la gráfica 3.1., las PM10 son el contaminante que más días ha estado por encima de la norma, al tener el máximo en 2011 con 318 días: cabe señalar que a partir de ese año se observa una tendencia decreciente hasta la fecha, sin embargo, aún en 2018, se estuvo 195 días por encima de la norma establecida³. En cuanto a las PM2.5, junto con el ozono muestran una tendencia creciente, el año 2015 fue el mayor para las PM2.5 al exceder 52 días en el año la norma permitida. Por su parte, el ozono tuvo en 2017 su máximo con 78 días por encima de la norma.

Gráfica 3.1. Días por encima de la norma en PM10, PM2.5 y O3, 2005 – 2018

Fuente: Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire (Sinaica) con información de la Secretaría de Desarrollo Sustentable del estado de Nuevo León.

³ La NOM-172-SEMARNAT-2019, publicada en el Diario oficial de la Federación el 20 de noviembre de 2019 (Secretaría de Gobernación, 2019), establece como indicador de calidad del aire a la concentración promedio móvil ponderada de 12 horas; con base en la norma, cantidades inferiores a los $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, se considera como una buena calidad; para valores superiores a los $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$, la calidad se ubica en niveles malos, muy malos o extremadamente malos, los cuales ponen en riesgo la salud humana.

Podemos decir que el contaminante más relevante para el AMM son las PM10 y su comportamiento varía entre las 13 estaciones de monitoreo fijas existentes motivadas por:

1) dirección del viento,⁴ 2) estacionalidad,⁵ 3) inversión térmica,⁶ y 4) ubicación de las fuentes fijas de contaminación, entre otras. No obstante, en general, se observan dos tipologías de comportamientos en las estaciones de monitoreo: 1) aquellas que mantienen valores inferiores de PM10 a los 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 2) las que sobrepasan este nivel.

En general, para el primer grupo se observa un patrón horario donde los niveles de mayor concentración se dan entre las 7 a.m. y las 12 p.m., con algunos repuntes puntuales; los meses de mayor concentración se dan entre octubre y febrero. Dentro de este grupo destacan las estaciones: Obispado, Escobedo, San Pedro y La Pastora. Las estaciones de San Nicolás, Apodaca y Universidad mantienen comportamientos un poco diferentes, sin embargo, no son tan altas las concentraciones como en el segundo grupo de estaciones que a continuación se detallan.

En el segundo grupo (el de mayores niveles de concentración de PM10) destacan: San Bernabé, Cadereyta, Juárez, Santa Catarina y García, todos muestran los más altos niveles de concentración entre los meses de octubre a febrero (similar al primer grupo); un punto que llama la atención es que los horarios de mayor concentración de contaminante se presentan durante la noche/madrugada y después tiene otro pico entre las 7 a.m. y 9 a.m.

Esta tipología refleja un patrón orientado a la producción, a diferencia del primer grupo, donde el comportamiento está más determinado por el horario de entrada a la escuela y/o trabajo. No obstante, en todas las estaciones de monitoreo destacan de manera muy notable los meses de octubre a febrero, como los de mayores concentraciones, lo cual está relacionado con

⁴ Con base en las estaciones de monitoreo ambiental se analizaron los vientos predominantes para cada una, las cuales fueron divididas para cada estación climática: Primavera, Verano, Otoño e Invierno; los resultados se muestran en las gráficas A1 al A5 del anexo, donde se puede observar un patrón de vientos del norte, noreste y este, los cuales entran a los diversos municipios del AMM, y dada la topografía, los vientos se dirigen al oeste y suroeste, lo que puede explicar parte del incremento en los niveles de contaminantes que se observan en las estaciones de Santa Catarina, San Bernabé y García, puesto que están ubicados en esas latitudes. Como evidencia de la afectación del viento, Arrieta (2016) al comparar dos zonas colombianas con diferente topografía encuentra que la dispersión del material particulado se ve afectado por la topografía de las mismas, lo que hace que el comportamiento de los vientos cambie y afecta la acumulación de la contaminación. Asimismo, García *et al.* (2014), con base en un estudio para Guadalajara, México, aporta evidencia de que el comportamiento del viento tiene efectos en la acumulación de la contaminación.

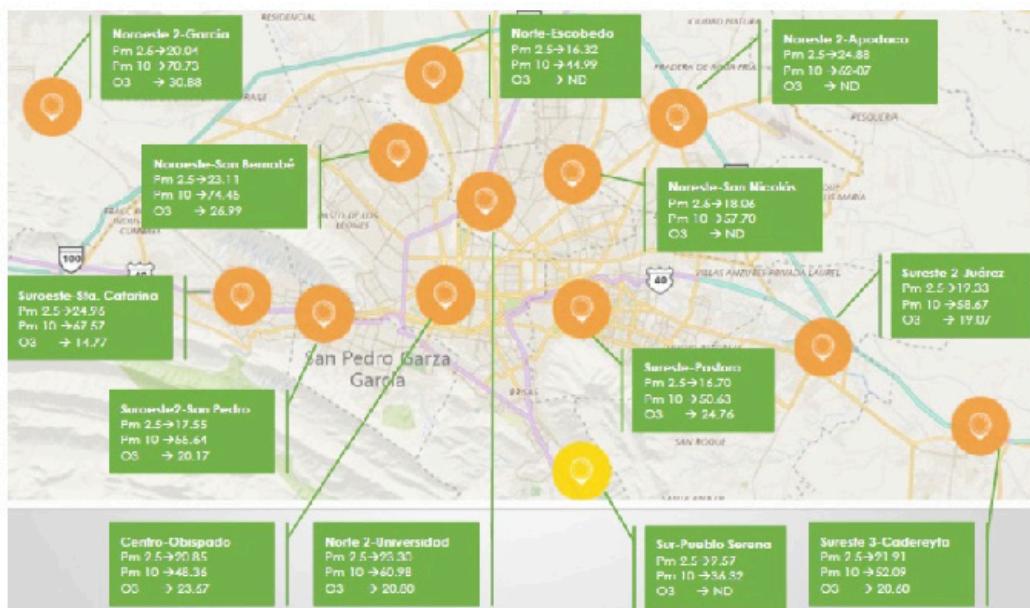
⁵ Los gráficos A6 al A17 del anexo muestran un claro efecto estacional en prácticamente todas las estaciones de medición, las cuales están motivadas por la dirección del viento y la inversión térmica que se da en el AMM durante los meses de invierno. En este mismo sentido, Canales *et al.* (2014) en un estudio realizado para Mexicali, Baja California, encuentran que la zona urbana es la más contaminada por material particulado, mientras que en el invierno es la zona rural. Asimismo, Xiaoguang y Ye (2018) para una región de China muestran un efecto distinto tanto en invierno como en verano.

⁶ Ocurre cuando el aire cercano al suelo se encuentra más frío que el aire en las capas superiores de la atmósfera, cuando regularmente es al revés, entonces el frío queda atrapado en la parte baja y comienza a acumular los contaminantes, tal como se muestra en los gráficos A18 y A19 del anexo; este efecto se da mayoritariamente entre los meses de octubre a febrero en el AMM. En un estudio para la zona metropolitana de Guadalajara encuentran que existe una relación significativa entre los días con inversión térmica de gran espesor y la duración con la acumulación de contaminantes (García, *et al.* 2012). Por su parte, Bravo *et al.* (2013) mediante un estudio donde se considera a nueve ciudades latinoamericanas observan que el efecto de la contaminación es distinto según la altitud de las ciudades, por lo cual sugieren que los estándares de calidad de las partículas deberían considerar la altitud.

posibles “Inversiones térmicas”, que consiste en que el aire cercano al suelo se encuentra más frío que el aire en las capas superiores de la atmósfera, cuando regularmente es al revés, entonces el frío queda atrapado en la parte baja y comienza a acumular los contaminantes⁷.

Adicionalmente, no solo es importante exceder la norma, sino qué tanta concentración existió, ya que esto puede generar efectos negativos mayores sobre la población. En el mapa 3.2., se muestran las concentraciones para los tres contaminantes, que midió cada estación, durante el año 2018. Nuevamente, se observan diferencias significativas, por ejemplo, para el caso de las PM10 las estaciones de San Bernabé, García y Santa Catarina, muestran concentraciones promedio mayores en 86%, 77% y 69%, respectivamente. Mientras que las estaciones de Obispado, Escobedo y Pueblo Serena, presentan valores menores a 20% del límite establecido.

Mapa 3.2. Concentración por contaminante y estación, 2018



Fuente: Secretaría de Desarrollo Sustentable del estado de Nuevo León.

4. Estimación del valor comercial del suelo utilizando un modelo de precios hedónicos

La estimación de un modelo de precios hedónicos permite identificar los determinantes del precio de la vivienda, entre los cuales se encuentran características físicas, de vecindario y de localización. La técnica de precios hedónicos permite, de una manera posterior a la estimación, aislar cuánto del valor comercial de una propiedad es explicado por la cantidad de m^2 del terreno en el que está construido el inmueble y estimar el precio implícito de esta característica, es decir,

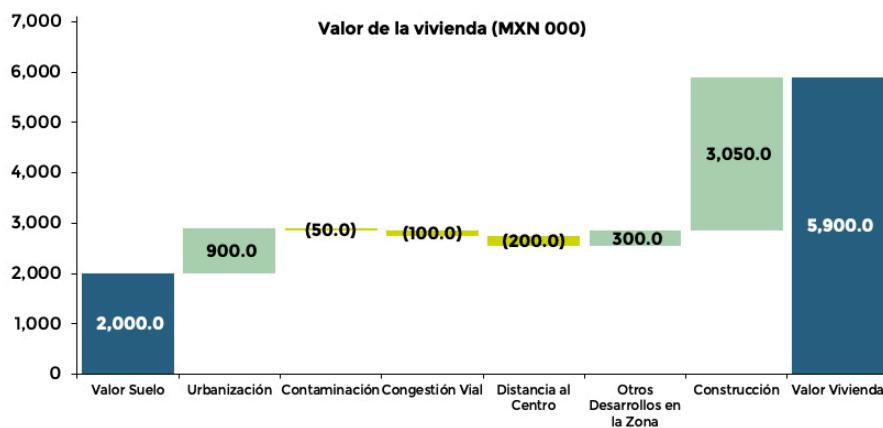
⁷ Ver gráficas A18 y A19 del anexo.

el precio del metro cuadrado de terreno o valor comercial del suelo, una vez estimado el valor comercial teórico del suelo a partir del modelo, esta estimación se puede comparar contra el valor catastral del suelo para estimar las distancias entre ambos valores.

4.1. Marco teórico

El modelo de precios hedónicos se basa en el supuesto de que el precio de un bien heterogéneo, como una vivienda local o incluso la tierra, se puede descomponer en los precios de sus propias características o atributos. Lo anterior significa que, cuando elegimos para un presupuesto dado, comprar una casa con más metros cuadrados construidos cerca de vías rápidas y en una zona menos contaminada es porque, implícitamente, estamos “valorando” cada uno de los atributos de la propiedad y le estamos asignando un “precio implícito”. La suma de todos los precios de las características, multiplicado por la cantidad de dicho atributo nos da el precio observado del bien. Para explicar un poco más en detalle lo anterior observemos en la siguiente gráfica 4.1, que ejemplifica cómo opera el modelo. Para dar lectura al gráfico, procederemos de izquierda a derecha.

Gráfica 4.1. Ejemplo precios hedónicos



Fuente: Elaboración propia.

Supongamos que el valor del suelo de un terreno en breña es de 2 millones de pesos, como se puede ver en la primera barra azul. Una vez que los servicios públicos como agua, drenaje, electricidad, gas, pavimentación, llegan al terreno, éste aumenta por causa de la urbanización en 900 mil pesos como se puede ver en la segunda barra. Imaginemos ahora que, debido a la contaminación cercana al terreno urbanizado, el mercado castiga el valor de ese terreno en 50 mil pesos por causa de la contaminación, como se observa en la tercera barra. También debido a que la mancha urbana está creciendo se ha provocado congestionamiento vial en el área aledaña al terreno por lo que el mercado ha decidido castigar su precio en 100 mil pesos, como se puede observar en la cuarta barra. El terreno se encuentra a una distancia considerable del centro de la ciudad razón por la cual el mercado decide castigar el precio del terreno en 200 mil pesos, como se observa en la quinta barra.

• • • •

Finalmente, debido a que en la zona se están construyendo nuevos desarrollos comerciales y habitacionales, el mercado premia el precio del terreno en 300 mil pesos, tal como aparece en la sexta barra. El dueño del terreno decide construir una residencia y este hecho le añade \$3.05 millones de pesos al valor del terreno, como se puede observar en la séptima barra. La suma de todos estos atributos positivos y negativos nos llevan a concluir que el precio de la residencia debe ser de 5.9 millones de pesos, como se puede ver en la última barra del lado derecho. Nótese que hemos llegado al valor final de la propiedad de \$5.9 millones a partir de la suma de diversos atributos, algunos positivos y otros negativos al valor original del terreno en breña.

Cuando la oferta de atributos empata con la demanda por dichos atributos ocurre una transacción; es decir, la propiedad simultáneamente se vende y se compra, porque el comprador valora los atributos de la propiedad en el mismo precio implícito que los ofrece el dueño de la propiedad. La técnica de los *precios hedónicos* consiste en estimar el *precio implícito* de “las características o atributos” de la propiedad.

4.2. Aplicación al mercado de la vivienda

Rosen (1974), especifica que el modelo de precios hedónicos puede ser utilizado en “clases de productos diferenciados que pueden ser descritos como un vector de características medibles” en el cual los individuos realizan su elección de acuerdo con el bien que mejor satisface sus preferencias. Por lo tanto, *a priori* podemos elegir tantas variables como nos sea posible, siempre y cuando conformen parte de la vivienda o sean parte del entorno que las rodea y, además, sean medibles. Evidentemente, la elección de variables dependerá del poder que éstas puedan tener en el modelo y no de una cuestión de aleatoriedad.

Muchos autores hacen una diferenciación de acuerdo con tres tipos de características. Wen, Jia y Guo (2005) realizan una extensa definición de las variables más utilizadas en el caso de la vivienda. A continuación, se presentan los tres tipos de características de acuerdo con la literatura revisada:

- Características del vecindario: incluye el entorno social en el que se encuentra la vivienda. Las variables de vecindario más usadas para explicar el precio de la vivienda son: ingresos de los residentes o índice de marginación urbana, proximidad a los hospitales, parques, iglesias, supermercados, bosques, tasa de crimen, calidad del medio ambiente y rezago social.
- Características de localización: son las de tipo económico, geográfico y ambiental que no están directamente relacionadas con el vecindario. En el caso de la vivienda, algunas de ellas son: condiciones del tráfico, municipio donde está ubicada la vivienda, distancia al centro de negocios.
- Características estructurales: son todas aquellas físicas de la vivienda y son las que más relevancia tienen en todo estudio de precios hedónicos. Algunos atributos considerados como determinantes del precio de la vivienda son: número de cuartos, baños, metros cuadrados de construcción, metros cuadrados de terreno, espacio de cochera, años de antigüedad, número de pisos, etc.

4.3. Marco empírico

El modelo de precios hedónicos, perfeccionado por Rosen (1974), cuenta con dos etapas. En la primera de ellas se realizan estimaciones utilizando como variable dependiente el precio

de la vivienda o el inmueble y como variables independientes todas aquellas características que se consideren que modifican el precio de dicho bien. Por su parte en la segunda etapa, las estimaciones de la primera etapa son utilizadas para calcular las demandas inversas de las características.

Sin embargo, el cálculo de las demandas inversas puede generar problemas de identificación, debido a la endogeneidad de precios y además una restricción presupuestaria no lineal, para lo cual se sugiere la utilización de instrumentos que cambian de forma exógena la restricción presupuestaria, el problema para ello será la identificación de instrumentos que se puedan defender con cierta credibilidad. Dichas limitaciones ya han sido superadas en estudios posteriores, utilizando datos de diferentes mercados o utilizando datos a través del tiempo de un solo mercado; lo cual permite argumentar con credibilidad la identificación de funciones para realizar las estimaciones de la segunda etapa. Dadas las limitaciones de la muestra con la cual se cuenta al momento, el presente avance detalla los resultados de la primera etapa del modelo.

4.4. Base de datos y estadísticas descriptivas

El período de levantamiento inicia en abril de 2017 y termina en marzo de 2018, periodo durante el cual se recolecta toda la información relacionada con las características tanto físicas como geográficas de los siguientes inmuebles: vivienda (viviendas habitación y departamentos), locales comerciales y terrenos. Durante este periodo se obtiene una muestra total de 3,520 inmuebles a la venta distribuidos en 18 municipios del estado de Nuevo León.

Se obtuvo información de distintas fuentes y en diferentes etapas. La primera etapa consiste en revisar las fuentes públicas, como la Asociación Mexicana de Profesionales Inmobiliarios (AMPI); el propósito de esto es conocer el precio de mercado de los inmuebles, según sus características. La revisión se realiza entre abril de 2017 y noviembre de 2017 en el portal de la AMPI, donde se registran los inmuebles disponibles a la venta. La AMPI es la principal fuente de información porque brinda no solo información referente a las características físicas y cuantitativas del inmueble sino también su ubicación, lo que permite la georreferenciación del mismo. En la primera etapa, se captura información de un total de 1,190 inmuebles a la venta, distribuidos en 15 municipios del estado de Nuevo León. En esta primera etapa, también se consultaron fuentes alternas de información como los siguientes: inmuebles24 y propiedades.com que, igual que el portal de la AMPI, recopilan ofertas publicadas en distintos medios.

De enero 2018 a marzo 2018, con el propósito de enriquecer la base de datos se inicia la segunda etapa de captura de información, específicamente, aquella referente a los municipios con menos observaciones disponibles. La siguiente etapa consiste en complementar la base de datos con la información disponible en la sección de clasificados de “*El Norte*”, uno de los principales periódicos y fuente de anuncios clasificados en el estado. Accediendo al portal en línea, Avisos de ocasión, se captura toda la información disponible a marzo de 2018 referente a inmuebles a la venta en el estado de Nuevo León, obteniendo un total de 3,333 observaciones. Finalmente, se eligieron 1,722 observaciones, las cuales eran viviendas que contaban con toda la información de características físicas a ser consideradas en el estudio, que corresponden al AMM.

El precio promedio de las casas es de \$6,962,968 pesos, cuenta con 336.55 metros cuadrados de construcción y 312.96 metros de terreno, El 5.5% de las observaciones corresponden al

• • • •

municipio de Apodaca, 0.75% corresponden a Benito Juárez, 4.12% a Escobedo, 2.73% a García, 9.11% a Guadalupe, 52.9% a Monterrey, 6.16% a San Nicolás, 14.63% a San Pedro, y 4.0% al municipio de Santa Catarina (ver cuadro 4.1). La razón promedio área habitacional a área total del AGEBC es de 30.4%, la razón promedio área industrial a área Total del AGEBC es de 1.73% y la razón promedio área verde a área Total del AGEBC es de 4.79 por ciento.

El porcentaje de días del año por encima de la norma para las Partículas Menores a 2.5 micras es de 1.2%, mientras que el porcentaje de días del año por encima de la norma para las Partículas Menores a 10 micras es de 15.82%. Este indicador nos permite estimar cuántos días del año se excedió la norma⁸. La razón entre la concentración promedio de partículas menores a 2.5 micras con respecto a la norma anual promedio es de 1.47 veces mientras la razón entre la concentración promedio de partículas menores a 10 micras con respecto a la norma anual promedio es de 1.32 veces. Este indicador nos permite estimar que tanto se excedió lo que la norma permite durante los días que se excedió la norma.

Adicional a esto, se realizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov con el fin de detectar la forma en la cual se distribuyen las variables, por lo que algunas de las variables fueron transformadas.

Cuadro 4.1. Estadísticos descriptivos para casas en el AMM

Variable	Obs.	Media	Desv.Est.	Mín.	Máx.
Precio	1722	6,962,968	7,173,492	470,000	39,900,000
M2Terreno	1722	312.9609	317.2261	52	4,980
M2Construcción	1722	336.5503	199.1817	40	1,500
Razón Área Habitacional a Área Total AGEBC	1722	0.3039755	0.1403525	4.11E-06	1.7776220
Razón Área Industrial a Área Total AGEBC	1722	0.0172908	0.0852674	0	3.0093320
Razón Área Verde a Área Total AGEBC	1722	0.0479774	0.0399929	0	0.2656707
Apodaca	1722	0.0551684	0.2283750	0	1
Benito Juárez	1722	0.0075494	0.0865836	0	1
Escobedo	1722	0.0412311	0.1988821	0	1
García	1722	0.0272938	0.1629856	0	1
Guadalupe	1722	0.0911731	0.2879387	0	1
Monterrey	1722	0.5290360	0.4993012	0	1
San Nicolás	1722	0.0615563	0.2404178	0	1
San Pedro	1722	0.1463415	0.3535509	0	1
Santa Catarina	1722	0.0406504	0.1975364	0	1
Días al año PM2.5	1722	0.0119803	0.0119981	0	0.04
Días al año PM10	1722	0.1582230	0.1225944	0.01	0.39
Norma PM2.5	1722	1.4728510	0.4445467	0.80	2.08
Norma PM10	1722	1.3158300	0.3098408	0.91	1.86

Fuente: Elaboración propia con los datos obtenidos.

⁸ La norma establece que el promedio máximo permitido es de 12 microgramos/metro cúbico para las partículas menores a 2.5 micras y de 40 microgramos/metro cúbico para partículas menores a 10 micras.

Las variables que se transformaron fueron Precio, M2Terreno y M2Construcción por sus logaritmos para inducir normalidad. Mientras que las cuatro variables que miden la contaminación en el AMM se consolidaron mediante la técnica de componentes principales como se verá más adelante.

4.5. El problema común de los modelos de precios hedónicos

Dadas las características de la muestra y con base en la revisión de la literatura relacionada con el tema es altamente probable que nos encontremos con problemas de multicolinealidad, es decir, seguramente encontraremos variables que están muy relacionadas entre sí, por consiguiente, generarán estimadores insesgados, consistentes pero inefficientes. Con el objetivo de minimizar el potencial problema que esto puede generar es importante considerar el descarte de algunas variables o su transformación antes de realizar las estimaciones correspondientes. Para descartar problemas de multicolinealidad se calcularon los factores de inflación de varianza (conocidos como VIF por sus siglas en inglés). Generalmente, cuando los VIF son mayores a 10 la multicolinealidad es preocupante. En el cuadro 4.2. se encuentran los resultados, nótese que las variables que miden la contaminación (Días al año PM10 y Norma PM10) son las que presentan niveles no deseados en el indicador VIF.

Cuadro 4.2. Factores de Inflación de varianza

Variable	VIF	1/VIF
Días al año PM10	86.52	0.011559
Norma PM10	85.97	0.011632
Días al año PM2.5	8.17	0.122382
Norma PM2.5	6.84	0.146202
Monterrey	6.33	0.157884
San Pedro	5.44	0.183875
M2Construcción	3.28	0.305102
M2Terreno	3.09	0.323966
Guadalupe	2.87	0.347834
Apodaca	2.57	0.389656
Santa Catarina	1.94	0.516441
Escobedo	1.78	0.563366
García	1.68	0.594993
Razón Área Habitacional a Área Total AGEB	1.35	0.738492
Benito Juárez	1.31	0.7613
Razón Área Verde a Área Total AGEB	1.29	0.775933
Razón Área Industrial a Área Total AGEB	1.14	0.880975
Mean VIF	13.03	

Fuente: Estimaciones propias.

• • • •

Por lo anterior, es importante identificar la relación entre estas variables para con ello descartar las que estén fuertemente relacionadas entre sí y únicamente introducir en el modelo una de las que represente a las demás, esto nos permitirá deshacernos de los problemas de multicolinealidad. En este ejercicio, las variables que presentan los más altos niveles de correlación entre sí son las siguientes:

Cuadro 4.3. Variables explicativas con alta correlación gráfica 1

	Días al año PM2.5	Días al año PM10	Norma PM2.5	Norma PM10
Días al año PM2.5	1			
Días al año PM10	0.8633	1		
Norma PM2.5	0.7555	0.8334	1	
Norma PM10	0.8253	0.9867	0.8702	1

Fuente: Elaboración propia.

En virtud de los altos niveles de correlación entre estas variables sería de esperarse encontrar signos contrarios a lo que pensaríamos obtener de acuerdo con la teoría económica, por lo que, para conservar la mayor parte de la información que contienen estas variables de interés para influir en el precio de la vivienda del AMM, se llevó a cabo un análisis de componentes principales. Antes de aplicar el análisis de componentes principales se comprobó que éste fuera necesario, es decir, se comprobó si la correlación entre las variables analizadas era lo suficientemente grande como para justificar la factorización de la matriz de coeficientes de correlación mediante el índice de Kaiser-Meyer-Olkin (medida de adecuación muestral conocida como KMO) que trata de identificar si podemos factorizar las variables originales de forma eficiente. La prueba indicó que las variables tenían bastante en común para llevar a cabo un análisis de componentes principales como se puede observar en el cuadro 4.4.⁹

Cuadro 4.4. Índice de Kaiser-Meyer-Olkin o medida de adecuación muestral KMO

Variable	KMO	Desempeño del análisis PCA
Días al año PM2.5	0.8299	Adecuación muestral buena
Días al año PM10	0.7156	Adecuación muestral aceptable
Norma PM2.5	0.834	Adecuación muestral buena
Norma PM10	0.7145	Adecuación muestral aceptable
Overall	0.7632	Adecuación muestral aceptable

Fuente: Elaboración propia.

⁹ El índice KMO toma valor entre cero y uno, entre más alto es KMO, más adecuado es hacer el análisis factorial. Kaiser (1974) establece adecuación muestral aceptable cuando el índice KMO es mayor a 0.7 y menor a 0.8, y adecuación muestral buena si el índice es mayor a 0.8 y menor a 0.9.

Los resultados del análisis de componentes principales están en el cuadro 4.5. En donde podemos ver que el componente 1 captura 89.28% de la información total contenida en las cuatro variables que miden la contaminación, por lo que se decidió utilizar solo el primer componente para el análisis. Este componente será el que ayude a medir el efecto de la contaminación sobre el precio de las viviendas del AMM. Los pesos resultantes de cada variable en los componentes principales están contenidos en el cuadro 4.6.

Cuadro 4.5. Análisis de componentes principales

Component	Eigenvalue	Difference	Proportion	Cumulative
Comp1	3.57118	3.32048	0.8928	0.8928
Comp2	0.250704	0.0799507	0.0627	0.9555
Comp3	0.170754	0.163397	0.0427	0.9982
Comp4	0.00735696		0.0018	1

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 4.6. Pesos de cada variable en los componentes principales

	Comp1	Comp2	Comp3	Comp4
Días al año PM2.5	0.4815	0.731	0.471	0.1093
Días al año PM10	0.5168	0.07979	-0.4903	-0.6973
Norma PM2.5	0.4839	-0.6631	0.5602	-0.1112
Norma PM10	0.5166	-0.14	-0.4732	0.6997

Fuente: Elaboración propia.

Cada columna representa una combinación lineal (*loadings*) de las variables originales que proporcionan las componentes principales o factores. Así, la primera componente, que es la que utilizaremos, se obtiene con la siguiente combinación:

$$CP = (0.4815 * \text{diasaopm2.5}) + (0.5168 * \text{diasaopm10}) + (0.4839 * \text{normapm2.5}) + (0.5166 * \text{normapm10}).$$

4.6 Selección de la forma funcional

La forma funcional del modelo se determina empíricamente de acuerdo con criterios como la R-cuadrada, la *R*-cuadrada ajustada, los criterios informativos de Akaike y Schwarz o bien la inspección gráfica. En el presente estudio se considerará para la elección de la forma funcional los criterios de Akaike y Schwarz. Dichos criterios son los más utilizados en la actualidad para definir cuál es la forma funcional que presenta un mejor ajuste a los datos. Las formas funcionales que se probarán son las siguientes:

- Lineal- Lineal
- Lineal-Logarítmica
- Logarítmica- Logarítmica
- Logarítmica-Lineal
- Una mezcla de los anteriores.

La versión del modelo econométrico que presente los valores más bajos de los criterios de Akaike¹⁰ y Schwarz¹¹ será la forma funcional a utilizar. También es importante mencionar que se utilizará la técnica “backward” (hacia atrás) para la selección de variables que presenten un mejor ajuste, dicha técnica realiza una selección de variables que mejor ajustan y explican de mejor forma a la variable dependiente del modelo que en la presente investigación es la variable precio. A continuación, se presenta la forma funcional seleccionada de acuerdo con los criterios antes mencionados. La ecuación a estimar es la siguiente:

(i) Ecuación para Casas del AMM:

$$\text{Precio} = \beta_0 + \beta_1 * (\text{Const}) + \beta_2 * (\text{Terr}) + \beta_3 * (\text{Hab}) + \beta_4 * (\text{Ind}) + \beta_5 * (\text{Vde}) + \beta_6 * (\text{Apodaca}) + \beta_7 * (\text{B. Juárez}) + \beta_8 * (\text{Escobedo}) + \beta_9 * (\text{García}) + \beta_{10} * (\text{Guadalupe}) + \beta_{11} * (\text{Monterrey}) + \beta_{12} * (\text{S. Pedro}) + \beta_{13} * (\text{S. Catarina}) + \beta_{14} * (\text{CP})$$

Donde:

Variable	Descripción
Precio	Logaritmo Natural del precio de la vivienda
β_0	Intercepto de la Ecuación
Const	Logaritmo Natural de los m ² de construcción de la vivienda
Terr	Logaritmo Natural de los m ² de terreno de la vivienda
Hab	Razón área habitacional a área total del AGEBC donde se ubica la vivienda
Ind	Razón área industrial a área total del AGEBC donde se ubica la vivienda
Vde	Razón área verde a área total del AGEBC donde se ubica la vivienda
Apodaca	Variable <i>dummy</i> que es igual a 1 si la vivienda se localiza en el municipio de Apodaca y 0 de otra forma
B. Juárez	Variable <i>dummy</i> que es igual a 1 si la vivienda se localiza en el municipio de Benito Juárez y 0 de otra forma
Escobedo	Variable <i>dummy</i> que es igual a 1 si la vivienda se localiza en el municipio de Escobedo y 0 de otra forma

¹⁰ El Criterio de Akaike es un criterio que nos permite analizar la capacidad explicativa de un modelo, lo cual posibilita hacer comparaciones entre los diferentes modelos. Su definición es: $AIC = e^{(2k/n)} * SRC/n$. Donde k es el número de parámetros y n es el número de observaciones.

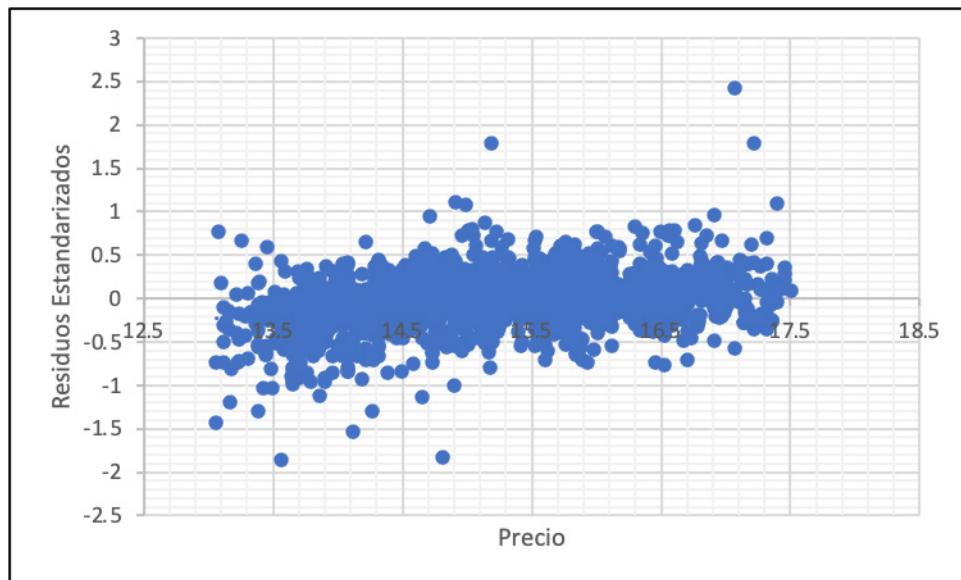
¹¹ Igual que el criterio de Akaike, permite realizar comparaciones de acuerdo con la capacidad explicativa de los modelos. Su definición es: $SIC = n^{(k/n)} * SRC/n$. Donde k es el número de parámetros y n es el número de observaciones.

García	Variable <i>dummy</i> que es igual a 1 si la vivienda se localiza en el municipio de García y 0 de otra forma
Guadalupe	Variable <i>dummy</i> que es igual a 1 si la vivienda se localiza en el municipio de Guadalupe y 0 de otra forma
Monterrey	Variable <i>dummy</i> que es igual a 1 si la vivienda se localiza en el municipio de Monterrey y 0 de otra forma
S. Nicolás	Variable <i>dummy</i> que es igual a 1 si la vivienda se localiza en el municipio de San Nicolás y 0 de otra forma
S. Pedro	Variable <i>dummy</i> que es igual a 1 si la vivienda se localiza en el municipio de San Pedro y 0 de otra forma
S. Catarina	Variable <i>dummy</i> que es igual a 1 si la vivienda se localiza en el municipio de Santa Catarina y 0 de otra forma
Días al año PM2.5	Porcentaje de días del año por encima de la norma para las Partículas Menores a 2.5 micras
Días al año PM10	Porcentaje de días del año por encima de la norma para las Partículas Menores a 10 micras
Norma PM2.5	La razón entre la concentración promedio de partículas menores a 2.5 micras con respecto a la norma anual promedio.
Norma PM10	La razón entre la concentración promedio de partículas menores a 10 micras con respecto a la norma anual promedio.
CP	Es el componente principal que captura el 89% de la información de las variables que representan a la contaminación.
β_j	Para $j=1, 2, \dots, 14$ son los coeficientes que acompañan a las distintas variables explicativas.

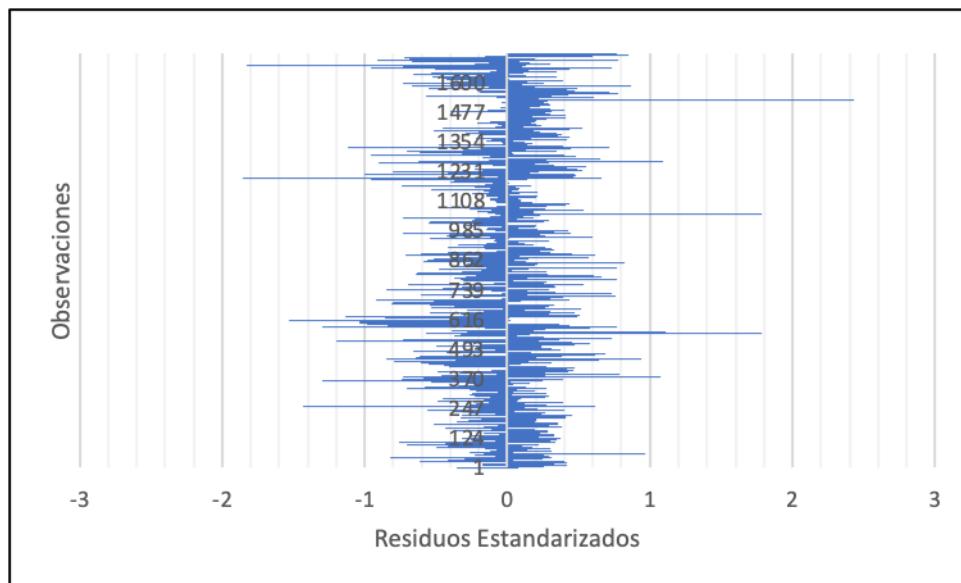
A los resultados de la regresión que se obtuvieron en esta etapa se les hicieron las pruebas de White y de Breusch-Pagan / Cook-Weisberg rechazándose, en ambos casos, la hipótesis nula de que existe homocedasticidad. Debido a este resultado se procedió a correr una Regresión Robusta, ya que un caso en el que la estimación robusta se debe considerar es cuando hay una fuerte sospecha de heterocedasticidad. Los resultados obtenidos de la regresión robusta se muestran en el cuadro 4.7.

Las gráficas 4.2 y 4.3 de los residuos estandarizados, muestran que las observaciones se encuentran a menos de 3 desviaciones estándar, con respecto a la línea media de regresión, significando así que no existen valores atípicos, y se cumple con el supuesto de Normalidad de los Residuos y con el supuesto de Homocedasticidad.

• • • •

Gráfica 4.2. Gráfica de los residuos estandarizados

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 4.3. Residuos estandarizados con las observaciones.

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados del cuadro 4.7 muestran que el coeficiente de determinación es del 0.8981, es decir, las variables dependientes explican 89.81% de la tasa de crecimiento del precio de las casas. El valor crítico de F o valor p del cuadro 4.7 del análisis de varianza, muestra un valor de

1074.43, valor que contrasta el criterio de prueba para el modelo de regresión. Como $p < \alpha$, se valida el modelo, puesto que el estadístico p de la prueba F es menor que α , para un nivel de confianza de 95 por ciento.

Los resultados del análisis comprobaron que el modelo de precios hedónicos que se utilizó es lo suficientemente robusto para predecir los valores del suelo en el AMM, sin embargo, la principal limitante del modelo presentado es la inexistencia de factores de expansión que nos hubieran permitido tener una estimación aún más robusta que reflejara los valores promedio de la población estudiada. Los coeficientes de las variables expresadas en logaritmos deben de ser interpretados como tasas de crecimiento en el precio de las viviendas cuando aumenta 1% la variable explicativa.¹²

Cuadro 4.7. Resultados del modelo de precios hedónicos

Source	SS	df	MS		Number of obs = 1722	
					$F(14, 1707) = 1074.43$	
Model	1595.51962	14	113.965687		Prob > F = 0.0000	
Residual	181.063362	1707	0.1060711		R-squared = 0.8981	
					Adj R-squared = 0.8972	
Total	1776.58298	1721	1.03229691		Root MSE = .32569	
Precio	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
Const	0.8280977	0.0235246	35.2	0	0.7819577	0.8742377
Terr	0.3742425	0.020076	18.64	0	0.3348663	0.4136187
Hab	-0.3162598	0.0632714	-5	0	-0.4403574	-0.1921621
Ind	-0.3802595	0.0979427	-3.88	0	-0.5723599	-0.188159
Vde	0.6267529	0.2220243	2.82	0.005	0.1912845	1.062221
Apodaca	-0.1660371	0.0463352	-3.58	0	-0.2569168	-0.0751573
B. Juárez	-0.6423326	0.1008719	-6.37	0	-0.8401782	-0.4444869
Escobedo	-0.0565064	0.0503631	-1.12	0.262	-0.1552863	0.0422736
García	0.013143	0.0577102	0.23	0.82	-0.1000473	0.1263332
Guadalupe	-0.1015055	0.0412549	-2.46	0.014	-0.182421	-0.02059
Monterrey	0.1791263	0.0350825	5.11	0	0.1103171	0.2479354
S. Pedro	0.9826092	0.04091	24.02	0	0.9023701	1.062848
S. Catarina	0.3562768	0.0507224	7.02	0	0.2567922	0.4557615

Fuente: Estimaciones propias.

¹² Con respecto a las variables que están expresadas en niveles se deben interpretar como se describe a continuación: para saber, por ejemplo, en cuánto aumenta/se reduce el precio de la vivienda cuando aumenta el área verde en el AGEB, se calcula así: $\beta * 100 =$ cambio porcentual en el precio de la casa cuando se tiene un aumento de una unidad en el AGEB. Para interpretar por ejemplo el cambio porcentual en el precio de la vivienda debido a que la propiedad se encuentra localizada en Apodaca en lugar del municipio de San Nicolás, que es la variable *dummy* que se ha tomado como base de comparación, se calcula así: $(100 * (e^{\theta} - 1))$. Donde $\theta =$ coeficiente que acompaña a la *dummy* que representa a Apodaca (en la tabla de arriba, el precio de la vivienda es $100 * (e^{0.1660} - 1) = 15.3\%$ mayor si la vivienda está localizada en el municipio de Apodaca en lugar de estar en el municipio de San Nicolás)

Todos los coeficientes resultaron ser estadísticamente significativos a 5% con excepción de las variables *dummy* que representan a los municipios de Escobedo y García. Los resultados encontrados (manteniendo las demás variables constantes) indican que:

- El precio de la casa aumenta 8.28% por cada 10% de aumento del número de m² de construcción.
- El precio de la casa aumenta 3.74% por cada 10% de aumento del número de m² de terreno.
- Al aumentar en un punto porcentual (por ejemplo, de 30% a 31%) la proporción de metros cuadrados de área de uso habitacional con respecto a los metros cuadrados totales que tiene un AGEB, el precio de la casa se reduce en 0.316 por ciento.
- Al aumentar en un punto porcentual (por ejemplo, 1.5% a 2.5%) la proporción de metros cuadrados de área de uso industrial con respecto a los metros cuadrados totales que tiene un AGEB, el precio de la casa se reduce en 0.380%, aunque esta variable resultó no ser significativa estadísticamente.
- Al aumentar en un punto porcentual (por ejemplo, de 4% a 5%) la proporción de metros cuadrados de área verde con respecto a los metros cuadrados totales que tiene un AGEB, el precio de la casa se incrementa en 0.626 por ciento.
- El precio de la vivienda es en promedio 15.3% más bajo si está localizada en el municipio de Apodaca, que si está localizada en el municipio de San Nicolás.
- El precio de la vivienda es en promedio 47.39% más bajo si está localizada en el municipio de B. Juárez, que si está localizada en el municipio de San Nicolás.
- El precio de la vivienda es en promedio 5.49% más bajo si está localizada en el municipio de Escobedo que si está localizada en el municipio de San Nicolás, aunque este coeficiente no resultó estadísticamente significativo.
- El precio de la vivienda es en promedio 1.32% más caro si está localizada en el municipio de García que si está localizada en el municipio de San Nicolás, aunque este coeficiente no resultó estadísticamente significativo.
- El precio de la vivienda es en promedio 9.65% más barata si está localizada en el municipio de Guadalupe, que si está localizada en el municipio de San Nicolás.
- El precio de la vivienda es en promedio 19.61% más caro si está localizada en el municipio de Monterrey, que si está localizada en el municipio de San Nicolás.
- El precio de la vivienda es en promedio 167.14% más caro si está localizada en el municipio de San Pedro, que si está localizada en el municipio de San Nicolás.
- El precio de la vivienda es en promedio 42.8% más caro si está localizada en el municipio de Santa Catarina, que si está localizada en el municipio de San Nicolás.
- El precio de una vivienda se reduce en 0.23% cuando el componente principal que captura la información de la contaminación se incrementa en una unidad. El componente principal se incrementa en una unidad si los valores promedio de las variables que están contenidas en el componente principal aumentan en 70%, aproximadamente. Lo anterior indica que un aumento en la contaminación de 10% (todas las variables contenidas en el componente principal aumentan 10%) el precio de las viviendas del AMM se reduce 0.0328 por ciento.

5. Conclusiones

Del estudio se pueden desprender dos conclusiones importantes. Primero, un aumento de 10% en el porcentaje de días en el año por encima de la norma para partículas menores a 2.5 micras reduce el precio de la vivienda en 0.347%; considerando que el precio promedio de la vivienda es de 357,075 dólares, el aumento en la contaminación reduce en 1,239 dólares el precio de la vivienda. Por lo tanto, un incremento en 10% de partículas PM2.5 implicaría una pérdida de 1,572 millones de dólares para el AMM. Segundo, un aumento de 10% en el porcentaje de días en el año por encima de la norma para partículas menores a 10 micras reduce el precio de la vivienda en 0.055%; dado que el precio promedio de la vivienda es 357,075 dólares, el aumento en la contaminación reduce en 196 dólares el precio de la vivienda. De tal forma, el costo promedio para el AMM de un incremento en 10% de partículas PM10 es de 249 millones de dólares.

Los resultados del modelo nos permiten dimensionar en cuánto valora la sociedad un incremento en la contaminación. Si consideramos que el presupuesto anual del estado de Nuevo León es de cerca de 4,500 millones de dólares; el costo de un incremento de 10% en los niveles de PM2.5 es equivalente a 32% del presupuesto anual, y el costo de un incremento de 10% en los niveles de PM10 es equivalente a 5% del presupuesto anual.

Del estudio se pueden desprender recomendaciones en materia de política ambiental. El incremento en el porcentaje de áreas verdes implica una revaloración de las viviendas en 2,235 dólares, lo que es superior a la caída observada por un incremento en los niveles de PM2.5 o de PM10. Evidentemente, un incremento en las áreas verdes está correlacionado positivamente con una disminución en este tipo de contaminantes. Lo que implicaría que al menos con la información disponible, aplicar políticas de reforestación no solo disminuye la incidencia negativa de la contaminación sobre la salud, sino que, además, es rentable en términos de valoración económica.

Finalmente, es importante alertar que la base de datos tiene un sesgo hacia arriba, esto es, hacia viviendas de alto precio ya que la información fue recolectada vía internet y publicaciones de periódico. No obstante, dentro de los estudios que existen sobre precios de vivienda en el AMM, este estudio es el único que utiliza una base de 1,700 observaciones, por lo cual consideramos que los resultados obtenidos son una buena aproximación de los determinantes del precio de la vivienda de la región.

Algunas implicaciones de política del presente estudio son las siguientes. Primero, buscar esquemas de participación ciudadana que sean un contrapeso para que los municipios no autoricen cambios en el uso del suelo sin tomar en cuenta el impacto ambiental en un contexto metropolitano. Segundo, promover acciones de reforestación, como por ejemplo del Río Santa Catarina, con el fin de reducir los niveles de contaminación ambiental. Tercero, promover acciones concretas sobre las industrias que generan este tipo de contaminantes, ya sea a través de impuestos o fomentando inversiones en tecnologías más limpias. Cuarto, gestionar que el transporte de carga cumpla con la normatividad ambiental en el traslado y manejo de la mercancía.

6. Referencias

- Arceo, E.O., R. Hanna y P. Oliva. 2012. Does the effect of pollution on infant mortality differ between developing and developed countries? evidence from Mexico City, NBER Working Paper, núm. 18349.
- Arrieta, A.J. 2016. Dispersión de material particulado (PM10), con Interrelación de factores meteorológicos y topográficos, *Ingeniería, Investigación y Desarrollo*, 16 (2): 43-54.
- Boyle, M.A. y K.A Kiel. 2001. A Survey of House Price Hedonic Studies of the Impact of Environmental Externalities. American Real Estate Society, 117-144.
- Bravo H., R. Sosa, P. Sanchez y S. Krupa. 2013. Air Quality Standards for Particulate Matter (PM) at high altitude cities, *Environmental Pollution*, 173: 255-256.
- Canales-Rodríguez, M.A., M. Quintero-Núñez, T. G. Castro-Romero, R.O. García-Cuento. 2014. Las Partículas Respirables PM10 y su Composición Química en la Zona Urbana y Rural de Mexicali, Baja California en México, *Información Tecnológica*, 25(6): 13-22, doi: 10.4067/S0718-07642014000600003
- Freeman, M. 1979. Hedonic Prices, Property Values and Measuring Environmental Benefits: A Survey of the Issues, *The Scandinavian Journal of Economics*, 81(2): 154-173, Measurement in Public Choice.
- García, M., H. Ulloa, H. Ramírez, M. Fuentes, S. Arias y M. Espinosa. 2014. Comportamiento de los vientos dominantes y su influencia en la contaminación atmosférica en la zona metropolitana de Guadalajara, Jalisco, México, *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 1(2): 97-116.
- García, M., H. Ramírez, H. Ulloa, S. Arias y A. Pérez. 2012. Las inversiones térmicas y la contaminación atmosférica en la zona metropolitana de Guadalajara (México), *Investigaciones Geográficas*, núm. 5, pp. 09-29, Universidad de Alicante.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 1980. *X Censo General de Población y Vivienda 1980. Censos y Conteos de Población y Vivienda*. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/1980/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 1990. *XI Censo General de Población y Vivienda 1990. Censos y Conteos de Población y Vivienda*. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/1990/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2000. *XII Censo General de Población y Vivienda 2000. Censos y Conteos de Población y Vivienda*. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2000/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2010. *Censo General de Población y Vivienda 2010. Censos y Conteos de Población y Vivienda*. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2010/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 1995. *Conteo de Población y Vivienda 1995. Censos y Conteos de Población y Vivienda*. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/1995/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2005. *II Conteo de Población y Vivienda 2005. Censos y Conteos de Población y Vivienda*. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2005/>

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2015. *Encuesta Intercensal 2015. Encuestas en Hogares*. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/programas/intercensal/2015/>
- Instituto Mexicano para la Competitividad. 2017. Índice de Competitividad Estatal, IMCO, México.
- Instituto Nacional de Salud Pública. 2016. *Estimación de impactos en la salud por contaminación atmosférica en la región centro del país y alternativas de gestión*, obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/208105/INECC_CAME_Final_14022017.pdf
- Kaiser, H. F. 1974 . "An index of factorial simplicity", *Psychometrika*, 39(1): 31–36.
- Larsen, B. 2015. Post-2015 Consensus, Post-2015- Development Agenda-2015, Mexico Perspectives, Air Pollution, consultado en: https://www.copenhagenconsensus.com/sites/default/files/mexico_resources_air_pollution.pdf
- López, H. 2006. *Valuación de las características de la vivienda del área metropolitana de Monterrey mediante la metodología de precios hedónicos*, Tesis para obtener el grado de Maestría , Monterrey, Nuevo León.
- López, M. e I. Pérez. 2014. *Valoración económica de los beneficios a la salud de la población que se alcanzarían por la reducción de las Pm2.5 en tres zonas metropolitanas mexicanas*, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, Semarnat, México.
- Moreno, R. 2009. *Características de la vivienda ideal: una valoración a través de la metodología de precios hedónicos*. Tesis de Maestría en Economía con orientación en economía industrial, Facultad de Economía, UANL.
- Moreno, R., y E. Alvarado. 2011. "El entorno social y su impacto en el precio de la vivienda: un análisis de precios hedónicos en el Área Metropolitana de Monterrey", *Trayectorias*, 14(33-34), julio 2011-junio 2012.
- OECD. 2012. *OECD Environmental Outlook to 2050: The Consequences of Inaction*, recuperado de https://read.oecd-library.org/environment/oecd-environmental-outlook-to-2050_9789264122246-en
- Ridker, R.G. y J.A. Henning. 1967. "The Determinants of Residential Property Values with Special Reference to Air Pollution", *The Review of Economics and Statistics*, 49(2): 246-257.
- Riojas-Hernández, H., U. Álamo-Hernández, J.L., Texcalac-Salvador e I. Romieu. 2014. "Health impact assessment of decreases in PM10 and ozone concentrations in the Mexico City Metropolitan Area. A basis for a new air quality management program", *Salud Pública de México*, 56(6): 579 -591, disponible en: <https://www.saludpublica.mx/index.php/spm/article/view/7384/10506>
- Rojas, J. 2010. *Criminalidad y Rezago Social como determinantes del precio de la vivienda*, tesis de Maestría en Economía con orientación en Economía Industrial, Facultad de Economía, UANL.
- Rosen, S. 1974. "Hedonic Prices and Implicit Markets: Product Differentiation in Pure Competition", *Journal of Political Economy*, 82(1): 34-55.
- Saptutyningsih, E. 2013. "Impact of Air Pollution on Property Values: A Hedonic Price Study", *Jurnal Ekonomi Pembangunan*, (4(1): 52-65.
- Scherenberg, E. 2006. *La contaminación del aire y el mercado de rentas en el área metropolitana de Monterrey*, tesis de Maestría en Economía con orientación en Economía Industrial, Facultad de Economía, UANL.

- • • •
- Secretaría de Desarrollo Sustentable. 2016. Programa de gestión para mejorar la calidad del aire del estado de Nuevo León, Pro Aire 2016-2025, Gobierno del estado de Nuevo León, septiembre 2016. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/250974/ProAire_Nuevo_Leon.pdf
- Secretaría de Desarrollo Sustentable. 2018. SIMA. Calidad del aire Nuevo León. Gobierno del estado de Nuevo León. 2018. Disponible en: http://aire.nl.gob.mx/rep_estadisticas.html
- Secretaría de Gobernación. 2019. NORMA Oficial Mexicana NOM-172-SEMARNAT-2019, Lineamientos para la obtención y comunicación del Índice de Calidad del Aire y Riesgos a la Salud, *Diario Oficial de la Federación*. publicado el 20/11/2019. https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5579387&fecha=20/11/2019
- Smith, K. V. y J. Huang. 1993. "Hedonic Models and Air Pollution: Twenty-Five Years and Counting", *Resource and Environmental Economics*, (3)4: 381-394.
- Wen, Hz., Sheng-hua, Jia y Xiao-yu, Guo. 2005. "Hedonic price analysis of urban housing: An empirical research on Hangzhou, China", *J. Zhejiang Univ.-Sci. A* 6, 907-914 (2005). <https://doi.org/10.1631/jzus.2005.A0907>
- Xiaoguang Chen y Jingjing Ye. 2018. "When the wind blows: spatial spillover effects of urban air pollution in China", *Journal of Environmental Planning and Management*, DOI: 10.1080/09640568.2018.1496071.
- Zorrilla, A. 1983. *Precios implícitos de las características de la vivienda en el AMM*, tesis de licenciatura en Economía, Monterrey, Facultad de Economía, UANL.

Páginas web

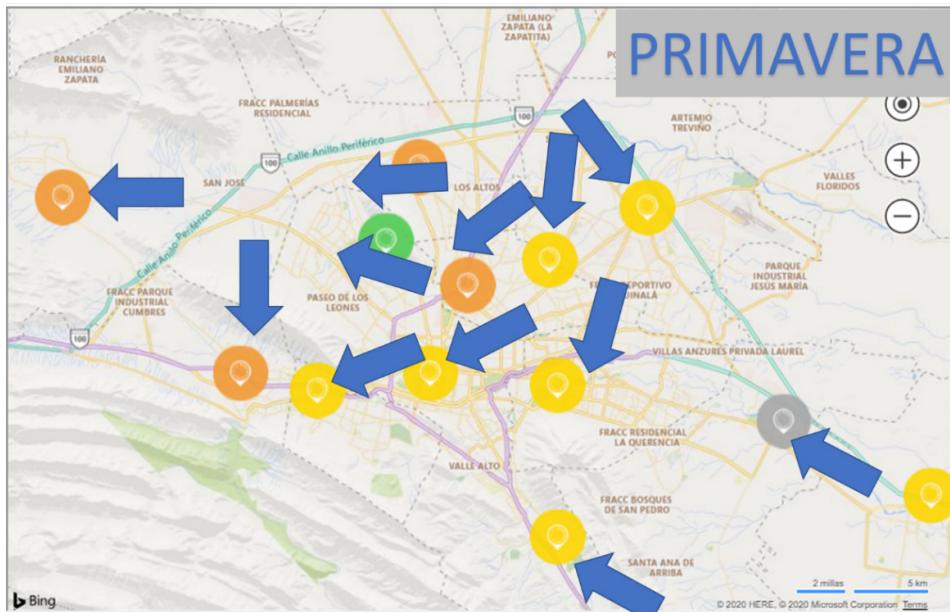
- Inmuebles24. 2017. Inmuebles24. Disponible en: <https://www.inmuebles24.com/>
- Propiedades.com. 2017. Propiedades.com. Disponible en: www.propiedades.com
- Avisos. 2018. Avisos de Ocación. Disponible en: www.avisosdeocasion.com
- Ambientales y Energía. Sin fecha. Ambientales y Energía. Disponible en: <https://ambientalesyenergia.wordpress.com/>
- Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire, SINAICA. Disponible en: <https://sinaica.inecc.gob.mx/>

Agradecimientos

Agradecemos en especial la asistencia técnica de la Mtra. Bricelda Bedoy Valera, investigadora titular del Centro de Investigaciones Económicas, Facultad de Economía, UANL.

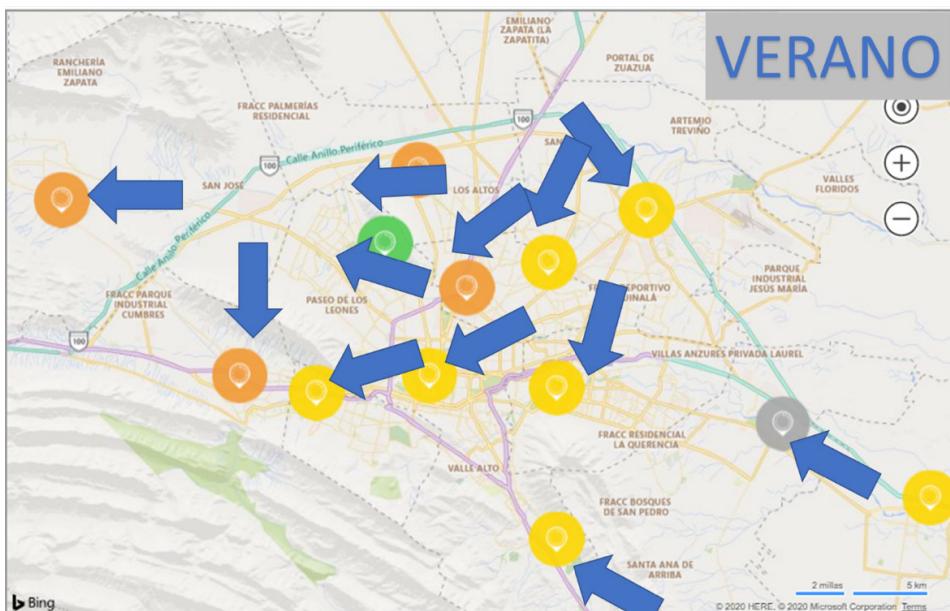
7. Anexo gráfico

Gráfica A.1. Dirección de los vientos en Primavera



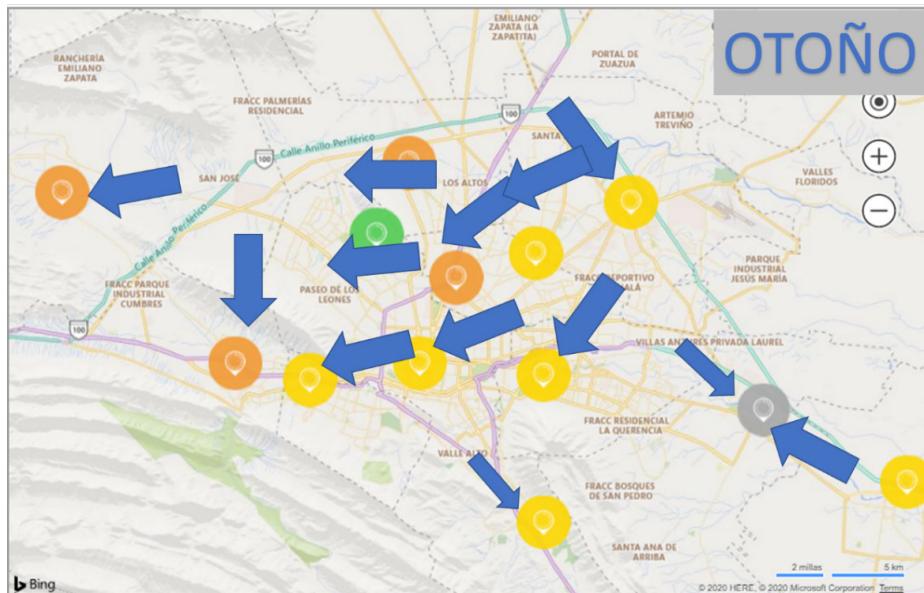
Fuente: Elaboración propia.

Gráfica A.2. Dirección de los vientos en Verano



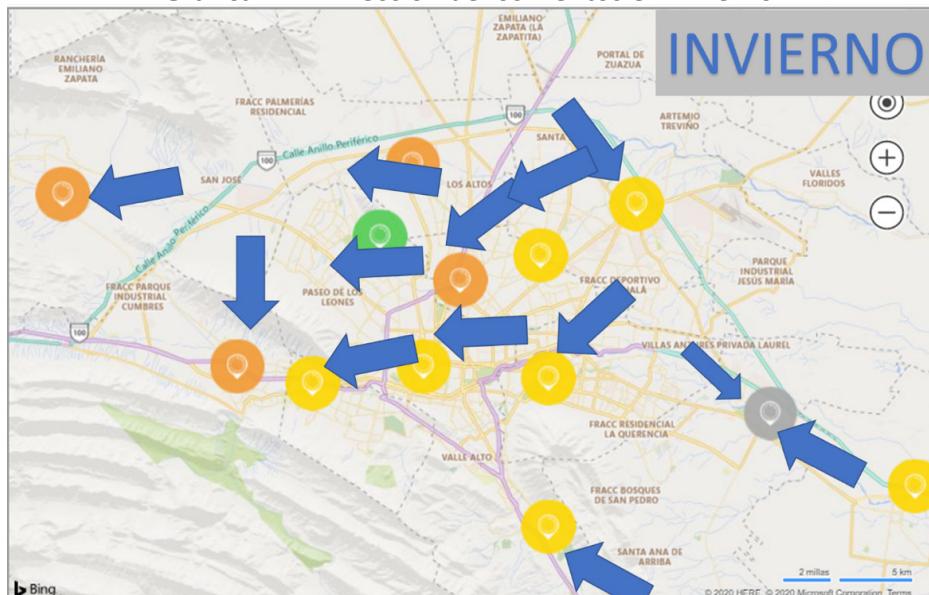
Fuente: Elaboración propia.

Gráfica A.3. Dirección de los vientos en Otoño



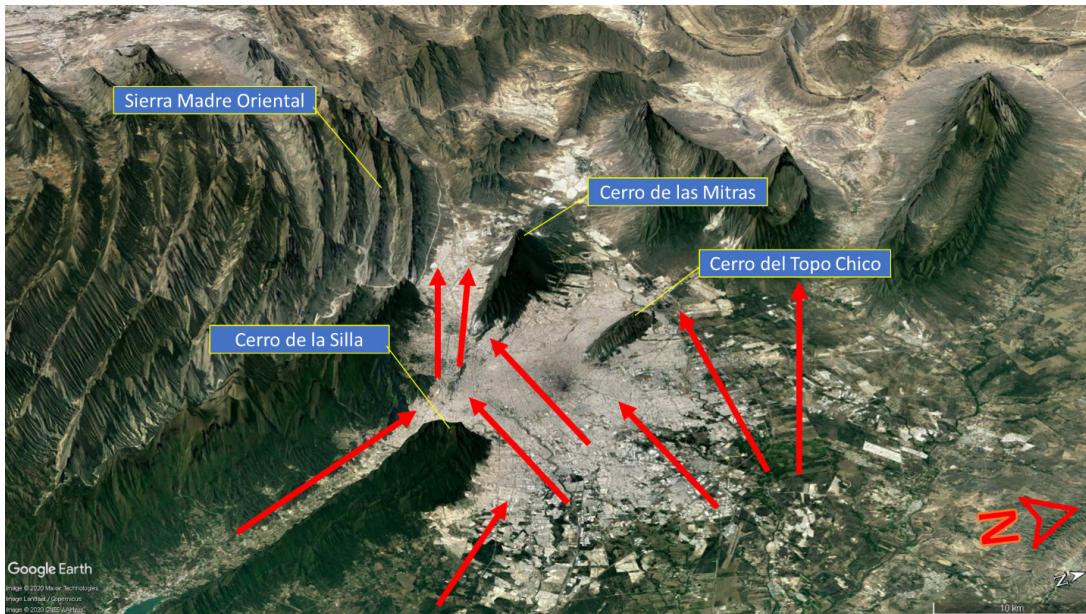
Fuente: Elaboración propia.

Gráfica A.4. Dirección de los vientos en Invierno



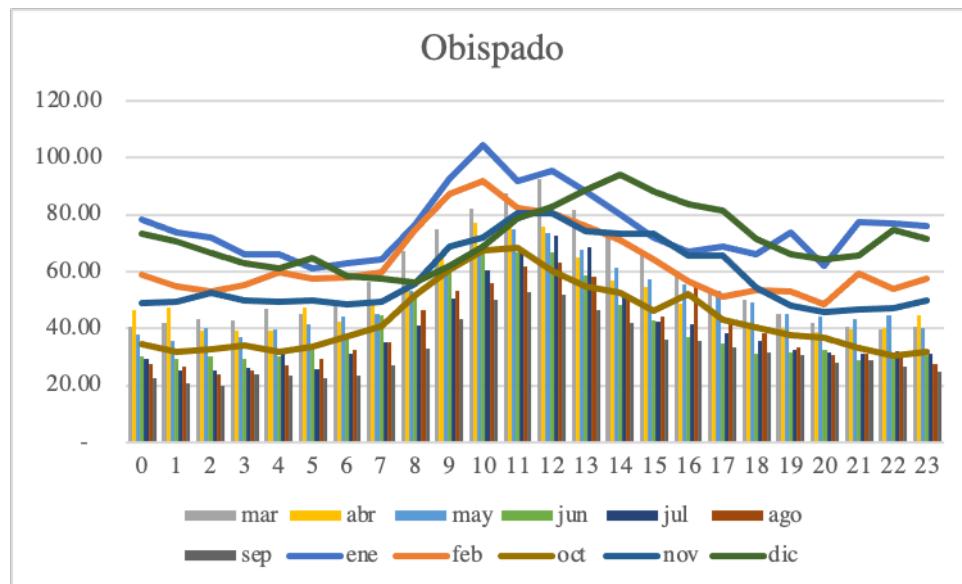
Fuente: Elaboración propia.

Gráfica A.5. Dirección de los vientos en general en el AMM

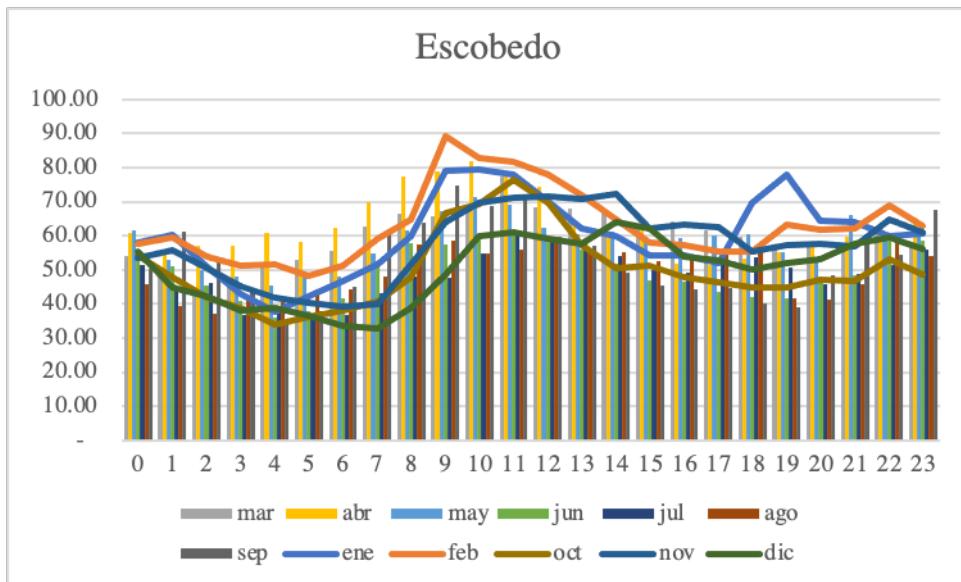


Fuente: Elaboración propia.

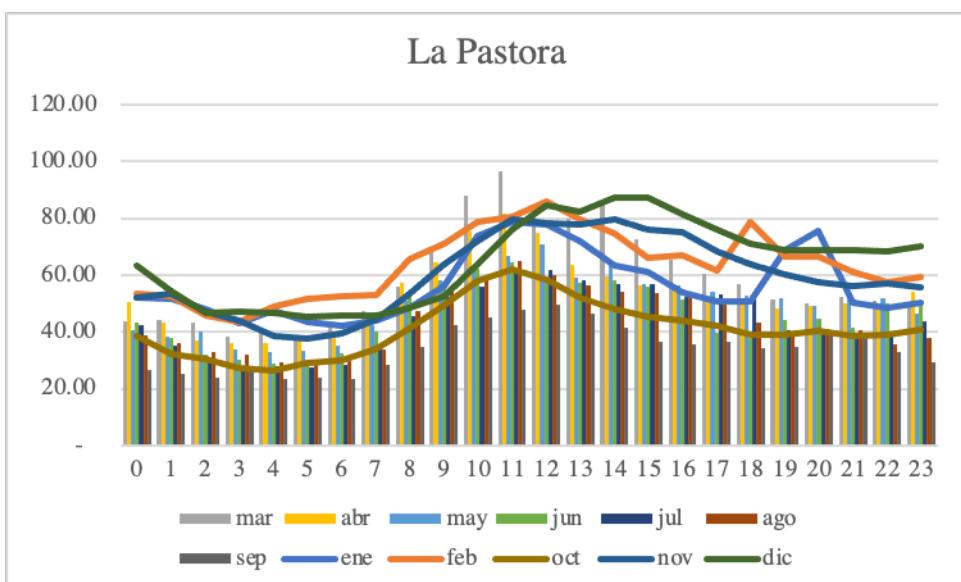
Gráfica A.6. Comportamiento de los PM10 por hora y mes en la estación Obispado



Fuente: Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire (Sinaica) con información de la Secretaría de Desarrollo Sustentable del estado de Nuevo León.

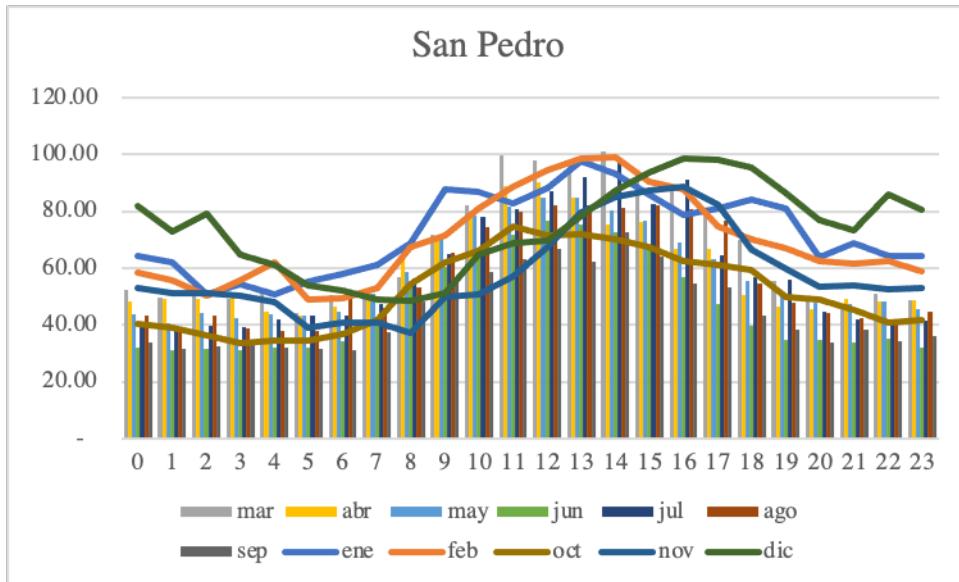
Gráfica A.7. Comportamiento de los PM10 por hora y mes en la estación Escobedo

Fuente: Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire (Sinaica) con información de la Secretaría de Desarrollo Sustentable del estado de Nuevo León.

Gráfica A.8. Comportamiento de los PM10 por hora y mes en la estación La Pastora

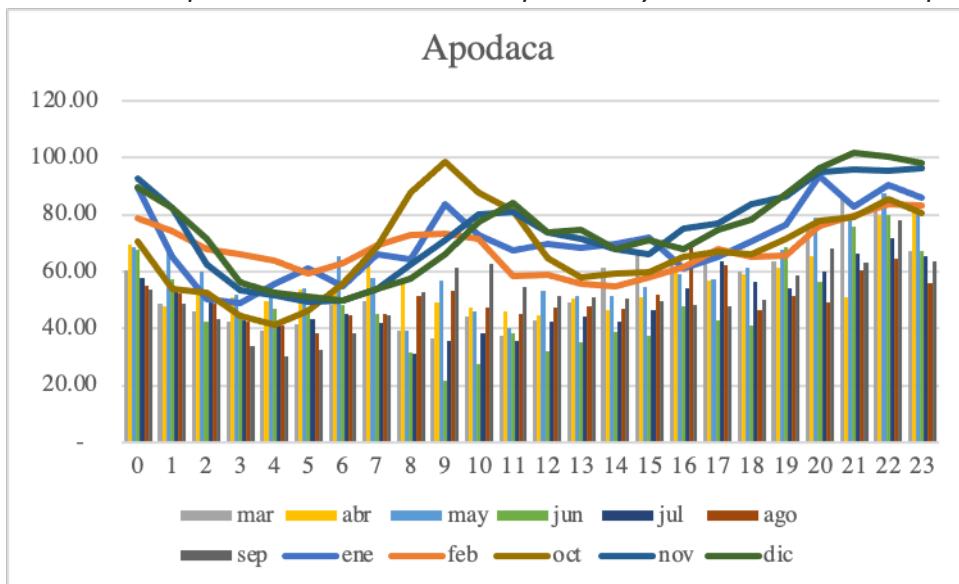
Fuente: Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire (Sinaica) con información de la Secretaría de Desarrollo Sustentable del estado de Nuevo León.

Gráfica A.9. Comportamiento de los PM10 por hora y mes en la estación San Pedro

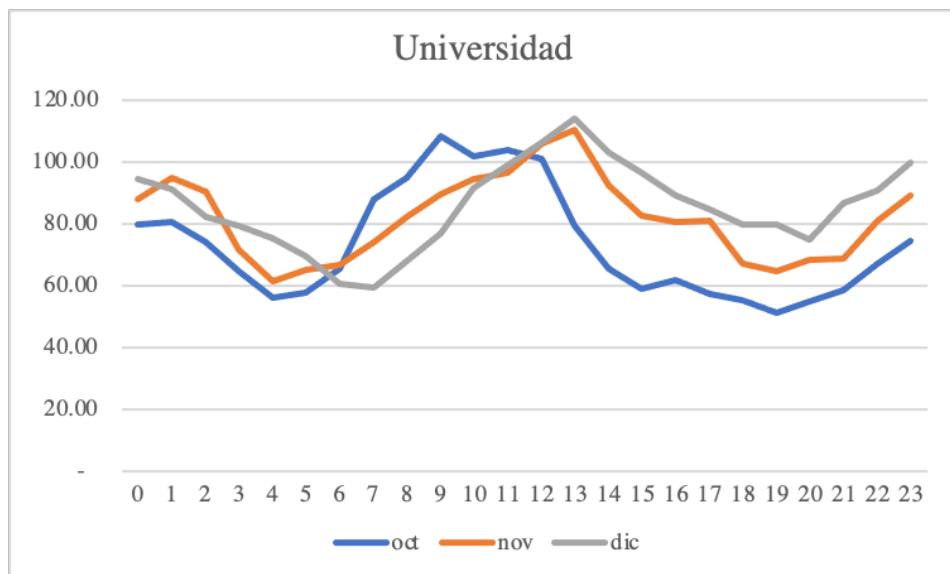


Fuente: Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire (Sinaica) con información de la Secretaría de Desarrollo Sustentable del estado de Nuevo León.

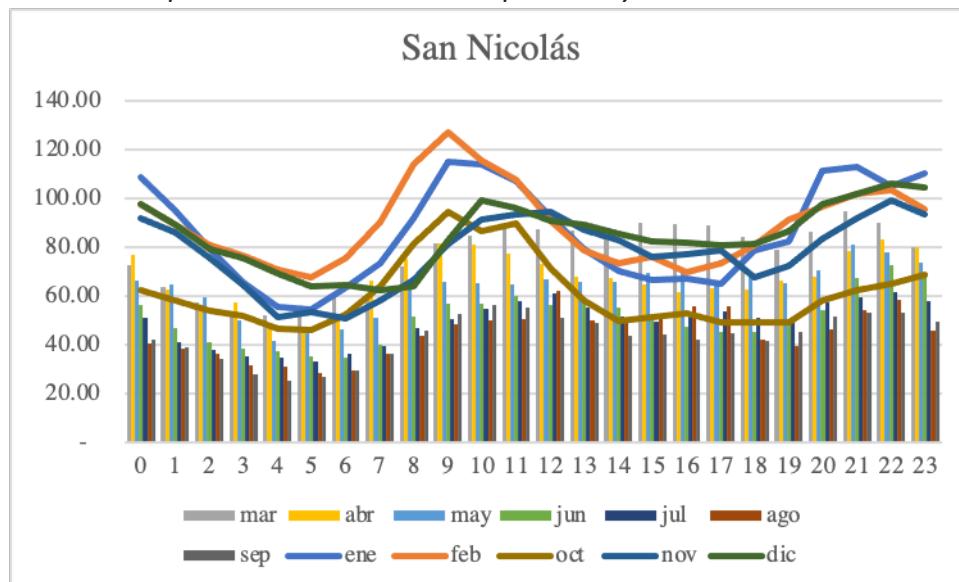
Gráfica A.10. Comportamiento de los PM10 por hora y mes en la estación Apodaca



Fuente: Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire (Sinaica) con información de la Secretaría de Desarrollo Sustentable del estado de Nuevo León.

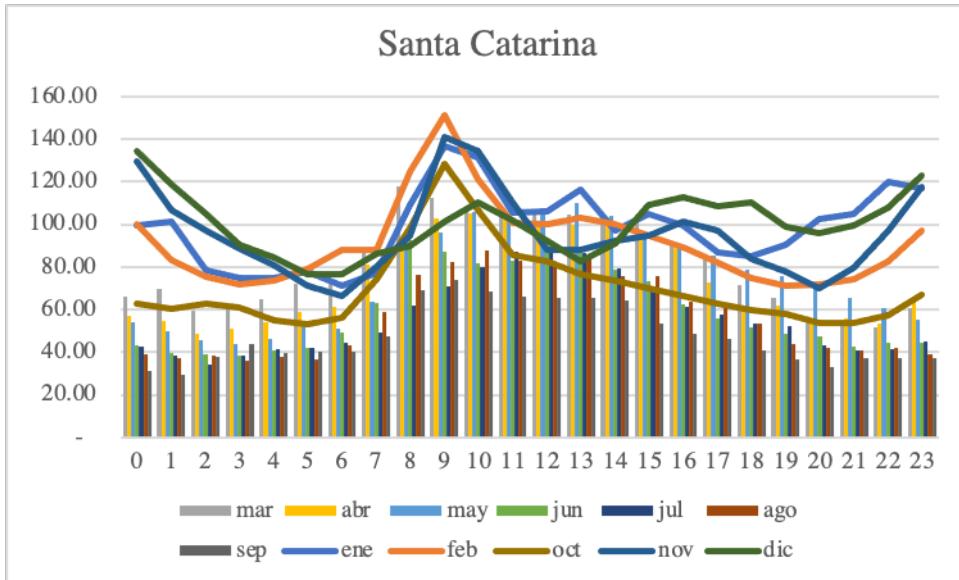
Gráfica A.11. Comportamiento de los PM10 por hora y mes en la estación Universidad

Fuente: Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire (SINAICA) con información de la Secretaría de Desarrollo Sustentable del estado de Nuevo León.

Gráfica A.12 Comportamiento de los PM10 por hora y mes en la estación San Nicolás

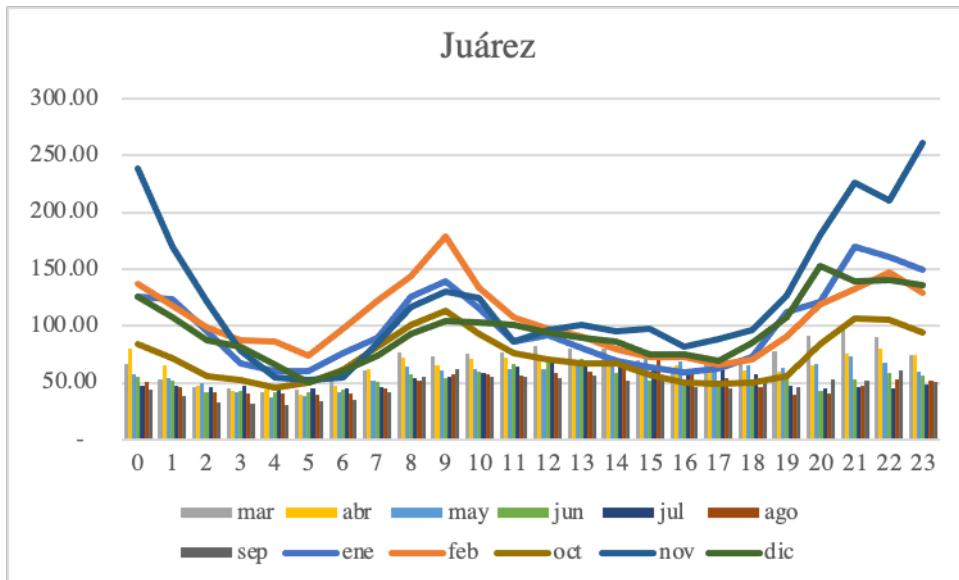
Fuente: Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire (SINAICA) con información de la Secretaría de Desarrollo Sustentable del estado de Nuevo León.

Gráfica A.13. Comportamiento de los PM10 por hora y mes en la estación Santa Catarina

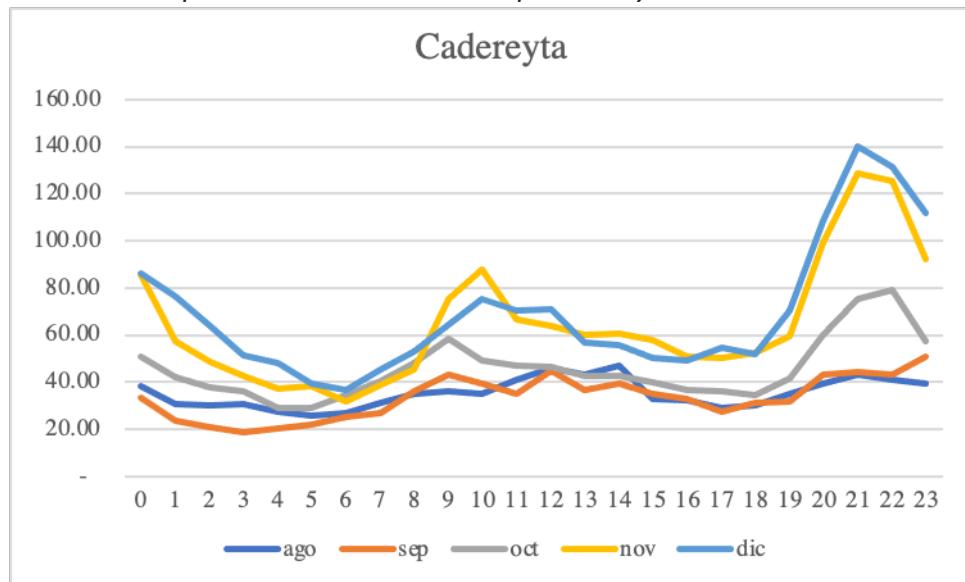


Fuente: Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire (Sinaica) con información de la Secretaría de Desarrollo Sustentable del estado de Nuevo León.

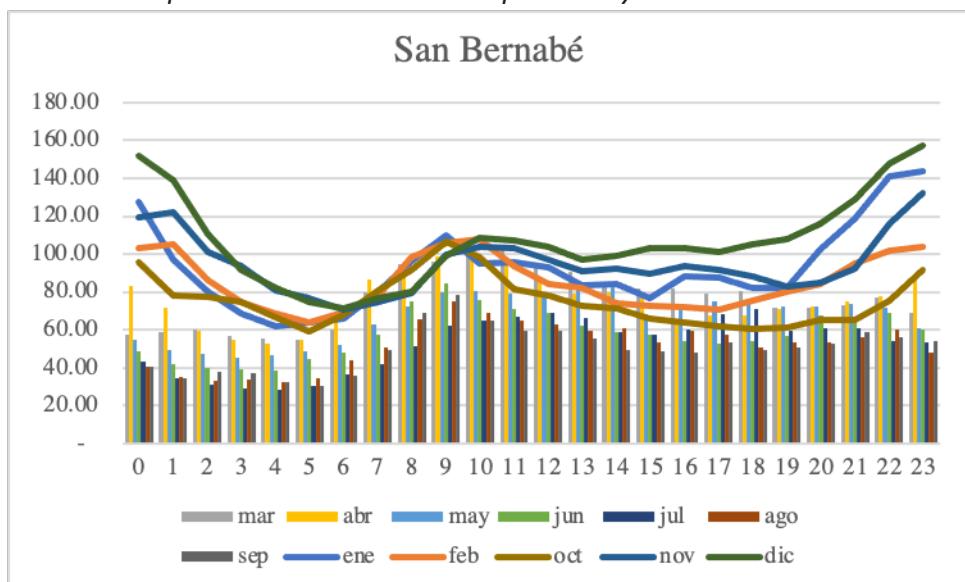
Gráfica A.14. Comportamiento de los PM10 por hora y mes en la estación Juárez



Fuente: Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire (Sinaica) con información de la Secretaría de Desarrollo Sustentable del estado de Nuevo León.

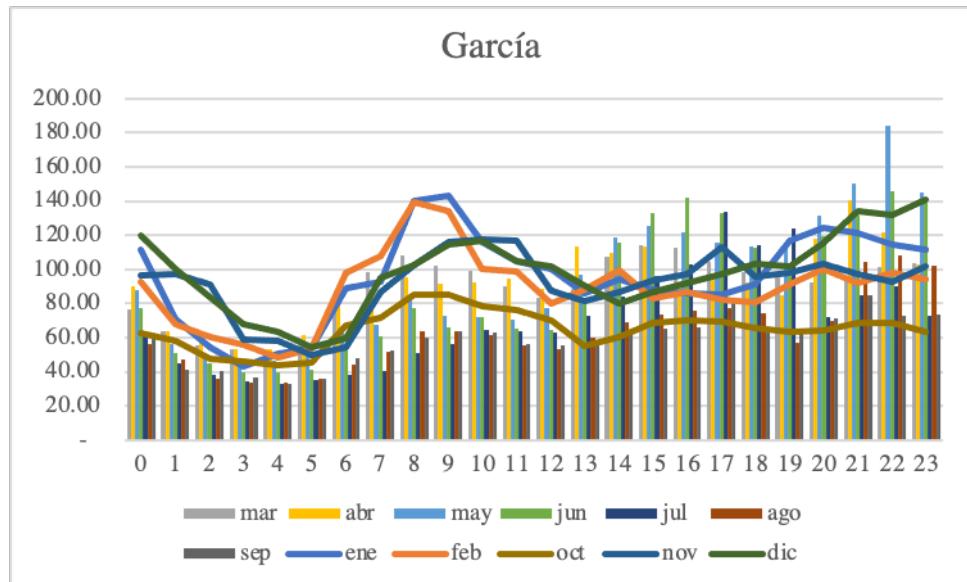
Gráfica A.15. Comportamiento de los PM10 por hora y mes en la estación Cadereyta

Fuente: Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire (Sinaica) con información de la Secretaría de Desarrollo Sustentable del estado de Nuevo León.

Gráfica A.16. Comportamiento de los PM10 por hora y mes en la estación San Bernabé

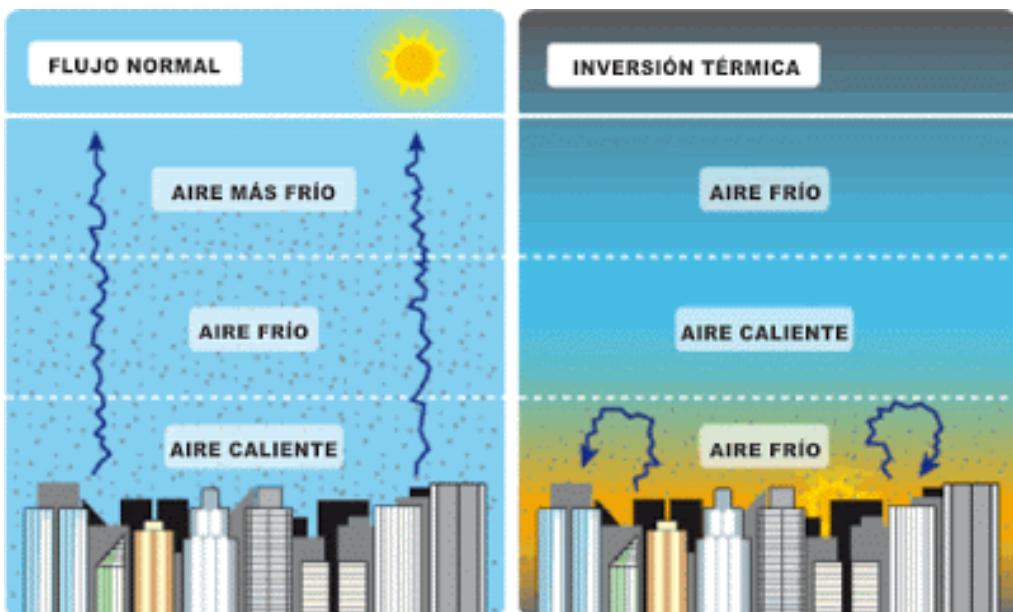
Fuente: Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire (Sinaica) con información de la Secretaría de Desarrollo Sustentable del estado de Nuevo León.

Gráfica A.17. Comportamiento de los PM10 por hora y mes en la estación García



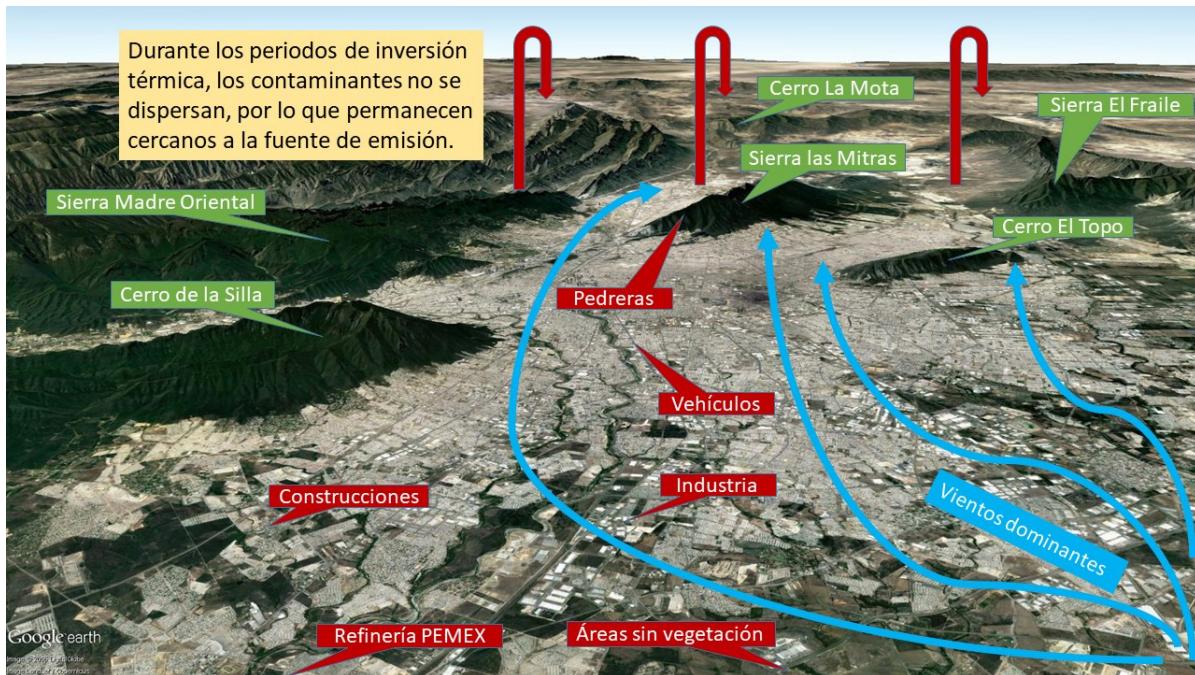
Fuente: Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire (Sinaica) con información de la Secretaría de Desarrollo Sustentable del estado de Nuevo León.

Gráfica A.18. Esquema tradicional de una inversión térmica



Fuente: <https://ambientalesyenergia.wordpress.com/>

Gráfica A.19. Esquema de una inversión térmica en Monterrey



Fuente: Secretaría de Desarrollo Sustentable del Estado de Nuevo León.