

Evaluar. Debatir. Mejorar.

cómo vamos

NUEVO LEÓN



OCCAMM
OBSERVATORIO DEL AIRE

LA CALIDAD DEL AIRE DURANTE LA CUARENTENA EN NUEVO LEÓN



La calidad del aire durante la cuarentena en Nuevo León

Una colaboración entre Cómo Vamos Nuevo León y el Observatorio Ciudadano de la Calidad del Aire del Área Metropolitana de Monterrey (OCCAMM)

Resumen: En la primera parte de este documento se ofrece una revisión del problema de contaminación ambiental en el Área Metropolitana de Monterrey (AMM) de manera amplia, desde las principales fuentes de emisión de contaminantes hasta la normativa relacionada con la calidad del aire y sus estrategias de contención. Posteriormente, se describe de manera breve el comportamiento de algunas de estas fuentes durante la cuarentena para continuar con un análisis de la variación en las concentraciones de 4 contaminantes atmosféricos ($PM_{2.5}$, $PM_{2.5-10}$, Ozono y CO) durante el periodo de cuarentena.

Las medidas de contención adoptadas contra el COVID-19 redujeron de manera importante la actividad industrial y la movilidad en el AMM. En este contexto, encontramos que durante el periodo de confinamiento (31 de marzo a 17 de junio) la concentración promedio de 24h de material particulado se redujo en promedio $7.49 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para partículas gruesas y $6.41 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para partículas finas, descontando los efectos de las condiciones meteorológicas y cualquier componente estacional o autoregresivo de las series. Durante este periodo las concentraciones de ozono (O_3) no presentaron cambios significativos. En cuanto al monóxido de carbono, no se encontraron datos suficientes de las estaciones de monitoreo ubicadas en el AMM. Esto nos recuerda la importancia de contar con mecanismos adecuados de medición, pues son de primera importancia en la generación de información que nos permita instrumentar políticas públicas que ayuden a mitigar el grave problema de la contaminación ambiental.

Investigadores responsables:

Alfonso Martínez Muñoz - Observatorio Ciudadano de la Calidad del Aire del Área Metropolitana de Monterrey

Alan Armendáriz Olivo- Cómo Vamos, Nuevo León

Jimena Escalante Díaz del Campo- Cómo Vamos, Nuevo León

Lesly Garza Rodríguez- Cómo Vamos, Nuevo León

Índice

El problema de la contaminación ambiental.....	3
¿Cuáles son y de dónde vienen los contaminantes del aire?.....	3
Mala calidad del aire y estrategia de contención	6
La pandemia como experimento de control de fuentes	8
¿Cómo se comportaron las fuentes de contaminación durante el confinamiento?.....	9
¿Qué pasó con la calidad del aire durante el confinamiento?.....	12
1. Menos material particulado, más días con buena calidad del aire.....	12
2. Ozono, un contaminante persistente.....	17
3. Monóxido de carbono, ¿y los datos?.....	18
Consideraciones finales.....	19
Metodología.....	19
Literatura consultada.....	20

El problema de la contaminación ambiental

La contaminación del aire es un problema medioambiental a nivel mundial que representa un riesgo grave para la salud de las personas. En un artículo publicado en la revista médica *The Lancet*, se estimó que en 2015 la contaminación fue responsable de la muerte prematura de 9 millones de personas en el mundo, “15 veces más que cualquier forma de violencia” (Landrigan et. al., 2018). Se sabe que los efectos a la salud son graves y dependen de la exposición que una persona tenga con cada contaminante y la concentración de este mismo.

En un estudio para el AMM, se estimó que en el año 2010 ocurrieron 2,764 muertes prematuras a causa de inhalación de ozono y partículas gruesas (Texcalac, 2014). Esto equivale a poco más de 7.5 muertes diarias. Para el 2015 la cifra de muertes evitables, de haberse cumplido tan solo las normas de $PM_{2.5}$, se estimaron en 1,252 (Trejo et al., 2019). En un estudio más reciente, también dentro del AMM, se encontró que un aumento de 10 microgramos por metro cúbico ($\mu g/m^3$) en el promedio diario de partículas finas incrementó la mortalidad respiratoria por neumonía e influenza en menores de 5 años en un 11.16% y en mayores de 65 en un 6.6% en ese mismo día. Adicionalmente, un aumento en el promedio diario de $10 \mu g/m^3$ de partículas gruesas se asocia con un incremento del riesgo de mortalidad de 1.8% por enfermedades respiratorias y de 1.4% por enfermedades cardiovasculares en mayores de 65 (Martínez et al., 2020).

¿Cuáles son y de dónde vienen los contaminantes del aire?

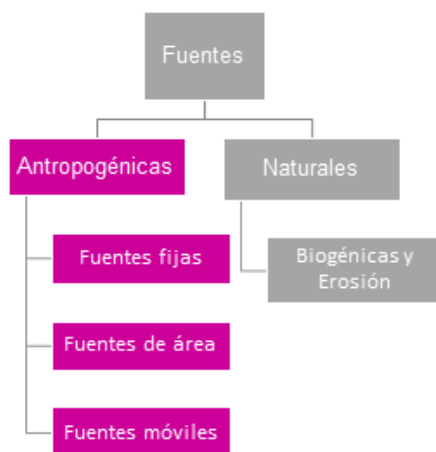
Existen distintos “contaminantes criterio” (contaminantes que dañan la salud) en el aire. Algunos de los más importantes son: ozono, monóxido de carbono, dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, PM_{10} y $PM_{2.5}$. Mientras que los primeros 4 son sustancias químicas específicas, las PM_{10} y $PM_{2.5}$ se refieren a material particulado menor a 10 y 2.5 micrómetros respectivamente. **El presente documento se concentra solamente en material particulado contenido dentro de las PM_{10} (partículas gruesas $PM_{2.5-10}$ y partículas finas $PM_{2.5}$), ozono y monóxido de carbono.**

El material particulado puede contener desde polvos y pequeños residuos de procesos mecánicos hasta gases y compuestos derivados de la reacción de sustancias en el aire¹. En el AMM, las partículas gruesas $PM_{2.5-10}$ constituyen entre 75% a 90% de las PM_{10} . Esto puede variar dependiendo de las características propias del sitio y de sus principales emisores. Las partículas gruesas están formadas en un 54% por material geológico (suelo) y 11% por sulfatos (Mendoza et al, 2019). Otro elemento que puede formar parte de estas partículas es el polvo proveniente del desgaste de las llantas y el polen.

El Inventario Nacional de Emisiones de Contaminantes Criterio 2016 realizado por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos naturales (SEMARNAT), define, por entidad federativa, cuáles son las principales fuentes de emisiones y con qué proporción contribuyen en la emisión de cada uno de los contaminantes. En este, se identifican 4 categorías de fuentes de emisión: fuentes fijas, fuentes de área, fuentes móviles y fuentes naturales (ver figura 1).

¹ Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, “*Qué son, cómo son y cómo se originan las partículas*” de <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/695/queson.pdf>

Figura 1. Fuentes de emisiones de contaminantes del aire.



Las fuentes fijas son aquellas instalaciones que emiten contaminantes desde un lugar estacionario y están ligadas con frecuencia a actividades industriales, de comercio o servicios. Las fuentes de área son similares a las fijas en tanto que suelen ser instalaciones estacionarias. La diferencia radica en que estas son numerosas y dispersas, como es el caso de hogares o gasolineras. Las fuentes móviles, por otro lado, incluyen vehículos motorizados de cualquier tipo, cuyas emisiones provienen principalmente de la combustión y el desgaste de frenos y llantas. Además de las fuentes antes mencionadas, existen fuentes naturales como lo son la erosión del suelo, incendios forestales, entre otras.

Como se puede observar en la tabla 1, de acuerdo con el Inventario, en el AMM, las fuentes fijas son las que más aportan en cuestión de emisiones directas de material particulado (PM_{2.5} y PM₁₀), aunque las fuentes de área tienen también una participación importante en el caso de las partículas gruesas. Las fuentes móviles, por otro lado, son importantes emisoras de monóxido de carbono (CO) y óxidos de nitrógeno (NO_x). En el caso del ozono no es posible identificar fuentes directas de emisión ya que este se forma en la troposfera a partir de reacciones entre óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles (COVs) en la presencia de luz solar.

Tabla 1. Proporción de emisiones por tipo de fuente y contaminante.

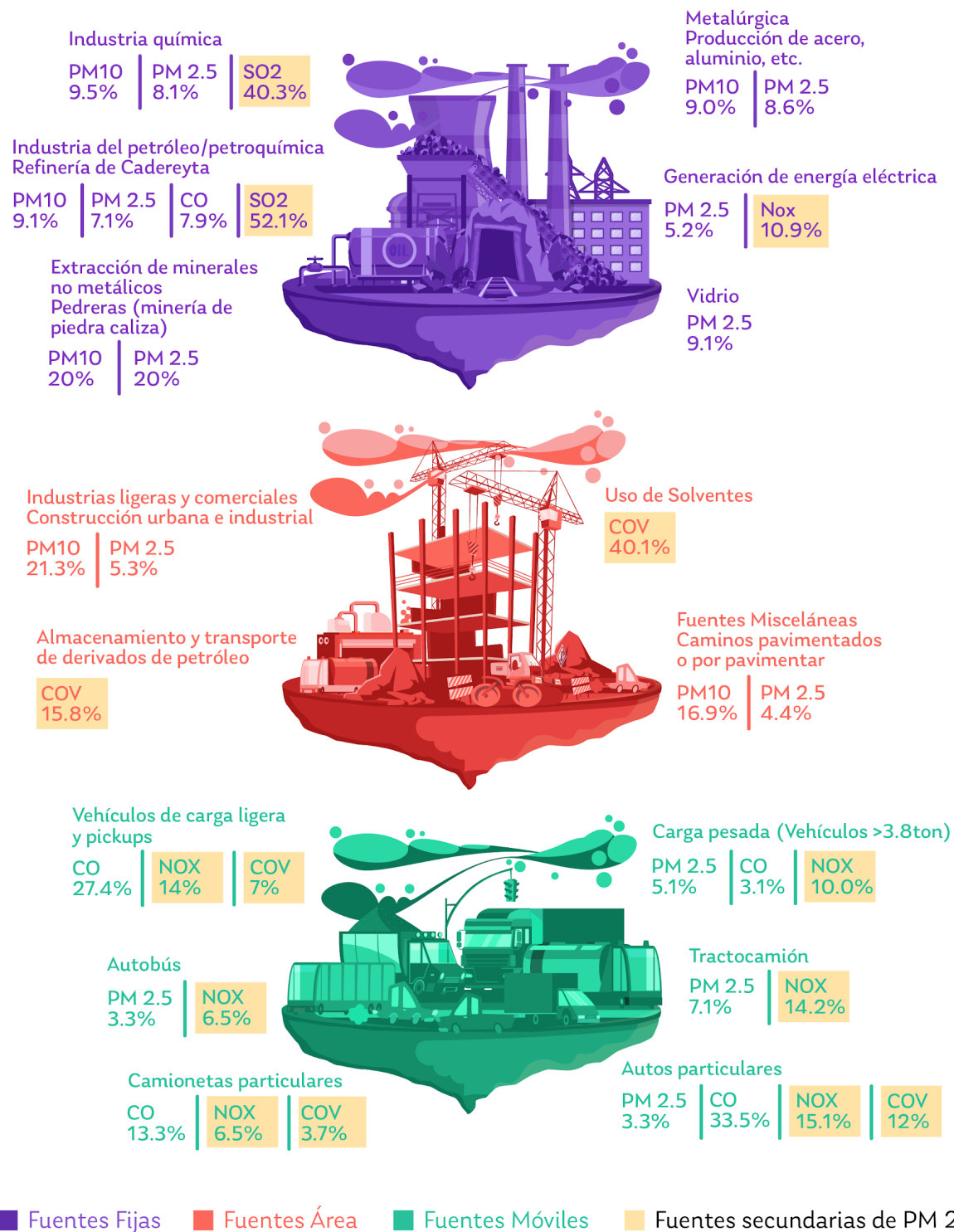
Contaminante	Fuentes fijas	Fuentes de área	Fuentes móviles
PM ₁₀	54.7%	42.2%	3.1%
PM _{2.5}	67.6%	12 %	20.5%
CO	10.8%	1.3%	87.9%
NO _x	27%	1.5%	71.5%
COV	10.6%	61.2%	28.2%
SO ₂ ²	98.5%	0.1%	1.4%

Fuente: Elaboración propia con datos del INEM 2016

²Dióxido de azufre

En la siguiente figura se ilustra de manera más clara la proporción que cada fuente aporta al total de emisiones de cada uno de los contaminantes antes mencionados. Por ejemplo, que el 20% de las emisiones de PM10 provienen de la extracción de minerales no metálicos (pedreras), 9.5% de la industria química, 21.3% de actividades de construcción, etc.

Figura 2. Porcentaje de aportación al total de emisiones de cada contaminante por actividad económica e industria en Nuevo León



Nota técnica: Los porcentajes no suman 100%, porque solo son las fuentes más importantes. Fuente: Inventario Nacional de Emisiones de Contaminantes Criterio

Además de considerar las fuentes de emisión primarias representadas en la figura 2, es importante destacar que una proporción de diversos contaminantes no provienen directamente de las fuentes de emisión, sino que son formados en la atmósfera a partir de reacciones químicas como sucede con el ozono y con una parte importante de las PM 2.5. Algunos compuestos como el dióxido de azufre (SO₂), óxido de nitrógeno (NO_x) y compuestos orgánicos volátiles (COVs) y semivolátiles, provenientes tanto de vehículos como de industrias, son importantes precursores de partículas finas (ver tabla 1). Diversos estudios sobre la composición de estas partículas en el AMM han sugerido que la contribución de las emisiones vehiculares a la masa total de PM_{2.5} podría ser en ocasiones superior al 50% dependiendo de la época del año y del sitio de muestreo (Martínez, Santos-Guzmán y Mejía, 2016).

Mala calidad del aire y estrategia de contención

Dada la gravedad del problema de la contaminación, se ha vuelto una necesidad medir la concentración de los contaminantes criterio en el aire externo. Para esto, el AMM cuenta con su propio sistema de monitoreo integrado por 14 estaciones, aunque no todas se encuentran en pleno funcionamiento para todos los contaminantes todo el tiempo. Este sistema mide las concentraciones de los contaminantes criterio y reporta los datos al Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire (SINAICA).

Debido a los efectos nocivos en la salud, para cada contaminante existe una Norma Oficial Mexicana de Calidad del Aire Ambiente (NOMS)³ en la cual se establecen valores límite. Para el caso de las partículas los valores límite son tanto para la exposición de corto plazo (aguda) como para la exposición de largo plazo (crónica). Por ello, cuando un contaminante supera los límites de la norma algún día en particular, este se considera día con *mala calidad del aire*⁴. Es importante señalar que además de los límites establecidos en las NOMS, existen recomendaciones o guías propuestas por la Organización Mundial de la Salud (OMS), las cuales son más estrictas que los límites establecidos en las normas mexicanas (tabla 2)⁵.

Tabla 2. Límites máximos de buena calidad del aire (NOM y OMS)

Contaminante	Norma Oficial Mexicana	Guía OMS	Norma Oficial Mexicana	Guía OMS
	<i>Límites promedio de 24 hrs</i>		<i>Límites promedio anual</i>	
PM ₁₀	75 µg/m ³	50 µg/m ³	40 µg/m ³	20 µg/m ³
PM _{2.5}	45 µg/m ³	25 µg/m ³	12 µg/m ³	10 µg/m ³
	<i>Límites máximo de 8 hrs</i>			
O ₃	0.07 ppm	0.05 ppm		
CO	11 ppm	No hay		

Fuente: NOM-025-SSA1-2014 y Organización Mundial de la Salud.

Desde el 2005, los registros de días con mala calidad del aire han estado por encima de los 200 días por año, a excepción de 2019, cuando se registraron 181 días con mala calidad del aire (Sistema Integral de Monitoreo Ambiental, 2018). Esto significa que, por años, la población del AMM ha estado expuesta a

³Normas Oficiales Mexicanas de Calidad del Aire Ambiente de <https://www.gob.mx/cofepris/acciones-y-programas/4-normas-oficiales-mexicanas-nom-de-calidad-del-aire-ambiente>

⁴Índice de Aire y Salud de la SEMARNAT

⁵Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre de https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69478/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.pdf?sequence=1

estos contaminantes en concentraciones dañinas para su salud durante la mayoría de los días del año. A pesar de la mala calidad del aire, en México, a diferencia de lo que sucede en otros países, cuando un estado o ciudad rebasa los límites máximos de concentraciones de contaminantes establecidos por las normas de salud, no se recibe ninguna penalidad presupuestaria, ni de ninguna otra índole.

En febrero de 2020, la Secretaría de Desarrollo Sustentable del Estado de Nuevo León elaboró como primer esfuerzo el Programa de Respuesta a Contingencias Atmosféricas para el Área Metropolitana de Monterrey⁶. El objetivo del programa es informar e implementar acciones para proteger a la población del AMM en momentos de alta contaminación atmosférica, mediante la implementación de medidas de restricción de la movilidad y de las industrias. La política establece cuatro fases que se activan de acuerdo al cumplimiento de los criterios estipulados en la tabla 3.

Tabla 3. Criterios para la activación de las fases

Fase	PM ₁₀ ^a		PM _{2.5} ^b		O ₃ ^c		CO ^d		SO ₂ ^e		NO ₂ ^f	
	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 1	Criterio 2
	(Índice de Aire y Salud)	(NOM-25-SSA1-2014)	(Índice de Aire y Salud)	(NOM-25-SSA1-2014)	(Índice de Aire y Salud)	(NOM-020-SSA1-1993)	(Índice de Aire y Salud)	(NOM-021-SSA1-1993)	(Índice de Aire y Salud)	(NOM-022-SSA1-2010)	(Índice de Aire y Salud)	(NOM-023-SSA1-1993)
Etapa Preventiva	>=76	>=100	>=46	>=55	>=0.107	>=0.070	>=11.1	>=12	>=0.111	>=0.253	>=0.211	>=0.132
Alerta	>=156	>=135	>=80	>=75	>=0.130	>=0.093	>=13.31	>=13.9	>=0.166	>=0.345	>=0.231	>=0.176
	CRITERIO 3											
	>=277		>=214		>=0.184		>=18.61		>=0.301		>=0.271	
Contingencia Fase 1	>=236	>=214	>=148	>=97.4	>=0.154	>=0.115	>=15.51	>=15.9	>=0.221	>=0.435	>=0.251	>=0.221
Contingencia Fase 2	>=277	>300	>=214	>128.8	>=0.184	>=0.137	>=18.61	>=18.9	>=0.301	>=0.566	>=0.271	>=0.289
Desactivación	Alguna de las Fases disminuya sus criterios hasta las concentraciones de Etapa Preventiva											

Nota: ^{a, b} Concentraciones en µg/m³
^{c, d, e, f} Concentraciones en ppm

Para que la autoridad decrete cualquiera de las fases que se observan en la columna izquierda, es necesario que se cumplan simultáneamente dos criterios, salvo en la fase de alerta que hay un tercer criterio por el cual se puede activar por sí misma esta fase.

Uno de los criterios proviene de las normas de salud, mientras que el segundo proviene del Índice de Aire y Salud. Entre las acciones a implementar activándose alguna de estas fases, encontramos desde la limitación de realizar actividades al aire libre para grupos vulnerables, la disminución de algunas fuentes de contaminantes, hasta paros parciales de actividades e industrias y limitaciones a la circulación vehicular.

Cabe destacar que los límites establecidos como criterio para poder decretar las fases y tomar medidas, a partir de la etapa de alerta, son más elevados que los considerados para determinar una mala calidad del aire en el Índice de Aire y Salud de la SEMARNAT. El hecho de que se tengan que cumplir dos criterios simultáneamente incrementa la dificultad para la entrada a cada fase, y consecuentemente, la dificultad de que se tomen implementen acciones de contención en materia de calidad del aire.

⁶Programa de Respuesta a Contingencias Atmosféricas en la Zona Metropolitana de Monterrey de <http://aire.nl.gob.mx/docs/reportes/PRCA-SDS-14-02-20.pdf>

La pandemia como experimento de control de fuentes

La experiencia de la pandemia a causa de la enfermedad COVID-19 ha significado en muchas áreas metropolitanas del mundo una reducción de la contaminación del aire debido a las medidas tomadas por los gobiernos nacionales y locales para contener los contagios. Estas han ido desde confinamientos, hasta cese o restricción de actividades industriales. La disminución ha sido reportada en uno o varios contaminantes en ciudades como Mumbai, Nueva Delhi⁷, Madrid, Barcelona⁸, Lima⁹, Milán, Beijing, Wuhan¹⁰ Quito, Bogotá, Río de Janeiro y Ciudad de México¹¹. Entre las acciones más relevantes para el control de la movilidad y las actividades e industrias en Nuevo León se encuentran las siguientes:

Tabla 4. Medidas de contención de contagio por COVID-19 en el AMM

Autoridad	Fecha	Acción	Alcance
Gobierno Federal	29 de febrero	Se decreta fase 1	No se decreta aislamiento ni cierre de negocios.
	16 de marzo	Suspensión de clases preescolar, primaria, secundaria, normal.	Inicia el confinamiento.
	31 de marzo	Suspensión de actividades no esenciales.	Cierre o limitaciones más importantes a actividades económicas e industrias.
Gobierno Estatal	15 de abril	Prohibición de esparcimiento en espacios públicos.	
	30 de abril	Limitaciones a la movilidad ciudadana	Reducción de horarios de transporte público, taxis y plataformas digitales, se debe de brindar servicio solo a empresas esenciales.
Gobierno Federal	1º de junio	Se establecen como actividades esenciales las actividades de la industria de la construcción, la minería y la fabricación de equipo de transporte.	Construcción, minería y fabricación de transporte pueden iniciar labores a partir de esta fecha.
Gobierno Estatal	17 de junio	Reapertura de actividades con limitaciones dependiendo del semáforo..	Reinician actividades e industrias no esenciales excepto casinos, bares, cines, teatros, gimnasios, antros, museos, salones, clubes, estadios (entre otros) y clases presenciales en todos los niveles.
	3 de julio	Acciones extraordinarias para limitar la movilidad ciudadana	Suspensión de trabajos, servicios y actividades no esenciales de lunes a viernes 10pm a 5am y las 24 h. sábados y domingos a restaurantes y negocios a domicilio

Fuente: Diario Oficial de la Federación y Periódico Oficial del Estado

Las medidas de contención del contagio comprendieron restricciones severas a la actividad económica y la movilidad del AMM y por lo tanto a algunas fuentes de contaminación importantes. Por ello, nos pareció relevante comprender que sucedió durante este periodo. Las preguntas que guiaron la investigación fueron las siguientes: *¿Qué pasó con la contaminación ambiental durante el confinamiento? ¿Durante este periodo la concentración de contaminantes excedió los valores límites de las normas de salud? ¿De acuerdo a las medidas de control de contagios establecidas por los gobiernos como se comportaron las fuentes de contaminación más importantes?*

⁷ <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09603123.2020.1778646>

⁸ <https://www.easp.es/web/coronavirusysaludpublica/efecto-de-la-pandemia-de-covid-19-en-la-calidad-del-aire-impacto-en-la-salud-respiratoria/>

⁹ http://www.cbc.org.pe/wp-content/uploads/2020/04/Covid_1-3.pdf

¹⁰ <https://www.green.unibocconi.eu/wps/wcm/connect/6b57cdfc-3e24-4c3a-9389-e15412f7d2e4/Green+working+paper+nr+7.pdf?MOD=AJPERES&CVID=n3DOuzm>

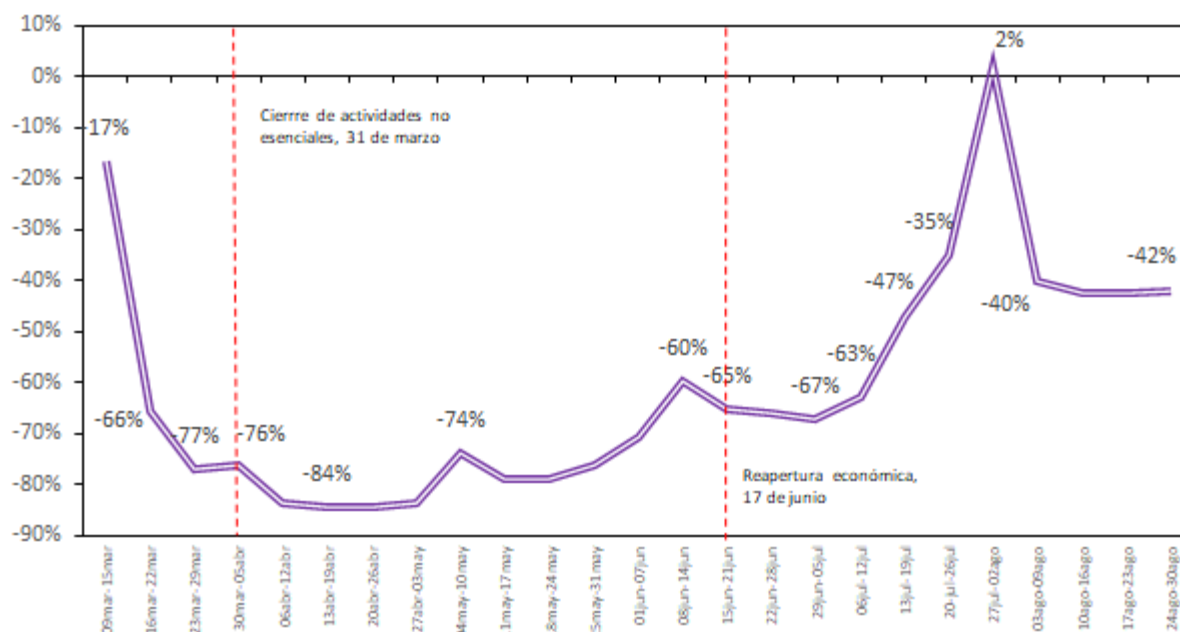
¹¹ https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/45839/S2000476_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y

¿Cómo se comportaron las fuentes de contaminación durante el confinamiento?

Para responder esta pregunta, se consultaron distintos índices que nos permitieran comprender en qué proporción las medidas gubernamentales sí redujeron o no las fuentes de contaminación del AMM o Nuevo León. En general, los datos revelan que las fuentes móviles, algunas fuentes de área (como la construcción) y ciertas fuentes fijas como la metalurgia y la industria química se redujeron.

En el caso de las fuentes móviles en el AMM, durante el periodo en el que se declaró la suspensión de actividades no esenciales hasta la reapertura, la intensidad de tráfico disminuyó entre 60% y 84% con respecto a la semana del 2 al 8 de marzo (Banco Interamericano de Desarrollo, 2020). Esta reducción, fue principalmente de vehículos privados y unidades de transporte público, ya que el transporte a diésel (utilizado en vehículos de carga) no paró dada su condición de actividad esencial.

Gráfica 1. Cambio porcentual en intensidad de tráfico en el AMM con respecto a la semana del 2 al 8 de marzo.



Fuente: Banco Interamericano de Desarrollo

La industria petroquímica, que es una importante fuente fija de emisiones de dióxido de azufre y PM 2.5, fue considerada actividad esencial durante el periodo de confinamiento. En Nuevo León esta es representada por la refinería de Cadereyta, que durante el periodo de confinamiento marzo a junio produjo en promedio 117,000 barriles diarios, una cifra similar a la registrada en el mismo periodo de 2019 (106,000 barriles diarios).

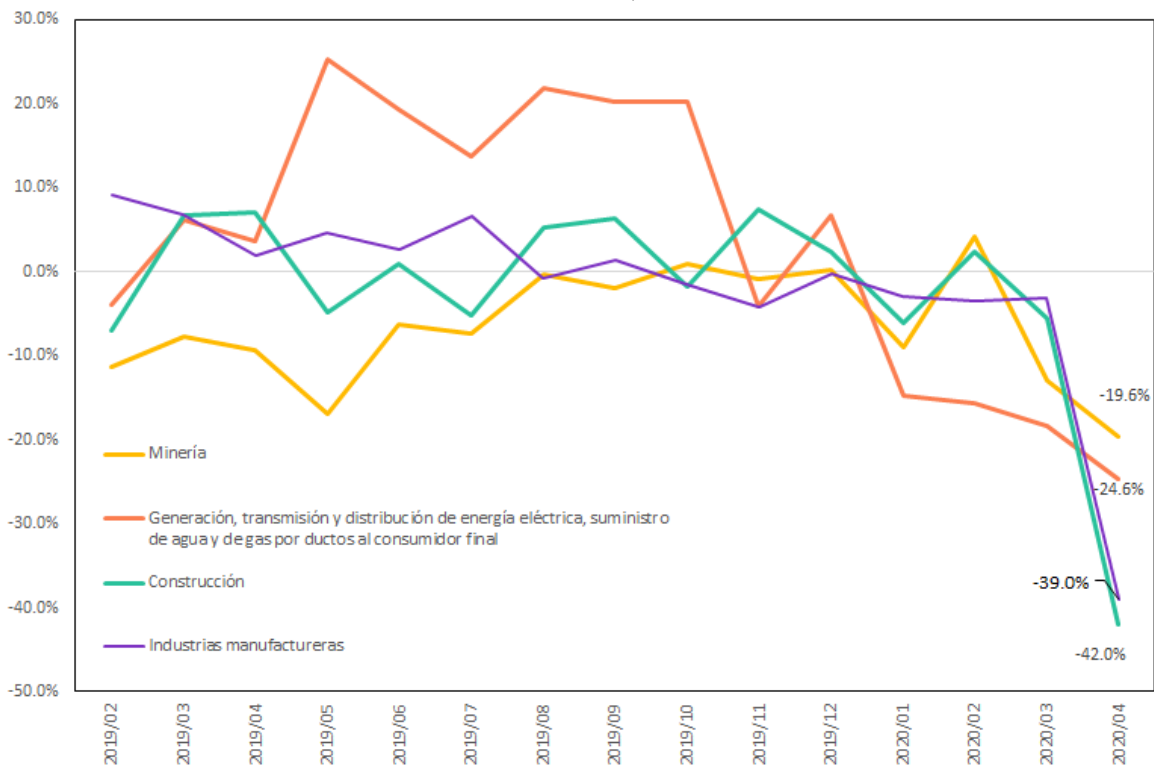
Gráfica 2. Miles de barriles de productos petrolíferos en la refinería de Cadereyta



Fuente: Sistema de Información Energética

Continuando con el comportamiento de la actividad industrial, en la gráfica 3 se muestra la variación anual por tipo de actividad económica. Si bien solo contamos con información hasta el mes de abril, podemos observar en este mes una caída importante en la actividad industrial, precisamente el mes con mayores restricciones establecidas por el gobierno federal. Esto es especialmente visible en el caso de la construcción (fuente de área), actividad que redujo en un 42% en abril, o la industria manufacturera con una disminución del 39%.

Gráfica 3. Variación anual de actividad industrial por actividad económica en Nuevo León

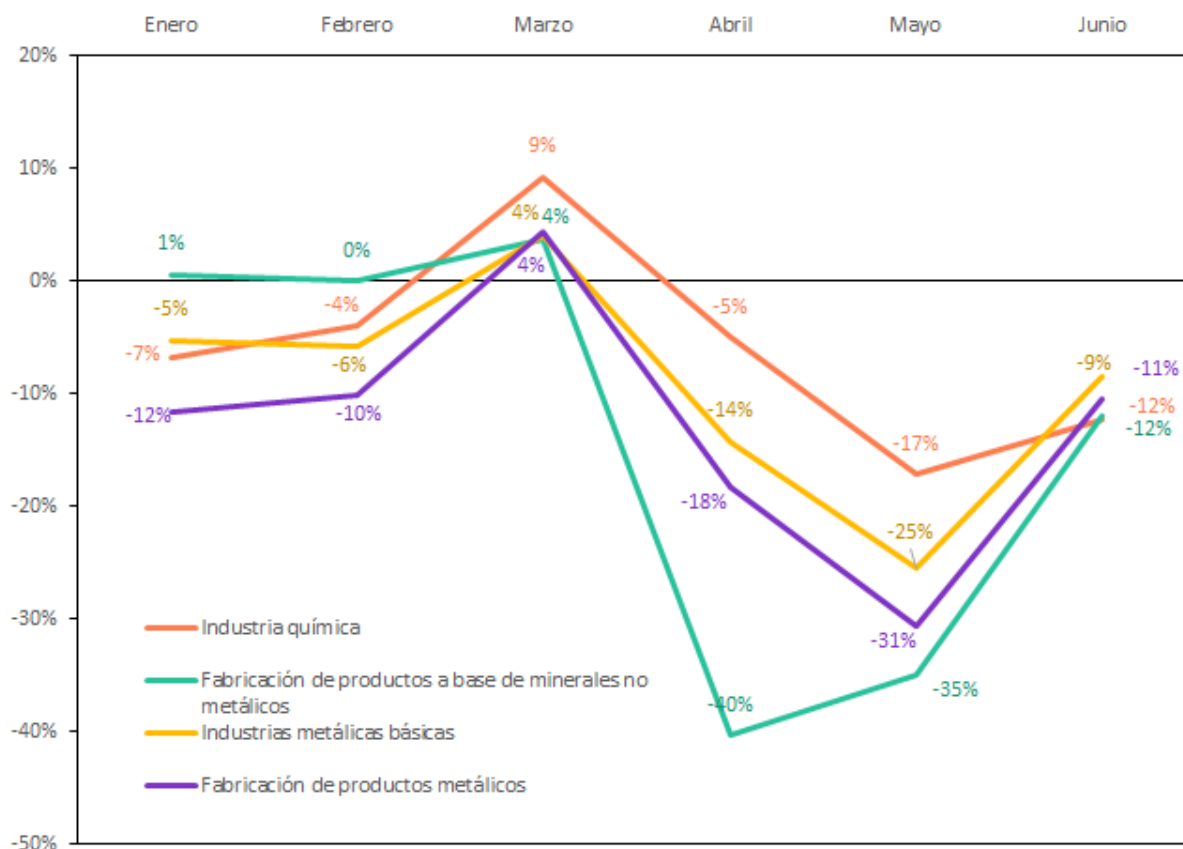


Fuente: Banco de Información Económica, INEGI

La industria manufacturera está conformada a su vez por una multiplicidad de industrias, que algunas de ellas contribuyen como fuentes fijas. Al analizar individualmente las industrias por medio del valor de producción de cada industria, encontramos que la industria química, la metálica, la fabricación de productos metálicos y la fabricación de productos a base de minerales no metálicos (aquí entran las pedreras) tuvieron una disminución importante durante el periodo del confinamiento en comparación con el mismo periodo del 2019.

La disminución más notoria fue la fabricación a base de minerales no metálicos, disminuyendo un 40% el valor de su producción en abril y un 35% en mayo (ver gráfica 4).

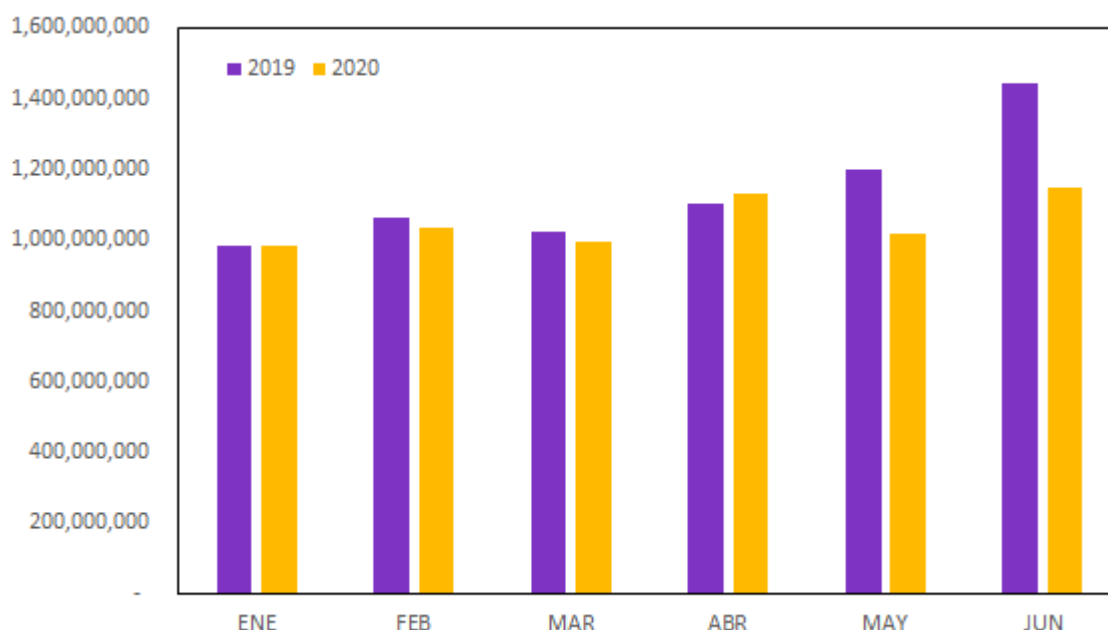
Gráfica 4. Variación anual del valor en la producción por industria



Fuente: Encuesta Mensual de la Industria Manufacturera, INEGI

Por último, al no contar con información de generación de energía, analizamos la variación en el consumo de energía con respecto a los mismos meses del 2019. En la gráfica 5 podemos observar que a pesar de que muchas personas permanecieron en casa el consumo de energía en el 2020 fue similar al 2019, como en abril, e incluso en algunos casos menor como mayo y junio, que disminuyó en 15% y 20% respectivamente.

Gráfica 5. Consumo total de energía en el AMM (mw/h)



Fuente: Solicitud de información a la CFE

¿Qué pasó con la calidad del aire durante el confinamiento?

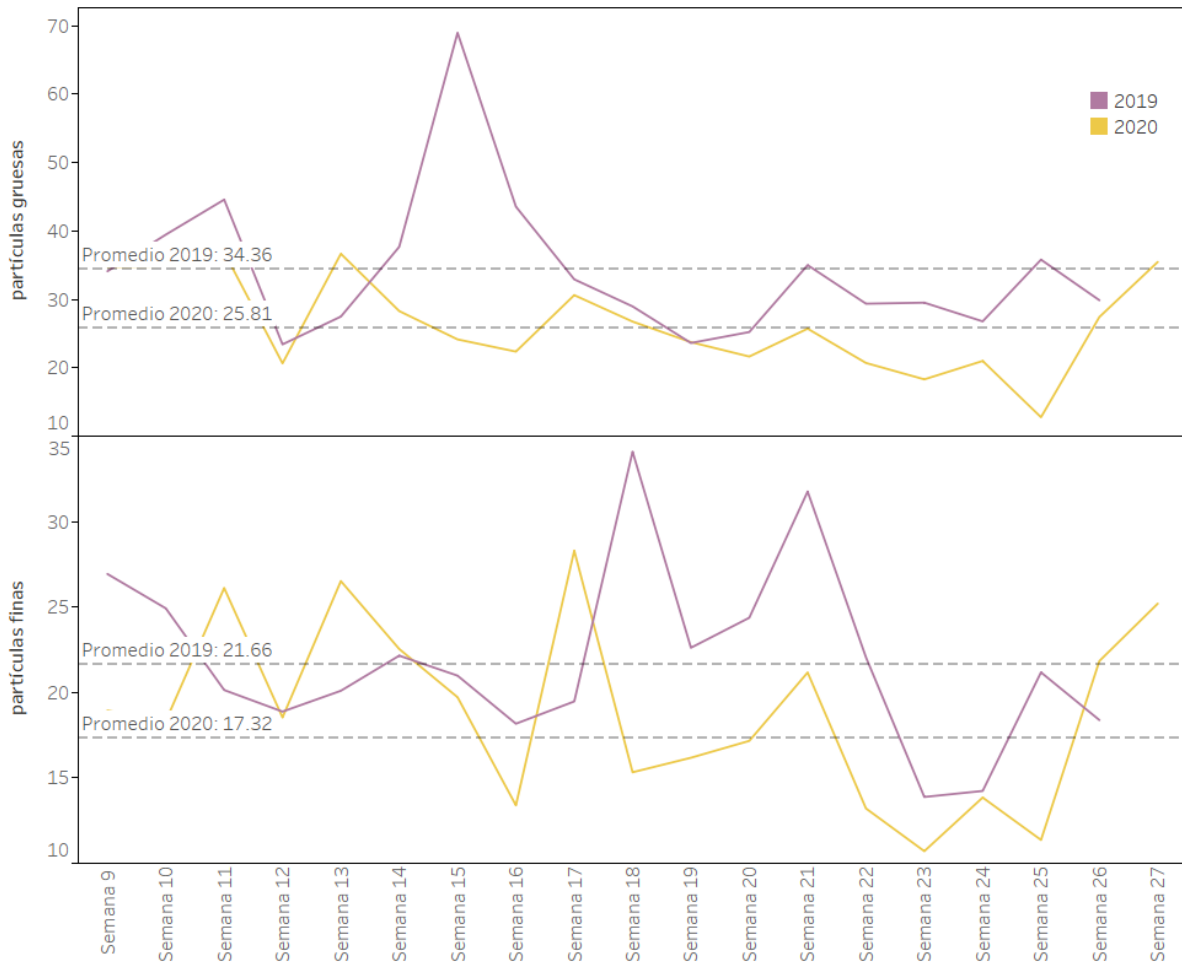
Los datos obtenidos del Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire (SINAICA) nos revelan que durante el periodo de confinamiento (abril a junio de 2020) el **área metropolitana de Monterrey tuvo mejor calidad del aire en comparación con el mismo periodo en 2019**. Durante este periodo, hubo una reducción estadísticamente significativa en la concentración de material particulado en el aire, lo que permitió cumplir en más ocasiones con los límites establecidos por la NOM y las recomendaciones de la OMS. Los niveles de ozono, por otro lado, no presentaron una variación en comparación con los del año pasado.

Para esbozar de manera más clara las posibles causas de estos comportamientos, a continuación, se discute de manera detallada el caso de cada contaminante.

1. Menos material particulado, más días con buena calidad del aire

Durante el periodo de confinamiento, de abril a junio del presente año, el material particulado **disminuyó significativamente** en comparación con los mismos meses del 2019. El mayor porcentaje de reducción fue el de las partículas gruesas ($PM_{2.5-10}$). En comparación con abril a junio del año pasado, la concentración de partículas gruesas se redujo en un 31.5%, pasando de 34.26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en 2019 a 25.81 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en 2020. En el caso de las partículas finas $PM_{2.5}$ hubo una reducción del 20%. Mientras que la concentración promedio durante este periodo en 2020 fue de 17.32 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en 2019 fue de 21.66 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ver gráfica 6).

Gráfica 6. Concentración promedio semanal de material particulado en el AMM (marzo a junio de 2020)

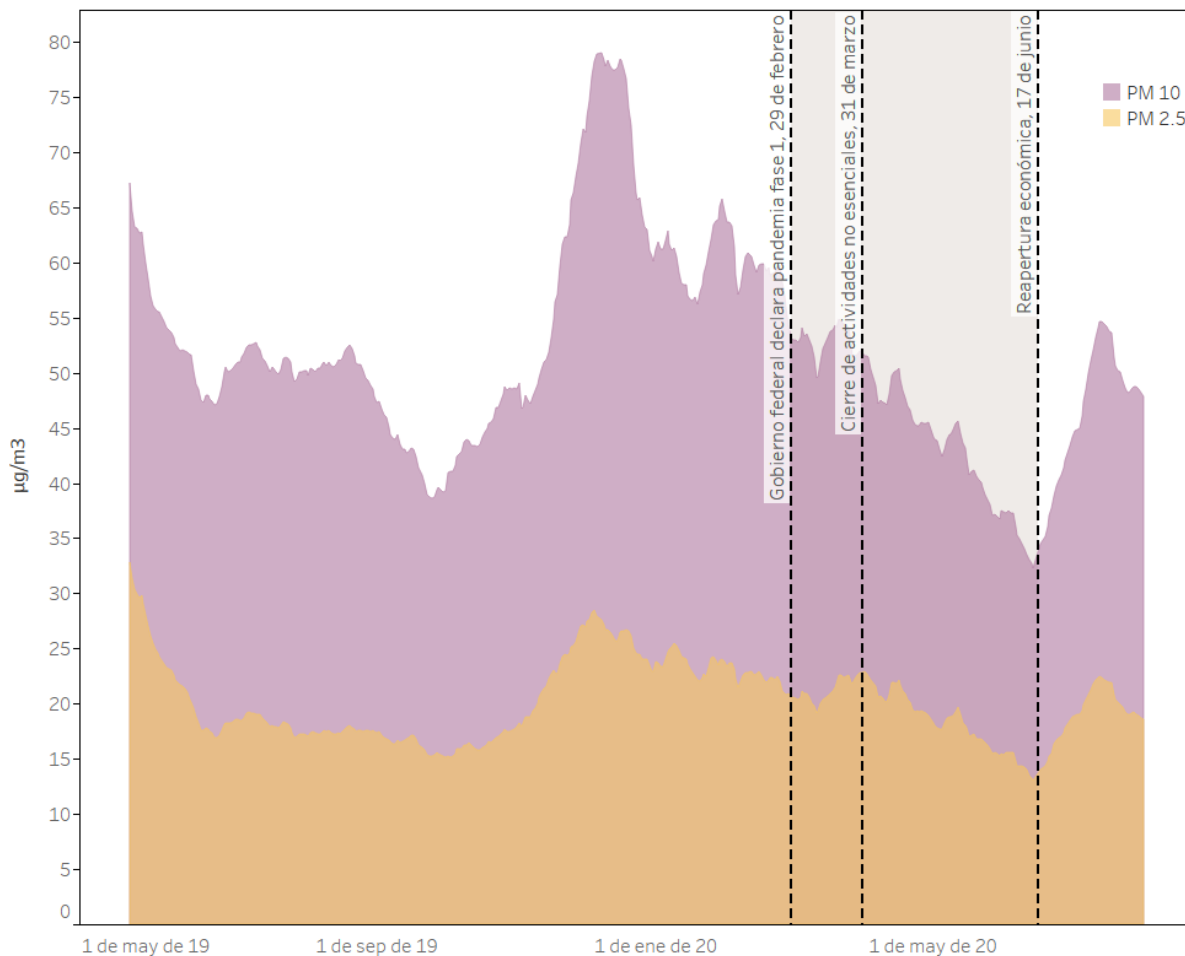


Fuente: SINAICA.

El modelo de series de tiempo estimado para la concentración promedio de 24h de partículas gruesas, reveló que, durante el periodo de confinamiento, eliminando el efecto de las condiciones meteorológicas, hubo una reducción de 7.49 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en este tipo de partículas. En el caso de las partículas finas, mediante un modelo similar, estimamos que la reducción en la concentración promedio de 24h de este tipo de partículas fue de 6.41 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Además de haberse reducido la concentración de partículas respecto de 2019, los niveles de material particulado en el aire durante el confinamiento presentaron una tendencia a la baja, especialmente a partir de la suspensión de actividades no esenciales el 31 de marzo. Dicha tendencia se revirtió a la par de la reapertura económica limitada decretada el 17 de junio por el Gobierno del Estado (ver gráfica 7).

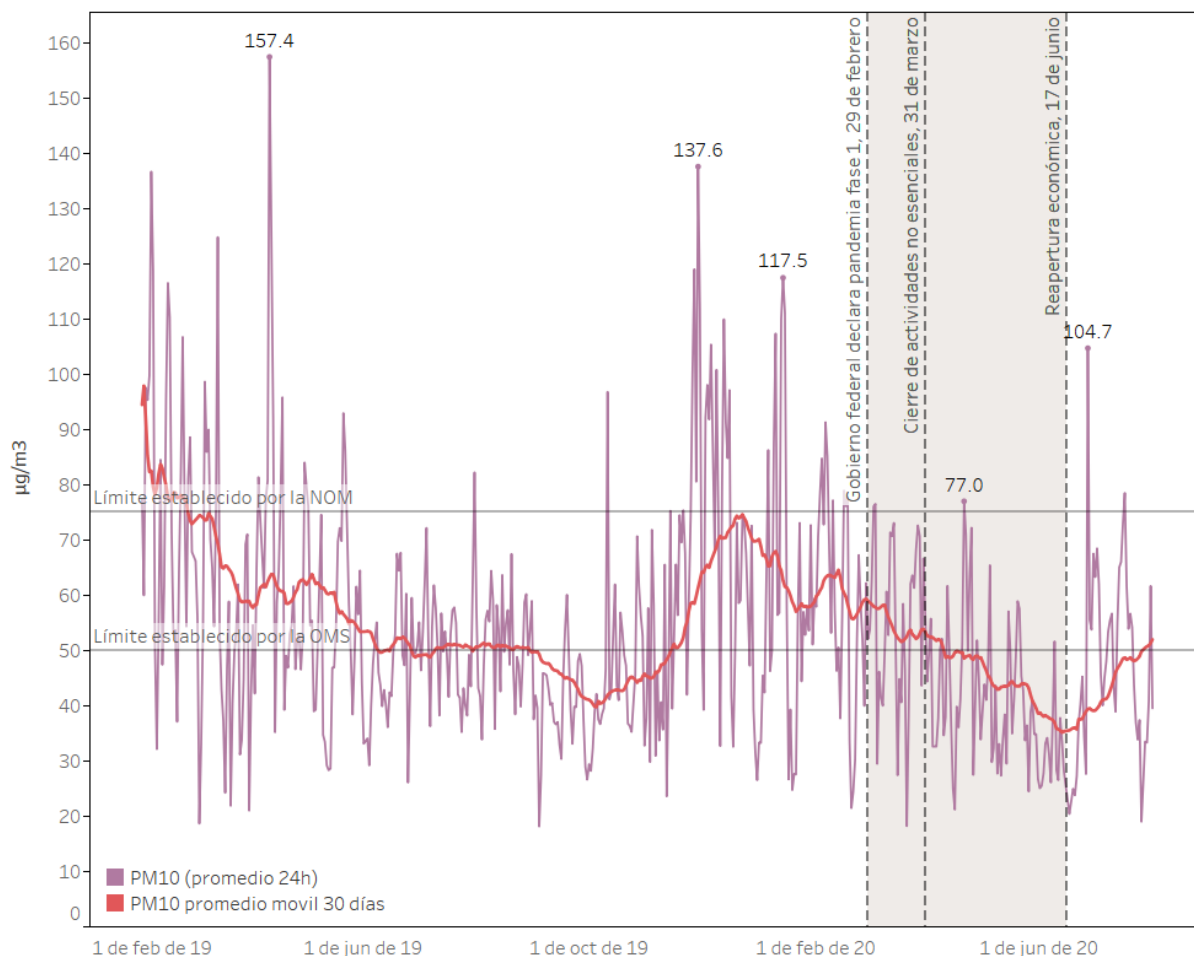
Gráfica 7. Concentración de material particulado en el AMM (promedio móvil de 30 días)



Fuente: SINAICA.

Durante el análisis realizado fue notorio que la concentración de las partículas gruesas presentó una mayor variación durante el día. Por su peso y su tamaño estas partículas están más influenciadas por los factores meteorológicos por lo que permanecen menos tiempo suspendidas en la atmósfera en comparación con las partículas finas o PM_{2.5}. También se observó que su reducción ocurrió rápidamente después de que inició la reducción del tráfico vehicular que resuspende el polvo y emite una proporción de estas partículas. No se descarta una contribución posterior de la suspensión de las actividades de construcción y de una parte importante de las empresas que extraen minerales no metálicos, como la caliza (actividad que también se suspendió por un periodo).

Gráfica 8. Concentración de PM₁₀ en el AMM (febrero 2019 a junio 2020)

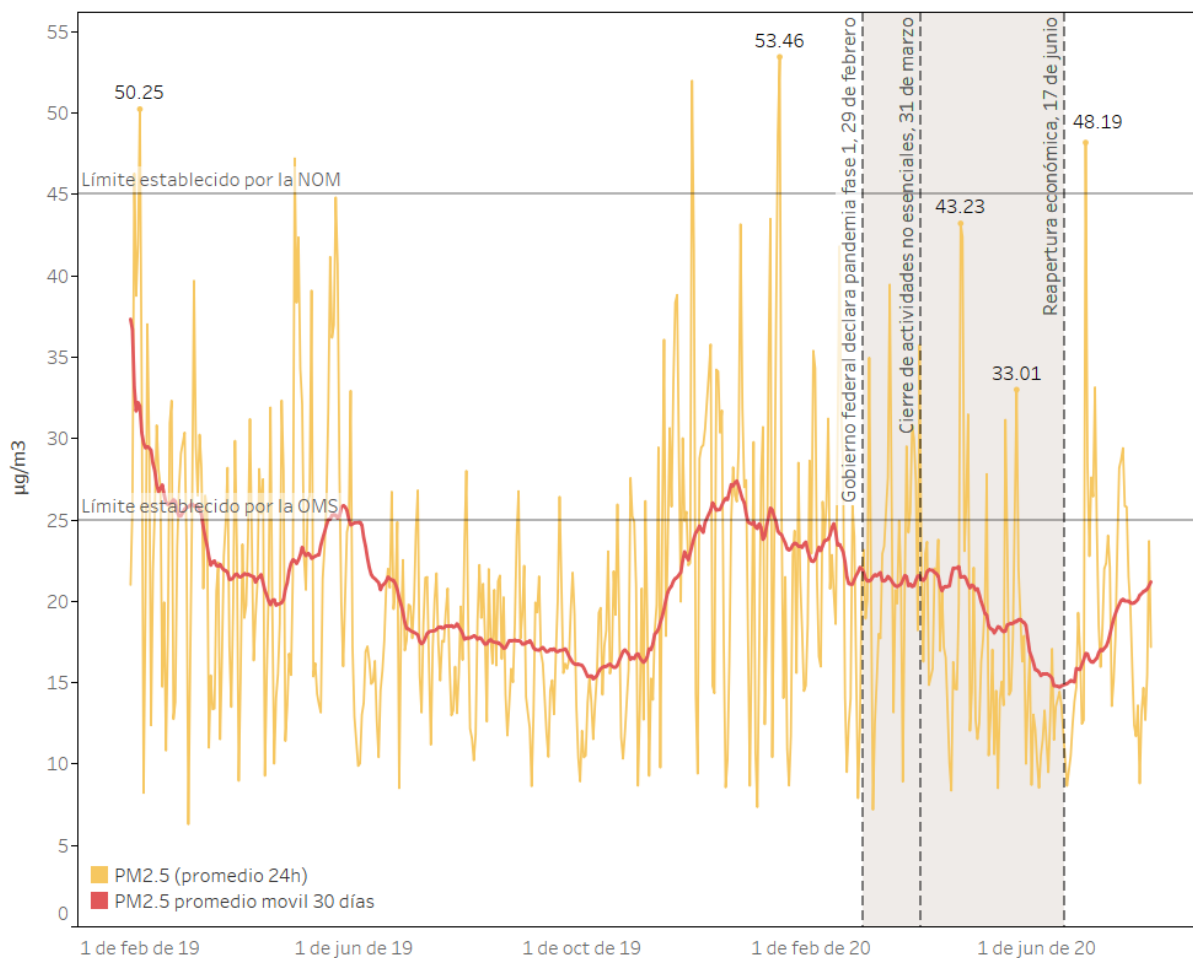


Fuente: SINAICA.

Desde el inicio de las medidas de confinamiento hasta la reactivación económica, la concentración de PM₁₀ solo rebasó los límites establecidos por la Norma Oficial Mexicana el martes 21 de abril. Durante este periodo, sólo 1.3% de los días hubo mala calidad del aire, a diferencia del periodo comparable del 2019, cuando estos límites fueron rebasados 17.1% de los días. En el caso de las recomendaciones de la OMS, mientras que en el periodo de cuarentena fueron rebasados 23.7% de los días, durante el mismo periodo del año pasado esto ocurrió en 52.6% de los días (gráfica 8).

Por su parte, las concentraciones de PM_{2.5} descendieron hasta mantener niveles que cumplieron los límites establecidos por la NOM, por lo que todo el periodo de confinamiento estuvimos libres de excedentes de PM_{2.5}. Al igual que con las partículas gruesas, el límite indicado por la OMS fue rebasado en un menor número de días comparado con 2019. Mientras que en 2020 fue excedido el 10.5% de los días, el mismo periodo del año pasado, lo traspasó el 31.6% de los días (gráfica 9).

Gráfica 9. Concentración de PM_{2.5} en el AMM (febrero 2019 a junio 2020)



Fuente: SINAICA.

Como ya se mencionó anteriormente en la sección de fuentes de la contaminación, una proporción importante de PM_{2.5} no se emite directamente, sino que se forma de manera secundaria en la atmósfera a partir de otros compuestos. Debido a que estas partículas tienen mayor persistencia en la atmósfera, se ven menos afectadas por los factores meteorológicos y en el entendido de que una proporción muy alta de su concentración puede formarse de manera secundaria en la atmósfera; no se esperaba una disminución en la cuarentena similar al de las partículas gruesas.

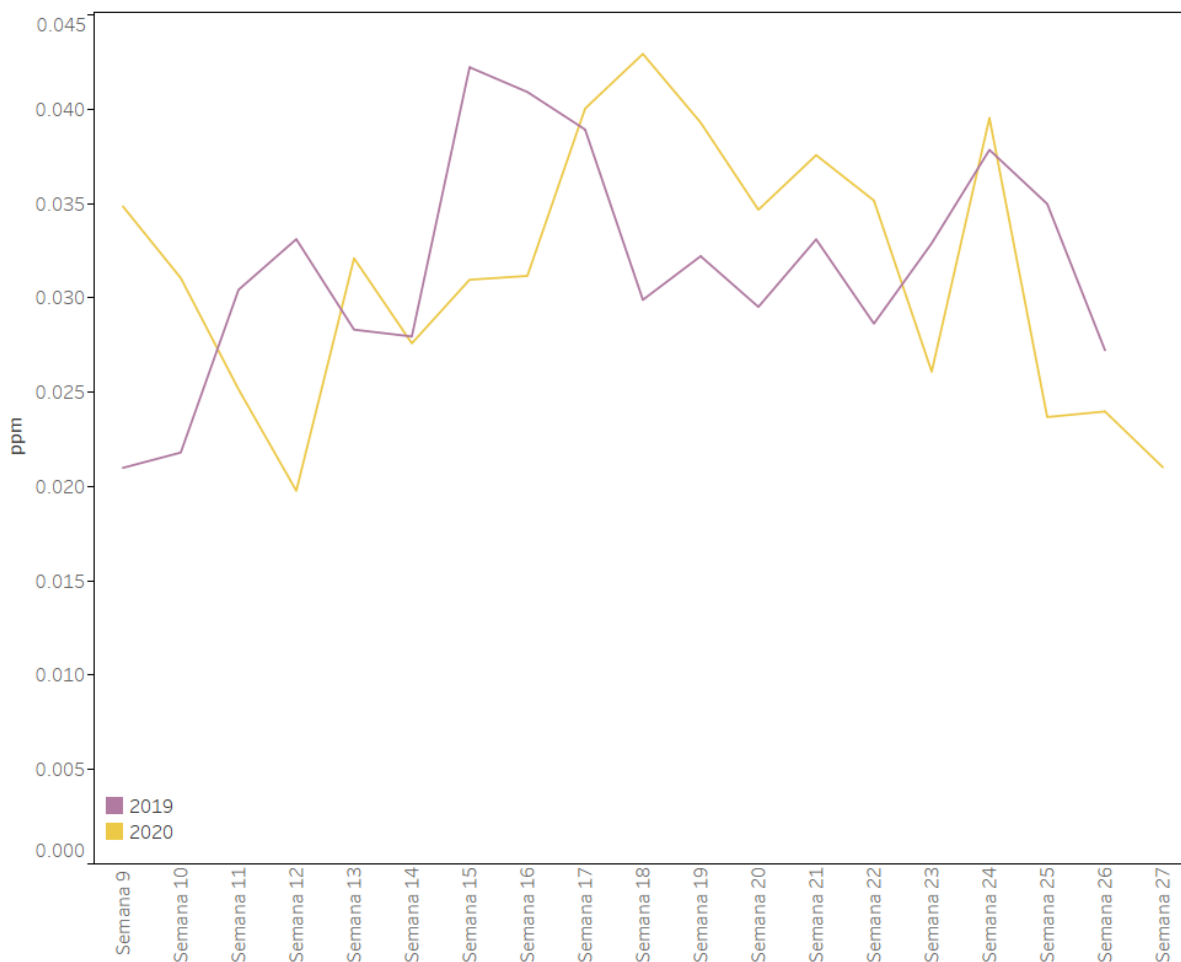
En algunos sectores de la población prevalece la idea errónea de que al disminuir las emisiones provenientes de fuentes vehiculares no se reducirán las concentraciones de PM_{2.5}, que son las partículas más peligrosas para la salud. Lo cierto es que, aunque los vehículos emiten directamente una proporción baja de estas partículas (ver figura 2), de manera indirecta contribuyen de forma más importante, esto debido a las reacciones químicas secundarias. Además, se debe prestar atención a la alta proporción de sulfatos que forman las partículas finas que respiramos en el AMM. Los cuales provienen principalmente del SO₂ que emite la refinería de Cadereyta y del combustible que se utiliza en el transporte principalmente de diésel y el combustible que llegue a utilizar la industria con alto contenido de azufre¹².

¹² https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5450011

2. Ozono, un contaminante persistente.

Aunque no se le ha dado mucha importancia a la contaminación por ozono dado que la principal problemática de la contaminación en el AMM es el material particulado, lo cierto es investigaciones muestran que las concentraciones de ozono y otros oxidantes se han incrementado en el AMM en los últimos años (Hernández et al., 2017). **Durante la pandemia las concentraciones de ozono no registraron cambios significativos.**

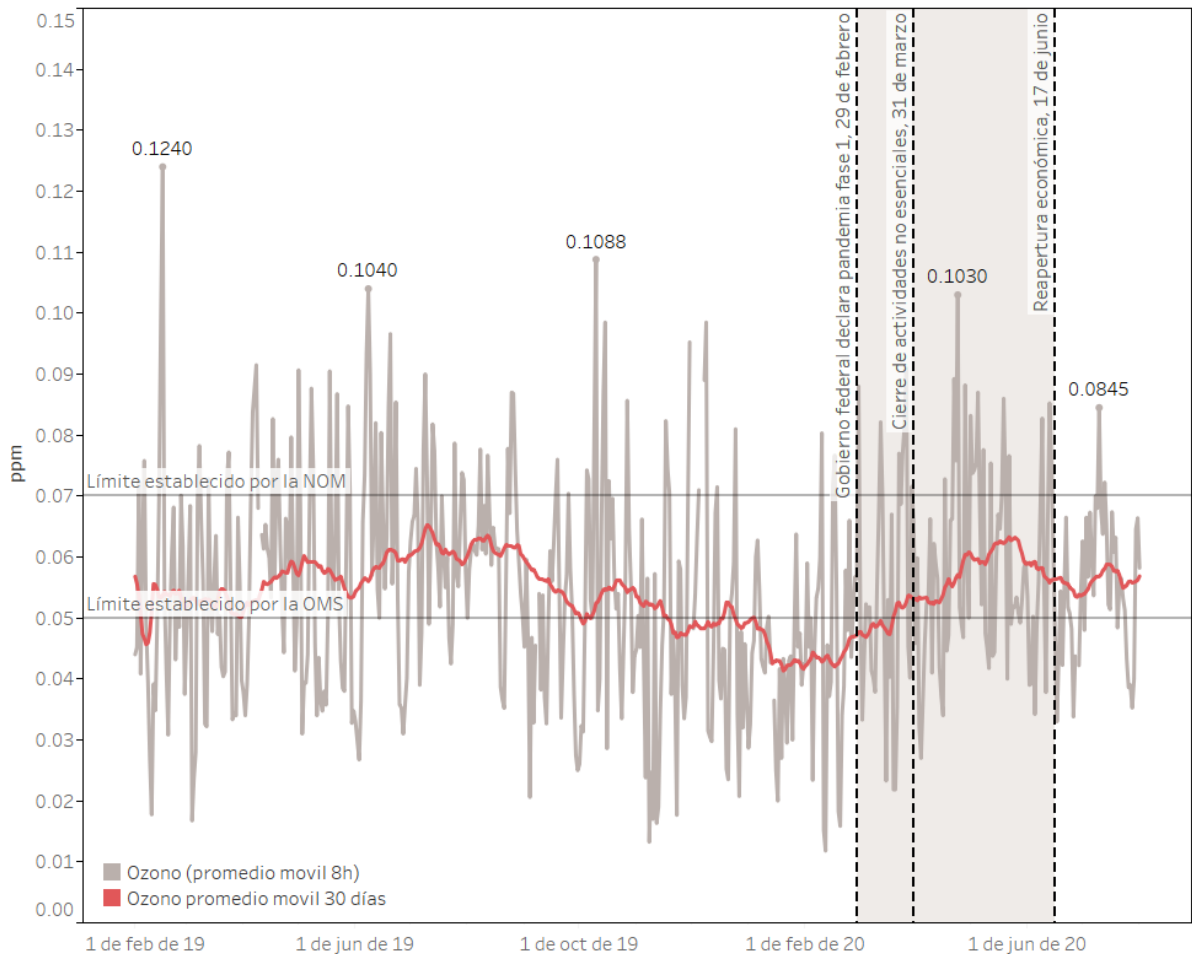
Gráfica 10. Concentración promedio semanal de ozono en el AMM (marzo a junio)



Fuente: SINAICA.

Durante este periodo la proporción de días en que los niveles de ozono superaron los límites recomendados por la OMS no se redujo. Tanto en 2019 como en 2020 estos límites fueron rebasados alrededor del 64% de los días. Lo mismo sucedió con los límites establecidos en la NOM, tanto en 2019 como en 2020 fueron superados alrededor del 26% de los días (gráfica 11).

Gráfica 11. Concentración de ozono en el AMM (febrero 2019 a junio 2020)



Fuente: SINAICA.

A diferencia del material particulado, pareciera que los niveles de ozono no se vieron afectados por las medidas de confinamiento. Este es un resultado interesante, dado que por la marcada disminución de tráfico vehicular es muy probable que los precursores del ozono que provienen de fuentes vehiculares, tales como los óxidos de nitrógeno y los compuestos orgánicos hayan tenido una disminución importante en su concentración. Sin embargo, es un resultado entendible por consideraciones propias de la química atmosférica. Algunas investigaciones en otras ciudades del mundo han determinado incluso un aumento en las concentraciones de ozono durante la cuarentena (Fan et al., 2020; Huang et al., 2020). Este resultado nos alerta de lo complicado que es la reducción de la concentración de este contaminante secundario.

3. Monóxido de carbono, ¿y los datos?

En el caso de este contaminante nos encontramos con fuertes inconsistencias en la medición de sus concentraciones. La amplia mayoría de las estaciones contaban con huecos importantes en los datos, registrando a veces concentraciones por cortos períodos para luego no volver a reportar ningún valor. Tan sólo para el periodo 2019-2020 nos encontramos con valores nulos en el 59.6% de las observaciones. Además, a diferencia de los otros contaminantes analizados, el comportamiento de las series fue mucho más dispar y volátil. De esta manera, se determinó que no sería conveniente utilizar estos datos bajo las condiciones antes mencionadas. Sin embargo, creemos que es de suma importancia insistir en la relevancia de contar con datos suficientes para poder llevar a cabo una evaluación adecuada de la contaminación por CO en el AMM.

Consideraciones finales

En el presente estudio nos enfocamos a medir los efectos que tuvieron las restricciones adoptadas durante la cuarentena en la concentración de los cuatro principales contaminantes atmosféricos del AMM, aunque para el CO no obtuvimos resultados significativos por la falta de datos. Además de lo que nosotros evaluamos, existen evidencias de imágenes de satélite¹³ que muestran que también ocurrió una disminución en las concentraciones de dióxido de nitrógeno durante la cuarentena en la metrópoli, situación que ha sido demostrada en diferentes ciudades del mundo. También hay diferentes reportes de una disminución importante en las concentraciones de monóxido de carbono CO en otras ciudades del planeta durante este periodo.

El presente estudio nos muestra lo complejo que es la reducción de los contaminantes atmosféricos, sobre todo los de origen secundario. A pesar de las reducciones de emisiones de ciertas fuentes, la contaminación siguió siendo visible en la metrópoli, de tal manera que algunas personas concluyeron que esta no había disminuido.

En general, los hallazgos de este estudio permiten concluir que las restricciones a la movilidad y a la actividad económica, adoptadas como medidas de contención de contagio de COVID-19, se tradujeron en una reducción en la contaminación al igual que en otras ciudades en el mundo. Un reto para la ciudadanía y la autoridad será aprovechar este aprendizaje, para que no permanezca solo como un periodo positivo de reducción de contaminación, sino como el inicio de políticas puntuales que permitan reducir la contaminación sin crear efectos graves en la economía local.

Hasta el cierre de la edición del presente documento la enfermedad COVID-19 había cobrado la vida de 2,796 personas en el Estado de Nuevo León, según la Secretaría de Salud Estatal. Es importante reflexionar en el hecho de que si la contaminación del aire provoca anualmente un número comparable de muertes prematuras en el AMM (2,764 en 2010); por qué nos cuesta tanto trabajo tomar medidas serias que reduzcan el virus de la contaminación atmosférica que liberamos diariamente en nuestra metrópoli.

Metodología

Los datos correspondientes a contaminantes del aire y factores meteorológicos fueron obtenidos del Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire (SINAICA), de 13 estaciones de monitoreo que al momento de iniciar la investigación estaban disponibles. Posteriormente, la limpieza de los datos se hizo siguiendo las recomendaciones establecidas en el Protocolo de Manejo de Datos de la Calidad del Aire proporcionado por el Instituto Nacional de Ecología¹⁴.

Para probar la significancia estadística de las variaciones en la concentración promedio de los contaminantes en el aire, se realizaron análisis de varianza de dos factores (mes y año) comparando las medias de cada mes de los periodos de febrero-julio de 2019 y 2020.

Adicionalmente, para cada contaminante, se estimó un modelo de tipo SARIMA utilizando datos de condiciones meteorológicas (temperatura, humedad, velocidad del viento y precipitación) como regresores exógenos y una variable dicotómica que capturara el efecto del confinamiento (definido del 31 de marzo al 17 de junio). Esto con el fin de realizar pruebas de significancia estadística sobre el parámetro

¹³ <https://dhrvmehrotra3.users.earthengine.app/view/earther-time-series>

¹⁴ <https://sinaica.inecc.gob.mx/archivo/guias/5%20-%20Protocolo%20de%20Manejo%20de%20Datos%20de%20la%20Calidad%20del%20Aire.pdf>

estimado para esta variable dicotómica, el cual representa la variación en la concentración promedio de los contaminantes durante el periodo de confinamiento, controlando por las condiciones meteorológicas y la autocorrelación o estacionalidad de las series. Las comparaciones de medias entre las concentraciones de 2019 y 2020 se realizaron tomando el periodo del 1ero de abril al 30 de junio.

Literatura consultada

- Landrigan et. al, "The Lancet Commission on pollution and health", Revista Científica The Lancet, vol. 391, Febrero 2018, p. 462. de [https://www.thelancet.com/pdfs/journals/lancet/PIIS0140-6736\(17\)32345-0.pdf](https://www.thelancet.com/pdfs/journals/lancet/PIIS0140-6736(17)32345-0.pdf)
- Alfonso Martínez-Muñoz, Magali Hurtado-Díaz, Julio César Cruz, Horacio Riojas-Rodríguez, "Mortalidad aguda asociada con partículas suspendidas finas y gruesas en habitantes de la Zona Metropolitana de Monterrey" Revista Salud Pública de México, vol.62, no.5, octubre 2020 de <https://saludpublica.mx/index.php/spm/article/view/11184/11911>
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, "Qué son, cómo son y cómo se originan las partículas" de <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/695/queson.pdf>
- Secretaría de Salud "Normas Oficiales Mexicanas" de <https://sinaica.inecc.gob.mx/scica/#>
- Organización Mundial de la Salud "Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre" 2016, de https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69478/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.pdf?sequence=1
- Sistema Integral de Monitoreo Ambiental, "Estadística 2018 sobre calidad del Aire en la Zona Metropolitana de Monterrey" p. 7, 2018, de http://aire.nl.gob.mx/rep_estadisticas.html
- Secretaría de Desarrollo Sustentable, Sistema Integral de Monitoreo "Programa de Respuesta a Contingencias Atmosféricas en la Zona Metropolitana de Monterrey" febrero 2020, de <http://aire.nl.gob.mx/docs/reportes/PRCA-SDS-14-02-20.pdf>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales "NORMA Oficial Mexicana NOM-172-SEMARNAT-2019, Lineamientos para la obtención y comunicación del Índice de Calidad del Aire y Riesgos a la Salud." Noviembre 2019, p. 10 y 11 de <http://aire.nl.gob.mx/NOM172.html>
- Junfeng (Jim) Zhang, Yongjie Wei, Zhangfu Fang, "Ozone Pollution: A Major Health Hazard Worldwide" de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6834528/>
- Martínez-Cinco, M., Santos-Guzmán, J., Mejía-Velázquez, G. "Source apportionment of PM2.5 for supporting control strategies in the Monterrey Metropolitan Area, Mexico". Journal of the Air & Waste Management Association, 2016, p. 631-642 de <https://doi.org/10.1080/10962247.2016.1159259>
- Mancilla, Yasmany & Mendoza, Alberto & Herckes, Pierre & Fraser, Matthew. (2014). Source apportionment of PM2.5 based on molecular organic markers in Monterrey, Mexico.
- Maurizio Malpede, Marco Percoco, Valentina Bosetti, "Social distancing measures following COVID-2019 Epidemics had positive environmental consequences." GREEN Centre for Geography, Resources, Environment, Energy and Networks, Mayo 2020, de <https://www.green.unibocconi.eu/wps/wcm/connect/6b57cdfc-3e24-4c3a-9389-e15412f7d2e4/Green+working+paper+nr+7.pdf?MOD=AJPERES&CVID=n3DOuzm>
- Jair Vargas Ventura, "¿Qué relación tiene la Calidad del Aire y el COVID-19? ¿Después que?" Centro de Estudios Regionales Andinos Bartolomé de Las Casas, 2020, de http://www.cbc.org.pe/wp-content/uploads/2020/04/Covid_1-3.pdf
- Pratima Kumari, Durga Toshniwal, "Impact of lockdown measures during COVID-19 on air quality- A case study of India", International Journal of Environmental Health Research, Junio 2020, de <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09603123.2020.1778646>
- Ana Pérez-Aragón, Marina Lacasaña, "Efecto de la pandemia de COVID-19 en la calidad del aire: Impacto en la salud respiratoria" Mayo 2020, de <https://www.easp.es/web/coronavirusysaludpublica/efecto-de-la-pandemia-de-covid-19-en-la-calidad-del-aire-impacto-en-la-salud-respiratoria/>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe, "Efectos de las cuarentenas y restricciones de actividad relacionadas con el COVID-19 sobre la calidad del aire en las ciudades de América Latina", Julio 2020, de https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/45839/S2000476_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Banco Interamericano de Desarrollo, "Tablero del Impacto del Coronavirus: Congestión del Tráfico" 2020, de <https://www.iadb.org/en/topics-effectiveness-improving-lives/coronavirus-impact-dashboar>
- Secretaría de Salud del Estado de Nuevo León "Acuerdos" de <http://saludnl.gob.mx/regulacion-sanitaria/index.php/acuerdos/>
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, "Protocolo de manejo de datos de la calidad del aire", 2020, de <https://sinaica.inecc.gob.mx/archivo/guias/5%20-%20Protocolo%20de%20Manejo%20de%20Datos%20de%20la%20Calidad%20del%20Aire.pdf>

- Coordinación general de contaminación y salud ambiental, “Evaluación de Partículas Suspendidas PM2.5 en el Área Metropolitana de Monterrey”, 2015, de https://www.nl.gob.mx/sites/default/files/reporte_wg3_pm2.5_monterrey.pdf
- Mendoza-Domínguez, Alberto, Mancilla-Méndez, Yasmany “Spatial differences in ambient coarse and fine particles in the Monterrey metropolitan area, Mexico: Implications for source contribution” 2019, Journal of the Air and Waste Management Association de: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10962247.2018.1549121>
- Brunekreef B, Forsberg B. “Epidemiological evidence of effects of coarse airborne particles on health” 2005, European Respiratory Journal; de <https://doi.org/10.1183/09031936.05.00001805>
- Comisión Reguladora de Energía. “Norma Oficial Mexicana NOM-016-CRE-2016: Especificaciones de calidad de los petrolíferos.” 2016, de: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5450011&fecha=29/08/2016
- GBD 2017 Risk Collaborators. “Global, regional, and national comparative risk assessment of 84 behavioural, environmental and occupational, and metabolic risks or clusters of risks for 195 countries and territories, 1990-2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study, 2017”. Revista Científica The Lancet, vol. 392, 2018, de [https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736\(18\)32225-6/fulltext](https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736(18)32225-6/fulltext)
- Trejo-González, A.G., Riojas-Rodríguez, H., Texcalac-Sangrador, J.L “Quantifying health impacts and economic costs of PM2.5 exposure in Mexican cities of the National Urban System.” International Journal of Public Health, 2019, de <https://link.springer.com/article/10.1007/s00038-019-01216-1>
- Iván Y. Hernández Paniagua, Kevin C. Clemitshaw, Alberto Mendoza “Observed trends in ground-level O3 in Monterrey, Mexico, during 1993–2014: comparison with Mexico City and Guadalajara” Atmospheric Chemistry and Physics, 2017, de https://www.researchgate.net/publication/318794378_Observed_trends_in_ground-level_O3_in_Monterrey_Mexico_during_1993-2014_Comparison_with_Mexico_City_and_Guadalajara
- Fan, C., Li, Y., Guang, J., Li, Z., Elnashar, A., Allam, M., et al “The impact of the control measures during the COVID-19 outbreak on air pollution in China. Remote Sens.” 2020, de <https://www.mdpi.com/2072-4292/12/10/1613>
- Min Jae Ju, Jaehyun Oh, Yoon-Hyeong Choiab, “Changes in air pollution levels after COVID-19 outbreak in Korea” Science of The Total Environment, vol. 750, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141521>
- Martín Danilo Gómez Sánchez, Hugo Alberto Barrera Huertas, Jennifer García Escalante “Análisis de la contaminación por PM2.5 en la ciudad de Monterrey, Nuevo León, enfocado a la identificación de medidas estratégicas de control” Centro Mario Molina para Estudios Estratégicos sobre Energía y Medio Ambiente, Febrero 2019, de http://aire.nl.gob.mx/docs/reportes/An%C3%A1lisis_de_la_Contaminaci%C3%B3n_PM2_5_Monterrey.pdf
- Sistema de Información Energética, “Elaboración de productos petrolíferos por refinería” de <http://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=cuadro&cveca=PMXD1C02>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía, “Encuesta Mensual de la Industria Manufacturera” de <https://www.inegi.org.mx/programas/emim/2007/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía “Banco de Información Económica” de <http://en.www.inegi.org.mx/app/indicadores/?tm=0>