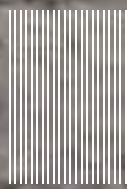


Recibido: 08.06.2018 | Aceptado: 20.07.2018

Palabras clave: Calidad del aire, contaminación atmosférica y movilidad urbana.

Movilidad urbana y la calidad del aire en San Luis Potosí



CLAUDIA HERNÁNDEZ CERDA
EGRESADA DEL DOCTORADO PMPCA-UASLP
ALFREDO ÁVILA GALARZA
FACULTAD DE INGENIERÍA, UASLP
GABRIELA CERDA ALONSO
FACULTAD DE INGENIERÍA, UASLP



El crecimiento urbano en el mundo presenta problemáticas sociales y ambientales similares. De los diferentes procesos que se llevan a cabo en las ciudades, el desplazamiento de la población es fundamental; no obstante, los medios vigentes de movilidad favorecen el uso excesivo del transporte motorizado como autobús urbano, automóvil particular y motocicleta, que deteriora la calidad del aire.

La correlación entre la movilidad vehicular motorizada y la contaminación atmosférica urbana ha sido analizada de manera distinta en diversas ciudades del mundo Hong Kong, París, Barcelona, Londres, Nueva York, Montreal, Bogotá y Sao Paulo son algunos ejemplos; no obstante, en México —y particularmente en San Luis Potosí— dicha reciprocidad no ha sido dimensionada, en gran medida por la ausencia de datos.

A continuación, se muestran los resultados preliminares de una investigación que evaluó las implicaciones a la calidad del aire por la actividad vehicular motorizada en el área urbana de San Luis Potosí. Se describe el proceso metodológico y las herramientas de análisis, además de comparar las emisiones estimadas de contaminantes en el aire con las obtenidas en investigaciones anteriores, en el caso de estudio.

Crecimiento urbano

Es el aumento del número de personas que vive en las ciudades; se acompaña de una ampliación en su área territo-

rial que hoy en día ha superado, en la mayoría de los casos, lineamientos de planeación u ordenamiento territorial. El panorama urbano actual que reporta el Banco Mundial señala que 54 por ciento de la población del planeta habita en ciudades, y que en ellas se genera 80 por ciento del producto interno bruto, por lo que su preservación y desarrollo son importantes para el desarrollo global.

Las ciudades han evolucionado en tamaño y contexto en el tiempo. Fue a partir de 1980 que se identificó una explosión demográfica urbana, principalmente en regiones desarrolladas; no obstante, las regiones en proceso de expansión aún enfrentan una urbanización constante y acelerada.

En los últimos 40 años, el crecimiento urbano se ha distinguido por su complejidad y por una variedad amplia de procesos y formas urbanas, producto de paradigmas económicos, de comunicación y ambientales (Tena Núñez, 2007). En Latinoamérica existe una urbanización con características de dependencia e irregularidad y con problemas de desigualdad social, segregación

territorial, accesibilidad y desplazamiento de personas, entre otros.

En países latinos, los procesos urbanos han propiciado una transformación en la función urbana, una disolución estructural y un cambio en la organización de las ciudades, que afecta de manera directa el desplazamiento humano. La urbanización en México comparte las características anteriores; las 384 ciudades identificadas por el Sistema Urbano Nacional presentan crecimiento demográfico, expansión territorial y modificaciones a su estructura; en las zonas metropolitanas se registran, entre otros, problemas de movilidad y degradación ambiental.

Movilidad urbana

Puede definirse como la suma de desplazamientos realizados por los habitantes de una ciudad para acceder a bienes y servicios. Para estudiarla se necesita valorar el sistema urbano en los aspectos: social, ambiental, económico y espacio físico urbano.

La problemática de movilidad actual en las ciudades se relaciona con el espacio físico; una variación en su forma, estructura y función, condiciona el desplazamiento humano. Actualmente, el modelo de movilidad se caracteriza por sus índices de motorización elevada que genera problemas como congestión vehicular, accesibilidad limitada, falta de conectividad, contaminación atmosférica, entre otros.

La contaminación del aire es una implicación ambiental de la movilidad actual, que tiene efectos locales, pero también globales. Eduardo Alcántara Vasconcellos (2010) señala que 40 por ciento de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) derivan del transporte motoriza-



El 54 % de la población mundial vive en ciudades que generan 80 % del PIB



do, así como 13.3 por ciento de los gases de efecto invernadero.

Calidad del aire

Se relaciona con la presencia de contaminantes en la atmósfera y que sean respirados por las personas. Su afectación resulta de la complejidad de la actividad humana y de sus emisiones. La contaminación atmosférica, según lo señala la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), es la presencia en el ambiente de uno o más contaminantes o de cualquier combinación de ellos que cause desequilibrio ecológico. Resulta de diferentes fuentes de emisión: fijas, de área, móviles y naturales. Las fuentes móviles están constituidas por vehículos automotores que emiten contaminantes como carbono orgánico total (COT), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x), óxidos de azufre (SO_x) y partículas finas (PM), conocidos también como contaminantes criterio.

La Organización Mundial de la Salud señaló en 2018 que la contaminación atmosférica en las ciudades y zonas rurales del mundo, además de contribuir al cambio climático, provoca cada año siete millones de defunciones prematuras, de las cuales 21 000 ocurren en México. Aseguró que en la medida en que el parque vehicular continúe creciendo a tasas elevadas, la calidad del aire seguirá deteriorándose.

En México, el transporte es responsable de 26.2 por ciento de las emisiones de gases de efecto invernadero, y de dicho porcentaje, el vehículo particular genera el 23 por ciento. En lo que se refiere a las emisiones de contaminantes criterio, la información es escasa debido

Emisiones anuales totales de contaminantes criterio por fuentes móviles

Emisiones fuentes móviles	Emisiones (toneladas/año)						
	PM ₁₀	SO ₂	CO	NO _x	COV	NH ₃	Total
México¹	32 631	44 524	38 521 758	2 031 803	3 084 546	21 191	43 774 183
Área urbana de SLP²	200.11	514.98	123 266.12	21 043.30	6 723.14	435.13	152 341.51

Tabla 1.

Fuente: Inventario Nacional de Emisiones (Semarnat, 2005); Programa de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire en la Zona Metropolitana de San Luis Potosí (ProAire, 2015).

a la falta de estudios locales y estatales. La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) es la dependencia del gobierno federal encargada de compilar y analizar los datos disponibles, los cuales son escasos en todo el territorio nacional (tabla 1).

Los estudios que relacionan la actividad vehicular y los impactos ambientales al aire son escasos. El inventario de emisiones de fuentes vehiculares realizado en la ciudad de San Luis Potosí —que utilizó una metodología estadística y un modelo informático de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos de América (US-EPA)—, determinó para 2006 un total de 181 918 toneladas al año (ton/año) de contaminantes

arrojados al aire por este tipo de fuentes (López Pablos, 2007).

Caso de estudio área urbana de San Luis Potosí (AU-SLP)

El AU-SLP es el resultado de la conurbación de los municipios de San Luis Potosí y Soledad de Graciano Sánchez. El área tiene un crecimiento demográfico y territorial constante con características de expansión, fragmentación, segregación y modificaciones en su estructura, que impactan en los desplazamientos de sus habitantes. La movilidad entre ambos es primordialmente motorizada; el número de vehículos registrados en circulación representa 56 por ciento del total del estado, y de éste, 66.13 por ciento corresponde al automóvil particular.

Proceso para la estimación de emisiones vehiculares en el caso de estudio

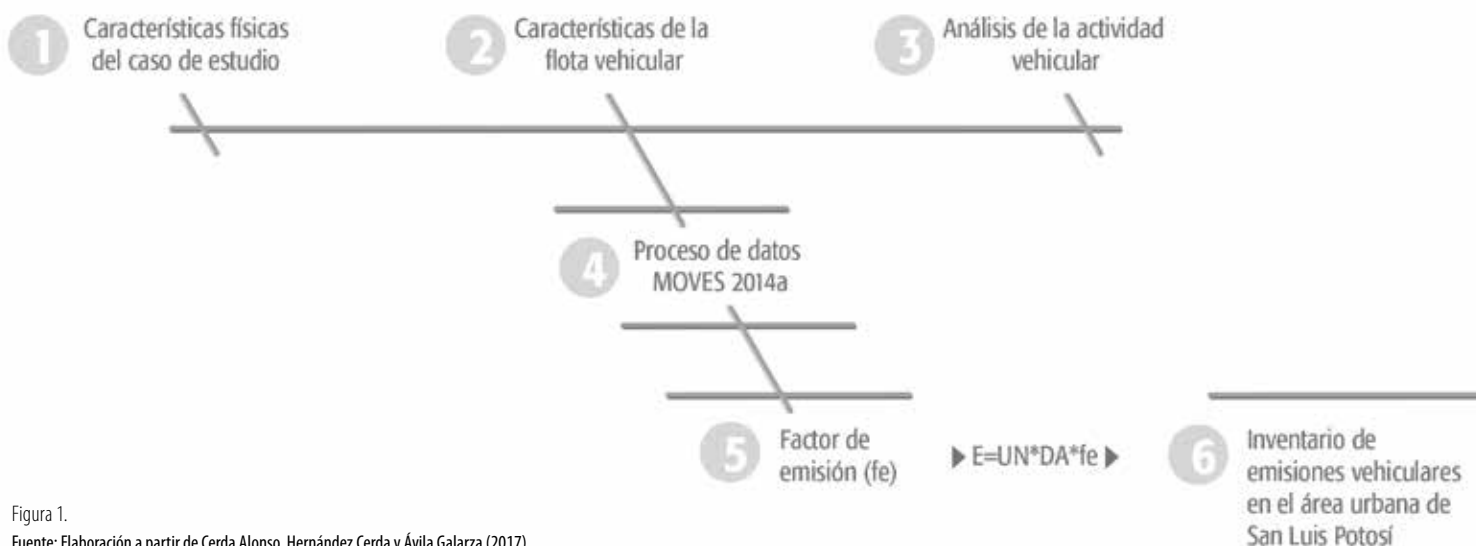


Figura 1.

Fuente: Elaboración a partir de Cerda Alonso, Hernández Cerda y Ávila Galarza (2017).

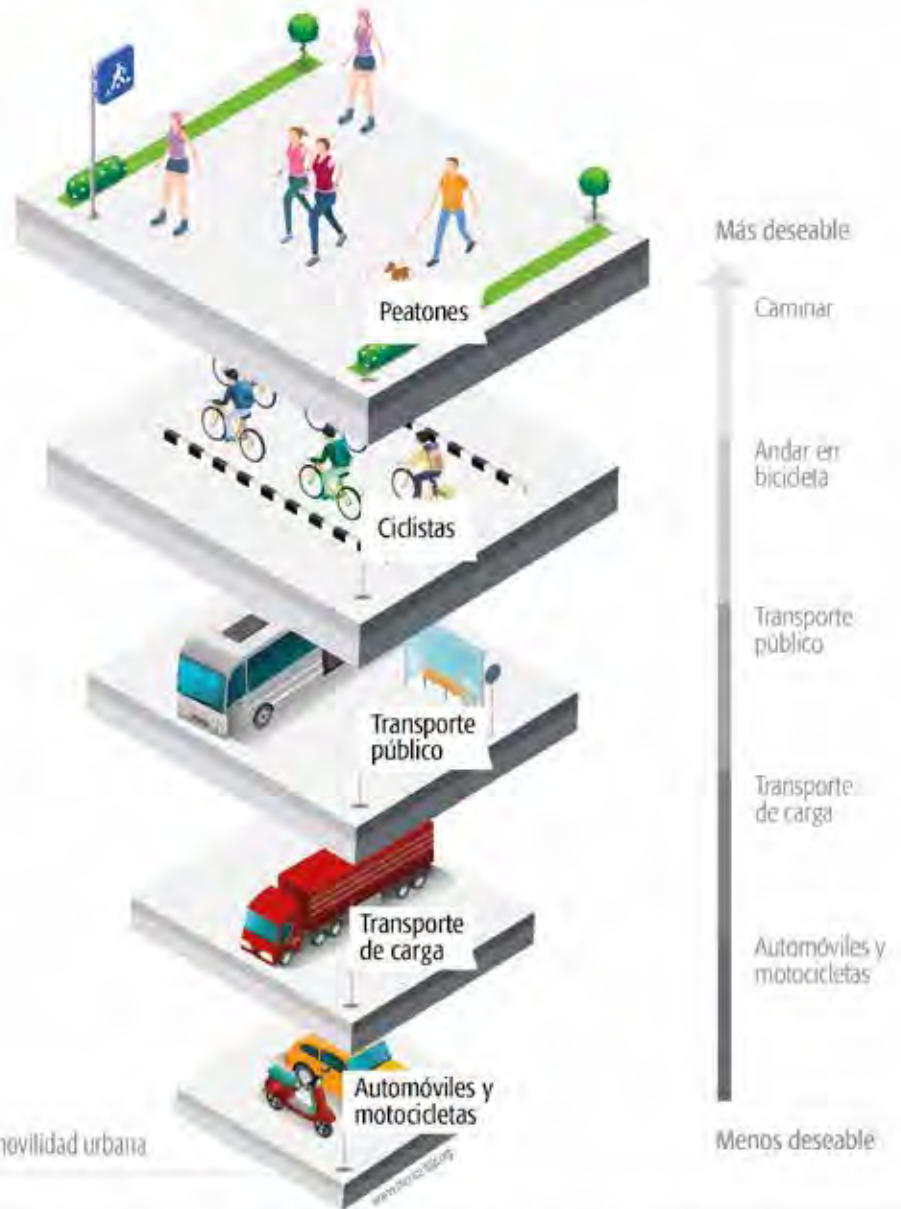
Movilidad urbana

Es la manera en cómo se desplaza la gente en la ciudad.
Los movimientos principales son de la casa-trabajo o casa-escuela.

**“Sin movilidad,
no hay actividad en la ciudad”**

La movilidad urbana es actualmente un indicador utilizado para determinar la calidad de vida en los diferentes centros urbanos.

Puede ser simple o integrada, individual o colectiva; utiliza diferentes modos de transporte, necesita de infraestructura (para ciertos transportes los específica, y para otros puede ser compartida); necesita energía (combustibles fósiles o electricidad); es un elemento clave en el desenvolvimiento de la ciudad.



Pirámide de jerarquía de la movilidad urbana

¿Cómo se estudia?

Se necesitan considerar aspectos urbanos, sociodemográficos, normativos y ambientales como: población total, densidades, vialidad, modos de transporte, tiempos de traslado, leyes o reglamentos de tránsito o de planeación urbana, usos de suelo y contaminación (aire, ruido).

Algunas problemáticas

Congestión vial, accidentes de tránsito y afectaciones en su calidad de vida por los tiempos de traslado de un lugar a otro y enfermedades ocasionadas por la contaminación del aire y ruido.

¿Cómo mejorar?

Una planeación adecuada en la movilidad de una ciudad incentiva su crecimiento económico y la calidad de vida de sus habitantes. Algunos principios para estrategias de mejora son: mezclar usos de suelo, adaptar los sistemas de transporte a las densidades de población, incrementar los tipos de transporte e incluir la bicicleta y caminar, además de conectar entre sí los distintos modos de desplazamiento.

Esta investigación tuvo por objeto caracterizar la movilidad en el AU-SLP y sus implicaciones en la calidad del aire local, a partir del cálculo de emisiones producidas por tres tipologías de fuentes móviles que circulan en ella. La metodología desarrollada se representa en la figura 1.

La estimación de las emisiones de contaminantes al aire para las fuentes vehiculares que circulan sobre los diferentes tipos de vialidades, se hizo a través del modelo informático Motor Vehicle Emission Simulator (MOVES) (adaptado a México), que contempla una gama amplia de contaminantes criterio, gases de efecto invernadero y contaminantes tóxicos (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático y Agencia de Estados Unidos de América para el Desarrollo Internacional, 2016).

Para caracterizar la flota vehicular se seleccionaron los tipos de vehículos: automóvil particular, camión de pasajeros y motocicletas. La actividad vehicular se determinó a partir de la aplicación de encuestas a una muestra representativa de usuarios. Los contaminantes atmosféricos por tipo de vehículo se calcularon con los factores de emisión recomendados por la US-EPA y sugeridos por el modelo MOVES. Después del tratamiento estadístico se obtuvieron los resultados que se muestran en la figura 2.

Los contaminantes atmosféricos emitidos por fuentes móviles varían según el combustible utilizado. En el AU-SLP, el automóvil y la motocicleta —cuyo combustible es gasolina— generan 98 por ciento del total de contaminantes calculados, los más significativos son CO, NO_x y COV. Los autobuses urbanos,

Figura 2.

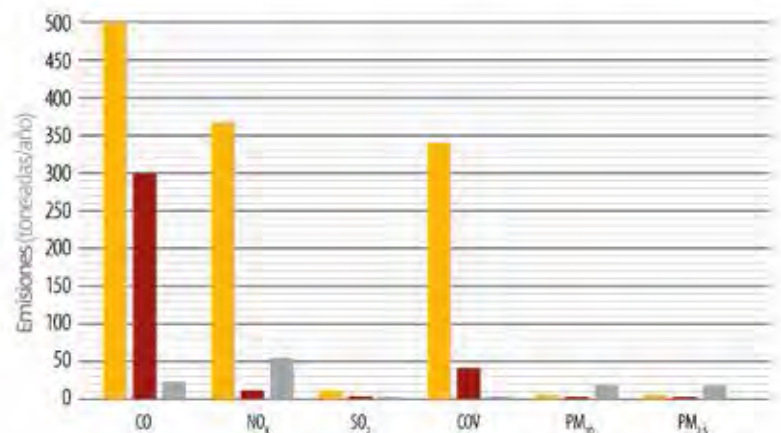
Emisiones de contaminantes criterio al aire por fuentes vehiculares que circulan en el área urbana de SLP

Emisiones (toneladas/año)

Tipo de vehículo	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COV	Total
Automóvil	107.14	94.78	145.68	47 213.75	7 685.77	7 138.58	62 385.71
Motocicleta	6.08	5.38	14.02	6 267.74	200.33	770.01	7 263.56
Autobús público urbano	6.08	5.38	14.02	433.51	200.33	770.01	1 429.33
Total	119.30	105.54	173.73	53,915.00	8,086.44	8 678.60	71 078.60



Fuente: (Cerde Alonso, Hernández Cerda y Ávila Galarza, 2017)





**CLAUDIA
HERNÁNDEZ
CERDA**

Es maestra en Ciencias del Hábitat por la Facultad del Hábitat y actualmente estudia el Doctorado en Ciencias Ambientales por las facultades de Ingeniería, Medicina y Ciencias Químicas de la UASLP, en donde desarrolla el proyecto "Elementos para la evaluación de la movilidad urbana en áreas conurbadas: diagnóstico y propuesta de movilidad integral. El caso de la Zona Metropolitana de San Luis Potosí".



cuyo combustible es el diésel, contribuyen con el 2 por ciento, los más importantes son: NO_x , PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$.

Conclusiones

Los resultados anteriores revelan la existencia de un impacto negativo de la movilidad motorizada en la calidad del aire del AU-SLP. Es importante destacar que para el presente estudio únicamente se contemplaron aquellos vehículos con mayor presencia en el desplazamiento de la población que habita el AU-SLP. Si se comparan los resultados de este estudio (71 078 ton/año) con otros previos que contemplan todas las tipologías de fuentes móviles (ProAire, 2015) 152 341 ton/año y Pablos (2007) 181 918 ton/año), puede decirse que 46.6 por ciento de contaminantes totales emitidos por fuentes móviles en el AU-SLP provienen del automóvil particular, la motocicleta y el autobús urbano; no obstante, las metodologías empleadas fueron distintas, por lo que los valores resultantes no son concluyentes para ningún caso.

Según la Semarnat, medir las emisiones de fuentes móviles es un reto debido a la gran cantidad y variedad de vehículos que existen. Para esta investigación se utilizó la fórmula general sugerida por dicho organismo: $E = NU * DA * FE$, donde E es emisión total del contaminante de interés; NU es el número total de vehículos de interés; DA es la actividad vehicular, expresada como la distancia total recorrida por los vehículos de interés en un tiempo determinado y bajo condiciones de circulación conocidos; FE es el factor de emisión para el contaminante de interés, para el tipo de vehículo en cuestión y para las condiciones de circulación de los vehículos expresa-

do en unidades de masa; sin embargo, los datos para determinar tanto la actividad vehicular como los factores de emisión, están sujetos a la disponibilidad de información, por lo que los métodos de obtención varían en la mayoría de los estudios.

En este sentido, se necesitan análisis más detallados y datos más precisos. Los organismos gubernamentales deben ampliar la información vehicular (tamaño de motor, número de cilindros, kilómetros recorridos y de uso con el mismo catalizador, tipo de combustible, e implementar un programa de verificación que registre las emisiones por fuente móvil. Es necesario definir metodologías concretas de cálculo, indicadores e índices que permitan: 1) estructurar y actualizar la información de la actividad vehicular en un área urbana, y 2) definir el impacto de dicha actividad en la calidad del aire. **IP**

Referencias bibliográficas:

- Alcantara Vasconcellos, E. (2010). *Análisis de la movilidad urbana. Espacio, medio ambiente y equidad*. Bogotá, Colombia: Corporación Andina de Fomento.
- Cerda Alonso, G., Hernández Cerda, C. y Ávila Galarza, A. (2017). *Estimación de las emisiones de fuentes vehiculares en el área de San Luis Potosí y sus implicaciones en la calidad del aire*. Facultad de Ingeniería: Ingeniería Ambiental. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. San Luis Potosí, México. Proyecto de investigación de la carrera de Ingeniería Ambiental.
- Den Bleyker, A. y Koupal, J. (2016). Guía del usuario de MOVES-México. Programa para el Desarrollo de Emisiones bajas en México: INECC y USAID
- López Pablos, A. (2007). *Caracterización de emisiones a la atmósfera por fuentes vehiculares en la ciudad de San Luis Potosí, SLP. Maestría en Hidrosistemas con opción en Ambiental*. (Tesis de maestría). Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. San Luis Potosí.
- Semarnat. (2015). Programa de gestión para mejorar la calidad del aire en la Zona Metropolitana de San Luis Potosí-Soledad de Graciano Sánchez. Secretaría de Ecología y Gestión Ambiental. San Luis Potosí: ProAire.
- Tena Núñez, R. A. (2007). *Ciudad, cultura y urbanización sociocultural. Conceptos y métodos de análisis urbano*. Ciudad de México: Plaza y Valdes Editores.