
Resumen

La contaminación atmosférica urbana, generada en gran medida por las emisiones vehiculares en ciudades densamente pobladas, representa una amenaza significativa para la salud pública y la sostenibilidad ambiental. Las estrategias tradicionales de gestión del tráfico se han centrado históricamente en reducir la congestión, desatendiendo los impactos ambientales del tráfico vehicular. Esta tesis aborda este problema mediante el desarrollo de un marco de gestión del tráfico urbano que integra criterios de contaminación, particularmente a través de la incorporación innovadora de datos en tiempo real sobre la calidad del aire en las decisiones de reencaminamiento del tráfico. Utilizando la ciudad de Valencia como estudio de caso, el marco combina la modelización realista del tráfico, el análisis de emisiones y nuevas estrategias de reencaminamiento estático y dinámico basadas en criterios medioambientales.

Nuestro recorrido comienza con el innovador desafío de generar datos de demanda de tráfico precisos, sin comprometer la privacidad. Aprovechando los datos de detectores de bucles de inducción, proponemos un enfoque que se aprovecha del uso de la ingeniería inversa para crear un modelo de demanda de tráfico realista. Este método mejora significativamente la precisión en la representación del volumen de tráfico, la distribución espacial de los puntos de origen, y la longitud de las rutas en comparación con las soluciones actuales, proporcionando una base más fiable para análisis posteriores.

Sobre esta base, empleamos la herramienta SUMO, junto con el modelo de emisiones HBEFA, para simular el flujo de tráfico y las emisiones de los vehículos. SUMO proporciona capacidades detalladas de simulación de tráfico, mientras que HBEFA ofrece factores de emisión completos para el transporte por carretera, lo que los hace ideales para nuestras necesidades de modelización. A continuación

desarrollamos SUMO2GRAL, una herramienta personalizada que integra los resultados de SUMO con GRAL para realizar un modelado detallado de la dispersión de contaminantes, y traducir estas emisiones expresadas en masa a concentración. Esta integración tiene en cuenta factores como la orografía urbana y las condiciones meteorológicas, mejorando así la precisión de las evaluaciones de la calidad del aire en entornos urbanos.

A continuación, exploramos estrategias de reencaminamiento del tráfico dirigidas a mitigar la contaminación del aire. Primero, presentamos un enfoque de reencaminamiento estático que ajusta los pesos del tráfico en segmentos de calles según parámetros ambientales fijos. Al aplicar este método en Valencia, demostramos su efectividad en la reducción de las concentraciones de contaminantes, especialmente en áreas críticas como espacios verdes o parques, proporcionando implicaciones prácticas para la política y planificación urbanas.

Reconociendo las limitaciones de los métodos estáticos para adaptarse a condiciones dinámicas, desarrollamos un algoritmo dinámico de reencaminamiento del tráfico que ajusta las rutas de los vehículos basándose en los datos de calidad del aire de las calles, y en los perfiles específicos de emisiones de los vehículos. Al introducir un factor de sensibilidad de emisiones, nuestro algoritmo modula las decisiones de encaminamiento en respuesta a las condiciones ambientales. Las simulaciones de situaciones de crisis ambiental, como incendios de edificios, y episodios de niebla producida por la contaminación (*smog*), revelan que el enfoque dinámico reduce significativamente las concentraciones de contaminantes en las áreas afectadas sin afectar gravemente la eficiencia del tráfico, equilibrando eficazmente los niveles de calidad del aire y de movilidad. Esto proporciona valiosas ideas para urbanistas y responsables políticos en el diseño de sistemas de gestión del tráfico que prioricen la salud pública.

Finalmente, extendemos nuestro análisis a escenarios futuros de tráfico urbano al examinar la evolución esperada del parque vehicular de Valencia, en particular el aumento en la adopción de vehículos eléctricos. Basándonos en modelos de evolución de parques vehiculares de ciudades europeas similares, simulamos escenarios que consideran los avances tecnológicos y las tendencias sociales. Nuestros hallazgos sugieren que una transición gradual hacia los vehículos eléctricos puede mejorar sustancialmente la calidad del aire con el tiempo, subrayando la importancia de promover tecnologías más limpias junto con una gestión eficaz del tráfico.

En general, esta tesis doctoral presenta varias estrategias para paliar la contaminación atmosférica urbana mediante estrategias inteligentes de gestión del tráfico. La integración de criterios de contaminación en los marcos de tráfico urbano proporciona ideas y herramientas valiosas para que los responsables políticos y los planificadores urbanos creen entornos urbanos más saludables y sostenibles para hacer frente a este desafío global.