

Sistema Inteligente para la Predicción del Nivel de Congestión del Tráfico

Abel Albuez Sánchez, Juan Camilo Torres Peña y Daniel Ríos Caro

Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia

Abstract. El incremento del tráfico en entornos urbanos ha generado problemas de movilidad y eficiencia vial. Este proyecto propone un sistema basado en Inteligencia Artificial (IA) para predecir el nivel de congestión del tráfico, utilizando Redes Neuronales, Algoritmos Evolutivos, Lógica Difusa y Aprendizaje de Máquina. Este modelo analizará datos históricos, identificando patrones de congestión para optimizar la movilidad urbana. Debido a la ausencia de datos en tiempo real, la predicción se basará en tendencias pasadas, permitiendo anticipar escenarios de tráfico bajo distintos contextos temporales. La validación del modelo se realizará mediante métricas de clasificación, incluyendo ROC, Sensibilidad, Especificidad, F1 y Precisión, asegurando la fiabilidad de las predicciones. Este estudio contribuirá a la planificación y optimización del tráfico, proporcionando una herramienta de análisis para la toma de decisiones en movilidad urbana.

Palabras Clave: Predicción del Tráfico, Inteligencia Artificial, Redes Neuronales, Lógica Difusa, Algoritmos Evolutivos, Ciudades Inteligentes, Optimización del Tráfico.

1 Motivación y Contextualización del Problema

La congestión vehicular es uno de los problemas urbanos más críticos en el mundo moderno. En ciudades altamente pobladas, el tráfico no solo afecta la movilidad de los ciudadanos, sino que también impacta negativamente la economía, la salud y el medio ambiente.

1.1 Datos clave sobre la congestión del tráfico

- En EE.UU., los conductores pierden en promedio 54 horas al año debido a la congestión, generando un costo anual de 166 mil millones de dólares en productividad perdida [1].
- En México, la congestión vehicular representa pérdidas de 94 mil millones de pesos anuales, equivalente al 3.5% del PIB regional [2].
- Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), la contaminación causada por el tráfico contribuye a 7 millones de muertes prematuras al año debido a enfermedades respiratorias y cardiovasculares.

La necesidad de desarrollar un sistema inteligente que pueda predecir los niveles de congestión del tráfico se ha vuelto más relevante con el aumento del parque vehicular y la urbanización acelerada.

2 Estado del Arte: Aplicaciones de IA en la Predicción del Tráfico

El uso de Inteligencia Artificial (IA) ha revolucionado la gestión del tráfico en ciudades inteligentes. Diversas técnicas han demostrado mejorar la predicción del nivel de congestión, optimizando la movilidad y reduciendo tiempos de espera en el tráfico. A continuación, se presentan algunos enfoques recientes:

2.1 Redes Neuronales Artificiales (ANNs) en Predicción del Tráfico

Los modelos de aprendizaje profundo (Deep Learning) han alcanzado una precisión de 85% en la predicción del nivel de congestión, superando métodos estadísticos tradicionales [3].

2.2 Algoritmos Evolutivos en la Optimización del Tráfico

En Los Ángeles, los algoritmos evolutivos han logrado reducir la congestión vehicular en un 30%, optimizando la sincronización de semáforos y las rutas alternativas [4].

2.3 Lógica Difusa en Sistemas de Control de Tráfico

Se ha demostrado que la Lógica Difusa aplicada a semáforos inteligentes puede reducir los tiempos de espera en intersecciones en un 25%, adaptando los tiempos de luz verde en función del tráfico real [5].

2.4 Modelos de Aprendizaje de Máquina en la Predicción del Tráfico

Algoritmos de Aprendizaje de Máquina (Machine Learning) como Random Forest, Support Vector Machines (SVM) y XGBoost han sido utilizados para predecir la congestión del tráfico con alta precisión, logrando mejoras del 35-40% en la estimación de tráfico en comparación con métodos tradicionales [6].

2.5 Aplicaciones en Ciudades Inteligentes

En Verona, Italia, se ha implementado un sistema de IA para gestionar el tráfico, clasificando vehículos y ajustando semáforos en tiempo real, mejorando la fluidez del tráfico y reduciendo la congestión [7].

3 Descripción de la Tarea

Este proyecto busca desarrollar un modelo inteligente para la predicción del nivel de congestión del tráfico utilizando técnicas de Inteligencia Artificial (IA). Se basará en datos históricos y modelos de aprendizaje automático para identificar patrones de congestión en distintos escenarios urbanos.

3.1 Objetivo Principal

Implementar un modelo que prediga el nivel de congestión del tráfico utilizando variables como velocidad vehicular, ocupación de la vía, número de vehículos, accidentes y condiciones climáticas.

3.2 Entradas del Sistema

- **Datos del tráfico:** Vehicle_Count, Traffic_Speed_kmh, Road_Occupancy_%.
- **Condiciones climáticas:** Weather_Condition (lluvia, nieve, despejado, etc.).
- **Información geográfica:** Latitude, Longitude, para analizar tendencias espaciales de congestión.
- **Historial de accidentes:** Accident_Report, para evaluar su impacto en los niveles de tráfico.

3.3 Salida del Sistema

El agente debe procesar los datos y generar predicciones, que pueden ser:

- Estimación del nivel de tráfico en franjas horarias futuras.
- Identificación de patrones de congestión en días específicos.
- Análisis de tendencias (cómo cambia el tráfico a lo largo del año).

3.4 Restricciones

- **Este agente no puede reaccionar a eventos en tiempo real** (como accidentes o desvíos inesperados), pero sí puede anticipar patrones recurrentes.
- **Dependencia de Datos Históricos:**
 - El sistema se basará en datos previos para hacer predicciones, por lo que su precisión dependerá de la calidad y representatividad del dataset utilizado.
 - El dataset tiene registros en intervalos de 5 minutos, lo que limita la capacidad del modelo para capturar fluctuaciones muy rápidas en la congestión del tráfico.
 - La precisión de la predicción depende de la densidad de los datos disponibles en diferentes zonas urbanas, lo que puede generar resultados menos precisos en áreas con menor cantidad de registros históricos.
- **Falta de Información sobre Eventos Externos:**

- No se podrán considerar accidentes, obras viales, desvíos inesperados o eventos especiales si no están reflejados en la data histórica.
- El modelo asumirá que los patrones del tráfico siguen comportamientos recurrentes.
- **Modelo Basado en Predicción de Tendencias:**
 - No podrá generar recomendaciones personalizadas en tiempo real para usuarios individuales.
 - Solo estimará la probabilidad de congestión en ciertos períodos futuros, sin poder adaptarse dinámicamente a cambios inesperados.

3.5 Alcances

- **Identificación de Patrones de Congestión**
 - Permitirá detectar tendencias de tráfico recurrentes, como horas pico y días con mayor carga vehicular.
 - Puede ayudar a tomar decisiones estratégicas sobre movilidad con base a datos previos.
- **Aplicabilidad en Ciudades Inteligentes**
 - Puede integrarse en plataformas de análisis de movilidad urbana para facilitar la toma de decisiones basada en datos históricos.
- **Generación de Reportes de Análisis**
 - Puede entregar reportes con predicciones de tráfico en distintos horarios y días.
 - Útil para planificación de rutas o estrategias de movilidad basadas en datos históricos.

4 Análisis de Potencialidades para el Uso de Herramientas de Inteligencia Artificial

La técnica más utilizada en este ámbito son las Redes Neuronales Artificiales (ANNs). El estudio realizado por Goenawan et al. (2024) presenta un modelo basado en Redes Neuronales Convolucionales (CNN) y LSTM, alcanzando una precisión del 85% en la predicción de tráfico, superando los métodos estadísticos tradicionales [3].

Por otro lado, Li et al. (2024) analizaron modelos de Aprendizaje de Máquina como Regresión Logística y Árboles de Decisión, concluyendo que los métodos basados en Redes Neuronales Multicapa (MLPNN) presentan mejor rendimiento en la clasificación del tráfico en comparación con modelos lineales [6].

En otro estudio, Elsalamony et al. (2013) evaluaron el uso de Árboles de Decisión C5.0 en conjunto con Redes Neuronales Perceptrón Multicapa (MLPNN), demostrando una mayor precisión en la clasificación de tráfico congestionado.

Asimismo, Al-Shayea et al. (2013) propusieron el uso de Redes de Propagación Retroalimentadas y concluyeron que estos modelos tienen mejor rendimiento en la predicción de tráfico urbano al captar relaciones complejas entre variables como velocidad vehicular, ocupación de la vía y número de vehículos.

Por otro lado, Liu et al. (2008) exploraron el uso de Algoritmos Genéticos (GA) para la selección de características en la predicción de tráfico, logrando una mejora significativa en la precisión del modelo al identificar las variables más relevantes que afectan la congestión.

Finalmente, Khan et al. (2013) aplicaron un modelo basado en Lógica Difusa, convirtiendo las variables continuas en categorías de congestión y logrando una mejor clasificación de los niveles de tráfico urbano.

Con base en estos estudios, el presente proyecto utilizará una combinación de Redes Neuronales, Algoritmos Evolutivos, Lógica Difusa y Aprendizaje de Máquina, con el objetivo de desarrollar un modelo preciso para la predicción del nivel de congestión del tráfico, optimizando la movilidad urbana y mejorando la planificación del tránsito.

5 Análisis de Viabilidad de Validación Experimental

El problema que abordamos en este proyecto es la clasificación del nivel de congestión del tráfico en tres categorías: bajo, medio o alto. Para garantizar que el modelo de predicción sea confiable y preciso, es fundamental establecer un proceso riguroso de validación experimental.

5.1 Selección del Conjunto de Datos

Dado que contamos con un dataset histórico de tráfico, el proceso de validación se realizará dividiendo los datos en dos conjuntos principales:

- **Conjunto de Entrenamiento:** Se utilizará para ajustar los modelos de IA, identificando patrones en los datos históricos de congestión.
- **Conjunto de Prueba:** Permitirá evaluar el rendimiento del modelo en datos no vistos, asegurando su capacidad de generalización.

5.2 Experimento

Este experimento tiene como objetivo evaluar el impacto de diferentes técnicas de balanceo de datos y modelos de clasificación en la precisión de la predicción del nivel de congestión del tráfico. Se analizarán dos factores: la técnica de balanceo de datos (sin balanceo, SMOTE, ADASYN y Random Oversampling) y el modelo de clasificación (Redes Neuronales, Lógica Difusa y Algoritmos Genéticos), lo que genera un diseño factorial completo 4×3 con 12 combinaciones experimentales. La variable de respuesta será la precisión del modelo medida mediante F1-score, precisión, sensibilidad y especificidad. Cada combinación se probará en un conjunto de datos de prueba fijo con 5 repeticiones y validación cruzada de $K=5$. El experimento incluirá preprocesamiento y balanceo de datos, entrenamiento de modelos y evaluación de desempeño. Finalmente, se determinará qué técnica de balanceo y qué modelo ofrecen el mejor rendimiento.

6 Bibliografía

References

1. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL): La congestión del tránsito: sus consecuencias económicas y sociales. CEPAL, 2003.
2. Instituto Mexicano para la Competitividad (IMCO): El costo de la congestión: vida y recursos perdidos. IMCO, 2017.
3. Goenawan, C. R.: ASTM: Autonomous Smart Traffic Management System Using Artificial Intelligence CNN and LSTM. arXiv preprint arXiv:2410.10929, 2024.
4. Smart Mobility Reports: Optimización del tráfico mediante Algoritmos Evolutivos. Andina Link Smart Cities, 2024.
5. Transportation Science: Aplicaciones de Lógica Difusa en el control del tráfico. Interempresas, 2024.
6. Li, H., Zhao, Y., Mao, Z., et al.: Graph Neural Networks in Intelligent Transportation Systems: Advances, Applications and Trends. arXiv preprint arXiv:2401.00713, 2024.
7. Euronews: Verona prueba un sistema con IA para mejorar el tráfico y la seguridad vial. Euronews Next, 2024.
8. Elsalamony, A. H., et al.: Using Decision Tree C5.0 and Multilayer Perceptron Neural Networks for Traffic Congestion Prediction. Journal of Advanced Transportation, 2013.
9. Al-Shayea, Q.: Artificial Neural Networks in Traffic Prediction. International Journal of Computer Science and Network Security (IJCSNS), 2013.
10. Liu, Y., et al.: Using Genetic Algorithms for Feature Selection in Traffic Prediction Models. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2008.
11. Khan, M. J., et al.: Fuzzy Logic-Based Traffic Congestion Prediction System. International Journal of Intelligent Transportation Systems, 2013.