

# U.N. Sede Medellín

Una universidad con criterio nacional y presencia regional



[minas.medellin.unal.edu.co](http://minas.medellin.unal.edu.co)



Facultad de Minas  
Sede Medellín



UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
DE COLOMBIA





# REDUCCIÓN DE EMISIONES VEHICULARES PARA REDES DE TRÁFICO URBANO

Anna Sarrazola, Eliana Mejía, Nicolás Arroyo y Prof. Jairo Espinosa



# Introducción



Contaminación ambiental



Tipo de combustión  
y combustible



Congestión y  
Caos vehicular



Aumento en los tiempos  
de viaje del conductor

# Introducción



Aumento de la  
congestión  
vehicular



Es necesario

Gestión eficaz para el  
control de señales de  
tráfico



# Contenido

## Estrategia de control ambiental

- Formulación del modelo de emisión
- Optimización

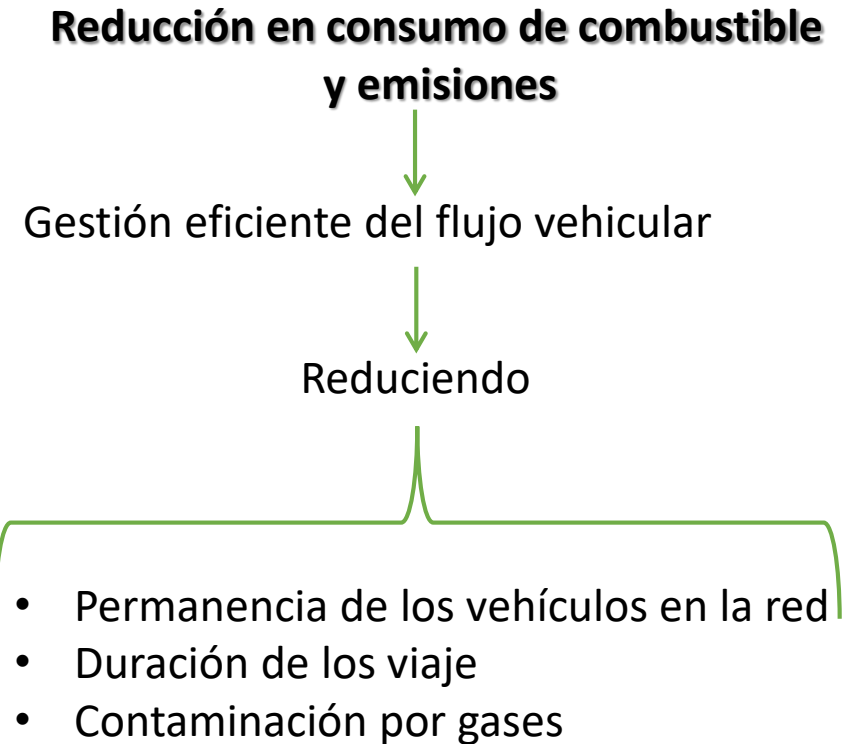
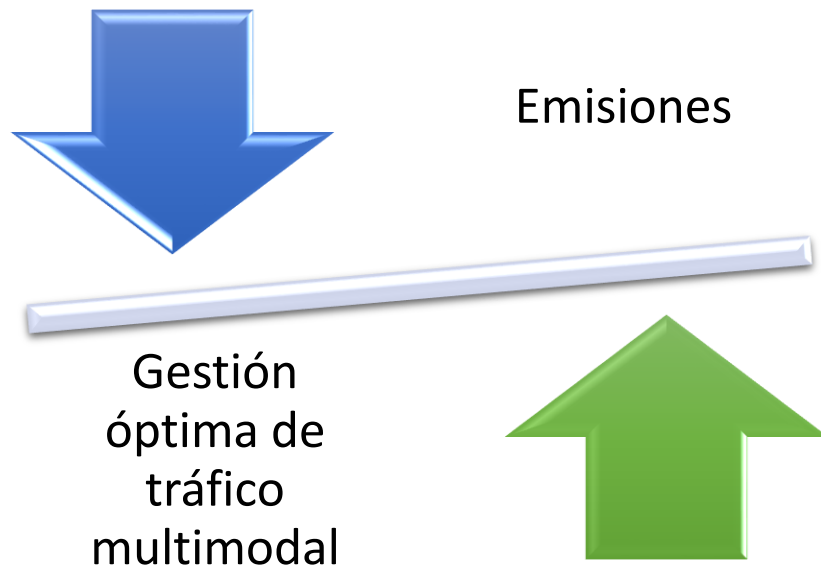
## Caso de estudio

## Resultados de simulación

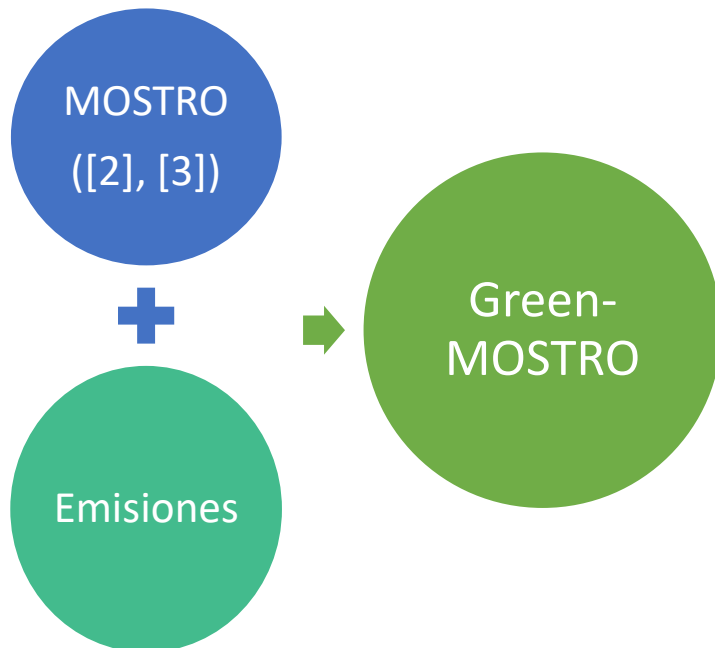
## Conclusiones

## Trabajo futuro

# Propuesta de control ambiental



# Propuesta GreenMOSTRO

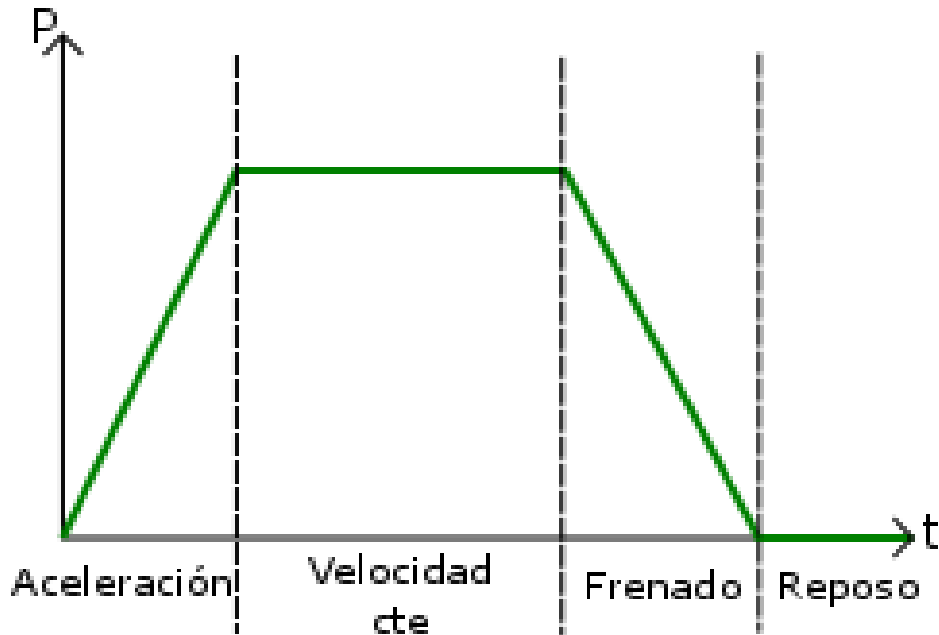


## Metodología:

- Selección de tráfico compuesto (Autos-Buses)
- Reconocimiento de patrones de conducción
- Selección del modelo para el cálculo de los factores de emisión (HBEFA [1])
- Modificación del modelo HBEFA
- Validación del modelo de emisión GreenMOSTRO respecto HBEFA modificado

# Factores de emisión

Ciclos de conducción:



Modelo HBEFA de SUMO [1]:

PC\_G\_EURO4



Bus urbano





# Estrategia GreenMOSTRO

Función objetivo:

$$\min_{\substack{S_1, \dots, S_{15} \\ T_{V_1}, \dots, T_{V_{12}} \\ \tau_{d_1}, \dots, \tau_{d_5}}} \left\{ \sum_{i=1}^{N_s} \frac{T_{sim}}{T_c} \alpha_{v_j, i} \{ (T_{R_i}(k) Fe_{d(v)} T_{d(v)}) + (T_{R_i}(k) Fe_{r(v)} T_{R_i}(k)) + (T_{R_i}(k) Fe_{a(v)} T_{a(v)}) + (T_{V_i}(k) Fe_{n(v)} T_{v_i}(k)) \} \right\}$$

Sujeto a:

$$q_i(k) + \sum_{j \in F} \alpha_{j,i} T_{R_i}(k) - \alpha_{sat_i} T_{V_i}(k) + S_i(k) = 0$$

$$q_i(k) + \sum_{k=1}^{N_{m,F}} \Phi_{uit_{ui}}(k) + S_i(k) = 0$$

$$\sum_{j \in F} T_{V_j, i}(k) = T_{cF}$$

$$\frac{\alpha_{j,i} T_{cF}}{\alpha_{sat_i}} \leq T_{v_i}(k) \leq T_{cF}$$

$$T_{V_{min}} \leq T_{v_i}(k) \leq T_{cF}$$

$$\tau_{d_{min}} \leq \tau_{d_j}(k) \leq \tau_{d_{max}}$$

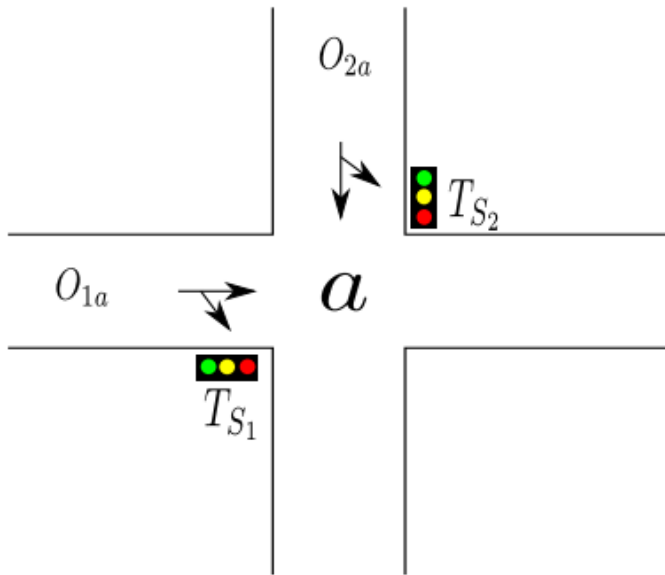
$$\alpha_{j,i} T_{R_i}(k) \leq \frac{L_{l_i} * N_{l_i}}{L_v}$$

$$\Phi_{uit_{ui}}(k) \leq \frac{L_{l_i} * N_{l_i}}{L_v}$$

$$T_{v_i}(k) + \tau_{d_j}(k) \leq T_{cF}$$

- Modelo acumulación dinámico de cada links
- Tiempo de ciclo
- Límites de los tiempos de verde
- Límites del tiempo de offset
- Capacidad máxima de los links

# Caso de estudio



Intersección Aislada

## Experimento 1: [veh/h]

Link O1a Autos = 240  
Link O2a Buses = 400

## Experimento 2: [veh/h]

Link O1a  
Autos: [350 220 300]  
Buses: [350 220 300]

Link O2a  
Autos: [280 500 310]  
Buses: [240 110 290]

ESTRATEGIAS



GreenMOSTRO

MOSTRO

# Implementación

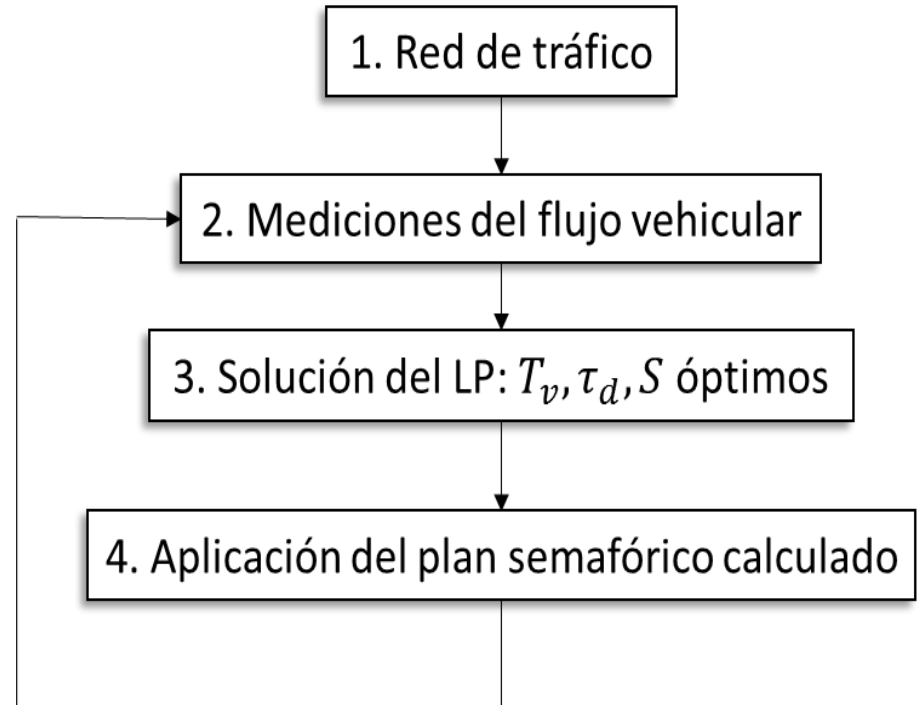
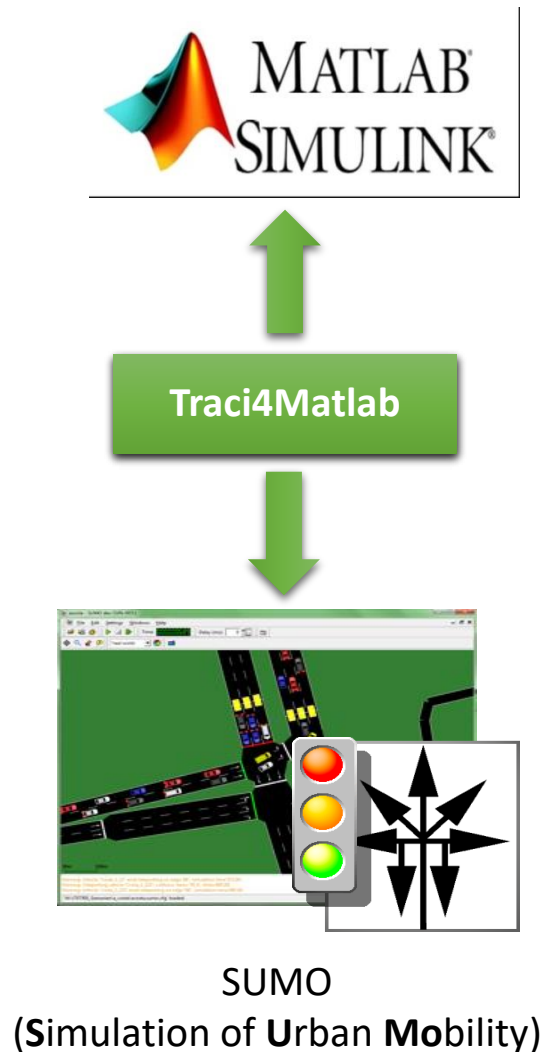
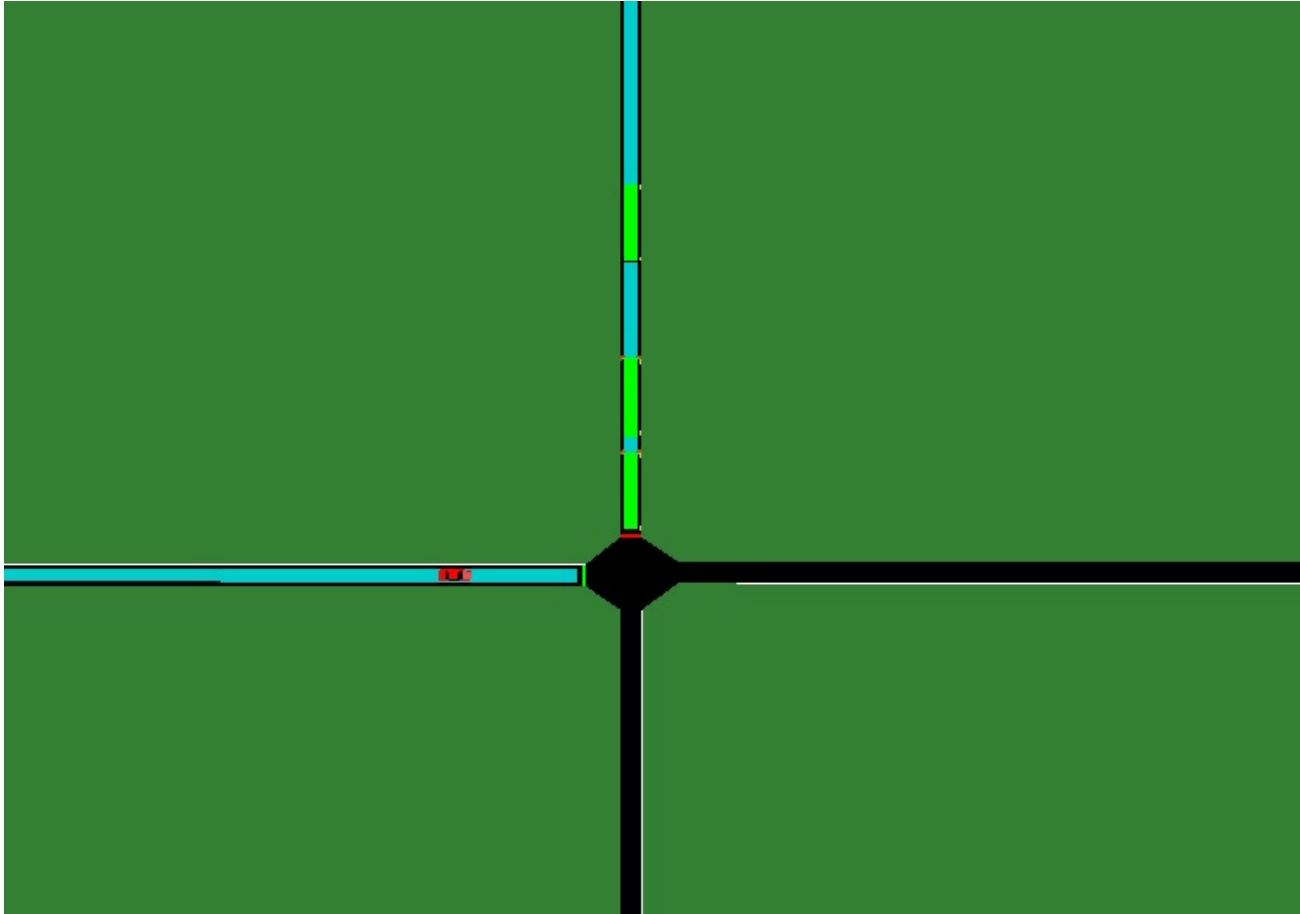


Figura 1. Diagrama de flujo – Sistema MOSTRO

# Simulación en SUMO





# Resultados de simulación

## Experimento 1: Demanda constante

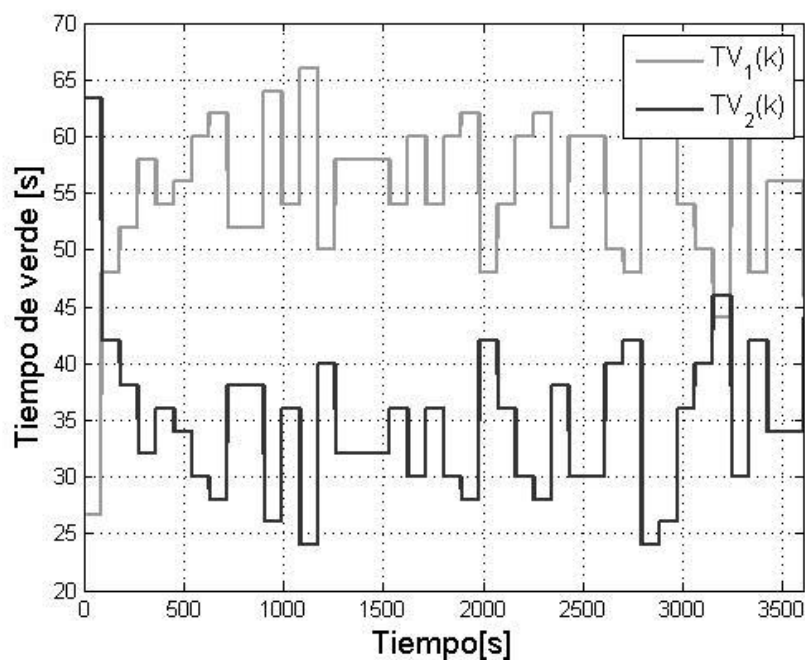


Fig. Señal de control GreenMOSTRO

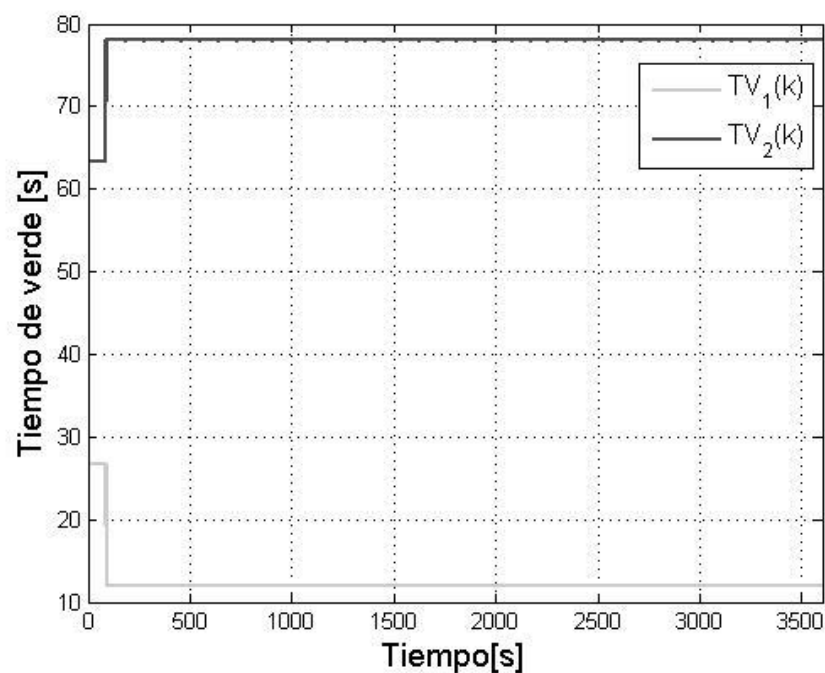


Fig. Señal de control MOSTRO

# Resultados de simulación

## Experimento 1: Demanda constante

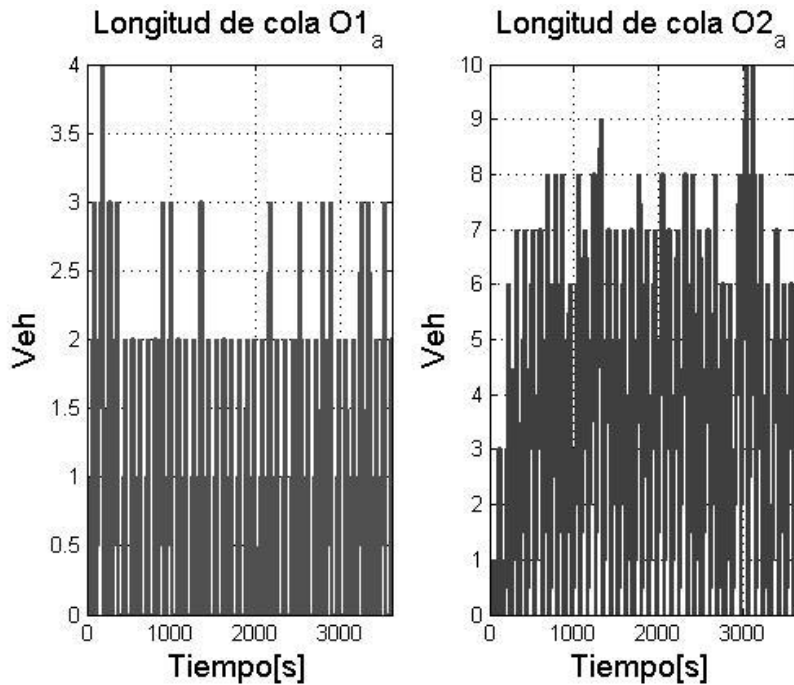


Fig. Colas GreenMOSTRO

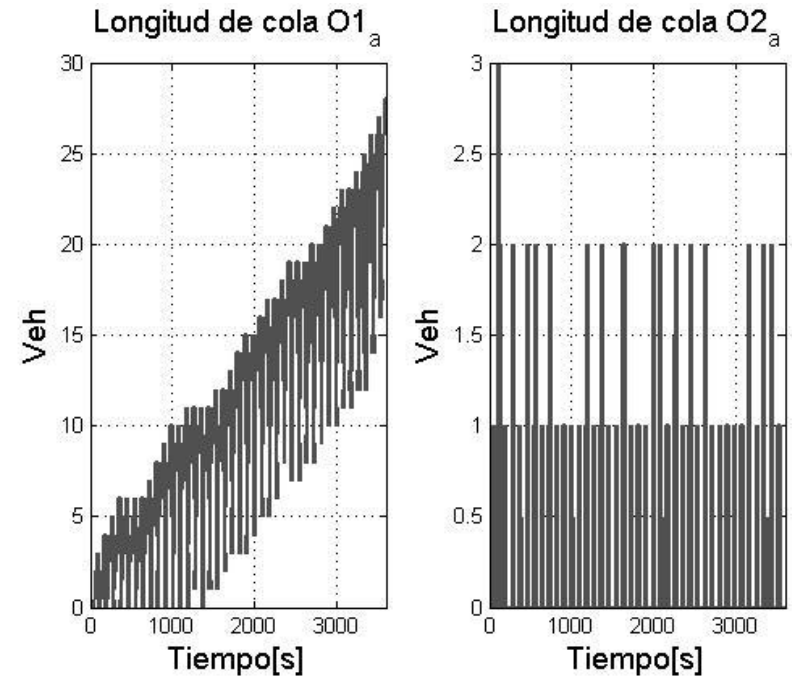


Fig. Colas MOSTRO

# Resultados de simulación

## Experimento 2: Demanda variable

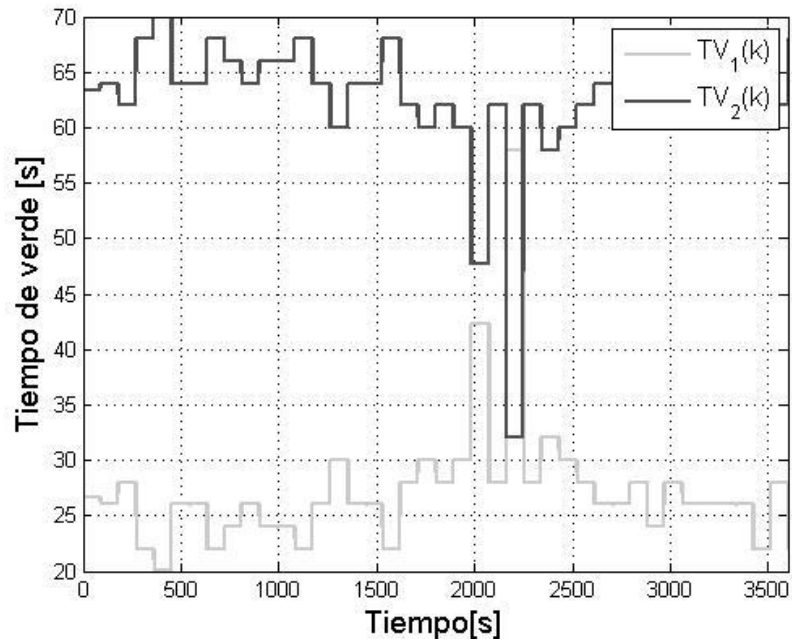


Fig. Señal de control GreenMOSTRO

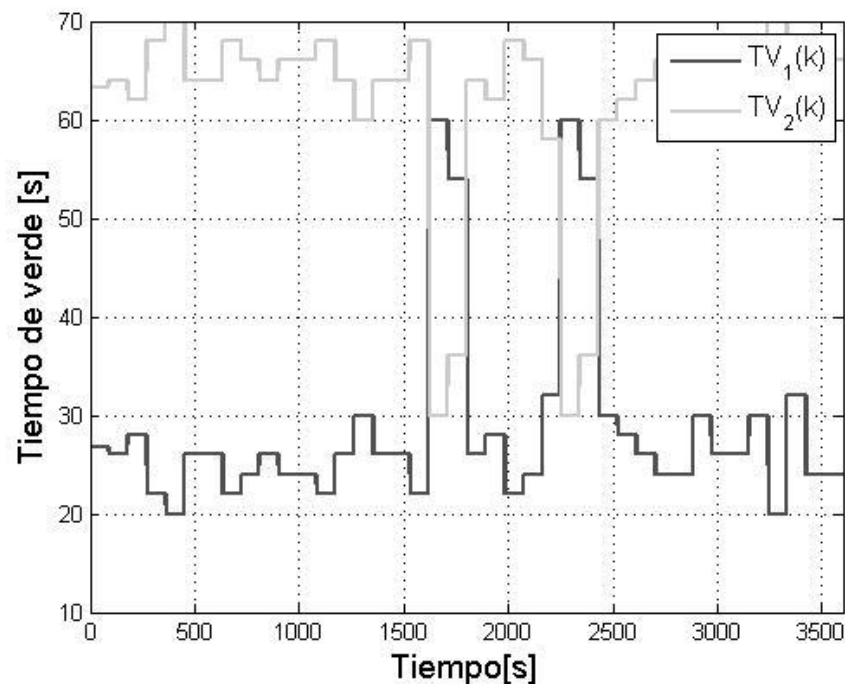


Fig. Señal de control MOSTRO

# Resultados de simulación

## Experimento 2: Demanda variable

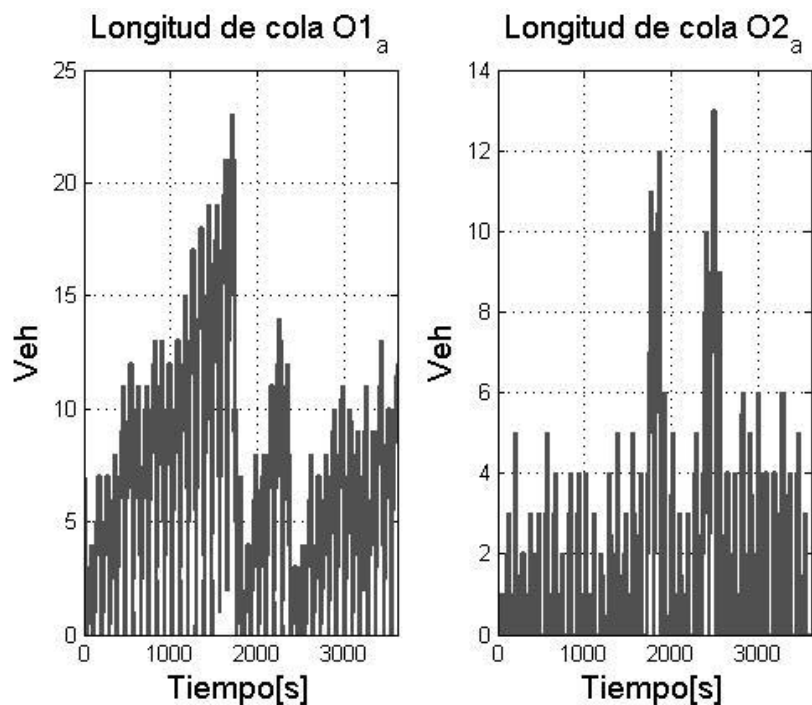


Fig. Colas GreenMOSTRO

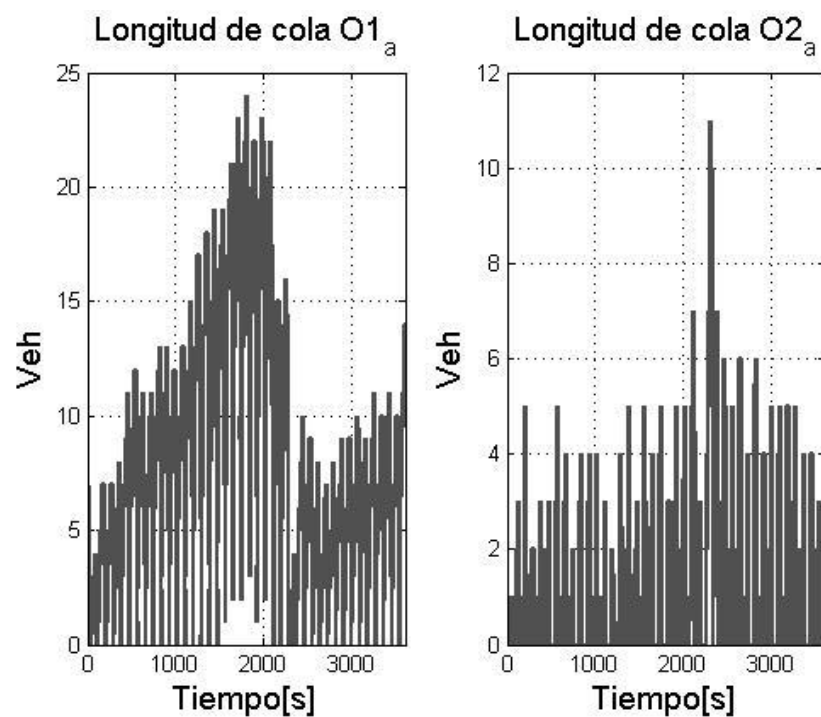
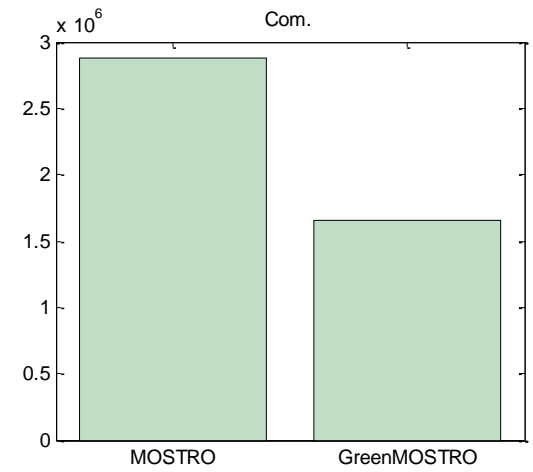
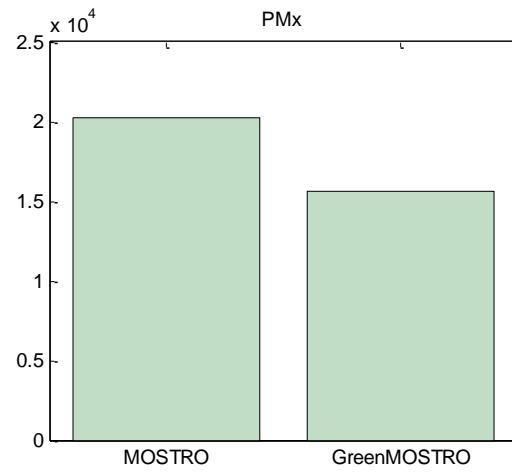
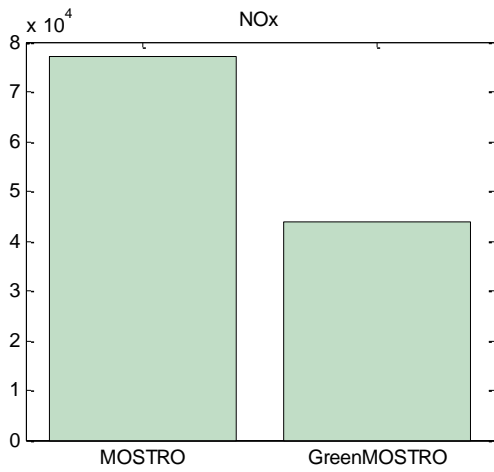
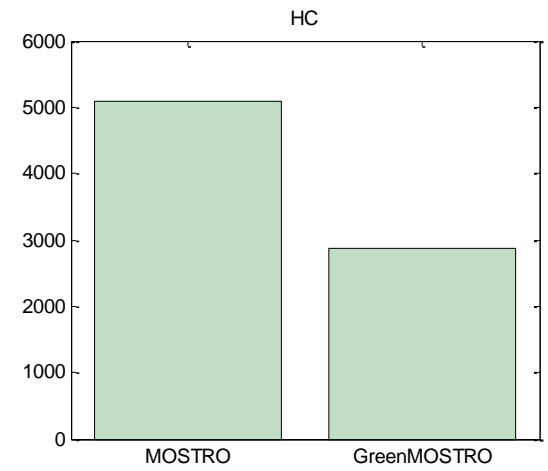
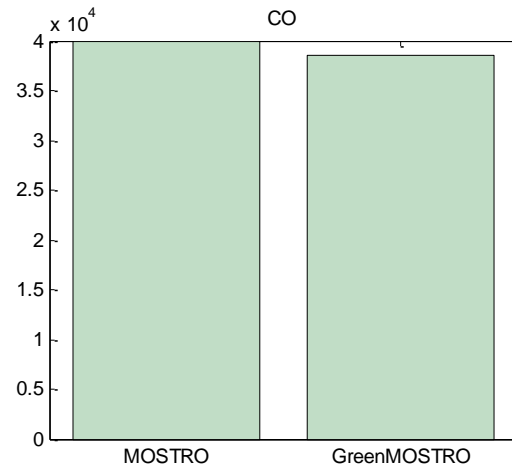
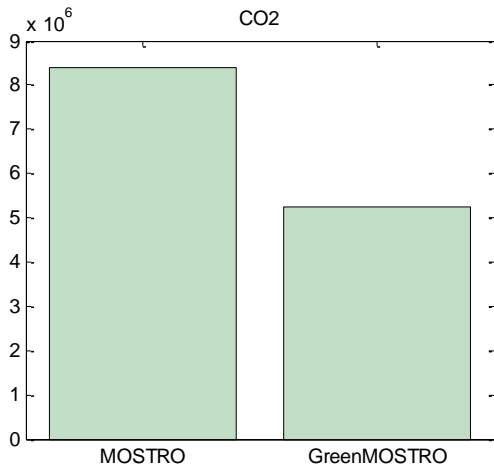


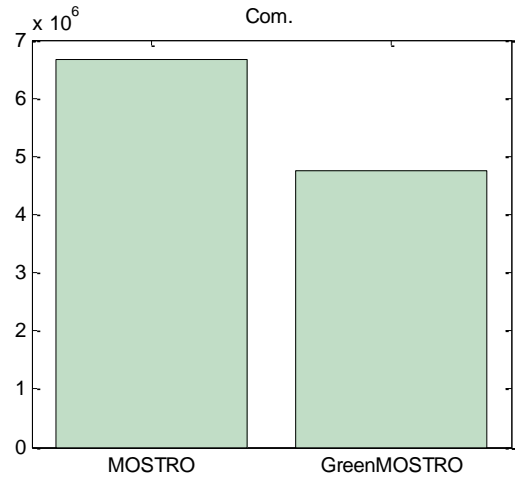
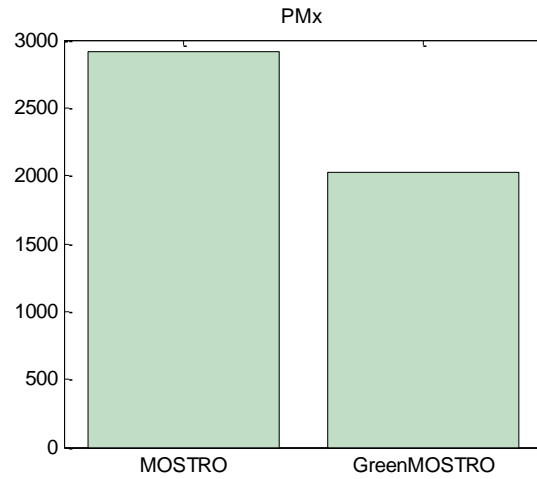
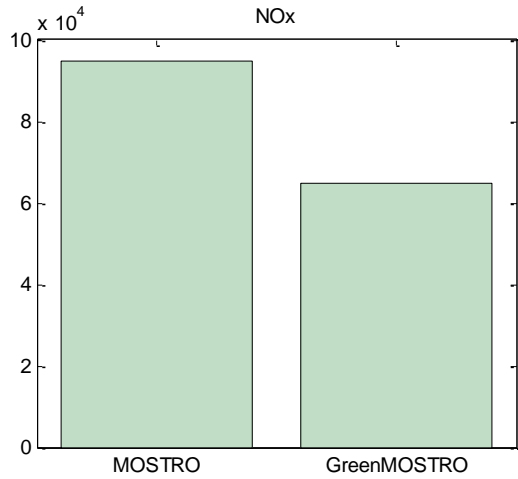
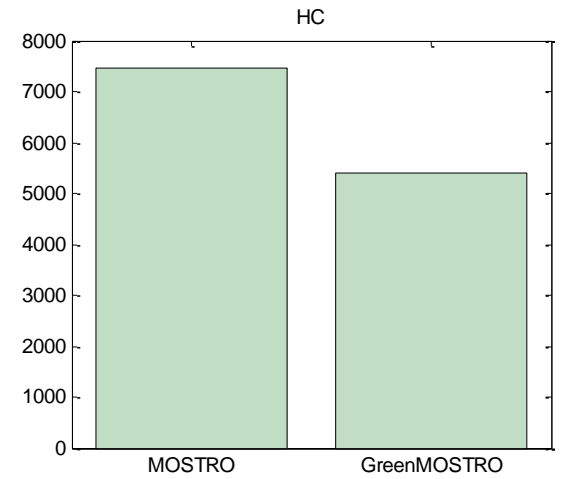
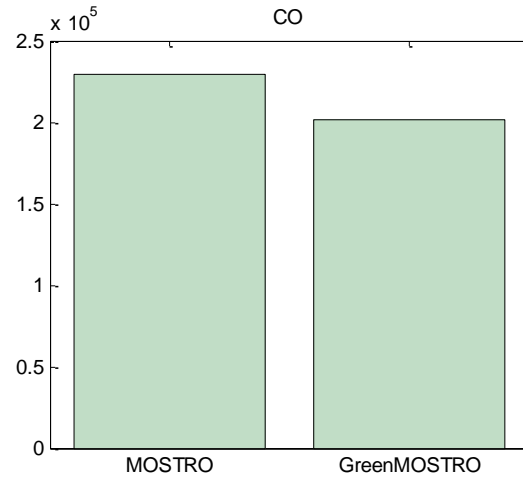
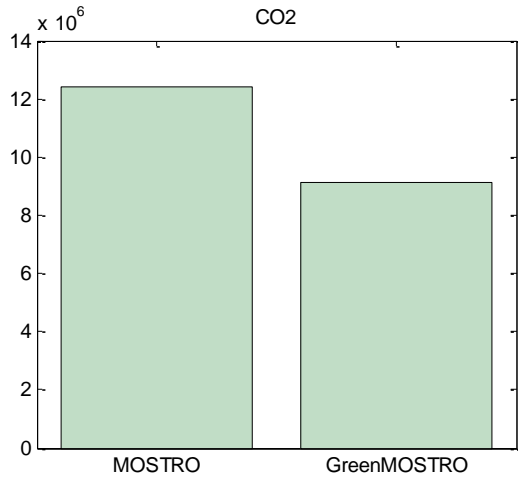
Fig. Colas MOSTRO



# Experimento 1



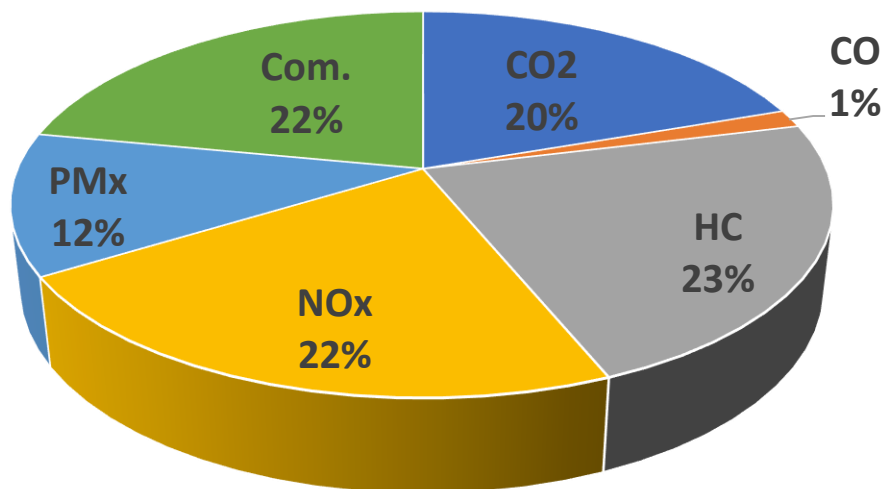
# Esperimento 2



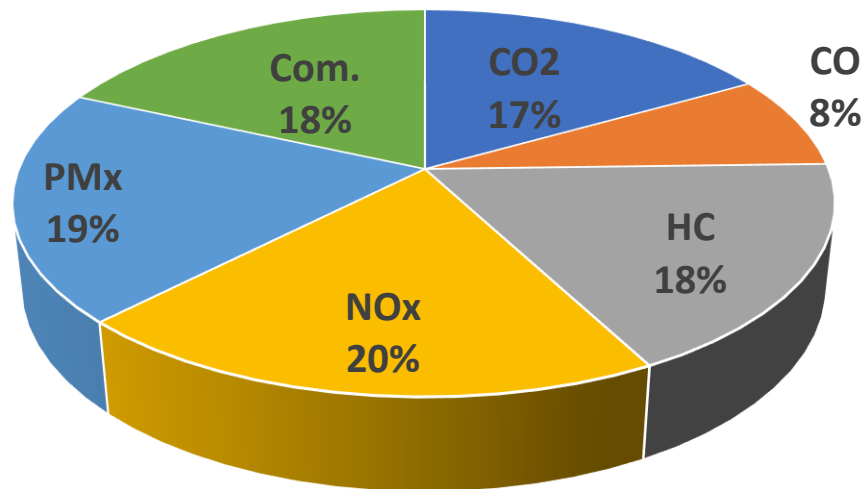
# Resultados de simulación

**Porcentajes de mejora: Estrategia GreenMostro respecto a MOSTRO**

EXPERIMENTO 1



EXPERIMENTO 2



# Conclusiones

- El desempeño de la estrategia GreenMOSTRO fue demostrada y comparada por medio de porcentajes de mejora para cada uno de los contaminantes ingresando una flota vehicular mixta.
- Se logró identificar claramente la diferencia entre ambos objetivos de control y como esto determino el desempeño de GreenMOSTRO frente a las emisiones.
- De acuerdo a los resultados obtenidos, es posible evidenciar, que aunque muchas de las estrategias planteadas en la literatura se enfocan en mejorar la movilidad vial, estas a su vez no pueden asegurar una reducción considerable en las emisiones generadas por fuentes móviles. Resultados que se obtuvieron al comparar las estrategias de control MOSTRO y GreenMOSTRO



# Trabajo futuro



- **Intersecciones: 6**
- **Links : 15**
- **Señales: 12**

Fig. Corredor caso de estudio (Vista Google Maps)

# Trabajo futuro



# Referencias

- I. S. Hausberger, M. Rexeis, M. Zallinger, and R. Luz, “Emission Factors from the Model PHEM for the HBEFA Version 3,” p. 679. Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2012). Encuesta origen y destino de hogares 2012. Medellín.
- II. E. Mejía, L. Noreña, A. Sarrazola, and J. Espinosa, “MOSTRO : A Multi-Objective System for Traffic Optimization,” in IEEE 3er Colombian Conference on Automatic Control (CCAC 2017), 2017, pp. 0–5.
- III. A. Sarrazola, E. Mejía, L. Noreña, A. F. Acosta Gil, and J. Espinosa, “Aplicación de una estrategia multiobjetivo para la optimización de tráfico en la ciudad de Medellín,” in Congreso colombiano de transporte y tránsito 2017, 2017
- IV. Behrisch, M., Weber, M., & Conference, S. (2014). TraCI4Matlab: Enabling the Integration of the SUMO Road Traffic Simulator and Matlab® Through a Software Re-engineering Process, 203–221. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-15024-6>
- V. Coll, P., Factorovich, P., & Loiseau, I. (2013). A linear programming approach for adaptive synchronization of traffic signals. *International Transactions in Operational Research - IFORS*, 20, 667–679. <https://doi.org/10.1111/itor.12039>
- VI. MCV. (2015). *Medio ambiente en Medellín*.
- VII. Secretaría de Movilidad de Medellín. (2015). Informe Acumulado de Gestión 2012 - 2015 Impactos Obtenidos 2012-2015, 1–13.
- VIII. Van Audenhove, F.-J., Dauby, L., Korniiuchuk, O., & Pourbaix, J. (2014). The Future of Urban Mobility 2.0, (January), 72.



**Facultad de Minas**  
Sede Medellín



UNIVERSIDAD  
**NACIONAL**  
DE COLOMBIA

***Grupo de Automática de la Universidad Nacional - GAUNAL***  
***Facultad de Minas***

Carrera 80 #65-223

Medellín, Colombia

(+57 4) 425 52 95

[jespinov@unal.edu.co](mailto:jespinov@unal.edu.co)

 [gaunal.medellin.unal.edu.co](http://gaunal.medellin.unal.edu.co)  
[www.minas.medellin.unal.edu.co](http://www.minas.medellin.unal.edu.co)



# Estrategia de control MOSTRO



**MOSTRO**

(Multi Objective System for Traffic Optimization)

Maximizar la disponibilidad de la red mediante la minimización del sobrante de la capacidad de la red con el fin de llevar la red a un equilibrio, de tal forma que no se presenten acumulaciones y teniendo en cuenta un grupo de restricciones que representan condiciones físicas de la red y objetivos de control.

# Estrategia de control MOSTRO

Función objetivo y variables a optimizar:

$$\min_{\substack{S_1, \dots, S_{N_S} \\ T_{V_1}, \dots, T_{V_{N_S}} \\ \tau_{d_1}, \dots, \tau_{d_{N_i-1}}}} \sum_{i=1}^{N_S} \beta_i S_i$$

Se minimizan las variables Slack, las cuales representan la capacidad sobrante de la red haciendo uso de factores de ponderación.

Sujeto a:

$$\begin{aligned} \sum_{j \in F} T_{V_j, i}(k) &= T_{cF} \\ \frac{\alpha_{j, i} T_{cF}}{\alpha_{sat_i}} &\leq T_{v_i}(k) \leq T_{cF} \\ T_{V_{min}} &\leq T_{v_i}(k) \leq T_{cF} \\ \tau_{d_{min}} &\leq \tau_{d_j}(k) \leq \tau_{d_{max}} \\ \alpha_{j, i} T_{R_i}(k) &\leq \frac{L_{l_i} * N_{l_i}}{L_v} \\ \Phi_{ui} t_{ui}(k) &\leq \frac{L_{l_i} * N_{l_i}}{L_v} \\ T_{v_i}(k) + \tau_{d_j}(k) &\leq T_{cF} \end{aligned}$$

- Modelo acumulación dinámico de cada links
- Tiempo de ciclo
- Límites de los tiempos de verde
- Límites del tiempo de offset
- Capacidad máxima de los links