

U.N. Sede Medellín

Una universidad con criterio nacional y presencia regional



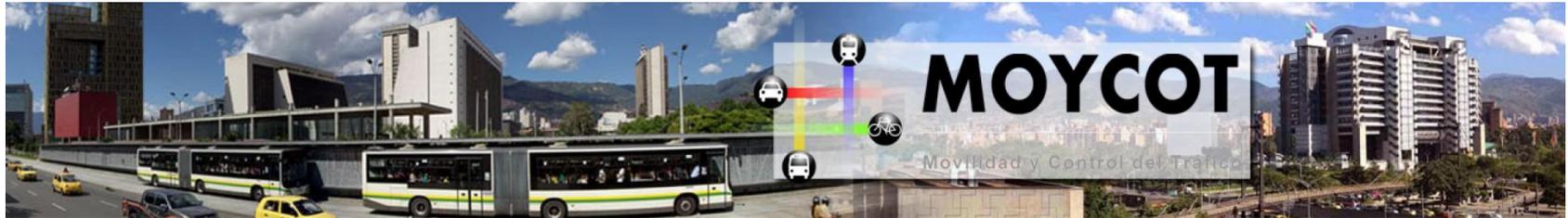
minas.medellin.unal.edu.co



Facultad de Minas
Sede Medellín



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA



Evaluación de la dispersión de contaminantes en un escenario de tráfico urbano de la ciudad de medellín

Ing. César Augusto Gómez M.Sc. Ph.D.

Prof. Ing. Jairo Espinosa M.Sc. Ph.D.



www.moycot.org

 @moycot

 @moycotmed

Introducción

- La calidad del aire es afectada en zonas urbanas por:
 - El aumento del parque automotor.
 - Mala calidad de combustibles.
 - El aumento de urbanización y densificación de la población.
- Los fenómenos atmosféricos son complejos.
- La evaluación de la calidad del aire requiere entender las complejas interacciones entre la dinámica de movimiento del aire y fenómenos químicos.

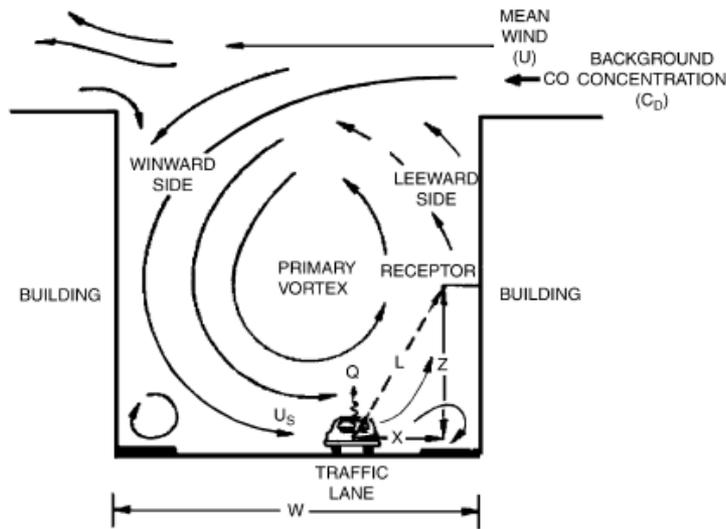


Dinámica de fluidos Computacional (CFD)

- Predecir comportamientos en simulaciones permite realizar experimentos bajo ambientes controlados.
- Modelos Matemáticos.
- Métodos Numéricos.
- Visión Holística.
- Evaluación de casos.



CFD y la dispersión de contaminantes

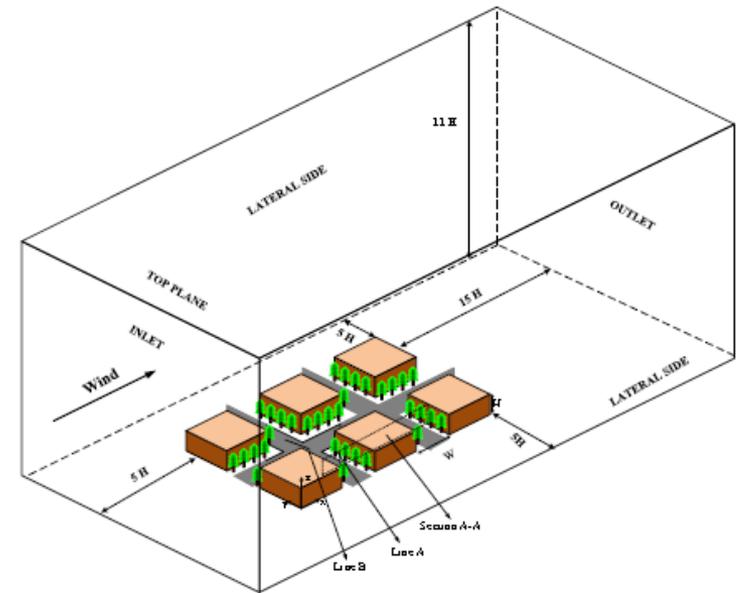


Estancamiento de flujo de aire por construcciones [2].

- Street Canyons: Zanjas artificiales formadas por edificios. Estos han sido ampliamente estudiados en la literatura [1]
- Modelos de tipo LES pueden predecir mejor el comportamiento del viento en estas zonas [2].

CFD y la dispersión de contaminantes

- El efecto de zonas verdes también ha sido evaluado en simulaciones.
- Los resultados apuntan que demasiados árboles producen zonas de estancamiento [3].
- Poca densidad de árboles por el contrario permite condiciones de turbulencia que favorecen el mezclado del medio [4].
- No se han tenido en cuenta en un escenario con reacciones químicas.

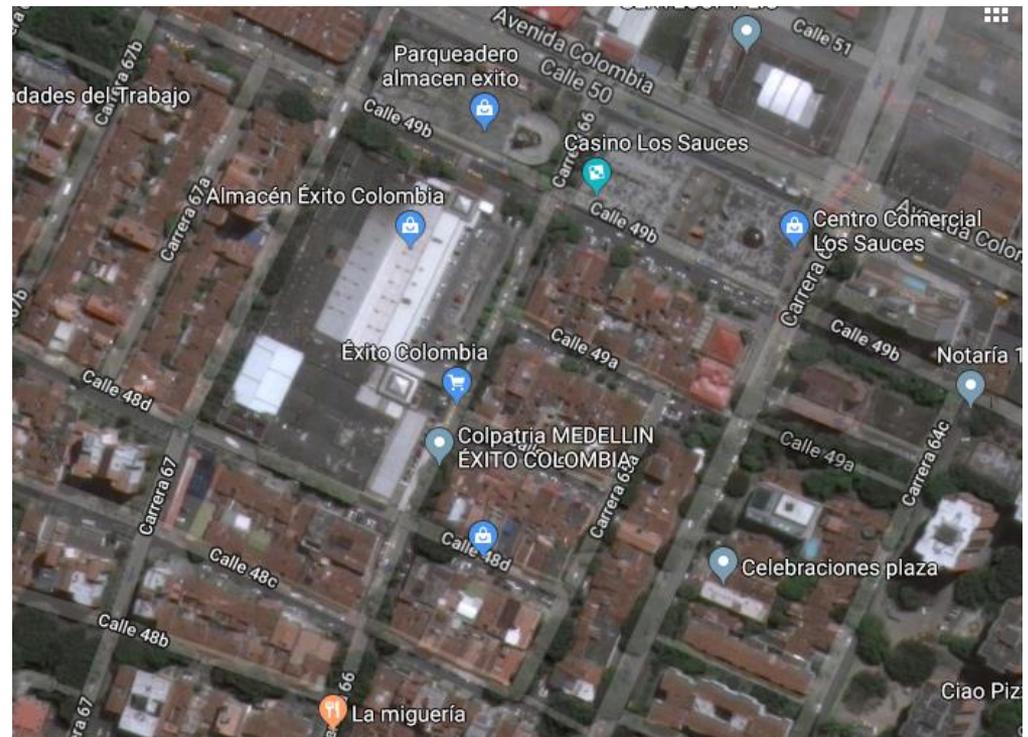


Evaluación de construcciones en el flujo del aire.
Efecto de zona verde [5].

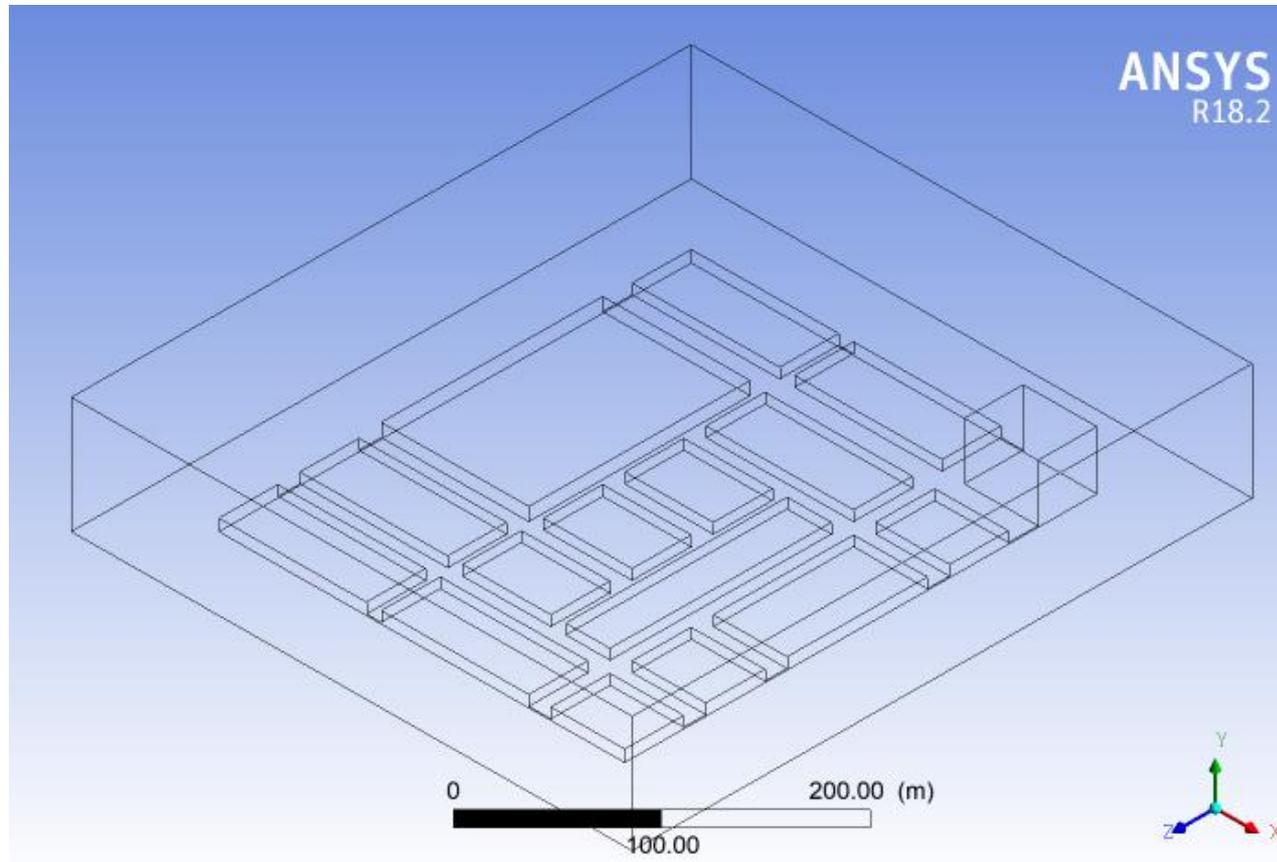
Escenario de simulación en medellin

Escenario:

- Carrera 64c-Carrera 67.
- Calle 50-Calle 48c.



Geometría del escenario



Modelos matemáticos: CFD

- Modelo de turbulencia k- ω SST [6]:

Continuidad:
$$\frac{\partial \rho \bar{u}_i}{\partial x_i} = 0$$

Movimiento:
$$\rho \bar{u}_i \frac{\partial \rho \bar{u}_i}{\partial x_i} = \frac{\partial \bar{P}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\mu \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_i} - \rho \overline{u_i u_j} \right] + \rho g_i$$

Parámetro k:
$$\langle U_j \rangle \frac{\partial k}{\partial x_i} = P_k - \beta^* k \omega + \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right]$$

Parámetro ω :

$$\langle U_j \rangle \frac{\partial \omega}{\partial x_j} = \alpha \frac{\omega}{k} P_k - \beta \omega^2 + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\omega} \right) \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right] + 2 \frac{(1 - F_1)}{\sigma_{\omega 2}} \frac{1}{\omega} \frac{\partial k}{\partial x_j} \frac{\partial \omega}{\partial x_j}$$

Condiciones Frontera

- Perfil de velocidad de viento de entrada.

$$u = u_0 \left(\frac{z}{z_0} \right)^a$$

- Perfil para los parámetros k y ω en el flujo de entrada.

$$k = \frac{u_0^2}{\sqrt{C_\mu}}$$

$$\omega = \frac{u_0}{k \sqrt{C_\mu} (z + z_0)}$$

- Generación de emisiones fue modelado como un flujo de masa con las siguientes concentraciones:

$$x_{CO_2} = 0.98$$

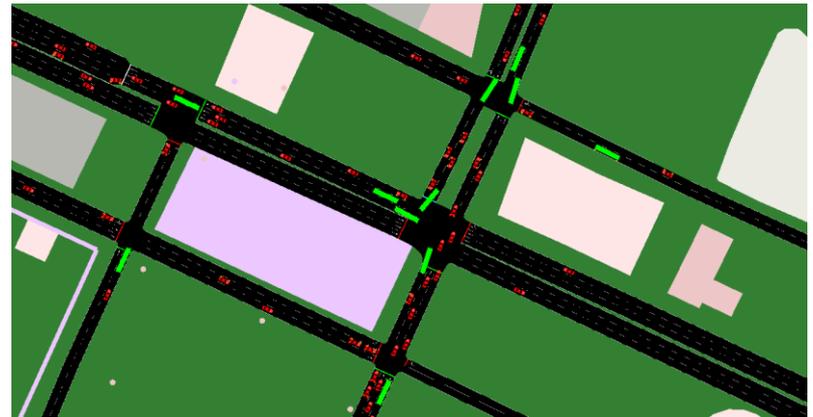
$$x_{CO} = 0.016$$

$$x_{NOx} = 0.004$$

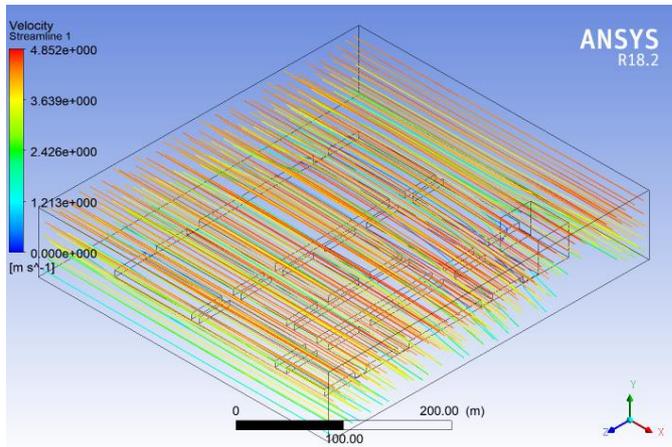
Simulación del tráfico en SUMO



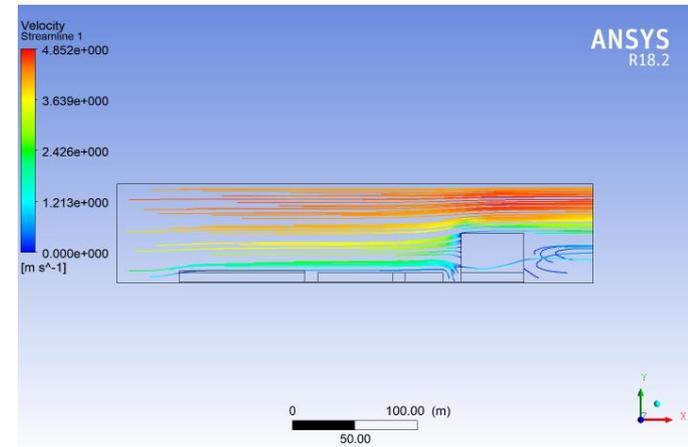
- Simulación en SUMO de tráfico integrado con el modelo de emisiones HBEFA.
- En promedio son emitidos 128 kg/s de gases contaminantes
- Los datos de emisión de gases son integrados al CFD como una condición de frontera.



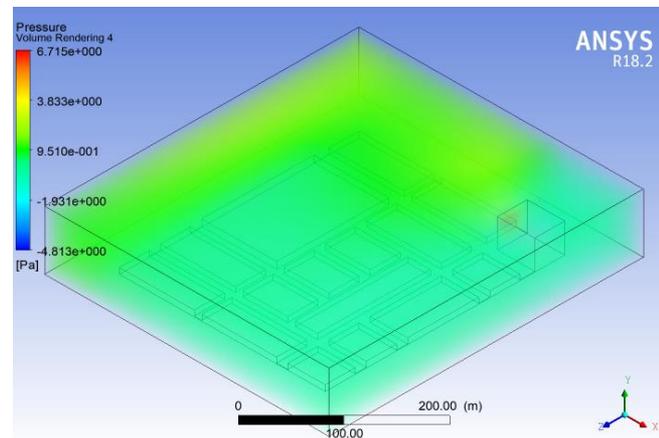
Resultados: Escenario de simulación en Medellín



Líneas de flujo del aire

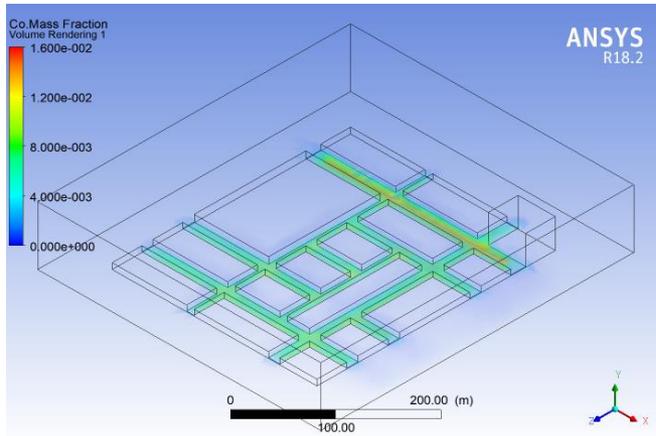


Líneas de flujo del aire: visión transversal

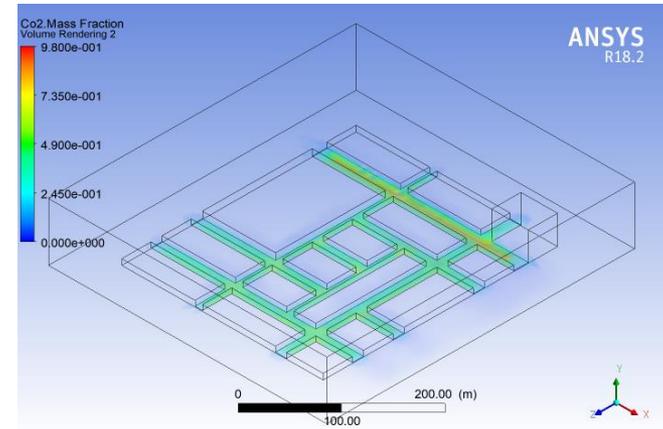


Perfil de la presión

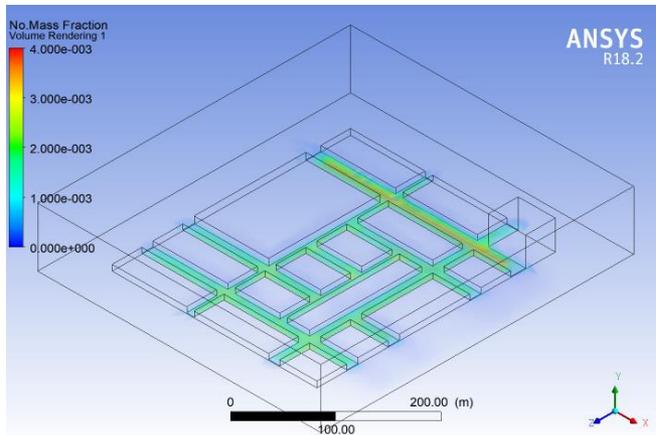
Resultados: Escenario de simulación en Medellín



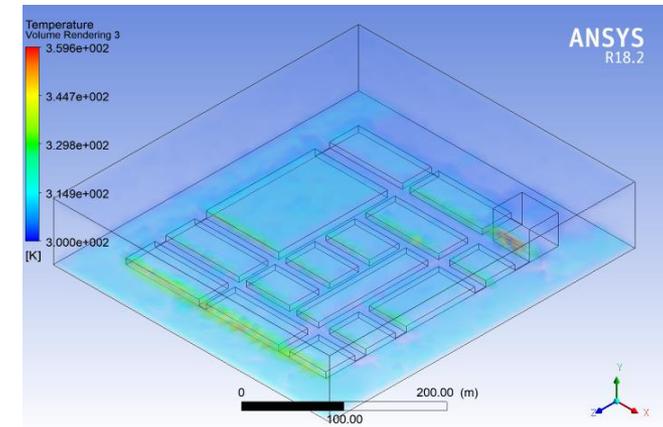
Perfil de Concentración de CO



Perfil de Concentración de CO₂



Perfil de Concentración de NO_x



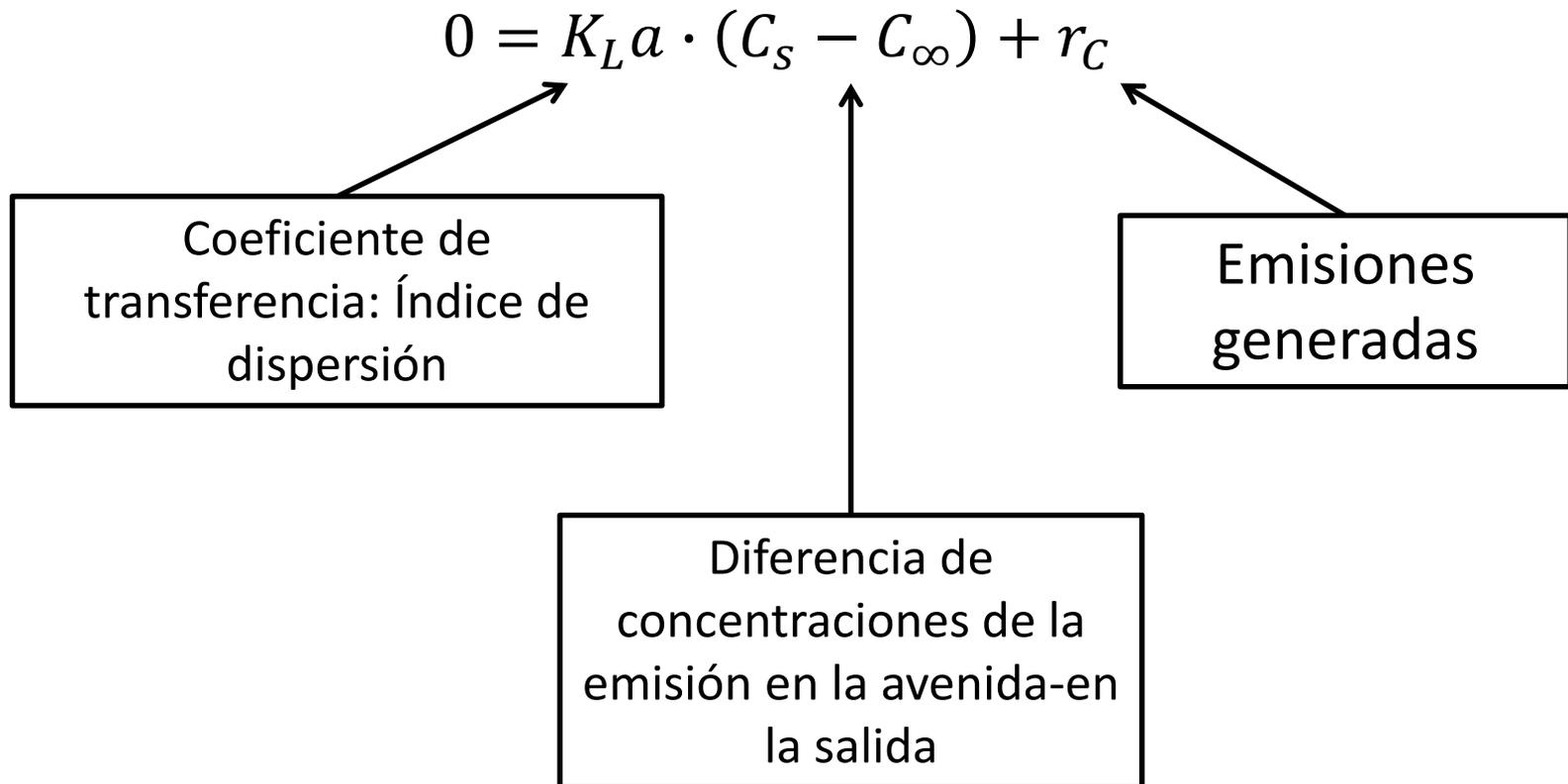
Perfil de Temperatura

Análisis de resultados de simulación

- Puntos calientes (Hot spots).
- Coeficientes de transferencia de masa.
- Concentración promedio de salida a la atmosfera.
- Tiempos de residencia.
- Numero de Schmith.
- Seguimiento de partículas.

Evaluación del coeficiente de transferencia de masa

- En el estado estacionario (o pseudoestacionario):



Resultados: Escenario de simulación Medellín

Coeficientes de transferencia de masa:

- $Kla_{CO_2} = 1155.92 \text{ (1/s)}$
- $Kla_{CO} = 45062.4 \text{ (1/s)}$
- $Kla_{NOx} = 193086.5 \text{ (1/s)}$

Puntos calientes:

- $C_{max_{CO_2}} = 5.63 \text{ (mol/m}^3\text{)}$
- $C_{max_{CO}} = 0.14 \text{ (mol/m}^3\text{)}$
- $C_{max_{NOx}} = 0.033 \text{ (mol/m}^3\text{)}$

Concentración promedio:

- $C_{prm_{CO_2}} = 0,8 \text{ (mol/m}^3\text{)}$
- $C_{prm_{CO}} = 0,02 \text{ (mol/m}^3\text{)}$
- $C_{prm_{NOx}} = 0,0047 \text{ (mol/m}^3\text{)}$

Conclusiones

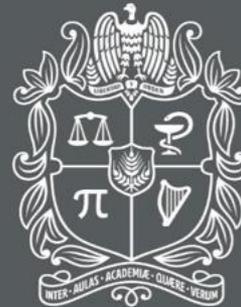
- La simulación en CFD es una herramienta viable para evaluar diferentes características de un escenario de movilidad y la dispersión de contaminantes.
- A partir de la información de SUMO podemos evidenciar la cantidad de contaminantes emitidos por una demanda de móviles.
- Esta información permite encontrar índices como puntos calientes y coeficientes de transferencia de masa, que permiten evaluar el efecto de los edificios en la dispersión.

Referencias

1. Xiang-Xiang Li, Chun Ho Liu, Dennis Y.C. Leung, K.M. Lam (2006) *Recent progress in CFD modelling of wind field and pollutant transport in street canyons*. Atmospheric Environment, Vol. 40, pp 5640-5658.
2. Sotoris Vardoulakis, Bernard E. A. Fisher, Koulis Pericleous, Norbert Gonzalez-Flesca (2003) *Modelling air quality in street canyons: a review*. Atmospheric Environment, Vol 37, pp 155-182.
3. Tobi Eniolu Morakinyo and Yun Fat Lam (2016) *Study of traffic related pollutant removal from street canyon with trees: dispersion and deposition perspective*. Environmental Science and Pollution Research, Vol 23, No. 21, pp. 21652-21668.
4. A.P.R. Jeanjean, G. Hinchliffe, W.A. McMullan, P.S. Monks, R.J. Leigh (2015) *A CFD study on the effectiveness of trees to disperse road traffic emissions at a city scale*. Atmospheric Environment, Vol 120, pp. 1-14.
5. Maryam Moradpour, Hossein Afshin, Bijan Farhanieh (2017) *A numerical investigation of reactive air pollutant dispersion in urban street canyons with tree planting*. Atmospheric Pollution Research, Vol 8, pp. 253-266.
6. Hesheng Yu, Jesse Thé (2016) *Validation and optimization on SST k-w turbulence model for pollutant dispersion within a building array*. Atmospheric Environment, Vol 145, pp. 225-238.



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

gaunal.medellin.unal.edu.co

www.minas.medellin.unal.edu.co