

U.N. Sede Medellín

Una universidad con criterio nacional y presencia regional



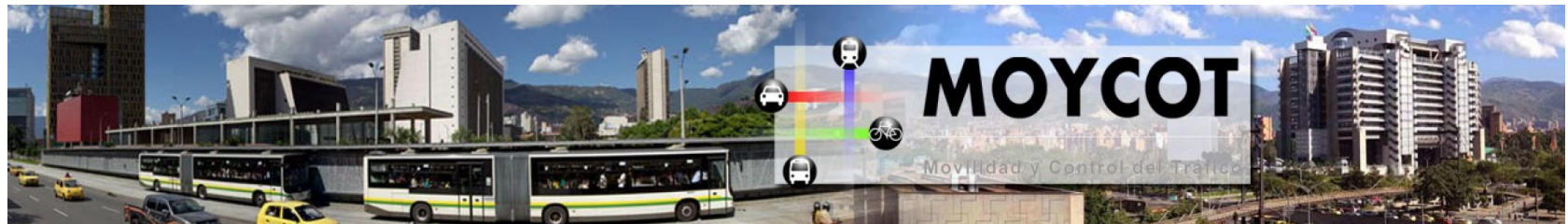
minas.medellin.unal.edu.co



Facultad de Minas
Sede Medellín



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA



Evaluación de la dispersión de contaminantes de fuente vehicular utilizando OpenFOAM y SUMO

Ing. César Augusto Gómez M.Sc. Ph.D.

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



www.moycot.org

 @moycot

 @moycotmed

Introducción

- La información obtenida de elementos de medición implementados en la ciudad de Medellín, permitieron evaluar el estado de la calidad del aire. ¿Qué pasa en los lugares que no podemos medir?
- 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.
- La evaluación de la calidad del aire requiere entender las complejas interacciones entre la dinámica de movimiento del aire y los fenómenos atmosféricos.



Dinámica de fluidos Computacional (CFD)

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



Figura 1. Perfil de velocidad del aire alrededor de edificios [1].

CFD y la dispersión de contaminantes

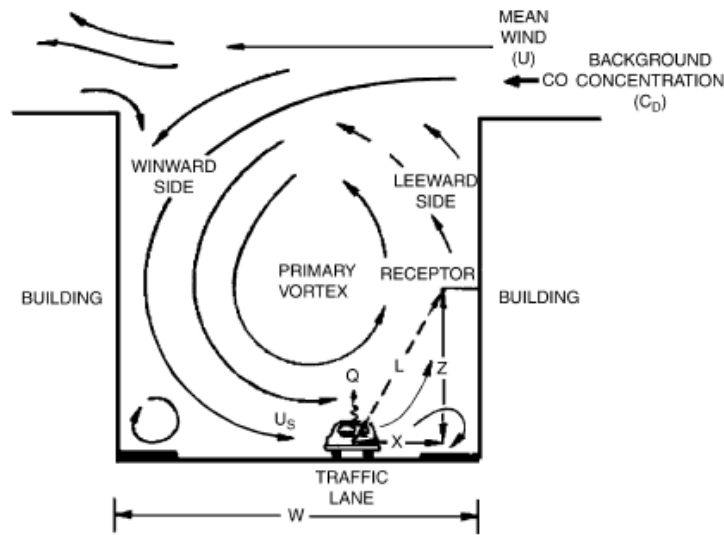


Figura 2. Estancamiento de flujo de aire por construcciones [3].

- Street Canyons: Zanjas artificiales formadas por edificios. Estos han sido ampliamente estudiados en la literatura [2].
- Modelos de tipo LES pueden predecir mejor el comportamiento del viento en estas zonas [3].

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 [4].
- Poca densidad de árboles por el contrario permite condiciones de turbulencia que favorecen el mezclado del medio [5].

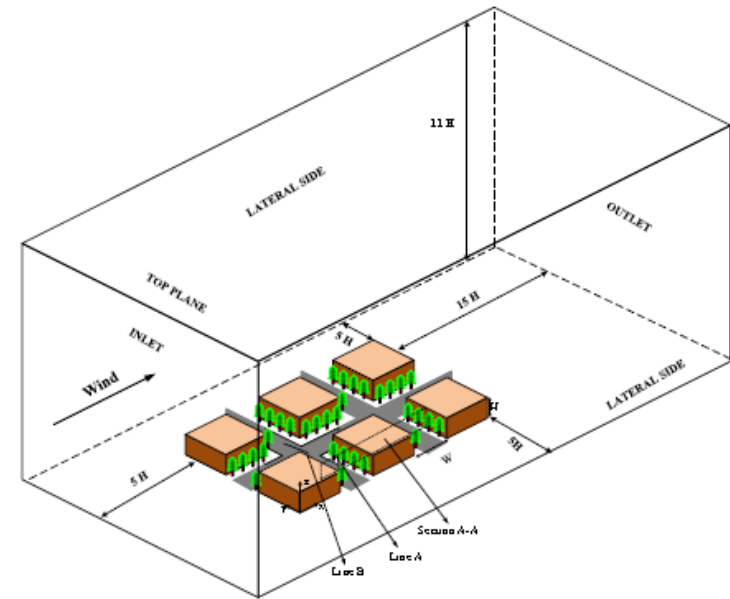


Figura 3. Evaluación de construcciones en el flujo del aire. Efecto de zona verde [6].

OpenFOAM

- Ventajas:
 - Software de código abierto.
 - Integración para hacer cosimulación con SUMO.
 - Los cálculos son más eficientes y rápidos.
- Desventajas:
 - Código poco amigable.
 - No tiene interfaz gráfica.
 - Pocos tutoriales disponibles, no hay soporte.

Simulación de emisiones vehiculares para la evaluación de la calidad del aire (TrEmA)

- Herramienta de simulación para la predicción de la calidad del aire en escenarios de movilidad.
- Pasos a desarrollar:
 - Identificar el escenario.
 - Construir la geometría y la malla.
 - Identificar un modelo CFD.
 - Predecir emisiones utilizando SUMO-HBEFA.
 - Establecer condiciones frontera y condiciones iniciales.
 - Realizar simulación.
 - Análisis de resultados.

Identificar el escenario

Intersección:
Calle Colombia – Carrera 65

Fenómenos a evaluar:
Fluidodinámica del aire.
Emisiones vehiculares.

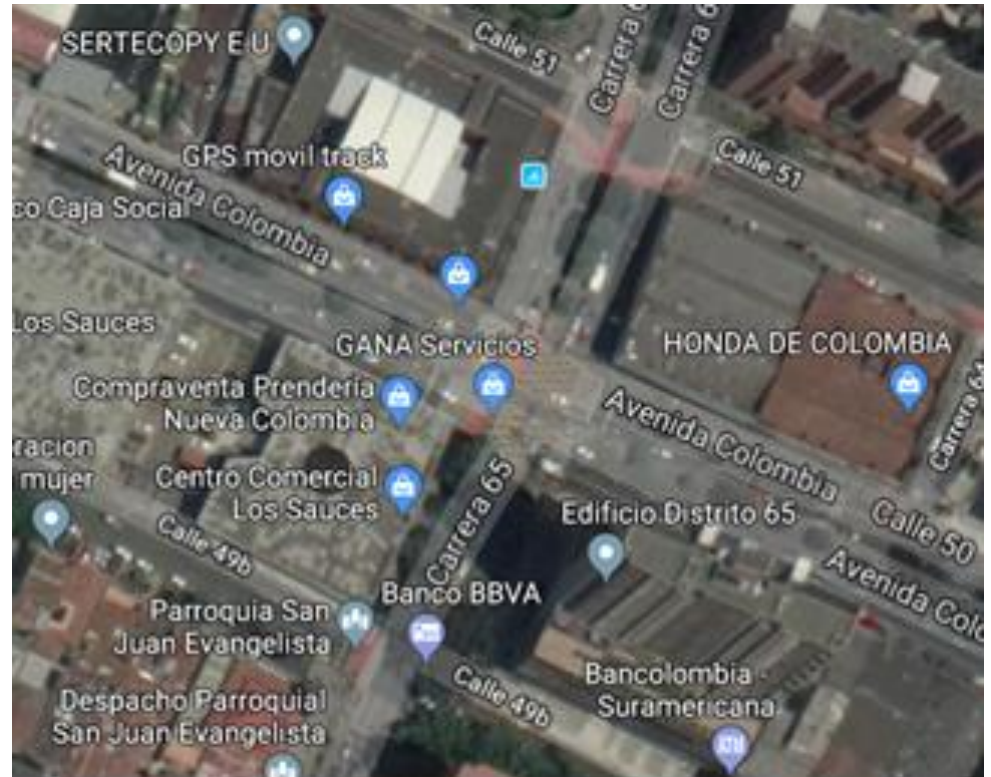


Figura 4. Mapa de escenario de movilidad.

Construir la geometría y la malla (SALOME)

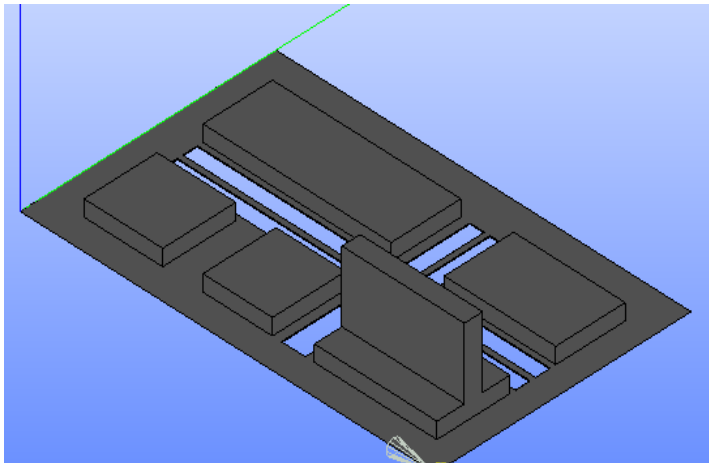


Figura 5. Geometría del escenario
Calle Colombia – Carrera 65.

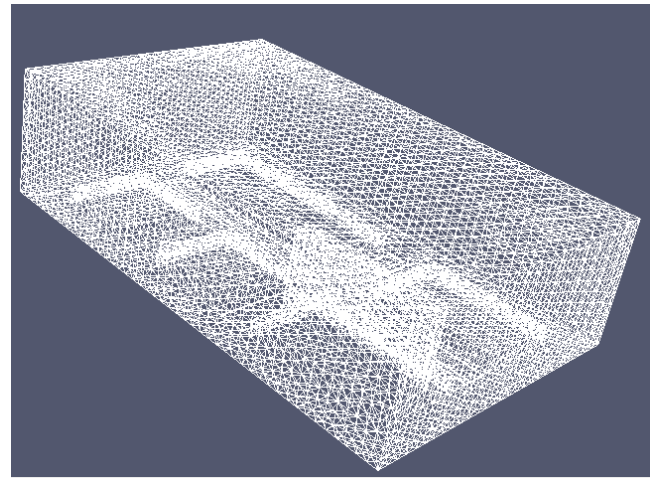


Figura 6. Malla del escenario.

Identificar un modelo CFD

Fluidodinámica

- Navier-Stokes (laminar).
- Reynolds Average Simulation.
 - Spalart-almaras
 - K- ϵ
 - K- ω
- Large Eddy Simulation.
 - Differential stress equation
 - Smagorisky model
 - Dynamic Lagragian

Especies (contaminantes)

- Modelo de transporte escalar.
- Modelo de balance de especies.

Evaluar emisiones con SUMO

- Demandas:
 - Matriz origen-destino.
 - Cámaras.
 - O1c,O2c,O3c,O4c.
(veh/h)
- Coordinación del semáforo:
 - Tiempo fijo.

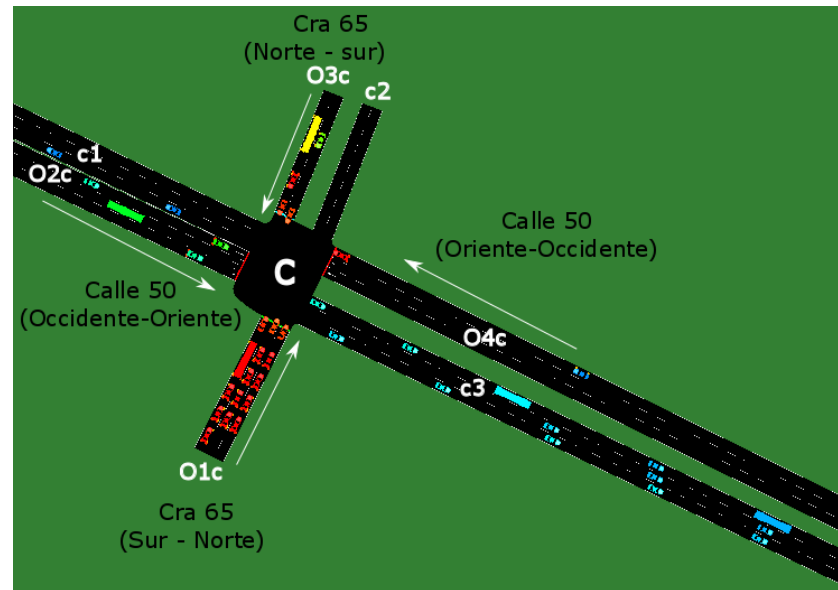
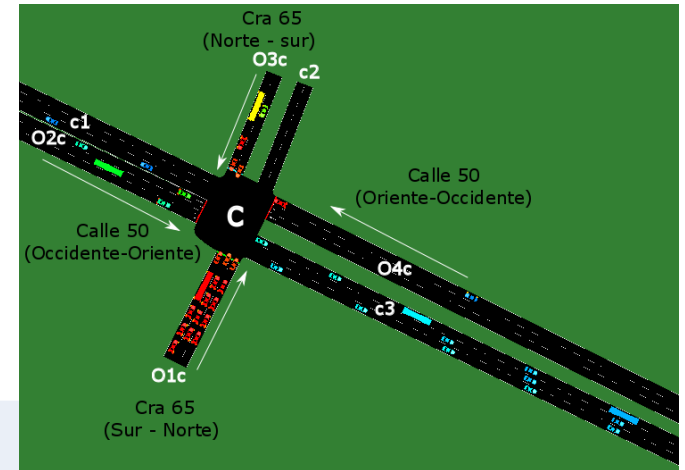


Figura 11. Escenario de movilidad:
Nomenclatura en SUMO.

Evaluar emisiones con SUMO

Modelo de predicción de emisiones: HBEFA.



	Flujo de NOx (kg/h)						
Hora	c1	c2	c3	O1c	O2c	O3c	O4c
6-7 am	491243	73786	2093679	189194	1821283	17805	594618
7-8 am	696802	93623	2171550	231875	1828104	45588	798706
8-9 am	566942	89755	2233540	251670	1794554	30841	683613
9-10 am	632026	87305	2022790	229748	1651046	32435	736846
10-11 am	633816	82482	1865971	210906	1535093	30918	741215
11-12 m	699778	82922	1853718	200610	1534343	34071	830531

Establecer condiciones frontera y condiciones iniciales

- Velocidad del viento:
 - Magnitud del viento
 - Dirección
- Demanda de Vehículos:
 - Número de vehículos
 - Coordinación
- Flujo de emisiones:
 - Velocidad de emisión
 - Concentración emisión

Establecer condiciones frontera

Velocidad del viento:

https://siata.gov.co/siata_nuevo/

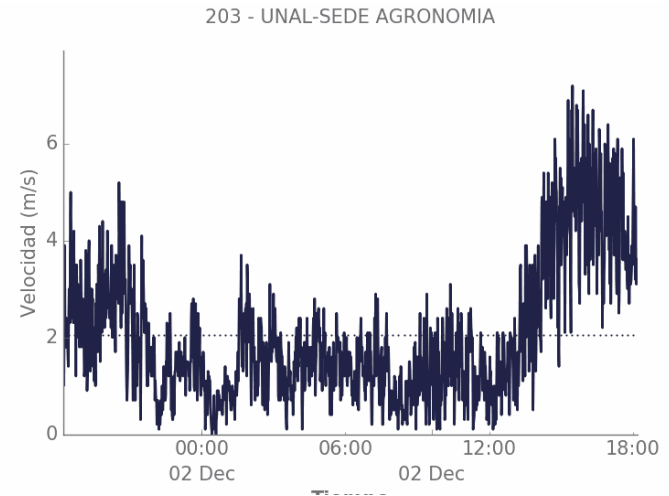


Figura 7. Velocidad del viento (UNAL)

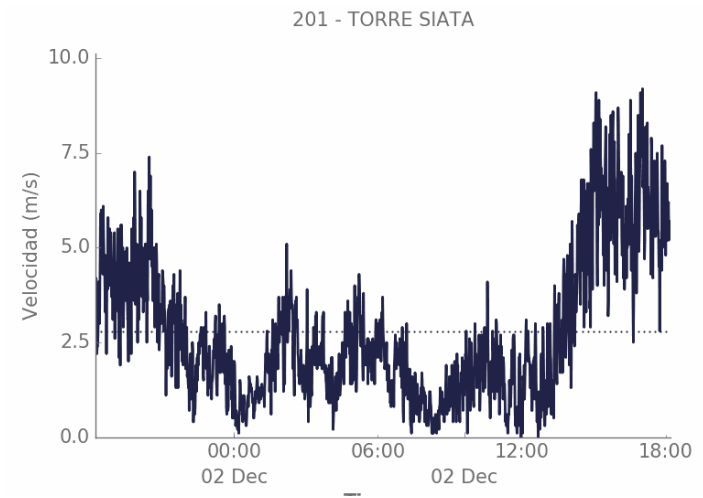


Figura 8. Velocidad del viento (SIATA)

Establecer condiciones frontera

Dirección del viento:

Torre SIATA

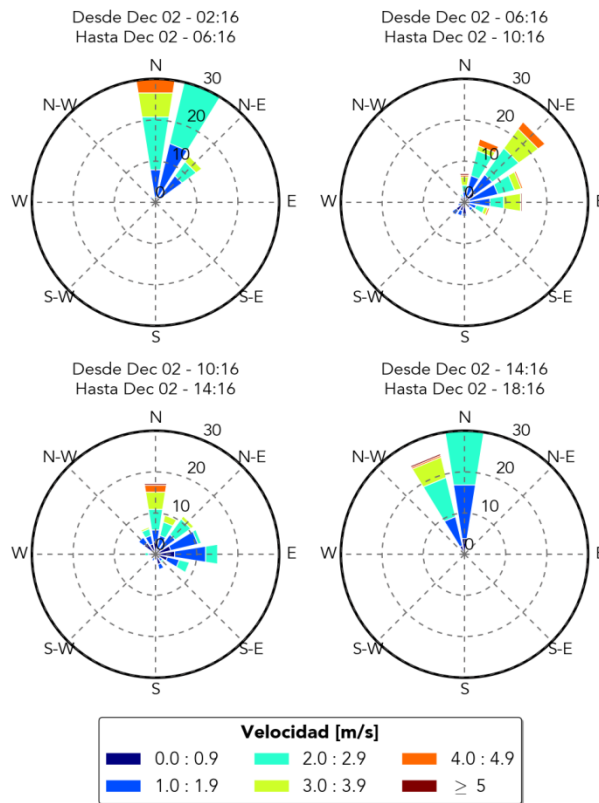


Figura 9. Roseta del viento (SIATA)

UNAL

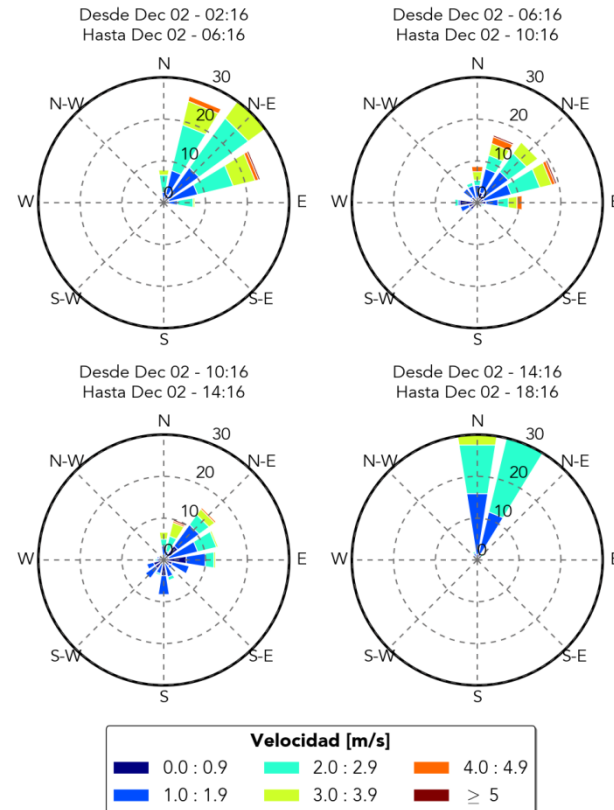
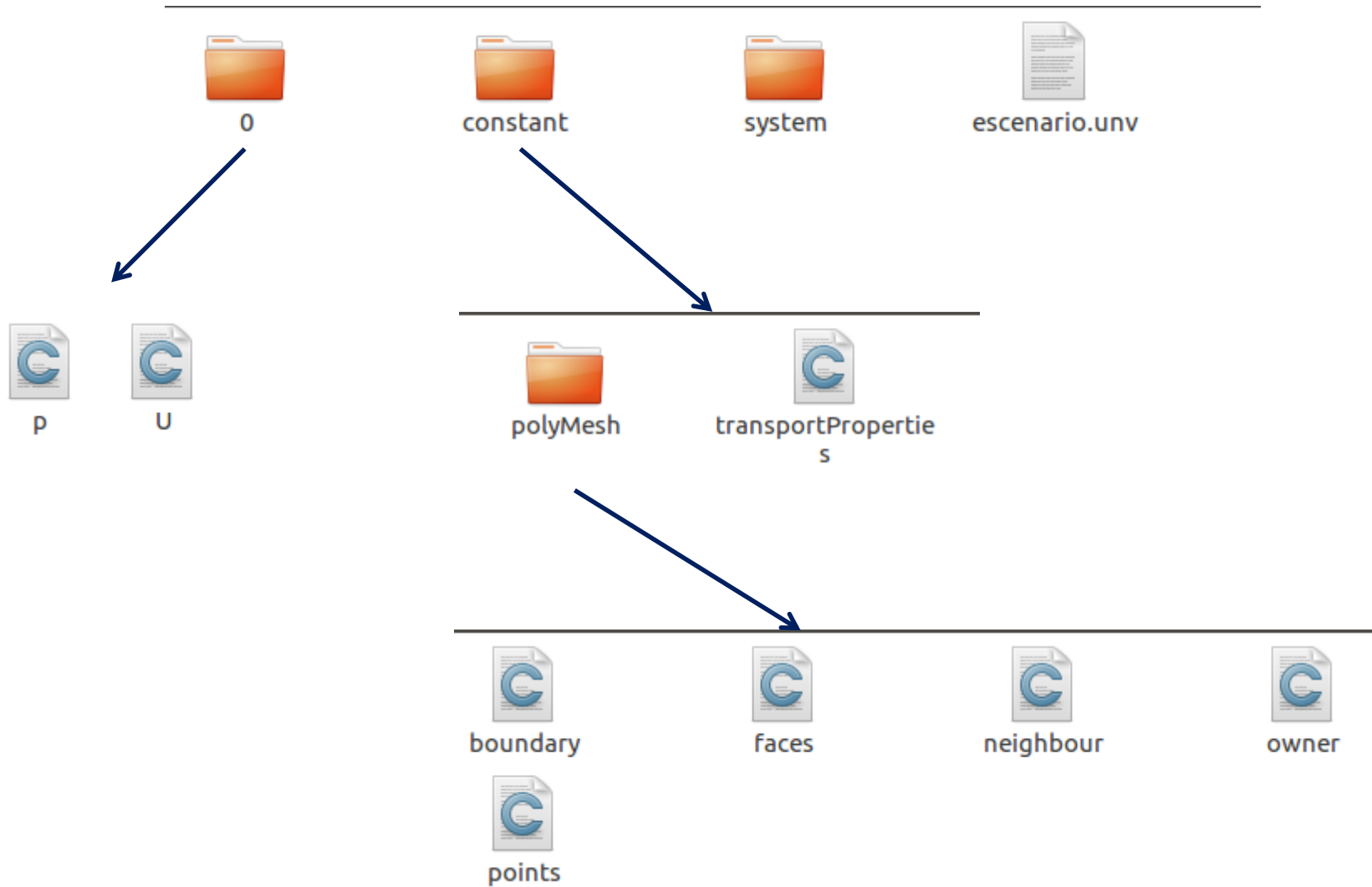


Figura 10. Roseta del viento (SIATA)

Programación



Condiciones frontera

Presión

```
boundaryField
{
    Wall
    {
        type            zeroGradient;
    }
    Wind
    {
        type            zeroGradient;
    }
    Open
    {
        type            fixedValue;
        value            uniform 0;
    }
    01c
    {
        type            zeroGradient;
    }
    c3
    {
        type            zeroGradient;
    }
    04c
    {
        type            zeroGradient;
    }
    c2
    {
        type            zeroGradient;
    }
    03c
    {
        type            zeroGradient;
    }
}
```

Velocidad

```
boundaryField
{
    Wall
    {
        type            fixedValue;
        value            uniform (0 0 0);
    }
    Wind
    {
        type            fixedValue;
        value            uniform (1.375 2.38 0);
    }
    Open
    {
        type            zeroGradient;
    }
    01c
    {
        type            fixedValue;
        value            uniform (0 0 0.0003);
    }
    c3
    {
        type            fixedValue;
        value            uniform (0 0 0.0035);
    }
    04c
    {
        type            fixedValue;
        value            uniform (0 0 0.001);
    }
    c2
    {
        type            fixedValue;
        value            uniform (0 0 0.0002);
    }
}
```

Condiciones frontera

	Velocidad(m/s)						
Hora	c1	c2	c3	O1c	O2c	O3c	O4c
6-7 am	0,00049	0,00020	0,0035	0,00030	0,0018	4,8E-05	0,0010
7-8 am	0,00069	0,00025	0,0036	0,00037	0,0018	1,2E-04	0,0013
8-9 am	0,00056	0,00024	0,0038	0,00040	0,0018	8,3E-05	0,0011
9-10 am	0,00063	0,00024	0,0034	0,00036	0,0016	8,7E-05	0,0012
10-11 am	0,00063	0,00022	0,0031	0,00033	0,0015	8,3E-05	0,0012
11-12 m	0,00070	0,00022	0,0031	0,00032	0,0015	9,2E-05	0,0014

```

boundaryField
{
    Wall
    {
        type          fixedValue;
        value          uniform (0 0 0);
    }
    Wind
    {
        type          fixedValue;
        value          uniform (1.375 2.38 0);
    }
    Open
    {
        type          zeroGradient;
    }
    O1c
    {
        type          fixedValue;
        value          uniform (0 0 0.0003);
    }
    c3
    {
        type          fixedValue;
        value          uniform (0 0 0.0035);
    }
    O4c
    {
        type          fixedValue;
        value          uniform (0 0 0.001);
    }
    c2
    {
        type          fixedValue;
        value          uniform (0 0 0.0002);
    }
}
    
```

Resultados

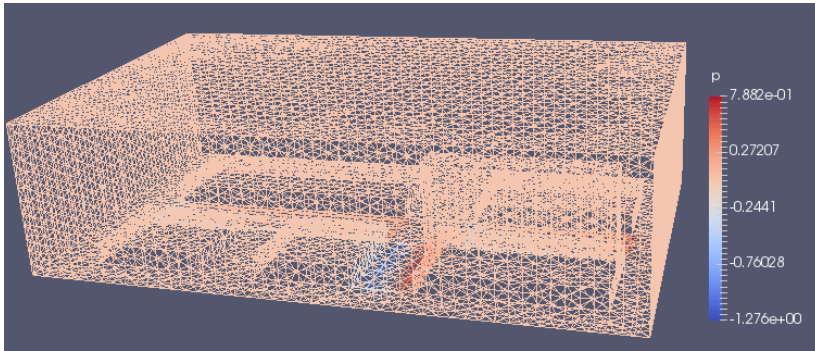


Figura 12. Perfil de presión.

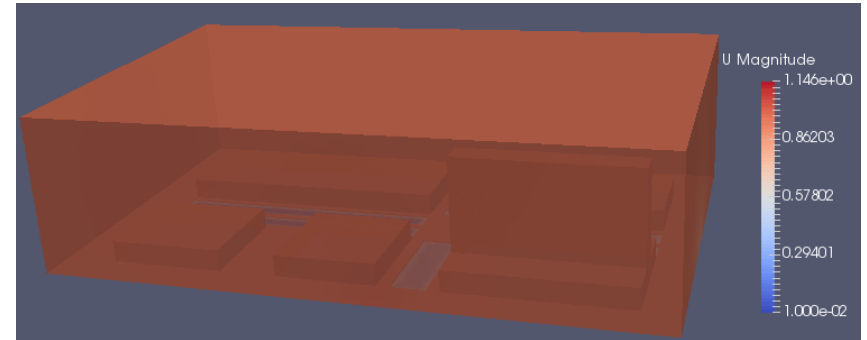


Figura 13. Perfil de velocidades.

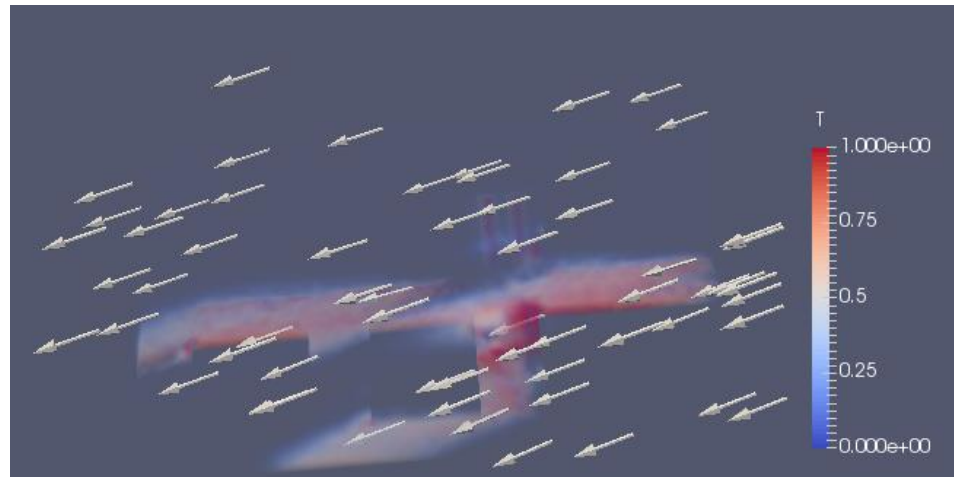
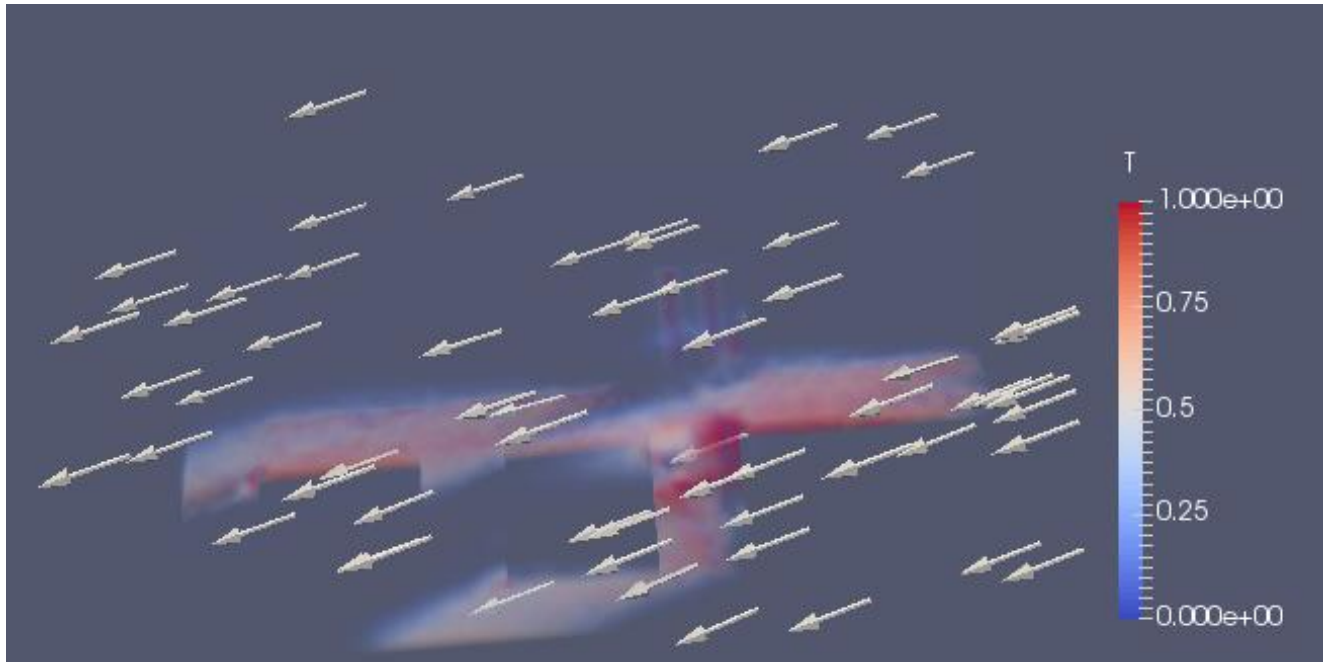


Figura 14. Perfil de fracción másica.

Videos



Técnicas de coordinación

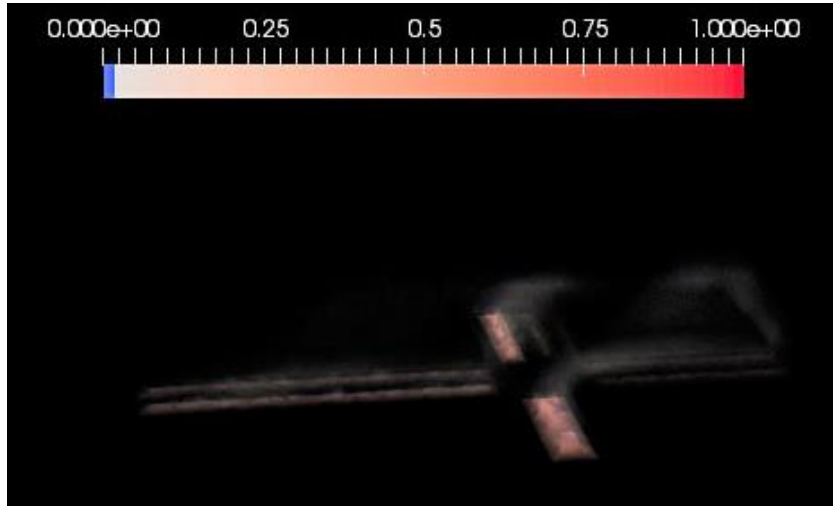


Figura 15. Tiempo Fijo.

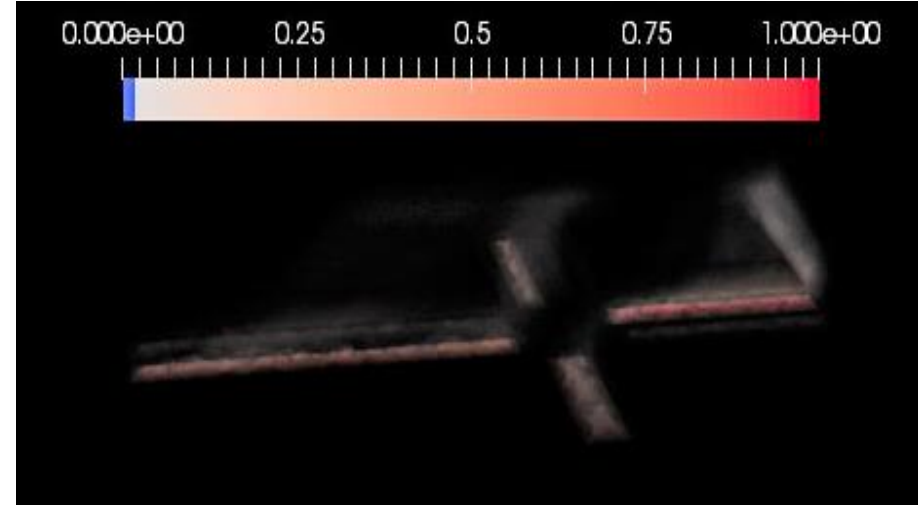


Figura 16. Multi-Objective System for Traffic Optimization (MOSTRO).

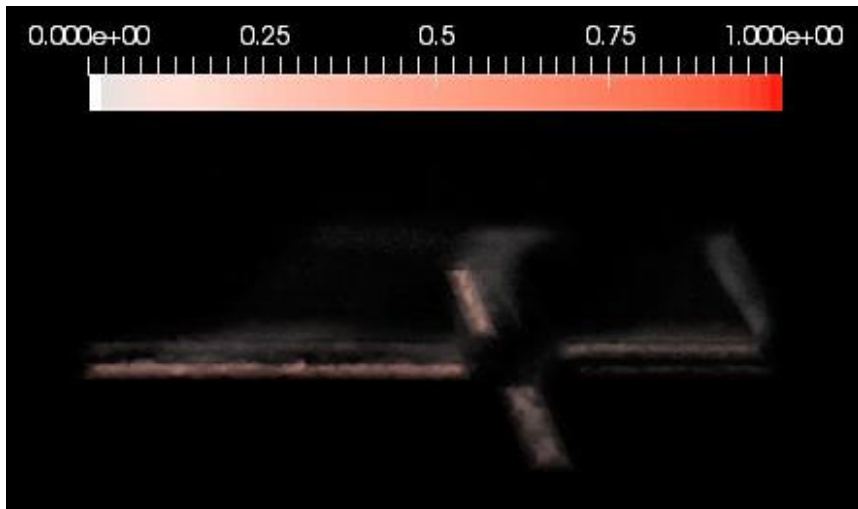


Figura 17. GreenMOSTRO.

Conclusiones

- La integración de las plataformas de código abierto OpenFOAM y SUMO (TrEmA) permiten evaluar escenarios de contaminación en las ciudades.
- A partir de la integración es posible comparar acciones que mitiguen las emisiones de contaminantes.
- El estudio fluidodinámico de la dispersión de contaminantes permite predecir los puntos de alta concentración de contaminantes que son perjudiciales para la salud.

Referencias

1. Meruyert Zhunussova, Martin Jaeger, Desmond Adair (2017) *Application of CFD modelling to air quality in Kuwait City*, Environmental Fluid Mechanics, Vol 17, No. 2, pp 395-413.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. 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.

○ I. Q. César Augusto Gómez Pérez

○ Tel: 3007853628

○ Email: cagomez@unal.edu



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