



UNIÓN EUROPEA
Fondos estructurales
Invertimos en su futuro



*Programas de Actividades de I +
D entre grupos de investigación
de la Comunidad
de Madrid en Tecnologías 2018*



4ª Reunión del Comité Científico-Técnico

Simulaciones a microescala:

Indoor-outdoor y efecto de la vegetación urbana

E. Rivas, J.L. Santiago, A. Martilli, F. Martín

Unidad de Modelización Atmosférica. Departamento de Medio Ambiente, CIEMAT

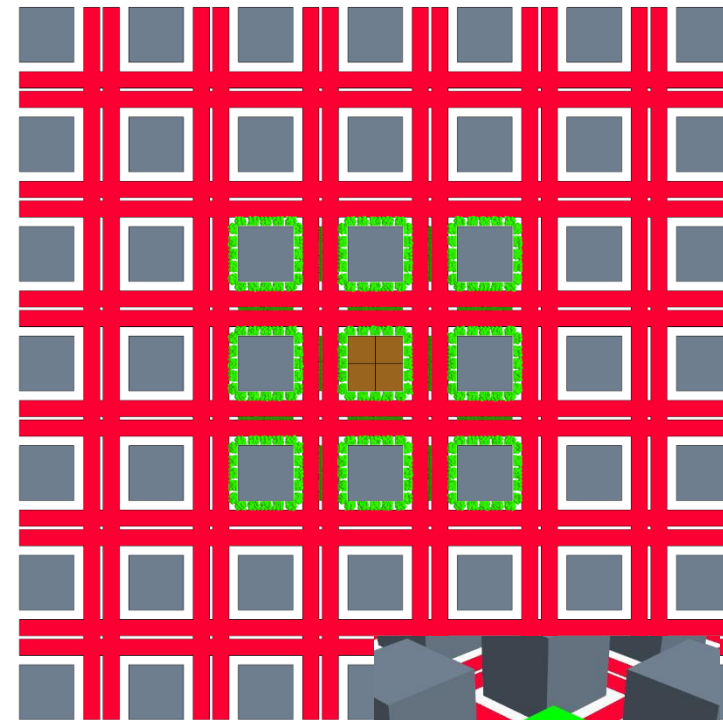
Efectos vegetación urbana

IMPACTO DE DIFERENTES COMBINACIONES DE ELEMENTOS DE INFRAESTRUCTURAS VERDES SOBRE CONCENTRACIÓN DE CONTAMINANTES PROCEDENTES DEL TRÁFICO EN ZONAS URBANAS



Objetivo:

- Investigar el **impacto de múltiples combinaciones de vegetación** en concentración contaminantes a nivel de peatón.
- Determinación de **configuración óptima** y **contribución de cada elemento de vegetación** al impacto neto. **Contribución del depósito y efectos aerodinámicos de cada elemento.**
- Amplio número de escenarios investigados con modelización (19 infraestructuras verdes (GI) simuladas y 116 escenarios simulados).
- Simulaciones del área con vegetación + calles de alrededor. Direcciones de viento: 0º y 45º
- 7 x 7 edificios de 35 m de altura.



*Santiago et al., 2022.
Forests, 13(8), 1195*



Efectos vegetación urbana

VEG_1

VEG_2

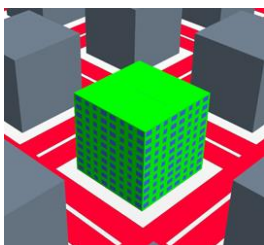
VEG_3

VEG_4

VEG_5

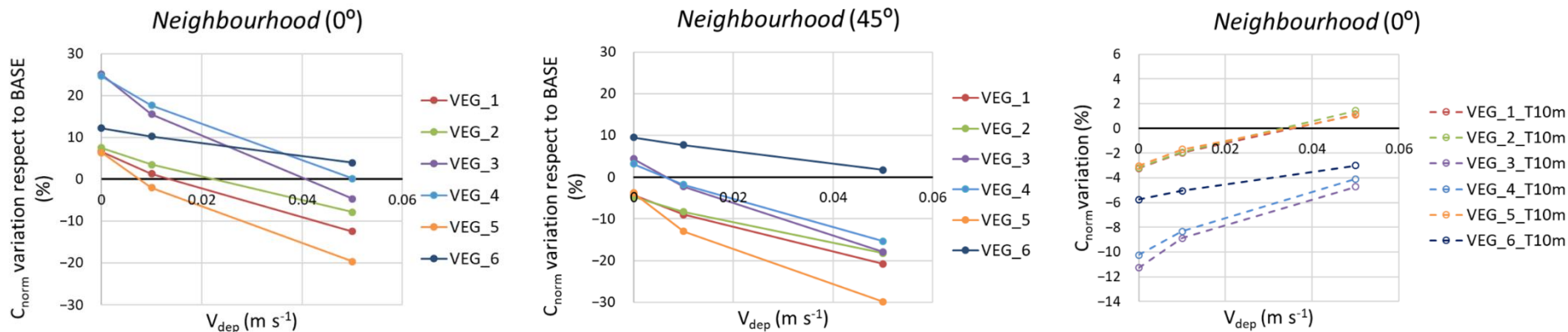
VEG_6

Scenario	Sidewalk GI	Median strip GI	Green roof Green walls
BASE	NO	NO	NO
BASE_GRGW	NO	NO	YES
VEG_1	15 m height trees	Hedgerows	NO
VEG_1_T10 m	10 m height trees	Hedgerows	NO
VEG_1_GRGW	15 m height trees	Hedgerows	YES
VEG_2	15 m height trees	NO	NO
VEG_2_T10 m	10 m height trees	NO	NO
VEG_2_GRGW	15 m height trees	NO	YES
VEG_3	15 m height trees	15 m height trees + hedgerows	NO
VEG_3_T10 m	10 m height trees	10 m height trees + hedgerows	NO
VEG_3_GRGW	15 m height trees	15 m height trees + hedgerows	YES
VEG_4	15 m height trees	15 m height trees	NO
VEG_4_T10 m	10 m height trees	10 m height trees	NO
VEG_4_GRGW	15 m height trees	15 m height trees	YES
VEG_5	15 m height trees + hedgerows	Hedgerows	NO
VEG_5_T10 m	10 m height trees + hedgerows	Hedgerows	NO
VEG_5_GRGW	15 m height trees + hedgerows	Hedgerows	YES
VEG_6	NO	15 m height trees	NO
VEG_6_T10 m	NO	10 m height trees	NO
VEG_6_GRGW	NO	15 m height trees	YES



Efectos vegetación urbana

- Árboles en la mediana parece debilitar la ventilación de la calles
- Árboles en las aceras parecen actuar como barreras para los contaminantes emitidos fuera de la zona de estudio.
- Setos no reducen ventilación e incrementan el depósito.



□ Altura Árboles decrece (15 m → 10 m):

- Decrecen efectos aerodinámicos → Mejor ventilación, reducción efecto barrera
- Decrecen efectos de depósito

□ Tejados y paredes verdes

- Impacto en concentración a nivel peatón muy limitado. Reducciones inferiores al 4%.

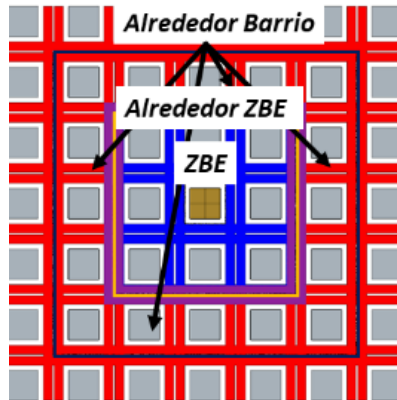
Efectos vegetación urbana

COMPARACIÓN CON DIFERENTES ESTRATEGIAS LOCALES (ZBE Y FOTOCATALÍTICOS) Y COMBINACIÓN ZBE+VEGETACIÓN

Objetivo:

- Evaluación del impacto a nivel del peatón de diferentes medidas sobre las concentraciones de contaminantes relacionados con el tráfico en el mismo ambiente urbano, así como el impacto de la combinación de medidas para mejorar su efectividad

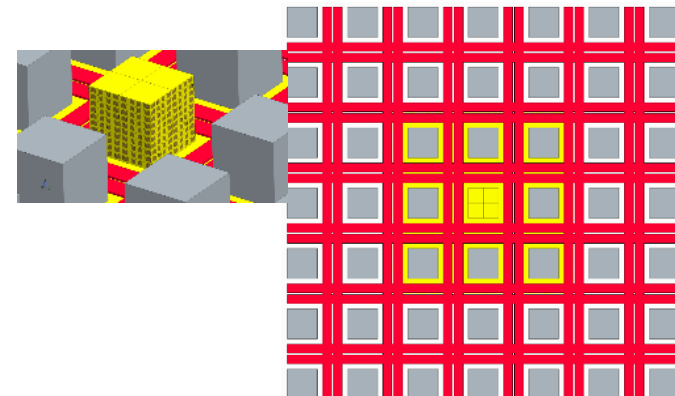
Zona Bajas Emisiones (ZBE)



Materiales Fotocatalíticos

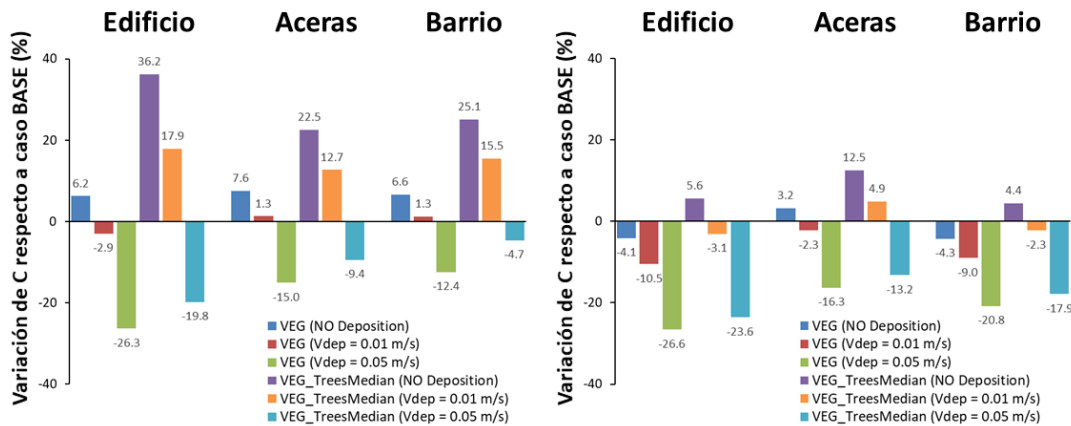
- Materiales fotocatalíticos implementados en las aceras, paredes y tejado del edificio central (**Photocat_GWR**) y solamente en las aceras (**Photocat_G**).
- Se consideró una velocidad de depósito de NOx de 0.05 m/s

Escenario	Emisiones en ZBE	Emisiones en Alrededor ZBE
ZBE_0.2+AlrededorZBE_1.0	0.2 * Emisiones BASE	1.0 * Emisiones BASE
ZBE_0.2+AlrededorZBE_1.2	0.2 * Emisiones BASE	1.2 * Emisiones BASE
ZBE_0.2+AlrededorZBE_1.8	0.2 * Emisiones BASE	1.8 * Emisiones BASE
ZBE_0.8+AlrededorZBE_1.0	0.8 * Emisiones BASE	1.0 * Emisiones BASE
ZBE_0.8+AlrededorZBE_1.2	0.8 * Emisiones BASE	1.2 * Emisiones BASE



Efectos vegetación urbana

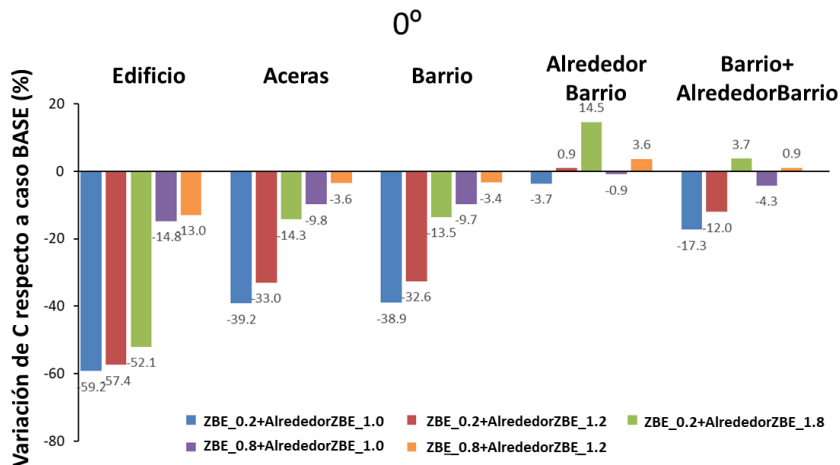
Infraestructuras Verdes



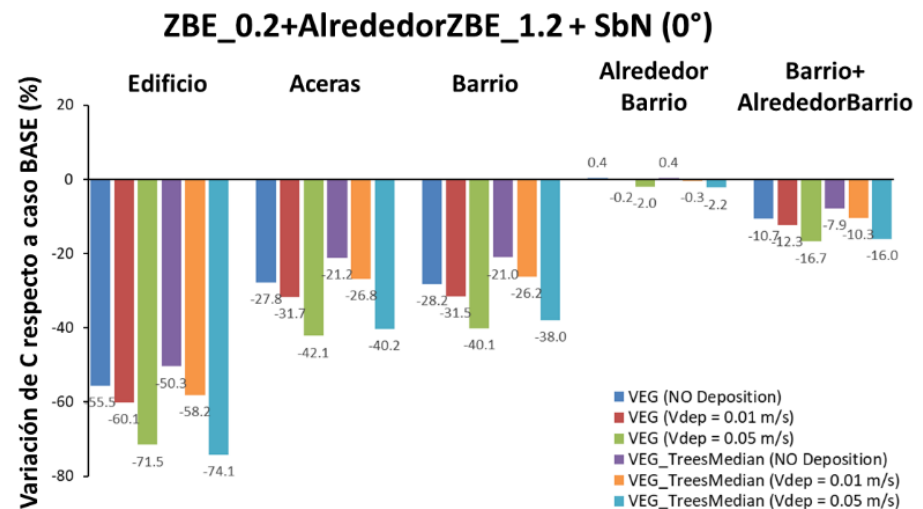
Materiales Fotocatalíticos

- En los escenarios con materiales fotocatalíticos se han encontrado reducciones de concentración pequeñas, **menores al 4 %**, y principalmente concentradas **cerca del edificio central**.

Zona Bajas Emisiones (ZBE)



Combinación ZBE + Infraestructuras Verdes



Efectos vegetación urbana

Conclusiones:

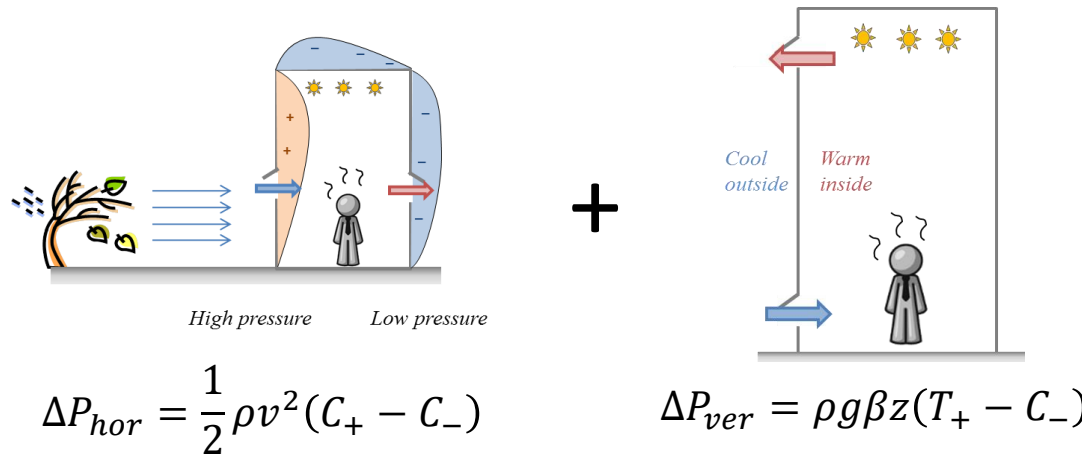
- **No todas las infraestructuras verdes son efectivas como una medida general para la mejora de la calidad del aire.**
- Seleccionando apropiados configuraciones ayudan a reducir la exposición de la población a la contaminación atmosférica. **Árboles correctos en la disposición correcta en el lugar adecuado.**
- Materiales **fotocatalíticos** → **débil impacto**
- Reducción del tráfico a través de **ZBE** → **medida individual más efectiva.**
- **Combinar ZBE con vegetación lo más efectivo.**
- **Efectividad depende de la disposición de los elementos de la vegetación de la SbN, de la intensidad de reducción de las emisiones en la ZBE y del posible aumento del tráfico alrededor de la ZBE.**
- **Aprovechar los otros beneficios proporcionados por la vegetación (mejora clima urbano, confort térmico, consumo energético, etc.)**

Simulaciones campaña de invierno HSC

Objetivo: Reproducir de forma precisa el intercambio de contaminantes entre el exterior y el interior de los edificios cuando éstos se ventilan de forma natural.

Motivación: avanzar en el conocimiento de la exposición de las personas a la contaminación atmosférica en los entornos urbanos

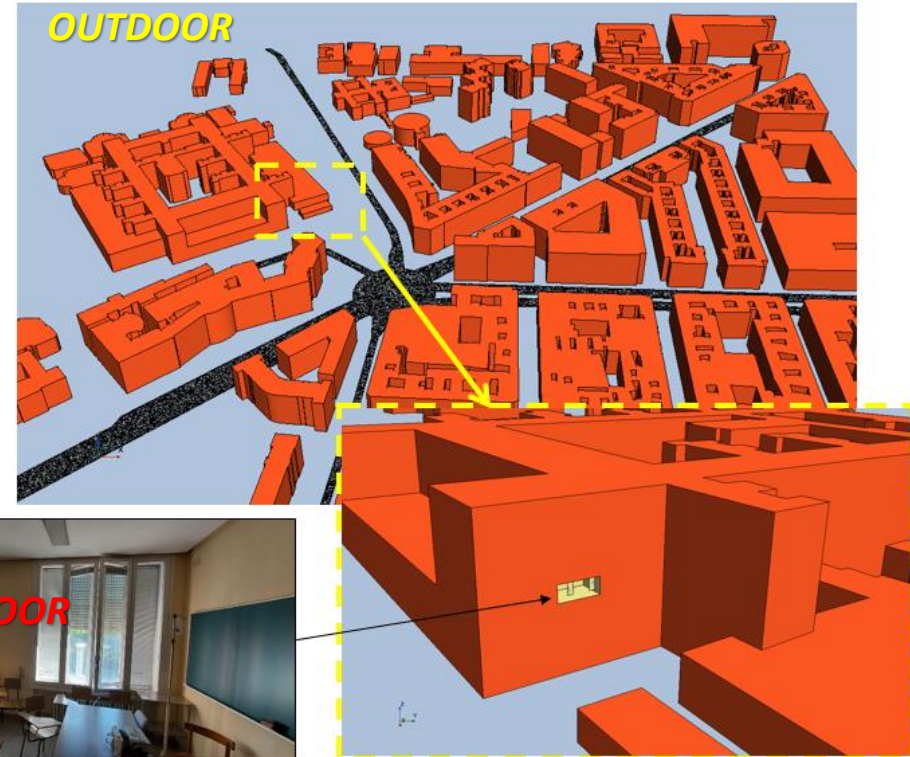
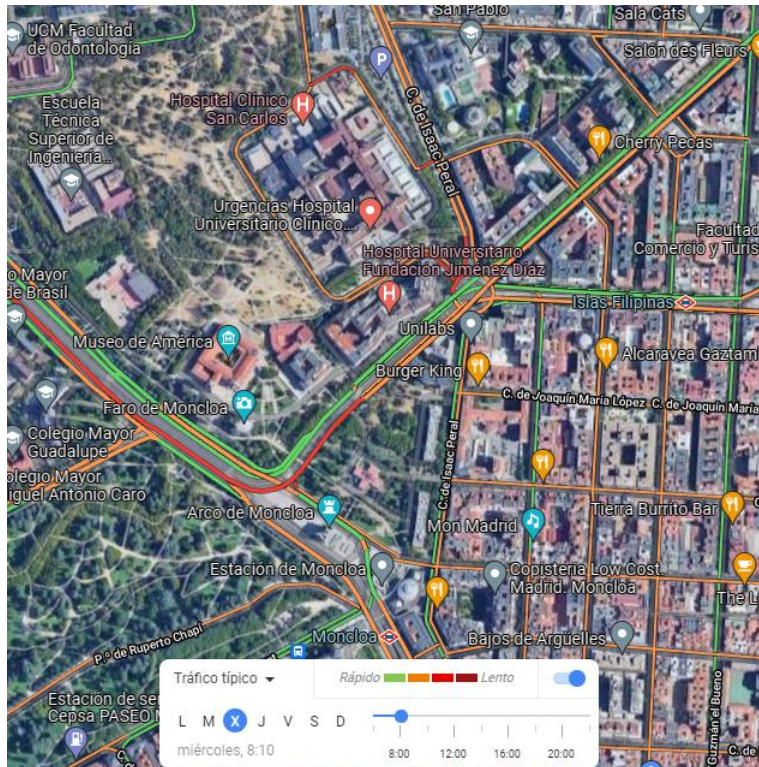
Hipótesis: la ventilación natural de los edificios se debe al efecto combinado del viento y del gradiente de temperaturas entre el interior y el exterior.



Metodología: Se ha utilizado un modelo de tipo CFD-URANS que simula el transporte de los NOx provenientes del tráfico rodado en una zona urbana real (Hospital San Carlos de Madrid y alrededores).

Simulaciones campaña de invierno HSC

Entorno Urbano y Emisiones del Tráfico



Hospital San Carlos (Madrid)
(Fuente: Google Maps satellite image)

Modelo CFD 3D(*)

(*) Herramienta CFD : STAR-CCM+16.02.009-R8®

Simulaciones campaña de invierno HSC

Hipótesis Físicas, Condiciones Iniciales y de Contorno

Modelo NO estacionario

Tratamiento URANS

Aire → Gas ideal

Gravedad (flotabilidad)

Emisiones:

Tráfico rodado →
 E_i Passive Scalars
($i = 1, \dots, 12$)

Ambulancias →
 A_k Passive Scalars
($j = 1, \dots, 4$)

Entrada:

$$u(z, t) = \frac{u_*}{\kappa} \ln\left(\frac{z + z_0}{z_0}\right)$$

$$k(t) = \frac{u_*^2}{\sqrt{C_\mu}}$$

$$\varepsilon(z, t) = \frac{u_*^3}{\kappa(z + z_0)}$$

$T_{\text{outdoor}} = \text{Neutral}$
 $T_{\text{indoor}} = T(t)$

$UB \text{ Concentration} = UB \text{ Concentration}(t)$

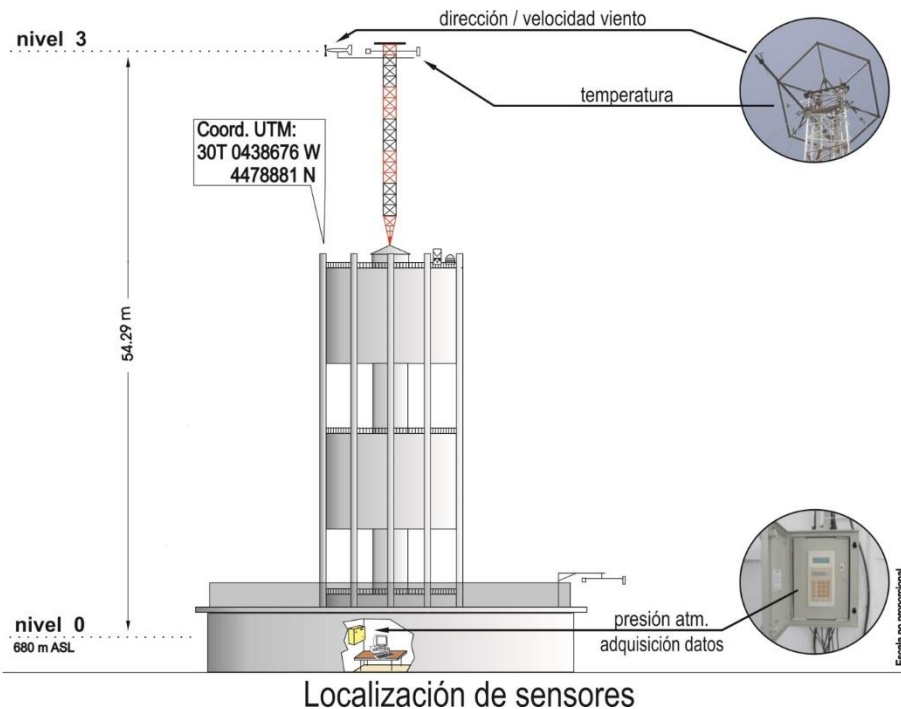
→ CIEMAT Met. Station
Madrid AQM Stations

NO cargas térmicas externas

NO reacciones químicas

Simulaciones campaña de invierno HSC

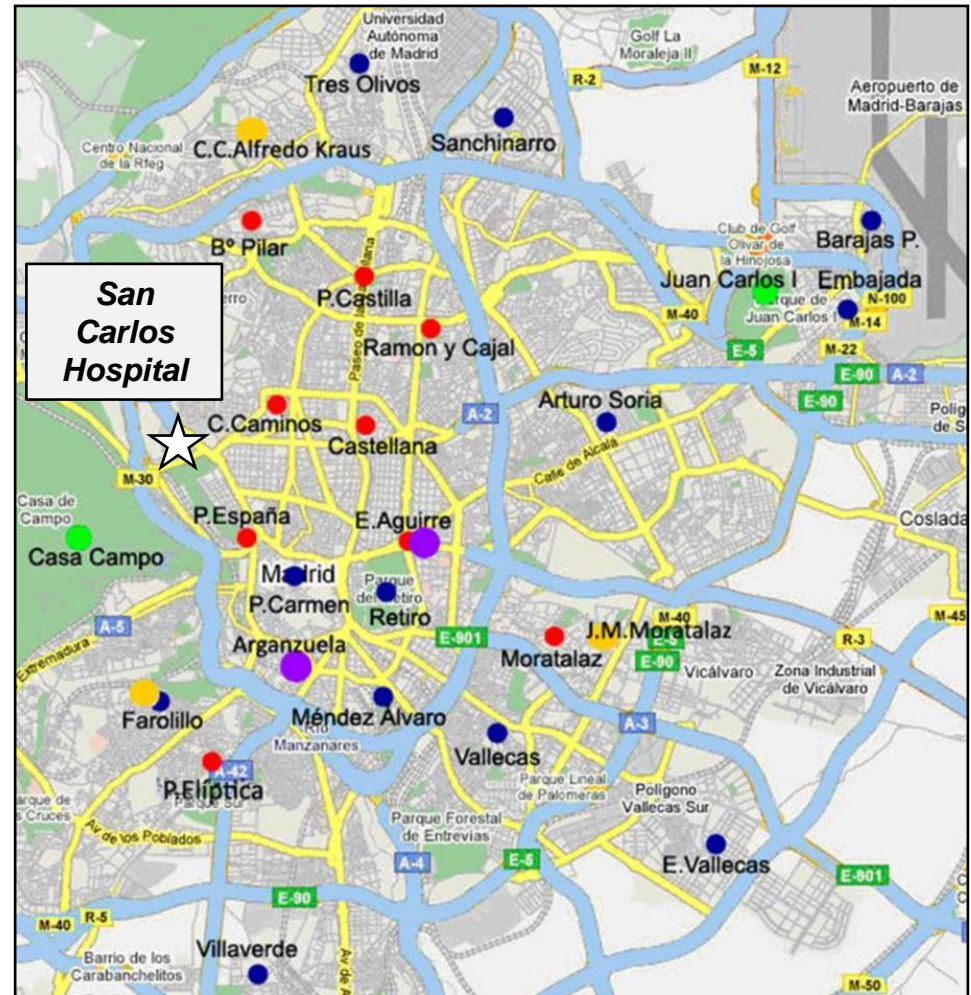
Hipótesis Físicas, Condiciones Iniciales y de Contorno



Simulaciones campaña de invierno HSC

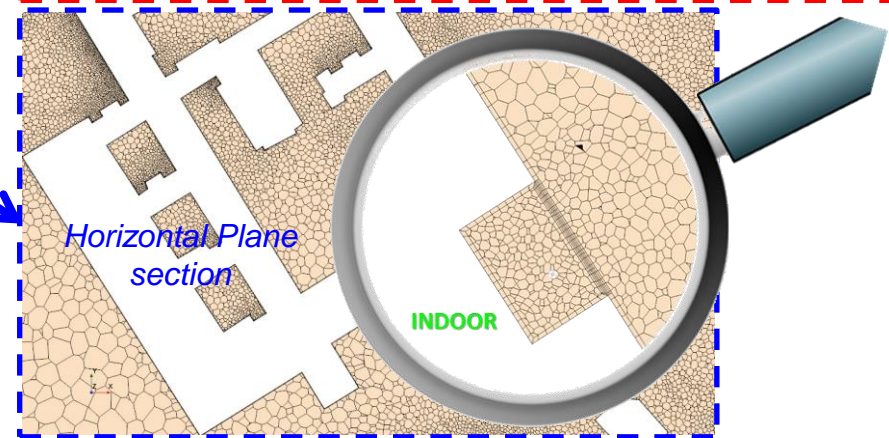
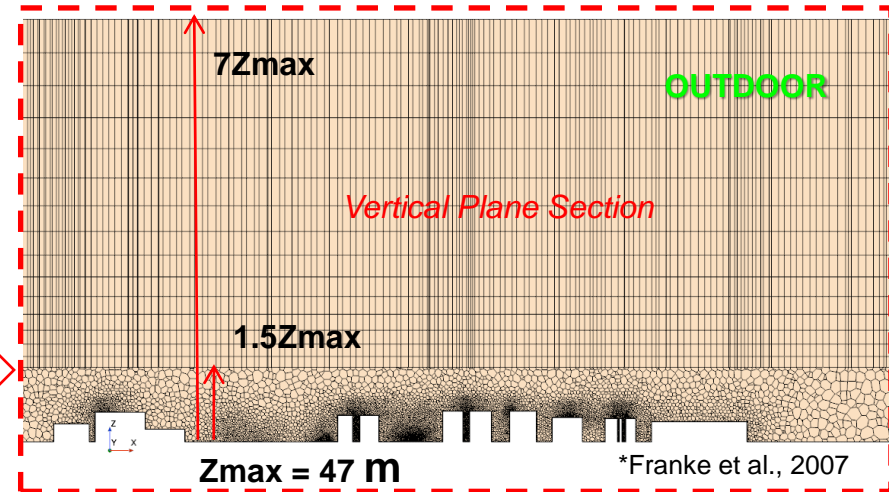
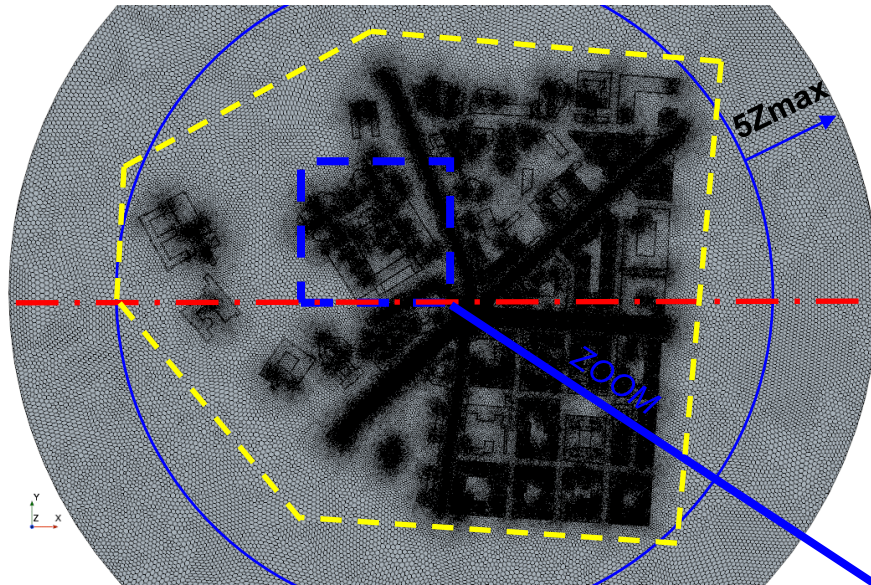
Hipótesis Físicas, Condiciones Iniciales y de Contorno

- Suburban
- Background
- Traffic
- Heavy Metals
- PM 2.5



Simulaciones campaña de invierno HSC

Mallado



CARACTERÍSTICAS

- ΔV max = 100 m
- ΔS max = 100 m
- ΔS min = [0.25 - 2] m
- Faces \rightarrow 1 Layer of 0.25 m
- Interfaces \rightarrow [1 - 4] Sublayers
- 8 Points in Gap
- Surface growth rate = 1.1
- Extruder \rightarrow 15 layers

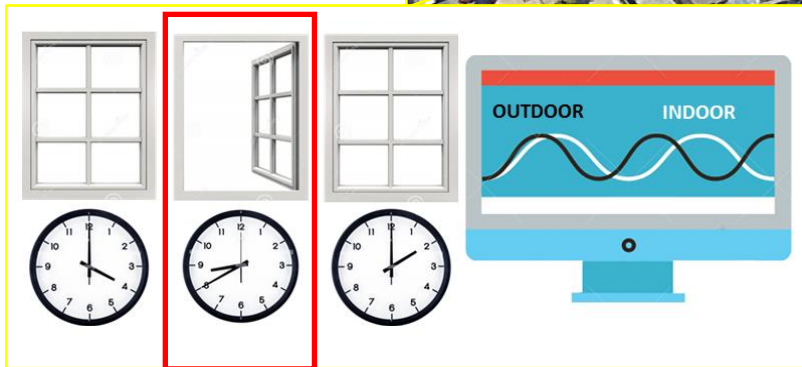
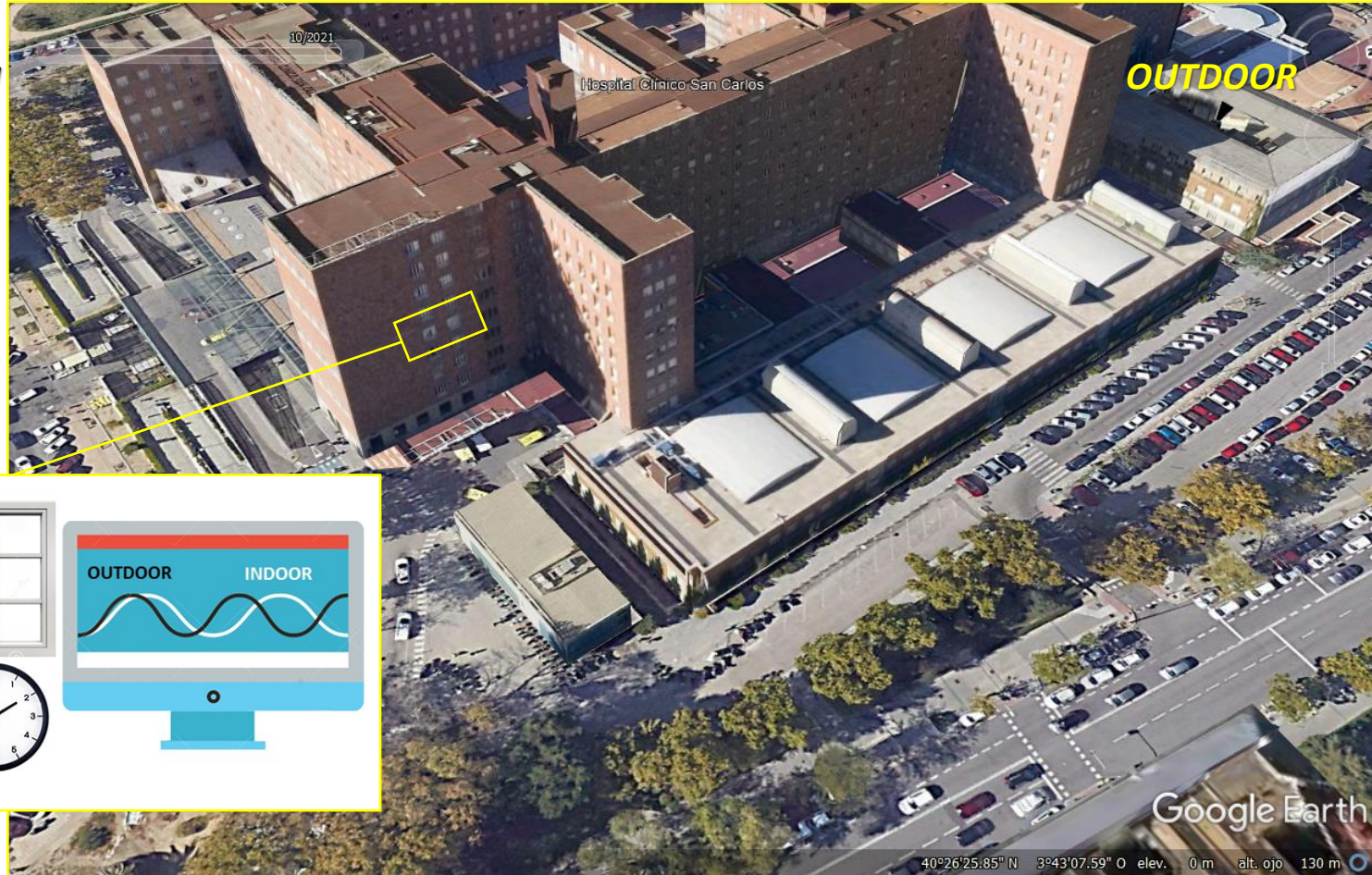
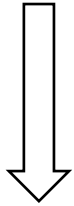
Simulaciones campaña de invierno HSC

Campaña Experimental

18 de Febrero de 2021

Desde las 4 a.m.

Hasta las 2 p.m.



Simulaciones campaña de invierno HSC

Campaña Experimental

Met. Data →

WS, WD, TKE

AQ Data → NO, NO₂



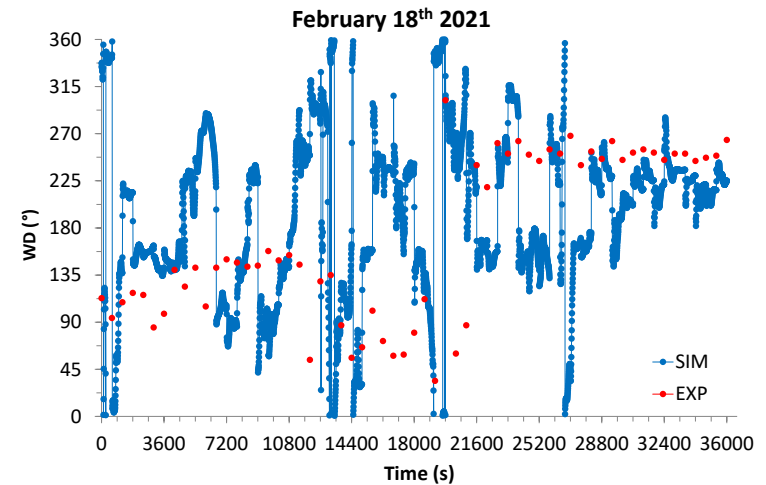
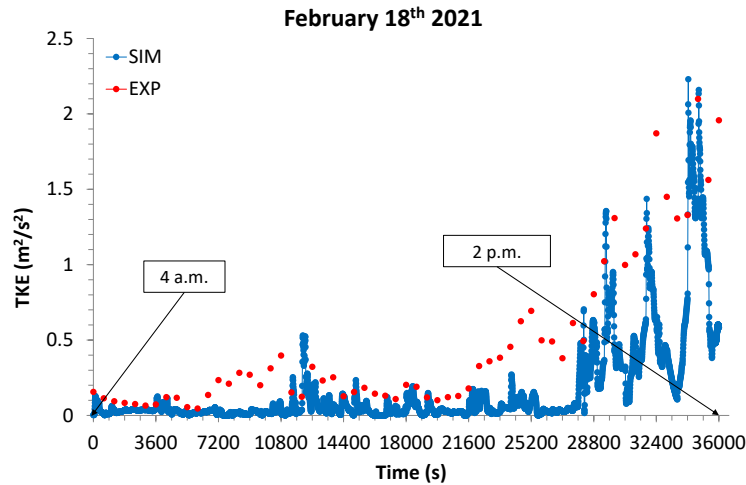
NO_x



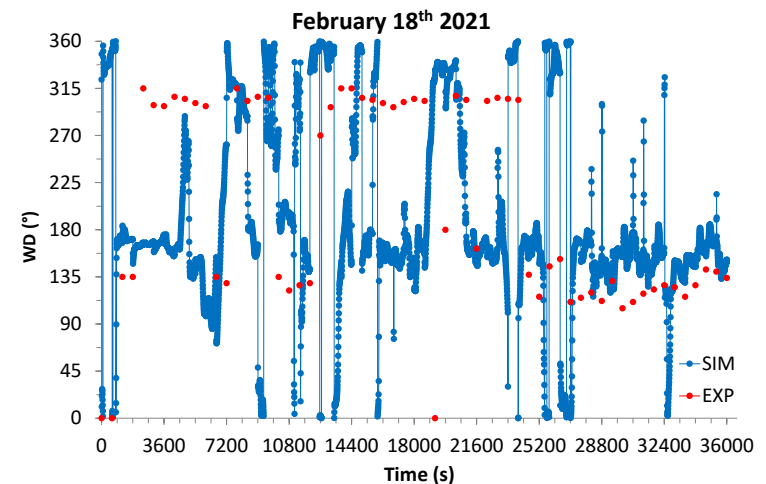
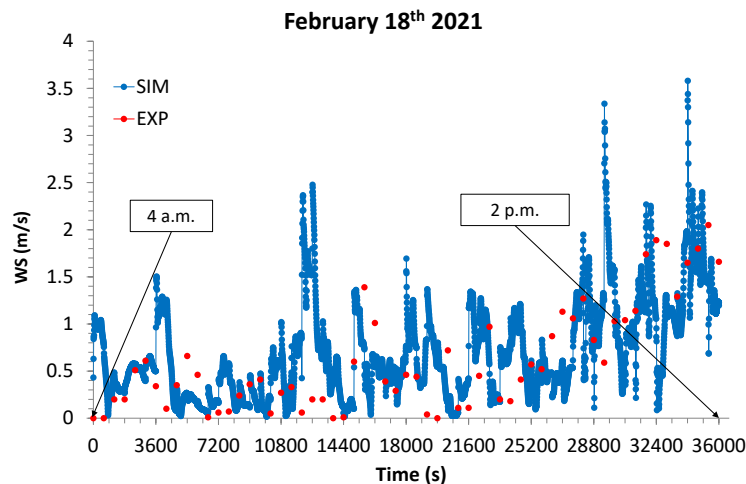
Simulaciones campaña de invierno HSC

Resultados: Meteorología

TOP



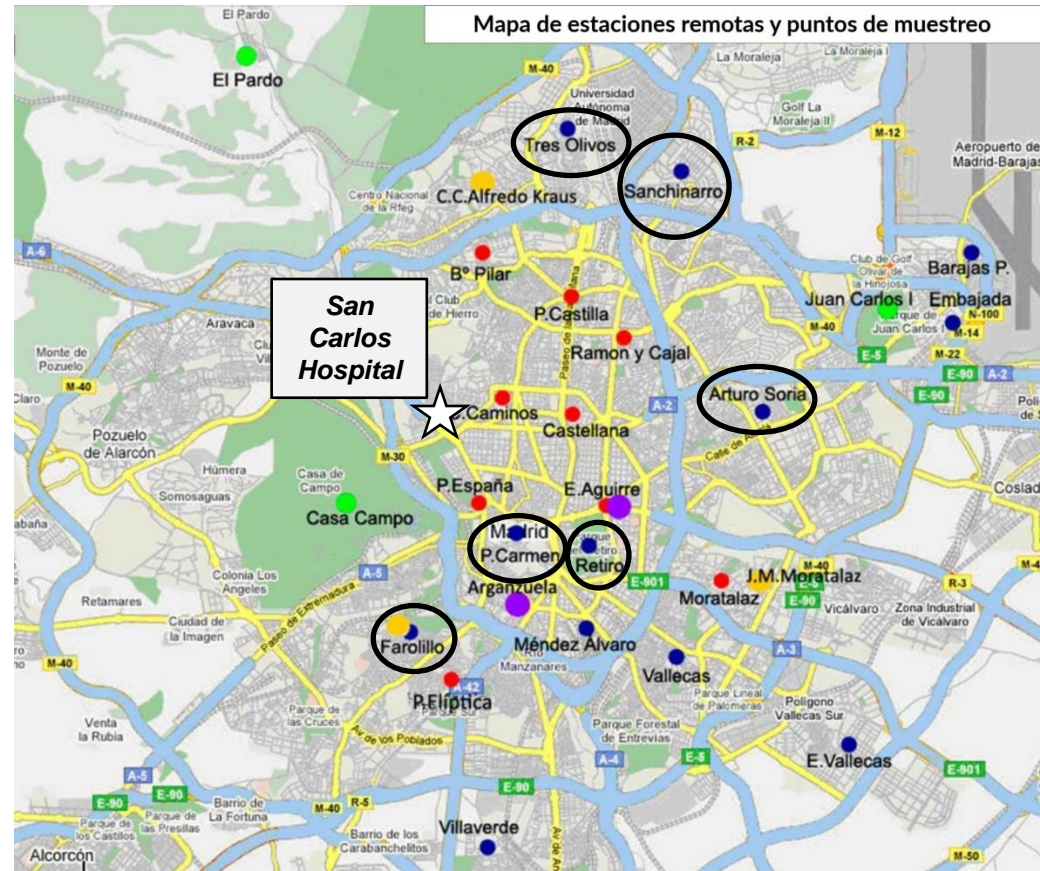
MS



Simulaciones campaña de invierno HSC

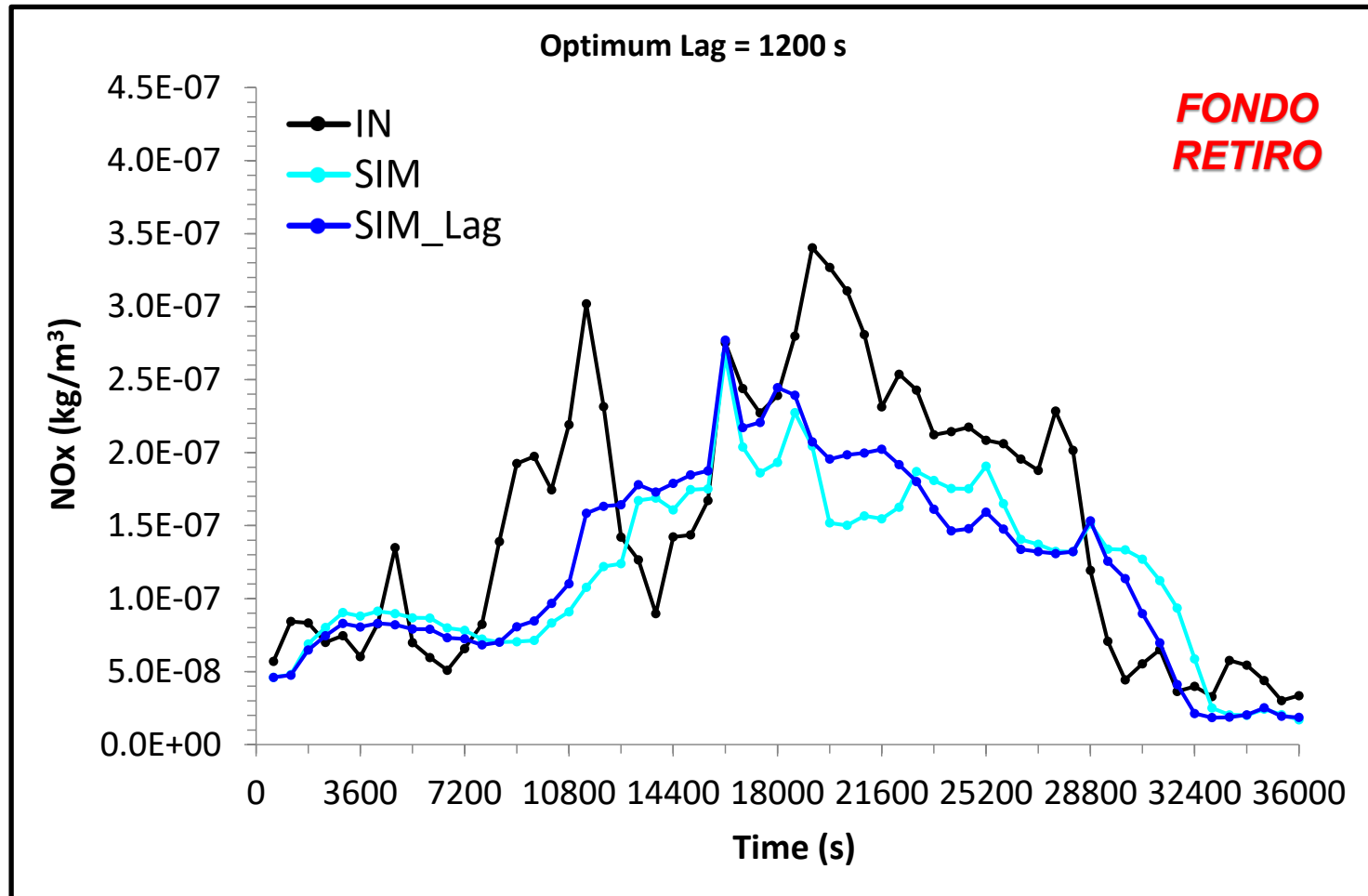
Resultados

- Suburban
- Heavy Metals
- Background
- PM 2.5
- Traffic
- Optimum Lag: $R^2 > 0.78$ en OUT y SM



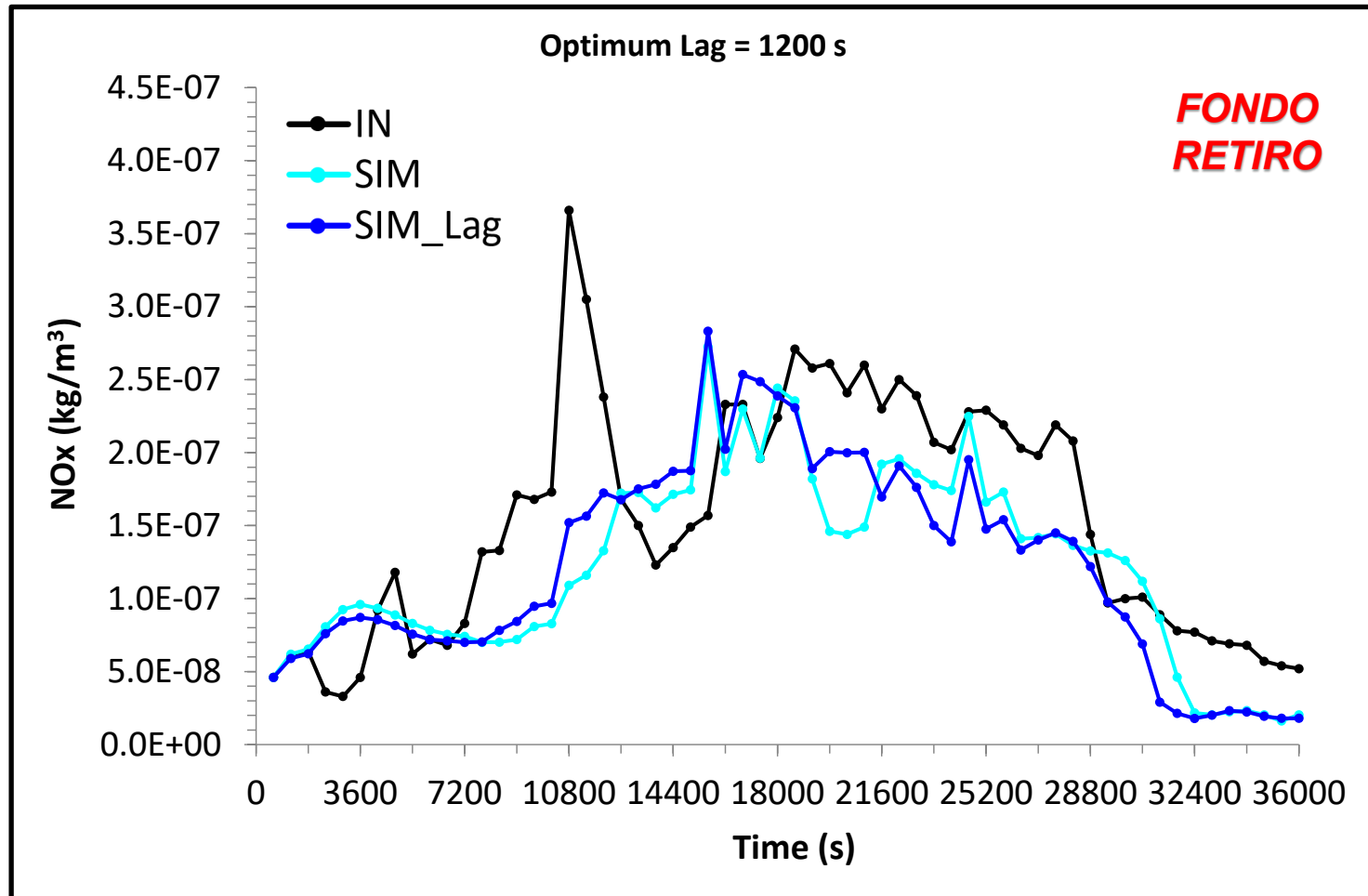
Simulaciones campaña de invierno HSC

Resultados: Concentración de NOx en OUT



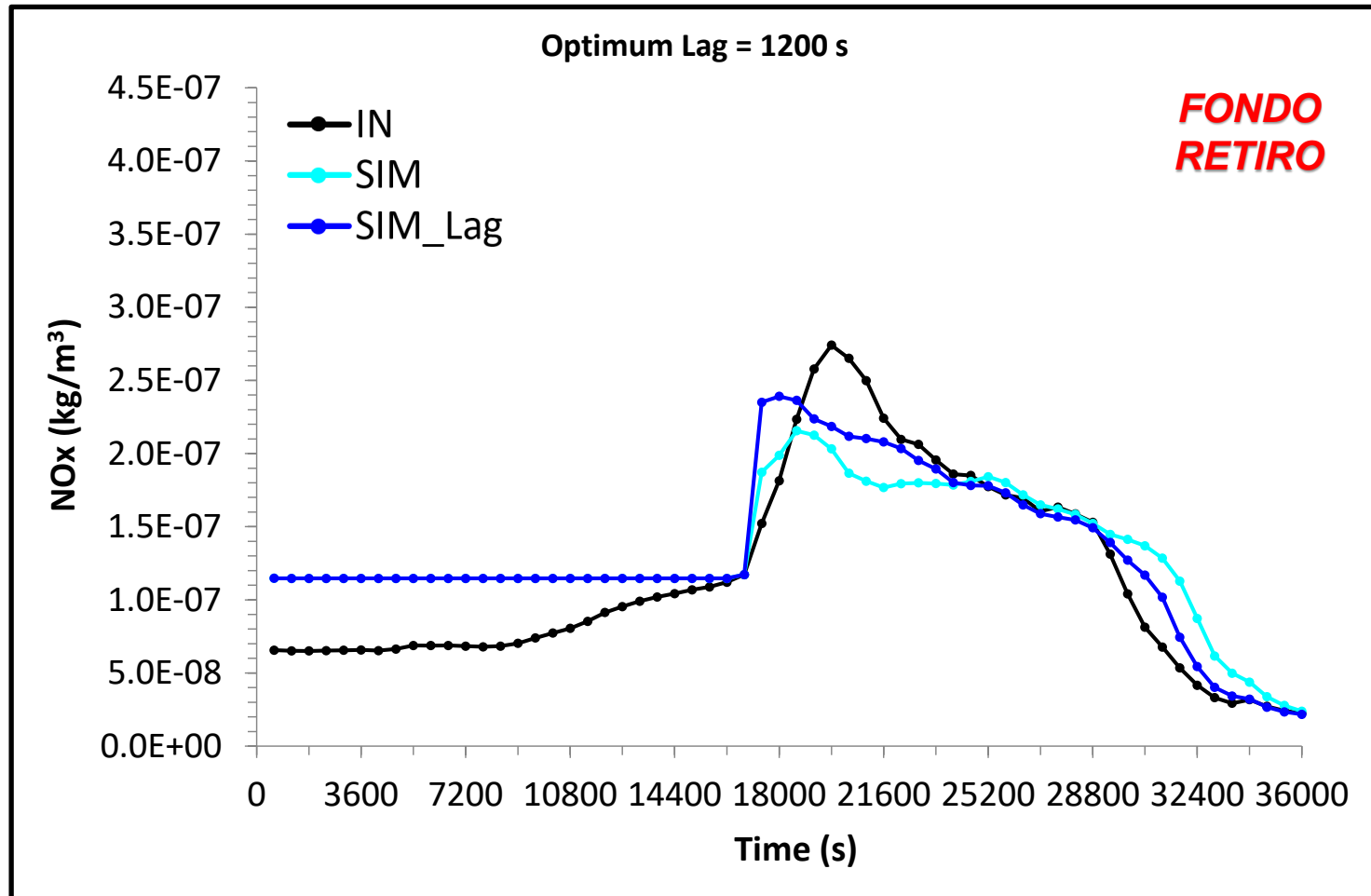
Simulaciones campaña de invierno HSC

Resultados: Concentración de NOx en SM



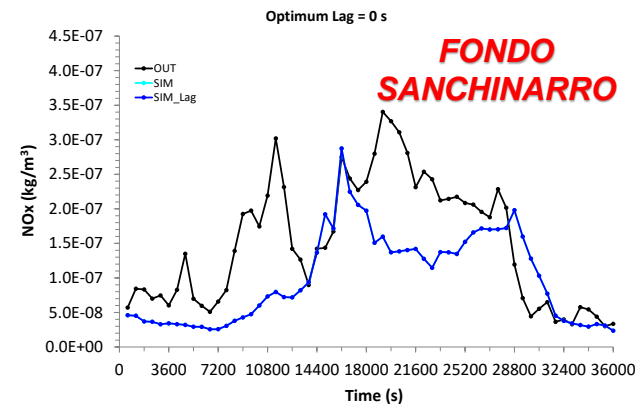
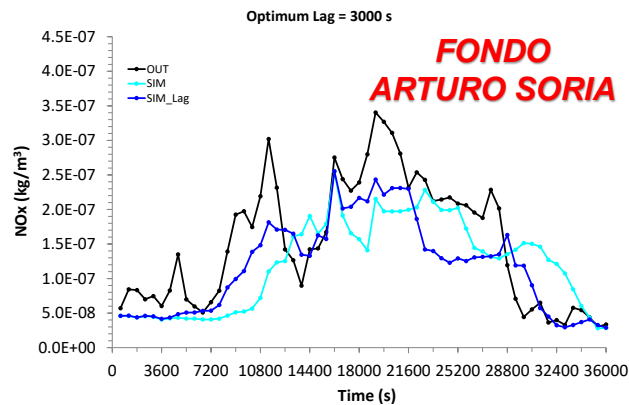
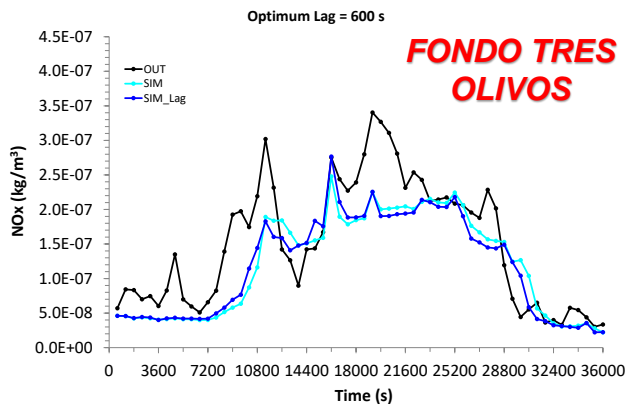
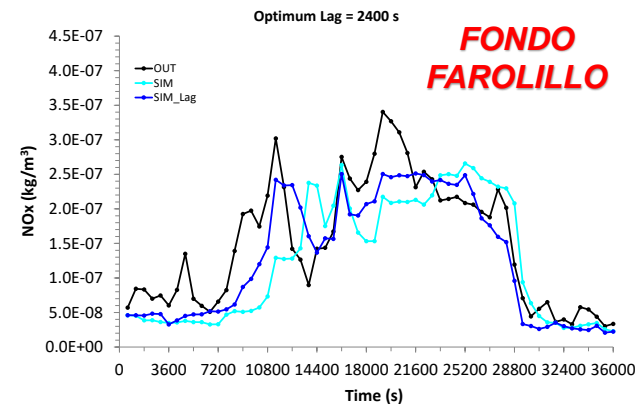
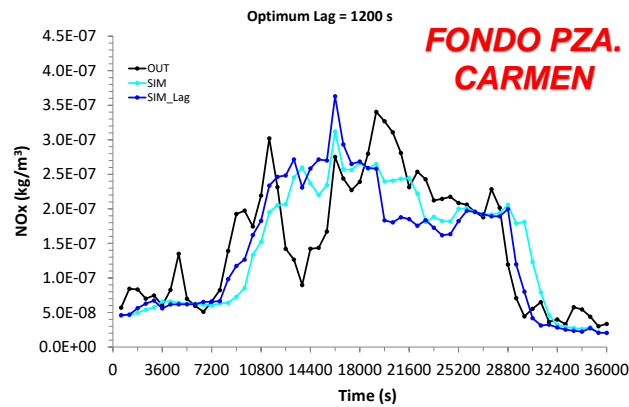
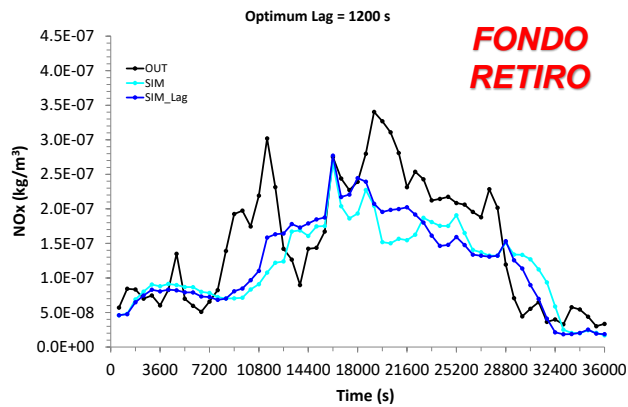
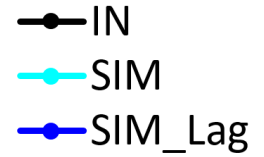
Simulaciones campaña de invierno HSC

Resultados: Concentración de NOx en IN



Simulaciones campaña de invierno HSC

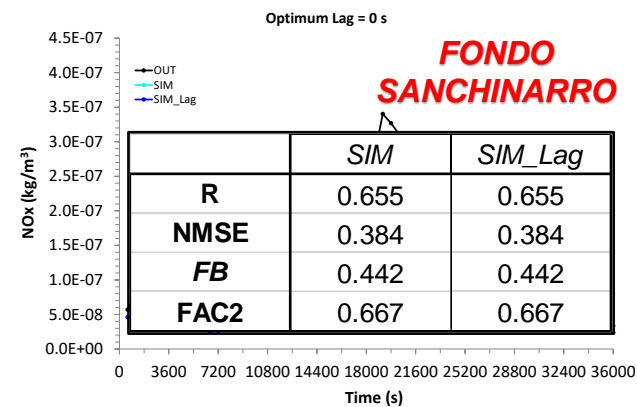
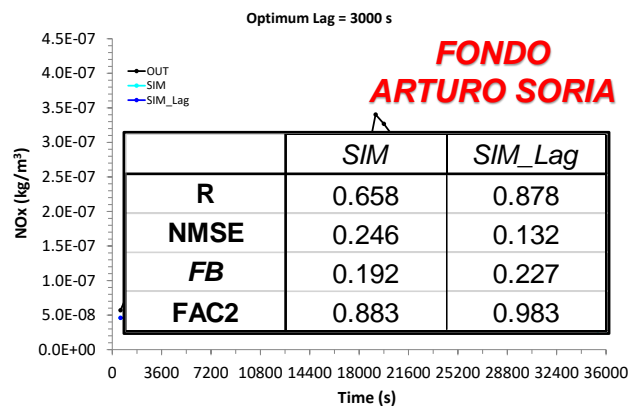
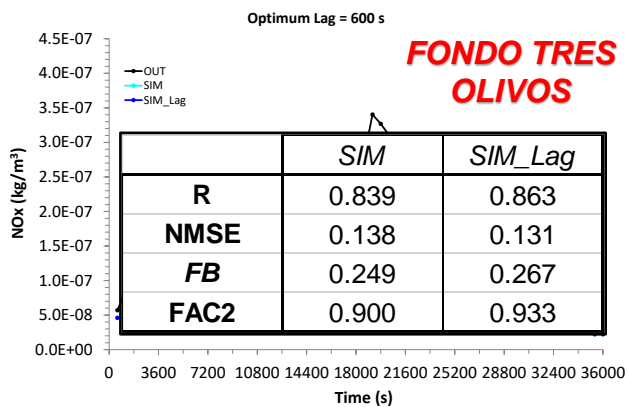
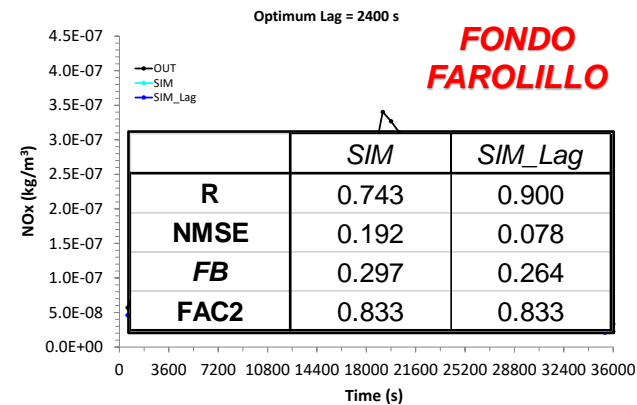
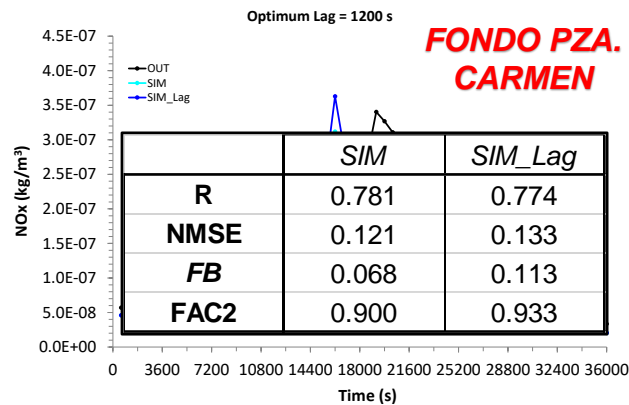
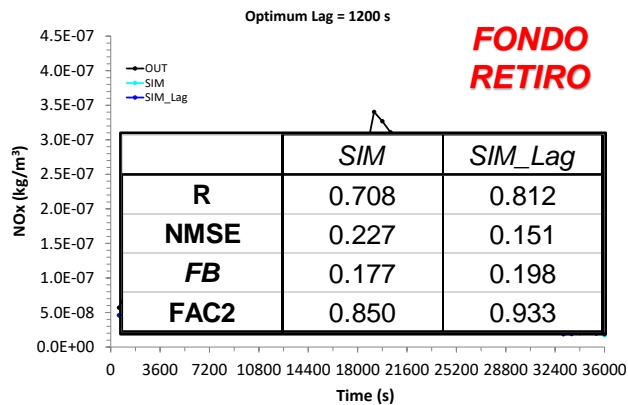
Resultados: Concentración de NOx en OUT Efecto del retardo del fondo



Simulaciones campaña de invierno HSC

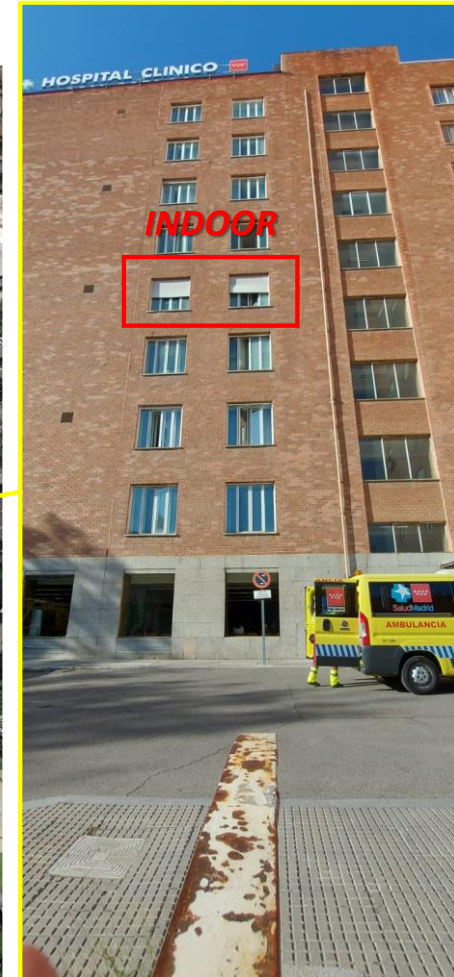
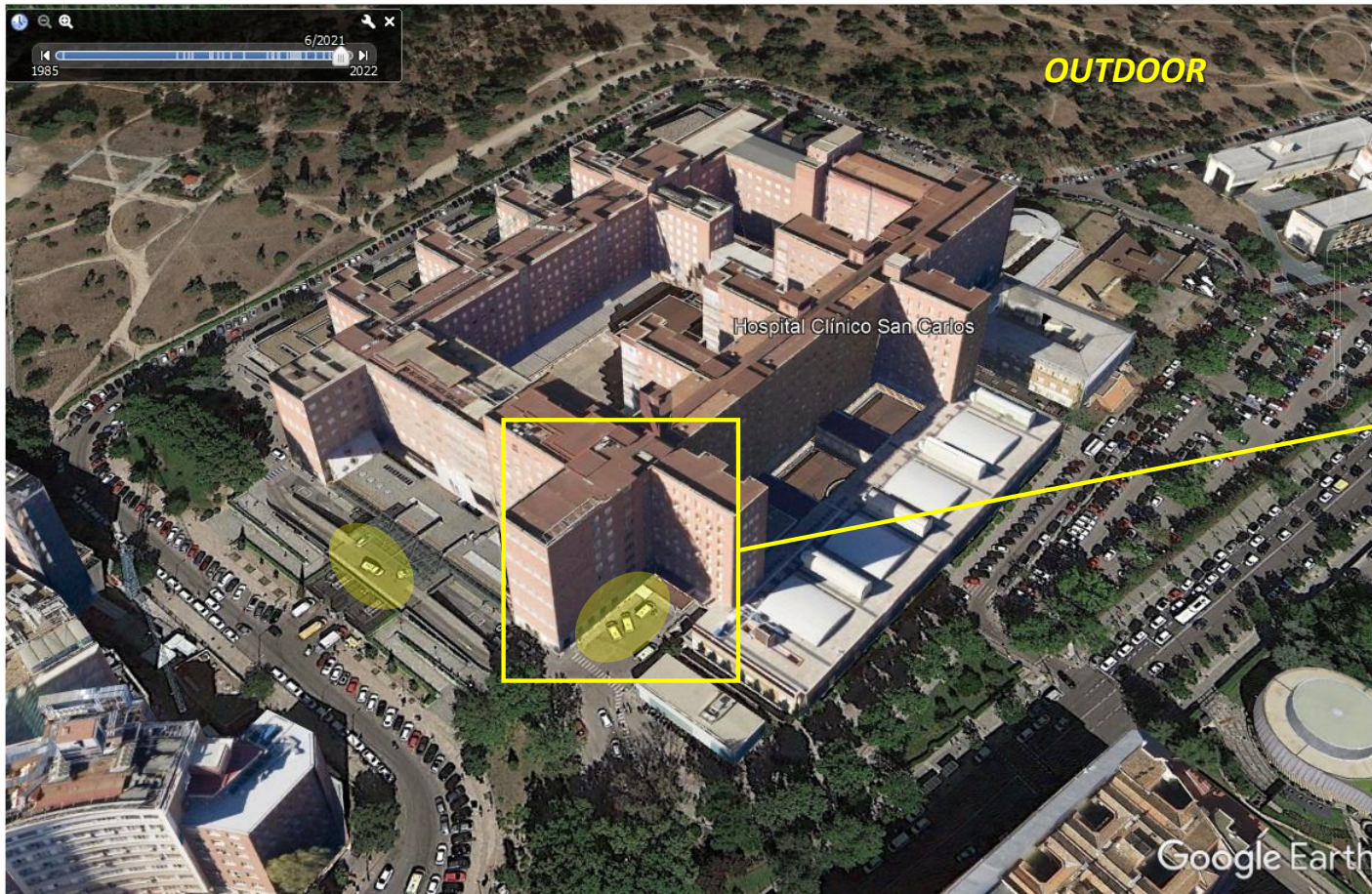
Resultados: Concentración de NOx en OUT Efecto del retardo del fondo

- IN
- SIM
- SIM_Lag



Simulaciones campaña de invierno HSC

Efecto de las ambulancias



Simulaciones campaña de invierno HSC

Efecto de las ambulancias

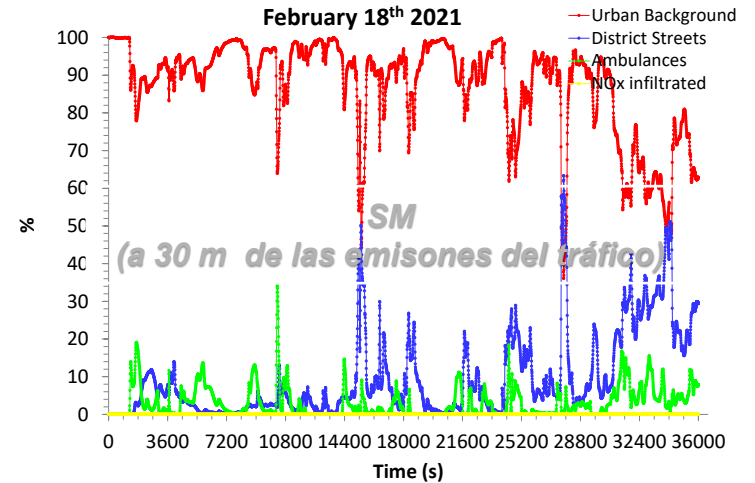
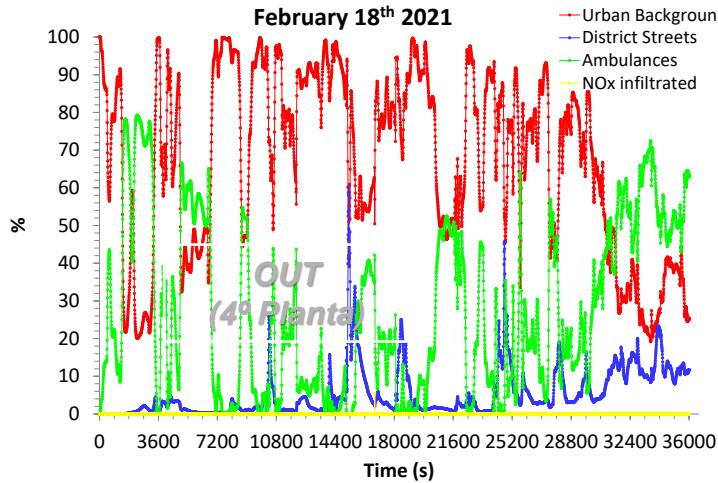
Ambulancias aparcadas alrededor del hospital con el motor al ralentí
(desde las 4 a.m. hasta las 2 p.m.)



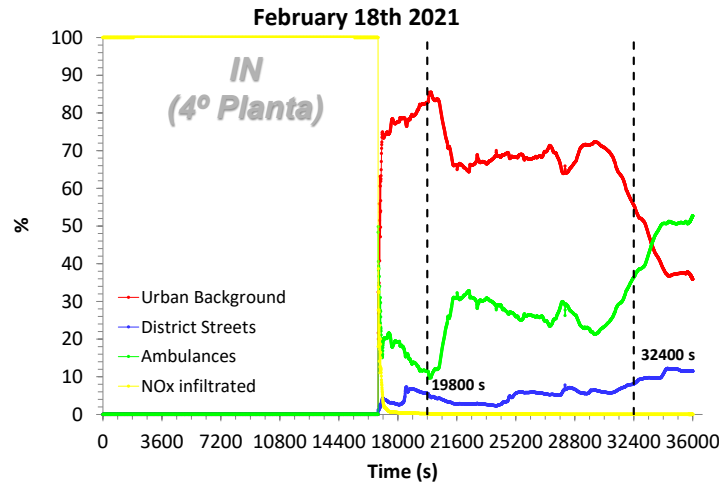
Simulaciones campaña de invierno HSC

Efecto de las ambulancias

OUTDOOR



INDOOR

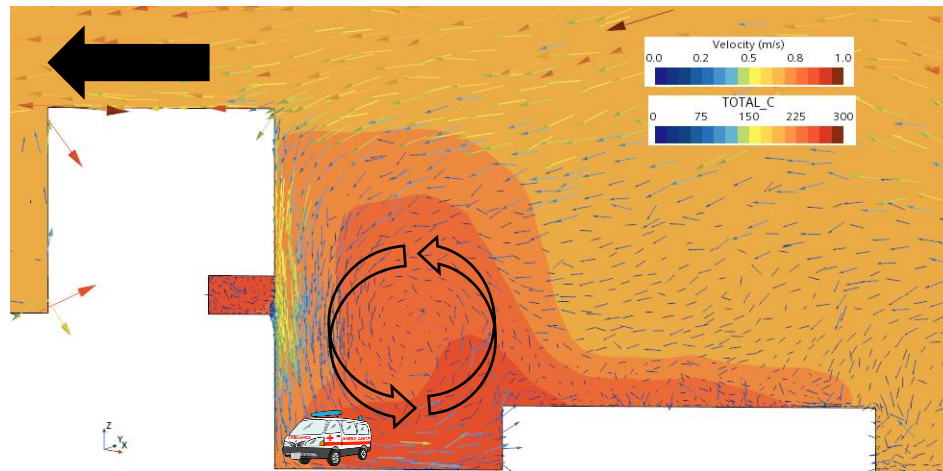


- Urban Background
- District Streets
- Ambulances
- NOx infiltrated

Simulaciones campaña de invierno HSC

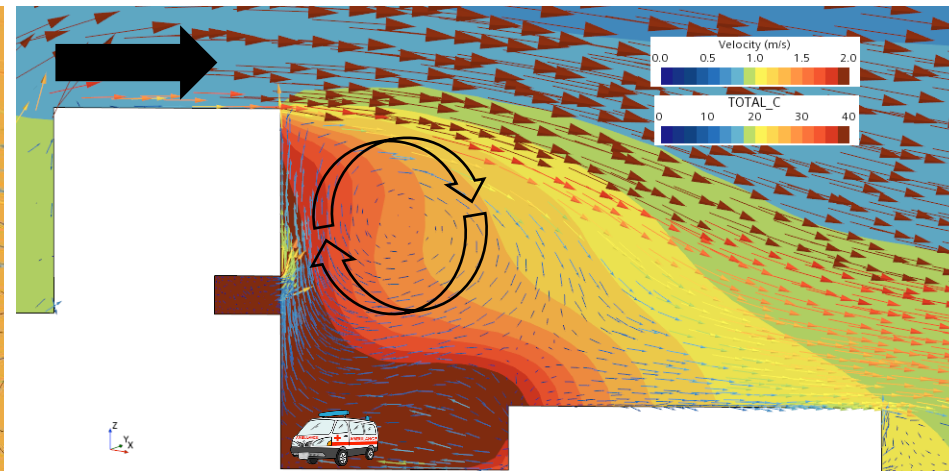
Efecto del viento en la concentración indoor

18000 s



- Viento débil
- Aula a barlovento
- Indoor Concentration:
 - Urban Background ↑
 - Ambulances ↓

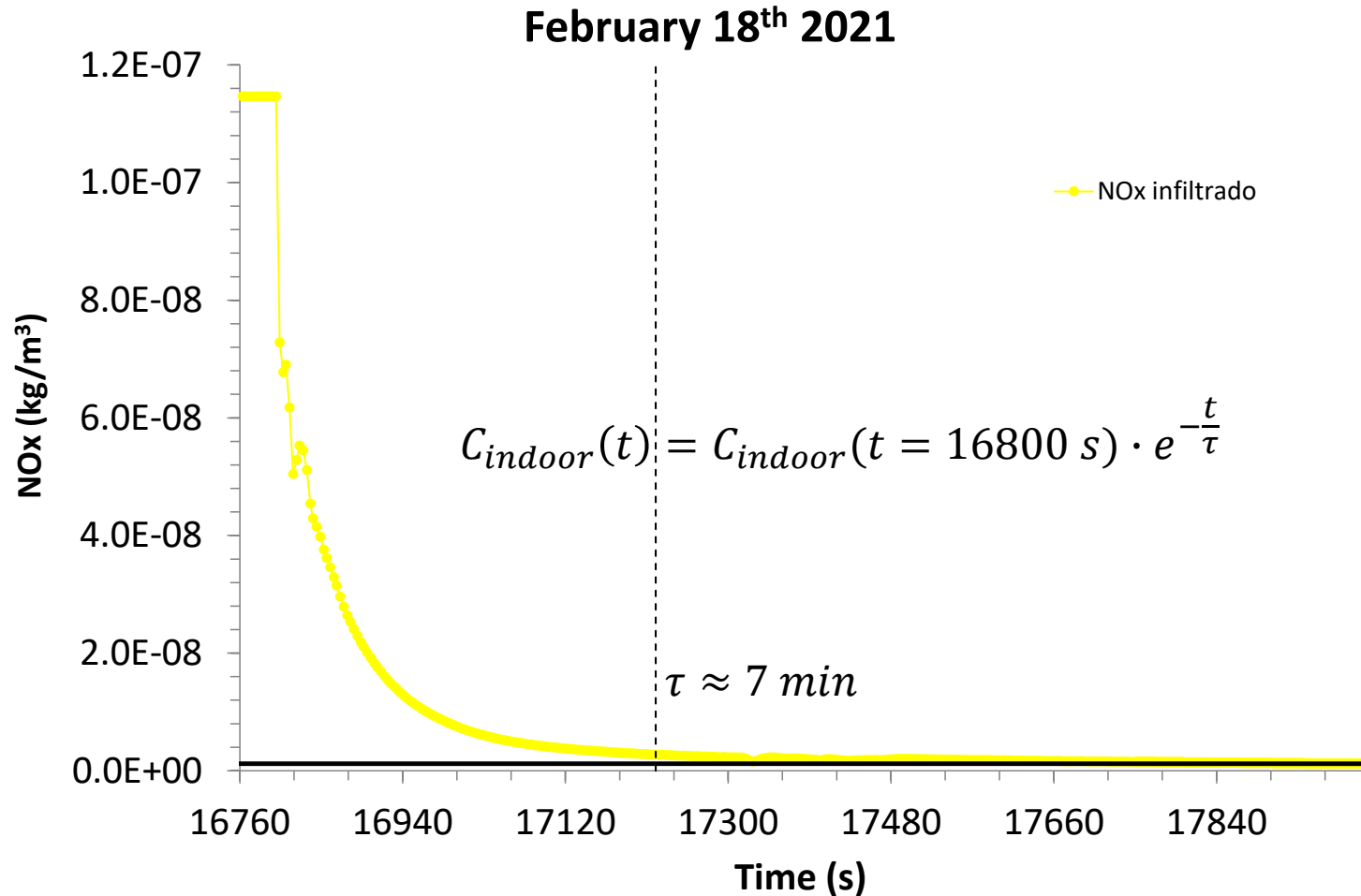
32400 s



- Viento fuerte
- Aula a sotavento
- Indoor Concentration:
 - Urban Background ↓
 - Ambulances ↑

Simulaciones campaña de invierno HSC

Ventilación del aula al abrir la ventana



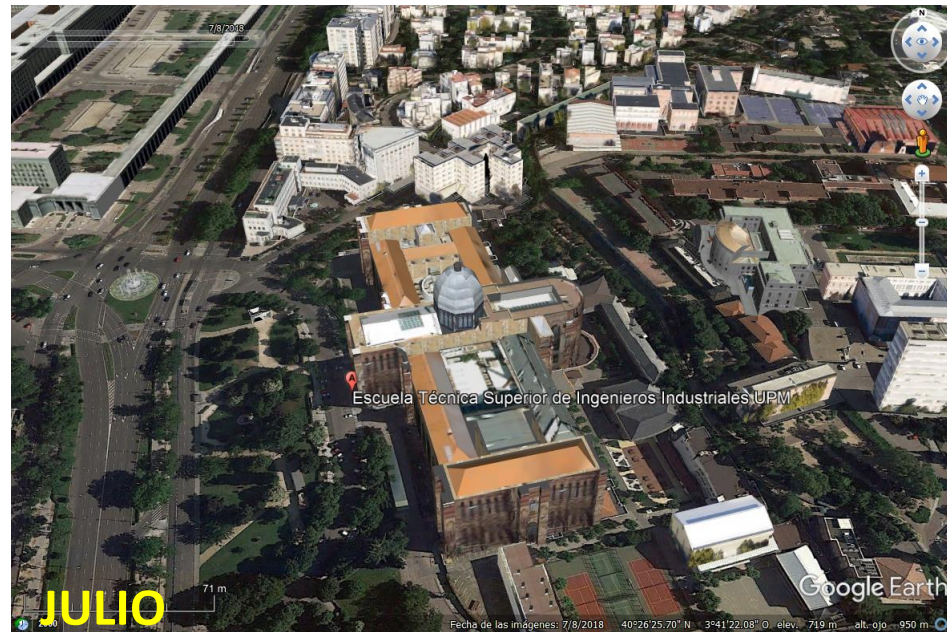
Simulaciones campaña de invierno HSC

□ Conclusiones

- Se ha simulado con precisión el **intercambio de NOx exterior-interior** utilizando un **modelo CFD-URANS** que tiene en cuenta la mayor parte de los **procesos físicos explícitamente**.
- La **ventilación natural** depende fuertemente de la **meteorología local**, especialmente de la **velocidad y dirección del viento**. Por lo tanto, para simular correctamente el intercambio de NOx exterior-interior es necesario capturar bien las condiciones meteorológicas en el exterior, principalmente durante las horas pico de tráfico.
- Es fundamental disponer de una adecuada **caracterización del fondo urbano** de la zona de estudio, ya sea mediante **medidas y/o simulaciones a meso-escala**, ya que, en este caso, es la **principal contribución** a la **concentración total de NOx**, tanto en el exterior como en el interior.
- **Emisiones muy locales**, como las **ambulancias** estacionadas alrededor del hospital con el motor al ralentí, pueden representar **entre un 10 % y un 50 %** de la **concentración total de NOx** en el interior del aula.
- **La ventilación del aula mediante una única ventana se produciría en aproximadamente 7 minutos**.
- Este estudio mejora la **comprensión del transporte de contaminantes atmosféricos por ventilación natural** y muestra una herramienta útil para avanzar en el conocimiento de la exposición de las personas a la **contaminación atmosférica** en los **entornos urbanos**, especialmente en los **interiores**.
- **Presentación en congreso HARMO22. Artículo en preparación.**

Simulaciones campaña de verano ETSII

Efecto de la vegetación



Simulaciones campaña de verano ETSII

Efecto del parking



Simulaciones campaña de verano ETSII

Efecto de la topografía de la zona



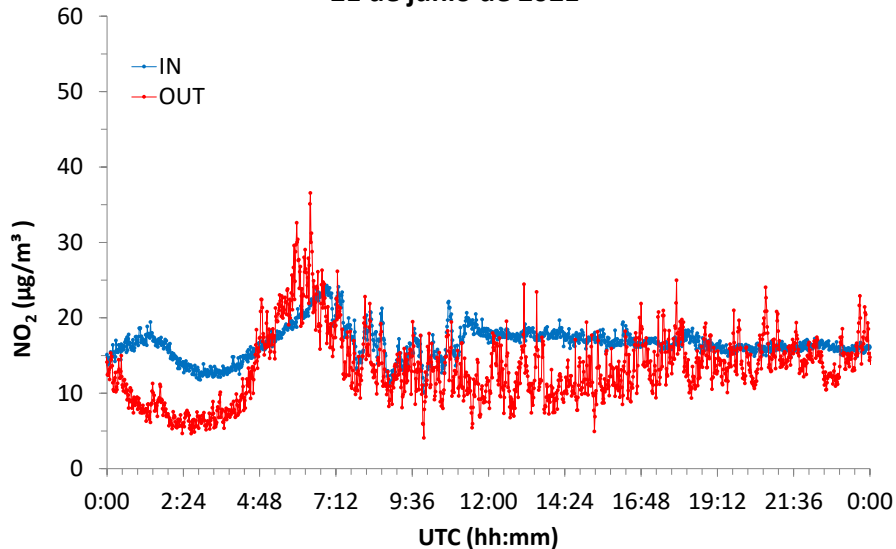
Simulaciones campaña de verano ETSII

Medidas INDOOR-OUTDOOR



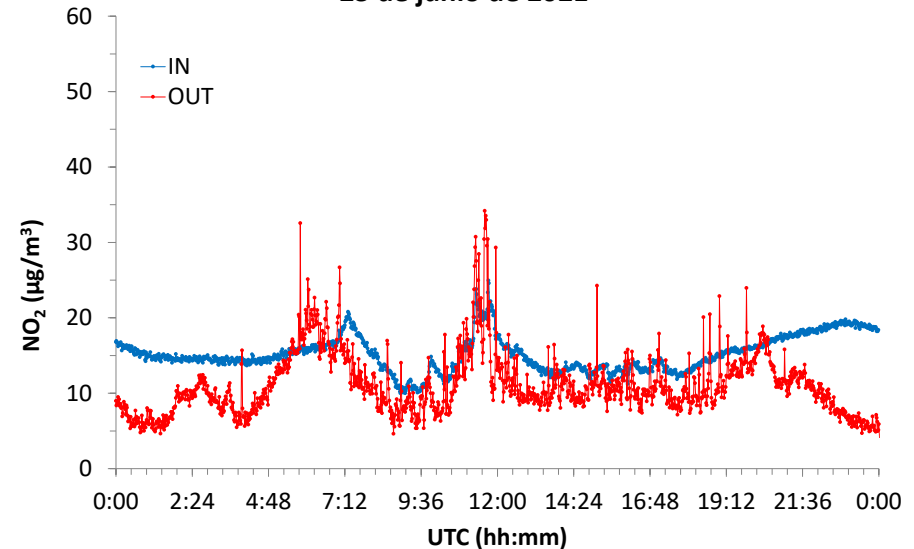
Desde las 9 a.m. (LT)
Hasta las 1 p.m. (LT)

21 de junio de 2021



Desde las 9 a.m. (LT)
Hasta las 8 p.m. (LT)

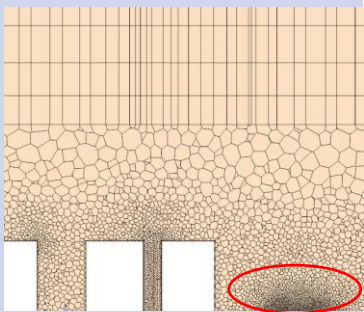
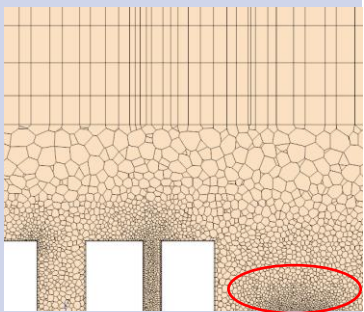
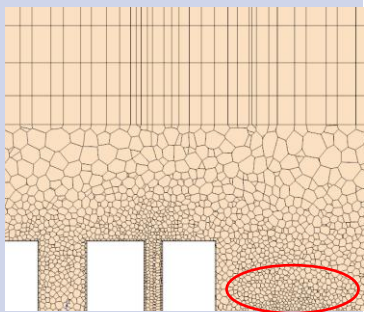
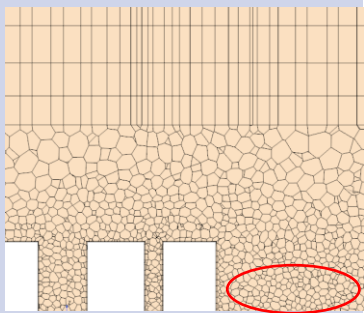
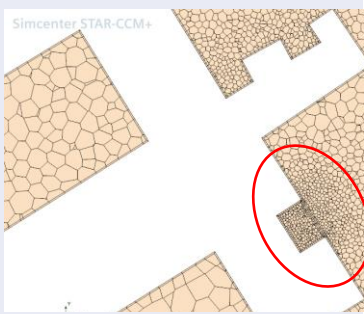
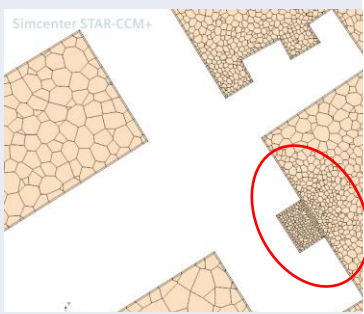
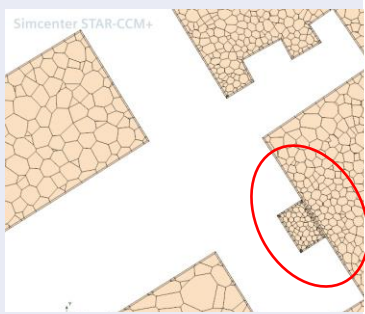
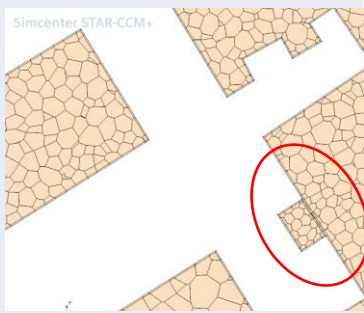
23 de junio de 2021



Transparencias adicionales

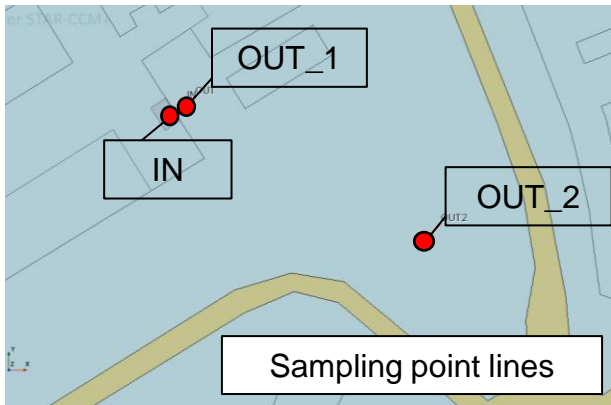
Simulaciones campaña de invierno HSC

Mallado

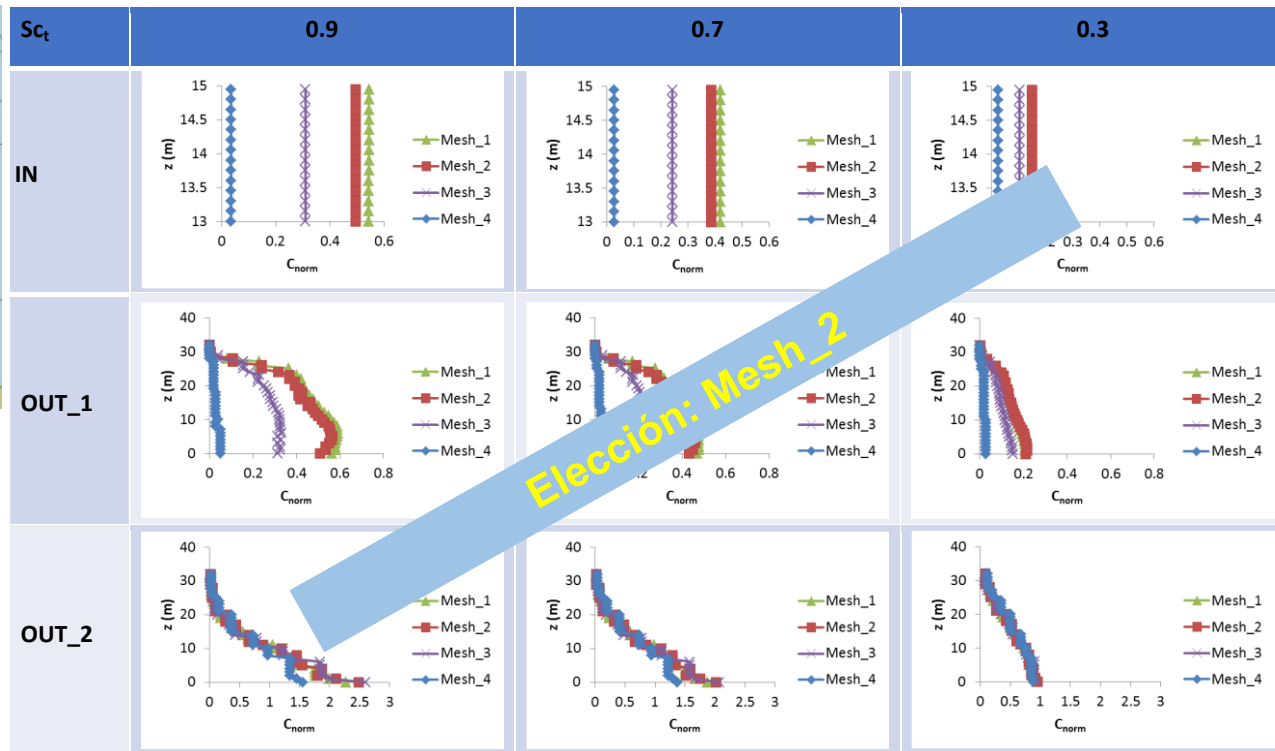
Mesh	1	2	3	4
ΔS min	0.25	0.5	1	2
Nº Cells (Indoor)	23.6×10^6 (3245)	11.2×10^6 (1643)	5.3×10^6 (507)	2.6×10^6 (177)
VERTICAL				
HORIZONTAL				

Simulaciones campaña de invierno HSC

Mallado



- Simulaciones estacionarias
- Dirección de viento → Oeste
- $u_{10m} = 3.6$ m/s

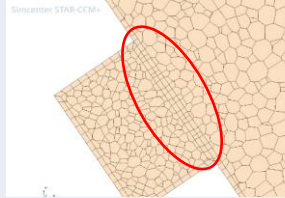
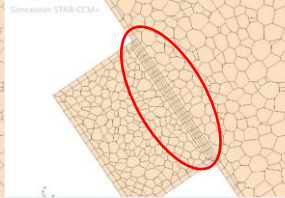
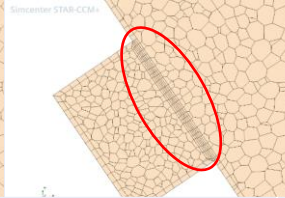
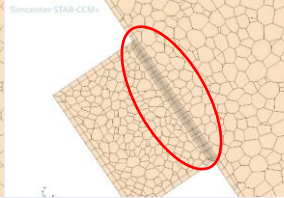


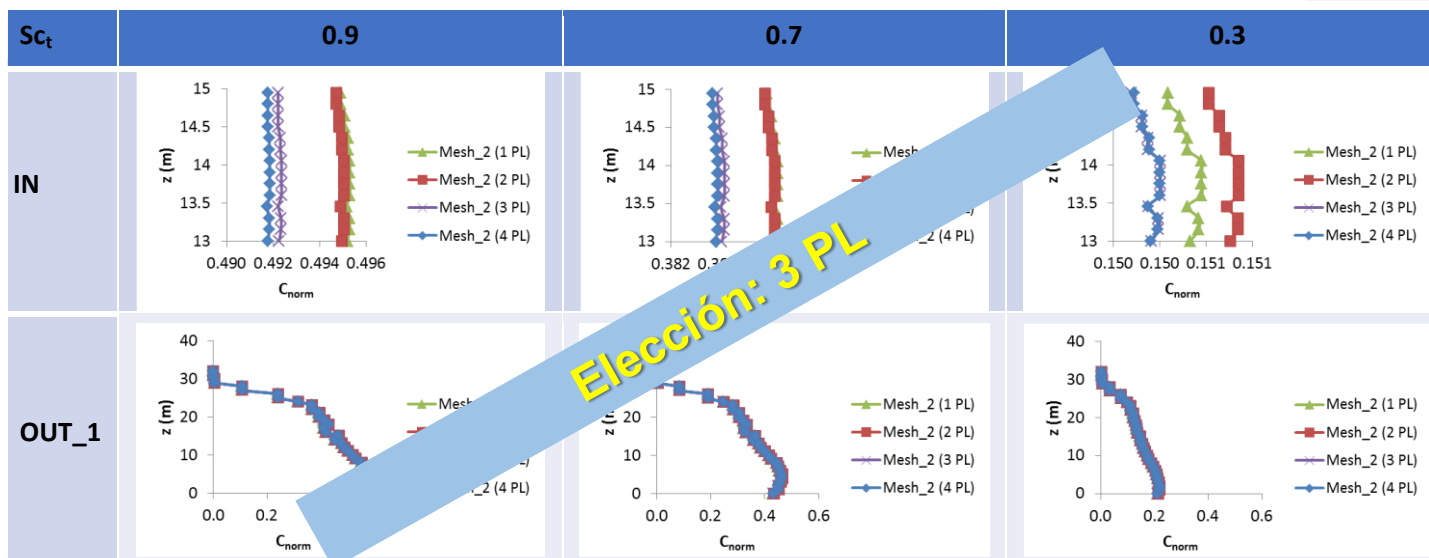
$$C_{norm}(x, y, z) = \frac{C(x, y, z)u_*}{Q}$$

$u(z), k(z), \varepsilon(z)$ no mostradas aquí

Simulaciones campaña de invierno HSC

Mallado

Nº Sublayers	1	2	3	4
Nº Cells (Indoor)	11.2×10^6 (1643)	11.2×10^6 (1792)	11.2×10^6 (1941)	11.2×10^6 (2136)
HORIZONTAL				

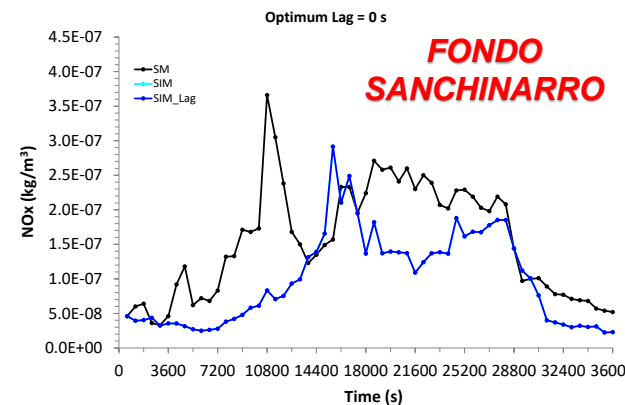
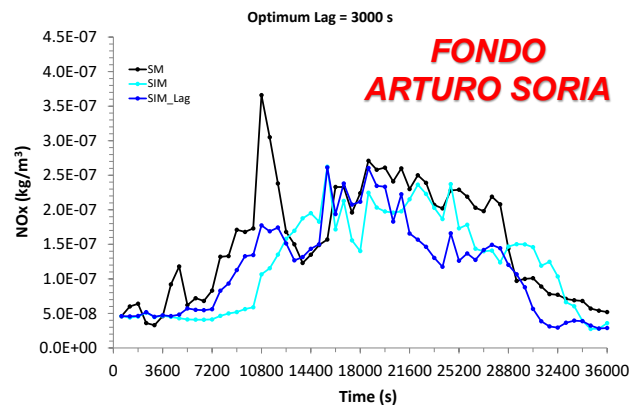
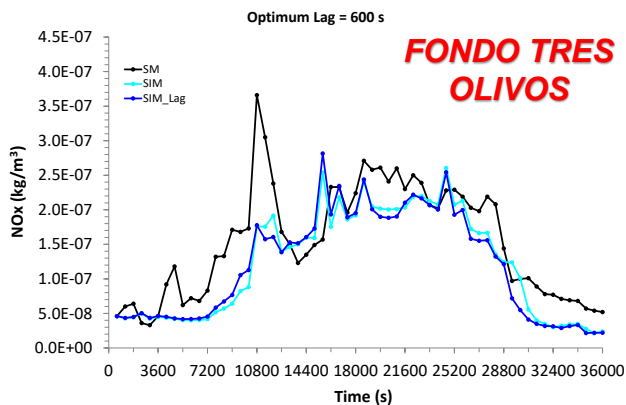
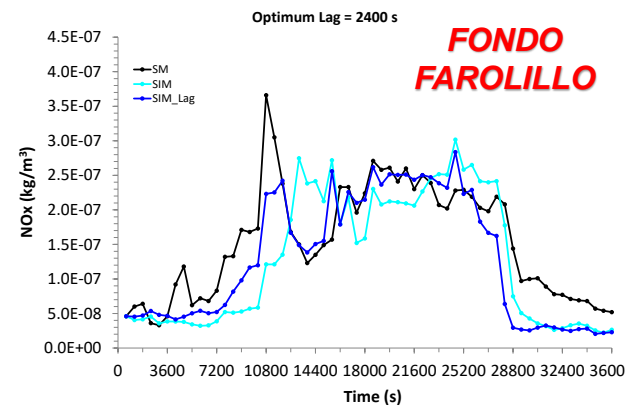
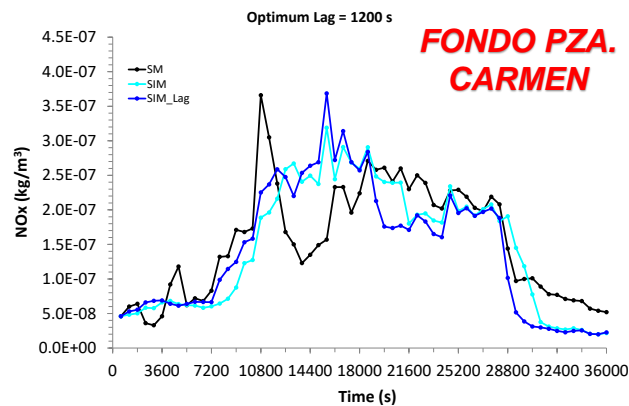
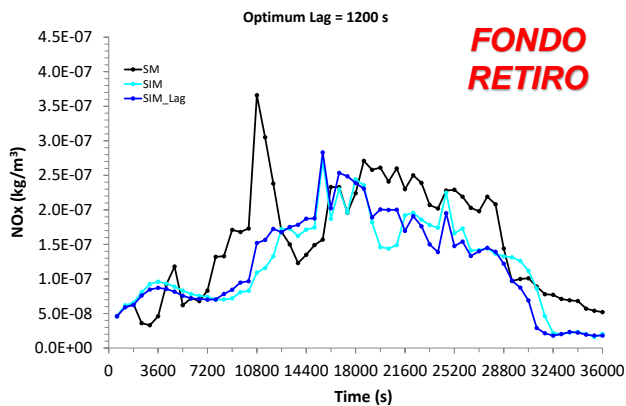
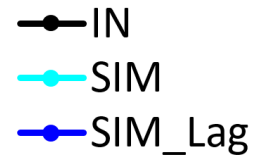


Elección: 3 PL

$u(z)$, $k(z)$, $\varepsilon(z)$
no mostradas aquí

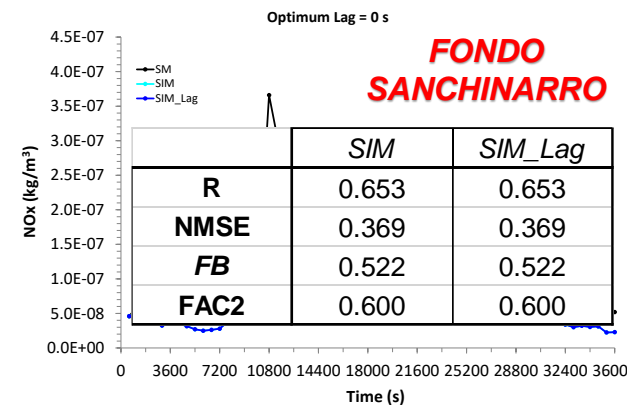
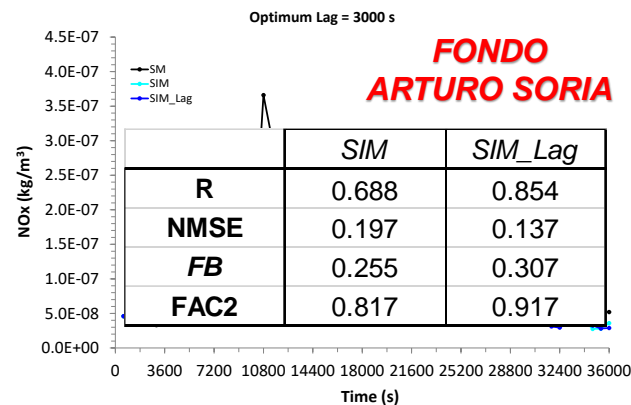
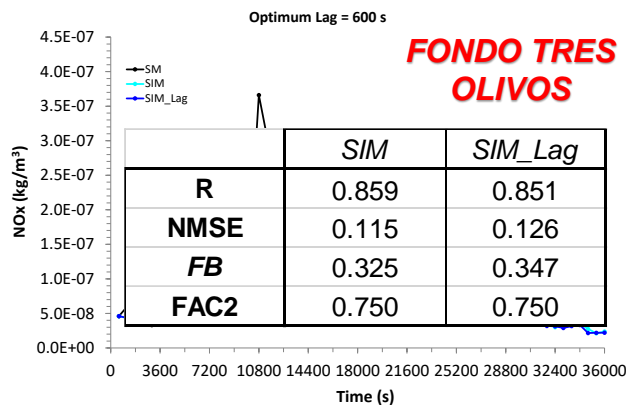
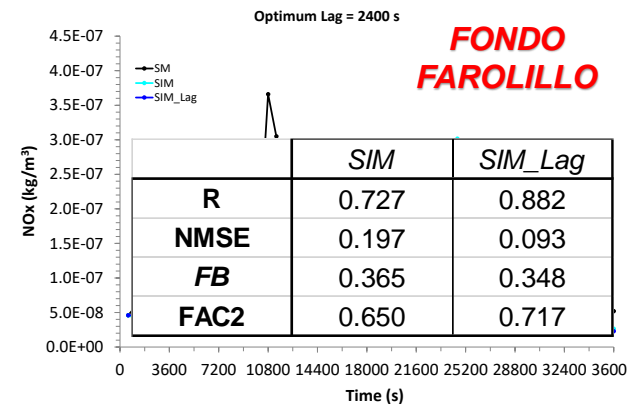
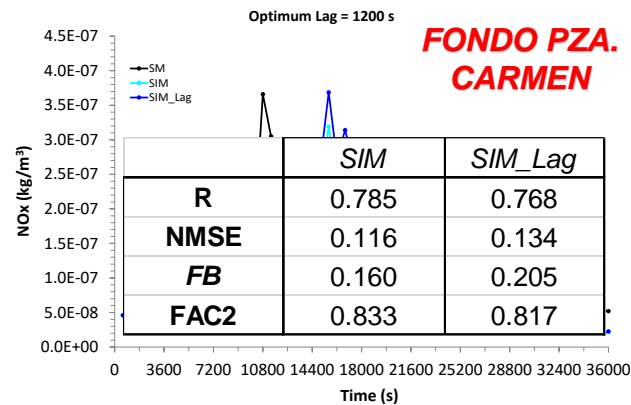
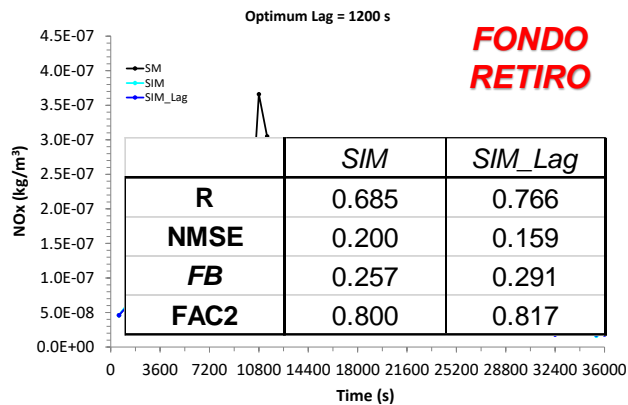
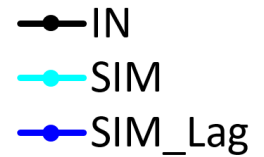
Simulaciones campaña de invierno HSC

Resultados: Concentración de NOx en SM Efecto del retardo del fondo



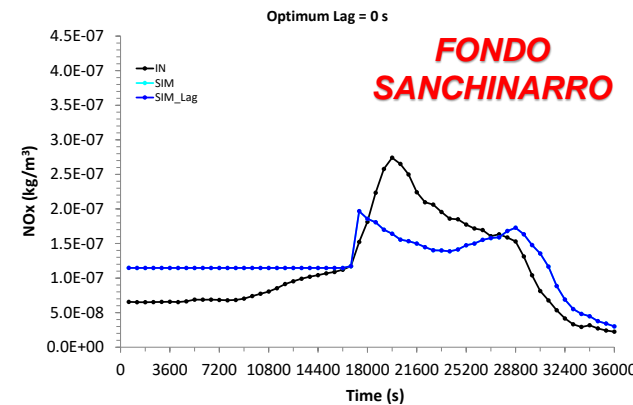
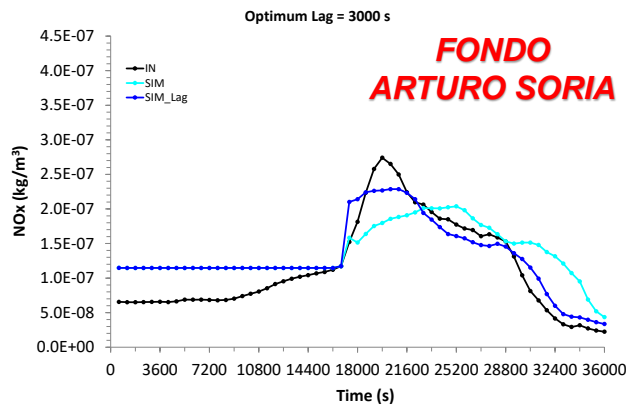
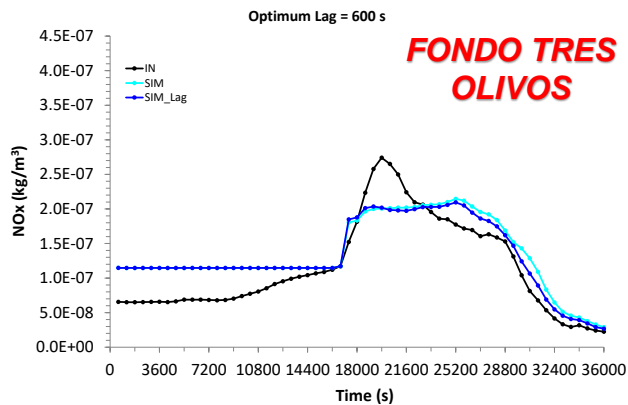
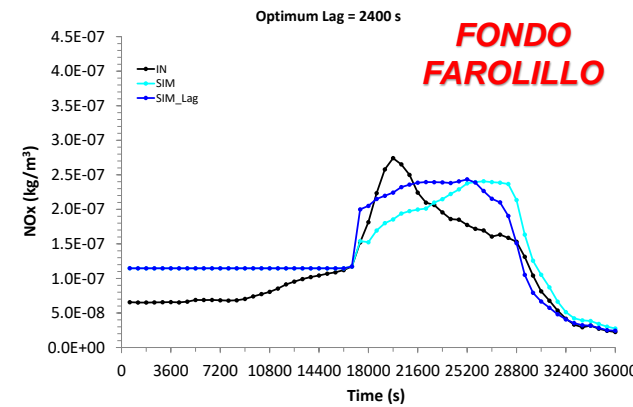
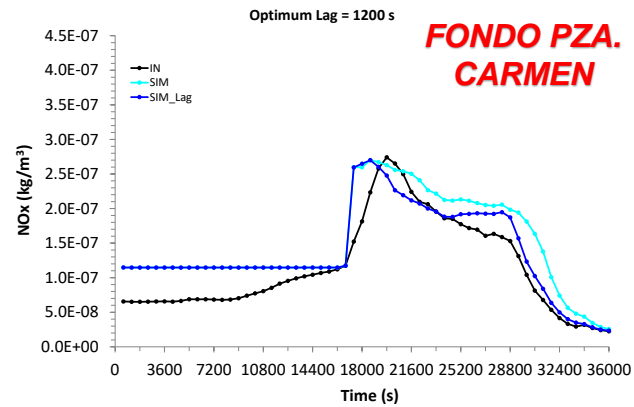
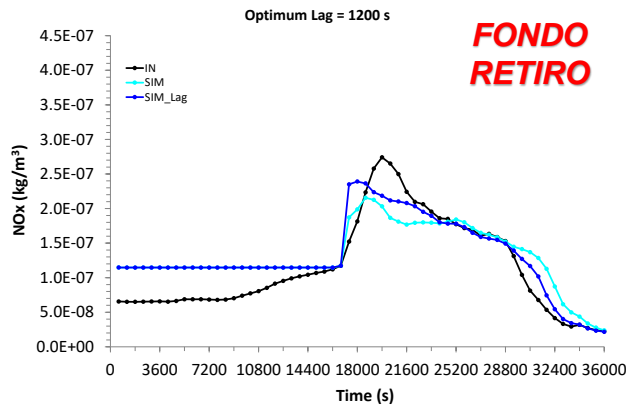
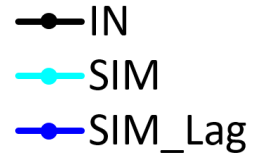
Simulaciones campaña de invierno HSC

Resultados: Concentración de NOx en SM Efecto del retardo del fondo



Simulaciones campaña de invierno HSC

Resultados: Concentración de NOx en IN Efecto del retardo del fondo



Simulaciones campaña de invierno HSC

Resultados: Concentración de NOx en IN Efecto del retardo del fondo

