

PROCESOS DE DISPERSIÓN DE PM2.5 EN UN EVENTO DE CONTAMINACIÓN POR TRANSPORTE REGIONAL DE AEROSOLES: EL ROL DE LA TURBULENCIA ATMOSFÉRICA EN UN VALLE ALTAMENTE URBANIZADO Y COMPLEJO

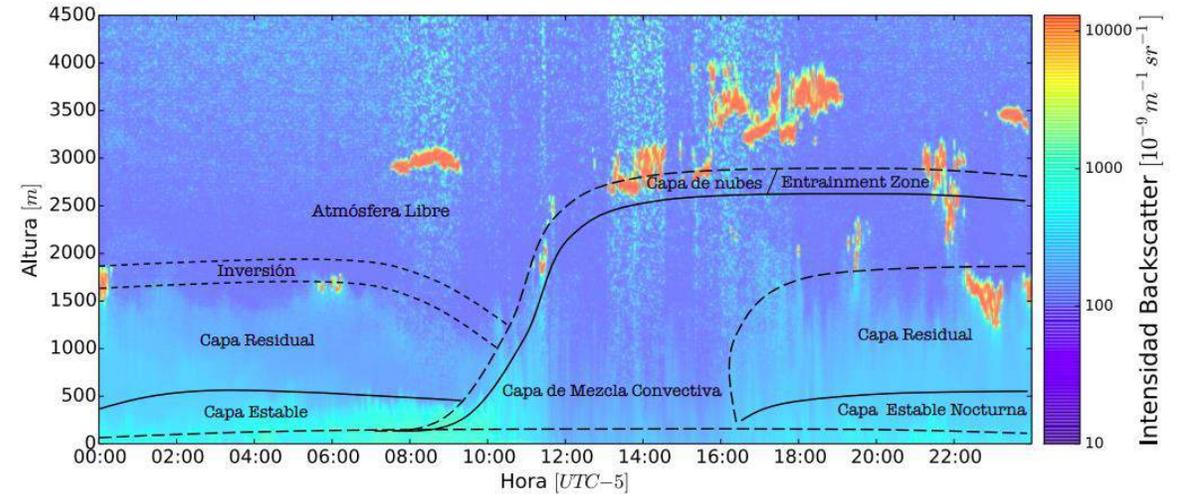
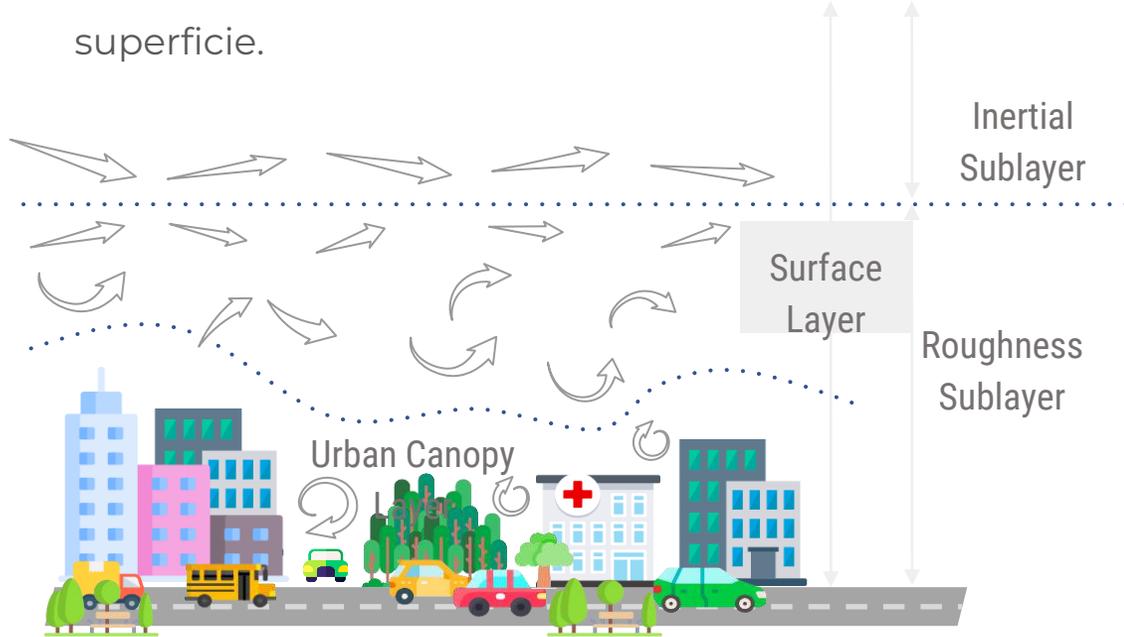
Guiller Alexis Ayala Parra¹, **K. Santiago Hernández**¹, Camilo Chalán Fernández¹
Mauricio Ramírez Arias¹, Manuel D. Zuluaga¹

¹ Sistema de Alerta Temprana de Medellín y el Valle de Aburrá - SIATA

CASAP IX, 22-24 de marzo del 2023
Santa Marta - Colombia

Introducción

- Las condiciones meteorológicas son esenciales para entender, pronosticar y planificar la calidad del aire.
- La **capa límite atmosférica (CLA)** es el medio en el que se **dispersan los contaminantes emitidos** a la superficie.



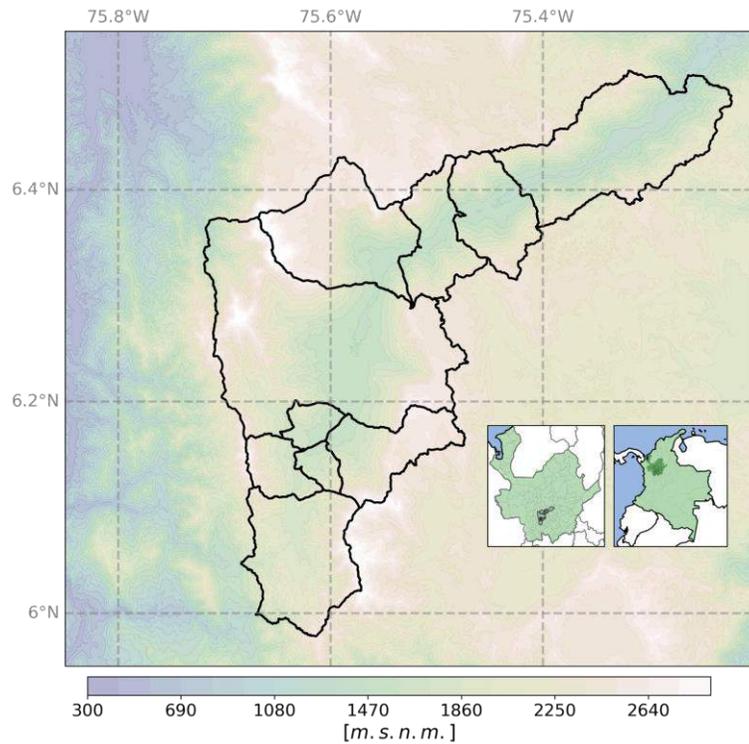
Tomada de: Herrera-Mejía (2020)

- Las **dinámicas** de la **CLA** dependen de los **intercambios turbulentos** de energía, masa y momentum entre la superficie y la atmósfera.
- El **estudio de la turbulencia** es **fundamental** para avanzar en el entendimiento de los **fenómenos físicos** que modulan la **contaminación atmosférica**.

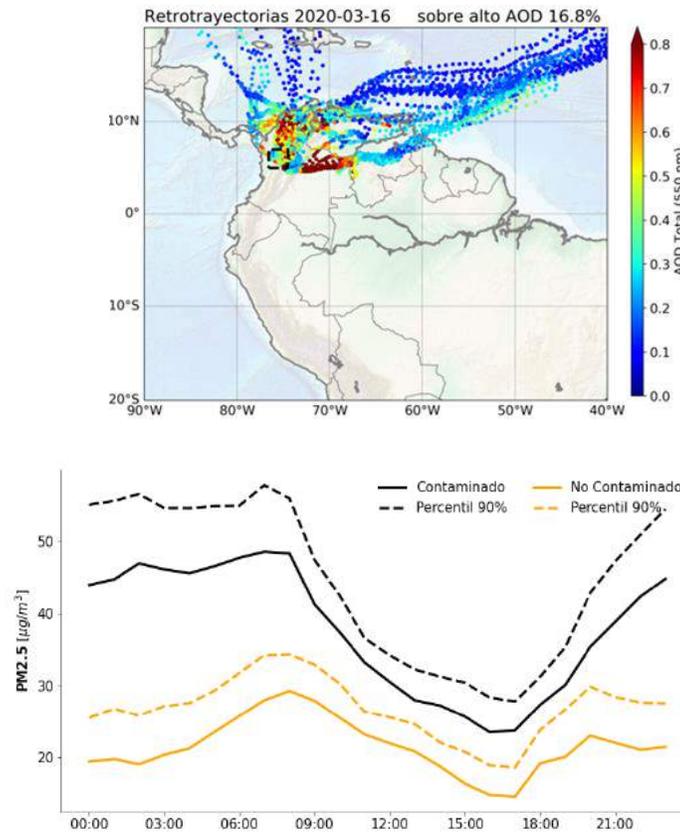


Introducción

Valle de Aburrá



Eventos de contaminación



Red de micrometeorología
(medición a **largo plazo**)

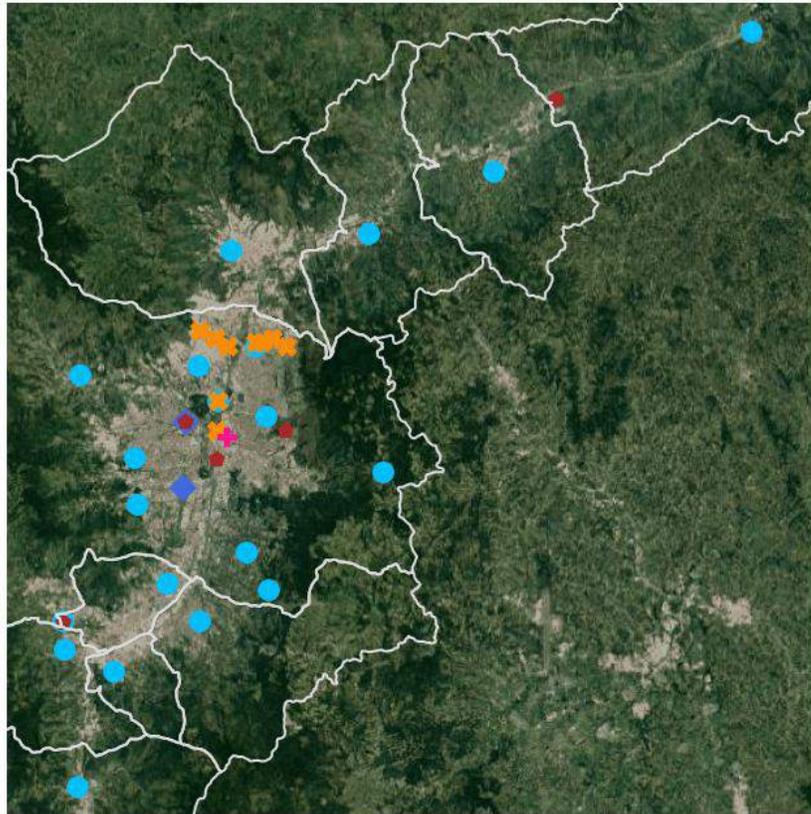


■ **Introducción**

Analizar el rol de la turbulencia atmosférica durante un evento de contaminación atmosférica en el Valle de Aburrá.



Datos y métodos



Equipos usados

- Red poblacional de PM2.5
- ✕ Red de micrometeorología
- ◆ Sensores remotos Radiómetro y RWP
- Piranómetros
- ✚ Black Carbon



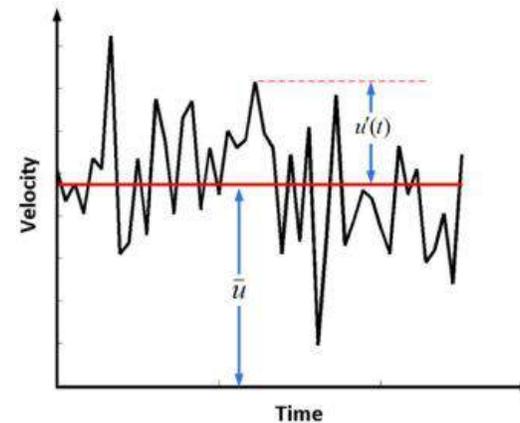
Distribución espacial de equipos utilizados.

Sensores IRGASON



- Anemómetros sónicos (U_x , U_y , U_z , temperatura, presión).
- Analizador de gases (CO_2 , H_2O).
- Tasa de muestreo: 20Hz.

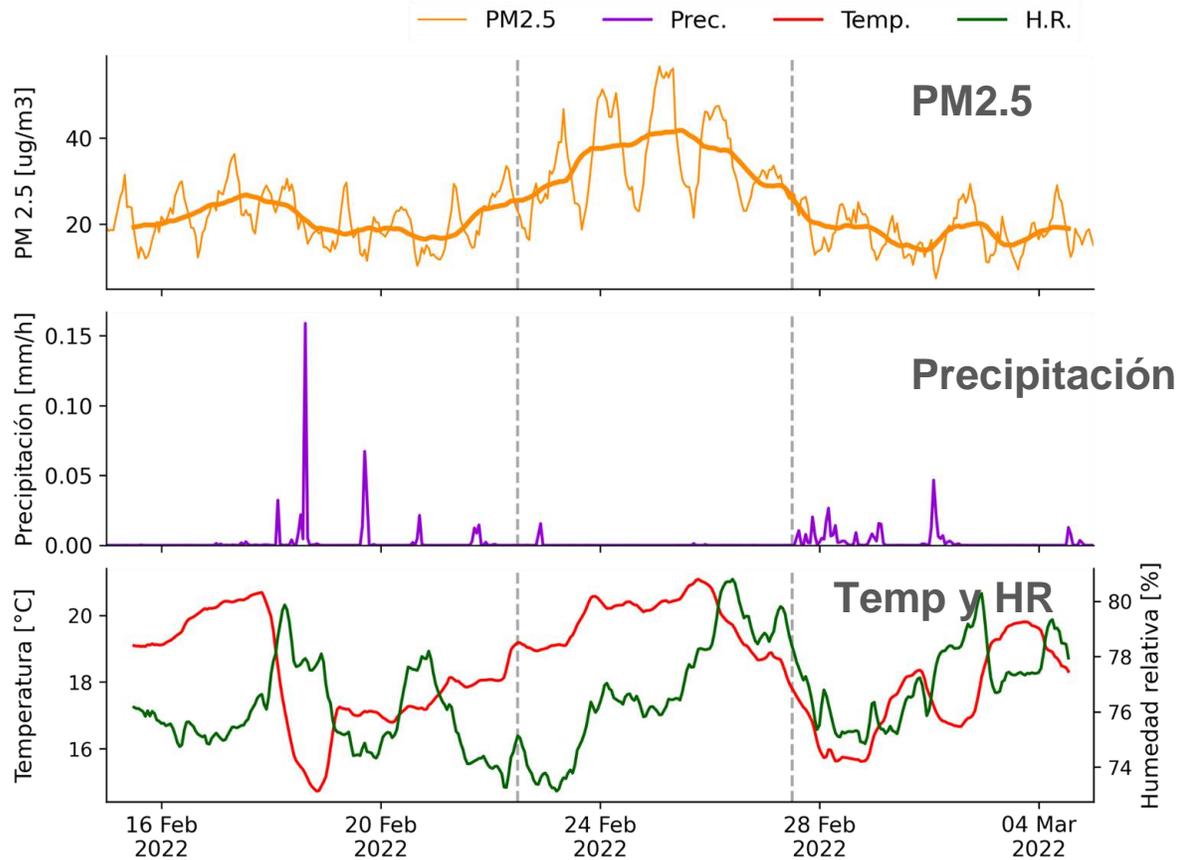
Procesamiento



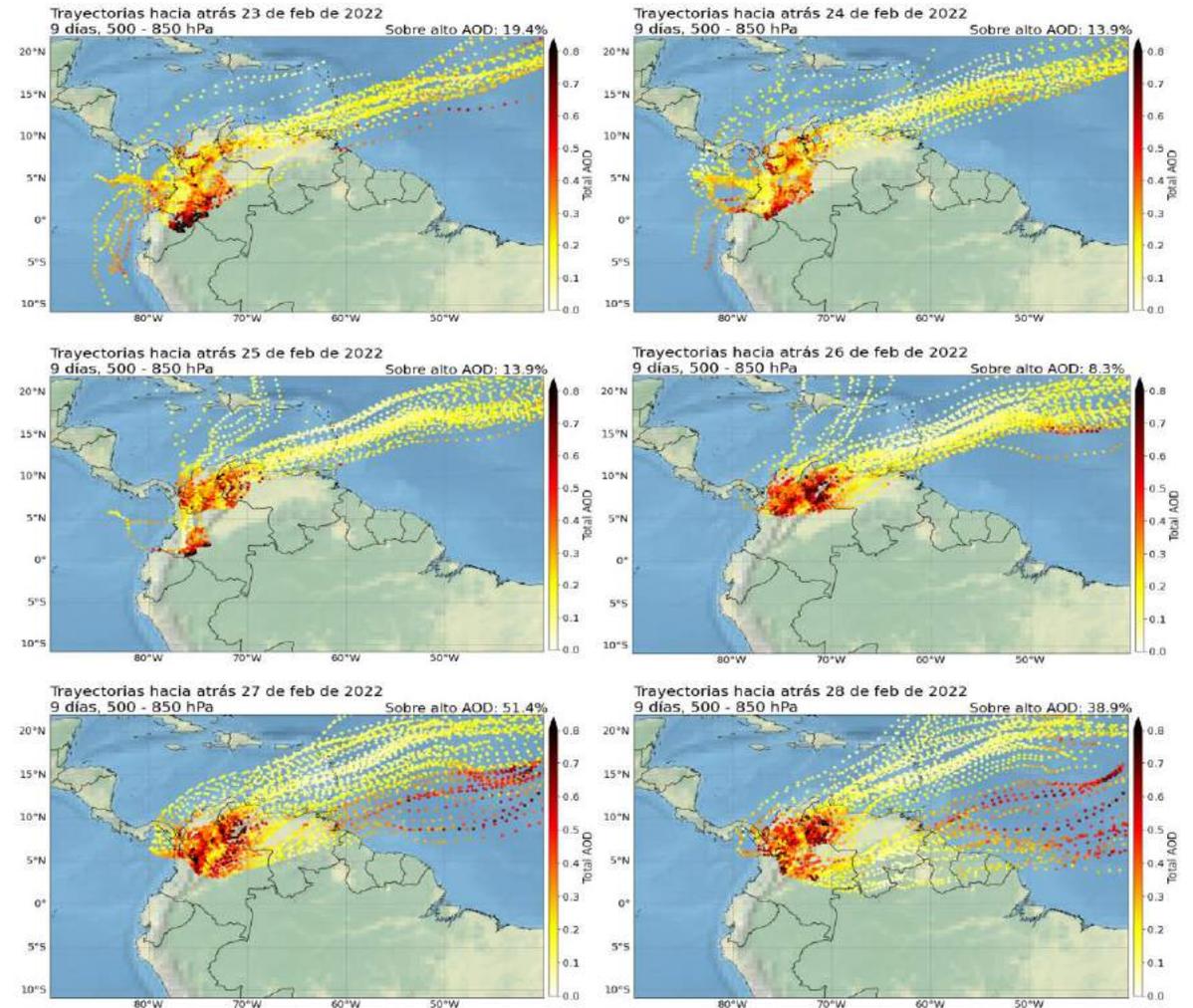
- Software easy-flux.
- Datos corregidos y cálculos de flujos.
- H , LE , TAU , TKE , U^* , σ_x .



Resultados



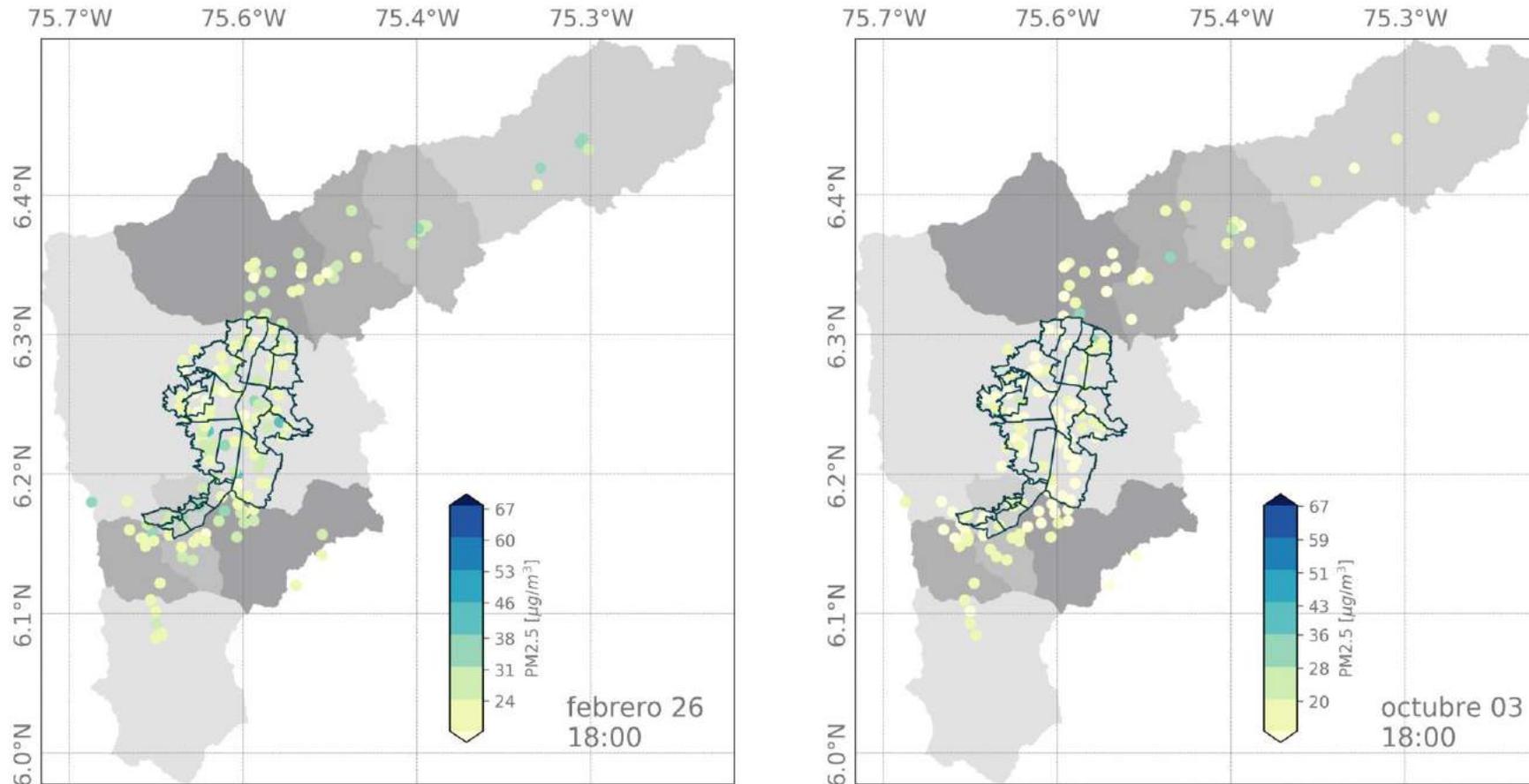
Concentración de PM2.5, lluvia, temperatura y humedad durante el periodo de interés.



Retrotrayectorias de 9 días entre 850 y 500 hPa para los días de interés.



Resultados - Distribución espacial PM2.5

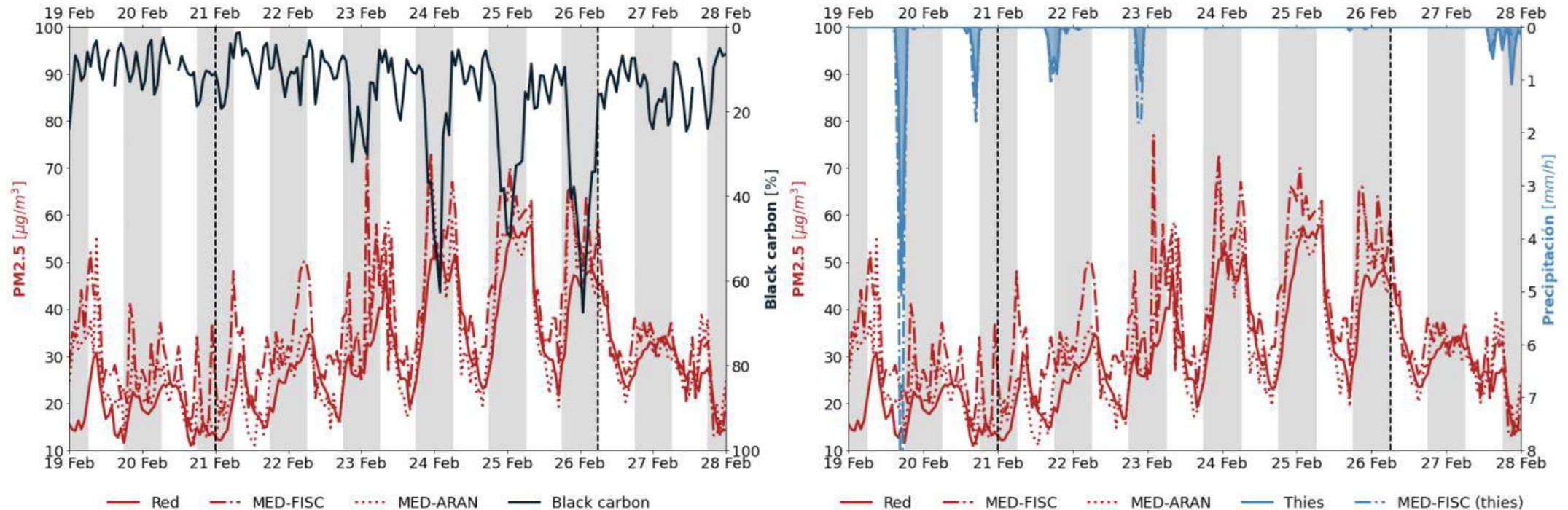


Animación de la distribución espacial de material particulado PM2.5 a partir de la red de nubes de ciudadanos científicos para el 26 de febrero (día con afectación) y 04 de marzo de 2022 (día sin afectación).



Resultados

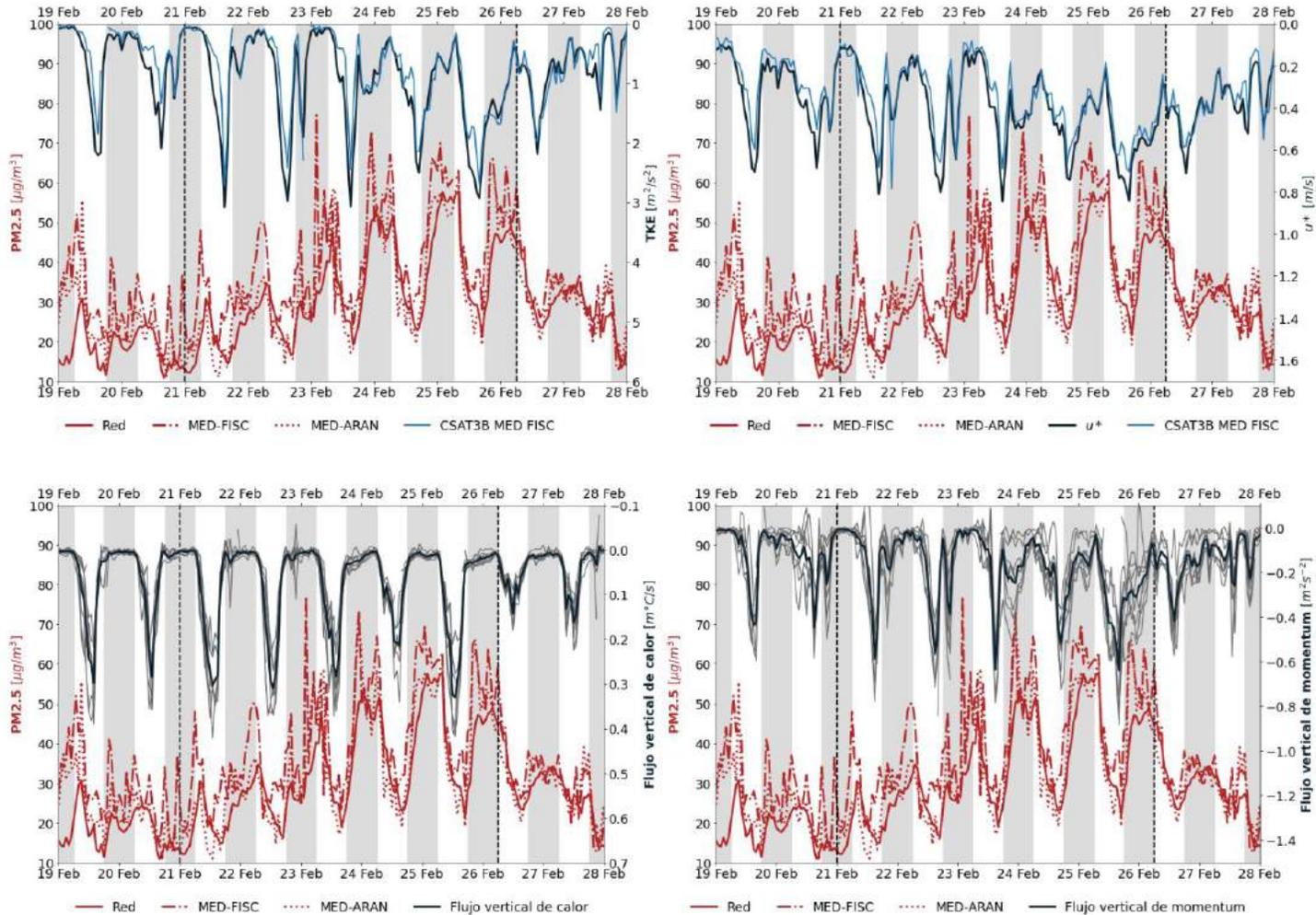
Series temporales de PM25 contra %BC biomasa (izquierda) y precipitación líquida (derecha). Las franjas grises corresponden a horas nocturnas.



- Los incrementos en las concentraciones de material particulado son consistentes con aumentos en la fracción de BC asociado a biomasa.
- Se tuvo una baja ocurrencia de eventos de precipitación durante el periodo de contaminación.



Resultados



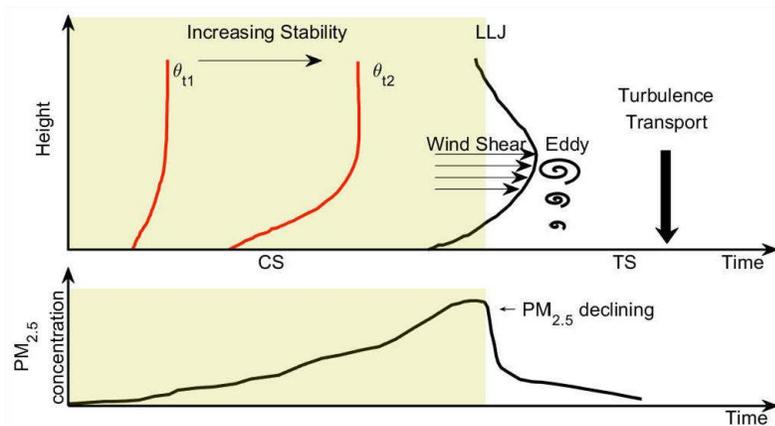
- En horas diurnas, el comportamiento de la TKE está relacionado con los flujos de calor sensible.
- Incremento de la TKE en las madrugadas del 24, 25 y 26 de febrero, días en los cuales se tuvo incidencia de PM externo.
- Este incremento fue consistente con aumentos en la velocidad de fricción y en el flujo vertical de momentum.

Series temporales de PM25 contra TKE, velocidad de fricción, flujo vertical de calor sensible y de momentum. Las franjas grises corresponden a horas nocturnas.



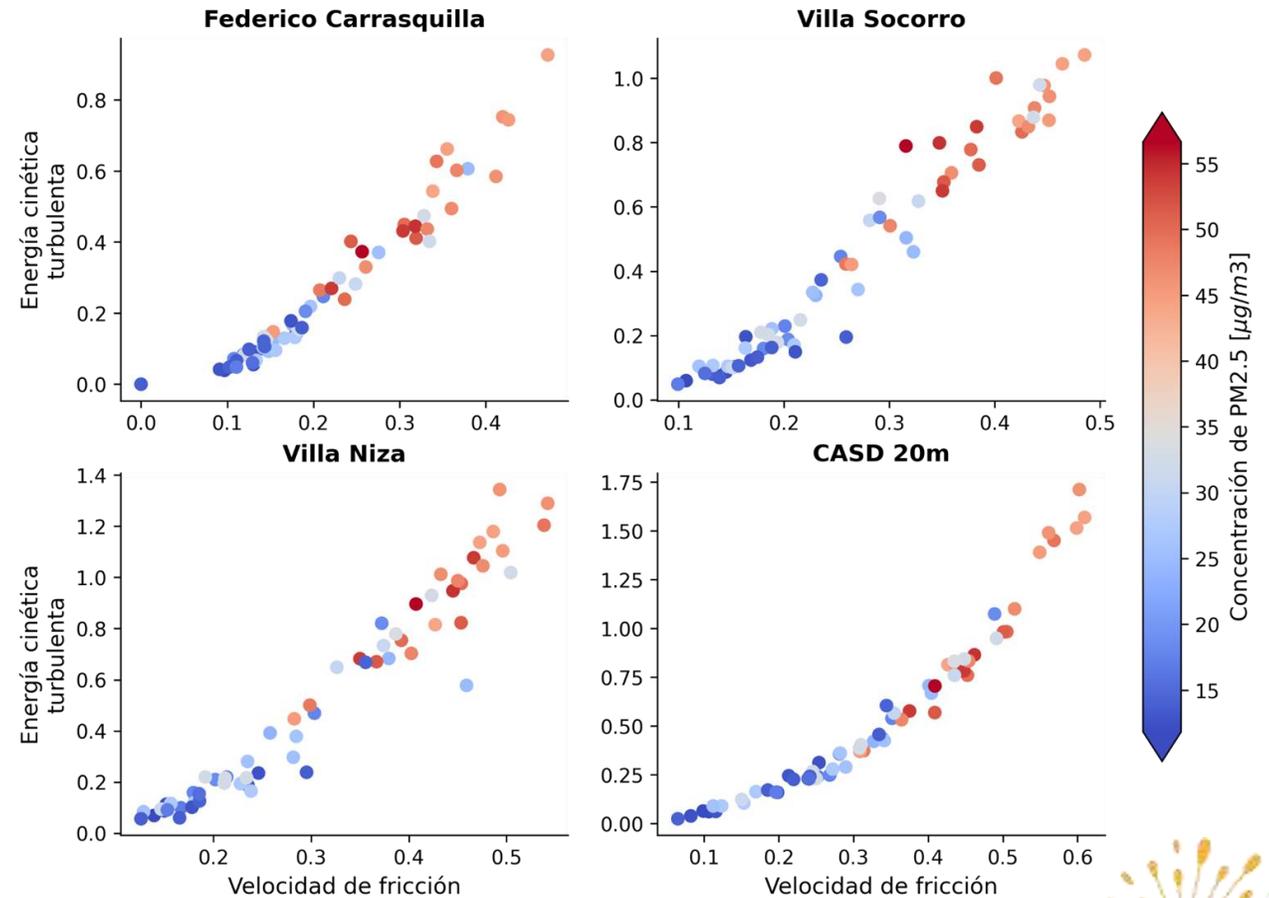
Resultados

- Durante las noches, la variabilidad de la TKE estuvo explicada por la velocidad de fricción.
- Mayores valores de PM2.5 estuvieron asociados a una mayor energía cinética turbulencia.
- Los flujos observados podrían estar transportando material particulado desde partes más altas de la atmósfera.



Tomada de Wei et al. (2018).

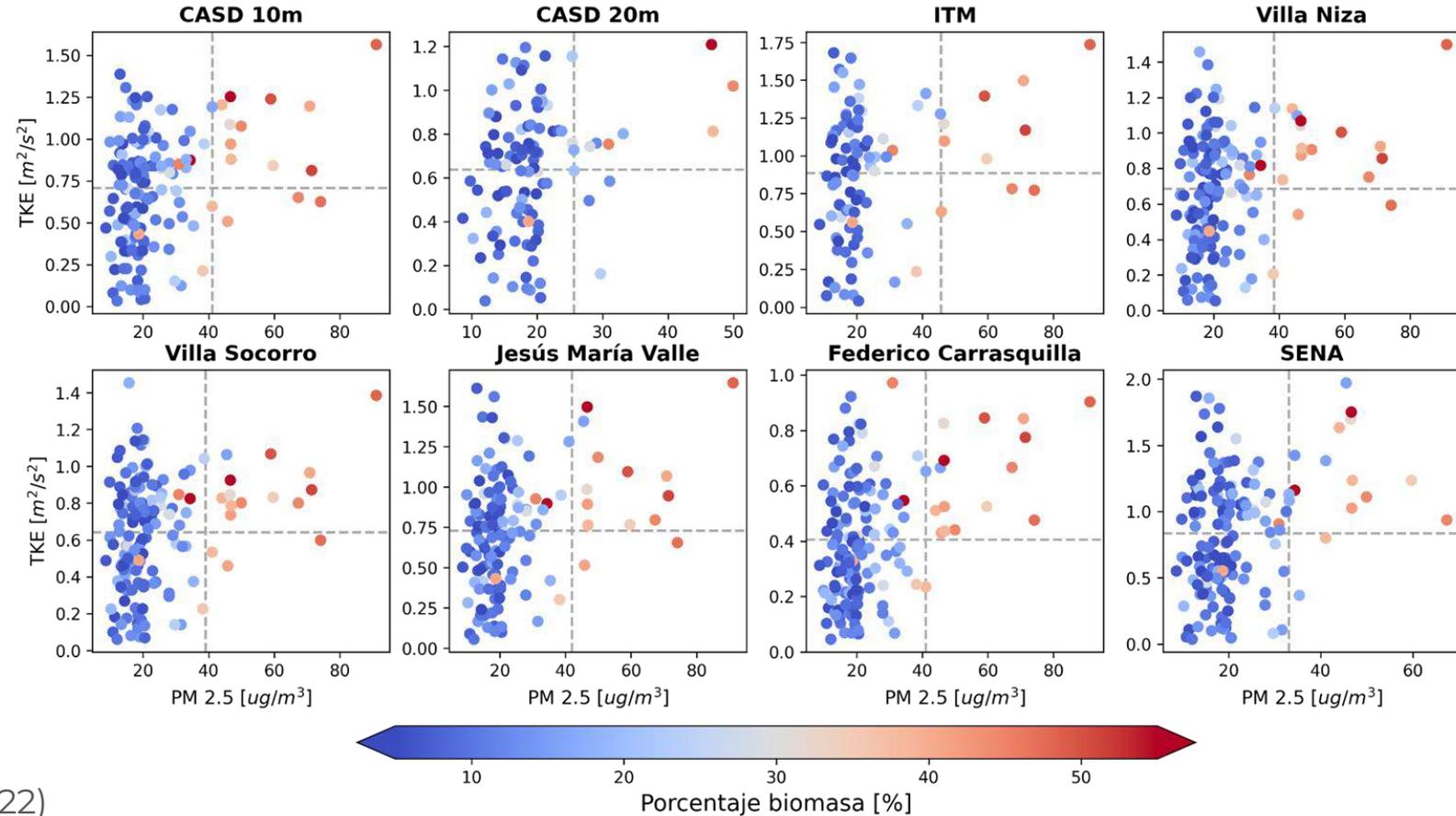
Diagrama de dispersión entre la TKE y la velocidad de fricción en horas de la noche y madrugada (entre las 22:00 y las 04:00 horas) durante el periodo de interés. Los colores de los puntos indican la concentración promedio de PM2.5.



Resultados

- 2020-2022 (excluyendo información pandemia).
- Se excluyeron domingos y festivos (Hernández et al., 2022; APR).
- Se excluyeron días con ocurrencia de precipitación (Roldán-Henao et al., 2020; JAMC).

¿Qué tan generalizado es este comportamiento?



Wei et al. (2018); Li et al. (2018); Zhang et al. (2022)

Diagrama de dispersión entre la energía cinética turbulenta (TKE) y el material particulado menor a 2.5 micrómetros (PM2.5) promediados entre las 22:00 y las 04:00. En colores se muestra el porcentaje de biomasa promedio para estas horas.



■ Conclusiones y trabajo a futuro

De forma general, se observó que la **turbulencia** puede tener un **doble rol** en las concentraciones de material particulado en el Valle de Aburrá. Los análisis mostraron que, durante las noches, los aumentos en la **intensidad de la turbulencia** coincidieron con **aumentos** en el porcentaje de Black Carbon asociado a **biomasa**, y a su vez, con **mayores concentraciones de PM2.5**. La **turbulencia** durante horas nocturnas fue producida por **factores mecánicos**, indicando intercambios de momentum y masa desde masas de aire externas al valle.

TRABAJO A FUTURO

- Estudio del comportamiento de variables turbulentas en la vertical.
- Implementación de simulaciones de alta resolución para avanzar en el entendimiento.
- Uso de la red de micrometeorología para identificar el ingreso de masas de aire externas.



Agradecimientos

Esta investigación fue liderada por **Guiller Alexis Ayala Parra**, y se llevó a cabo por el Sistema de Alerta Temprana del Valle de Aburrá, **SIATA**, proyecto del **Área Metropolitana del Valle de Aburrá** durante la vigencia del contrato de Ciencia y Tecnología CCT 799 de 2021. Los autores agradecen a NASA, ECMWF y NCEP por proveer datos de incendios, del modelo CAMS y de GFS, respectivamente.



■ Referencias

- Hernández, K. S., Henao, J. J., & Rendón, A. M. (2022). Dispersion simulations in an Andean city: Role of continuous traffic data in the spatio-temporal distribution of traffic emissions. *Atmospheric Pollution Research*, 13(3), 101361.
- Li, J., Sun, J., Zhou, M., Cheng, Z., Li, Q., Cao, X., and Zhang, J. (2018). Observational analyses of dramatic developments of a severe air pollution event in the Beijing area. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 18(6):3919–3935.
- Roldán-Henao, N., Hoyos, C. D., Herrera-Mejía, L., & Isaza, A. (2020). An investigation of the precipitation net effect on the particulate matter concentration in a narrow valley: Role of lower-troposphere stability. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 59(3), 401-426.
- Wei, W., Zhang, H., Wu, B., Huang, Y., Cai, X., Song, Y., and Li, J. (2018). Intermittent turbulence contributes to vertical dispersion of pm 2.5 in the north China plain: cases from Tianjin. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 18(17):12953–12967.
- Zhang, L., Zhang, H., Li, Q., Cai, X., and Song, Y. (2022). Vertical dispersion mechanism of long-range transported dust in Beijing: Effects of atmospheric turbulence. *Atmospheric Research*, 269:106033.
- Ayala, G. Hernández, K. S., Chalán C., Ramírez M., Ceballos, L., Sepúlveda, J., Martínez A., Zuluaga, M. Influence of the atmospheric turbulence in the air pollutants dispersion in a complex, tropical and urbanized settlement: Aburrá Valley Case. In preparation (2023).





¡MUCHAS GRACIAS!

K. Santiago Hernández

ksantiago.hernandez@udea.edu.co

ksantiago.hernandezu@gmail.com

SIATA

contacto@siata.gov.co

<https://siata.gov.co/>

Más información



<https://casap.science/>

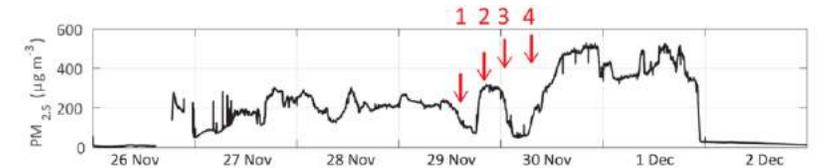
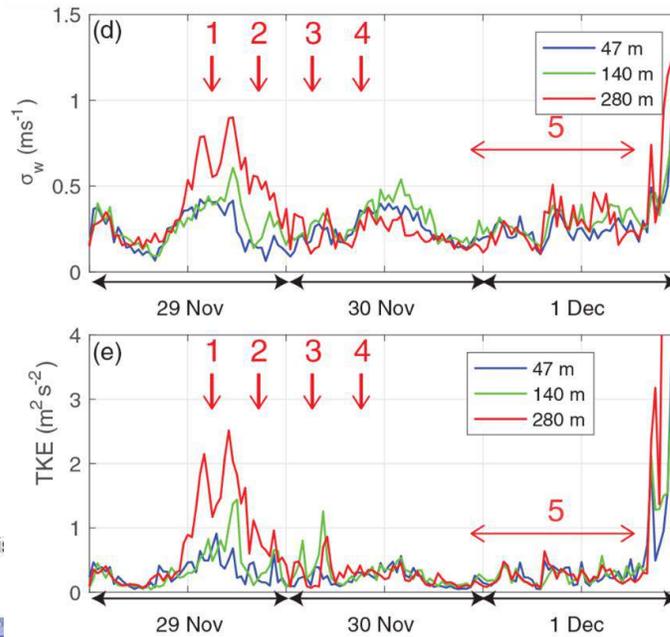
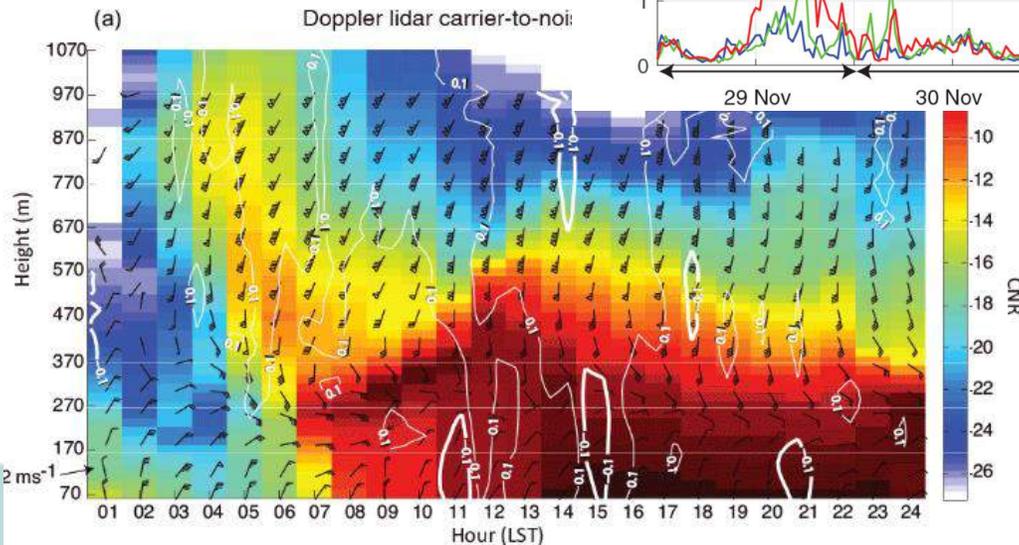
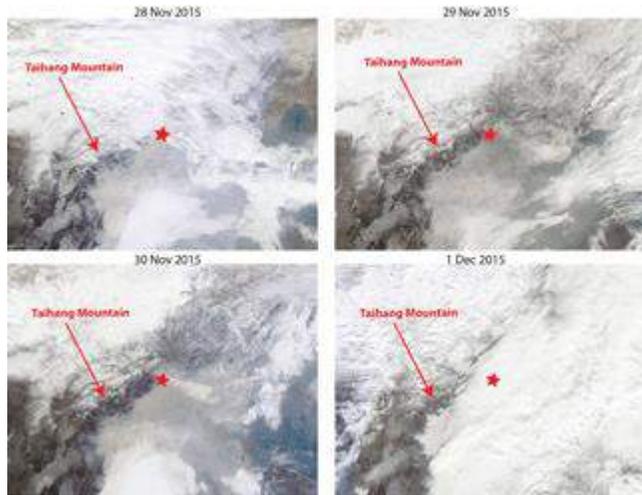


casap@casap.science

DIAPPOSITIVAS DE APOYO



Figura 3. Figuras tomadas de Li et al. (2018).



- 1** 12:00–18:00, 29 Nov

Shear-generated mixing

Around noon, the upper-level northwesterly wind speed increased. The shear-generated turbulent mixing transported the local polluted air upward and the less polluted air from northwest downward, leading to the decrease in $\text{PM}_{2.5}$.
- 2** 18:00–22:00, 29 Nov

Capped by inversion

SBL

After sunset, the near-surface layer became very stable after the relatively strong heating during the daytime. As a result of the stable stratification, the reduced wind led to the reduced turbulence in the SBL. Meanwhile the surface northwesterly wind under the influence of the northwest downslope wind started to change to southwesterly. The southwesterly surface wind transported the polluted air into Beijing. The weak turbulent mixing in the SBL limited the vertical dilution of the pollutant, leading to the $\text{PM}_{2.5}$ increase.
- 3** 22:00, 29 Nov–05:00, 30 Nov

Capped by inversion

Around midnight on 29 Nov, the downslope surface wind became stronger; the surface wind became northeasterly in the early morning. Both brought relatively clean air to the SBL. Meanwhile, the wind above ~500 m switched to southwesterly. Because the SBL decoupled the rough surface from the air above the SBL, the accelerated air flow advected the polluted air over Beijing. The SBL prevented the polluted air from reaching to the surface.
- 4** 05:00–22:00, 30 Nov

AM PM

Buoyancy-generated mixing

After sunrise, buoyancy-generated turbulent mixing transported the elevated high aerosol air downward, leading to the large initial increase of $\text{PM}_{2.5}$ in the morning. Meanwhile, the convective mixing kept transporting the heavily polluted air south of Beijing upward, the southwesterly above the PBL kept transporting the polluted air over Beijing, and the convective mixing kept mixing the polluted air downward to the surface, leading the continuous increase of the surface $\text{PM}_{2.5}$.

Meanwhile the $\text{PM}_{2.5}$ east of Beijing, where the surface $\text{PM}_{2.5}$ was not reduced by the nighttime downslope flow, was also enhanced by the convective mixing from the polluted air above. As the high $\text{PM}_{2.5}$ air northeast of Beijing was enhanced higher than that in Beijing, the surface northeasterly also contributed to the $\text{PM}_{2.5}$ increase in Beijing.

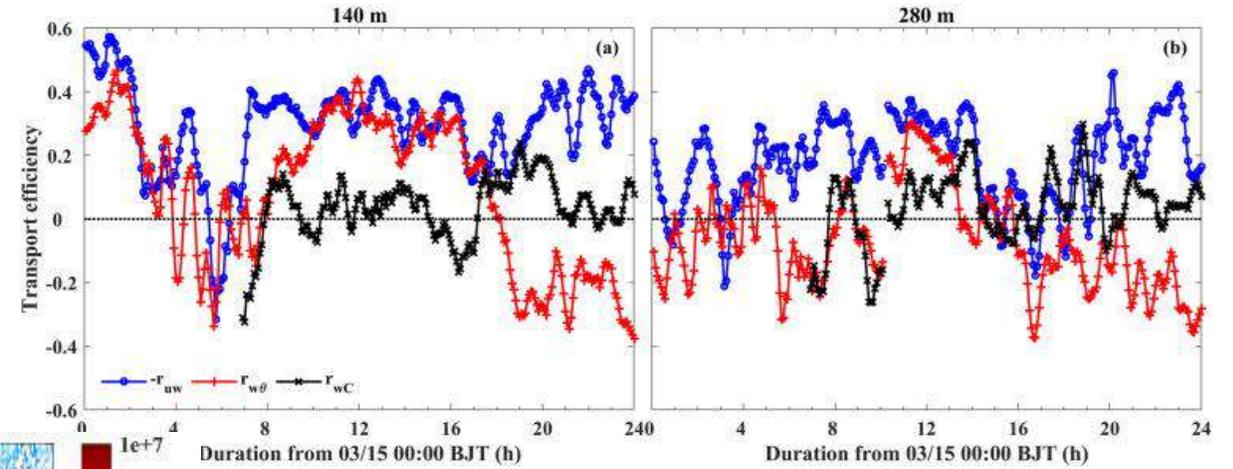
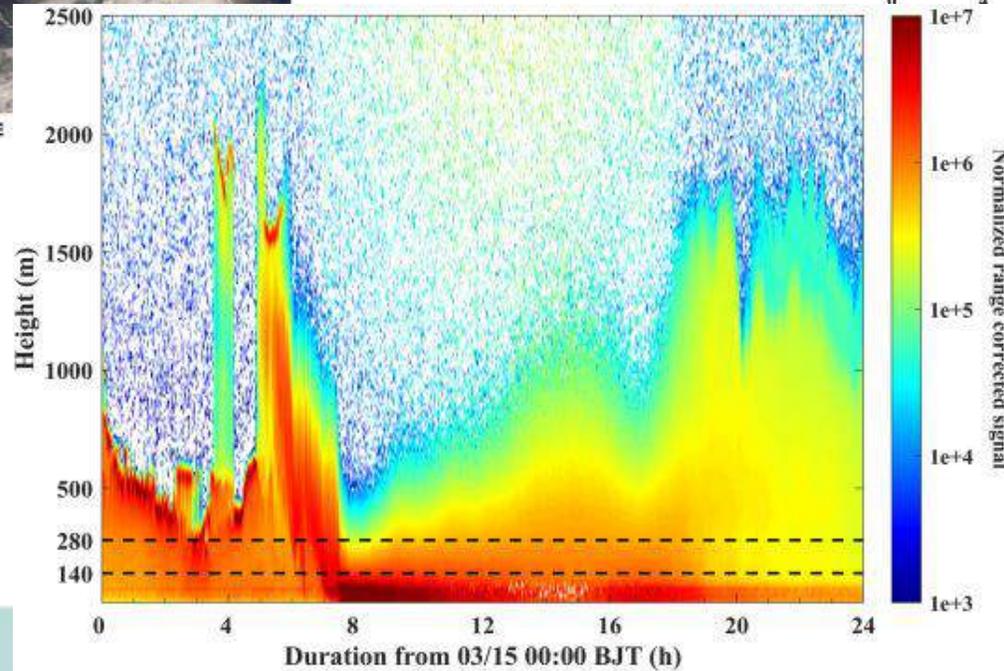
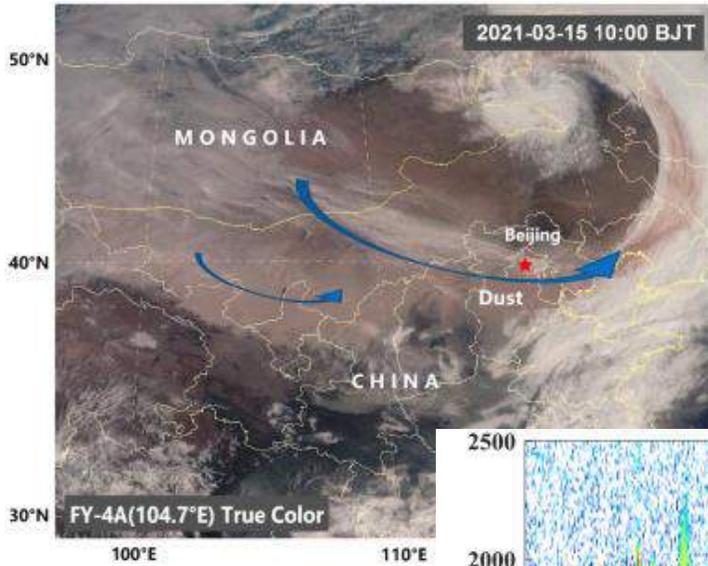


Figura 4. Figuras tomadas de Zhang et al. (2022).



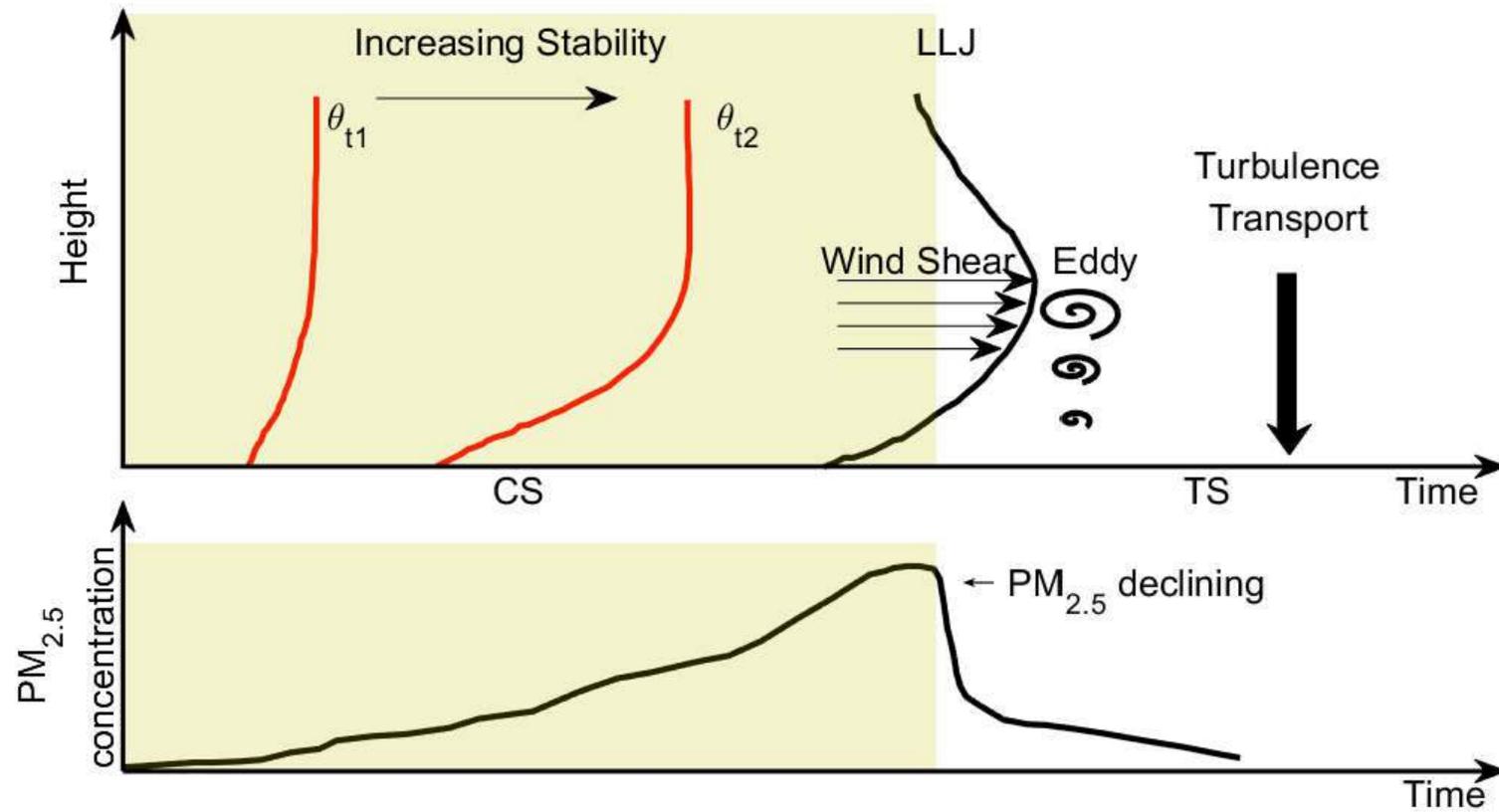


Figura.: Ilustración tomada de Wei et al. (2018).



